

ЖАЛПЫ ФИЗИКА КУРСЫНЫҢ ЕСЕПТЕР ЖИНАҒЫ

В.С.Волькенштейн



В.С. Волькенштейн

**ЖАЛПЫ ФИЗИКА
КУРСЫНЫҢ
ЕСЕПТЕР ЖИНАҒЫ**

**ЖОҒАРҒЫ ТЕХНИКАЛЫҚ ОҚУ
ОРЫНДАРЫНЫҢ СТУДЕНТТЕРІНЕ АРНАЛҒАН**

Толықтырылған және қайтадан өңделген 3-ші басылымы.

Алматы
2012

ӘОЖ 53 (075)

КБЖ 22.3Я 7

В 44

Волькенштейн В.С.

В44 Жалпы физика курсының есептер жинағы. – Алматы.: Нур-Принт, 2012.- 450 бет

ISBN 9965-894-43-4

«Жалпы физика курсының есептер жинағының» бұл басылымы автордың қайта өңдеуінен өтіп, 2008 жылы толықтырылған орысша нұсқасы мен 1968 жылы шыққан қазақша аудармасы негізінде құрастырылды. Жинақтағы өзгертулер мен толықтырулар жоғары оқу орындарының қазіргі бағдарламалық талаптарына сәйкес келеді.

Жинақты қазақ тілінде құрастыру барысында ана тілімізге соңғы жылдары жаңадан енгізілген терминдер мен ұғымдардың атауы молынан қамтылды. Жинақ негізінен жоғары техникалық оқу орындарының студенттеріне арналған. Алайда автордың есеп шығару жолдарын көрсететін әдістемелік ұсыныстары мен нұсқаулары бұл оқу құралын өзінің әмбебап ерекшелігімен басқа да орта және жоғары оқу орындарының оқушылары мен ұстаздарының да кеңінен пайдалануына жол ашады.

Бұл қазақша басылымды даярлауға ҚазҰПУ профессоры Р. Башарұлы қатысты.

ӘОЖ 53 (075)

КБЖ 22.3Я 7

ISBN 9965-894-43-4

© Нур-Принт, 2012

МАЗМҰНЫ

Алғы сөз.....	6
I ТАРАУ. МЕХАНИКАНЫҢ ФИЗИКАЛЫҚ НЕГІЗДЕРІ	
§ 1. Кинематика.....	7
§ 2. Материалдық нүктенің және қатты денелердің ілгерілемелі қозғалысының динамикасы.....	23
§ 3. Қатты денелердің айналмалы қозғалысы.....	56
§ 4. Газдар мен сұйықтардың механикасы.....	67
<i>Жауаптар мен шешімдер.....</i>	<i>314</i>
II ТАРАУ. МОЛЕКУЛЯРЛЫҚ ФИЗИКА ЖӘНЕ ТЕРМОДИНАМИКА	
§ 5. Молекулярлық-кинетикалық теория.....	73
§ 6. Нақты газдар.....	111
§ 7. Қаныққан булар мен сұйықтар.....	116
§ 8. Қатты денелер.....	131
<i>Жауаптар мен шешімдер.....</i>	<i>337</i>
III ТАРАУ. ЭЛЕКТР ЖӘНЕ МАГНЕТИЗМ	
§ 9. Электростатика.....	150
§ 10. Электр тогы.....	175
§ 11. Электромагнетизм.....	198
<i>Жауаптар мен шешімдер.....</i>	<i>369</i>
IV ТАРАУ. ТЕРБЕЛІСТЕР ЖӘНЕ ТОЛҚЫНДАР	
§ 12. Гармониялық тербелмелі қозғалыс және толқындар.....	225
§ 13. Акустика.....	239
§ 14. Электромагниттік тербелістер және толқындар.....	245
<i>Жауаптар мен шешімдер.....</i>	<i>394</i>
V ТАРАУ. ОПТИКА	
§ 15. Геометриялық оптика және фотометрия.....	251
§ 16. Толқындық оптика.....	262
§ 17. Салыстырмалық теориясының элементтері.....	275
§ 18. Жылулық сәуле шығару.....	278
<i>Жауаптар мен шешімдер.....</i>	<i>405</i>

VI ТАРАУ АТОМ ЖӘНЕ АТОМ ЯДРОСЫНЫҢ ФИЗИКАСЫ

§ 19. Жарықтың кванттық табиғаты және бөлшектердің толқындық қасиеттері.....	283
§ 20. Бор атомы. Рентген сәулелері.....	290
§ 21. Радиоактивтік.....	297
§ 22. Ядролық реакциялар.....	302
§ 23. Элементар бөлшектер. Бөлшектерді үдеткіштер.....	309
<i>Жауаптар мен шешімдер.....</i>	<i>413</i>

Қосымшалар

I. СИ жүйесінің негізгі бірліктері.....	428
II. Механикалық шамалардың бірліктері	429
III. Жылу шамаларының бірліктері.....	431
IV. Электрлік және магниттік шамалардың бірліктері.....	432
V. Акустикалық шамалардың бірліктері.....	434
VI. Жарық шамаларының бірліктері.....	435
VII. Иондайтын сәулелер мен радиоактивтіліктің бірліктері.....	435
VIII. Электромагниттік өрістің рационалданған және рационалданбаған теңдеулерінің арасындағы байланыс.....	436
IX. Темірдің кейбір сорты үшін магнит өрісінің В индукциясының Н кернеулігіне тәуелділігінің графигі.....	439
X. Іргелі физикалық тұрақтылар	439
XI. Күн жүйесінің планеталары жөніндегі кейбір мәліметтер...	440
XII. Астрономиялық тұрақтылар.....	440
XIII. Атомдар мен молекулалардың диаметрлері.....	441
XIV. T_k және P_k кризистік мәндері.....	441
XV. Әр түрлі температурадағы кеңістікті қанықтыратын су буының қысымы.....	441
XVI. Әр түрлі температурадағы судың меншікті булану жылуы.....	441
XVII. Кейбір сұйықтардың қасиеттері.....	442
XVIII. Кейбір қатты денелердің қасиеттері.....	442
XIX. Кейбір қатты денелердің серпімділік қасиеттері.....	443
XX. Қатты денелердің жылу өткізгіштігі.....	443
XXI. Диэлектриктердің диэлектрлік өтімділігі.....	443
XXII. Өткізгіштердің меншікті кедергісі.....	444
XXIII. Электролиттердегі иондардың қозғалғыштығы.....	444
XXIV. Электрондардың металдан шығу жұмысы.....	444
XXV. Кейбір заттардың сыну көрсеткіштері.....	445

XXVI. Антикато́дтың әр түрлі материалдарына арналған рентген сәулелерінің К-сериясының шекараларын анықтайтын толқын ұзындығы.....	445
XXVII. Сынап доғасының спектрлік сызықтары.....	445
XXVIII. Кейбір изотоптардың массалары.....	446
XXIX. Кейбір радиоактивті элементтердің жартылай ыдырау периоды.....	446
XXX. Химиялық элементтердің аттары, белгіленуі және атомдық массалары.....	447

Алғы сөз

Жинақтың бірінші басылымы 1958 жылы жарыққа шықты. Кейінгі шыққан басылымдар еш өзгеріссіз шығарылды. Алдыңғы онжылдықтармен салыстырғанда қазіргі кезде орта мектептерде физикаға дайындық деңгейі едәуір өсті, сондықтан да жоғарғы сынып оқушыларына жинақтағы көптеген есептерді шешу қиындық келтірмейді және алдағы уақытта студенттердің қызығушылығын туғызбайды. Бұл басылымға көптеген жаңа есептер қосылды, олар жинақты көпқырлы ете түсті. Мәтінде осындай есептер жұлдызшамен көрсетілген (*). Алдыңғы басылымдарда көптеген есептердің шешулері толығымен беріліп, студенттің өзбетіндік жұмысын жандандырмайтын еді. Бұл басылымда ондай түсіндірулер қысқартылды.

Физикалық шамалардың кесте түріндегі өлшем бірліктері және басқа да анықтамалық материалдар кітаптың соңында «Қосымшада» берілген.

I – IX тарауларын Ю.Е.Чариков, ал XIII – XXII тарауларын М.А. Погорский редакторлаған, XII – тарау бірлесе қаралды. Жалпы редакциясын Ю.Е.Чариков жасады.

Жаңа есептердің көбісі Санкт-Петербург қаласындағы Мемлекеттік техникалық университет студенттеріне және базалық мектептің жоғарғы сынып оқушыларына ұсынылады.

Екінші басылымға даярлау барысында жинақтағы кейбір есептердің мазмұнына және олардың жауаптарына шағын нақтылаулар енгіздік.

Ю.Е. Чариков, М.А. Погорский

I ТАРАУ

МЕХАНИКАНЫҢ ФИЗИКАЛЫҚ НЕГІЗІ

§ 1. Кинематика

Материялық нүктенің үдеуі және жылдамдығы

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}, \quad \vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt},$$

мұндағы \vec{r} – нүктенің радиус-векторы.

Нүктенің орын ауыстыруы: $\Delta t = t_1 - t_0$.

$$\Delta \vec{r} = \vec{r}(t_1) - \vec{r}(t_0) = \int_{t_0}^{t_1} \vec{v}(t) dt, \quad (1)$$

ал жылдамдықтың оған сәйкес өзгерісі

$$\Delta \vec{v} = \vec{v}(t_1) - \vec{v}(t_0) = \int_{t_0}^{t_1} \vec{a}(t) dt, \quad (2)$$

бірқалыпты қозғалыс үшін $\vec{v} = \text{const}$ және $\vec{a} = 0$, сонда (1) мен (2)-ден

$$\Delta \vec{r} = \vec{v} \Delta t, \quad \Delta \vec{v} = 0.$$

Түзусызықты қозғалыс жағдайында

$$|\Delta \vec{r}| = S = v \Delta t,$$

мұндағы $S - \Delta t$ уақыт аралығындағы нүктенің жүрген жолы.

Теңайнымалы қозғалыста $\vec{a} = \text{const}$, ал (2) мен (1) мына түрді қабылдайды

$$\begin{aligned} \Delta \vec{v} &= \vec{v}(t_1) - \vec{v}(t_0) = \vec{a} \Delta t, \\ \Delta \vec{r} &= \vec{r}(t_1) - \vec{r}(t_0) = \vec{v}_0 \Delta t + \frac{\vec{a}(\Delta t)^2}{2}. \end{aligned}$$

Қисық сызықты қозғалыс кезінде нүктенің үдеуін тангенциаль (жанама) және нормаль (центрге тартқыш) екі құраушыға жіктеген ыңғайлы:

$$\vec{a} = \vec{a}_r + \vec{a}_n,$$

мұндағы:

$$a_{\tau} = \frac{dv}{dt}.$$

- тангенциаль үдеу (траекторияға жанама бағытталған) және

$$a_n = \frac{v^2}{R}$$

- нормаль үдеу (бастапқы нормаль бойымен бағытталған), R – жанасатын шеңбердің радиусы (берілген нүктедегі траекторияның қисықтық радиусы).

Толық үдеу модулі бойынша мынаған тең:

$$a = \sqrt{a_{\tau}^2 + a_n^2} = \sqrt{\left(\frac{dv}{dt}\right)^2 + \left(\frac{v^2}{R}\right)^2}.$$

Айналмалы қозғалыстағы дененің бұрыштық жылдамдығы былай анықталады:

$$\vec{\omega} = \frac{d\vec{\varphi}}{dt},$$

мұндағы $\vec{\varphi}$ – дененің бұрылу бұрышының векторы, ол оң бұранда ережесі бойынша айналу осі бойымен бағытталған.

Осьтің төңірегінде дене бірқалыпты айналуы үшін

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} = \text{const.}$$

Бұл жағдайда бұрылу бұрышы және бұрыштық жылдамдық

$$\varphi = \omega t, \omega = \frac{\varphi}{t} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi n,$$

мұндағы: T – айналу периоды, n – айналу жиілігі, яғни, уақыт бірлігіндегі айналым саны.

Бұрыштық жылдамдықтың сызықтық жылдамдықпен байланысы

$$v = \omega R.$$

1.1.* Вектор \vec{v} бағытын кері өзгертті. $\Delta\vec{v}$, $|\Delta\vec{v}|$ және Δv өсімшесін табу керек.

1.2.* Радиус-вектордың бастапқы мәні $\vec{r}_1 = 4\vec{i} - 3\vec{j} + 12\vec{k}$, соңғысы – $\vec{r}_2 = -\vec{i} - 2\vec{j} + 2\vec{k}$. Табу керек: а) $\Delta\vec{r}$ радиус-векторының өсімшесін; б) $|\Delta\vec{r}|$ өсімшесінің модулін; в) $\Delta|\vec{r}|$ модулінің өсімшесін.

1.3.* Функцияның орташа мәнінің анықтамасын пайдаланып, дәлелдеңдер:

а) нүктенің t уақыттағы жылдамдығының $\langle\vec{v}\rangle$ орташа мәні осы уақыттағы нүктенің орын ауыстыруының $\Delta\vec{r}$ өсімшесін t -ға бөлгенге тең;

б) нүктенің t уақыттағы $\langle\vec{\omega}\rangle$ үдеуінің мәні осы уақыттағы жылдамдығының $\Delta\vec{v}$ өсімшесін t -ға бөлгенге тең.

1.4.* Нүктенің радиус-векторы уақыт өте $\vec{r} = 2t^2\vec{i} + t\vec{j} + \vec{k}$ заңы бойынша өзгереді. Нүктенің $t = 2$ с уақыт мезетіндегі $\vec{\omega}$ үдеуін \vec{v} және жылдамдығын, v жылдамдық модулін, сонымен қатар нүктенің 10 секундта жүрген S жолының жуық мәнін табу керек.

1.5.* Нүкте $a = 1\text{ м/с}^2$ үдеумен және $\vec{v} = at(2\vec{i} + 3\vec{j} + 4\vec{k})$, жылдамдықпен қозғалады. Табу керек:

а) $t = 1$ с уақыт мезетіндегі нүктенің жылдамдығының модулін;

б) нүктенің $\vec{\omega}$ үдеуін және оның $|\vec{\omega}|$ модулін;

в) нүктенің $t_1 = 2$ с уақытынан $t_2 = 3$ с уақытына дейінгі жүрген S жолын;

г) нүктенің қозғалысы қандай сипат алады?

1.6.* Бөлшектердің координаттарының уақытқа тәуелділігі:

$$x = a \cos \omega t, y = a \sin \omega t, z = 0 \text{ берілген;}$$

а) бөлшектердің \vec{r} радиус-векторын, \vec{v} жылдамдығын, $\vec{\omega}$ үдеуін және олардың модулдерін анықтау керек;

б) $\vec{r} \cdot \vec{v}$ скалярлық көбейтіндісін есептеп шығару керек. Нәтиже нені білдіреді?

в) бөлшек траекториясының тендеуін табу керек;

г) $\vec{r} \cdot \vec{\omega}$ скалярлық көбейтіндісін есептеп шығар. Алынған нәтиже нені білдіреді?

д) бөлшек траектория бойымен қандай бағытта қозғалады?

е) траектория бойындағы бөлшек қозғалысының сипаты қандай?
ж) егер y -тің таңбасын керсінше өзгертсе, бөлшектің қозғалысы қалай өзгереді?

1.7.* \vec{v}_0 бастапқы жылдамдықпен кішірек дене горизонтқа α брышын жасай лақтырылған. Ауаның кедергісін есепке алмай, мына мәндерді табу керек:

- а) ұшу қашықтығын L ;
- б) H ең жоғары көтерілу биіктігін;
- в) ең жоғары нүктеге көтерілу уақытын және τ ұшу уақытын;
- г) дене траекториясының теңдеуін.

1.8. А пунктінен В пунктіне келе жатқан пароходтың жылдамдығы өзен жағасымен салыстырғанда $v_1 = 10$ км/сағ, ал кейін қарай қайтар кездегі жылдамдығы $v_2 = 16$ км/сағ. Параходтың орташа жылдамдығын және өзен ағысының жылдамдығын табындар.

1.9. Өзен жағасымен салыстырғанда су ағысымен, ағысқа қарсы және өзен ағысына $\alpha = 90^\circ$ бұрыш жасай қозғалып келе жатқан қайықтың жылдамдықтарын табу керек. Өзен ағысының жылдамдығы $u = 1$ м/с, сумен салыстырғанда қайықтың жылдамдығы $v_0 = 2$ м/с.

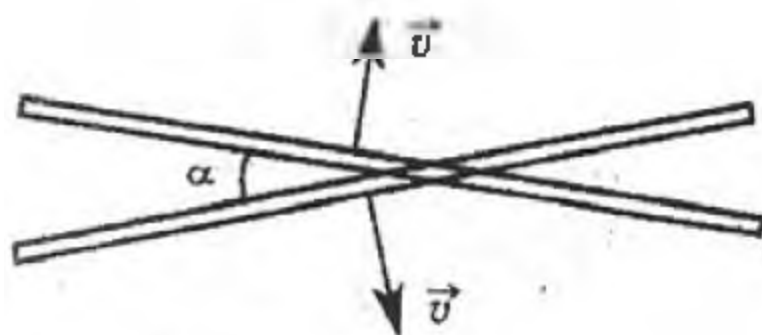
1.10. Қайық 7,2 км/сағ. жылдамдықпен өзен жағасына перпендикуляр бағытта қозғалады. Өзен ағысы оны төмен қарай $l = 150$ м-ге алып кетеді. Өзен ағысының жылдамдығын және қайықтың өзеннен өтуге кеткен уақытын табу керек. Өзеннің ені $L = 0,5$ км.

1.11.* Қайық өзен жағасына перпендикуляр бағытта сумен салыстырғанда $v = 0,3$ м/с тұрақты жылдамдықпен өзенді қиып өтеді. Өзеннің ені $b = 63$ м. Ағыс жылдамдығы парабола заңдылығына байланысты өзгереді

$$u = u_0 - 4 \frac{u_0}{b^2} \left(x - \frac{b}{2} \right)^2,$$

мұндағы: x – жағадан қашықтық, $u_0 = 5$ м/с-қа тең тұрақты шама. Қайық өзеннің қарама-қарсы жағына жеткенге дейін ағыс оны қандай S қашықтыққа төмен алып кетеді?

1.12.* Спортшылар v жылдамдықпен ұзындығы l колонна жасап жүгіреді. Алдарынан $u < v$ жылдамдықпен тренер жүгіріп шығады. Тренермен теңескен әр спортшы сол v жылдамдықпен бұрылады да артқа қарай жүгіреді. Барлық спортшылар бұрылғанда колоннаның ұзындығы қандай болады?



1-сурет



2-сурет

1.13.* Екі сырық α бұрыш жасап қиылысады және бірдей жылдамдықпен өз-өзіне перпендикуляр қозғалады (1-сурет). Сырықтардың қиылысу нүктесінің жылдамдығы қандай?

1.14.* Машина ұзын қабырғамен α бұрышын жасап v жылдамдықпен кетіп барады (2-сурет). Қабырғаға дейінгі арақашықтық l -ге тең болғанда, жүргізуші қысқа дыбыстық белгі берді. Жүргізуші жаңғырықты естігенде, машина қандай қашық-тықты жүріп өтті? Ауадағы дыбыс жылдамдығы c -ға тең.

1.15.* Дыбыстан жылдам ұшпак горизонталь бағытта ұнады. Бір-бірінен l -қашықтықта бір вертикаль бойында орналасқан екі микрофон ұшпактан шыққан дыбысты Δt уақытқа кешіктіріп тіркеді. Ауадағы дыбыс жылдамдығы c -ға тең. Ұшпактың жылдамдығы қандай?

Нұсқау: Дыбыс толқыны төбесінде ұшпак орналасқан конустың ішінде тарайды; ал конустың төбесіндегі α бұрышы былай анықталады:

$$\alpha = 2 \arcsin \frac{c}{v}.$$

1.16. $h = 300$ метр биіктіктегі аэростаттан тас құлап түсті. Егерде: а) аэростат $v = 5$ м/с жылдамдықпен көтерілсе; б) аэростат $v = 5$ м/с жылдамдықпен төмен түссе; в) аэростат қозғалмайды деп алсақ, тас жерге қанша уақытта түседі?

1.17. Бастапқы жылдамдықсыз дене $h = 19,6$ м биіктіктен құлайды. Дене өзінің қозғалысының бірінші секундында және соңғы секундында қанша жол жүріп өтеді? Өзінің қозғалысының n -метрін және соңғы метрін қанша уақытта жүріп өтеді?

1.18. Горизонталь лақтырылған доп қабырғаға соғылады, бастапқы лақтырған жерден $l = 5$ м қашықтықтағы допты

лақтыру доптың h биіктігінен оның қабырғаға соғылу биіктігі $\Delta h = 4,9$ м-ге кем. Доп қандай v_x жылдамдықпен лақтырылды? Доп қандай α бұрышпен қабырғаға соғылады?

1.19. Тас $v_x = 15$ м/с жылдамдықпен горизонталь бағытта лақтырылды. Тастың бастапқы қозғалысынан $t = 1$ с-тан кейінгі нормаль a_n және тангенциаль a_t үдеулерін табындар.

1.20. Горизонталь бағытпен лақтырылған тастың жылдамдығы $v_x = 10$ м/сек. Қозғалыс басталғаннан кейін $t = 3$ с уақыттан соң, тас траекториясының қисықтық радиусын R табындар.

1.21. Доп $v_0 = 10$ м/сек жылдамдықпен горизонтқа $\alpha = 45^\circ$ бұрыш жасай лақтырылған. Қозғалыс басталғаннан кейін $t = 1$ сек уақыттан соң, траекторияның қисықтық радиусын R табындар.

1.22. Доп v_0 жылдамдықпен горизонтқа α бұрыш жасай лақтырылған. Доптың ең үлкен көтерілу биіктігі $h = 3$ м, осы нүктедегі доп траекториясының қисықтық радиусын $R = 3$ м деп алып, v_0 және α шамаларын табындар.

1.23.* Горизонтқа $\alpha = 45^\circ$ бұрыш жасай, $v_0 = 10$ м/сек жылдамдықпен лақтырған доп лақтыру нүктесінен $l = 3$ м қашықтықта тұрған қабырғаға серпімді соғылды. Доптың қабырғадан серпілу нүктесінің және төмен түскен нүктесінің координаттарын, сонымен қатар доптың соғылған мезеттегі жылдамдығын табындар.

1.24.* Таудың биік беткейіне L қашықтыққа (етегінен горизонт бойымен) нысана қойылды. Көздеген нысанаға тию үшін, оқты қандай v_0 жылдамдықпен ату керек? Таудың көлбеу бұрышы α , горизонтқа қатысты ату бұрышы β .

1.25.* Ұшақ горизонталь бағытта тұрақты жылдамдықпен h биіктікте ұшып жүр. Жердегі қарудан оқ атылды. Атылған оқтың жылдамдығы v ату кезінде ұшаққа горизонтпен α бұрышын жасай бағытталған. Егерде оқ нысанаға тиді десек, ұшақ қандай u жылдамдықпен ұшқан?

1.26.* Теннисші қарама-қарсы қозғалыстағы барынша биік қабырғаға горизонтпен α бұрыш жасап v_0 жылдамдықпен доп соқты. Қабырғаның жылдамдығы u . Доп пен қабырғаның соқтығысы серпімді десек, ал қабырғадан серпілген доп лақтырылған нүктеге түссе қабырғаның доппен соқтығысқанға дейінгі уақытын анықта. Доп жер беті деңгейінен лақтырылған деп есепте.

1.27.* Екі тас бір нүктеден, бір уақытта горизонт бойымен α бұрыш жасай v_1 және v_2 ($2v_2 \geq v_1$) жылдамдықпен лақтырылды. Бірінші тас ең жоғарғы нүктеге жеткенде, екі тастың арақашықтығы қандай болады?

1.28.* Перронда адам тұр. Қасынан поезд өтіп барады. Бірінші вагон 1 с уақытта, ал екіншісі $3/2$ с уақытта өтті. Вагонның ұзындығы $l = 12$ м. Пойыздың a үдеуін және оның бақылау басталғандағы v_0 жылдамдығын табыңдар. Пойыздың қозғалысын теңайнымалы деп есептейміз.

1.29.* Бөлшек атқылау көзінен шығып, L қашықтықты тұрақты жылдамдықпен ұшып өтеді, сосын a үдеуімен тежеледі. Бөлшектің қандай жылдамдығында оның ұшып шыққанынан бастап тоқтағанына дейін қозғалыс уақыты ең аз болады?

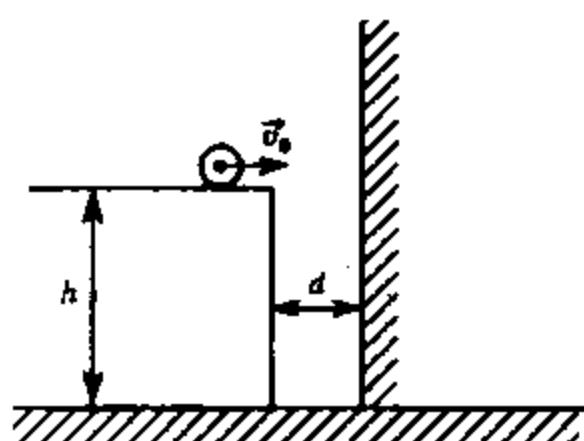
1.30.* Дене қозғалысын A нүктесінен бастап, t_0 уақыт аралығында теңүдемелі қозғалады, сосын сол үдеудің модулімен теңкемімелі қозғалады. Дене қозғалыс басталғаннан кейін A нүктесіне қанша уақытта оралады?

1.31.* Горизонталь орналасқан ауыр плита тұрақты u жылдамдықпен жоғары қозғалады. Жеңіл шарик h биіктіктен еркін түсіп, плитаға серпімді соғылады. Шариктің плитаға көршілес екі соғылғандағы уақыт аралығын табу керек.

1.32.* Көлбеу жазықтықта жоғары қарай қозғалған шарик әрқайсысының ұзындығы l екі кесіндіден өтіп, әрі қарай қозғалады. Шарик бірінші кесіндіні t , екінші кесіндісін $3t$ уақыт аралығында өтті. Шариктің бірінші кесіндінің соңындағы жылдамдығын табу керек.

1.33.* Көлбеу тақтада кішкене шарикті төменнен жоғарыға домалатып жіберді. Қозғалыс басталғаннан кейін $l = 30$ см арақашықтықты шарик екі рет: $t_1 = 1$ секундтан соң және $t_2 = 2$ секундтан соң өтті. Қозғалысты теңайнымалы деп есептеп, шариктің бастапқы v_0 жылдамдығын және a үдеуін табу керек.

1.34.* Серпімді дене h биіктен көлбеу жазыққа құлайды. Қанша t уақыттан соң дене көлбеу жазыққа екінші рет құлайды? Көлбеу жазық бұрышына құлау уақыты қалай тәуелді болады және неге?



3-сурет

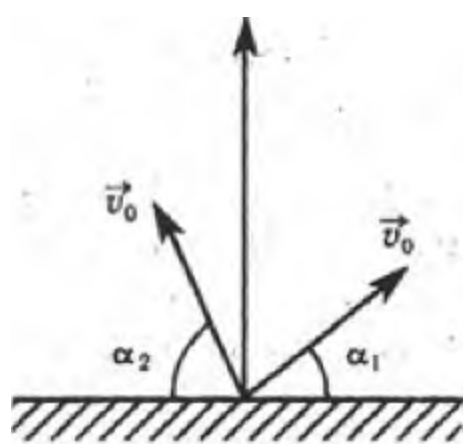
1.35.* Үстелдің горизонталь бетімен шетіне қарай кішкене шарик $v_0 = 10$ м/с жылдамдықпен домалайды (3-сурет). Қабырға мен үстелдің бір жақ бүйір бетінің арасы $d = 5$ см. Үстелдің биіктігі $h = 1$ м. Еденге жеткенше үстелдің бүйір бетіне шарик неше рет соғылады? Соққыларын абсолют серпімді деп есептеу керек.

1.36.* Көлбеулігі α болатын сына үстінде тиын жатыр. Тиын төмен еркін құлау үшін горизонталь жазықтықта сына қандай ең кіші үдеумен қозғалу керек?

1.37.* Бала биіктігі h қабырғадан L қашықтықтан доп лақтырды. Қабырға үстінен ұшып өту үшін, доптың төменгі жылдамдығы қандай болу керек? Допты қандай бұрышпен лақтырған ыңғайлы?

1.38.* Жер бетінде тұрған сфералық су қоймасының радиусы R . Жерден лақтырылған тас қандай ең төменгі жылдамдықпен оның төбесін жанай ұшып өтеді?

1.39.* Баскетбол корзинасына тимей, оның үстімен ұшып өту үшін допты горизонтқа қандай ең кіші бұрышпен лақтыру керек? Доптын радиусы r , корзинаның радиусы $R = 2r$, оның жерден биіктігі $H = 3$ м. Корзинадан горизонталь бойымен $l = 5$ м қашықтықта тұрған баскетболшы допты $h = 2$ м биіктіктен лақтырды.



4-сурет

1.40.* Екі доп бір уақытта модульдері бірдей v_0 жылдамдықпен бір нүктеден әр түрлі α_1 және α_2 бұрыштармен горизонталь беттен лақтырылды (4-сурет). Бір-біріне қатысты доптардың жылдамдығы неге тең? Уақыт өте доптардың арасындағы қашықтық қалай өзгереді? Доптар ілгерлемелі қозғалыста деп есептеледі.

1.41. Дөңгелектің тоғынында (шеңберінде) жатқан нүктенің сызықтық жылдамдығы v_1 , дөңгелектің осіне $r = 5$ см жақын жатқан нүктенің v_2 сызықтық жылдамдығынан 2,5 есе артық болады деп алып, айналып тұрған дөңгелектің R радиусын табу керек.

1.42. Дөңгелек теңүдемелі айнала бастаған соң, $n = 10$ айналыстан кейін бұрыштық жылдамдық $\omega = 20$ рад/с-ка жетті. Оның ε бұрыштық үдеуін табыңдар.

1.43. Дөңгелек $n = 180$ айн/мин жиілікпен айналады. Дөңгелек біраздан соң $\varepsilon = 3$ рад/с² бұрыштық үдеумен теңкемімелі айнала бастады. Дөңгелек қанша t уақыт өткенде тоқтайды? Тоқтағанға дейінгі дөңгелектің n айналым санын табыңдар.

1.44. Нүкте радиусы $R = 20$ см шеңбер бойымен $a_t = 5$ см/сек² тұрақты тангенциаль үдеумен қозғалады. Қозғалыс басталғаннан қанша уақыттан кейін: а) нүктенің α_n нормаль үдеуі тангенциаль үдеуге тең болады; б) тангенциаль үдеуден екі есе үлкен болады?

1.45. Бор атомының моделі бойынша сутек атомының электроны дөңгелек орбитамен v сызықтық жылдамдықпен қозғалады. Электронның ядроны айналуының бұрыштық жылдамдығы мен оның нормаль жылдамдығын табыңдар. Орбитаның радиусын $r = 0,5 \cdot 10^{-10}$ м және бұл орбитадағы электронның сызықтық жылдамдығын $v = 2,2 \cdot 10^6$ м/с деп аламыз.

1.46. Радиусы $R = 10$ см дөңгелек $\varepsilon = 3,14$ рад/с² бұрыштық үдеумен айналады. Қозғалыс басталғаннан кейінгі бірінші секундтың соңында дөңгелек тоғынындағы нүкте үшін: а) ω бұрыштық жылдамдықты; б) v сызықтық жылдамдықты; в) a_t тангенциаль үдеуі және α_n нормаль үдеуін; г) толық үдеуді; д) тоғынның сәйкес нүктесі арқылы жүргізілген дөңгелектің радиусы мен толық үдеу векторының жасайтын бұрышын анықтаңдар.

1.47. Нүкте радиусы $R = 2$ см шеңбердің бойымен қозғалады. Жолдың уақытқа тәуелділігі $s = ct^3$ теңдеуімен берілген, мұндағы $c = 0,1$ см/с³. Нүктенің сызықтық жылдамдығы $v = 0,3$ м/с болған мезеттегі нүктенің a_t тангенциаль және α_n нормаль үдеулерін табыңдар.

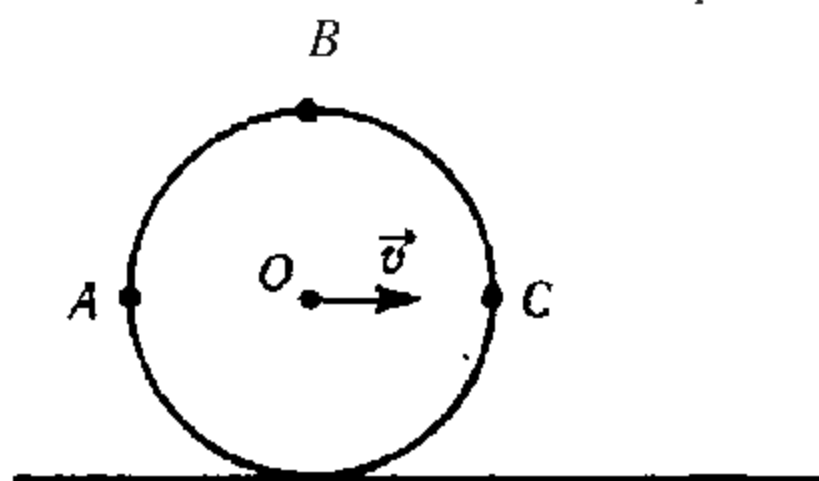
1.48. Радиусы $R = 10$ см қозғалыстағы дөңгелек радиусының бұрылу бұрышының уақытқа тәуелділігі $\varphi = a + bt^2 + ct^3$ теңдеуімен беріледі. Мұндағы: a , b және c – тұрақты шамалар, $b = 2$ рад/с², $c = 1$ рад/с³. Дөңгелек тоғынында (шеңберінде) жатқан нүктелер үшін қозғалыс басталғаннан $2c$ уақыттан соң төмендегідей шамаларды табу керек: а) ω бұрыштық және v сызықтық жылдамдықтарды; б) a_t тангенциаль және a_n нормаль үдеулерін; в) ϵ бұрыштық үдеуді анықтаңдар.

1.49.* Тоғын (шеңбер) v жылдамдығымен сырғанамай дөңгелейді (5- сурет). А, В, С нүктелерінің жылдамдығын табу керек. Оларды координаттық осьтердің орттары арқылы өрнектендер.

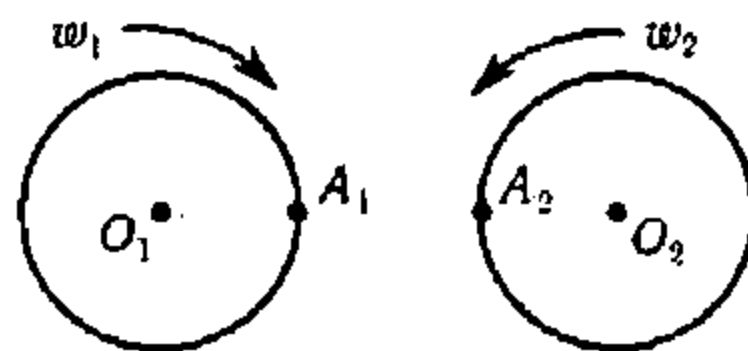
1.50.* Цилиндр горизонталь жазықтық бойымен сырғанамай дөңгелейді. Цилиндрдің радиусы – r . А және В нүктелері траекторияларының кисықтық радиустарын табыңдар (5-сурет).

1.51.* Дене $\vec{\omega}_1 = at^2\vec{i}$ және $\vec{\omega}_2 = at^2\vec{j}$, $a=1$ рад/с² жылдамдық-тарымен екі айналымға қатысады. Алғашқы 3 сек-та дене қандай φ бұрышқа бұрылады? Бұрылыс қай осьтің айналасында өтеді?

1.52.* Конус жазықта сырғанамай айналады. Конустың осі оның төбесі арқылы өтетін вертикальді ω жылдамдықпен айналады. Конустің биіктігі h , ал осі мен жасаушысының арасындағы бұрыш α . Өз осінің төңірегінде айналып тұрған конустің бұрыштық жылдамдығы неге тең? Конус табанының диаметрінде орналасқан кез келген бір нүктенің сызықтық жылдамдығын анықтаңдар.



5-сурет



6-сурет

1.53.* Қатар орналасқан және бір-біріне қарама-қарсы айналатын платформаларда (6-сурет) A_1 және A_2 бақылаушылар тұр. Суретте көрсетілгендей мезетте $O_1O_2 = 5$ м, $O_1A_1 = O_2A_2 = 2$ м, $\omega_1 = \omega_2 = 1$ рад/с. Осы мезетте A_2 бақылаушы A_1 бақылаушыға қарағанда қандай жылдамдықпен қозғалады?

1.54.* Қабырғасы a -ға тең квадраттың төбесінде төрт тасбақа орналасқан. Олар тұрақты v жылдамдықпен бір уақытта қозғала бастайды. Әр тасбақа өзінің көршісіне сағат тілімен қозғалады. Тасбақалар қай жерде және қанша уақыттан соң кездеседі?

1.55. Автомобиль жүрген жолының бірінші жартысында 80 км/сағ жылдамдықпен, ал екінші жартысында 40 км/сағ жылдамдықпен қозғалды. Автомобиль қозғалысының орташа жылдамдығы қандай?

1.56. Ауамен салыстырғанда ұшақ $v_1 = 800$ км/сағ жылдамдықпен ұшады. Жел батыстан шығысқа қарай $v_2 = 15$ м/с жылдамдықпен соғады. Жермен салыстырғанда ұшақ қандай жылдамдықпен қозғалады және ұшақ: 1) оңтүстікке қарай, 2) солтүстікке қарай, 3) батысқа қарай және 4) шығысқа қарай ауысу үшін бағытты меридианға қандай бұрышта ұстап отыру керек?

1.57. Ұшақ A пунктінен шығысқа қарай 300 км қашықтықта орналасқан B пунктіне ұшып келеді. Егер: 1) жел жоқ болса, 2) жел оңтүстіктен солтүстікке қарай соғып тұрса және 3) жел батыстан шығысқа қарай соғып тұрса, онда ұшу уақытының ұзақтығы қалай болады? Желдің жылдамдығы $v_1 = 20$ м/с, ауамен салыстырғанда ұшақтың жылдамдығы $v_2 = 600$ км/сағ.

1.58. Вертикаль жоғары лақтырылған дене қайтадан жерге 3 сек-тан кейін түседі. Дененің бастапқы жылдамдығы қандай? Дене қандай биіктікке көтерілді? Ауаның кедергісі есепке алынбасын.

1.59. Тас жоғары қарай 10 м биіктікке лақтырылды.

1) Тас жерге қанша уақыттан кейін қайтып түседі?

2) Егерде тастың бастапқы жылдамдығын екі есе арттырсақ, онда тас қандай биіктікке көтеріледі? Ауаның кедергісі есепке алынбасын.

1.60. Еркін түсіп келе жатқан дене өз қозғалысының соңғы секундында барлық жолының жартысынан өтеді. Мыналарды:

1) дененің қандай h биіктіктен төмен түсетінін, 2) түсу уақытының қаншаға созылатындығын анықтаңдар.

1.61. A денесі v_1 бастапқы жылдамдықпен вертикаль жоғары лақтырылған, $v_2 = 0$ бастапқы жылдамдықпен, ал B денесі h биіктіктен төмен түседі. Денелер алғашында бірдей қозғалды деп алып, A және B денелердің x арақашықтығының t уақытқа байланысын өрнектендер.

1.62. Метрополитеннің екі бекетінің арақашықтығы 1,5 км. Осы арақашықтықтың бірінші жартысында пойыз теңүдемелі қозғалыспен, ал екіншісінде — теңкемімелі қозғалыспен өтеді. Поездың ең жоғары жылдамдығы 50 км/сағ. Мыналарды: 1) сан мәні кемуге тең деп алынған үдеудің шамасын, 2) пойыздың бір станциядан екіншісіне дейін жүруге кеткен уақытын табу керек.

1.63. Пойыз 36 км/сағ жылдамдықпен қозғалады. Егер будың берілуін тоқтатсақ, онда ол теңкемімелі қозғала отырып, 20 сек өткеннен кейін тоқтайды. Мыналарды: 1) пойыздың теріс үдеуін, 2) будың берілуін аялдамаға дейін қандай қашықтықта тоқтату керектігін табу керек.

1.64. Пойызды тежегенде теңкемімелі қозғалыстың жылдамдығы 1 мин ішінде 40 км/сағ-тан 28 км/сағ-қа дейін азаяды. Мыналарды: 1) пойыздың теріс үдеуін, 2) тежеу кезіндегі жүрген арақашықтықты табу керек.

1.65. Вагон $0,5 \text{ м/с}^2$ теріс үдеумен теңкемімелі қозғалады. Вагонның бастапқы жылдамдығы 54 км/сағ. Вагон қозғалыс басталған нүктеден қанша уақыттан кейін және қандай қашықтықта тоқтайды?

1.66. A денесі v'_0 бастапқы жылдамдықпен қозғала бастайды да, қозғалысын тұрақты a_1 үдеумен жалғастырады. A денесімен бірге бір уақытта B денесі де бастапқы v''_0 жылдамдықпен қозғала бастайды да, әрі қарай тұрақты a_2 теріс үдеумен қозғалады. Қозғалыстың басынан қанша уақыт өткеннен кейін осы екі дененің жылдамдығы бірдей болады?

1.67. A денесі $v'_0 = 2 \text{ м/сек}$ бастапқы жылдамдықпен, тұрақты a үдеумен жалғастырады. A денесінің қозғала бастауынан $\Delta t = 10 \text{ сек}$ уақыт өткенде осы нүктеден $v''_0 = 12 \text{ м/с}$ жылдамдықпен B денесі де қозғала бастайды да, ол да a үдеумен қозғалады. B

денесі A денесін қуып жету үшін a үдеуінің ең үлкен мәні қандай болу керек?

1.68. Дененің жүрген s жолының t уақытқа тәуелділігі $s=A+Bt+Ct^2+Dt^3$ теңдеуі арқылы беріледі, мұндағы $C = 0,14$ м/сек² және $D = 0,01$ м/сек³. Қозғалыс басталғаннан кейін қанша уақыттан соң дененің үдеуі 1 м/сек²-қа тең болады? Осы уақыттағы дененің орташа үдеуі неге тең болады?

1.69. Горизонталь лақтырылған дене жерге 0,5 сек-тан кейін лақтырылған нүктеден 5 м қашықтыққа түсті. Тасты қандай h биіктіктен лақтырған? Бастапқы v_0 жылдамдық қандай? Ол қандай v жылдамдықпен жерге түскен? Тастың траекториясы мен жерге түсу нүктесіндегі горизонт қандай φ бұрышын құрайды? Ауаның кедергісі есепке алынбасын.

1.70. Тас горизонталь лақтырылған. Қозғалыс басталғаннан кейін 0,5 сек уақыт өткеннен соң тастың жылдамдығының сан мәні оның бастапқы жылдамдығынан 1,5 есе өсті. Тастың бастапқы жылдамдығын табындар. Ауаның кедергісі есепке алынбасын.

1.71. Тас 10 м/с жылдамдықпен горизонталь лақтырылған. Қозғалыс басталғаннан 3 сек уақыттан соң тас траекториясының қисықтық радиусын табындар. Ауаның кедергісі есепке алынбасын.

1.72. Санкт-Петербургте болған спорт жарысында спортшы ядроны 16 м 20 см қашықтыққа лақтырды. Осындай ядро Ташкентте (сондай шартпен) қандай қашықтыққа ұшар еді? (Бастапқы жылдамдықтары да және ұшу бағытының горизонтқа жасайтын бұрышы да бірдей болғанда). Санкт-Петербургтегі еркін түсу үдеуі 981,9 см/сек²-қа, ал Ташкентте 980,1 см/сек²-қа тең.

1.73. Дене v_0 жылдамдықпен горизонтқа бұрыш жасай лақтырылды. Ұшу ұзақтығы $t = 2,2$ сек. Осы дененің ең үлкен көтерілу биіктігін табу керек. Ауаның кедергісі есепке алынбасын.

1.74. Горизонтқа $\alpha = 45^\circ$ бұрыш жасай $v_0 = 12$ м/с жылдамдықпен лақтырылған тас s қашықтықтағы жерге түсті. Тасты сол v_0 бастапқы жылдамдықта сол орынға түсіру үшін горизонталь бағытта қандай биіктіктен лақтыру керек?

1.75. Мыналардың: 1) Жердің тәуліктік айналуының; 2) сағаттың сағаттық тілінің; 3) сағаттың минуттық тілінің; 4) айналу периоды $T = 88$ мин дөңгелек орбитамен айналатын Жердің жасанды серігінің бұрыштық жылдамдықтарын; 5) осы жасанды серіктің орбитасы Жердің бетінен 200 км қашықтықта орналасқан деп алып, оның сызықтық жылдамдығын табыңдар.

1.76. Санкт-Петербург ендігіндегі (60°) жер бетіндегі бір нүктенің айналуының сызықтық жылдамдығын табыңдар.

1.77. Ұшақта отырған жолаушыларға Күн аспанда бір орнында қозғалмай тұрған сияқты болып көріну үшін, экватордың үстінде шығыстан батысқа қарай ұшып бара жатқан ұшақтың жылдамдығы қандай болу керек?

1.78. Бір-бірінен $l = 0,5$ М қашықтықта орналасқан екі дискісі бар ось $\nu = 1600$ айн/мин жиілікке сәйкес келетін бұрыштық жылдамдықпен айналады. Ось бойымен ұшып келе жатқан оқ екі дискіні де тесіп өтеді; екінші дискідегі оқтан пайда болған тесік, бірінші дискідегі тесікке карағанда $\varphi = 12^\circ$ бұрышқа ығысқан. Оқтың жылдамдығын табыңдар.

1.79. Дөңгелектің шеңберінде жатқан нүктенің сызықтық жылдамдығы v_1 дөңгелектің осіне 5 см жақын жатқан нүктенің v_2 сызықтық жылдамдығынан 2,5 есе артық болады деп алып, айналып тұрған дөңгелектің радиусын табыңдар.

1.80. Теңүдемелі қозғалған дөңгелектің $N = 10$ айналымнан соң бұрыштық жылдамдығы $\omega = 20$ рад/сек жетті. Дөңгелектің бұрыштық үдеуін табыңдар.

1.81. Маховик дөңгелегі бастапқы айналыстан $t = 1$ мин уақыт өткеннен соң $\nu = 720$ айн/мин-қа сәйкес келетін жылдамдыққа жетеді. Осы минуттың ішіндегі дөңгелектің бұрыштық үдеуін және айналыс санын табу керек. Қозғалысты теңүдемелі деп аламыз.

1.82. Теңкемімелі айналып тұрған дөңгелек тежеуден кейін 1 мин уақыт ішінде өзінің жылдамдығын 300 айн/мин-тан 180 айн/мин-қа дейін кемітеді. Дөңгелектің бұрыштық жылдамдығын және осы уақыттың ішінде жасаған айналыс санын табыңдар.

1.83. Желдеткіш жиілігі 900 айн/мин-қа сәйкес келетін жылдамдықпен айналады. Ажыратып тастағаннан кейін желдеткіш

теңкемімелі айналады да, тоқтағанға дейін 75 айналыс жасайды. Желдеткішті ажыратқан кезден бастап толық тоқтағанға дейін қанша уақыт өтті?

1.84. Білік, 180 айн/мин жиілікке сәйкес келетін, тұрақты жылдамдықпен айналады. Бірнеше уақыттан кейін білік тежеледі де сандық мәні 3 рад/сек^2 -қа тең бұрыштық үдеумен теңкемімелі айналатын болады. Білік қанша уақыттан кейін тоқтайды? Ол тоқтағанға дейін қанша айналым жасайды?

1.85. Нүкте радиусы $R = 20 \text{ см}$ шеңбердің бойымен $a_t = 5 \text{ м/сек}^2$ тұрақты тангенциаль үдеумен қозғалады. Қозғалыс басынан қанша уақыттан кейін нүктенің нормаль үдеуі a_n : 1) тангенциаль үдеуге тең болады; 2) тангенциаль үдеуден екі есе үлкен болады?

1.86. Нүкте радиусы $R = 10 \text{ см}$ шеңбердің бойымен a_t тұрақты тангенциаль үдеумен қозғалады. Қозғалыс басталғаннан кейін бесінші айналымның аяғында нүктенің сызықтық жылдамдығы $v = 79,2 \text{ см/сек}$ -қа жеткендігі белгілі болса, онда оның тангенциаль үдеуі a_t қандай болады?

1.87. Нүкте, радиусы $R = 10 \text{ см}$ шеңбердің бойымен a_t тұрақты тангенциаль үдеумен қозғалады. Егер қозғалыс басталғаннан кейін бесінші айналымның аяғында нүктенің сызықтық жылдамдығы $v = 10 \text{ см/с}$ болса, онда нүктенің қозғалыс басталғаннан кейінгі $t = 20 \text{ сек}$ уақыттан соң a_n нормаль үдеуі қандай болады?

1.88. Бірінші жуықтауда сутек атомындағы электрон дөңгелек орбитаның бойымен тұрақты v жылдамдықпен қозғалады деп алуға болады. Электронның ядроны айналуының бұрыштық жылдамдығы мен оның нормаль үдеуін табыңдар. Орбитаның радиусын $r = 0,5 \cdot 10^{-10} \text{ м}$ және бұл орбитадағы электронның жылдамдығын $v = 2,2 \cdot 10^6 \text{ м/сек}$ деп аламыз.

1.89. Нүкте радиусы $R = 2 \text{ см}$ шеңбердің бойымен қозғалады. Жолдың уақытқа тәуелділігі $x = Ct^3$ теңдеуімен берілген, мұндағы $C = 0,1 \text{ см/сек}^3$. Нүктенің сызықтық жылдамдығы $v = 0,3 \text{ м/сек}$ болған мезеттегі оның нормаль және тангенциаль үдеулерін табыңдар.

1.90. Шеңбер бойымен қозғалған нүкте жолының уақытқа тәуелділігінің теңдеуі $s = A + Bt + Ct^2$. Мұндағы $B = 2 \text{ м/сек}$ және

$C = 1 \text{ м/сек}^2$. $t' = 2 \text{ сек}$ болғанда нүктенің нормаль үдеуі $a'_n = 0,5 \text{ м/сек}^2$ -қа тең болатынын белгілі деп есептеп, оның сызықтық жылдамдығын, қозғалыс басталған соң $t = 3 \text{ сек}$ өткеннен кейінгі тангенциаль, нормаль және толық үдеулерін табу керек.

1.91. Теңүдемелі қозғалыс басталғаннан 2 сек уақыттан соң, дөңгелектің шеңберінде жатқан нүктенің толық үдеуінің векторы, осы нүктенің сызықтық жылдамдығының бағытымен 60° бұрыш жасайды. Дөңгелектің бұрыштық үдеуін табыңдар.

1.92. Дөңгелек тұрақты $\varepsilon = 2 \text{ рад/сек}^2$ бұрыштық үдеуімен айналады. Қозғалыс басталғаннан $t = 0,5 \text{ сек}$ -тан кейін дөңгелектің толық үдеуі $a = 13,6 \text{ см/сек}^2$ -қа тең болды. Дөңгелектің радиусын табу керек.

1.93. Радиусы $R = 0,1 \text{ м}$ дөңгелек радиусының бұрылу бұрышының уақытқа тәуелділігі $\varphi = A + Bt + Ct^3$ тендеуімен өрнектелетіндей айналады. Мұндағы $B = 2 \text{ рад/сек}$ және $C = 1 \text{ рад/сек}^3$. Дөңгелектің шеңберінде жатқан нүктелер үшін қозғалыс басталғаннан кейін 2 сек уақыттан соң төмендегідей шамаларды табыңдар: 1) бұрыштық жылдамдықты; 2) сызықтық жылдамдықты; 3) бұрыштық үдеуді; 4) тангенциаль үдеуді; 5) нормаль үдеуді.

1.94. Радиусы $R = 5 \text{ м}$ дөңгелек радиусы бұрылу бұрышының уақытқа тәуелділігі $\varphi = A + Bt + Ct^2 + Dt^3$ тендеуімен берілген. Мұндағы $D = 1 \text{ рад/сек}^3$. Дөңгелектің шеңбері бойында жатқан нүкте үшін қозғалыстың әрбір секундтағы тангенциаль үдеуінің Δa_t өзгерісін табыңдар.

1.95. Айналмалы қозғалыстағы дөңгелек радиусы бұрылу бұрышының уақытқа тәуелділігі $\varphi = A + Bt + Ct^2 + Dt^3$ тендеумен өрнектеледі. Мұндағы $B = 1 \text{ рад/сек}$, $C = 1 \text{ рад/сек}^2$ және $D = 1 \text{ рад/сек}^3$. Қозғалыстың екінші секундының соңында дөңгелектің шеңберінде жатқан нүктенің нормаль үдеуі $a_n = 3,46 \cdot 10^2 \text{ м/сек}^2$ -қа тең деп алсақ, дөңгелектің радиусы қандай болады?

1.96. Айналып тұрған дөңгелектің шеңбері бойында жатқан нүктенің толық үдеуінің векторы оның сызықтық жылдамдығымен 30° бұрыш жасайтын мезетіндегі нормаль үдеуінің тангенциаль үдеуінен қанша есе үлкен болатындығын табыңдар.

§ 2. Материялық нүктенің және қатты денелердің ілгерілемелі қозғалысының динамикасы

Материялық нүкте динамикасының негізгі заңы (Ньютонның екінші заңы) мына түрде өрнектеледі:

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt},$$

мұндағы: \vec{F} – массасы m материялық нүктеге әсер етуші қорытқы күш, $\vec{p} = m\vec{v}$ – материялық нүктенің импульсі, \vec{v} – оның жылдамдығы.

Материялық нүктенің $\Delta t = t_2 - t_1$ уақыт аралығындағы импульсінің $\Delta\vec{p}$ өзгеруі

$$\Delta\vec{p} = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F} dt.$$

Денелердің механикалық жүйесі импульсінің өзгеру заңы:

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F}_{\text{сыртқы}},$$

мұндағы:

$$\vec{F}_{\text{сырт}} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_{\text{сыртқы}} - \text{сыртқы күштердің бас векторы};$$

$$\vec{p} = \sum_{i=1}^n \vec{p}_i - \text{дененің } n \text{ механикалық жүйесінің импульсі}.$$

Қатты дененің ілгерілемелі қозғалыс динамикасының негізгі заңы:

$$\frac{d(m\vec{v})}{dt} = \vec{F}_{\text{сырты}}.$$

Егер дене массасы $m = \text{const}$, онда

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{1}{m} \vec{F}_{\text{сырты}}.$$

Материялық нүктелер жүйесінің масса центрі былайша анықталады:

$$\vec{r}_c = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^n m_i \vec{r}_i,$$

мұндағы:

$$M = \sum_{i=1}^n m_i - \text{жүйенің барлық массасы};$$

m_i – материялық нүктенің массасы, \vec{r}_i – оның радиус-векторы.

Массаның үзіліссіздік жағдайында (мысалы, қатты дене) формула мына түрде жазылады:

$$\vec{r}_c = \frac{1}{M} \int \vec{r} dm.$$

Жүйенің массалар центрінің жылдамдығы:

$$\vec{v}_c = \frac{d\vec{r}_c}{dt} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_i = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^n m_i \frac{d\vec{r}_i}{dt} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_i.$$

Массалар центрінің қозғалыс заңы:

$$\frac{d}{dt}(M\vec{v}_c) = \vec{F}_{\text{сырты}}.$$

Денелердің тұйық жүйесі импульсінің сақталу заңы: ($\vec{F}_{\text{сыртқы}} = 0$) $\frac{d\vec{p}}{dt} = 0$, демек денелердің (нүктелердің) тұйық жүйесінің импульсі $\vec{p} = \text{const}$.

Массасы айнымалы дененің қозғалыс теңдеуі (Мещерский теңдеуі)

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{F}_{\text{сырты}} + \vec{u} \frac{dm}{dt},$$

мұндағы: $\vec{u} \frac{dm}{dt} = \vec{F}_p$ – реактивті күш, \vec{u} – дене массасы кемуінің (артуының) салыстырмалы жылдамдығы.

Материялық нүктенің айналмалы қозғалысы үшін Ньютонның екінші заңы:

$$F_n = \frac{mv^2}{R} = m\omega^2 R,$$

мұндағы: v – сызықтық жылдамдық, ω – бұрыштық жылдамдық, R – траекторияның берілген нүктедегі қисықтық радиусы.

Материялық нүктенің салыстырмалы қозғалысы динамикасының негізгі теңдеуі

$$m\vec{a}_r = \vec{F} - m\vec{a}_e - m\vec{a}_k,$$

мұндағы: \vec{a}_r – нүктенің салыстырмалы үдеуі, \vec{a}_e – нүктенің тасымалдау үдеуі, \vec{a}_k – нүктенің кориолис үдеуі:

$$\vec{a}_k = 2[\vec{\Omega} \times \vec{v}_r], \vec{a}_e = \vec{v}_0 + [\vec{\Omega} \times \vec{r}_r] + [\vec{\Omega} \times (\vec{\Omega} \times \vec{r}_r)],$$

\vec{v}_0 – инерциялық санақ жүйесімен салыстырғандағы инерциялық емес жүйенің жылдамдығы, $\vec{\Omega}$ – инерциялық санақ жүйесімен салыстырғандағы инерциялық емес санақ жүйесі айналуының бұрыштық жылдамдығы, \vec{r}_r – нүктенің салыстырмалы жылдамдығы (инерциялық емес санақ жүйесіндегі жылдамдық).

Екі материялық нүктенің гравитациялық тарту күші:

$$\vec{F} = -G \frac{m_1 m_2}{r^3} \vec{r},$$

мұндағы: $G = 6,672 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$ – гравитациялық тұрақтылық, m_1 және m_2 – өзара әрекеттесетін нүктелердің массалары, \vec{r} – материялық нүктеге массалар жүйесінің центрінен жүргізілген радиус-вектор.

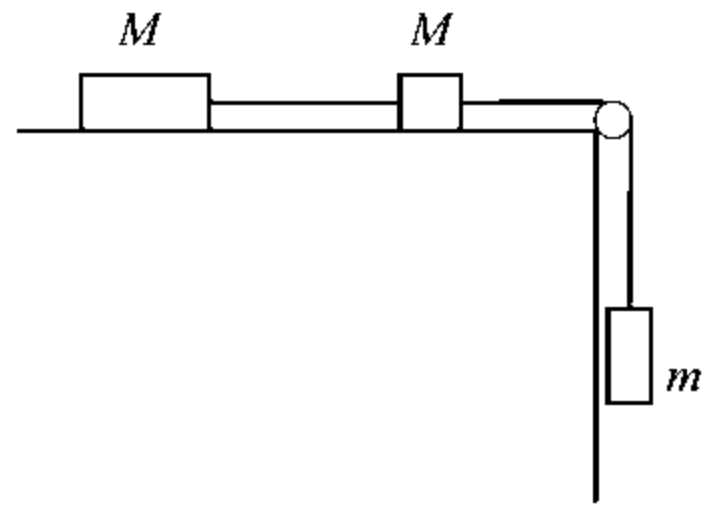
Гравитациялық әрекеттесудің потенциалдық энергиясы:

$$W = -G \frac{m_1 m_2}{r},$$

Кеплердің үшінші заңы:

$$\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2 = \left(\frac{R_1}{R_2}\right)^3,$$

мұндағы: T_1 , T_2 – планеталардың айналу периодтары, R_1 , R_2 – олардың орбиталарның үлкен жарты осьтері.



7-сурет

2.1. Массасы $0,5$ кг дене түзусызықты қозғалады, ал оның X координатасы уақытқа байланысты $X = a - bt + ct^2 - dt^3$ өзгереді, мұндағы: $c = 5$ м/с² және $d = 1$ м/с³. Қозғалыс уақытының бірінші секундының соңында денеге әсер ететін күштің F шамасын табу керек.

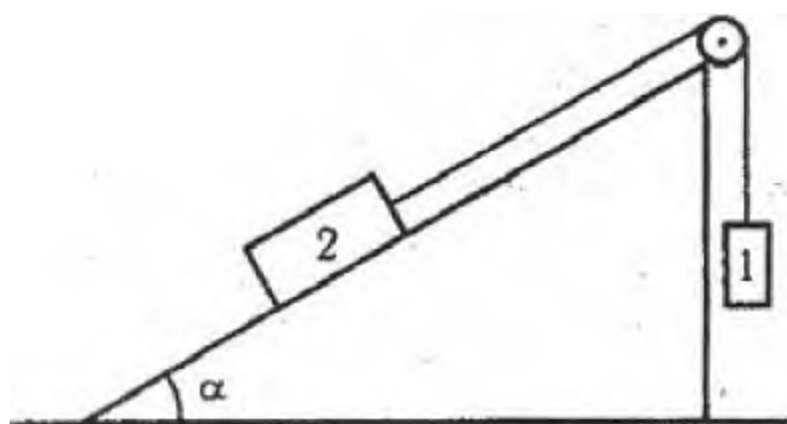
2.2. Массасы $m = 1$ кг дененің, S жүрген жолының t уақытқа тәуелділігі $S = a \sin \omega t$ теңдеуімен берілген, мұндағы $a = 5$ см, $\omega = \pi$ рад/с. Қозғалыс басталғаннан $t = 1/6$ с уақыттан соң денеге әсер ететін F күшті, оның үдеуін және дененің импульсін табындар.

2.3.* Массасы $m = 1$ кг дененің, координаталары x және y уақытқа байланысты мына теңдеулер бойынша өзгереді: $x = a - bt + ct^2$, $y = dt^3$, мұндағы: $c = 1$ м/с², $d = 2$ м/с³. Бесінші секундтың соңында денеге әсер еткен күшті және дененің үдеуін табу керек.

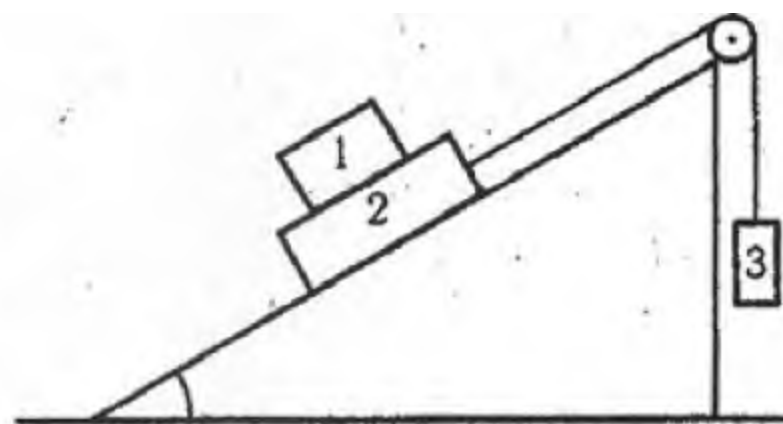
2.4.* Горизонталь үстелде салмақсыз созылмайтын жіппен байланған, әрқайсысының массасы $M = 1$ кг болатын екі дене жатыр (7-сурет). 2-ші дене массасы $m = 0,5$ кг жүкпен созылмайтын жіппен байланған. Блок салмақсыз. Блоктағы үйкелісті ескермейміз. Бірінші дененің үстелмен үйкеліс коэффициенті $k_1 = 0,1$, екіншісінікі $k_2 = 0,15$. Табу керек:

- а) денелердің қозғалыс үдеуін;
- б) жіптердің керілуін;
- в) блоктың осіне түскен қысым күшін.

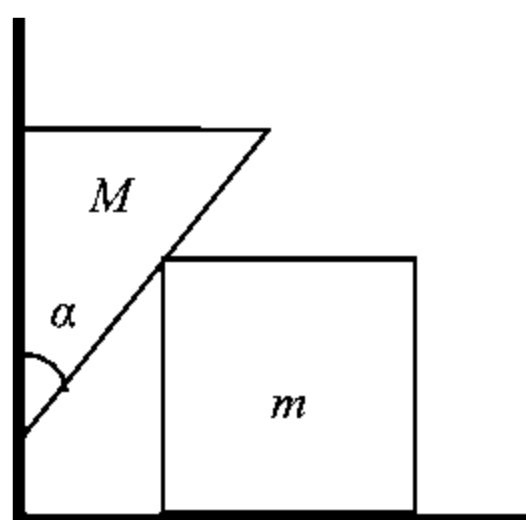
2.5.* Массалары ($m_1 = m_2 = m = 1$ кг) бірдей екі дене салмақсыз созылмайтын жіп арқылы байланған (8 - сурет). 2 дене горизонтқа $\alpha = 30^\circ$ бұрыш жасай көлбеу жазық бойымен қозғалады. Жіптің керілу күшін және денелердің үдеуін табу керек. Блоктың, сондай-ақ 2-ші дененің көлбеу жазықтықтағы үйкелісін ескермейміз.



8-сурет



9-сурет



10-сурет

2.6.* 2-ші дененің көлбеу жазықтықтағы үйкеліс коэффициенті $k = 0,1$ деп есептеп, алдыңғы есепті шығарындар.

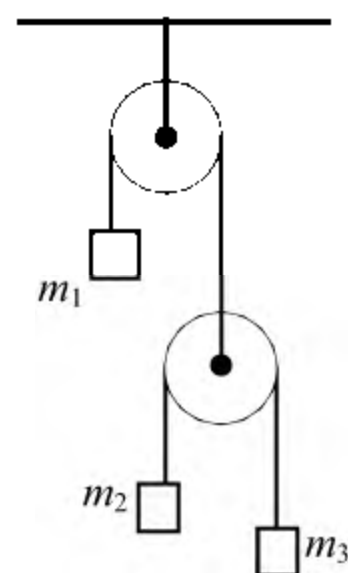
2.7.* 9-шы суретте көрсетілген жүйедегі жүктің үдеуін табу керек. $M_1 = 1$ кг, $M_2 = 5$ кг, $M_3 = 2$ кг. Бірінші және екінші жүктің арасындағы үйкеліс коэффициенті $k = 0,2$. Көлбеу жазықтықпен және екінші жүктің арасындағы үйкелісті ескермейміз. $\alpha = 30^\circ$. Бірінші және екінші жүктердің арасында сырғанау бола ма?

2.8.* Үйкеліс коэффициенті k көлбеу жазықтықта массасы M дене жатыр. Денеге әсер ететін үйкеліс күшінің көлбеу жазықтықтың α бұрышына тәуелділік графигін салу керек.

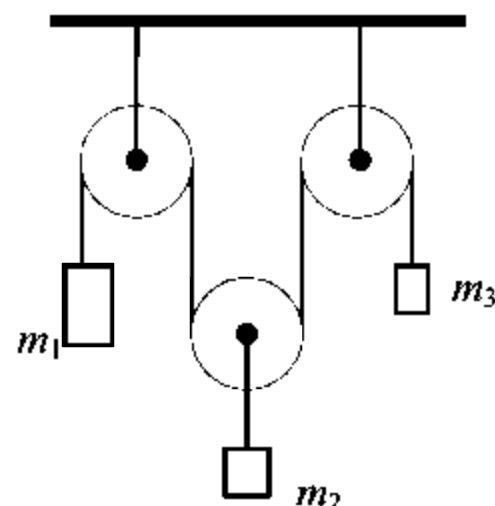
2.9.* Кубтың үдеуін табындар (10-сурет). Синаның массасы M , кубтың массасы – m . Синаның бұрышы α . Үйкеліс есепке алынбайды.

2.10.* Табанындағы бұрыштары α болатын сына үстел үстінде тұр. Массасы m кубик сынаның бойымен қозғалып келеді. Синаның үдеуін тап. Үйкеліс есепке алынбайды.

2.11.* Массасы M , табанындағы бұрышы α сына үстел үстінде тұр. Массасы m кубик сынаның бойымен үйкеліссіз қозғалады. Сына тынышталу үшін үстел мен сынаның арасындағы ең төменгі үйкеліс коэффициенті қандай болу керек?



11-сурет



12-сурет

2.12.* 11-сурет бойынша $m_1 = m_2 + m_3$ болса, блоктар жүйесіндегі жіптің керілу күшін және массалары m_1, m_2, m_3 жүктердің үдеуін табу керек. Блоктың және жіптің массасын ескермейміз. Үйкеліс есепке алынбайды.

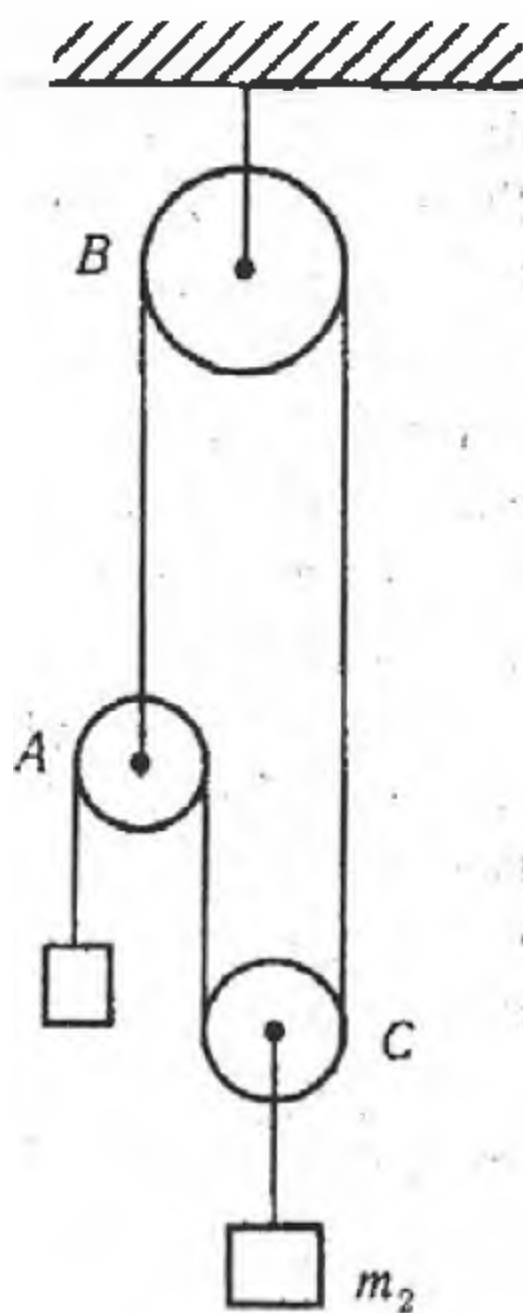
2.13.* Жүгі бар блоктар жүйесі қозғалатын бір және қозғалмайтын екі блоктан тұрады (12-сурет). Блоктан тасталған созылмайтын жіптің ұшына массалары m_1 және m_3 жүктері ілінген, ал қозғалатын блоктың осіне массасы m_2 жүк ілінген. Жіптің және блоктың массасын, сонымен бірге үйкелісін есепке алмай, әрбір жүктің үдеуін табындар.

2.14.* 13-суретте көрсетілген блоктар жүйесіндегі жүктердің үдеуін табу керек. Блоктардың, жіптердің массасын және үйкелісті ескермейміз. Блоктар қай бағытта айналады?

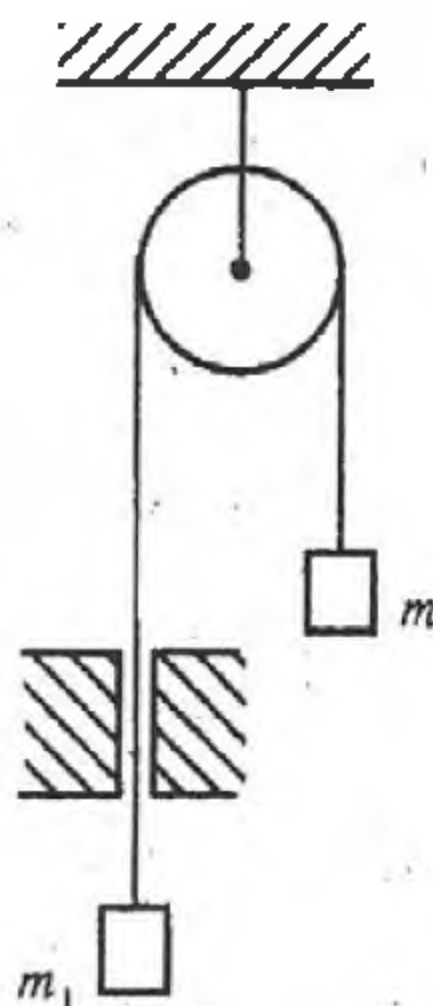
2.15.* Саңылаудан өткізілген салмақсыз созылмайтын жіп қозғалмайтын блоктан асырыла тасталған (14-сурет). Саңылау қозғалыс кезінде жіпке тұрақты f үйкеліс күшімен әсер етеді. Жіптің ұшына m_1 және m_2 жүктер ілінген. Жүктің үдеуін тап.

2.16. Массасы m маймыл А блогындағы қарсы салмақпен теңестірілген. А блогы В блогындағы массасы $2m$ жүкпен теңестірілген. Жүйе қозғалмайды. Егер маймыл u жылдамдықпен жіпті өзіне қарай бірқалыпты тартатын болса, жүк қалай қозғалады? Блоктың массасын және үйкелісін ескермейміз.

2.17.* Мұздың бетімен $v = 3$ м/с жылдамдықпен лақтырылған тас толық тоқтағанға дейін $s = 20,4$ м жол жүрді. Тастың мұзбен k үйкеліс коэффициентін табындар.



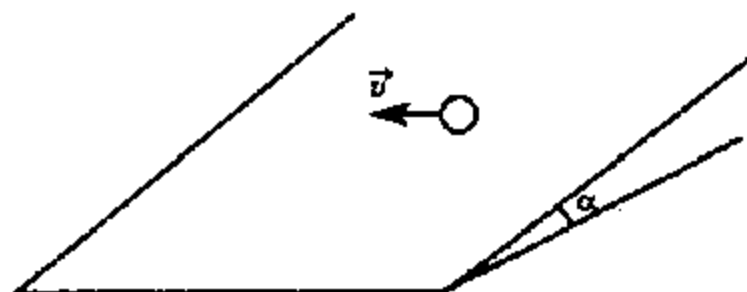
13-сурет



14-сурет

2.18.* Көлбеулік бұрышы α -ға тең жазықтық бойымен денені v жылдамдықпен итеріп жіберді. Дене ең жоғарғы биіктікке көтеріліп, өзінің бастапқы қалпына қайта оралады. Дененің жазықтықпен үйкеліс коэффициенті k . Дененің бастапқы қалпына қайта келгендегі жылдамдығын, сонымен қатар соңғы және бастапқы қозғалыс арасындағы Δt уақытты табындар.

2.19.* Көлбеулік бұрышы α -ға тең жазықтық бойымен бастапқы горизонталь жылдамдығы v -ға тең тиын қозғалып келеді (15-сурет). Егерде үйкеліс коэффициенті $k = \operatorname{tg} \alpha$ болса, тиынның қалыптасқан жылдамдығын табындар.



15-сурет

2.20. $v = 8$ км/сағ жылдамдықпен жүгіріп келе жатқан массасы $m = 60$ кг адам $u = 2,9$ км/сағ жылдамдықпен қозғалып келе жатқан массасы $M = 80$ кг арбаны қуып жетіп, қарғып мінеді. Егер адам арбаның қозғалған бағытына қарсы бағытта жүгірсе, онда арба қандай жылдамдықпен қозғалар еді?

2.21. Горизонталь бағытта $v = 500$ м/с жылдамдықпен ұшып келе жатқан массасы $m = 10$ кг оқ құмы бар массасы $M = 10$ тонна вагонға тиеді де, ішінде қалып қояды. Егерде:

а) вагон қозғалмай тұрса;

б) вагон $u = 36$ км/сағ жылдамдықпен оқтың бағытына қарсы қозғалса, вагонның оқ тигеннен кейінгі жылдамдығы қандай болады?

2.22. Гранат $v = 10$ м/с жылдамдықпен ұшып келе жатып екі жарықшаққа бөлінді. Массасы бүтін гранат массасының 0,6-на тең үлкен бөлігі өзінің бұрынғы бағытымен, бірақ үлкен $u = 25$ м/с-қа тең жылдамдықпен қозғала береді. Кіші жарықшақтың жылдамдығын табындар.

2.23. Горизонталь бағытта $v = 1$ м/с жылдамдықпен қозғалып келе жатқан массасы $m = 1$ кг дене, массасы $M = 0,5$ кг екінші бір денені қуып жетіп, онымен серпімсіз соқтығысады. Егер:

а) екінші дене қозғалыссыз тұрса;

б) екінші дене $u = 0,5$ м/с жылдамдықпен бірінші дененің қозғалған бағытымен қозғалса;

в) екінші дене $u = 0,5$ м/с жылдамдықпен бірінші дененің қозғалған бағытына қарама-қарсы бағытта қозғалса, дене қандай жылдамдық алар еді?

2.24.* Массасы M дене тыныш тұрған массасы m денеге соғылады. Денелердің әрекеттесуінен пайда болатын күш t_0 уақыт ішінде F_0 мәніне дейін сызықты өседі, сосын дәл сол уақыт аралығында нөлге дейін бірқалыпты кемиді. Барлық қозғалыс бір түзудің бойында өтеді деп есептеп, денелердің өзара әрекеттесуінен кейінгі жылдамдығын табындар.

2.25.* Тыныштықта тұрған нейтронның β -ыдырауы барысында протон, нейтрино және электрон пайда болады. Электрон және протонның импульстері p_1 және p_2 , олардың арасындағы бұрыш α . Нейтриноның импульсін анықтаңдар.

2.26.* Радиоактивті ядро массалары m_1, m_2, m_3 , ал сәйкес жылдамдықтары v_1, v_2, v_3 болатын үш жарықшаққа ыдырады. Ыдырағанға дейінгі ядроның жылдамдығы қандай болды?

2.27.* Бір ұшы үстелдің үстіне тиіп тұратын біртекті шынжыр екінші ұшымен жіпке ілінген. Жіпті жағады. Үстелге түсетін қысым күшінің шынжырдың түсіп үлгермеген бөлігінің ұзындығына тәуелділігін анықтаңдар. Үстелге соққан соққы серпімсіз. Шынжырдың массасы m , ұзындығы l .

2.28.* Шапшуға дайындалған оқ жылан жоғарыға қарай v тұрақты жылдамдықпен көтеріледі. Ол жерге қандай қысым күшін түсіреді? Жыланның массасы m , ұзындығы l .

2.29.* Массасы M және ұзындығы l тақтайдың бір ұшында массасы m бақа отыр. Тақтай су бетінде қалқып жүр. Бақа тақтайдың бойымен горизонтқа α бұрыш жасап секіреді. Секіргеннен кейін тақтайдың карама-қарсы ұшында болуы үшін, бақаның бастапқы жылдамдығы қандай болу керек?

2.30.* Егерде тақтай және бақа u жылдамдықпен ағынмен қозғалса және бақа ағынға қарсы бағытта секірсе, алдыңғы есептің шешімі қандай болады?

2.31.* Егерде тақтай өзінің қозғалысында судың тұрақты F кедергі күшіне душар болса 2.29. есептің жауабы қандай болады?

2.32. $v_0 = 15$ м/с жылдамдықпен ұшып келе жатқан допты ракеткамен соққанда, ол карама-қарсы бағытқа $v_1 = 20$ м/с жылдамдықпен серпіледі. Егер кинетикалық энергияның өзгерісі $\Delta W = 8675$ Дж болса, импульстің өзгерісін табыңдар.

2.33.* Массасы $m = 1$ кг материялық нүктеге $\vec{F} = 1,5y\vec{i} + 3x^2\vec{j} - 0,2(x^2 + y^2)\vec{k}$ күш әсер етеді. $t = 0$ болғанда бөлшектің орны $\vec{r}_0 = 2\vec{i} + 3\vec{j}$ радиус-векторымен көрсетіледі және ол $\vec{v}_0 = 2\vec{j} + \vec{k}$ жылдамдықпен қозғалады. Осы жағдай үшін:

а) бөлшекке әсер етуші күшті;

б) бөлшектің үдеуін;

в) оның кинетикалық энергиясын табу керек.

2.34.* Бөлшектің потенциалдық энергиясы берілген: а) $U = a/r$, б) $U = \frac{kr^2}{2}$, мұндағы r – бөлшектің радиус-векторының модулі; a және k – тұрақты шамалар. Координаталары (1, 2,

3) нүктеден координаталары (2, 3, 4) нүктеге бөлшек ауысқан кезде оған әрекет ететін \vec{F} күшін және осы күштің бөлшекті орынауыстырудағы жұмысын табындар.

2.35.* Орталық-симметриялық күш өрісінде орналасқан бөлшектің потенциалдық энергиясы мынадай:

$$U = \frac{\alpha}{r^3} - \frac{\beta}{r^2},$$

мұндағы: α және β тұрақтылар.

Бөлшекке әсер ететін күшті табындар. Осы бөлшектің орнықты тепе-теңдік қалпы бар ма? U -дың r -ге және F -тің r -ге тәуелділік қисығын сызындар. Оның толық энергиясы $E = -10^{10}$ Дж болса, бөлшектің қозғалысы финиттік бола ма?

2.36.* Массасы m бөлшек $\vec{F} = -\frac{\alpha}{r^2} \vec{e}_r$ күш өрісінде орналасқан. Мұндағы: $\alpha > 0$ тұрақты шама, r – модуль, ал \vec{e}_r – бөлшектің орт радиус-векторы. Бөлшекті радиус-векторы \vec{r}_0 -ға тең нүктеге орналастырып, оған \vec{r}_0 -ға перпендикуляр \vec{v}_0 бастапқы жылдамдық берілді. Бөлшек қандай траекториямен қозғалады?

2.37.* Алдыңғы есептегі бөлшектің траекториясы қандай шарт орындалса шеңбер болады?

2.38. Массасы $m = 20$ тонна вагон, $v_0 = 54$ км/сағ бастапқы жылдамдықпен теңкемімелі қозғалады, біраз уақыттан кейін $F = 6$ кН үйкеліс күшінің әрекетінен тоқтайды. Вагонның аялдамаға дейінгі жүріп өткен қашықтығын және үйкеліс күшінің жұмысын табындар.

2.39.* Тежеуіш күш қашықтыққа $F = -\alpha x$ ($\alpha = 100$ Н/м) заңдылығымен өзгереді деп, алдыңғы есепті шығарындар.

2.40. Массасы $m = 1$ кг тас 9,8 м/сек бастапқы жылдамдықпен вертикаль жоғары лақтырылды. Тастың W_k кинетикалық, W_n потенциалдық және W толық энергиясының $0 \leq t \leq 2$ с аралығындағы уақытқа тәуелділігінің графигін құрындар.

2.41. Алдыңғы есептің шарттарын пайдалана отырып, тастың кинетикалық, потенциалдық және толық энергиясының қашықтыққа тәуелділігі графигін салындар.

2.42. Тас $v_0 = 15$ м/с жылдамдықпен горизонтқа $\alpha = 60^\circ$ бұрыш жасай лақтырылды. Тастың: а) қозғалыс басталғаннан t

= 1 с өткеннен кейінгі, б) траекторияның ең жоғарғы нүктесіндегі W_k кинетикалық, W_n потенциалдық және W толық энергиясын табындар. Тастың массасы $m = 0,2$ кг.

2.43.* Үстелдің үстінде бауымен қалталы сағат жатыр. Сағатты бауынан ұстап үстелден көтеріп алу үшін қандай ең аз жұмыс жасау керек? Баудың ұзындығы L және массасы m , сағаттың массасы M , сағаттың диаметрі d .

2.44.* Шана горизонталь мұз үстінде $v = 6$ м/с жылдамдықпен қозғалады да, құмды жолға шығып кетеді. Шананың сырғыған жолының ұзындығы $l = 2$ м, шананың құммен үйкеліс коэффициенті $k = 1,0$. Шана толық тоқтағанға дейін қандай жол жүреді?

2.45.* Шана ұзындығы $L = 10$ м, горизонтқа көлбеулік бұрышы $\alpha = 30^\circ$ болатын мұзды шатқалмен сырғанап бастайды. Горизонталь бөліктегі үйкеліс коэффициенті $k = 1,0$. Шана толық тоқтағанға дейін қандай жол жүреді?

2.46.* Дене бастапқы жылдамдықсыз горизонтқа α бұрыш жасайтын көлбеу жазықтықпен сырғанап жатады. Дене мен көлбеу жазықтық арасындағы k үйкеліс коэффициенті көлбеу жазықтық төбесінен қашықтықтың өсуіне қарай $k = k_0 \cdot x$ заңы бойынша өзгереді. Дене көлбеу жазықтықтың аяғына дейін жетпей тоқтайды. Дененің тоқтағанға дейінгі жүріп өткен жолын табындар.

2.47.* Массасы $m = 1$ кг дене горизонталь үстелдің тегіс бетімен үйкеліссіз сырғыйды да массасы $M = 5$ кг жылжымалы төбешікке кезігеді. Төбешіктің биіктігі $H = 1,2$ м. Үстел мен төбе арасында үйкеліс болмайды. Төбе мен дененің соңғы жылдамдығын табындар. Дененің бастапқы жылдамдығы $v_0 = 5$ м/с.

2.48.* Горизонталь транспортердің таспасы $u = 0,5$ м/с жылдамдықпен қозғалады. Таспаның шетіне перпендикуляр және оның бетіне жанап $v_0 = 2,1$ м/с жылдамдықпен шайба ұшып түседі. Егерде таспа мен шайбаның арасындағы үйкеліс коэффициенті $k = 0,75$ болып, шайба оның шетінде тоқтаса, онда таспаның ені қандай болар еді?

2.49.* Екі бірдей шар α бұрышын түзейтін \vec{v}_1 және \vec{v}_2 жылдамдықтарымен қозғалып, абсолют серпімді соқтығады да,

\vec{u}_1 және \vec{u}_2 жылдамдықпен ажырай ұшып кетеді. Бөлшектердің соқтығудан кейінгі β ажырау бұрышын табындар.

2.50.* Егер шарлардың массасы m_1 және m_2 , ал олардың соқтығысқанға дейінгі жылдамдығы \vec{v}_1 және \vec{v}_2 болса, абсолют серпімді центрлік соққыдан кейінгі жылдамдықтары қандай болады?

Ескерту: есепті л-жүйеде (лабораториялық) және ц-жүйеде (центрлік массалар жүйесі) шығару керек.

2.51.* Қандай жағдайда ц-жүйе инерциялық, ал қандай жағдайда инерциялық емес жүйе болады?

2.52.* Массасы m_1 ауыр бөлшек тыныштықта тұрған массасы m_2 жеңіл бөлшекпен соқтығысты. Серпімді соққының әсерінен ауыр бөлшек қандай ең үлкен бұрышқа ауытқуы мүмкін?

2.53.* Массасы m_1 бөлшек v жылдамдықпен массасы m_2 қозғалмайтын бөлшекпен соқтығысты. 2-ші бөлшек осы серпімді соқтығыстан кейін өзіне соқтығысқан 1-ші бөлшектің бастапқы бағытымен α бұрышын жасай ұшты. m_2 бөлшегінің соқтығыстан кейінгі жылдамдығын анықтаңдар.

2.54.* Массасы m атомның қалыпты жағдайға қарағанда қоздырылған күйдегі ішкі энергиясы E . Массасы m_e электрон қандай ең кіші энергиямен бастапқыда тыныш тұрған атомды қоздыра алады?

2.55.* Массалары m_1 және m_2 екі дене ортақ нүктеге бекітілген ұзындықтары бірдей жіптерге ілінген. Жіптерді әр жаққа бірдей бұрышпен ауытқытады да, қайта жібереді. Денелер бір-біріне соғылғаннан соң жабысып қалады. Жабысқаннан кейінгі денелердің көтерілу биіктігінің олардың алғаш төмен қарай түсе бастағандағы биіктігіне қатынасын анықтаңдар.

2.56.* Горизонталь бағытта ұшып келе жатқан оқ салмақсыз қатты өзекшеге ілінген шарға тиеді де, соның ішінде қалып қояды. Оқтың массасы шардың массасынан 1000 есе кем. Өзекшенің ілінген нүктесінен шар центріне дейінгі аралық 1 м-ге тең. Шар мен өзекше оқтың соққысынан 10° бұрышқа бұрылды деп алып, оқтың жылдамдығын табу керек.

2.57.* Ұзындығы l жіпке ілінген массасы m шарды вертикаль қалыптан 90° ауытқытады да, босатып жібереді. Тербеле қозғалған жіп үзіліп кету үшін, ілгектен төмен ең кіші қандай

қашықтықта жіп соғылатын шегені қағу керек? Жіп T керілу күшіне төтеп береді.

2.58.* $h = 1$ м деңгейге дейін сумен толтырылған ауданы $S = 100 \text{ м}^2$ бассейн вертикаль қоршаумен тең бөлінген. Бассейнді 1:3 қатынасына бөлу үшін, қоршауды горизонталь бағытта ақырындап қозғалтады. Бұл үшін қандай жұмыс жасау керек? Су қоршаудан өтпейді және бассейннен ешқайда кетпейді. $\rho_c = 10^3 \text{ кг/м}^3$.

2.59.* Импульстері \vec{p} және $\vec{p}/2$, массалары m және $2m$ екі бөлшек өзара перпендикуляр бағытта қозғалады. Бөлшектер соқтығысқаннан кейін импульстар ауысады. Соқтығысқан кездегі механикалық энергияның жоғалуын анықтау керек.

2.60. Акробат торға $h = 8$ м биіктіктен секіріп түседі. Акробат секірген кезде еденге соғылмау үшін торды еденнің үстінен қандай шекті биіктікте керіп қоюға болады? Егер акробат торға $h_1 = 0,5$ м биіктіктен секіріп түсетін болса, тордың $x_0 = 0,5$ м-ге майысатыны белгілі.

2.61. Таразының табақшасына $h = 10$ см биіктіктен массасы $m = 1$ кг жүк құлап түседі. Егер тербелістерден тынышталғаннан кейін табақша $x_0 = 0,5$ см төмен түссе, онда соққы мезетіндегі таразының F көрсетуі қандай болады?

2.62. Егерде әрбір вагон буферінің қабырғаға соқтығысқан кездегі сығылуы $x_0 = 10$ см болса, массасы $m = 20$ т вагон қандай жылдамдықпен қозғалды? Әрбір буфер серіппесінің қатандығы $k = 1 \text{ МН/м}$.

2.63. Қатандығы k_1 серіппенің төменгі ұшына қатандығы k_2 серіппе жалғанып, оған жүк ілінген. Серіппенің массасын ескермей, олардың потенциалдық энергияларының қатынасын анықтаңдар.

2.64. Ұзындығы $L = 10$ см салмақсыз өзекше ұзындықтары бірдей екі параллель салмақсыз серіппеге ілініп тұр. Серіппелердің қатандықтары $k_1 = 2 \text{ Н/м}$ және $k_2 = 3 \text{ Н/м}$. Өзекше горизонталь қалпын сақтап қалу үшін, жүкті өзекшенің қай жеріне ілу керек?

2.65. Горизонталь бағытта ұшып келе жатқан массасы $m = 0,1$ кг резеңке доп қозғалмайтын вертикаль қабырғаға келіп соғылады. $\Delta t = 0,01$ с уақыт аралығында доп $\Delta l = 1,37$ см-ге

сығылады, допты бастапқы қалпына келтіру үшін де дәл сондай Δt уақыт кетеді. Сокқы уақытында қабырғаға әрекет ететін күшті табындар.

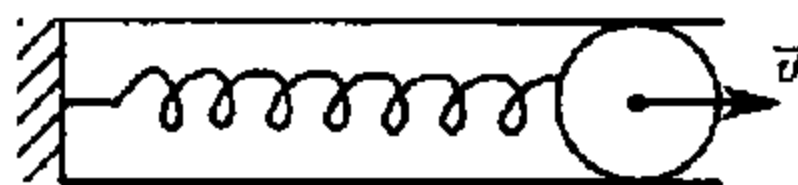
2.66. Ұзындығы l_0 резеңке бауына байланған массасы $m = 0,5$ кг гир горизонталь жазықтықта шеңбер сызады. Айналу жиілігі $n=2$ айн/с. Резеңке баудың вертикаль бағыттан ауытқу бұрышы $\alpha = 30^\circ$ тең. Баудың катанддығы $k = 0,6$ кН/м. Созылмаған резеңке баудың l_0 ұзындығын табындар.

2.67.* Массасы m дене H биіктіктен еденде вертикаль тұрған катанддығы k және ұзындығы l серіппеге түседі. Еденге түсетін ең үлкен қысым күшін, дененің ең үлкен жылдамдығын анықтау керек.

2.68.* Массалары m_1 және m_2 екі моншақ сымнан жасалған горизонталь сақинаның бойымен үйкеліссіз сырғи алады. Бастапқыда моншақтар арасына қысылған серіппе қойылып, бір-бірімен жіппен жалғанды. Жіпті күйдіріп жібереді. Моншақтар қозғала бастаған соң серіппені алып тастайды. Сақинаның қай жерінде моншақтар бесінші рет соқтығысады? Моншақтардың соқтығысы абсолют серпімді. Серіппенің массасы есепке алынбайды.

2.69.* Шарикті ойыншық пистолет ұңғысының ішінде бекітілген серіппеге салады. Ұңғыны жоғары вертикаль бағыттап, серіппені $\Delta l = 5$ см-ге қысады да, босатып жібереді. Шарик $H = 0,5$ м биіктікте ұшады. Шарик қандай ең үлкен үдеуге ие болады? Серіппе толығымен жазылған сәтте шарик одан ажырай ұшады. Серіппенің массасын, ауаның кедергісін және үйкелісті есепке алмаймыз.

2.70.* Серіппелі ойыншық пистолет жылдамдығы v шариктермен атқылайды (16-сурет). Егерде массасы екі есе артық шарикпен атқыласа, онда жылдамдық $\sqrt{(2/3)v}$ -ға дейін кемиді. Үш есе үлкен массасы бар шариктің ұшу жылдамдығы қандай болады?



16-сурет

Ескерту: Серіппенің массасын есепке алу керек.

2.71.* Горизонталь жазықтықта деформацияға ұшырамаған серіппемен жалғанған массалары m_1 және m_2 екі бөрене жатыр. Егер бөрененің еденмен үйкеліс коэффициенті k болса, екінші бөрене де қозғалу үшін, бірінші бөренеге қандай күш түсіру керек?

2.72.* Биіктігі h үстелдің шетінде массасы M кішкентай шарик жатыр. Шариктің центріне бағытталған \vec{v} жылдамдықпен горизонталь бағытта ұшып бара жатқан масасы m -ге тең оқ оған тиеді. Оқ шарикте қалып қояды. Шарик үстелден жерге горизонталь бойымен қандай қашықтықта құлайды?

2.73.* Массасы M арба массасы m адаммен бірге v жылдамдығымен қозғалып келеді. Адам тұрақты жылдамдықпен арбаның бойымен сол бағытта жүре бастайды. Арбаға қатысты адамның қандай жылдамдығында арба тоқтайды? Жердің және арбаның дөңгелектерінің арасындағы үйкелісті ескермейміз.

2.74.* Ұзындығы l массасы M арбаның шетінде тұрған массасы m адам арбаның тоқтайтын мезетінде оның басқа шетіне қарғып түсуі үшін шамасы мен бағыты қандай жылдамдықпен секіреді? Арбаның жерге үйкелу коэффициенті k -ға тең.

2.75.* Құмы бар қап бастапқы жылдамдықсыз H биіктіктен көлбеулігі горизонтпен $\alpha = 60^\circ$ бұрыш жасайтын тегіс тақтамен сырғиды. Қап сырғығаннан кейін горизонталь еденге түседі. Қаптың еденге үйкелу коэффициенті $k = 0,7$. Қап қайда тоқтайды?

2.76.* Құмы бар қап $H = 2$ м биіктіктен бастапқы жылдамдықсыз горизонтқа $\alpha = 45^\circ$ көлбеу бұрыш жасайтын бойымен тақтай сырғиды. Қап сырғи отырып, горизонталь еденге түседі. Қаптың еденге және тақтайға үйкелу коэффициенті бірдей және $k = 0,5$ -ке тең. Қап тақтаның шетінен қандай қашықтықта тоқтайды?

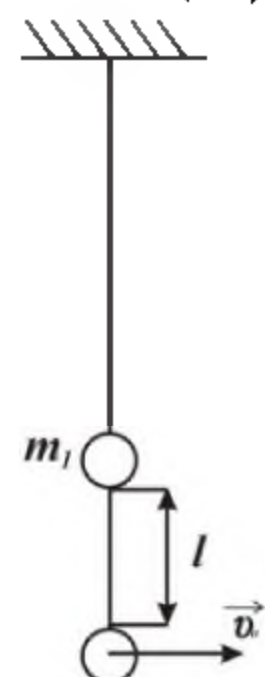
2.77.* Болат шарик үйкеліссіз тегіс еденнің бетімен сырғып, бүрлі қабырғаға келіп соқтығады, ал оның сырғу жылдамдығы қабырға нормалімен φ бұрышын жасайды. Шарик қабырғаға жазықтығынан перпендикуляр ыршу үшін φ бұрышы қандай

болу керек? Қабырға мен шариктің арасындағы үйкеліс коэффициенті k .

2.78. Массасы $m = 20$ г болат шарик $h = 1$ м биіктіктен болат плитаның бетіне түсіп, одан $H = 81$ см биіктікке ыршиды. Мыналарды: а) соқтығысу мезетіндегі платаға әрекет ететін күш импульсын; б) соқтығысу кезінде бөлініп шыққан жылу мөлшерін табу керек.

2.79. Тегіс горизонталь жазықтықта жатқан массасы m_2 шарға горизонталь қозғалатын массасы m_1 баска шар келіп соғылды. Шарлардың өзара соқтығысуы центрлік серпімді соққыға жатады. Берілетін энергия бөлігінің шарлардың массасының $x = m_1/m_2$ қатынасына тәуелділігінің графикін салу керек.

2.80.* Бірдей екі тегіс шарик бір-біріне қарсы v және $2v$ жылдамдықтармен ұшып келеді. Әрбір шариктің центрі арқылы олардың қозғалыс бағытымен өтетін түзулер басқа шариктерге жанаса өтеді. Бірінші шарик соқтығысқаннан кейін бастапқы бағытына қандай бұрыш жасап қозғалады?



17-сурет

2.81.* Массасалары m_2 және m_1 шариктер бір-біріне қарама-қарсы бір уақытта формасы да H биіктігі де бірдей екі төбешіктен үйкеліссіз және айналусыз сырғи бастайды. Егер соққы абсолют серпімсіз болса, жабысқан шарлар соқтығысқаннан кейін қандай биіктікке көтеріледі?

2.82.* Ұзын жіпке массасы m_1 шар ілініп тұр, оған ұзындығы l жіп арқылы массасы m_2 шарик ілінген (17-сурет). Шариктерді жалғастыратын жіп горизонталь қалыпқа дейін ауытқу үшін, төменгі шарикке горизонталь бағытта қандай бастапқы жылдамдық беру керек?

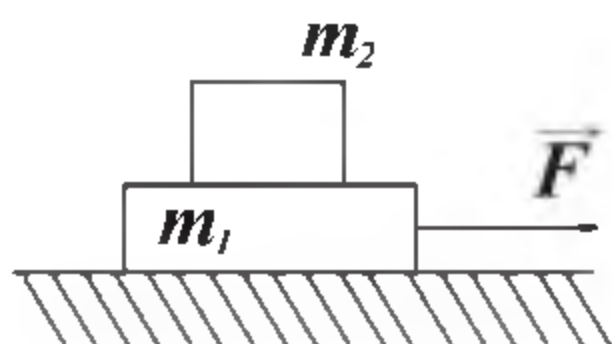
2.83.* Массасы m_1 білеуше горизонталь жазықтықта жатыр. Массасы m_2 дене білеуше үстінде жатыр (18-сурет). Дене мен бөрененің арасындағы, сонымен қатар білеуше мен жазықтықтың арасындағы үйкеліс коэффициенті k -ға тең. Білеушеге горизонталь бағытта түсірілген F күшінің әр түрлі мәндеріндегі қозғалысты зерттеңдер.

2.84.* Массасы m_1 білеуше үйкеліссіз қозғала алатындай горизонталь тегіс жазықтықта жатыр. Массасы m_2 дене

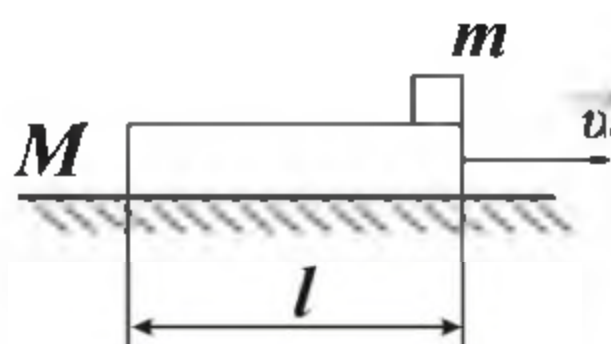
білеушенің үстіне қойылды (18-сурет). Білеуше мен олардың арасындағы үйкеліс коэффициенті k -ға тең. Білеушеге горизонталь бағытта түсірілген F күшінің қандай мәнінде дене білеуше бетімен сырғи бастайды? Дене қанша уақыттан соң білеушеден құлайды? Білеушенің ұзындығы l . Білеуше мен жазықтықтың арасындағы үйкеліс ескерілмейді.

2.85.* Массасы M ұзындығы l тақтаның бір шетінде массасы m білеуше орналасқан (19-сурет). Тақта үйкеліссіз горизонталь жазықтықта сырғи алады. Білеушенің тақтаның бетімен сырғанаудағы үйкеліс коэффициенті k -ға тең. Білеушенің астынан сырғып шығуы үшін тақтаны түрте отырып, горизонталь бағытта оған қандай v_0 жылдамдық беру керек?

2.86.* Массалары m_1 және m_2 екі шарик ұзындығы l және қатандығы k серіппемен байланысты. Массасы m_1 шарикке олардың центрлік сызығы бойымен v жылдамдығын берді. Қозғалыс кезінде шариктер бір-бірінен қандай ең үлкен қашықтықта алшақтайды? Үйкеліс ескерілмейді.



18-сурет



19-сурет

2.87* Тегіс үстелдің үстінде әрқайсысының қатандық коэффициенті k ұзындығы l серіппеге бекітілген массасы M екі шар жатыр. Шардың біреуіне, олардың центрлерін қосатын бағытталған v жылдамдығын берді. Қозғалыс кезінде серіппе ең максимум L ұзындыққа созылды деп есептеп, осы жылдамдықты табындар.

2.88.* Тегіс үстелдің үстінде массасы M екі бірдей шар жатыр. Шарлар ұзындығы l майысқақ серпімді жіпке қыстырылған, бастапқыда жіп керілмеген. Шарлардың біреуіне олардың центрін қосатын түзу бойымен v жылдамдығы берілді. Әр шардың жылдамдығының уақытқа тәуелділігінің графигін

сызындар. Сондай графикті массалар центрі жылдамдығы үшін сызындар.

2.89.* Массалары m_1 және m_2 екі дене қатаңдығы k деформацияланбаған серіппемен жалғанған. Сосын денелерге қарама-қарсы бағытталған F күші бір уақытта түсіріледі. Денелердің ең үлкен кинетикалық энергиясын және серіппенің ең үлкен потенциалдық энергиясын табу керек. Денелердің ең үлкен салыстырмалы жылдамдығы қандай?

2.90.* Денелер жүйесінің толық кинетикалық энергиясы массалар центрінің қозғалыс энергиясынан және денелердің массалар центрімен салыстырғандағы қозғалысының кинетикалық энергиясынан құралады. Осыны дәлелде.

2.91.* Массасы m қозғалмайтын сазбалшық білеушенің бойымен тұрақты F күші әрекет етеді. t уақыт ішінде білеушенің күш түскен шеті күштің бағытымен l қашықтыққа ығысты. Осы уақыт ішінде білеушенің ішкі энергиясы қаншаға өсті?

2.92.* Массалары m_1 және m_2 екі дененің массалар центрлерінің жылдамдықтары \vec{v}_1 және \vec{v}_2 , ішкі энергиялары W_1 және W_2 . Егерде олардың өзара әрекетінің потенциалдық энергиясын ескермесек, осы денелер жүйесінің ішкі энергиясы қандай болады? Олар өзара соқтығысқаннан кейін және ажырасқан соң осы энергия өзгере ме?

2.93.* v жылдамдығымен ұшып келе жатқан және W_0 ішкі энергиясы бар массасы $2m$ бөлшек, массасы бірдей m және ішкі энергиясы бірдей W_1 екі жарықшаққа бөлінді. Егер $mv^2 > W_0$ болса, жарықшақтың мүмкін болатын ең үлкен ажырай ұшу бұрышын табу керек.

2.94.* Горизонталь жазықтықта бір-бірінен $2l$ қашықтықта жатқан екі бірдей шар ұзындығы $2l$ жіппен байланған; оларды тұрақты F күшпен жіптің ортасынан жоғары көтереді. Бірінші соққы кезіндегі ішкі энергияның өсімшесін табу керек.

2.95. Жердің өз осінен айналу салдарынан экватордағы дененің салмағы қандай бөлікке кемиді?

2.96. Массасы $m = 5$ тонна трамвай вагоны радиусы $R = 128$ м бұрылыспен жүріп келеді. Қозғалыс жылдамдығы $v = 9$ км/сағ болғанда дөңгелектің рельске түсіретін бүйірлік F қысым күшін табындар.

2.97. Ұзындығы $l = 60$ см жіпке байланған суы бар шелек вертикаль жазықтықта бірқалыпты айналады. Шелек траекториясы ең жоғары нүктеге жеткенде оның ішіндегі суы төгілмейтін ең кіші айналу жылдамдығын табыңдар. Осы жылдамдықтарда шеңбердің ең жоғарғы және ең төменгі нүктелеріндегі жіптің керілу күші қандай? Шелектің сумен бірге массасы $m = 2$ кг.

2.98. Жіпке байланған тас вертикаль жазықтықта бірқалыпты айналады. Жіптің ең жоғарғы және ең төменгі керілу күшінің айырмасы $\Delta T = 10$ Н деп алып, тастың массасын табыңдар.

2.99. Ұзындығы $l = 25$ см жіпке байланған массасы $m = 50$ г гир горизонталь жазықтықта айналады. Гирдің айналу жылдамдығы $n = 2$ айн/с-қа тең. Жіптің керілу күшін табыңдар.

2.100. Диск өзінің центрінен өтетін вертикаль ось төңірегінде $n = 30$ айн/мин жиілікпен айналады. Дискінің үстінде айналу осінен $r = 20$ см қашықтықта дене жатыр. Дене дискінің үстімен сырғанап түсіп қалмау үшін, дене мен дискінің арасындағы үйкеліс коэффициенті қандай болу керек?

2.101. $v = 900$ км/сағ жылдамдықпен ұшақ «өлі тұзақ» жасайды. Ұшқышты отырған орындығына қысатын ең үлкен күш: а) ұшқыштың бес есе салмағына, б) ұшқыштың он есе салмағына тең болу үшін «өлі тұзақтың» радиусы қандай болу керек?

2.102. $v = 72$ км/сағ жылдамдықпен жүріп келе жатқан мотоциклист қисықтық радиусы $R = 100$ м жолмен бұрылады. Бұрылған уақытта құлап кетпеу үшін мотоциклист қандай α бұрышқа қисаю керек?

2.103.* Массалары m және M шарлар үстелдегі тесік арқылы өткізілген созылмайтын жіппен байланған. Төменгі шар қозғалмас үшін, радиусы R шеңбер бойымен айналып тұратын массасы M шар қандай жылдамдықпен қозғалады?

2.104.* Радиусы R жылтыр шомбал жартышар үстінде шағын тиын жатыр. Сәл сілкіністен тиын төмен қарай сырғиды. Ол жарты шарды қандай биіктікте тастап шығады?

2.105.* Диаметрі D горизонталь орналасқан цилиндр сумен толтырылған. Егер поршеньге F күші әрекет етсе, ал су цилиндрдің түбіндегі диаметрі d тесіктен ағып тұрса, онда цилиндрдегі

поршень кандай u жылдамдықпен орын ауыстырады? Үйкелісті ескермейміз. Ауырлық күші ескерілмейді. Сұйықтың тығыздығы ρ .

2.106.* Ұзындығы L салмақсыз қатты өзекше тұрақты бұрыштық жылдамдықпен бір ұшынан айналады. Өзекшенің ортасына m массасы, ал ұшына M массасы кигізілді. Бұл массалар өзекшеге кандай күппен әрекет етеді?

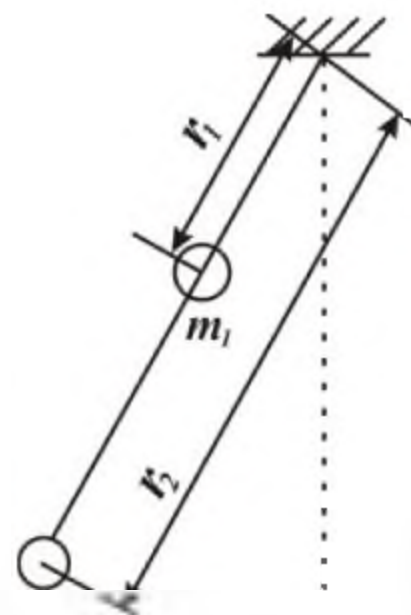
2.107.* Ұзындығы L және массасы M біртекті өзекше ω бұрыштық жылдамдығымен бір ұшынан бірқалыпты айналады. Айналу центріне дейінгі қашықтыққа тәуелді өзекшенің керілу күшін анықтаңдар және осы тәуелділіктің графигін салыңдар.

2.108.* Радиусы $R = 2$ м сфера 30 мин^{-1} жиілікпен симметрия осін біркелкі айналады. Сфераның ішінде массасы $m = 0,2$ кг болатын шарик бар. Сфераға қатысты шариктің тепе-теңдігіне сәйкес келетін биіктікті және сфераның N реакция күшін табу керек.

2.109.* Конустың биіктігіне сәйкес келетін түзудің бойымен горизонталь бағытта a үдеуімен қозғалып келе жатқан конус бетінің ішінде шарик радиусы R шеңбер бойымен айналады. Шеңбер бойымен шарик қозғалысының периодын анықтаңдар. Конустың төбесіндегі бұрыш 2α .

2.110.* Массасы $m = 6$ г жұқа резенке сақина радиусы $R = 5$ см горизонталь дискіге кигізілген. Сақинаның тартылыс күші $T = 0,1$ Н. Диск пен сақинаның арасындағы үйкеліс коэффициенті $k = 0,25$. Секундына қандай айналым жасаса сақина дискіден түсіп қалады?

2.111.* Вертикаль жазықтықта салмақсыз өзекше O нүктесі-не қатысты айнала алады. O нүктесінен r_1 және r_2 қашықтықта массасы m_1 және m_2 жүктер өзекшеге бекітілген (20-сурет). Өзекшені вертикальмен α бұрышын жасап тұрған күйінде бастапқы жылдамдықсыз босатып жібереді. Өзекше вертикаль күйді қабылдаған кездегі жүктердің сызықтық жылдамдықтарын анықтаңдар.



20-сурет

2.112.* Ұзындығы $l = 62,8$ см ұштары жалғанған металл шынжыр ағаш дискіге кигізілген. Диск 60 с^{-1} жиілікпен айналады. Егер шынжырдың массасы $m = 40$ г болса, оның керілу күші қандай болады?

2.113.* Су сақина тәрізді оралған резеңке түтіктің бойымен v жылдамдықпен айналыс жасайды. Сақинаның диаметрі R , түтікшенің диаметрі $d \ll R$. Түтікше қандай күшпен созылады?

2.114.* Массасы M , қатаңдығы k жіңішке резеңке бауларынан радиусы R_0 сақина жасалды. Сақинаны өз осі төңірегінде айналдырады. Егер оның бұрыштық жылдамдығы ω болса, сақинаның жаңа радиусын табыңдар.

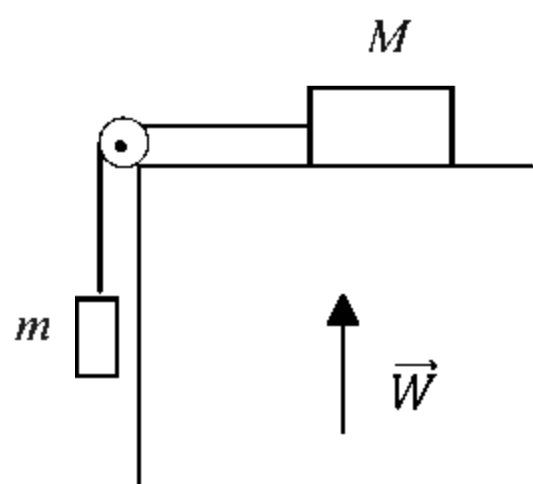
2.115.* Горизонталь диск $\omega = at^2$ заңы бойынша уақытқа байланысты өсетін бұрыштық жылдамдықпен өз осін айнала бастайды, мұнда a — тұрақты шама. Дискінің үстінде оның осінен r қашықтықта орналасқан дене, егер олардың арасындағы үйкеліс коэффициенті k болса, қандай бұрыштық жылдамдықта одан сырғанап бастайды?

2.116.* Тегіс үстелдің шетіне бекітілген блоктан массалары m және M жүктерді жалғастыратын арқан асырылып тасталған (21-сурет). Үстел үдеумен жоғары қозғалады. m жүктің үдеуін табыңдар. Блоктың массасын және үйкелісін ескермейміз.

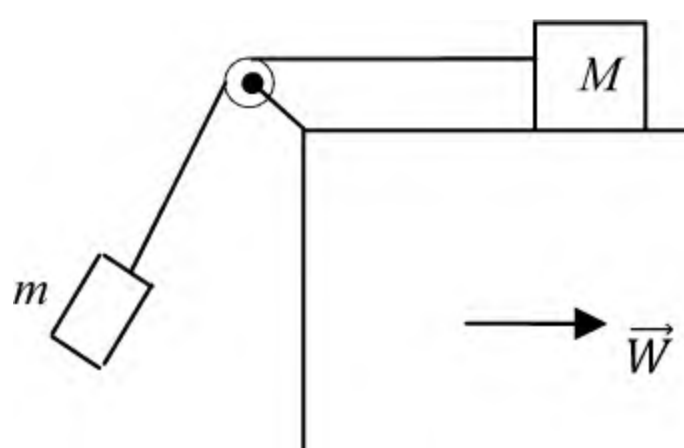
2.117.* Алдыңғы есептің шарттарын пайдалана отырып, үстел $W < g$ үдеумен вертикаль төмен қозғалған жағдай үшін есепті шығарыңдар.

2.118.* Горизонталь \vec{W} үдеумен қозғалған үстел үстінде массасы M жүк орналасқан (22-сурет). Жүкке жалғанған жіп, блоктан асырылып тасталған. Жіптің екінші ұшына массасы m жүк ілінген. Жүктің үдеуін және жіптің керілу күшін табыңдар.

2.119.* Жіп массалары m және M жүкпен салмақсыз блоктан асырылып тасталған. Блок \vec{W} үдеуімен жоғары (төмен) қозғалады. Блоктағы үйкелісті ескермей, блоктың оське түсіретін қысымын, жіптің керілу күшін және жүктердің үдеуін табыңдар.



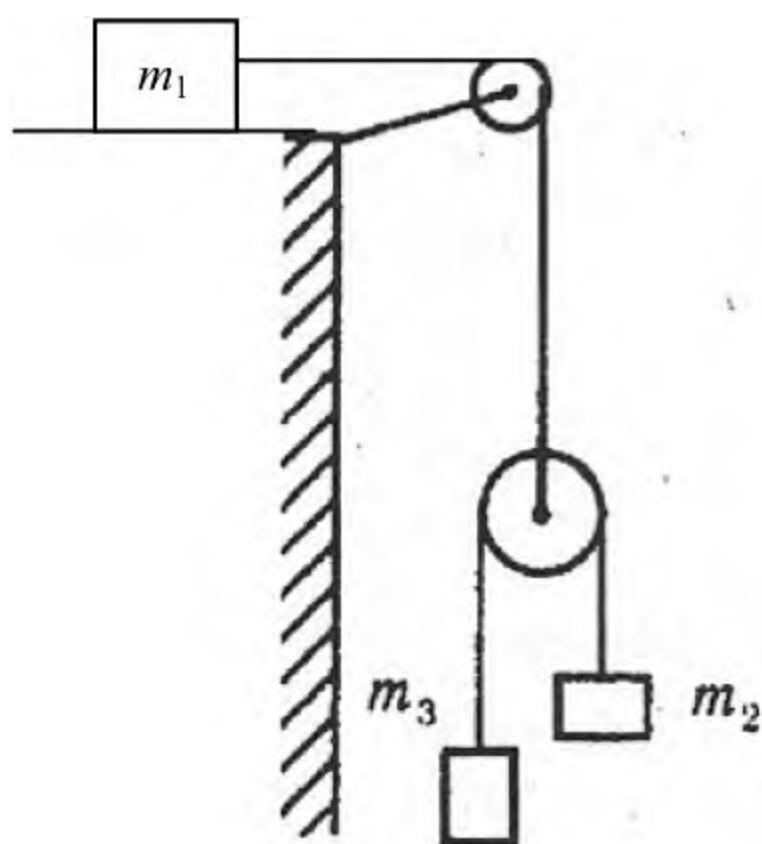
21-сурет



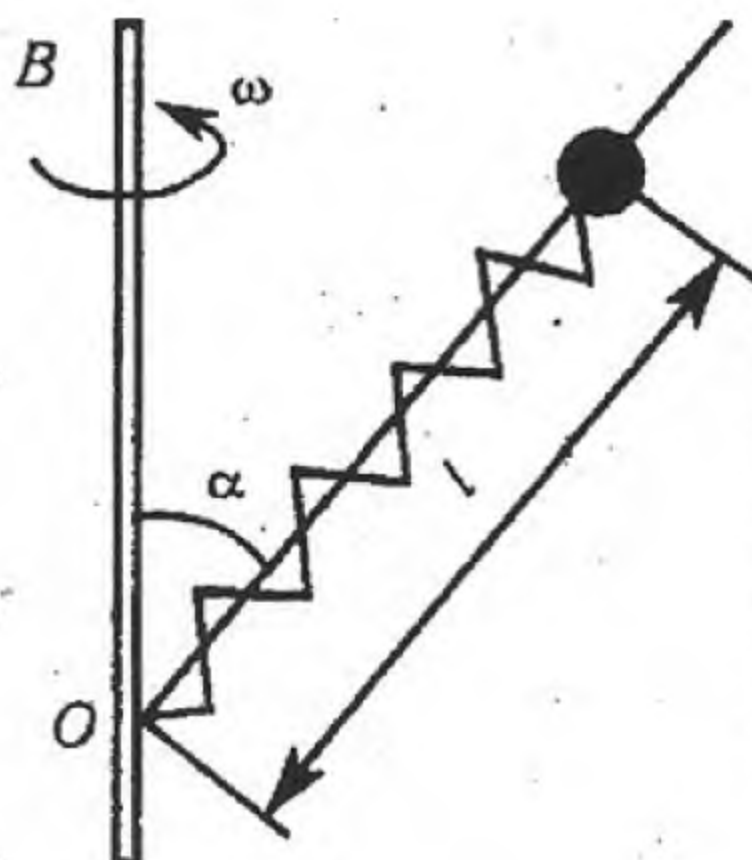
22-сурет

2.120.* Массалары m_1 , m_2 және m_3 жүктері байланған жіп тегіс үстелдің шетіне бекітілген блок арқылы асыра тасталған (23-сурет). Жіптің керілу күшін және жүктер жүйесінің үдеуін табындар. Блок салмақсыз, үйкелісін есептемейміз.

2.121.* Білікше OA ω бұрыштық жылдамдықпен OB вертикаль оське қатысты айналады. Ось және білікше арасындағы бұрыш α (24-сурет). Массасы M муфта серіппе ұшына бекітіліп, білекше бойымен үйкеліссіз сырғиды. O нүктесіне байланған серіппенің қатандығы k . Серіппенің деформацияға ұшырамаған кездегі ұзындығы l_0 . Муфтаның айналғандағы орнын табындар.



23-сурет



24-сурет

2.122.* ω бұрыштық жылдамдықпен айналып тұрған дискінің центрінен шыққан қоңыз оның үстімен радиусты бойлай жылжып келеді. Қоңыздан айналу осіне дейінгі арақашықтық уақытқа $r = at^2$ өрнегіне сәйкес өзгереді. Қоңыздың үдеуін уақыттың функциясы ретінде табыңдар.

2.123.* Массасы $m = 10$ г бөлшек $\omega = 10$ рад/с бұрыштық жылдамдықпен айналып тұрған дискіде айналу осінен $R_1 = 1$ м қашықтықта жатқан нүктеден, қашықтығы $R_2 = 2$ м нүктеге дейін жылжиды. Инерция күші бөлшекті қозғау үстінде қандай жұмыс жасайды?

2.124.* Бөлшек ω бұрыштық жылдамдықпен айналып тұрған дискінің үстімен айналу осінен өзгермейтін қашықтықта бірқалыпты қозғалады. Лездік мәндерді табыңдар:

а) Кориолсис күші центрден тепкіш инерция күшімен теңескендегі дискіге қатысты бөлшектің \vec{v}' жылдамдығын. Дискінің центрінен жүргізілген радиус-вектордың лездік мәні арқылы \vec{v}' жылдамдығын өрнекте;

б) осындай шарттарда қозғалмайтын санақ жүйесіне қатысты бөлшектің \vec{v}' жылдамдығының мәнін анықтаңдар.

2.125.* Массасы нөлге тең жіп блоктан асырылып тасталған. Жіптің бір ұшына массасы m_1 жүк ілінген, екінші жағында жіпке қатысты тұрақты a үдеуімен массасы m_2 сақина сырғыйды. Сақинаның жіпке үйкеліс күшін және m_1 жүгінің үдеуін табыңдар. Жіптің массасы есептелмейді, m_1 жүгі төмен қарай қозғалады деп есептеңдер.

2.126. Горизонталь жазықтықта $R = 20$ м радиуспен иіліп жатқан диаметрі $d = 0,2$ м труба арқылы су ағады. Центрден тепкіш күштің әсерінен пайда болған судың бүйірлік P қысымын табыңдар. Көлденең қима арқылы судың ағып өткендегі шығыны $m_t = 300$ т/сағ құрайды.

2.127. Жер шарының R радиусын біле отырып, G гравитациялық тұрақтыны есептеп шығару керек, жер бетіндегі еркін түсу үдеуі g және жердің орташа тығыздығы ρ .

2.128. Жердің либрациялық нүктесін, яғни Ай мен Жерге бірдей тартылатын кеңістіктегі материялық нүктені анықтау керек.

2.129. Бірінші космостық v_1 жылдамдықты, яғни дене Жердің маңында дөңгелек орбитамен айнала алатын жылдамдықтың сан мәнін табыңдар.

2.130. Екінші космостық v_2 жылдамдықты, яғни жер бетіндегі дене Жердің тарту күшін жеңіп, оны мәңгі-бақи тастап кететіндей жылдамдықтың сан мәнін табыңдар.

2.131. Жердің дөңгелек орбита бойымен қозғалысының v сызықтық жылдамдығын табыңдар.

2.132. Планетаның орташа тығыздығы ρ мен дөңгелек орбитамен айналып жүрген жасанды серіктің T айналу периоды арасындағы тәуелділікті анықтаңдар.

2.133. Жер бетінен $h = 200$ км биіктікте дөңгелек орбитамен айналып жүрген Жердің жасанды серігінің центрге тартқыш үдеуін табыңдар.

2.134. Жердің жасанды серігі экватор жазықтығында дөңгелек орбитамен батыстан шығысқа қарай айналады. Жердің бетінде бақылап тұрған адамға қатысты қозғалмайтын болып көріну үшін осы жасанды серік Жерден қандай h биіктікте тұру керек?

2.135.* Денені x тереңдікке құлатқан кездегі еркін түсу үдеуінің өзгерісін табыңдар. Осы тәуелділіктің графигін сыз. Жер мен дененің өзара гравитациялық әрекетінің потенциалдық энергиясы және күш қалай өзгереді? Жердің тығыздығын ρ тұрақты деп есептеу керек.

2.136.* Массалары m_1 және m_2 екі жұлдыз өзгермейтін R арақашықтықта қос жұлдыздар жүйесін құрайды. Ортақ массалар центрі төңірегінде жұлдыздардың айналу периоды қандай?

2.137. Жердің жасанды серігінің кинетикалық энергиясы дөңгелек орбитада W_k тең. Оның потенциалдық энергиясы неге тең?

2.138.* Жердің центрінен r қашықтықтағы перигейде серіктің жылдамдығы v -ға тең. Серіктің апогейдегі жылдамдығы қандай? Осы кезде серіктен Жердің центріне дейінгі қашықтық қандай?

2.139.* Планета бір фокусында Күн орналасқан эллипс бойымен қозғалады. Тартылыс күшінің жұмысын еске ала отырып, планетаның жылдамдығы траекторияның қай нүктесінде жоғары және қай нүктесінде төмен болатынын көрсетіндер.

2.140.* Суда радиусы r -ға тең екі ауа көпіршігі бар. Көпіршіктер бір-бірін тарта ма, әлде кері итере ме? Олардың өзара әрекеттесу күші қандай? Көпіршіктердің арақашықтығы R -ға тең. Судың тығыздығы ρ .

2.141.* Жіңішке біртекті өзекшенің осіне перпендикуляр және оның центрінен өтетін түзудің бойында массасы m бөлшек орналасқан. Өзекшенің ұзындығы l , оның массасы M , бөлшекке дейінгі арақашықтық L . Өзекшенің бөлшекке әрекет ететін F күшінің модулін табындар ($L \gg l$ жағдайын зерттеңдер).

2.142.* $l = L = 2a$ деп алып алдыңғы есепті шығару керек.

2.143.* Радиусы R жіңішке сақина берілген. Сымның радиусы r , ал тығыздығы ρ -ға тең. Сақина осінің бойында оның центрінен x қашықтықта жатқан массасы m материялық нүктені осы сақина қандай $F(x)$ күшпен өзіне тартатындығын табындар. Сақинаның және бөлшектің $U(x)$ потенциалдық энергиясын анықтаңдар. $F(x)$ және $U(x)$ графигін салындар.

2.144.* Радиусы R жұқа біртекті диск берілген. Дискінің беттік тығыздығы σ (кг/м^2). Дискінің центрі арқылы оған перпендикуляр өтетін түзуде x қашықтықта, массасы m бөлшек орналасқан. Табу керек: а) дискінің бөлшекті тартатын F күшін; б) диск пен бөлшектің өзара әрекетінің $U(x)$ потенциалдық энергиясын.

2.145.* Сызықтық тығыздығы λ (кг/м) жіңішке шексіз жіп берілген. Оның осінен x қашықтықта массасы m бөлшек орналасқан: а) бөлшекке жіп тарапынан әрекет ететін F күшінің модулін табындар; б) m бөлшегіне осындай күшпен әсер ету үшін одан x қашықтықта орналасқан екінші бөлшектің M массасы қандай болатынын табындар.

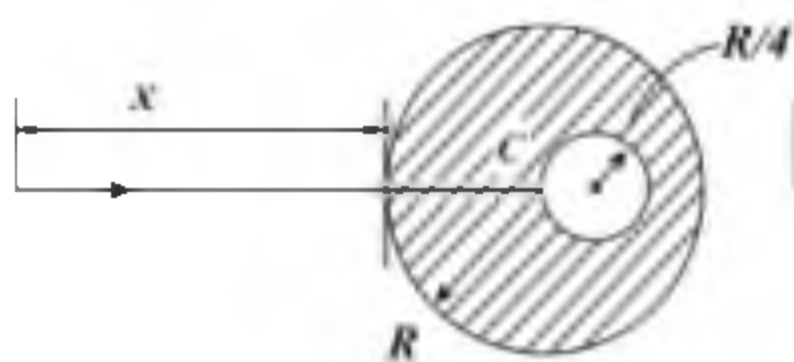
2.146.* Массасы M , радиусы R біртекті сфераның ішінде оның центрінен x қашықтықта орналасқан массасы m бөлшекке әсер етуші F гравитациялық күшін анықтаңдар.

2.147.* Жартысфералы біртекті жұқа қабат оның центрінде орналасқан жартысфера түрінде массасы m бөлшекті тартады. Сфералық қабаттың радиусы R , массасы M . Бөлшек пен қабаттың өзара әрекетіндегі F гравитациялық күшін табындар.

2.148.* Радиусы R корғасын шардың ішінде оның центріне қарағанда \vec{r}_0 векторға ығысқан сфералық қуыс жасалды. Шардың тығыздығы ρ . Қуыстағы еркін түсу үдеуін табындар.

2.149.* Кеңістік тығыздығы $\rho = \rho_0/r$ заңы бойынша өзгертін материямен толтырылған, мұндағы ρ_0 – тұрақты шама, r – координаттардың бас нүктесінен қашықтығы. \vec{r} радиус-векторының функциясы ретінде гравитациялық өрістің кернеулігін табындар. Гравитациялық өрістің кернеулік сызықтарын салындар.

2.150.* Радиусы R және тығыздығы ρ шардың ішінде радиусы $R/4$ сфералық қуыс бар. Оның центрі шардың C центрінен, $R/4$ қашықтықта PC сызығында орналасқан (25-сурет). Шар бетінен x қашықтықта тұрған P нүктесіндегі a еркін түсу үдеуін табындар.



25-сурет

2.151.* Экватордан ұшырылған Жердің жасанды серігі дөңгелек орбита бойымен экватор жазықтығына Жердің айналу бағытымен қозғалады. Серік жіберілген нүктенің үстінен екі тәулікте бір рет өтеді деген шартпен оның орбитадағы радиусының Жер радиусына қатынасын табу керек. Жердің радиусы 6400 км, $g = 9,8 \text{ м/с}^2$, $T = 24 \text{ сағ.}$

2.152.* Жердің бетіне қатысты барлық уақытта қозғалмай тұратын Жердің стационарлық серігінің дөңгелек орбита радиусын есептеп шығарындар. Осы кездегі Жердің центріне байланысты инерциалды санақ жүйесіндегі үдеуі және оның жылдамдығы қандай? Оның өз осінен айналу периоды және Жердің массасы белгілі.

2.153.* Ракетаның бастапқы кездегі отынымен бірге массасы m_0 , ал жылдамдығы нөлге тең. Сосын ракета өзімен салыстырғанда тұрақты \vec{u} жылдамдығымен үзіліссіз газ ағынын шығарады, сыртқы күштердің әсерінсіз қозғалады. Ракетаның массасы m -ге тең болған кездегі оның жылдамдығын табындар.

2.154.* Ракета ω тұрақты үдеуімен сыртқы күштердің әрекетінсіз қозғалады, газдың ракетамен салыстырғандағы шығу

жылдамдығы тұрақты және u -ға тең. Бастапқы кездегі ракета-ның массасы m_0 . Уақытқа байланысты ракета массасының өзгеруін табыңдар.

2.155.* Құм тиелген вагон тұрақты \vec{F} күшінің әрекетінен қозғалады. Құм тиелген вагонның бастапқы массасы m_0 , ал оның жылдамдығы нөлге тең. Вагонның түбіндегі тесіктен μ кг/с жылдамдықпен массасы кемитін құм төгіледі. Вагонның үдеуін және жылдамдығын t уақыт функциясы ретінде табыңдар.

2.156. Бірқалыпты төмен түсіп келе жатқан аэростат, сол жылдамдығымен қайтадан бірқалыпты жоғары көтерілуі үшін одан алынып тасталатын балластың салмағы қандай болу керек? Аэростаттың балластпен бірге алғандағы салмағы 1600 кГ, аэростаттың көтергіш күші 1200 кГ. Аэростат көтерілгенде және төмен түскенде оған ауаның жасайтын кедергі күшін бірдей деп аламыз.

2.157. Жіпке салмағы $P = 1$ кГ жүк ілінген. Жүктің: 1) 5 м/сек^2 үдеумен көтерілгендегі, 2) сол $a = 5 \text{ м/сек}^2$ үдеумен төмен түскендегі жіптің керілу күшін табыңдар.

2.158. Белгілі бір диаметрлі болат сым 4400 Н-ға дейінгі жүкті көтере алады. Осы сымға ілінгеі 3900 Н жүкті, ол үзілмейтіндей етіп, қандай ең үлкен үдеумен көтеруге болады?

2.159. Адамдармен бірге алынған лифтінің салмағы 800 кГ. Лифтіні ұстап тұрған тростың керілу күшін: 1) 1200 кГ және 2) 600 кГ-ға тең деп алып, лифтінің қандай үдеумен және қай бағытта қозғалатынын табыңдар.

2.160. Жіпке гир ілінген. Егер осы гирді $a_1 = 2 \text{ м/с}^2$ үдеумен көтеретін болсақ, онда жіптің керілу күші T жіптің үзілетін керілу күшінен екі есе кем болады. Гирді көтергенде жіп үзіліп кету үшін оны қандай a_2 үдеумен көтеру керек?

2.161. Массасы 500 т пойыз тежелгенде теңкемімелі қозғалады. Осы уақытта оның жылдамдығы 1 мин ішінде 40 км/сағ-тан 28 км/сағ-қа дейін кемиді. Тежеу күшін табыңдар.

2.162. Салмағы $1,96 \cdot 10^5$ Н вагон 54 км/сағ бастапқы жылдамдықпен қозғалады. Вагонның тоқтайтын уақыттарын: 1) 1 мин 40 сек, 2) 10 сек және 3) 1 сек деп алып, оған әрекет ететін орташа күшті табыңдар.

2.163. Салмағы $4,9 \cdot 10^6$ Н пойыз паровоздың тарту күші тоқтағаннан соң $9,8 \cdot 10^4$ Н-ға тең үйкеліс күшінің әсерімен 1 мин өткеннен кейін барып тоқтайды. Пойыз қандай жылдамдықпен жүрді?

2.164. Массасы 0,5 кг дене түзусызықты қозғалады, оның s жүрген жолының t уақытқа тәуелділігі $s = A - B + C t^2 - D t^3$ теңдеуімен өрнектеледі, мұндағы $C = 5$ м/с² және $D = 1$ м/с². Қозғалыстың бірінші секундының соңында денеге әрекет ететін күштің шамасын табыңдар.

2.165. Ыдыстың қабырғасына массасы $m = 4,65 \cdot 10^{-26}$ кг молекула $v = 600$ м/с жылдамдықпен соқтығысады да, одан өзінің жылдамдығын өзгертпей серпімді түрде кейін ыршиды. Соқтығысу уақытында қабырғаға түсетін күш импульсын табыңдар.

2.166. Шамалы биіктіктен вертикаль төмен түскен салмағы 0,1 кГ шарик көлбеу жазықтықтың бетіне соғылады да, жылдамдығын өзгертпей серпімді түрде кейін секіреді. Жазықтықтың горизонтпен жасайтын бұрышы 30°-қа тең. Соқтығысу нәтижесінде пайда болған күш импульсі 1,73 н·сек-қа тең. Шариктің жазықтыққа соғылған кезінен оның траекторияның ең жоғарғы нүктесінде болатын мезетіне дейін қанша уақыт өтеді?

2.167. Көлденең қимасы $S = 6$ см² сорғалап аққан су нормальға 60° бұрыш жасай қабырғаға соғылады да, жылдамдығын өзгертпестен қайтадан кейін серпіледі. Сорғалап аққан су ағынының жылдамдығын $v = 12$ м/с деп алып, қабырғаға әрекет ететін күшті табыңдар.

2.168. Трамвай тұрған орнынан $a = 0,5$ м/с² тұрақты үдеумен қозғалады. Қозғалыс басталғаннан $t = 12$ сек өткеннен кейін трамвай моторын тежейді де, аялдамаға дейін теңкемімелі қозғалады. Трамвайдың қозғалысының барлық жолындағы үйкеліс коэффициенті $k = 0,01$. Мына шамаларды: 1) трамвайдың ең үлкен жылдамдығын, 2) қозғалыстың жалпы ұзақтығын, 3) трамвайдың теңкемімелі қозғалысындағы теріс үдеуді, 4) трамвайдың жалпы жүрген жолын табыңдар.

2.169. Автомобильдің салмағы $9,8 \cdot 10^3$ Н. Қозғалыстағы автомобильге өз салмағының 0,1 бөлігіне тең үйкеліс күші әрекет етеді. Автомобиль: 1) бірқалыпты, 2) 2 м/сек²-қа тең

үдеумен қозғалу үшін автомобиль моторының өндіретін тарту күші неге тең болу керек?

2.170. Горизонталь бағытпен $a = 2,44 \text{ м/сек}^2$ тұрақты үдеумен қозғалған автомобильдің бағытындағы бензиннің беті горизонтпен қандай α бұрыш жасайды?

2.171. Трамвай вагонының төбесіне жіпке байланған шар ілінген. Вагонды тежегенде оның жылдамдығы $\Delta t = 3$ сек уақыт ішінде $v_1 = 18 \text{ км/сағ-тан } v_2 = 6 \text{ км/сағ-қа}$ дейін бірқалыпты өзгереді. Сонда шар ілінген жіп қандай α бұрышқа ауытқиды?

2.172. Темір жол вагонын тежегенде $\Delta t = 3,3$ сек уақыт ішінде оның жылдамдығы бірқалыпты $v_1 = 47,5 \text{ км/сағ-тан } v_2 = 30 \text{ км/сағ-қа}$ дейін өзгереді. Жәшік пен сөренің арасындағы үйкеліс коэффициентінің қандай шекті мәнінде тежелу барысында жәшік сөренің үстінен сырғанайтын болады?

2.173. Үстелдің үстіндегі арқанның бір бөлігі оның шетінде салбырап тұр. Арқанның үстелден түсіп жатқан бөлігі оның барлық ұзындығының 25 пайызына жеткенде ол үстелден сырғанап түсе бастайды. Арқанның үстелмен жасайтын үйкеліс коэффициенті неге тең?

2.174. Тауға 1 м/сек^2 үдеумен қозғалып келе жатқан автомобиль моторының тарту күшін табындар керек. Әрбір 25 м жолда тау көлбеулігі 1 м-ге тең. Автомобильдің салмағы $9,8 \cdot 10^3 \text{ Н}$. Үйкеліс коэффициенті 0,1-ге тең.

2.175. Дене горизонтпен 4° бұрыш жасайтын көлбеу жазықтықтың үстінде жатыр. Үйкеліс коэффициентінің қандай шекті мәнінде дене көлбеу жазықтықтың үстімен сырғанап бастайды? Егер үйкеліс коэффициенті 0,03-ке тең десек, дене көлбеу жазықтықта қандай үдеумен сырғанайды? Осы айтылған шарттарда дене 100 м жол жүру үшін қанша уақыт керек? Осы 100 м жолдың аяғында дененің жылдамдығы қандай болады?

2.176. Горизонтпен $\alpha = 45^\circ$ бұрыш жасаған көлбеу жазықтың бетімен дене сырғанайды. Дененің $s = 36,4 \text{ м}$ жол жүргеннен кейінгі жылдамдығы $v = 2 \text{ м/сек-қа}$ жетті. Дененің көлбеу жазықтықпен жасайтын үйкеліс коэффициенті неге тең?

2.177. Горизонтпен 45° бұрыш жасайтын көлбеу жазықтық бетімен дене сырғанайды. Дененің s жүрген жолының t уақытқа тәуелділігі $s = Ct^2$ теңдеумен беріледі, мұндағы $C = 1,73 \text{ м/сек}^2$.

Дененің көлбеу жазықтықпен жасайтын үйкеліс коэффициентін табыңдар.

2.178. Ұшақ жоғары көтеріліп $h = 5$ км биіктікте жылдамдығы $v = 360$ км/сағ-қа жетеді. Ұшақтың көтерілгендегі ауырлық күшіне қарсы істелінетін жұмыс оның жылдамдығын арттыруға кететін жұмыстан қанша есе үлкен болады?

2.179. Массасы 2 кг қозғалыстағы дененің: 1) жылдамдығын 2 м/сек-тан 5 м/сек-қа дейін арттыру үшін, 2) бастапқы жылдамдығы 8 м/сек болғанда тоқтап қалу үшін қандай жұмыс істеу керек?

2.180. Мұздың бетімен $v = 2$ м/сек жылдамдықпен лақтырылған тас толық тоқтағанға дейін $s = 20,4$ м жол жүрді. Тастың мұзбен жасайтын (тұрақты деп алғандағы) үйкеліс коэффициентін табыңдар.

2.181. Жүргізуші жолдағы кедергіге 25 м қалғанда автомобильді тежеді. Автомобильдің тежеу колодкасындағы үйкеліс күші тұрақты және 3840 Н-ға тең. Автомобильдің салмағы 1 т. Қозғалыстың қандай шекті жылдамдығында автомобиль кедергіге жетпей тоқтайтын болады? Дөңгелектің жолмен жасайтын үйкелісін ескермейміз.

2.182. Трамвай $a = 49,0$ см/сек² үдеумен қозғалады. Мотор қуатының 50 пайызы үйкеліс күшін жеңуге, ал 50 пайызы қозғалыс жылдамдығын арттыруға жұмсалады. Үйкеліс коэффициентін табыңдар.

2.183. Дененің 10 м жүрген жолындағы қозғалыс жылдамдығын 2 м/сек-тан 6 м/сек-қа дейін арттыру үшін қандай жұмыс істеу керек? Жолдың барлық ұзындығында 0,2 кГ-ға тең тұрақты үйкеліс күші әрекет етеді. Дененің массасы 1 кг.

2.184. Автомобильдің салмағы $9,81 \cdot 10^3$ Н. Қозғалыс кезінде автомобильге оның салмағының 0,1-не тең тұрақты үйкеліс күші әрекет етеді. 0,5 км жолда автомобильдің қозғалу жылдамдығын 10 км/сағ-тан 40 км/сағ-қа дейін арттыру үшін оның двигателі қанша мөлшерде бензин шығындайды? Двигательдің пайдалы әсер коэффициенті 20 пайызға тең, бензиннің жылу шығаратын қабілеті $4,6 \times 10^7$ дж/кг.

2.185. Салмағы 2 кГ тас шамалы биіктіктен құлап түсті. Құлау уақыты 1,43 сек-қа созылды. Жолдың орта нүктесіндегі

тастың кинетикалық және потенциалдық энергиясын табыңдар. Ауаның кедергісі есепке алынбайды.

2.186. Биіктігі $H = 25$ м мұнарадан 15 м/сек жылдамдықпен горизонталь бағытта тас лақтырылды. Қозғалыс басталғаннан 1 сек өткеннен кейінгі тастың кинетикалық және потенциалдық энергиясын табыңдар. Тастың массасы $m = 0,2$ кг. Ауаның кедергісі есепке алынбайды.

2.187. Ядроны горизонтпен $\alpha = 30^\circ$ бұрыш жасай лақтыруда $A = 216$ Дж жұмыс жасалды. Лақтырған орнынан есептегенде ядро жерге қандай қашықтықта және қанша уақытта түседі? Ядроның салмағы $P = 2$ кГ. Ауаның кедергісі есепке алынбайды.

2.188. Массасы 10 г материялық нүкте радиусы $6,4$ см шеңбердің бойымен тұрақты тангенциаль үдеумен қозғалады. Қозғалыс басталғаннан кейінгі екінші рет айналуының соңында материялық нүктенің кинетикалық энергиясы $8 \cdot 10^{-4}$ Дж-ға тең болады деп алып, тангенциаль үдеудің шамасын табыңдар.

2.189. Дене ең алдымен горизонтпен $\alpha = 8^\circ$ бұрыш жасайтын көлбеу жазықтық бетімен сырғанап, содан кейін горизонталь бетпен сырғанайды. Дененің горизонталь бетпен және көлбеу жазықтықтың бетімен сырғанау қашықтығы бірдей деп алып, үйкеліс коэффициентінің неге тең екендігін табыңдар.

2.190. Массасы 3 кг дене $0,5$ м биіктіктен ұзындығы 1 м көлбеу жазықтығының бетімен сырғанайды. Дене көлбеу жазықтықтың табанына $2,45$ м/сек жылдамдықпен жетеді. Мына шамаларды: 1) дененің жазықтықпен жасайтын үйкеліс коэффициентін, 2) үйкеліс уақытындағы бөлініп шығатын жылу мөлшерін табыңдар. Дененің бастапқы жылдамдығы нольге тең.

2.191. Массасы 2 т автомобиль тауға өрмелеп барады. Таудың еңістігі жолдың әрбір 100 метріне 4 метрге келеді. Үйкеліс коэффициенті 8 пайызға тең. Мына шамаларды: 1) автомобильдің двигателінің 3 км жолда істеген жұмысын, 2) осы жолды ол 4 минутта жүреді деп есептеп двигательдің қуатын табыңдар.

2.192. Автомобиль 36 км/сағ тұрақты жылдамдықпен: 1) горизонталь жолмен жүреді, 2) жолдың әрбір 100 метріне еңістік 5 м болатын тауға көтеріледі, 3) сол еңістікпен таудан төмен

түседі деп алып, автомобиль двигателінің қандай қуат өндіретінін табыңдар. Үйкеліс коэффициенті 0,07-ге тең.

2.193. Массасы 1 т автомобиль таудан түсіп келеді, моторын тоқтатқан кездегі 54 км/сағ тұрақты жылдамдықпен жүрді. Жолдың әрбір 100 метріне келетін еңістік 4 м-ге тең. Осы жылдамдықпен еңістігі осындай тауға өрмелеу үшін автомобиль двигателінің қуаты қандай болу керек?

2.194. Массасы 5 кг мылтықтан 600 м/сек жылдамдықпен массасы 5 г оқ ұшып шығады. Мылтықтың серпілу (тебу) жылдамдығын табыңдар.

2.195. Теміржол бойымен горизонталь бағытпен 500 м/сек жылдамдықпен ұшып келе жатқан салмағы 980 Н снаряд, құм тиелген массасы 10 т вагонға тиеді де, сонда қалып қояды. Егер: 1) вагон қозғалмай бір орында тұрса, 2) вагон снарядтың ұшқан бағытына қарай 36 км/сағ жылдамдықпен қозғалса, 3) вагон снарядтың ұшқан бағытына қарама-қарсы бағытта 36 км/сағ жылдамдықпен қозғалса, вагон қандай жылдамдық алар еді?

2.196. Горизонталь бағытта 1 м/сек жылдамдықпен қозғалып келе жатқан массасы 1 кг дене массасы 0,5 кг екінші бір денені қуып жетіп, онымен серпімсіз соқтығысады. Егер: 1) екінші дене тыныштықта тұрса, 2) екінші дене 0,5 м/сек жылдамдықпен бірінші дененің қозғалған бағытымен қозғалса, 3) екінші дене 0,5 м/сек жылдамдықпен бірінші дененің қозғалған бағытына қарама-қарсы бағытта қозғалса, онда дене қандай жылдамдық алар еді?

2.197. Массасы 70 кг коньки тебуші конькимен мұздың үстінде тұрып, массасы $m=3$ кг тасты 8 м/сек жылдамдықпен горизонталь бағытта лақтырады. Егер конькидің мұзбен жасайтын үйкеліс коэффициенті 0,02-ге тең болса, коньки тебуші қанша жерге дейін сырғанап барады?

2.198. Қозғалмай тұрған арбаның үстіндегі адам жол бойымен горизонталь бағытта массасы 2 кг тасты лақтырады. Арба кейін жылжиды да, тасты лақтырғаннан кейінгі бірінші мезетте оның жылдамдығы 0,1 м/сек-ке тең болады. Адам мен арбаның массасы 100 кг-ға тең. Лақтырылған тастың қозғалысы басталғаннан кейін 0,5 сек уақыттан соңғы кинетикалық

энергиясын табыңдар. Тастың ұшқан уақытындағы ауаның кедергісін ескермейміз.

2.199. Массасы $P_1 = 2$ кг дене массасы $P_2 = 1,5$ кг екінші денеге қарсы қозғалады да онымен серпімсіз соқтығысады. Соқтығысудың алдындағы денелердің сәйкес жылдамдықтары $v_1 = 1$ м/с және $v_2 = 2$ м/с-ке тең болады. Үйкеліс коэффициенті $k = 0,05$ -ке тең десек, соқтығысқаннан кейін денелер қанша уақыт қозғалар еді?

2.200. Автомат минутына 600 оқ шығарады. Әрбір оқтың массасы 4 г, ал оның бастапқы жылдамдығы 500 м/сек. Атқандағы орташа серпу (тебу) күшін табыңдар.

2.201. Массасы $P_1 = 10$ т платформа рельстің үстінде тұр. Платформаның үстінде массасы $P_2 = 5$ т зеңбірек орнатылған, одан рельс бойының бағытымен оқ атылады. Снарядтың массасы $P_3 = 100$ кг, оның зеңбірекпен салыстырғандағы бастапқы жылдамдығы $v_0 = 500$ м/сек. Егер: 1) платформа қозғалмай орнында тұрса, 2) платформа $v_1 = 18$ км/сағ жылдамдықпен қозғалып, зеңбірек оның қозғалу бағытына қарай атылса, 3) платформа $v_1 = 18$ км/сағ жылдамдықпен қозғалып және зеңбірек оның қозғалу бағытына қарама-қарсы бағытта атылса, онда зеңбіректі атқан уақытта платформа қанша жерге дейін шегінер еді? Платформаның рельспен жасайтын коэффициенті 0,002-ге тең.

2.202. Массасы $5 \cdot 10^3$ кг зеңбіректен массасы 100 кг-ға тең снаряд ұшып шығады. Зеңбіректен ұшып шыққандағы снарядтың кинетикалық энергиясы $7,5 \cdot 10^6$ Дж-ға тең. Кейін тебу әрекетінен зеңбіректің алатын кинетикалық энергиясы қандай?

2.203. Массасы 2 кг дене 3 м/сек жылдамдықпен қозғалып келе жатып, массасы 3 кг, 1 м/сек жылдамдықпен қозғалған екінші денені қуып жетеді. 1) Соқтығысу серпімсіз болды, 2) соқтығысу серпімді болды деп алып, соқтығысқаннан кейінгі денелердің жылдамдығын табыңдар. Денелер бір түзудің бойымен қозғалады. Соққы — центрлік.

§ 3. Қатты денелердің айналмалы қозғалысы

Қозғалмайтын O нүктесіне қатысты күш моменті:

$$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F},$$

мұндағы \vec{r} – O нүктесінен \vec{F} күші түсетін нүктеге дейін жүргізілген радиус-вектор.

Қозғалмайтын O нүктесіне қатысты материялық нүктенің импульс моменті

$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p},$$

мұндағы \vec{r} – O нүктесінен материялық нүктеге жүргізілген радиус-векторы.

Импульс моментінің өзгеру заңы

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{M}_{\text{сыртқы}}.$$

$\vec{M}_{\text{сыртқы}}$ – қозғалмайтын O нүктеге қатысты сыртқы күштің моменті.

Кейбір осьтерге қатысты материялық нүктелер жүйесінің инерция моменті

$$J = \sum_{i=1} m_i r_i^2,$$

мұндағы r_i – берілген нүктеден айналу осіне дейінгі арақашықтық.

Айналу осіне қатысты қатты дененің инерция моменті

$$J = \int r^2 dm = \int_{(V)} r^2 \rho dV,$$

мұндағы: ρ – дененің тығыздығы.

Егер қандайда-бір дененің ауырлық центрінен өтетін оське қатысты J_0 инерция моменті белгілі болса, онда бірінші оське параллель болатын кез-келген ось арқылы өтетін инерция моментін Штейнердің формуласымен табуға болады:

$$J = J_0 + md^2,$$

мұндағы: m – дененің массасы, d – массалар центрінен айналу осіне дейінгі қашықтық.

Айналмалы қозғалыс динамикасының негізгі заңы (импульс моментінің сақталу заңы) төмендегі теңдеумен беріледі:

$$\vec{M}dt = d\vec{L} = d(J\vec{\omega}),$$

мұндағы: \vec{M} – денеге түсірілген күш моменті, \vec{L} – дененің импульс моменті (J – дененің инерция моменті, $\vec{\omega}$ – оның бұрыштық жылдамдығы). Егерде $J = \text{const}$, онда

$$\vec{M} = J \frac{d\vec{\omega}}{dt} = J\vec{\varepsilon},$$

мұндағы: $\vec{\varepsilon} = \frac{d\vec{\omega}}{dt}$ – күш моментінің әрекетінен дененің алатын бұрыштық үдеуі.

OZ осіне қатысты айналатын дене динамикасының теңдеуі

$$\frac{dL_z}{dt} = M_{z_{\text{сыртқы}}},$$

мұндағы: L_z және M_z – импульстің және сыртқы күштердің моменттерінің айналу осіндегі сыртқы проекциялары:

$$L_z = J_z \omega, \quad \frac{d}{dt}(J_z \omega) = M_{z_{\text{сыртқы}}}.$$

Осьті айналатын дененің кинетикалық энергиясы

$$W_k = \frac{J\omega^2}{2}.$$

Дененің ілгерілемелі қозғалыс теңдеулері мен айналмалы қозғалыс динамикасы теңдеулерін салыстыру 1-кестеде берілген.

1-кесте

Ілгерілемелі қозғалыс	Айналмалы қозғалыс
Ньютонның екінші заңы	
$\vec{F}\Delta t = m\vec{v}_2 - m\vec{v}_1,$ немесе $F = ma$ Импульс заңының сақталуы $\sum_i m\vartheta = const$	$\vec{M}\Delta t = J\vec{\omega}_2 - J\vec{\omega}_1,$ немесе $M = J\varepsilon$ Импульс моментінің сақталу заңы $\sum_i J\vartheta = const$
Жұмыс және кинетикалық энергия	
$A = \vec{F}\vec{S} = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2}$	$A = \vec{M}\vec{\varphi} = \frac{J\omega_2^2}{2} - \frac{J\omega_1^2}{2}$
Дененің статикалық тепе-теңдік шарты	
$\sum_{i=1} \vec{F}_i = 0$	$\sum_{i=1} \vec{M}(\vec{F}_{i0}) = 0$

3.1.* Жер шарының айналу осіне қатысты L импульс моментін және J инерция моментін табыңдар.

3.2.* Вертикаль оське перпендикуляр түзудің ұштарына орналасқан екі нүкте осьті айнала қозғалады. Осы материялық нүктелер үшін Штейнер теоремасын дәлелдеңдер.

3.3.* Радиусы R және массасы m біртекті дөңгелек түзу цилиндрдің өз осіне қатысты инерция моментін табыңдар.

3.4.* Дөңгелек түзу біртекті конустың массасы m және табанының радиусы R . Конустың өз осіне қатысты инерция моментін табыңдар.

3.5.* Массасы m және ұзындығы l жіңішке біртекті өзекшенің инерция моментін табыңдар: а) массалар центрінен өтетін, өзекшеге перпендикуляр оське қатысты; б) өзекшенің ұшынан өтетін, оған перпендикуляр оське қатысты.

3.6.* Массасы m , ұзындығы a , ені b біртекті тікбұрышты пластинканың инерция моментін оған перпендикуляр оське қатысты табындар керек: а) ось пластинка центрі арқылы өтеді; б) пластинканың бір төбесі арқылы өтеді.

3.7. Радиусы бірдей $R = 5$ см екі шар салмақсыз өзекшенің ұштарына бекітілген. Шарлардың арақашықтығы $r = 0,5$ м. Әр шардың массасы $m = 1$ кг. Мына шамаларды:

а) осы жүйенің өзекшенің ортасынан оған перпендикуляр бағытта өтетін оське қатысты J_1 инерция моментін, б) шарларды массалары олардың центрінде шоғырланған материялық нүктелер деп есептей отырып, осы осьпен салыстырғандағы жүйенің J_2 инерция моментін, в) осы жүйенің инерция моментін есептегенде J_1 шамасын осы жүйенің J_2 инерция моментінің шамасына алмастырғанда жіберетін салыстырмалы қателікті $\sigma = (J_1 - J_2)/J_2$ табындар.

3.8. Радиусы $R = 0,2$ м біртекті дискінің құрсауына (жиегіне) $F = 98,1$ Н тұрақты жанама күш түсірілген. Дискі айналған уақытта оған үйкеліс күшінің моменті $M = 4,9$ Н·м әрекет етеді. Дискі $\varepsilon = 100$ рад/с² тұрақты бұрыштық жылдамдықпен айналады деп есептеп, дискінің m массасын табындар.

3.9. Ұзындығы $l = 1$ м және массасы $m = 0,5$ кг біртекті өзекше вертикаль жазықтықта өзекшенің ортасынан өтетін горизонталь осьті айналады. Егер айналдырушы күш моменті $M = 98,1$ Н болса, өзекше қандай ε бұрыштық үдеумен айналар еді?

3.10. Инерция моменті $J = 63,6$ кг·м² маховик $\omega = 31,4$ рад/с тұрақты бұрыштық жылдамдықпен айналады. Маховикті $t = 20$ с ішінде тоқтататын M тежеуші моментін табындар. Маховикті біртекті диск деп есептеу керек.

3.11. Массалары $m_1 = 2$ кг және $m_2 = 1$ кг екі гир блоктан асыра массасы $m = 2$ кг жіпке жалғанған. Гирлердің a қозғалыс үдеуін және гирлер ілінген жіптің T_1 және T_2 керілу күштерін табындар. Блокты біртекті дискі деп аламыз. Үйкеліс есепке алынбайды.

3.12.* Массалары m_1 және m_2 екі жүк блоктан асыра тасталған жіпке байланған. Егер блоктың инерция моменті J , радиусы R болса, оның бұрыштық үдеуін анықта. Үйкеліс есептелмейді.

3.13. Массасы $m = 9$ кг барабанға жіп орап, оның ұшына массасы $m_1 = 2$ кг жүк байланған. Барабанды біртекті цилиндр деп, жүктің үдеуін табыңдар. Үйкеліс есептелмейді.

3.14. Радиусы $R = 0,5$ м барабанға жіп орап, оның ұшына массасы $m = 10$ кг жүк байлаған. Егер жүктің төмен түсу үдеуі $a = 2,04 \text{ м/с}^2$ болса, онда барабанның инерция моменті қандай болады?

3.15. Инерция моменті $J = 0,1 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, радиусы $R = 20$ м барабанға жіп орап, оның ұшына массасы $m = 0,5$ кг жүк байлаған. Барабан айнамай тұрғанда жүк еденнен $h = 1$ м биіктікте болды. Қанша уақыттан соң жүк еденге түседі және оның кинетикалық энергиясы қандай болады? Үйкелісті ескермейміз.

3.16. Массасы $m = 1$ кг блок үстелдің шетіне бекітілген. Массалары бірдей $m_1 = m_2 = 1$ кг екі гир блоктан асыра тасталған жіпке байланған. 2-гир үстелдің үстінде жатыр, ал 1-гир үстелден төмен асылып тұр. 2-гирдің үстелмен жасайтын үйкеліс коэффициенті $k = 0,1$. Жіптердің T_1 және T_2 керілу күштерін, гирлердің қозғалыстағы үдеуін табыңдар. Блоқты біртекті диск деп есептейміз. Блоктағы үйкеліс есепке алынбайды.

3.17. Массасы $m = 2$ кг диск горизонталь бетте $v = 4$ м/с жылдамдықпен сырғанамай дөңгелейді. Дискінің кинетикалық энергиясын табыңдар.

3.18. Массасы $m = 0,25$ кг және диаметрі $D = 6$ см шар $n = 4$ айн/с жиілікпен айнала отырып, горизонталь жазықтықтың бетімен сырғанамай домалайды. Шардың кинетикалық энергиясын табыңдар.

3.19. Сырғанаусыз дөңгелеп келе жатқан массасы $m = 1$ кг шар қабырғаға соқтығады да, одан кері қарай қайта дөңгелейді. Шардың қабырғаға соқтыққанға дейінгі жылдамдығы $v = 10$ см/с, ал соқтыққаннан кейінгі жылдамдығы $u = 8$ см/с. Соқтығысу мезетінде бөлініп шыққан Q жылу мөлшерін табыңдар.

3.20. Горизонталь жолдың бойымен бала $v = 7,2$ км/сағ жылдамдықпен құрсауды дөңгелетіп келеді. Құрсау өзінің кинетикалық энергиясының есебінен төбешік бетімен қандай

кашықтыққа өрмелейді? Төбешіктің еңкіштігі: әрбір 100 м жолға 10 м-ге тең.

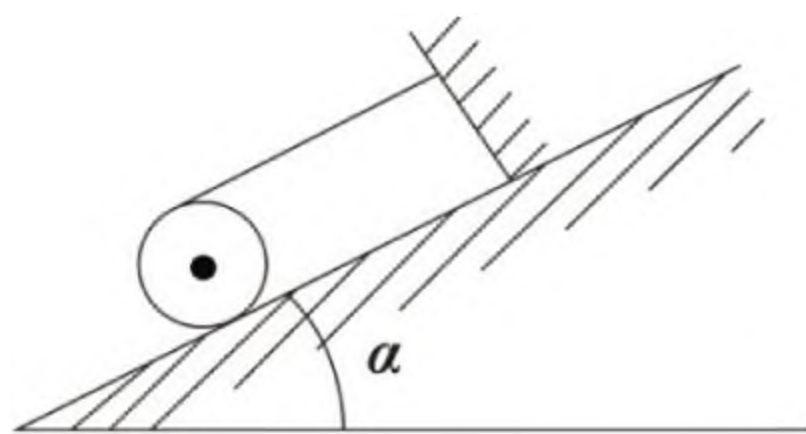
3.21. Көлбеу жазықтық етегіне сырғанамай дөңгелеп келе жатқан шардың, дискінің және құрсаудың ауырлық центрлері қозғалысының сызықтық жылдамдықтарын табындар. Жазықтықтың көлбеу бұрышы $\alpha = 37^\circ$, барлық денелердің бастапқы жылдамдығы $v_0 = 0$.

3.22. Көлбеу жазықтықтың бетімен сырғанамай дөңгелеп түсіп келе жатқан шардың, дискінің және құрсаудың ауырлық центрлерінің қозғалысының сызықтық үдеуін табындар. Көлбеу жазықтықтың биіктігі $h = 0,5$ м, барлық денелердің бастапқы жылдамдығы $v_0 = 0$.

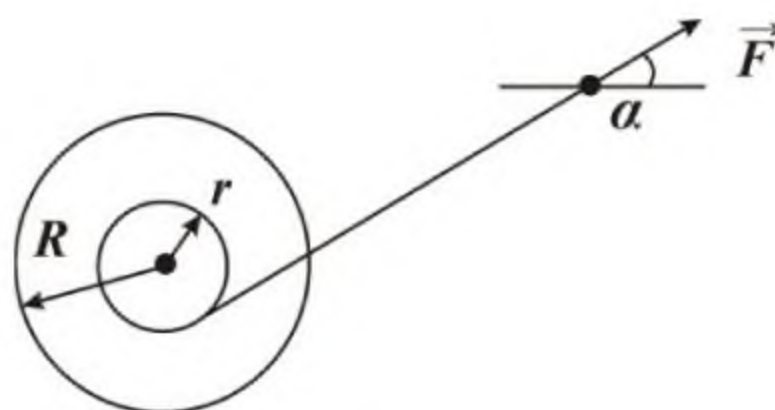
3.23.* Цилиндр табанындағы бұрышы α көлбеу жазықтықтың етегіне қарай сырғанамай дөңгелейді. Цилиндрдің массалар центрінің үдеуі қандай?

3.24.* Алдыңғы есепті цилиндр мен жазықтық арасындағы сырғанау үйкелісінің коэффициенті k -ға тең болған жағдай үшін шығарындар. Нәтижесін түсіндір.

3.25.* Радиусы R жіңішке құрсауды өз осінің төңірегінде ω бұрыштық жылдамдығына дейін айналдырып, жалпағынан горизонталь жазықтыққа тастайды. Құрсау мен жазықтықтың арасындағы үйкеліс күші k деп есептеп, айналу толық тоқтағанға дейінгі уақытты анықта. Осы уақытта құрсау қанша айналым жасайды?



26-сурет



27-сурет

3.26.* Жұқа кабырғалы цилиндрге ұшы бекітілген жіп оралған (26-сурет). Жіп тарқату кезінде α бұрышымен көлбеу жазықтыққа параллель қалпын сақтайды. Егер оның осі l

қашықтығын жүріп өтсе, цилиндр қандай жылдамдық алған? Жазықтық пен цилиндр арасындағы үйкеліс коэффициенті k .

3.27.* Горизонталь жазықтықта жіп оралған шарғы жатыр. Шарғыны жібінен тартады (27-сурет). α бұрышы қандай болғанда шарғы жіпке қарай үдей қозғалады?

3.28.* Жіңішке сақина горизонталь бүрлі бетте v жылдамдығымен сырғанамай домалайды. Егерде сақина мен бет арасындағы үйкеліс коэффициенті k болса, вертикаль жылжымай қабырғаға серпімді соғылған сақина қанша уақыттан кейін тоқтайды?

3.29.* Массасы m және ұзындығы l жіңішке біртекті таяқша арақашықтығы α екі тіреу үстінде симметриялы жатыр. Бір тіреуді тез алып тастайды. Осы сәтте қалған тіреудің реакция күші қандай?

3.30.* Радиусы R барлық массасы тоғынына шоғырланған құрсауды ω бұрыштық жылдамдығына дейін айналдырып, горизонтпен α бұрышын жасайтын беті бүрлі көлбеу жазықтыққа қояды. Құрсаудың жазықтықпен жоғары көтерілу уақытын табыңдар.

3.31.* Массасы m , радиусы R жіңішке сақинаны ω_0 бұрыштық жылдамдығына дейін айналдырып, көлбеу жазықтыққа вертикаль қояды. Егер жазықтық пен сақинаның үйкеліс коэффициенті k болса, сақина қалай қозғалды? Сырғанау қанша уақыттан кейін тоқталады? Бастапқы энергияның қай бөлігі жылуға айналады?

3.32.* Ұзындығы $h = 3$ м және массасы $m = 50$ кг вертикаль бөрене жерге құлай бастайды. Бөрененің жерге құлаған мезетіндегі оның импульс моментін және жоғарғы ұшының жылдамдығын анықтаңдар.

3.33.* Үстелге вертикаль қойылған ұзындығы $l = 15$ см қалам құлай бастайды. Құлау аяғында қаламның ортасының және жоғарғы ұшының v сызықтық және ω бұрыштық жылдамдықтары қандай болады?

3.34.* Ұзындығы $l = 1$ м біртекті өзекше өзінің жоғарғы ұшынан өтетін горизонталь оське ілінген. Осы өзекшенің төменгі ұшы тепе-теңдік қалыптан өткен уақытта жылдамдығы 5 м/с болу үшін оны қандай бұрышқа бұру керек?

3.35.* Массасы $m = 100$ кг горизонталь платформа өзінің центрінен өтетін осьті 10 айн/мин жасап айналады. Массасы $m_0 = 60$ кг адам платформаның шетінде тұр. Егер адам оның центріне қарай өтетін болса, платформаның айналу жылдамдығы қандай болады? Платформаны біртекті дискі, ал адамды нүктелік масса деп қарастырыңдар.

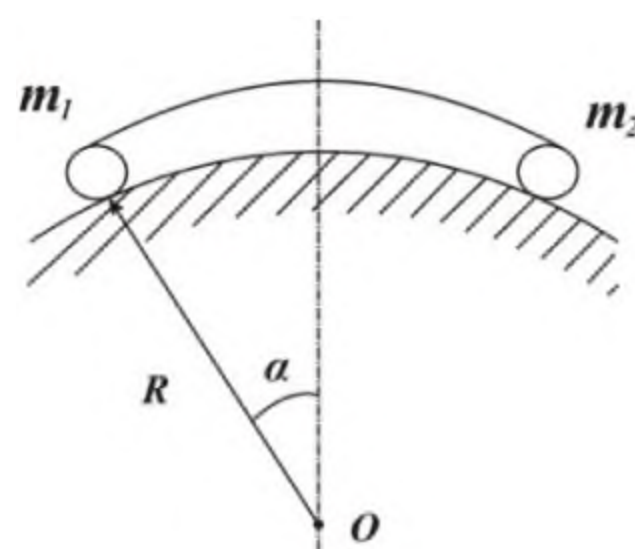
3.36.* Алдыңғы есептің шарты бойынша, платформаның шетінен центрге қарай өту үшін адамның қандай жұмыс істейтінін табыңдар. Платформаның радиусы $R = 165$ м.

3.37.* Массасы $m = 80$ кг және радиусы $R = 1$ м горизонталь платформа $n_1 = 20$ айн/мин бұрыштық жылдамдықпен айналады. Екі қолын екі жаққа созып гир ұстаған адам платформаның центрінен тұр. Егер платформаның центрінен тұрған адам қолдарын төмен түсіріп, өзінің инерция моментін $J_1 = 2,94$ -ден $J_2 = 0,98$ кг·м²-ге дейін кемітсе, онда платформаның бір минутта жасайтын айналым саны қанша болады? Платформаны біртекті диск деп аламыз.

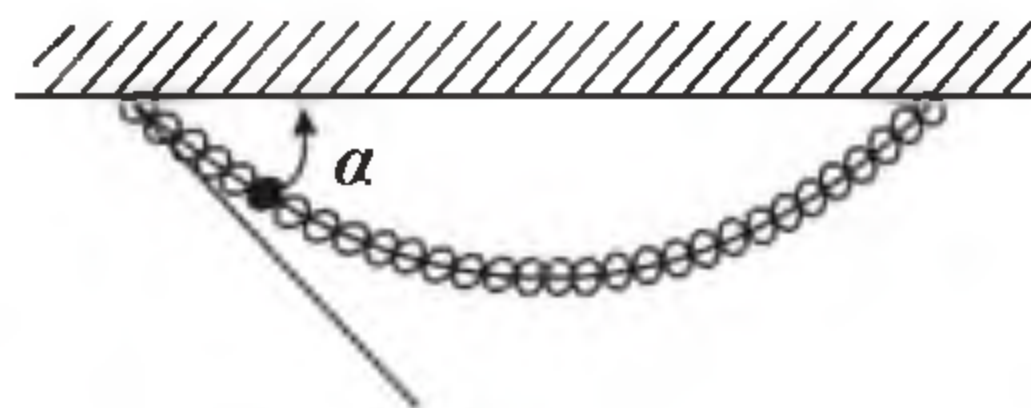
3.38.* Алдыңғы есептің шарты бойынша адамы бар платформаның W_k кинетикалық энергияның қанша есе өскенін табыңдар.

3.39.* Массасы m , радиусы R диск өз осінің бойымен айналады. Бұрыштық айналу жылдамдығы ω . Диск сыртқы күштің әрекетінен тоқтайды. Сыртқы күштің жұмысы неге тең?

3.40.* Ұзындығы l жіппен жалғанған екі жүк радиусы R тақыр бөрененің үстінде жатыр (28-сурет). Жүктердің тепе-теңдік кезінде оның біреуіне жүргізілген радиус пен вертикаль араларындағы бұрышы α -ға тең. Егер бірінші жүктің массасы m_1 болса, екіншісінің массасын табыңдар.



28-сурет

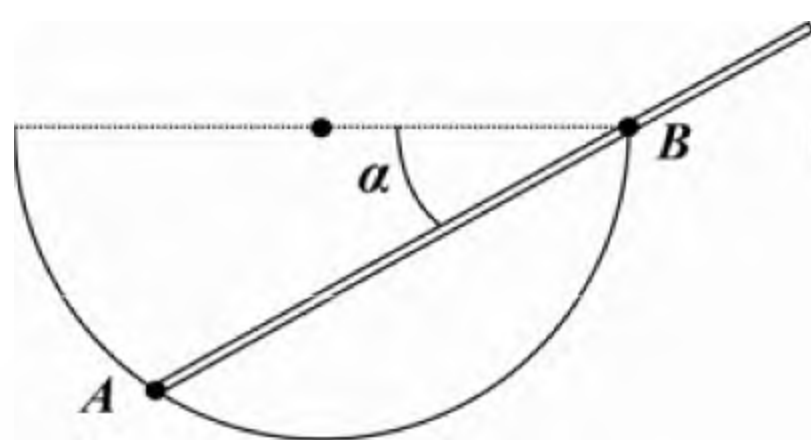


29-сурет

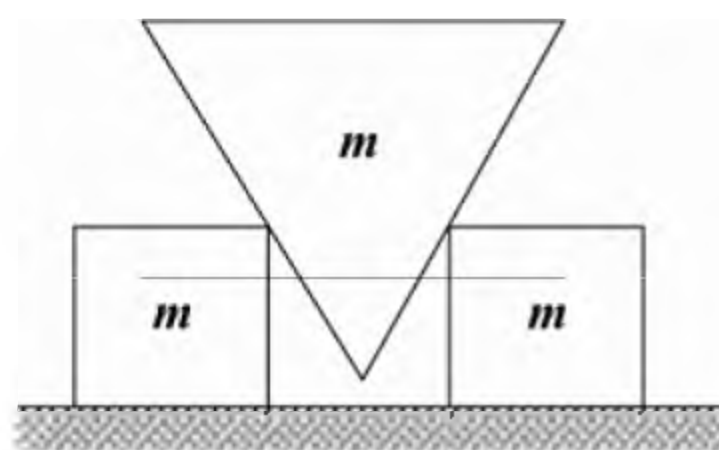
3.41.* Массасы m алка ілгішке таяу нүкте маңында горизонтальмен α бұрышын жасайтындай етіп, ұштарынан ілінген (29-сурет). Алқаның төменгі нүктесі мен ілінген нүктелеріндегі керілу күшін анықтандар.

3.42.* Массасы m таяқша горизонтпен α бұрышын жасап, бекітілген жартышарда еркін жатыр, ал ұшы жартышардың ернеуінен шығып тұр (30-сурет). Таяқша қандай күшпен А және В нүктелерінде жартышарға әрекет етеді? Таяқшаның массасы m .

3.43.* Горизонталь жазықтықта қималары квадрат пішіндес бірдей екі білеуше жатыр. Олардың арасына массасы білеушенің массасындай, ал қимасы тенқабырғалы үшбұрыш түріндегі жалтыр сына қойылған (31-сурет). Жазықтық пен білеушелердің арасындағы қандай үйкеліс коэффициентінде олар алшақтай бастайды?



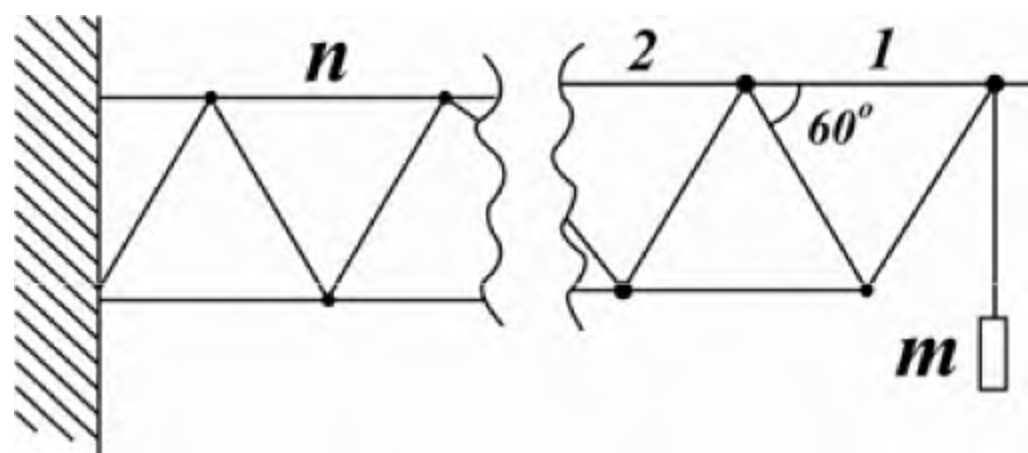
30-сурет



31-сурет

3.44.* Горизонталь бетте массасы m куб тұр. Кубтың жазықтықпен үйкеліс коэффициенті k -ға тең болса, куб сырғанамай аударылуы үшін қандай ең аз күшпен және горизонтқа қандай бұрыш жасап, оны жоғарғы қырынан тарту керек?

3.45.* Басқыш еденге және вертикаль қабырғаға сүйенеді. Егер басқыштың еден мен қабырғадағы үйкеліс коэффициенттері k_1 және k_2 -ге тең болса, басқыш пен еденнің арасындағы қандай бұрышта ол қозғалмай тұра алады?



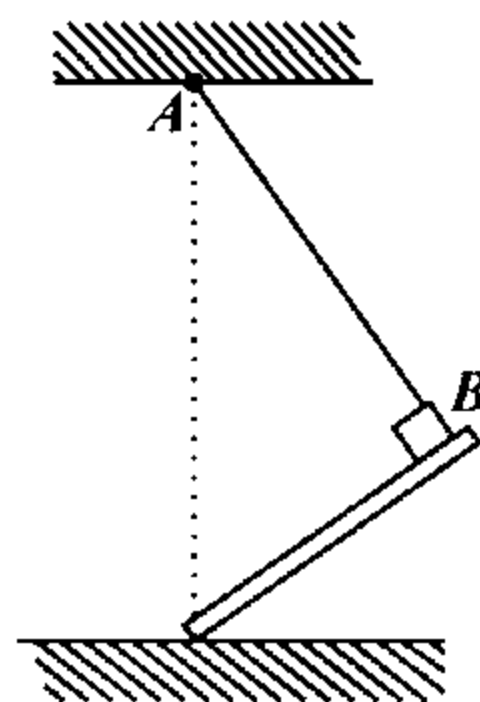
32-сурет

3.46.* Топсалармен өзара жалғанған бірдей өзекшелерден тұратын жүйеге массасы m жүк ілінген (32-сурет). Жоғарғы n -ші горизонталь өзекшені созатын күшті анықтаңдар.

3.47.* Біртекті өзекшеь 33-суретте көрсетілгендей тұруы үшін оның еденмен үйкеліс коэффициенті қандай болу керек? АВ жібінің ұзындығы өзекшенің ұзындығына тең.

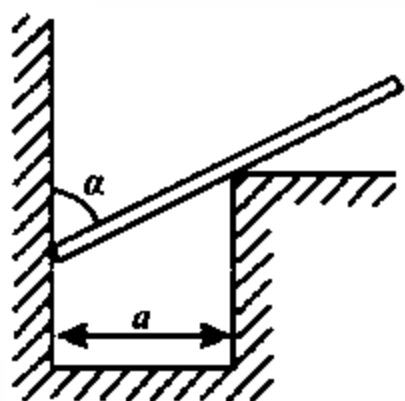
3.48.* Массасы m біртекті жіңішке білеуше горизонталь жазықтықта жатыр. Егер жазықтық пен білеушенің арасындағы үйкеліс коэффициенті k -ға тең болса, горизонталь бағытта білеушенің перпендикуляр түсірілген қандай ең аз күшпен оны орнынан қозғалтуға болады?

3.49.* Ұзындығы $2l$ және массасы m аркалық бір ұшымен тегіс қабырғаға, ал аралық нүктесімен тікбұрышты кемерге тірелген (34-сурет). Кемер мен қабырғаның арасындағы қашықтық a . Аркалық тепе-теңдікте тұрғанда вертикальмен қандай бұрыш құрады? Ғимараттың да реакциясын анықтаңдар.

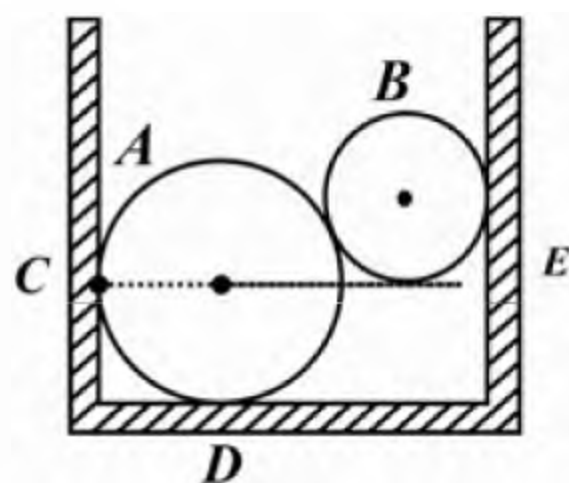


33-сурет

3.50.* Екі жылмағай бөрене контейнерге орналастырылған (35-сурет). А бөрененің салмағы 400 Н, радиусы 0,8 м, В бөрененің салмағы 300 Н, радиусы 0,5 м. Егер контейнердің ені 2,5 м болса, вертикаль қабырғалар және горизонталь еденнің D нүктесіндегі реакцияларын, сонымен қатар бөренелердің арасындағы C және E нүктелеріндегі қысымды анықтандар.



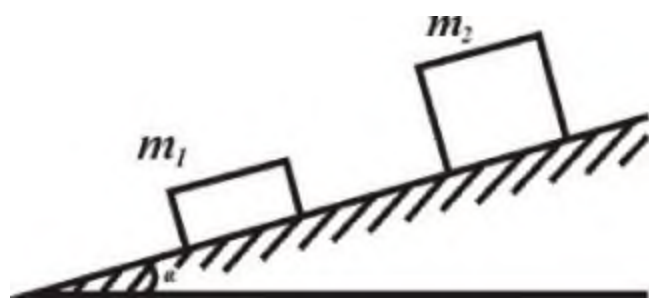
34-сурет



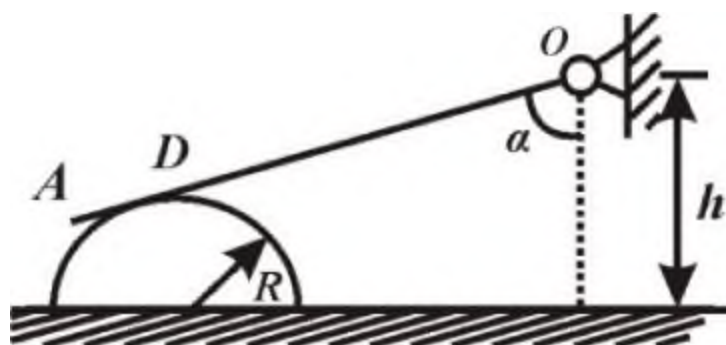
35-сурет

3.51.* Көлбеулігі $\alpha = 30^\circ$ көлбеу жазықтықта троспен жалғанған массалары $m_1 = 4$ кг және $m_2 = 6$ кг екі жүк жатыр (36-сурет). Жүктердің көлбеу жазықтықпен үйкеліс коэффициенттері сәйкесінше $k_1 = 0,4$ және $k_2 = 0,8$. Жүктерге әрекет ететін үйкеліс күштерінің модульдерін және тросың керілуін анықтандар.

3.52.* Радиусы R және салмағы P жарты цилиндр беті бүргі горизонталь жазықтықта жатыр (37-сурет). Салмағы Q және ұзындығы l біртекті ОА білігі О нүктесіне топсамен бекітілген. Ол жарты цилиндрдің жылмағай бетіне $OB = h$ вертикалімен α бұрышын жасап сүйенеді. Тепе-тендік кезіндегі горизонталь жазықтық пен жарты цилиндр арасындағы k сырғанау үйкеліс коэффициентінің ең аз мәнін анықтандар.



36-сурет



37-сурет

§ 4. Газдар мен сұйықтықтардың механикасы

Сығылмайтын идеаль сұйықтықтың қалыптасқан қозғалысы үшін Бернулли теңдеуі алынады:

$$P + \frac{\rho v^2}{2} + \rho gh = \text{const}$$

мұндағы: ρ – құбырдың берілген қимасындағы сұйықтың тығыздығы; h – кейбір денгейдің үстіндегі құбырдың берілген қимасының биіктігі және P – қысым.

Тұтқыр сұйыққа (немесе газға) құлайтын шарикке әрекет ететін кедергі күш Стокс формуласымен анықталады:

$$F = 6\pi\eta rv,$$

мұндағы: η – сұйықтың (газдың) динамикалық тұтқырлығы, r – шариктің радиусы, v – оның жылдамдығы. Стокс заңы тек ламинарлық қозғалыс үшін орындалады. Ламинарлық қозғалыста t уақыт ішінде радиусы r және ұзындығы l капилляр түтік арқылы ағып өтетін сұйықтың (газдың) көлемі Пуазейль формуласымен анықталады.

$$V = \frac{\pi r^4 t \Delta P}{9l\eta},$$

мұндағы: η – сұйықтың (газдың) динамикалық тұтқырлығы, ΔP – түтік ұштарындағы қысымдардың айырымы. Сұйық (газ) қозғалысының сипаты өлшемсіз Рейнольдс саны арқылы анықталады

$$\text{Re} = \frac{Dv\rho}{\eta} = \frac{Dv}{\nu},$$

мұндағы: D – сұйықтық (газ) ағатын дененің сызықтық мөлшерін сипаттайтын шама, v – ағыстың жылдамдығы, ρ – тығыздық, η – динамикалық тұтқырлық. Кинематикалық тұтқырлық деп $\nu = \eta/\rho$ қатынасын айтады. Ламинарлық

қозғалыстан турбулентті қозғалысқа ауысуды анықтайтын Рейнольдс санының сындық мәні пішіндері әр түрлі денелер үшін түрліше болады.

4.1.* Үстел үстінде тұрған биіктігі H цилиндр ыдыстың ернеуіне дейін су толтырылған. Судың тұтқырлығын ескермей, ыдыс тесігінен шыққан ағын су үстел бетіне ең үлкен қашықтыққа шапшуы үшін кішкене тесікті қандай h биіктікте жасау керек?

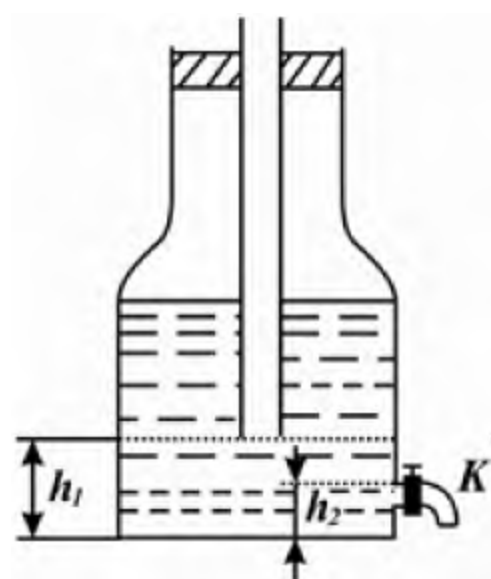
4.2.* Идеал сұйықтың қалыптасқан ағынында кез-келген ағыс түтікшесінде мына қатынастың орындалатындығын көрсетіндер: $\rho v_1 dS_1 = \rho v_2 dS_2$ (үзіліссіздік теңдеуі), мұндағы ρ – сұйықтың тығыздығы, v_1 және v_2 – көлденең қималарының аудандары dS_1 және dS_2 болатын түтікше қималарындағы сұйықтың жылдамдықтары.

4.3.*¹ Егер, құбырдың көлденең қимасынан $t = 30$ мин ішінде массасы $m = 0,51$ кг көмірқышқыл газы ағып өтетіні белгілі болса, осы көмірқышқыл газының құбырдан ағу жылдамдығын табындар. Газдың тығыздығы $\rho = 7,5$ кг/м³. Құбырдың диаметрі $D = 2$ см.

4.4. Диаметрі $D = 0,5$ м цилиндр ыдыстың түбінде диаметрі $d = 1$ см дөңгелек тесік бар. Ыдыстың ішіндегі су деңгейінің төмендеу жылдамдығының осы деңгейдің h биіктігіне тәуелділігін табындар. Осы жылдамдықтың сан мәнін $h = 0,2$ м биіктік үшін табындар.

4.5. Үстел үстіндегі суы бар ыдыстың бүйір бетіндігі кішкене тесік ыдыстың түбінен h_1 қашықтықта, ал судың деңгейінен h_2 қашықтықта орналасқан. Ыдыстың ішіндегі судың деңгейін тұрақты сақтайды. Тесіктен шапшып аққан су (горизонталь бойында) үстелдің үстіне қандай қашықтықта түседі? Есепті мынадай жағдайлар үшін: а) $h_1 = 25$ см, $h_2 = 16$ см; б) $h_1 = 16$ см, $h_2 = 25$ см шешіндер.

¹ 4.3-4.11. есептердегі сұйықтықтар (газдар) идеал және сығылмайтын деп алу қажет.



38-сурет

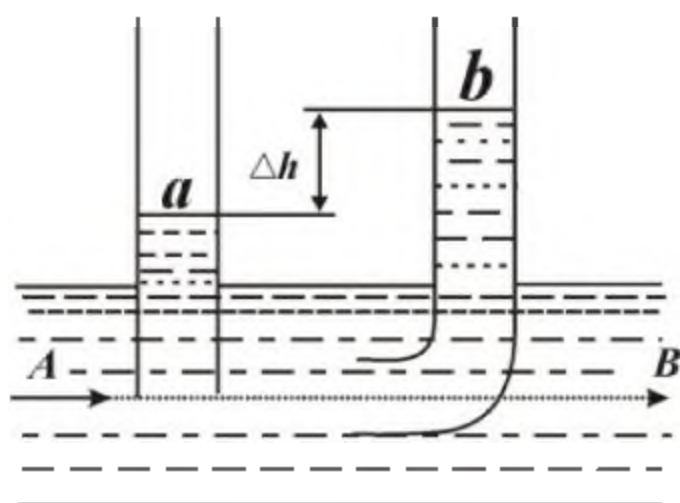
4.6. Су толтырылған ыдыс мойнына бекітілген шыны түтік арқылы атмосферамен байланысып тұрады (38-сурет). K шүмек ыдыстың түбінен $h_2 = 2$ см қашықтықта орналасқан. Түтіктің төменгі ұшымен ыдыс түбінің араларының қашықтығы: а) $h_1 = 2$ см, б) $h_1 = 7,5$ см; в) 10 см деп алып, судың K шүмектен ағып шығу жылдамдығын табындар.

4.7. Биіктігі $h = 1$ м цилиндр бөшке ернеуіне дейін сумен толтырылған. Егер бөшкенің түбіндегі тесіктің көлденең қимасының ауданы, бөшкенің көлденең қимасының ауданынан 400 есе кіші болса, тесіктен су қанша уақытта түгел ағып шығады? Егер бөшкедегі судың деңгейін үнемі $h = 1$ м биіктікте ұстап тұрсак, онда соншама көлемдегі судың тесіктен ағып шығуына кететін уақытын жоғарыдағы табылған уақытпен салыстырғанда қандай болады?

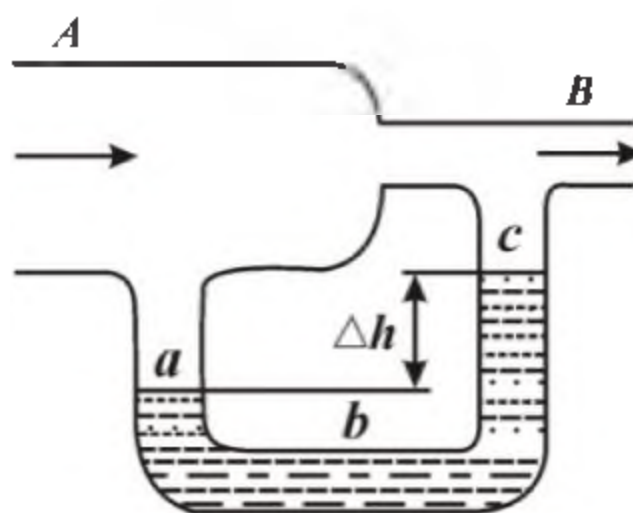
4.8. Ыдысқа су әр секунд сайын мөлшері $V_1 = 0,2$ л/с су құйылып тұр. Ыдыстағы су $h = 8,3$ см-ге тең тұрақты деңгейде тұруы үшін ыдыстың түбіндегі тесіктің d диаметрі қандай болу керек?

4.9. Бояуыш пульттен ағып шығатын сұйық бояудың жылдамдығы $v = 25$ м/с тең болса, онда бояуыш пульттегі компрессордың жасайтын P қысымы қандай болады? Бояудың тығыздығы $\rho = 0,8 \cdot 10^3$ кг/м³.

4.10. Сұйық горизонталь АВ (39-сурет) құбыры арқылы ағады. Осы сұйықтың a және b құбырларындағы деңгейлерінің айырмасы $\Delta h = 10$ см. Құбырлардың диаметрлері бірдей. АВ түтікшедегі сұйық ағысының v жылдамдығын табындар.



39-сурет



40-сурет

4.11.² АВ түтікшесі арқылы ауа үрленіп тұр (40-сурет). Әрбір минут сайын АВ түтікшесі арқылы $V_t = 5$ л/мин ауа өтеді. АВ түтікшесінің жуан бөлігінің көлденең қимасының ауданы $S_1 = 2 \text{ см}^2$, ал оның жіңішке бөлігінің және abc түтікшесінің көлденең қимасының ауданы $S_2 = 0,5 \text{ см}^2$ тең. abc түтікшесіне құйылған судың деңгейлерінің Δh айырымын табыңдар. Ауаның тығыздығы $\rho = 1,32 \text{ кг/м}^3$.

4.12. Тығыздығы ρ_2 шарик тығыздығы $\rho_1 = 4\rho_2$ болатын сұйықтың бетіне v тұрақты жылдамдықпен қалқып шығады. Қалқып шығатын шарикке әрекет ететін $F_{\text{үйк}}$ үйкеліс күші осы шарикке әрекет етуші mg ауырлық күшінен неше есе үлкен болады?

4.13. Егер ауаның динамикалық тұтқырлығы $\eta = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}$ болса, онда $d = 0,3 \text{ мм}$ жаңбыр тамшысы қандай ең үлкен жылдамдыққа жететін болады?

4.14. Диаметрі $d = 1 \text{ мм}$ болат шарик кастор майы толтырылған үлкен ыдыстың ішіне $v = 0,185 \text{ см/с}$ тұрақты жылдамдықпен түседі. Кастор майының динамикалық тұтқырлығын табыңдар.

4.15. Диаметрлері $d_1 = 3 \text{ мм}$ және $d_2 = 1 \text{ мм}$ қорғасын пытыраларды араластырып, биіктігі $h = 1 \text{ м}$ глицерин құйылған бакқа тастайды. Диаметрлері үлкен пытыраларға карағанда диаметрлері кіші пытыралардың ыдыс түбіне қанша уақыттан кейін түсетінін табыңдар. Глицериннің динамикалық тұтқырлығы $\eta = 1,47 \text{ Па} \cdot \text{с}$.

² 4.3-4.11, есептердегі сұйықтықтар (газдар) идеал және сығылмайтын деп алу кажет.

4.16. Кастор майы толтырылған ыдыстан радиусы $r = 5$ мм тығын шарик қалқып шығады. Егер шарик $v = 3,5$ см/с тұрақты жылдамдықпен қалқып шығатын болса, онда кастор майының динамикалық және кинематикалық тұтқырлығын табыңдар.

4.17. Радиусы $R = 2$ см цилиндр ыдыстың бүйір бетіне ішкі радиусы $r = 1$ мм, ұзындығы $l = 1,5$ см горизонталь капилляр қойылған. Ыдысқа динамикалық тұтқырлығы $\eta = 1,2$ Па·с кастор майы құйылған. Ыдыстағы кастор майының денгейінің төмендеу v жылдамдығының осы денгейдің капиллярдан жоғары жатқан h биіктікке тәуелділігін табыңдар керек. $h = 26$ см болғандағы осы жылдамдықтың сан мәні қандай?

4.18. Ыдыстың бүйір бетіне ішкі радиусы $r = 1$ мм және ұзындығы $l = 1,5$ см горизонталь капилляр қондырылған. Ыдысқа динамикалық тұтқырлығы $\eta = 1,0$ Па·с глицерин құйылған. Ыдыстағы глицериннің денгейі капиллярдан $h = 0,18$ м биіктікте өзгеріссіз сақталып тұрады. Капилляр арқылы көлемі $V = 5$ см³ глицерин ағып шығу үшін қанша уақыт керек болады?

4.19. Үстелдің үстінде тұрған ыдыстың бүйір бетіне оның түбінен $h_1 = 5$ см биіктікте горизонталь етіп капилляр қондырылған. Капиллярдың ішкі радиусы $r = 1$ мм және ұзындығы $L = 1$ см. Ыдысқа құйылған машина майының тығыздығы $\rho = 0,9 \cdot 10^3$ кг/м³, ал динамикалық тұтқырлығы $\eta = 0,5$ Па·с. Ыдыстағы майдың деңгейі капиллярдан жоғары $h_2 = 50$ см биіктікке өзгеріссіз сақталып тұрады. Шапшып шыққан май үстел бетіне капиллярдың ұшынан (горизонталь бағытпен) қандай қашықтыққа түседі.

4.20. Тығыздығы $\rho = 0,9 \cdot 10^3$ кг/м³, динамикалық тұтқырлығы $\eta = 0,8$ Па·с трансформатор майымен толтырылған кең ыдыстың ішіне болат шаригі түседі. Рейнольдс саны $Re < 0,5$ болғанда (егер Re –ні есептеп тапқанда D шаманың орнына шариктің диаметрін алатын болсақ) Стокстың заңы орындалады деп алып, шариктің диаметрінің шекті мәнін табыңдар.

4.21. Цилиндрлік құбырдағы сұйықтың (немесе газдың) ламинарлық қозғалысы $Re \leq 3000$ Рейнольдс санында сақталады деп алып (егер Re шамасын есептегенде D орнына шариктің диаметрін алсақ), 4.1 есептің шартының ламинарлық қозғалысқа

сәйкес келетіндігін көрсету керек. Газдың кинематикалық тұтқырлығы $\nu = 1,33 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$.

4.22. Құбырдың көлденең қимасынан 1 өлшем уақыт ішінде көлемі $V_t = 200 \text{ см}^3/\text{с}$ су ағып өтеді. Судың динамикалық тұтқырлығы $\eta = 0,001 \text{ Па} \cdot \text{с}$. Құбыр диаметрінің қандай шекті мәнінде судың қозғалысы ламинарлық болып қалады? (Алдыңғы есептің шартын қара).

4.23.* Радиусы R , қабырғасының қалыңдығы Δ сфералық баллон P ішкі қысымымен жарылады. Қабырға материалының мықтылық шегін анықта.

4.24.* Шұжық неліктен қайнаған суда көлденеңінен емес, ұзындығынан жарылады?

4.25.* Жиегі үстел бетіне жапсырыла төңкерілген жарты сфералық қоңыраудың төбесіндегі тесігінен сұйық құяды. Сұйық тесікке жеткенде ол қоңырауды сәл көтереді және оның астынан аға бастайды. Егер қоңыраудың ішкі радиусы R , ал сұйықтың тығыздығы ρ болса, қоңыраудың салмағын табындар.

4.26.* Көлемінің төрттен үш бөлігі тығыздығы ρ сұйықпен толтырған, радиусы R жабық цилиндр сұйықпен бірге өз осін салмақсыздық жағдайында ω бұрыштық жылдамдықпен айналады. Сұйықтағы қысым цилиндр қабырғасына дейінгі қашықтыққа тәуелді қалай өзгереді?

4.27.* Цилиндрлік стакан сұйықпен бірге өз осін ω бұрыштық жылдамдықпен айналып тұрғандағы сұйықтың беткі пішінін табындар.

4.28.* Тығыздығы ρ сұйықпен толтырылған радиусы R цилиндрлік стакан өз осін ω бұрыштық жылдамдықпен айналады. Тығыздығы 2ρ және радиусы r шарик ыдысқа салынған. Шарик ыдыстың бүйір қабырғасын қандай күшпен қысады?

4.29.* Биік ыдыстың түбіндегі тесіктен су ағады. Ағын қимасы s , ыдыстың қимасы S . Ыдыстағы судың деңгейі тұрақты үдеумен төмендейді. Осы үдеуді табындар.

4.30.* Радиусы R сабынды көпіршіктің үстінде тағы бір радиусы r сабынды көпіршік бар. Оларды бөліп тұратын жарғақтың қисықтық радиусы қандай? Түйіскен орындарында жарғақтар қандай бұрыш жасайды?

II – Тарау

Молекулалық физика және термодинамика

§ 5. Молекулалы-кинетикалық теория

Идеал газ күйінің теңдеуі

$$pV = \frac{m}{\mu} RT,$$

мұндағы: p – газдың қысымы, V – оның көлемі, T – термодинамикалық температура, m – газдың массасы, μ – бір киломоль газдың массасы; $R = 8,31441$ Дж/моль · К – газ тұрақтысы.

Газдар қоспасының қысымы үшін Дальтон заңы

$$p = \sum_{i=1}^n p_i,$$

мұндағы p_i – үлестік қысым, яғни берілген температурада барлық көлемді жеке өзі толтыратын әрбір газдың қысымы.

Газдардың кинетикалық теориясының негізгі теңдеуінің түрі төмендегідей:

$$p = \frac{2}{3} n \bar{W} = \frac{2}{3} n \frac{m_0 \bar{v}^2}{2},$$

мұндағы: n – бірлік көлеміндегі молекулалар саны (концентрация), \bar{W} – массасы m_0 бір молекуланың ілгерілемелі қозғалысының орташа кинетикалық энергиясы, $\sqrt{\bar{v}^2}$ – молекулалардың орташа квадраттық жылдамдығы.

Бірлік көлеміндегі молекулалар саны (концентрация)

$$n = \frac{p}{kT},$$

мұндағы: $k = 1,380662 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – Больцман тұрақтысы.

Бір молекуланың ілгерілемелі қозғалысының орташа кинетикалық энергиясы

$$\overline{W} = \frac{3}{2}kT$$

Газ молекулаларының жылулық қозғалысының энергиясы (ішкі энергия)

$$W = \frac{i}{2} \frac{m}{\mu} RT,$$

мұндағы i – молекулалардың еркіндік дәрежелерінің саны.
Дененің жылу сыйымдылығы былай анықталады:

$$C = \frac{dQ}{dT} \text{ Дж/К}$$

мұндағы Q – денеге берілген және оның температурасын 1°К -ге көтеретін жылу мөлшері.

Молярлық жылусыйымдылық, яғни бір моль заттың сыйымдылығы:

$$C_v = \frac{1}{\nu} \cdot \frac{dQ}{dT}.$$

Меншікті жылусыйымдылық

$$c = \frac{1}{m} \cdot \frac{dQ}{dT}.$$

Молярлық және меншікті жылусыйымдылықтардың арасындағы байланыс

$$c = C_v / \mu.$$

Тұрақты көлемдегі жылусыйымдылық

$$C_v = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_v,$$

мұндағы U – дененің ішкі энергиясы.

Тұрақты қысымдағы жылу сыйымдылық

$$C_p = \left(\frac{dQ}{dT} \right)_p.$$

Идеаль газдың ішкі энергиясы

$$U = \frac{m}{\mu} C_v T.$$

Молекулаларды жылдамдықтарына қарай Максвеллше тарату функциясы

$$f(v) = \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} \exp \left(-\frac{mv^2}{2kT} \right).$$

Молекулаларды жылдамдықтарының проекциясы бойынша Максвеллше тарату функциясы

$$\varphi(v_x) = \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{1/2} \exp \left(-\frac{mv_x^2}{2kT} \right).$$

Жылдамдық компоненттерінің v_x , v_y , v_z және $v_x + dv_x$, $v_y + dv_y$, $v_z + dv_z$ шамаларымен шектелген аралықта жату ықтималдығы

$$dP = f(v) dv_x dv_y dv_z.$$

Жылдамдықтарының шамасы v -дан $v + dv$ дейінгі аралықта жатқан молекулалар саны

$$dN_v = N f(v) 4\pi v^2 dv,$$

мұндағы N – газ молекулаларының толық саны.

Жылдамдықтарды модульдері бойынша Максвеллше тарату (үлестіру) функциясы

$$F(v) = f(v) 4\pi v^2 = \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} \exp \left(-\frac{mv^2}{2kT} \right) 4\pi v^2.$$

Молекулаларды сыртқы потенциалдық өрісте Больцманша тарату

$$n = n_0 \exp \left(-\frac{W_p}{kT} \right),$$

мұндағы: n – W_p потенциалдық энергиясы бар молекулалардың концентрациясы, n_0 – потенциалдық энергиясы жоқ молекулалар концентрациясы.

Координаталары x, y, z нүктесінде орналасқан, $dV = dx dy dz$ көлемнің ішіне кіретін молекулалар саны мынаған тең:

$$dN = n_0 \exp \left(-\frac{W_p(x, y, z)}{kT} \right) dx dy dz.$$

Максвелл-Больцман заңы

$$dN = n_0 \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} \exp \left(-\frac{W_p + \frac{mv^2}{2}}{kT} \right) dv_x dv_y dv_z dx dy dz.$$

Молекулалардың ең ықтимал жылдамдығы

$$v_{\text{йт}} = \sqrt{2RT/\mu}.$$

Молекулалардың орташа жылдамдығы (арифметикалық)

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}}.$$

Молекулалардың орташа квадраттық жылдамдығы

$$\sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} = \sqrt{\frac{3KT}{m_0}}.$$

Молекулаларды жылдамдықтары бойынша тарату заңына есеп шығарғанда әр түрлі u үшін $\Delta N/(N\Delta u)$ мәндері берілген 2-кестені пайдаланған ыңғайлы.

2- кесте

u	$\Delta N/(N\Delta u)$	u	$\Delta N/(N\Delta u)$	u	$\Delta N/(N\Delta u)$
0	0	0,9	0,81	1,8	0,29
0,1	0,02	1,0	0,83	1,9	0,22
0,2	0,09	1,1	0,82	2,0	0,16
0,3	0,18	1,2	0,78	2,1	0,12
0,4	0,31	1,3	0,71	2,2	0,09
0,5	0,44	1,4	0,63	2,3	0,06
0,6	0,57	1,5	0,54	2,4	0,04
0,7	0,68	1,6	0,46	2,5	0,03
0,8	0,76	1,7	0,36		

Көптеген жағдайларда жылдамдықтары u жылдамдықтың берілген мәнінен асып түсетін N_x молекулаларының санын білу өте қажет. 3-кестеде әртүрлі u үшін N_x/N мәні берілген, мұндағы: N – молекулалардың жалпы саны.

3-кесте

u	N_x/N	u	N_x/N	u	N_x/N
0	1,000	0,6	0,868	1,25	0,374
0,2	0,994	0,7	0,806	1,5	0,213
0,4	0,957	0,8	0,734	2,0	0,046
0,5	0,918	1,0	0,572	2,5	0,0057

Барометрлік формула ауырлық күші өрісіндегі биіктікке қарай газ қысымы кемуінің заңын береді

$$\rho = \rho_0 \exp\left(-\frac{\mu g h}{RT}\right),$$

мұндағы: ρ – h биіктігіндегі газдың қысымы, ρ_0 – $h = 0$ биіктіктегі қысым, $g = 9,80665 \text{ м/с}^2$ – еркін түсу үдеуі. Биіктіктердің

үлкен айырмашылығына байланысты T температураны бірдей деп есептеуге болмайтындықтан бұл формула жуық формула болып табылады.

Газ молекуласының еркін жолының орташа ұзындығы

$$\bar{\lambda} = \frac{\bar{v}}{\bar{z}} = \frac{1}{\sqrt{2}\pi\sigma^2 n},$$

мұндағы: \bar{v} – орташа арифметикалық жылдамдық, \bar{z} – әрбір молекуланың уақыт бірлігі ішіндегі басқа молекулалармен соғылуының орташа саны, σ – молекулалардың эффектілік диаметрі, n – көлем бірлігіндегі молекулалардың саны (молекулалар концентрациясы). Көлем бірлігіндегі барлық молекулалардың уақыт бірлігі ішінде соғылу саны

$$Z = \bar{z}n/2.$$

Диффузия кезінде Δt уақыт ішінде көшірілген масса

$$m = -D \frac{\Delta\rho}{\Delta x} \Delta S \Delta t,$$

мұндағы: $\Delta\rho/\Delta x$ – ΔS ауданға перпендикуляр x бағытындағы тығыздықтың салыстырмалы өзгерісі, $D = \bar{v} \bar{\lambda}/3$ – диффузия коэффициенті (\bar{v} – орташа арифметикалық жылдамдық, $\bar{\lambda}$ – молекулалардың еркін жолының орташа ұзындығы).

Δt уақыт ішінде газбен тасылған импульс газдағы ішкі үйкеліс күшін $F_{\text{үйк}}$ анықтайды:

$$F_{\text{үйк}} = -\eta \frac{\Delta v}{\Delta x} \Delta S,$$

мұндағы: $\Delta v/\Delta x$ – ΔS ауданға перпендикуляр x бағытындағы газ ағысы жылдамдығының салыстырмалы өзгерісі, $\eta = \bar{v} \bar{\lambda} \rho/3$ – динамикалық тұтқырлық.

Δt уақыт ішінде жылуөткізгіштік салдарынан тасылатын жылу мөлшері мына формуламен анықталады:

$$Q = -K \frac{\Delta T}{\Delta x} \Delta S \Delta t,$$

мұндағы: $\Delta T/\Delta x$ – ΔS ауданға перпендикуляр x бағытындағы температураның салыстырмалы өзгерісі, $K = \bar{v} \bar{\lambda} c_V \rho / 3$ – жылуөт-кізгіштік.

Термодинамиканың бірінші бастамасын төмендегі түрде жазуға болады:

$$\delta Q = dU + \delta A,$$

мұндағы: δQ – газдың алған жылу мөлшері, dU – газдың ішкі энергиясының өзгерісі, $\delta A = p dV$ – көлемін өзгерткен кезде газдың істейтін жұмысы.

Температура өзгерген кездегі газдың ішкі энергиясының өзгерісі

$$dU = \frac{i}{2} \frac{m}{\mu} R dT.$$

Газдың көлемі өзгергенде жасалатын толық жұмыс

$$A = \int_{V_1}^{V_2} p dV.$$

Газ көлемінің изотермалық өзгерісі кезінде жасалатын жұмыс

$$A_{из} = RT \frac{m}{\mu} \ln \frac{V_2}{V_1}.$$

Адиабаталық процесс кезінде газдың қысымы мен көлемінің арасындағы байланыс Пуассон теңдеуімен өрнектеледі

$$pV^\kappa = \text{const}, \text{ яғни } \frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^\kappa,$$

мұндағы адиабата көрсеткіші $\kappa = c_p/c_V$. Пуссонның теңдеуін мына түрде де жазуға болады:

$$TV^{\kappa-1} = \text{const}, \text{ яғни } \frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\kappa-1}$$

немесе

$$Tp^{1-\kappa/\kappa} = \text{const}, \text{ яғни } \frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{(\kappa-1)/\kappa} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{(1-\kappa)/\kappa}.$$

Газдың көлемі адиабаталы өзгергенде жасалатын жұмысты төмендегі формуламен табуға болады:

$$\begin{aligned} A_{ad} &= \frac{RT_1}{\kappa-1} \frac{m}{\mu} \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\kappa-1} \right] = \frac{RT_1}{\kappa-1} \frac{m}{\mu} \left(1 - \frac{T_2}{T_1} \right) = \\ &= \frac{p_1 V_1 (T_1 - T_2)}{(\kappa-1)T_1}, \end{aligned}$$

мұндағы p_1 және V_1 – температурасы T_1 болғандағы газдың қысымы мен көлемі.

Политропиялық процесс теңдеуінің түрі төмендегідей болады:

$$pV^n = \text{const}, \text{ немесе } p_1 V_1^n = p_2 V_2^n,$$

мұндағы n – политропа көрсеткіші ($1 < n < \infty$).

Жылу машинасының пайдалы әрекет коэффициенті (п.э.к.)

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1},$$

мұндағы: Q_1 – қыздырғыштан жұмысшы денеге берілген жылу мөлшері, Q_2 – мұздатқышқа берілген жылу мөлшері.

Карноның идеал циклі үшін п.э.к.:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1},$$

мұндағы T_1 және T_2 қыздырғыштың және мұздатқыштың термодинамикалық температурасы.

В және А екі күйдің энтропияларының айырмасы $S_B - S_A$ төмендегі формуламен анықталады

$$S_B - S_A = \int_A^B \frac{dQ}{T}.$$

5.1. Ауасы сорылып, ұштары дәнекерленген горизонталь капиллярдың ортасында ұзындығы $l = 20$ см сынап бағанасы орналасқан. Егер капиллярды вертикаль қойсақ, оның ішіндегі сынап бағанасы $\Delta l = 10$ см қашықтыққа ауысады. Капиллярдың ішіндегі ауа қандай қысымға дейін сорылып алынған? Капиллярдың ұзындығы $L = 1$ м.

5.2.* Екі ұшы бекітілген горизонталь цилиндрдің ішінде үйкеліссіз сырғи алатын жұқа поршень бар. Поршеньнің бір жағында массасы $m_1 = 4$ г сутек, ал екінші жағында $m_2 = 14$ г азот орналасқан. Цилиндр көлемінің қандай бөлігі сутекпен толтырылған?

5.3.* Әр бөлікте қысымдары p_1 , p_2 және p_3 болатын сәйкес газдар бар. Ыдыс қоршаулармен көлемдері V_1 , V_2 және V_3 -ге тең үш бөлікке бөлінген. Қоршаулар алынып тасталғаннан кейін температура өзгеріссіз қалса, ыдыста қандай қысым орнығады?

5.4.* $0,2 \text{ м}^3$ көлемдегі баллонда қысымы 10^5 Па, температурасы 290 К газ бар. Газды толтырғаннан кейін қысым $3 \cdot 10^5$ Па дейін көтерілді, ал температура 320 К дейін жоғарылады. Газдағы молекулалар саны қанша өсті? $R = 8,31 \text{ Дж/моль} \cdot \text{К}$, $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$.

5.5.* Сорғыш камераның көлемі V_0 . Сорғыштың қанша жұмыс қайтарымында көлемі V -ға тең автомашина камерасын p_1 -ден p_2 қысымына дейін толтыруға болады? Ауаның температурасын тұрақты деп есептейміз. Атмосфера қысымы p_0 .

5.6.* Кері сорғыш насос бір қайтарымда көлемі V_0 газды ауаға шығарады. Көлемі V ыдыстағы қысымды p_0 мәнінен p -ға дейін төмендету үшін насос қанша жұмыс қайтарымын жасау керек?

5.7.* Шардың қорытқы көтергіш күші $F = 0$, яғни шар қалықтап тұруы үшін сутекпен толтырылған балалардың ауа шары қабығының салмағы қандай болу керек? Ауа және сутек

қалыпты жағдайда болады. Радиусы 12,5 см шардың ішкі қысымы сыртқы қысымына тең. Газдардың молярлық массалары белгілі.

5.8.* Көлемі 10^3 м^3 ауа шары гелиймен толтырылған. Ол қалыпты жағдайда массасы 10^3 кг жүк көтере алады. Гелийді сутекпен ауыстырған жағдайда шар сол температурада қандай жүк көтере алады? Газдардың молярлық массалары белгілі.

5.9.* Температурасы 300 К сутекпен толтырылған, көлемі 240 м^3 ауа шары салмағы 300 кг пайдалы жүкті көтереді. Егер ауа шарын температурасы 400 К ыстық ауамен толтырса, ол қанша пайдалы жүкті көтере алады? Ауа шары сутекпен толтырғандағы пайдалы жүктей жүкті көтеру үшін оны қандай температурадағы ауамен толтыру керек? Ауаның молярлық массасы $\mu=0,029 \text{ кг/моль}$.

5.10.* Көлемі елеусіз түтікше арқылы өзара жалғасқан екі бірдей ыдыс T_1 температурада оттекпен толтырылған. Егер осы екі ыдыстың біріншісін T_1 температурада тұрақты қалдырып, ал екіншісін T_2 температураға дейін қыздырса, ыдыстардың ішіндегі қысым қанша есе өзгереді?

5.11.* Көлемдері $V_1 = 100 \text{ см}^3$ және $V_2 = 200 \text{ см}^3$ екі ыдыс жылу өткізбейтін қозғалмалы поршень арқылы бөлінген. Ыдыстардағы газдың әуелгі температурасы $T=300 \text{ К}$, ал қысымы $p=1,01 \cdot 10^5 \text{ Па}$ болатын, сосын көлемі кішкене ыдысты $T_1=273 \text{ К}$ -ге дейін суытып, ал көлемі үлкен ыдысты $T_2=373 \text{ К}$ -ге дейін қыздырады. Сонда ыдыстарда қандай қысым қалыптасады?

5.12. Сутектің температурасы $t = 15^\circ\text{C}$, ал қысымы $p = 97,3 \text{ кПа}$ болғандағы тығыздығын табыңдар.

5.13. Оттек тығыздығының: а) $T = \text{const} = 390^\circ\text{K}$ болғанда $0 \leq p \leq 400 \text{ кПа}$ аралығындағы қысымға тәуелділігінің графигін әрбір 50 кПа сайын, б) $p = \text{const} = 400 \text{ кПа}$ болғанда $200 \text{ К} \leq T \leq 300 \text{ К}$ аралығындағы қысымда температураға тәуелділігінің графиктерін әрбір 20 К сайын сызу керек.

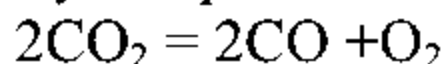
5.14. Көлемі 2 л ыдыста 400 К температурада $m_1 = 6 \text{ г}$ көмірқышқыл газы және $m_2 = 4 \text{ г}$ азоттың тотығы (N_2O) бар. Ыдыстағы қоспаның қысымын табыңдар.

5.15. Ыдыстың ішінде $t=10^{\circ}\text{C}$ температурада және $p = 1$ МПа қысымда 14 г азот пен 9 г сутек бар. Қоспаның бір молінің массасы мен ыдыстың көлемін табыңдар.

5.16. Көлемі 2 л ыдыс қалыпты жағдайда ауамен толтырылған. Ыдыстың ішіне диэтильді эфир ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OC}_2\text{H}_5$) енгізілді. Осыдан кейін барлық эфир буға айналып, ыдыстағы қысым 0,14 МПа-ға тең болды. Ыдыстың ішіне эфирдің қанша массасы енгізілген?

5.17. Сыйымдылығы 0,5 л ыдыстың ішінде 1 г бу тәрізді (I_2) йод бар. 1000°C температурада ыдыстағы қысым 93,3 кПа-ға тең болды. Йод молекулаларының атомдарға диссоциациялану дәрежесін (α) табыңдар керек. Йод молекулаларының молярлық массасы $\mu=0,254$ кг/моль.

5.18. Көлемі $V=1$ дм³ ыдыста 0,2 г көмірқышқыл газы бар. $T = 2600$ К температурада CO_2 молекулаларының біразы көміртек тотығының молекулаларына диссоциацияланады:



Осы жағдайда ыдыстағы қысым 108 кПа-ға тең болды. CO_2 -нің диссоциациялық дәрежесін табыңдар.

5.19. Ыдыстың ішінде көмірқышқыл газы бар. Кейбір температурада CO_2 молекулаларының CO мен O -ға диссоциациялану дәрежесі $\alpha = 0,25$ -ке тең болады. Осы жағдайдағы ыдыстың ішіндегі қысым CO_2 молекулаларының диссоциацияланбаған уақыттағы қысымынан неше есе үлкен болады?

5.20. Ауаның құрамында (массасы бойынша) 23,6 % оттегі және 76,4% азот бар деп есептеп, $p=100$ кПа қысымдағы және $T=290$ К температурадағы ауаның тығыздығын, сондай-ақ оттегі пен азоттың парциаль қысымдарын табыңдар.

5.21. Ыдыстың ішінде 10 г CO_2 , 15 г N_2 бар. Осы қоспаның 300 К температурадағы және 150 кПа қысымдағы тығыздығын табыңдар керек.

5.22. Мыналарды: 1) сутек, 2) гелий атомдарының массасын табыңдар.

5.23. Екі жағы бітелген тік цилиндр поршенмен бөлінген. $T=300$ К температурада поршеннің екі жағында бір мольден ауа бар. Цилиндрдің жоғарғы бөлігінің көлемінің төменгі бөлігінің

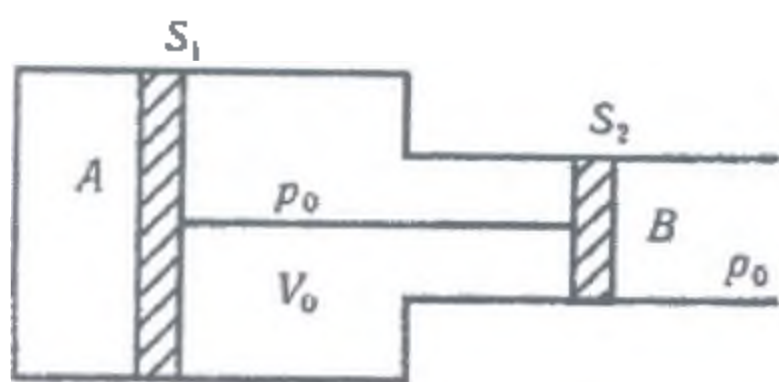
көлеміне қатынасы $\eta=4$. Осы қатынас ауаның қандай температурасында $\eta_1=3$ -ке тең болады?

5.24. Бір-біріне берік жалғасып горизонталь орналасқан екі цилиндр ыдыс деформацияланбайтын біліктің ұштарына орнатылған поршендермен тұйықталады. Поршендердің арасында және сырт жағында қысымы p_0 ауа бар. Поршендердің ауданы S_1 және S_2 . Поршендер арасындағы ауаның алғашқы көлемі V_0 (41-сурет). Егер A камерасындағы қысымды p -ға дейін көтерсе, поршендер қанша жерге дейін жылжиды? Ауа температурасы тұрақты деп алынады. Үйкеліс есептелмейді. B камерасы сыртқы ауамен байланысқан.

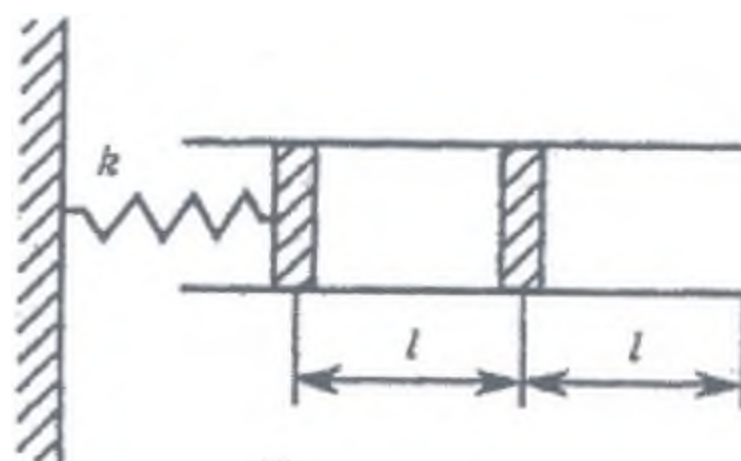
5.25. Қимасының ауданы S , ұштары ашық горизонталь бекітілген құбырда екі поршень бар. Бастапқы күйде сол жақтағы поршень катандығы k деформацияланбайтын серіппемен қабырғаға жалғанған. Поршендер арасындағы қысым p_0 атмосфералық қысымға тең, ал оң жақтағы поршень мен құбырдың шетіне дейінгі l қашықтық екі поршеньнің арасындағы қашықтыққа тең (42-сурет). Оң жақтағы поршенді құбырдың шетіне дейін баяу жылжытты. Оны осы қалпында ұстап тұру үшін оған қандай күш түсіру керек? Газ температурасы тұрақты. Үйкеліс есепке алынбайды.

5.26. Азот молекуласы $v = 430$ м/с жылдамдықпен ұшады. Осы молекуланың импульсін табындар.

5.27. Егер заттың тығыздығы ρ және молярлық массасы μ белгілі болса, көлем бірлігіндегі молекулалар санын қалай анықтауға болады?



41-сурет



42-сурет

5.28. Көлемі $V = 80$ м³ бөлме ішінде $t = 17^\circ$ C температурада және $p = 100$ кПа қысымда қанша молекула бар?

5.29. Диссоциялану дәрежесі $\alpha = 0,5$ бу тәрізді йодтың (I_2) масса бірлігіндегі бөлшектердің саны қанша? Йодтың (I_2) молярлық массасы $\mu=0,254$ кг/моль.

5.30. Диссоциалану дәрежесі $\alpha = 0,5$ болатын 16 г оттеkte қанша бөлшек бар?

5.31. Ыдыстың ішінде 10^{-7} моль оттек пен 10^{-6} г азот бар. Қоспаның температурасы $t=100^\circ$ С, қысымы $p=133$ МПа. Ыдыстың көлемін, оттек пен азоттың парциаль қысымдарын, ыдыстың бірлік көлеміндегі молекулалар санын табыңдар.

5.32. Графикалық түрде Идеал газдың изохоралық, изобаралық, изотермалық және адиабаттық процесстерінің мына: а) p, V ; б) T, V ; в) p, T диаграммаларындағы үлгілік графиктерін көрсетіндер. Барлық графиктер үшін бір ортақ бастау нүктесін қабылдандар.

5.33. Идеал газдың: а) изохоралық, изобаралық және адиабаттық процесстерінің U, T диаграммасындағы үлгілік графигін, б) изохоралық, изобаралық, изотермалық және адиабаттық процесстердің U, V және U, p диаграммаларындағы үлгілік графиктерін бейнелеңдер. Ордината осінде U -ды салыңдар. Барлық графиктер үшін бір нүктені бастапқы деп алыңдар.

5.34. Идеал газдың жылу сыйымдылығы: а) изотермалық; б) адиа-баттық процесстерде қаншаға тең болады?

5.35. Оттектің: 1) $V=\text{const}$ және 2) $p = \text{const}$ болғандағы меншікті жылу сыйымдылығын табыңдар.

5.36. Оттек үшін c_p/c_v жылу сыйымдылықтарының қатынасын табыңдар.

5.37. Майер теңдеуін ($C_p = C_v + R$) дәлелдеңдер.

5.38. Кейбір қосатомды газдардың қалыпты жағдайдағы тығыздығы $\rho = 1,43$ кг/м³. Осы газдың c_v және c_p меншікті жылу сыйымды-лықтарын табыңдар.

5.39. Егер оттектің тұрақты қысымдағы меншікті жылу-сыйымдылығы $c_p=1,05$ кДж/кг·К болса, оның α диссоциялану дәрежесі неге тең болады?

5.40. Егер $c_p/c_v = 1,47$ болса, онда азоттың α диссоциациялану дәрежесі неге тең болады?

5.41. 3000 моль аргоннан және 2000 моль азоттан тұратын газ қоспасының c_p меншікті жылу сыйымдылығы қандай?

5.42. Температурасы $t=10^\circ\text{C}$ қысымы $p=0,3\text{ МПа}$ 10 г оттегі берілген. Тұрақты қысымда ($p = \text{const}$) қыздырғаннан кейін газдың көлемі 10 л болып қалды. Газдың алған жылу мөлшерін, әрі қыздырғанға дейінгі және қыздырғаннан кейінгі газ молекулаларының жылулық қозғалысының энергиясын табындар.

5.43. Көлемі $V = 2\text{ л}$ ыдыста қысымы $p = 0,1\text{ МПа}$ азот бар. 1) $p = \text{const}$ болғанда көлем екі есе өсті, 2) $V = \text{const}$ болғанда қысым екі есе өсті. Азотқа әр жолы қандай жылу мөлшері берілген?

5.44. Массасы қанша көмірқышқыл газын $p = \text{const}$ қысымда $Q = 222\text{ Дж}$ жылу мөлшерін беріп $t_1 = 20^\circ\text{C}$ -тан $t_2 = 100^\circ\text{C}$ -қа дейін қыздыруға болады? Осы кезде бір молекуланың кинетикалық энергиясы қаншаға өзгереді?

5.45. Газдың массасын кейбір тұрақты қысымда $t_1 = 50^\circ\text{C}$ -қа дейін қыздыру үшін $Q_1 = 670\text{ Дж}$ жылу жұмсау керек. Егер осы газдың мөлшерін тұрақты көлемде $t_2 = 100^\circ\text{C}$ -қа суытсақ, онда $Q_2 = 1005\text{ Дж}$ жылу бөлініп шығады. Осы газ молекулаларының еркіндік дәрежесінің саны қандай болады?

5.46. Ауаның молярлық массасы $\mu = 0,029\text{ кг/моль}$. 290 К температурада ауа молекулаларының орташа квадраттық жылдамдығын табындар.

5.47. Егер сутек молекулаларының орташа квадраттық жылдамдығы $2,4 \cdot 10^3\text{ м/сек}$ болса, онда олардың $p = 266,6\text{ Па}$ қысымдағы концентрациясы қандай?

5.48. Ауадағы тозаңның орташа квадраттық жылдамдығы ауа молекуласының орташа квадраттық жылдамдығынан неше есе кіші болады? Тозаңның массасы $m = 10^{-8}$. Ауаны молярлік массасы $\mu = 0,029\text{ кг/моль}$ болатын біртекті газ деп есептендер.

5.49. $t = 20^\circ\text{C}$ температурадағы сутек молекуласының импульсін табындар. Молекуланың жылдамдығын орташа квадраттық жылдамдыққа тең деп есептендер.

5.50. $t = 20^\circ\text{C}$ температурадағы 20 г оттектің ішкі энергиясын табындар. Осы энергияның қанша бөлігі молекулалардың ілгерілемелі қозғалысына және қанша бөлігі айналмалы қозғалысына келеді?

5.51. Көлемі $V = 2$ л ыдыста $p = 150$ кПа қысыммен тұрған қосатомды газдың ішкі энергиясын табыңдар.

5.52. Жердің тартылыс күшін жеңіп, Жер атмосферасын мүлде тастап кетуі үшін қандай температурадағы гелий атомының жылулық қозғалысының энергиясы жеткілікті болады?

5.53. Адиабаталық процесс үшін күй теңдеуін жазыңдар, яғни p мен V немесе p мен T параметрлерінің арасындағы байланыс теңдеуін алыңдар.

5.54. Бастапқы V_0 көлемі мен p_0 қысымы бірдей әртүрлі екі газ, өздерінің бастапқы көлемінің жартысына дейін кенеттен адиабаталық сығылысқа ұшырайды. Егер бірінші газ біратомды, ал екіншісі қосатомды болса, олардың ақырғы қысымдары бастапқы p_0 қысымға қарағанда қандай болады?

5.55. Қысымы мен тығыздығының биіктікке тәуелділігі $pp^{-\kappa} = \text{const}$ қатынастығын қанағаттандыратын атмосфера адиабаталық деп аталады. Атмосфера газының температурасы биіктік өскенде сызықтық кемі беретінін көрсетіңдер және оның пропорционалдық коэффициентін табыңдар.

5.56. а) Тыйынды лақтырғанда герб түсетін; б) ойын сүйегін лақтырғанда 5 саны көрінетін; в) 36 ойын картасының ішінен қызылайыр тұзын суырып алатын ықтималдықтарды табыңдар.

5.57. Ойын сүйегін лақтырғанда: а) 1 саны немесе 6 саны түсетін; б) жұп саны шығатын ықтималдықтар қандай?

5.58. Екі мерген бір мезгілде бір-біріне байланыссыз бір нысанаға оқ атады. Егер бірінші және екінші мергеннің нысанаға тигізу ықтималдығы 0,8 және 0,7-ге сәйкес болса, нысананың құлау ықтималдықтарын табыңдар. Егер екі мергеннің біреуінің оғы ғана нысанаға тисе, ол құлады деп есептеледі.

5.59. $N = 49$ нөмірден тұратын «спортлото» ойынын ойнағанда сәттілікке $n_0 = 6$ саны таңдалады. Тиражды әрі қарай жалғастырғанда өзіңнің k «бақытты» нөмірлерінді дәл табатын $\omega_N, n_0(k)$ ықтималдығын анықтаңдар. $k=0, 1, 2, \dots, 6$ үшін есептеу жасаңдар.

5.60. $G \geq N$ сандарымен нөмірленген қораптарға кездейсоқ түрде N белгіленбеген шарлар салынады. Бір қорапқа тек 1 ғана шар сияды. «Кездейсоқ түрде» деген сөз әрбір шар бірдей ықтималдықпен кез-келген қорапта бола алады дегенді

білдіреді. Нөмірлері бар N қораптардың бар болу ω ықтималдығы қандай?

5.61. $G \geq N$ сандарымен нөмірленген қораптарға кездейсоқ түрде әртүрлі N шарлар салынады. «Кездейсоқ түрде» деген сөз әрбір шар басқаларының қалай орналасқанына байланыссыз бірдей ықтималдықпен кез-келген қорапта бола алады дегенді білдіреді. Ешқандай қорапқа бірден артық шар түспейтіндігінің ықтималдығын анықтаңдар.

5.62. $\omega(x_i)$ ықтималдықтары белгілі кез келген кездейсоқ x айнымалы шама x_1, x_2, \dots, x_3 мәндерін қабылдай алады. Мыналардың: $\langle x \rangle, \langle x^2 \rangle, \langle f(x) \rangle$, орташа арифметикалық шамаларын, $\sqrt{\langle (x - \langle x \rangle)^2 \rangle}$ -тың орташа квадраттық флуктуациясын анықтайтын өрнектерді жазыңдар.

5.63. x шамасы тек x_1 және x_2 мәндерін қабылдай алады. Бірінші мәннің ықтималдығы p -ға тең. $\langle x^3 \rangle$ -ты табыңдар.

5.64. $a \leq x \leq b$ мәндерін қабылдайтын кездейсоқ x айнымалысы үшін $d\omega(x) = \rho(x)dx$ ықтималдығының тарауы белгілі. Мыналардың: $\langle x \rangle, \langle x^2 \rangle, \langle f(x) \rangle$ ($f(x)$ — x -тің кейбір интеграцияланатын функциясы) орташа арифметикалық шамаларын, $\sqrt{\langle (x - \langle x \rangle)^2 \rangle}$ -тің орташа квадрат-тық флуктуациясын анықтайтын өрнектерді жазыңдар.

5.65. Радиусы R шарда бөлшектің алатын орыны бірқалыпты таратылған. Бөлшекті шардың центрінен r мен $r+dr$ -ге дейінгі қашықтықта ықтималдығын анықтаңдар. Бөлшектің шардың центрінен $\langle r \rangle$ орта және $\sqrt{\langle r^2 \rangle}$ ортаквадраттық қашықтықтары неге тең? Бөлшек $\frac{1}{2}$ ықтималдықпен радиусы қандай шардың ішінде болуы мүмкін? (Шарлардың центрлері бірдей).

5.66. Ыдыстың ішінде N молекула бар. Ретсіз қозғалыс барысында барлық молекулалар ыдыстың жарты бөлігінде жиналу ықтималдығы ω -ны табыңдар. $N=2, 10, N_A=6 \cdot 10^{23}$ үшін ω -ны табыңдар.

5.67. Кез келген кездейсоқ x шамасы үшін ықтималдықтары мына түрде $d\omega(x) \propto \exp(-\lambda x)dx$ $\lambda > 0, (0 \leq x \leq \infty)$ берілген. Таралуды нормалаңдар. $\langle x \rangle, \langle x^2 \rangle$, үшін орташа квадраттық және салыстырмалы флуктуациясын табыңдар.

5.68. Азот молекулаларының орташа квадраттық жылдамдығы қандай температурада олардың ең ықтимал жылдамдығынан $\Delta v = 50$ м/с шамасына артық болады?

5.69. Оттек молекулаларының қандай бөлігі $t = 0^\circ\text{C}$ -да 100 м/с-тан 110 м/с-қа дейін, 900 м/с-тан 1000 м/с-қа дейінгі v жылдамдықтарды иеленеді?

5.70. Жылдамдықтары $v_{\text{ыкт}}$ -тан $v_{\text{ыкт}} + \Delta v$ дейінгі интервалда жатқан ΔN_1 молекулалар саны, жылдамдықтары $\sqrt{\langle v^2 \rangle}$ -дан $\sqrt{\langle v^2 \rangle} + \Delta v$ -ға дейінгі интервалда жатқан ΔN_2 молекулалар санынан неше есе артық болады?

5.71. Молекулалардың жалпы N санының қандай бөлігінің жылдамдығы: 1) ең ықтимал $v_{\text{ыкт}}$ жылдамдықтан үлкен, 2) ең ықтимал $v_{\text{ыкт}}$ жылдамдықтан кіші болады?

5.72. Баллон ішінде 2,5 г оттек бар. Жылдамдығы орташа квадраттық $\sqrt{\langle v^2 \rangle}$ жылдамдықтан артық болатын оттек молекулаларының ΔN_x санын табыңдар.

5.73. x шамасының таралу ықтималдығының функциясы: $f(x) = A e^{-\alpha x^2} 4\pi x^2$, мұндағы: A және α – тұрақтылар. x мәні 7,9999-дан 8,0001-ге дейінгі аралықта бола алатын P ықтималдықтың өрнегін жуықтап жазыңдар.

5.74. Ең үлкен ықтимал жылдамдықтан жоғары жылдамдықты иеленетін газ молекулаларының η салыстырмалы бөлігін анықтайтын өрнекті жазыңдар.

5.75. Жылдамдық компоненттері үшін Максвеллше таратуы мына түрде жазылады:

$$d\omega(v_x) = \varphi(v_x) dv_x = A \exp(-mv_x^2/2kT) dv_x.$$

Осы таратуды нормалаңдар (A -ны табыңдар). φ -дің максимал мәні қандай күйге түседі: а) T температура ұлғайса; б) m массасы ұлғайса? $\langle v_x^2 \rangle$ -ты есептеңдер.

5.76. Жылдамдықты модулі бойынша Максвеллше таратуын пайдалана отырып, $d\omega(\varepsilon) = F(\varepsilon)d\varepsilon$ молекулалардың ілгерілемелі қозғалысының ε энергиясы үшін таратуын алыңдар. Бірдей T температурадағы H_2 және N_2 үшін $F(\varepsilon)$ тәуелділіктерінің графиктерін сызыңдар.

5.77. 5.76. есептің нәтижелерін пайдаланып, T температурадағы газ молекулаларының ілгерілемелі қозғалысының ε_0 ең

ықтимал және $\langle \varepsilon \rangle$ орташа энергияларының мәндерін табындар. $F_0 = F(\varepsilon_0)$ үлестірілуінің (таратудың) максимумының биіктігін табындар. T және $2T$ температу-ралары үшін $F(\varepsilon)$ графигін салу керек. Осы қисық сызықтар қандай ε^* энергиясында қиылысады? Қисық сызықтардың астындағы аудандар неге тең?

5.78. Біртекті ауырлық өрісінде газы бар тік цилиндр тыныш тұр. Газ молекулаларының массасы m , цилиндрдегі молекулалар саны N , цилиндрдің көлденең қимасының ауданы S . Цилиндрдің төменгі табанындағы p_2 және жоғарғы табанындағы p_1 газ қысымдарының айырымын табындар.

5.79. Обсерватория теңіз деңгейінен 3250 м биіктікте орналасқан. Осы биіктіктегі ауаның p қысымын табындар. Ауаның температурасы тұрақты және 5°C -ге тең. Ауаның молярлік массасы $\mu=0,29$ кг/моль. Теңіз деңгейіндегі ауаның қысымы $p_0=101,3$ кПа.

5.80. а) Жердің бетіндегі; б) Жердің бетінен $h = 4$ км биіктіктегі ауаның ρ тығыздығын табындар. Ауаның температурасы тұрақты және 0°C -қа тең. Жер бетіндегі ауаның қысымы $p_0=101,3$ кПа.

5.81. Жер бетіне жақын оттегі (O_2) пен азоттың (N_2) ауадағы концентрацияларының қатынасы $\eta_0 = 0,268$. Атмосфера температурасы биіктікке байланысты емес және 0°C -ға тең деп болжап, осы қатынасты $h = 10$ км биіктікте анықтаңдар.

5.82. Тепе-теңдіктегі идеал газ сыртқы өрісте тұр; оның осы күйдегі потенциалдық энергиясы $u(\vec{r})$, температурасы T . Радиус векторы \vec{r}_0 нүктедегі газ молекулаларының концентрациясы n_0 . Радиус векторы \vec{r} нүктедегі газ молекулаларының концентрациясын анықтаңдар.

5.83. Газ молекулаларының концентрациясының координатқа тәуелділігі $n(\vec{r})$ белгілі. Молекулалар координаттары үшін $d\omega(\vec{r})$ ықтималдықтарының үлестірілуін табындар. Газдың көлемі V .

5.84. 5.83 есебін $n(\vec{r}) = n_0 \exp(-u(\vec{r})/kT)$ Больцманша үлестірілуі (таратылуы) үшін шешіндер.

5.85. Тепе-теңдіктегі идеал газ біртекті ауырлық өрісінде орналасқан. Егер газдың температурасы T , $n(h=0) = n_0$, $p(h=0) = p_0$ болса, газ молекулаларының n концентрациясы мен p

қысымының h биіктікке тәуелділігін өрнектер. Екі температура $T_1 < T_2$ үшін $n(h)$ және $p(h)$ графиктерін сызыңдар.

5.86. Перрен микроскоптың көмегімен биіктіктің өзгеруіне байланысты ауада қалықтап жүрген гуммигут бөлшектерінің концентрациясының өзгеруін бақылай отырып, барометрлік формуланы қолданып, тәжірибе арқылы Авогадро санының N_A мәнін тапты. Тәжірибелердің бірінде Перрен екі ауа қабатының арақашықтығы $\Delta h = 100$ мкм болғанда, гуммигут бөлшектерінің бір қабаттағы саны екінші қабатқа қарағанда екі есе көп екенін тапты. Гуммигуттың температурасы $t = 20^\circ\text{C}$. Диаметрі $d = 0,3$ мкм гуммигут бөлшектері тығыздығы өздерінің тығыздығынан $\Delta\rho = 0,2 \cdot 10^3$ кг/м³ шамасына кем сұйықта қалықтайды. Осы мәліметтер бойынша Авогадро тұрақтысының N_A мәнін табыңдар.

5.87. **5.78.** есептің нәтижесін қолданып, біртекті ауырлық өрісінде орналасқан T температурадағы идеал газдың p қысымының h биіктікке тәуелділігінің дифференциальдық теңдеуін жазыңдар. Ол үшін цилиндрдің биіктігі dh шексіз аз деп қарастырыңдар. Осы теңдеуді газдың температурасы h биіктікке және $p(h=0)=p_0$ қысымға тәуелді емес деп болжай отырып шешіндер. Осындай болжаммен молекулалардың n концентрациясының h биіктікке тәуелділігін табыңдар.

5.88. Изотермалық атмосфераны планета шексіз ұзақ ұстап тұра ала ма?

5.89. Көлемі V -ға тең ыдыста T температурасындағы идеал газ бар. Газ молекулаларының массасы m -ға тең. Сыртқы күш өрістері жоқ. Газ молекулаларының координаттары мен жылдамдық компоненттері үшін $d\omega(\vec{r}, \vec{v})$ ықтималдықтардың үлестірулерін табыңдар.

5.90. Егер газ сыртқы күш өрісінде орналасса және молекулаларының потенциалдық энергиясы $u(\vec{r})$ -ға тең болса, онда **5.89** есебінің шешімі қалай өзгереді?

5.91. Идеал газ біртекті ауырлық өрісінде орналасқан. $h = 0$ және $h = 1$ км биіктіктегі жылдамдықтары ($v \geq v_0 = \sqrt{2kT/m}$) болатын молекулалардың үлестерін салыстырыңдар. Газдың температурасы биіктікке байланысты емес.

5.92. Баллонда қысымы 1 МПа гелий бар, одан газ ағып шығады. Газ ағынындағы қысым 0,1 МПа. Баллондағы газдың температурасы 300 К. Ағындағы гелийдің температурасы мен жылдамдығын анықтаңдар.

5.93. Күміс атомдарының көзінен шыққан жіңішке шок радиусы $R=30$ см қозғалмайтын цилиндрдің ішкі бетіне түсіп, дақ құрады. Цилиндр $\omega = 100\pi$ рад/с тең бұрыштық жылдамдықпен айнала бастайды. Егер дақ бастапқы орнынан $\varphi = 0,314$ радиан бұрышқа ауысса күміс атомдарының жылдамдығы қандай болады?

5.94. Ағында қозғалатын бөлшектердің бағыттары бірдей және жылдамдықтары v_0 -ден $2v_0$ -ге дейінгі аралықта жатады. Бөлшектердің жылдамдықтары бойынша үлестірілу функциясының графигі тік төртбұрышты құрайды. Үлестірілу функцияның мәні неге тең? Егер бөлшектердің жылдамдығының бойымен t уақытта оларға F күші әрекет етсе, ол қалай өзгереді? Әрбір бөлшектің массасы m .

5.95. Ұзындығы $l = 100$ см, екі ұшы жабық горизонталь түтікшені оның осінің бойымен бағытталған тұрақты w үдеумен жылжытады. Түтікшенің ішінде температурасы $T = 330$ К аргон газы бар.

Үдеудің қандай мәнінде түтікшенің ұштарындағы аргонның концентрациялары бір-бірінен $\eta = 1\%$ -ға ажырайды?

5.96. $t = 100^\circ\text{C}$ температурадағы және $p = 13,3$ Па қысымдағы көмірқышқыл газы молекулаларының еркін жолының орташа ұзындығын анықтаңдар. Көмірқышқыл газы CO_2 молекуласының диаметрі $d = 0,32$ нм.

5.97. Жердің бетінен 300 км биіктіктегі атмосферада газ бөлшектерінің концентрациясы $n = 10^{15} \text{ м}^{-3}$. Осы биіктіктегі газ бөлшектерінің еркін жолының орташа ұзындығын табыңдар. Бөлшектердің диаметрі $d = 0,2$ нм.

5.98. Қалыпты жағдайдағы ауа молекулаларының еркін жолының орташа ұзындығын табыңдар. Ауа молекулаларының диаметрі $d = 0,3$ нм.

5.99. Егер молекулалардың еркін жолының орташа ұзындығы $\bar{\lambda} = 870$ мкм болса, 100°C температурадағы көмірқышқыл газы

CO₂ молекулаларының 1 сек ішіндегі жасайтын орташа соқтығысу санын табыңдар.

5.100. $t = 27^\circ\text{C}$ температурадағы және $p = 53,33$ кПа қысымдағы азот молекулаларының 1 сек ішіндегі орташа соқтығысу санын табыңдар.

5.101. Егер қосатомды газдың көлемі адиабаталы 2 есе өссе, онда оның молекулаларының 1 сек ішіндегі соқтығысуының саны неше есе кемитін болады?

5.102. $t = 17^\circ\text{C}$ температурадағы және $p = 10$ кПа қысымдағы азот молекулаларының еркін жолының орташа ұзындығын табыңдар.

5.103. Көлемі $V = 100$ см³ колбаның ішінде 0,5 г азот бар. Азот молекулаларының еркін жолының орташа ұзындығын табыңдар.

5.104. $t = 10^\circ\text{C}$ температурадағы және $p = 133$ кПа қысымдағы азот молекуласының тетелес екі соқтығысу аралығындағы орташа уақытын табыңдар.

5.105. Ауа молекулалары бірі-бірімен соқтығыспау үшін сфералық ыдыстың ішіндегі молекулалардың шекті саны қанша болу керек? Ыдыстың диаметрі $D=15$ см, ауа молекуласының диаметрі $d=0,3$ нм.

5.106. Газоразрядтық түтікшедегі катод пен анодтың арақашықтығы $d = 15$ см. Катодтан анодқа барар жолында электрондар ауа молекулаларымен соқтығыспау үшін түтікшенің ішінде қандай қысым болу керек? Ауа температурасы $t = 27^\circ\text{C}$, ауа молекуласының диаметрі $d_0 = 0,3$ нм. Газдағы электронның еркін жолының орташа ұзындығы газдың өзінің молекуласының еркін жолының орташа ұзындығынан 5,7 есе үлкен.

5.107. Егер кейбір газ молекулаларының еркін жолының орташа ұзындығы $\bar{\lambda} = 5$ мкм-ге тең, ал орташа квадраттық жылдамдығы 500 м/с болса, олардың уақыт бірлігіндегі соқтығысуларының орташа санын табыңдар.

5.108. Қалыпты жағдайда 1 см³ атомарлық сутекте $3 \cdot 10^{19}$ атом бар. Сутек атомдарының жартысы молекулаларға айналатын уақытты бағамдаңдар. Сутектің екі атомының әрбір соқтығы-

суынан молекула пайда болады деп есептеңдер. Сутек атомының диаметрі $d = 0,12$ нм.

5.109. Егер газ молекуласының еркін жолының орташа ұзындығы $\bar{\lambda}$ болса, dS кесіндісі бойында молекуланың соқтығысу ықтималдығын табыңдар.

5.110. x пен $x+dx$ аралығында газ молекуласы x жолын соқтығыспай өтіп, содан кейін басқа молекуламен соқтығысуының $d\omega(x)$ ықтималдығын табыңдар. Молекулалардың еркін жолының орташа ұзындығы $\bar{\lambda}$.

5.111. Молекулалардың еркін жолының орташа ұзындығы $\bar{\lambda}$ мен осы жолдағы \bar{t} орташа уақыттың газ T температурасы мен p қысымына тәуелділігінің сипатын анықтаңдар. Әртүрлі $p_1 < p_2 < p_3 < \dots$ қысымдар үшін $\bar{\lambda}(T)$ және $\bar{t}(T)$ тәуелділік графиктерін сапалы түрде сызып көрсетіндер.

5.112. Бірлік көлемде a сортының n_1 бөлшегі бар қалыңдығы d жұқа жазық нысанаға b сортының бөлшектерінің шоғы түседі де, олар нысана бөлшектерінен шашырайды. Δt уақытта b сортының әртүрлі бұрышқа шашыраған ΔN бөлшегі тіркелді. Соқтығыс тек бір рет болды деп есептеп, b бөлшектердің a бөлшектерінен шашырауының $\sigma(v)$ толық эффективті көлденең қимасын анықтаңдар. b бөлшектерінің концентрациясы n_2 , жылдамдығы v , шоқтың көлденең қимасының ауданы S . a нысанасының бөлшектері қозғалмайды деп есептеңдер.

5.113. Шашыраудың толық (σ) және дифференциалды ($d\sigma$) қималары өзара қалай байланысқан?

5.114. Еркін жолының орташа ұзындығы $\bar{\lambda} = 0,16$ мкм болғандағы қалыпты жағдайдағы сутектің диффузия коэффициентін табыңдар.

5.115. Гелийдің қалыпты жағдайдағы диффузия коэффициентін табыңдар.

5.116. Ауданы $S = 0,01 \text{ м}^2$ беттен 10 секундта диффузия салдарынан өткен азоттың массасын табыңдар. Бетке перпендикуляр бағытта газдың тығыздығы $\Delta\rho/\Delta x = 1,26 \text{ кг/м}^4$ өрнегіне сәйкес өзгереді. Азоттың температурасы $t = 27^\circ\text{C}$, азот молекулаларының еркін жолының орташа ұзындығы $\bar{\lambda} = 10$ мкм.

5.117. $T = 300$ К температурадағы және $p = 1,00 \cdot 10^5$ Па қысымдағы азот пен сутектің өзара диффузия коэффициентін табыңдар.

5.118. Диффузия коэффициенті мен бөлшектердің қозғалысы арасындағы қатыстықты табыңдар (Эйнштейн қатыстығы).

5.119. Қандай p қысымда кейбір газдың тұтқырлығының оның диффузия коэффициентіне қатынасы $\eta/D = 0,3$ кг/м³, ал оның молекулаларның орташа квадраттық жылдамдығы $\sqrt{v^2} = 632$ м/с шамаларына тең болады?

5.120. Азоттың диффузия коэффициенті $D = 1,42 \cdot 10^{-5}$ м²/с болса, оның қалыпты жағдайдағы тұтқырлығы қандай?

5.121. $t = 0^\circ\text{C}$ температурада оттектің тұтқырлығы $\eta = 18,8$ мкПа·с болса, оның молекулаларның диаметрін табыңдар.

5.122. $100 \leq T \leq 600$ К аралығында әрбір 100 К сайын азоттың тұтқырлығының T температураға тәуелділігінің графигін салыңдар.

5.123. Кейбір жағдайда сутектің диффузия коэффициенті мен тұтқырлығы сәйкесінше $D = 1,42 \cdot 10^{-5}$ м²/с және $\eta = 8,5$ мкПа·с. Сутек молекулаларының бірлік көлемдегі санын, оның тығыздығын, еркін жолының орташа ұзындығын және орташа арифметикалық жылдамдығын табыңдар.

5.124. Диаметрі $d=0,3$ мм жаңбыр тамшысы қандай ең үлкен жылдамдыққа жете алады? Ауа молекуласының диаметрі $d_0=0,3$ нм. Ауаның температурасы $t = 0^\circ\text{C}$. Жаңбырдың тамшысы үшін Стокстың заңы орындалады деп есептеңдер.

5.125. Ұшақ $v = 360$ км/сағ жылдамдықпен ұшып келеді. Тұтқырлықтың салдарынан ұшақ қанатында ілесетін ауа қабаты $d = 4$ см. Қанат бетінің бірлігіне әрекет ететін жанама күшті табыңдар. Ауа молекуласының диаметрі $d_0=0,3$ нм. Ауаның температурасы $t = 0^\circ\text{C}$.

5.126. Екі коаксиалды цилиндрдің арасындағы кеңістік газбен толтырылған. Цилиндрлердің радиустары $R_1 = 5$ см, $R_2 = 5,2$ см. Ішкі цилиндрдің биіктігі $h = 25$ см. Сыртқы цилиндр $n = 360$ айн/мин жиілікпен айналады. Ішкі цилиндр қозғалмай қалу үшін оған $F_\tau = 1,38$ мН жанама күш түсірілген. Бірінші жуықтауда цилиндрлердің беттері жазық деп қарап, олардың арасындағы газдың η тұтқырлық коэффициентін табыңдар.

5.127. Тұтқырлығы $\eta = 8,6$ мкПа·с сутектің жылу өткізгіштік коэффициентін табыңдар.

5.128. $p=100$ кПа қысымдағы және $t = 10^\circ\text{C}$ температурадағы ауаның жылу өткізгіштік коэффициентін табыңдар. Ауа молекуласы-ның диаметрі $d_0=0,3$ нм.

5.129. Сутектің жылуөткізгіштік коэффициентінің $100\text{K} \leq T \leq 600\text{K}$ аралықтағы әрбір 100 К-нен кейінгі T температураға тәуелділігінің графигін салыңдар.

5.130. Көмірқышқыл газ бен азот бірдей температура мен қысымда тұр. Осы газдар үшін мыналарды: 1) диффузия коэффициенттерінің 2) тұтқырлықтарының және 3) жылуөткізгіштіктерінің қатынастарын табыңдар. Газдардың молекулаларының диаметрлерін бірдей деп есептендер.

5.131. Дьюар ыдысының қабырғалары арасының қашықтығы $d = 8$ мм. Дьюар ыдысының қабырғалары арасындағы ауаны сорып алғанда, оның жылу өткізгіштігі қандай қысымда кеми бастайды? Ауаның температурасы $t = 17^\circ\text{C}$, молекуласының диаметрі $d_0=0,3$ нм.

5.132. ∇T температура градиенті және k жылуөткізгіштік коэффициенті белгілі. Жылу ағынының тығыздық векторы \vec{q} үшін формула жазыңдар. \vec{q} мен k -ның СИ жүйесіндегі өлшем бірліктерін көрсетіндер.

5.133. Терезе кәсектерінің арасында тұрған ауаның жылу өткізгіштік есебінен терезеден $t = 1$ сағатта қанша Q жылу шығарылады? Әрбір кәсектің ауданы $S = 4$ м², арақашықтығы $d = 30$ см. Үйдің ішіндегі температура $t_1=18^\circ\text{C}$, сыртқы ауаның температурасы $t_2= -20^\circ\text{C}$. Ауа молекуласының диаметрі $d_0=0,3$ нм. Кәсектердің арасындағы ауаның температурасы үй мен сыртқы кеңістіктің орташа арифметикалық температурасына тең деп алыңдар. Қысым $p=101,3$ кПа.

5.134. Бір-бірінен 1 мм қашықтықта тұрған екі пластинаның арасында ауа бар және температуралар айырмасы $\Delta T = 1$ К сақталады. Әр пластинаның ауданы $S=0,01$ м². Жылу өткізгіштіктің есебінен бір пластинадан екінші пластинаға 10 мин ішінде қанша Q жылу мөлшері беріледі? Ауа қалыпты жағдайда тұр деп есептендер. Ауа молекуласының диаметрі $d_0=0,3$ нм.

5.135. Біратомды идеал газ температурасының x осінің бойымен кему функциясы $T(x)$ белгілі. x нүктесінен $x+\bar{\lambda}$ нүктесіне дейін кейбір молекула басқа молекулалармен соқтығыспай өтеді деп есептеңдер. $\bar{\lambda}$ — еркін жолының орташа ұзындығы. Бұл молекула өзімен бірге орташа кинетикалық энергиядан қанша $\Delta\bar{E}_k$ артық энергиясын ала келеді?

5.136. Тұрақты T_1 және T_2 ($T_2>T_1$) температурадағы екі дене бір-бірімен ұзындығы l , көлденең қимасының ауданы S жылуөткізгіш білік арқылы жалғасады. Біліктің бүйір беті арқылы кететін жылу мөлшерін есепке алмай, оның T температурасының x координатасына тәуелділігін анықтаңдар. Біліктің көлденең қимасы арқылы өтетін ағынның q жылу мөлшерін табыңдар. Біліктің материалының жылуөткізгіштік коэффициенті k .

5.137. Екі концентрлік сфераның арасындағы қуыс біртекті изотропты затпен толтырылған. Сфералардың радиустары $r_1 = 10$ см және $r_2 = 12$ см. Ішкі сфера температурасы $T_1 = 320$ К, ал сыртқы сфера бетінің температурасы $T_2 = 300$ К тұрақты сақталады. Осы шартпен ішкі сферадан сыртқы сфераға $dQ/dt=2$ кВт жылу ағымы тарайды. Қуыстағы заттың жылу өткізгіштік коэффициенті k -ны температураға байланысты емес деп мыналарды: а) k -ның мәнін; б) қуыстағы температураны сфераның центрінен r қашықтықтың функциясы ретінде анықтаңдар.

5.138. Жер атмосферасындағы ауаның температурасы h биіктікке сызықтық байланыс бойынша ұлғаяды: $T = T_0 + \alpha h$. Ал температураның $\alpha h/T_0$ салыстырмалы өзгерісі 1-ден көп кіші күйінде қалады. Ауа молекулаларының еркін жолының ұзындығы λ , әрбір молекуланың массасы m , молекулалардың концентрациясы n . Жерге келетін жылу ағынының тығыздығын бағалаңдар, ол n -ге қалай тәуелді болады?

5.139. A және B газдарының жылуөткізгіштігі k_1 және k_2 . A газының молекулалары B газына қарағанда α есе көп болғандығын ескеріп, қоспаның жылуөткізгіштігін анықтаңдар. Газдар біратомды және температуралары бірдей. Газдардың молярлық массалары тиісінше μ_1 және μ_2 .

5.140. Қыздырылған дене сиретілген газда τ уақытта суыйды. Егер осы дененің барлық сызықтық өлшемдерін n есе көбейтсе, ол қанша уақытта суыйды?

5.141. Ыдыста қысымы p газ бар. Ыдыстың қабырғасында өлшемі газ молекулаларының еркін жолының орташа ұзындығынан аз болатын ауданы S тесік бар. Газ тесіктен вакуумға аққанда ыдысқа қандай реактивті F күшімен әрекет етеді?

5.142. Радиустары r_1 және r_2 екі ұзын коксиалды цилиндрлердің аралығында сиретілген газ бар. Ішкі цилиндр ω бұрыштық жылдамдықпен айналады. Сыртқы цилиндрдің бұрыштық жылдамдығын бағалаңдар.

5.143. Ауданы 1 м^2 пластинаның астыңғы бетінің температурасы 100°C , үстінгі бетінің температурасы 0°C болса, көтергіш күші қандай болатынын бағалаңдар. Ауа температурасы 20°C , қысымы $0,1\text{ Па}$.

5.144. Ауданы S бірдей екі пластина ыдыста бір-біріне жақын параллель орналасқан; олардың температуралары T_1 және T_2 , ал ыдыс қабырғасының температурасы T . Пластиналар бір-бірінен F күшпен тебіледі. Ыдыстағы сиретілген газдың қысымын бағалаңдар.

5.145. Газы бар ыдыста T_0 температура тұрақты сақталады. Оның сыртында қысымы p , температурасы T газ бар. Егер ыдыстың қабырғасында кішкене тесік болса, оның ішіндегі қысым қандай болады? Газдар сиретілген.

5.146. Бір-бірінен d қашықтықтағы екі жазық пластинаның аралығында біратомды сиретілген газ бар. Егер пластиналардың тиісті температуралары T және $T+\Delta T$ тұрақты сақталса, ал атомдардың концентрациясы n болса, жылу ағынының тығыздығын бағалаңдар. Атомның массасы m .

5.147. Көлемі V ыдыстың ішіндегі газ вакуумға диаметрі молекулалардың еркін жолының орташа ұзындығынан көп кіші тесік арқылы ағып шығады. Тесіктің ауданы S . Процесс T температурада изотермалық жағдайда өтеді. Ыдыстағы қысым n есе кемитін τ уақытты табыңдар. Газдың молярлық массасы μ .

5.148. Молярлық массалары μ_1 және μ_2 қосатомды газ қоспасының адиабаттық ағысының жылдамдығын табыңдар.

Бірінші газдың молекулаларының саны екінші газға қарағанда k есе көп. Қоспаның температурасы T .

5.149. Газ ыдыстан түтікше арқылы адиабаталық ағады. Ыдыстағы газдың температурасы T_1 , қысымы p_1 . Түтікшеден шыға берісінде газдың қысымы p_2 . Түтікшеден шыға берістегі газдың жылдамдығын анықтаңдар. Газдың молекулаларының молярлық массасы μ , адиабаталық көрсеткіші κ .

5.150. Қысымы 1 МПа гелий толтырылған баллоннан қысымы 0,1 МПа болатын газ ағады. Баллондағы газдың температурасы 300 К. Ағындағы гелийдің температурасы мен жылдамдығын анықтаңдар.

5.151. 0°C температурада үлкен баллонда сығылған ауа 400 м/с жылдамдықпен түтікше арқылы атмосфералық қысымда ағып шығады. Ағындағы ауаның температурасын табыңдар. Баллондағы қысым неге тең?

5.152. Ыдыста температурасы 10°C, қысымы $p = 300$ кПа болатын 10 г оттегі бар. Изобаралық қыздырғаннан кейінгі газдың алған көлемі $V = 10$ л болды. Мыналарды: 1) газдың алған жылу мөлшерін, 2) газдың ішкі энергиясының өзгерісін, 3) газдың ұлғайған уақыттағы істеген жұмысын табыңдар.

5.153. Жабық ыдыстың ішінде 20 г азот және 32 г оттегі бар. Газдардың қоспасын 28 К-ге суытқанда оның ішкі энергиясының өзгерісі қандай болады?

5.154. 7 г көмірқышқыл газы еркін ұлғаю жағдайында 10 К-ге қыздырылған. Газдың ұлғаю жұмысын және ішкі энергиясының өзгерісін табыңдар.

5.155. Ыдыстың ішіндегі поршеньнің астында 1 г азот бар. 1) Азотты 10°C-қа қыздыру үшін қаншалық жылу мөлшерін жұмсау керек? 2) Осы уақытта поршень қаншалық көтеріледі? Поршеньнің массасы 1 кг, оның көлденең қимасының ауданы 10 см^2 . Поршеньнің астындағы қысым 100 кПа.

5.156. 17°C температурадағы 10 г азоттың изотермалық ұлғаюы кезінде 860 Дж-ға тең жұмыс істелінген. Ұлғаю уақытында азоттың қысымы неше есе өзгерді?

5.157. Қалыпты жағдайда тұрған $V_1 = 1$ л гелий $V_2 = 2$ л көлемге дейін изотермалық ұлғаяды. Мыналарды: 1) ұлғаю

уақытындағы газдың істеген жұмысын; 2) газға берілген жылудың мөлшерін табыңдар.

5.158. 0°C температурада тұрған ауа V_1 көлемнен $V_2 = 2V_1$ көлемге дейін адиабаталық ұлғайса, онда ауа қандай температураға дейін суытылады?

5.159. Іштен жанатын двигатель цилиндріндегі ауа адиабаталық сығылады да, оның осы уақыттағы қысымы $p_1 = 0,1$ МПа-дан $p_2 = 3,5$ МПа-ға дейін өзгереді. Ауаның бастапқы температурасы $t_1 = 40^\circ\text{C}$ -ге тең. Сығылудың соңындағы ауаның температурасын табыңдар.

5.160. Газ адиабаталық ұлғайғанда оның көлемі екі есе өседі, ал термодинамикалық температура 1,32 есе төмендейді. Осы газ молекуласының еркіндік дәрежесінің саны қанша болады?

5.161. $t_1 = 27^\circ\text{C}$ температурада және $p_1 = 2$ МПа қысымда тұрған қосатомды газ V_1 көлемнен $V_2 = 0,5V_1$ көлемге дейін адиабаталық сығылады. Сығылудан кейінгі газдың температурасын және қысымын табыңдар.

5.162. Ыдыс ішіндегі поршень астында қалыпты жағдайда тұрған газ бар. Ыдыстың түбі мен поршень түбінің арақашықтығы $h = 25$ см. Поршеньнің үстіне $m = 20$ кг жүк қойған кезде поршень $\Delta h = 13,4$ см төмен түседі. Сығылуды адиабаталық деп есептеп, осы газ үшін κ адиабаталық көрсеткішті табыңдар. Поршеньнің көлденең қимасының ауданы $S = 10$ см²; поршеньнің массасы есептелмейді.

5.163. Көлемі V кейбір газдың қысымы $p = p_0 \exp[-\alpha(V - V_0)]$ заңы бойынша өзгереді. V_1 -ден $V_2 = 2V_1$ көлемге дейін ұлғайғандағы газдың жасайтын жұмысын табыңдар.

5.164. Жылу сыйымдылығы C дене T_1 температурадан T_2 температураға дейін суытылады. Дененің берген Q жылу мөлшерін анықтаңдар.

5.165. Идеал газдың жылу сыйымдылығы: а) $C = C_V + \alpha T$; б) $C = C_V + \beta V$; в) $C = C_V + \alpha p$ болып өзгерсе, идеал газ күйінің теңдеуі қандай болады? α мен β тұрақты.

5.166. Политропалық процесс кезінде идеал газдың жылу сыйымдылығы C_n тұрақты. V, T және p, V айнымалыларындағы $C_n = (nC_V - C_p)/(n - 1)$ үшін политропа теңдеуін табыңдар. C_p және C_V — газдың изобаралық және изохоралық жылу сыйымды-

лықтары, ал n — процессті сипаттайтын өлшем. Неге n политропаның көрсеткіші деп аталады?

5.167. Идеал газдың ν молінің изохоралық жылу сыйымдылығы C_V . Осы газдың политропа көрсеткіші n болатын политропалық процесс кезіндегі жылу сыйымдылығын табыңдар.

5.168. Егер а) $p = \alpha V$; б) $V = \beta p^{-2/3}$ болса, идеал газдың молінің жылу сыйымдылығын анықтаңдар. C_V белгілі деп есептеңдер.

5.169. $pV^n = \text{const}$ заңы бойынша ұлғаятын біратомдық газдың молярлық жылу сыйымдылығын табыңдар. n -нің қандай мәндерінде жылу сыйымдылығы 0-ге, шексіз мәнге тең болады?

5.170. $pV^n = \text{const}$ заңы бойынша ұлғаятын газ қыза ма әлде суый ма?

5.171. Біратомды газбен (қысымы p_0 , температурасы T_0 және көлемі V_0) толтырылып, поршенмен жабылған цилиндрден тұратын жүйенің жылусыйымдылығын табыңдар. Поршень серіппемен бекітілген. Поршеннің сол жағы вакуум. Егер цилиндрді газдан босатсақ, поршень оның оң қабырғасына жанасады, ал серіппе деформацияланбайды. Ыдыстың, поршеннің және серіппенің жылу сыйымдылықтары ескерілмейді.

5.172. Ауасыз кеңістікте жоғарғы жағы массасы M жылжымалы поршенмен жабылған тік цилиндр тұр. Поршеннің астында температурасы T , қысымы p біратомды газ бар. Цилиндрдің ішкі қимасының ауданы S , газ бар бөлігінің биіктігі H . Поршеньді босатқанда ол қозғала бастады. Егер газ изотермалық, адиабаталық сығылса, поршеннің ең үлкен жылдамдығы қандай?

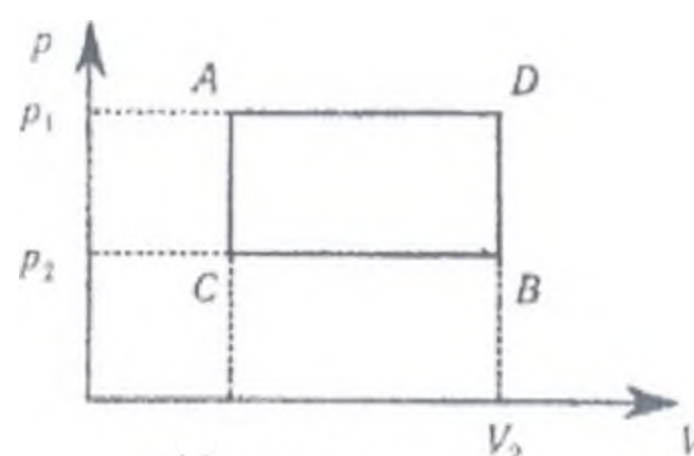
5.173. Жылу өткізбейтін жадағай ұзын құбырдың ішінде орналасқан массалары m_1 және m_2 жылуөткізбейтін поршендердің арасында көлемі V_0 , қысымы p_0 біратомды газ бар. Поршендерді босатып жібереді. Газдың массасы әрбір поршеннің массасынан өте аз болғандағы поршендердің ең үлкен жылдамдықтарын анықтаңдар.

5.174. Ұзын жылуөткізбейтін құбырдың ішінде орналасқан әрбіреуінің массасы m екі поршень орналасқан, олардың арасында температурасы T_0 болатын 1 моль біратомды газ бар. Поршендер бір бағытта v және $3v$ жылдамдықпен қозғала бастайды. Газ қандай ең үлкен температураға дейін қызады?

5.175. Ұзын жылу өткізбейтін тік цилиндрдің ішінде, оның түбінен h биіктікте жіпке ілінген массасы m поршень бар. Поршеннің астында бастапқы қысымы сыртқы p_0 қысымға тең, ал температурасы T_0 болатын бір моль газ бар. Поршень $2h$ биіктікке көтерілуі үшін газға қанша жылу мөлшерін беру керек? Бір моль газдың ішкі энергиясы $U=cT$, $c=\text{const}$. Үйкеліс есепке алынбайды.

5.176. Қозғалмайтын горизонталь цилиндр ыдыстың ішіндегі газ поршенмен жабылған. Газды қыздырады. Поршень теңудемелі қозғала отырып, v жылдамдығын алады. Газға берілген жылу мөлшерін табыңдар. Бір моль газдың ішкі энергиясы $u = cT$, $c = \text{const}$. Ыдыс пен поршеннің жылусыйымдылықтары және сыртқы қысым ескерілмейді.

5.177. $T_1=300$ К температурадағы және $p_1 = 820$ кПа қысымдағы оттектің кейбір мөлшері $V_1 = 3$ л көлемді алып тұр (43-сурет). Газдың екінші күйіндегі параметрлері $V_2=4$ л және $p_2 = 600$ кПа. Газ C нүктесіндегі күйден D нүктесіндегі күйге ауысқан кездегі газдың алған Q жылу мөлшерін; ұлғаю уақытындағы газдың істеген A жұмысын; газдың ішкі энергиясының ΔU өзгерісін табыңдар.



43-сурет

5.178. Карноның идеал жылу машинасы бір циклде $A=2,94$ кДж жұмыс істеп, суытқышқа $Q = 13,4$ кДж жылу береді. Машинаның п.э.к.-ін табыңдар.

5.179. Карноның идеал жылу машинасы әрбір цикл ішінде жылытқыштан $Q_1 = 2,512$ кДж жылу алады. Жылытқыштың температурасы $T_1 = 400$ К, ал суытқыштың температурасы $T_2 = 300$ К. Машинаның бір циклде істейтін жұмысын және осы бір циклде суытқышқа беретін Q_2 жылу мөлшерін табыңдар.

5.180. Карноның идеал жылу машинасы бір циклдің ішінде $A = 73,5$ кДж жұмыс істейді. Жылытқыштың температурасы $T_1=373$ К, ал суытқыштың температурасы $T_2=273$ К. Мыналарды: 1) машинаның п.э.к.-ін; 2) бір циклдің ішінде машинаның

жылытқыштан алатын Q_1 жылу мөлшерін; 3) бір циклдің ішінде суытқышқа берілетін Q_2 жылу мөлшерін табындар.

5.181. Идеал жылу машинасы Карноның циклі бойынша жұмыс істейді. Ауаның қысымы $p_1 = 708$ кПа, ал температурасы $T_1 = 400$ К болғанда алатын көлемі $V_1 = 2$ л. Изотермалық ұлғаюдан кейін ауаның алған көлемі $V_2 = 5$ л, адиабаталық ұлғаюдан кейінгі көлемі $V_2 = 8$ л болды. Мыналарды: 1) изотерма мен адиабатаның қиылысқан жерінің координаталарын; 2) циклдің әрбір бөлігіндегі істелінген жұмысты; 3) барлық циклдегі істелінген толық жұмысты, 4) циклдің п. ә. коэффициентін, 5) бір циклдегі жылытқыштан алынған жылу мөлшерін; 6) бір циклдегі суытқышқа берілген жылу мөлшерін табындар.

5.182. Идеал газ екі изохора және екі изобарадан тұратын цикл жасайды. Сонымен бірге газдың көлемі $V_1 = 25$ м³-ден $V_2 = 50$ м³-ге дейін, ал қысым $p_1 = 100$ кПа-дан $p_2 = 200$ кПа-ға дейін өзгереді. Егер изотермалық ұлғаюда көлем екі есе өсті десек, осындай циклдегі жұмыс изотермалары қарастырылып отырған циклдің ең үлкен және ең кіші температурасына сәйкес келетін Карно цикліндегі жұмыстан неше есе кем болады?

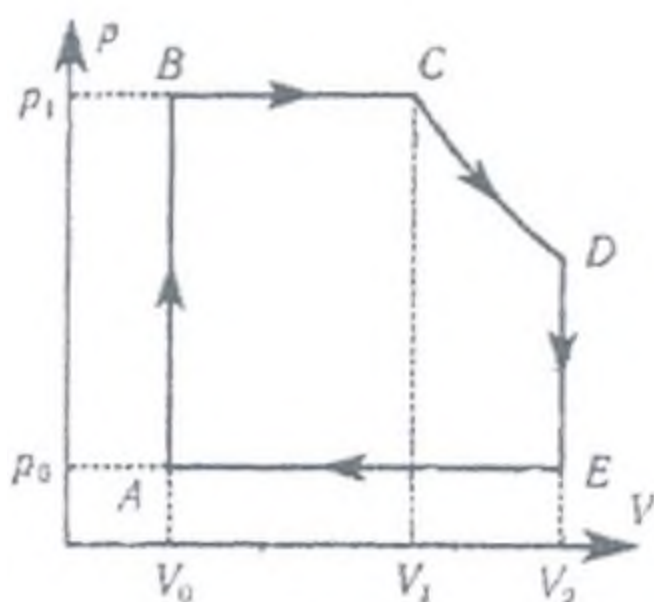
5.183. Карноның кері циклі бойынша жұмыс атқаратын идеал суытқыш машина бір цикл ішінде $A = 37$ кДж жұмыс істейді. Осы жағдайда ол жылуды температурасы $T_2 = 263$ К денеден алады да, оны температурасы $T_1 = 290$ К денеге береді. Мыналарды: 1) циклдің п. ә. коэффициентін; 2) бір циклдің ішінде суық денеден алған жылудың мөлшерін; 3) бір циклдің ішіндегі ыстық денеге берілген жылудың мөлшерін табындар.

5.184. Карноның кері циклі бойынша жұмыс істейтін идеал суытқыш машина жылуды $T_2 = 273$ К температурадағы ішінде суы бар тоңазытқыштан $T_1 = 373$ К температурадағы суы бар су қайнатқышқа береді. Су қайнатқыштың ішіндегі $m_1 = 1$ кг суды буға айналдыру үшін тоңазытқыштың ішінде массасы m_2 қанша су мөлшерін қатыру керек болады?

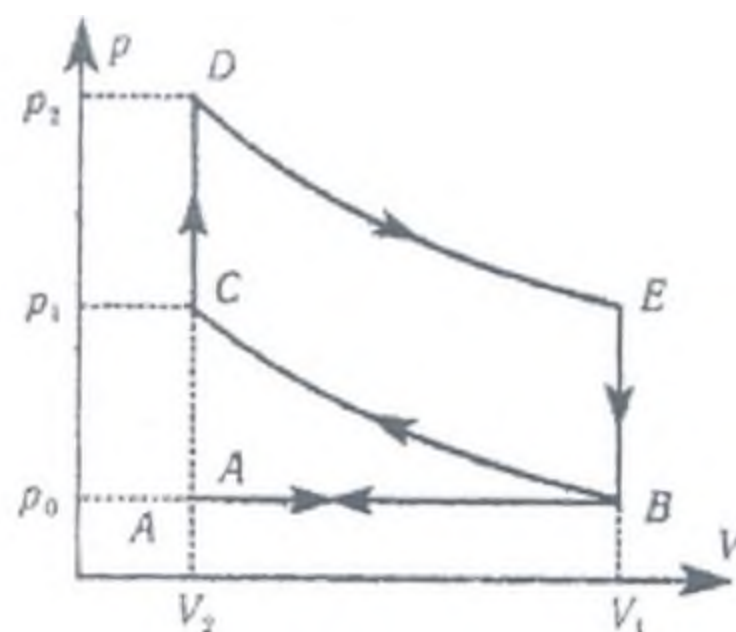
5.185. Бөлме Карноның кері циклі бойынша жұмыс істейтін суытқыш машинамен жылытылады. Бөлменің пешке ағаш жағып алған жылу мөлшері Q , сондай отын мөлшерін пайдаланатын жылу машинасымен жұмыс істейтін суытқыш машинадан

алған Q' жылу мөлшерінен неше есе кем болады? Бұл жылу двигателі $T_1 = 373$ К және $T_2 = 273$ К температуралар аралығында жұмыс істейді. Бөлмені $T_1 = 289$ К температурада ұстап тұру керек. Қоршаған ауаның температурасы $T_{\text{ауа}} = 263$ К.

5.186. Қуаты $P = 14,7$ кВт бу машинасы, $t = 1$ сағ ішіндегі істеген жұмысында меншікті жану жылуы $q = 33$ МДж/кг-ға тең массасы $m_1 = 8,1$ кг көмір пайдаланады. Қазанның температурасы $T_1 = 473$ К, ал тоңазытқыштың температурасы $T_2 = 331$ К. Машинаның нақты η' пайдалы әрекет коэффициентін тауып, оны сол температуралардың аралығында Карноның циклі бойынша жұмыс істейтін идеал жылу машинасының п. э. коэффициентімен салыстырыңдар. Машинаның айналым циклі диаграммада (44-сурет) көрсетілген.



44-сурет



45-сурет

5.187. Қуаты $P = 14,7$ кВт бу машинасы поршенінің ауданы $S = 0,02$ м², ал поршеньнің жүрісі $h = 45$ см. BC изобаралық процесі (44-сурет) поршень жүрісінің үштен бір бөлігінде өтеді. V_1 және V_2 көлемдермен салыстырғанда V_0 көлемді ескермесе де болады. Будың қазандағы қысымы $p_1 = 1,6$ МПа, тоңазытқыштағы қысымы $p_2 = 0,1$ МПа. Адиабата көрсеткішін $\kappa = 1,33$ -ке тең деп алып, машинаның 1 мин ішінде қанша цикл жасайтынын табыңдар.

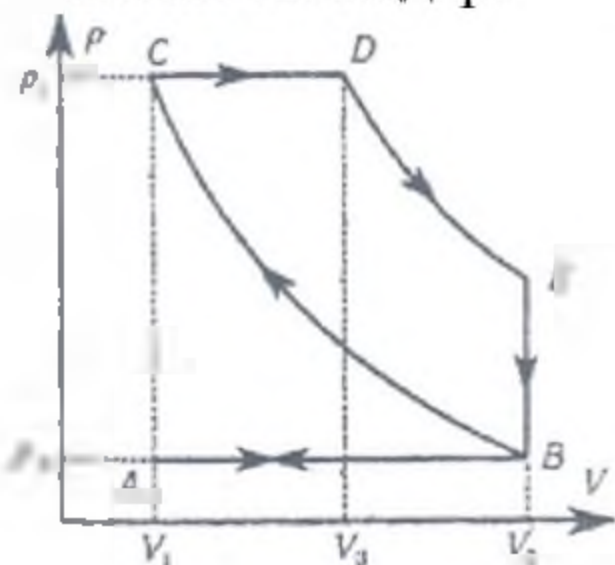
5.188. Карбюраторлы және газды төрт тактілі іштен жанатын қозғалтқыштың циклі 45-суретте көрсетілген. BC және DE жолдарын-да газ қоспасының адиабаталық сығылуы және ұлғаюы жүзеге асырылады. Қысылу дәрежесі $V_1/V_2 = 5$, ал

адиабата көрсеткішінің $\kappa = 1,33$ -ке тең деп алып, циклдің η п.э. коэффициентін табыңдар.

5.189. Карбюраторлы іштен жанатын қозғалтқыш цилиндріндегі газ $V_2=V_1/6$ дейін политропиялы сығылады. Бастапқы қысым $p_1=90$ кПа, бастапқы температура $T_1 = 400$ К. Сығылудан кейінгі, цилиндрдегі газдың p_2 қысымы мен T_2 температурасын табыңдар. Политропа көрсеткіші $n=1,3$.

5.190. Карбюраторлы іштен жанатын қозғалтқыш цилиндрлерінде газ политропалық сығылады. Сығылғаннан кейінгі температурасы $T_2 = 700$ К. Газдың бастапқы температурасы $T_1 = 413$ К. Сығылу коэффициенті $V_2/V_1 = 5,8$. Политропа көрсеткіші n неге тең болады?

5.191. Политропа көрсеткішін $n=1,33$ -ке тең деп және сығылу дәрежелерін: а) $V_1/V_2=4$; б) $V_1/V_2=6$; в) $V_1/V_2= 8$ деп алып, карбюраторлы іштен жанатын қозғалтқыштың п. э. коэффициентін табыңдар.



46-сурет

5.192. Дизельдің төрттактілі қозғалтқышы 46-суретте көрсетілген. Оның тармақтары: BC – ауаның адиабаталық сығылу; DE – адиабаталық сығылу; CD – изобаралық ұлғаю; EB – изохоралық процесстерді бейнелейді. Дизель қозғалтқышының η пайдалы әрекет коэффициентін табыңдар.

5.193. Дизельдің іштен жанатын қозғалтқышының адиабаталық сығылу дәрежесі $\varepsilon=16$, ал адиабаталық ұлғаю дәрежесі $\delta=6,4$ -ке тең. Егер қозғалтқыштың қуаты $P = 36,8$ кВт болса, онда ол бір сағат ішінде мұнайдың қандай ең аз m массасын тұтынады? Адиабата көрсеткіші $\kappa = 1,3$. Мұнайдың меншікті жану жылуы $q = 46$ МДж/кг.

5.194. Идеал газ екі изотерма мен екі изохорадан тұратын айналмалы процесс жасайды. Изотермалық процесстер T_1 және T_2 температураларында, изохоралық процесстер V_1 және V_2

көлемдерінде өтеді (V_1 -ге қарағанда V_2 «е» есе үлкен). Циклдің η п.э.к.-ін табыңдар, и белгілі.

5.195. Идеал газ екі изотерма мен екі изохорадан тұратын айналмалы процесс жасайды. Изотермалық процесстер T_1 және T_2 ($T_1 > T_2$) температураларында, изобаралық процесстер p_1 және p_2 көлемдерінде өтеді (p_1 -ге қарағанда p_2 «е» есе үлкен). Циклдің п.э.к. табыңдар, и белгілі.

5.196. T_1 және T_2 ($T_1 > T_2$) температуралар аралығында жасалатын кез келген қайталанатын циклдің п.э.коэффициентінің Карно осындай циклінің п.э.к.-нен кем болатынын дәлелдеу керек (Карноның екінші теоремасы).

5.197. $T_1 = 253$ К температурада тұрған $m = 10$ г мұзды $T_2 = 373$ К температурада буға айналдырғандағы энтропияның ΔS өзгерісін табыңдар.

5.198. $T_1 = 273$ К-дегі $m=1$ кг суды $T_2 = 373$ К-дегі буға айналдырғандағы энтропияның ΔS өсуін табыңдар.

5.199. $T = 273$ К-дегі $m=1$ кг мұзды буға айналдырғандағы энтропияның ΔS өсуін табыңдар.

5.200. $m = 8$ г оттектің $T_1 = 353$ К температурадағы $V_1 = 10$ л көлемнен $T_2 = 573$ К температурадағы $V_2 = 40$ л көлемге ауысқандағы энтропияның ΔS өзгерісін табыңдар.

5.201. $m=6,6$ г сутектің көлемі V_1 -ден $V_2 = 2V_1$ -ге дейін екі еселенгенде изобаралы ұлғаяды. Осы уақыттағы энтропияның ΔS өзгерісін табыңдар.

5.202. $m = 10$ г оттек $T_1 = 323$ К-ден $T_2 = 423$ К-ге дейін қыздырылады. Қыздыруды: 1) изохоралы және 2) изобаралы өтеді деп алып, энтропияның ΔS өзгерісін табыңдар.

5.203. Карно циклінің екі адиабатасының аралығындағы энтропияның өзгерісі $\Delta S = 4,19$ кДж/К. Екі изотерманың аралығындағы температуралардың айырмасы $\Delta T = 100$ К. Қандай Q жылу мөлшері осы циклда жұмысқа айналады?

5.204. Адиабаталық процесте термодинамикалық жүйенің энтропиясы өзін қандай жағдайда ұстайды?

5.205. U, S -диаграммасында идеал газдың изотермалық және адиабаталық процестерін сызып көрсетіндер.

5.206. Идеал газдың изотермалық, изобаралық, изохоралық және адиабаталық процестерін а) T, S ; б) V, S ; в) p, S

диаграммаларында сызып көрсетіндер. Энтропияны абсцисса осіне салыңдар. Графиктер бәріне ортақ нүкте арқылы өтеді.

5.207. Температураға тәуелді жүйенің энтропиясы $S = a + bT$ заңы бойынша өзгереді, мұндағы: a және b – тұрақты. T_1 температурадан T_2 -ге дейін қайтарымды қыздырғанда жүйе қандай Q жылу мөлшерін алады?

5.208. Біратомды идеал газ T_1 температурадан T_2 -ге дейін қайтымды қызады. Қыздыру кезінде газдың қысымы температураға тәуелді $p = p_0 \exp(\alpha T)$ заңы бойынша өзгереді, мұндағы α – тұрақты. Қыздыру кезінде газдың алған жылу мөлшерін табыңдар. $T_1 = 300$ К; $T_2 = 400$ К; $\alpha = 10^{-3}$ К $^{-1}$.

5.209. Идеал газ ($T = 400$ К) изотермалық ұлғая отырып, $A = 800$ Дж жұмыс жасайды. Осы кезде газдың энтропиясы қандай күй кешеді?

5.210. Қайтымды изотермалық процесс кезінде ($T = 350$ К) дене $A = 80$ Дж жұмыс жасайды, ал оның ішкі энергиясы $\Delta U = 7,5$ Дж өсімше алады. Газдың энтропиясы не күйде болады?

5.211. Температуралардың кейбір аралығында кей заттың энтропиясының $\Delta S = \alpha \Delta T$ өсімшесі температураның өсімшесіне пропорционал болады. Осы аралықта дененің жылу сыйымдылығы C температураға қалай байланысты болады?

5.212. Абсолюттік ноль маңайында кристаллдардың жылу-сыйымдылығы $C = \alpha T^3$ заңы бойынша өзгередіні белгілі, мұндағы α – тұрақты. Кристаллдың энтропиясын анықтаңдар.

5.213. Газдың қысымы оның көлеміне пропорционал өзгереді. Осындай процесте 1 моль идеал газдың S энтропиясының V көлеміне тәуелділігін табыңдар. Адиабата көрсеткіші κ белгілі деп санандар.

5.214. Массасы $m = 1$ кг азот көлемі $V_1 = 0,2$ м 3 ыдыстың ішінде $p = 1 \cdot 10^5$ Па қысымда тұр. Азоттың көлемі $V_2 = 0,54$ м 3 -ке ұлғайғанда оның қысымы 2,7 есе кемиді. Газдың энтропиясы ΔS мен ΔU ішкі энергиясының өзгеруін анықтаңдар.

5.215. Цилиндрлік ыдыс бастапқыда тесігі жабулы қалқа арқылы екі тең бөлікке бөлінген. Ыдыстың бір бөлігінде идеал газ, екіншісінде – вакуум. Тесік ашылады да, газ бар көлемге тарайды. Газдың ұлғаю процесі адиабаталы орындалады.

Газдың ΔS энтропия өсімшесі мен ΔU ішкі энергиясының өсімшесін анықтаңдар.

5.216. Ыдыстың ішінде N молекула бар. Барлық N молекуланың ыдыстың әйтеуір бір жарты жағында болу ықтималдығын табыңдар. $N = 2, 5, 10, 100$ үшін есептеулер жасаңдар.

5.217. Көлемі V_0 ыдыстың ішіндегі молекулалардың саны N . Барлық N молекуланың V ($V < V_0$) көлемнің ішінде болу ықтималдығын анықтаңдар. $V/V_0 = 0,1$ және $N = 2, 5, 10$ үшін есептеулер жүргізіндер.

5.218. Әрбір күйдегі жүйенің S энтропиясын сол күйді жүзеге асыратын P ықтималдықпен байланыстыратын өрнекті жазыңдар (Больцман формуласы).

5.219. Термодинамикалық жүйенің кейбір күйдегі статистикалық салмағы мыналарға: а) 10^{10} ; б) $5 \cdot 10^{10}$ тең. Осы жағдайда жүйенің S энтропиясы неге тең? Салыстырмалы айырмасы $\Delta S/S$ энтропияның а) және б) жағдайлары үшін неге тең? 10 санына еселенетін дәлдікпен алыңдар.

5.220. Температурасы $T = 298$ К және қысымы $p = 1,013 \cdot 10^5$ Па сутек молінің энтропиясы $S = 130$ Дж/моль·К. Осы шарттар аясында сутектің а) бір молінің; б) екі молінің статистикалық G салмағын анықтаңдар.

5.221. 0,5 г сутектің: 1) 0°C , 2) 100°C температуралардағы изотермаларын сызыңдар.

5.222. Жабық ыдыстың ішіндегі көлемі 4 л, 20°C температурадағы 5 г азот 40°C температураға дейін қыздырылады. Газдың қыздырғанға дейінгі және қыздырғаннан кейінгі қысымын табыңдар. «Бір тонна қорғасын ауыр ма немесе бір тонна пробка ауыр ма?» деген көпшілікке белгілі әзіл сұрақ бар. Ауадағы салмағы 1 т болатын пробканың нақтылы салмағы ауадағы салмағы 1 т болатын қорғасынның нақтылы салмағынан қаншама үлкен болатынын есептеп шығарыңдар. Ауаның температурасы 17°C , қысымы 101,3 кПа.

5.223. 7°C температурада 12 г газдың алатын көлемі $4 \cdot 10^{-3}$ м³. Тұрақты қысымда газды қыздырғаннан кейін оның тығыздығы $6 \cdot 10^{-4}$ г/см³-ге тең болады. Газды қандай температураға дейін қыздырған?

5.224. Дәнекерленген ыдыста көлемі ыдыс көлемінің жартысына тең 400°C температурада су бар. Осы температурада су түгелімен буға айналатындығын біле отырып, су буының қысымы мен тығыздығын табыңдар.

5.225. 500 м/сек жылдамдықпен ұшып келе жатқан аргон молекуласы ыдыстың қабырғасына серпімді соғылады. Молекула жылдамдығының бағыты ыдыстың қабырғасына түсірілген нормальмен 60° бұрыш жасайды. Соғылған уақыттағы ыдыс қабырғасына түскен күш импульсін табыңдар.

5.226. Ұшып келе жатқан азот молекуласының жылдамдығы 430 м/сек . Осы молекуланың импульсін табыңдар.

5.227. 1 г су буының ішіндегі молекуланың саны қанша?

5.228. Сыйымдылығы 4 л ыдыс ішінде 1 г сутек бар. Осы ыдыстың 1 см^3 көлемінде қанша молекула болады?

5.229. Гелий мен азот молекуласының орташа квадраттық жылдамдықтарының бірдей температурадағы қатынасын табыңдар.

5.230. Атом бомбасы жарылған кезде пайда болатын температура шамамен $10^7\text{ }^{\circ}\text{C}$ градусқа тең болады. Осындай температурада барлық молекулалар түгелімен атомға диссоциаланады, ал атомдар ионданады деп есептеп, сутек ионының орташа квадраттық жылдамдығын табыңдар.

5.231. Диаметрі $D = 1\text{ мм}$ гуммигуттың бөлшегі броундық қозғалысқа қатысады. Гуммигуттың тығыздығы $\rho = 1\text{ г/см}^3$. $t = 0^{\circ}\text{C}$ температурадағы гуммигут бөлшегінің орташа квадраттық жылдамдығын табыңдар.

5.232. Кейбір газдың қалыпты жағдайдағы молекуласының орташа квадраттық жылдамдығы 461 м/сек . Осы газдың 1 граммында қанша молекула болады?

5.233. 15°C температурада 1 г ауаның ішіндегі молекулалардың жылулық қозғалысының кинетикалық энергиясын табыңдар. Ауаны бір киломолінің массасы $0,29\text{ кг/моль-ға}$ тең болатын біртекті газ деп есептеңдер.

5.234. 7°C температурадағы 1 кг азоттың ішіндегі молекулалардың айнаlmалы қозғалысының энергиясы неге тең?

5.235. Көлемі $0,02\text{ м}^3$ баллонның ішіндегі азот молекуласының ілгерілемелі қозғалысының кинетикалық энергиясы

$5 \cdot 10^3$ Дж, ал оның молекуласының орташа квадраттық жылдамдығы $2 \cdot 10^3$ м/сек. Мыналарды: 1) баллондағы азоттың мөлшерін, 2) азоттың үстіне түсірілген қысымды табыңдар.

5.236. Гелий атомдары Жердің тарту күшін жеңіп, оның атмосферасынан мүлдем шығып кету үшін қандай температурадағы гелий атомдарының жылулық қозғалысының орташа кинетикалық энергиясы жеткілікті болады? Осыған ұқсас есепті Ай үшін де шығарыңдар.

5.237. 8 г гелийден және 16 г оттектен тұратын газ қоспасы үшін берілген c_p/c_v катынасын табыңдар.

5.238. Оттектің бір киломолінен және аргонның бірнеше киломолінен тұратын газ қоспасының көлемі тұрақты болғандағы меншікті жылу сыйымдылығы 430 Дж/кг·К. Газ қоспасында аргонның мөлшері қанша?

5.239. 12 г оттекті тұрақты қысымда 50° -қа дейін қыздыру үшін қаншама жылу мөлшерін беру керек?

5.240. 1) 0,053 ккал жылумен мөлшері қанша көмірқыш-қыл газын 20°C -ден 100°C -ге дейін қыздыруға болады? 2) Осы уақытта бір молекуланың кинетикалық энергиясының өзгерісі қандай болады? Қыздырған уақытта газ тұрақты қысымда ($p = \text{const}$) ұлғаяды.

5.241. Көлемі $V = 2$ л жабық ыдыстың ішінде тығыздығы $\rho = 1,4$ кг/м³ азот бар. Осы жағдайда азотты $\Delta t = 100^\circ$ -қа қыздыру үшін оған қаншама Q жылу мөлшері беріледі?

5.242. 7°C температурада жабық ыдыстың ішінде 10 г азот бар. 1) Азот молекулаларының орташа квадраттық жылдамдығын екі есе өсіру үшін оған қандай мөлшерде жылу беру керек? 2) Осы уақыттағы газдың температурасы қанша есе өзгереді? 3) Осы уақыттағы ыдыстың қабырғасына түсетін қысым қанша есе өзгереді?

5.243. Қалыпты жағдайдағы көлемі 2 л жабық ыдыстың ішінде m грамм азот және m грамм аргон бар. Осы газ қоспасын 100° -қа қыздыру үшін қандай жылу мөлшерін беру керек?

5.244. Азот молекуласының орташа квадраттық жылдамдығы қандай температурада оның неғұрлым ықтимал жылдамдығынан 50 м/сек-қа артық болады?

5.245. Азот молекулаларының қандай бөлігі 150°C температурада 300 м/сек -тан 325 м/сек -қа дейінгі жылдамдықтарға ие болады?

5.246. Сутек молекулаларының қандай бөлігі 0°C температурада 2000 м/сек -тан 2100 м/сек -қа дейінгі жылдамдықтарға ие болады?

5.247. T температурада тұрған азот молекулаларының қандай бөлігі $v_c + \Delta v$ интервалда жатқан жылдамдыққа ие болады, мұндағы $\Delta v = 20\text{ м/сек}$. Есепті: 1) $\Gamma = 400^{\circ}\text{K}$ және 2) $\Gamma = 900^{\circ}\text{K}$ мәндері үшін шығарыңдар.

5.248. Жолаушылар ұшағы 8300 м биіктікте ұшып келеді. Жолау-шылардың бәрін оттектендірісмен жабдықтамау үшін кабиналарға компрессор арқылы 2700 м биіктікке сәйкес келетін тұрақты қысым беріліп тұрады. Кабиналардың ішіндегі және сыртындағы қысымдардың айырымын табыңдар. Ұшақ сыртындағы ауаның орташа температурасын 0°C -ге тең деп алыңдар.

5.249. Алдыңғы есептен сыртқы кеңістіктегі температураны -20°C , ал кабинаның ішіндегі температураны $+20^{\circ}\text{C}$ -ге тең деп алып, кабинадағы ауаның тығыздығы оның сыртындағы ауаның тығыздығынан неше есе үлкен екендігін табыңдар.

5.250. Қандай биіктікте газдың тығыздығы оның теңіз бетіндегі тығыздығының 50% пайызын құрады? Температураны тұрақты және 0°C тең деп есептендер. Есепті 1) ауа және 2) сутек үшін шығарыңдар.

§ 6. Нақты газдар

Бір моль үшін нақты газ күйінің теңдеуі (Ван-дер-Ваальс теңдеуі):

$$\left(p + \frac{a}{V_0^2}\right)(V_0 - b) = RT,$$

мұндағы: V_0 — газдың молярлық көлемі, a және b — әр түрлі газдар үшін әртүрлі тұрақты, p — қысым, T — термодина-

микалық температура және $R = 8,31411$ Дж/(моль·К) — газ тұрақтысы.

Газдың кез келген m массасы үшін Ван-дер-Ваальс теңдеуі:

$$\left(p + \frac{m^2}{\mu^2} \frac{a}{V^2}\right) \left(V - \frac{m}{\mu} b\right) = \frac{m}{\mu} RT,$$

мұндағы: V — газдың барша көлемі, μ — газдың молярлық массасы. Бұл теңдеудегі $\frac{m^2}{\mu^2} \frac{a}{V^2} = p_i$ молекулалардың өзара әрекеттесу күштеріне қатысты туындайтын қысым, және $\frac{m}{\mu} b = V_i$ — молекулалардың өз көлемімен байланысты анықталатын көлем.

Берілген газдың a және b тұрақтылары оның T_k сындық температурасымен, p_k сындық қысымымен және V_{0k} сындық көлемімен мына қатынастар арқылы байланысады:

$$V_{0k} = 3b, \quad p_k = \frac{a}{27b^2}, \quad T_k = \frac{8a}{27bR}.$$

Бұл теңдеулерді a және b тұрақтыларға қатысты шешуге болады:

$$a = \frac{27T_k^2 R^2}{64p_k}, \quad b = \frac{T_k R}{8p_k}.$$

Егер келтірілген шамаларды енгізсек,

$$r = T/T_k, \quad \pi = p/p_k, \quad \omega = V_0/V_{0k},$$

онда бір моль газ үшін Ван-дер-Ваальс теңдеуі мына түрде жазылады:

$$\left(\pi + \frac{3}{\omega^2}\right) (3\omega - 1) = 8r.$$

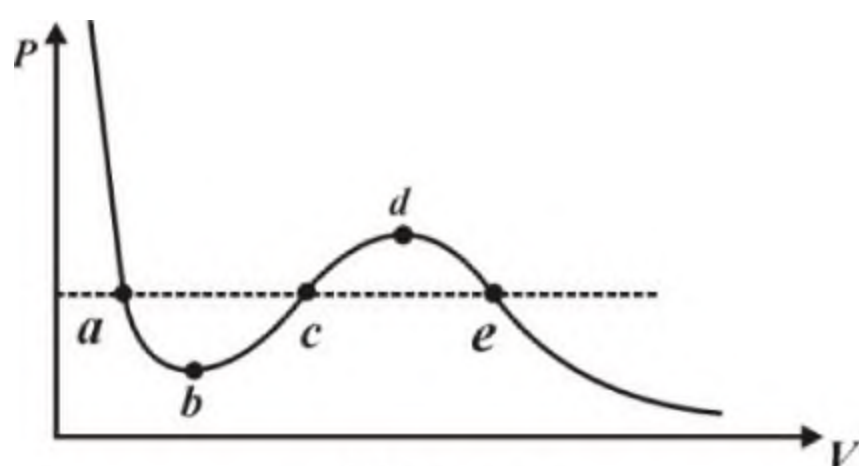
6.1. Леннард-Джонс потенциалындағы тартылу күштерінің молекулалар арасындағы қашықтыққа тәуелділігі $\sim r^{-6}$ сияқты болатынын көрсетіндер.

6.2. Ван-дер-Ваальс теңдеуіне енетін a тұрақтысының физикалық мағынасы қандай?

6.3. (Максвелл ережесі). Ван-дер-Ваальс изотермасындағы abc және cde алаңдарының аудандарының теңдігін дәлелдеу керек (47-сурет).

6.4. Ван-дер-Ваальс теңдеуіне енетін a және b тұрақтыларының СИ жүйесіндегі бірліктері қандай?

6.5. Кейбір газдар үшін T_k және p_k сындық шамалар туралы мәліметтерді пайдаланып (XIV таблицаны қараңдар), олар үшін Ван-дер-Ваальс теңдеуіне енетін a және b тұрақтыларын табыңдар.



47-сурет

6.6. $p=0,2$ МПа қысымда $V=820$ см³ көлемді алып тұрған массасы $m=2$ г азоттың температурасы қандай болады? Газды: 1) идеал және 2) нақты деп қарастырыңдар.

6.7. $p=100$ МПа қысымда $m=10$ г гелийдің алып тұрған көлемі $V=100$ см³. Газды: 1) идеал газ және 2) нақты газ дел қарастырып, оның температурасын табыңдар.

6.8. Көлемі $V=0,5$ м³ жабық ыдыста $p=3$ МПа қысымда мөлшері $\nu=0,6$ кмоль көмірқышқыл газы бар. Ван-дер-Ваальс теңдеуін пайдаланып, газдың қысымын екі есе өсіру үшін, оның температурасын неше есе өсіру керек екендігін табыңдар.

6.9. $\nu=1$ кмоль оттегі $t=27^\circ\text{C}$ температурада және $p=10$ МПа қысымда тұр. Берілген жағдайда оттегі өзін нақты газ сияқты ұстайды деп есептеп, газдың V көлемін табыңдар.

6.10. Азот молекулаларының эффективті σ диаметрін екі түрлі тәсілмен: 1) қалыпты жағдайдағы молекуланың еркін жолының орташа ұзындығының $\bar{\lambda}=95$ нм-ге тең берілген мәні бойынша, 2) Ван-дер-Ваальс теңдеуіндегі b тұрақтысының белгілі шамасы бойынша табыңдар.

6.11. Қалыпты жағдайдағы көмірқышқыл газының еркін жолының $\bar{\lambda}$ орташа ұзындығын табыңдар. Көмірқышқыл газы

үшін T_k сындық температураны және p_k қысымды белгілі деп есептеп, молекуланың σ эффективті диаметрін есептендер.

6.12. $t=17^\circ\text{C}$ температурадағы және $p=150$ кПа қысымдағы гелийдің D диффузия коэффициентін табыңдар. Гелий үшін сындық T_k және p_k шамаларын белгілі деп есептеп, гелий атомының σ эффективті диаметрін есептендер.

6.13. $t=0^\circ\text{C}$ температурадағы бір киломоль көмірқышқыл газы үшін $p=f(V)$ изотермасын салыңдар. Газды: 1) идеал газ және 2) нақты газ деп қарастырыңдар. Нақты газ үшін л/мольмен берілген V -ның мәндерін төмендегіге тең деп алыңдар: 0,07; 0,08; 0,10; 0,12; 0,14; 0,16; 0,18; 0,20; 0,25; 0,30; 0,35 және 0,40, ал идеал газ үшін $0,2 \leq V \leq 0,4$ л/моль аралығындағы көлемді алыңдар.

6.14. Қалыпты жағдайда $\nu = 1$ кмоль газдың ішіндегі молекулалардың өзара әрекеттесу күштерінен туындайтын p_i қысымды табыңдар. Осы газдың сындық температурасы $T_k = 417$ К және сындық қысымы $p_k = 7,7$ МПа.

6.15. Сутек үшін молекулалардың өзара әрекет күші елеулі емес; басыңқы рөлді молекулалардың өз көлемдері атқарады. 1) Осындай жартылай идеал газ күйінің теңдеуін жазыңдар. 2) Молекулалардың өз көлемдерін ескерусіз қалдырсақ, $t = 0^\circ\text{C}$ температурадағы және $p = 150$ кПа қысымдағы кейбір көлемде тұрған сутектің ν мөлшерін тапқанда қандай қате жібереміз?

6.16. Көлемі $V=10$ л ыдыста $t = 27^\circ\text{C}$ температурада массасы $m = 0,25$ кг азот бар. Газ қысымының қандай бөлігін молекулалардың өзара әрекет күштерінен туындайтын қысым құрады? Молекулалардың өз көлемдері ыдыс көлемінің қандай бөлігін алады?

6.17. Кейбір газдың $\nu=0,5$ кмоль мөлшері $V_1 = 1$ м³ көлемді алады. Газдың көлемін $V_2 = 1,2$ м³ дейін ұлғайтқанда молекулалардың өзара әрекет күштеріне қарсы $A = 5,684$ кДж жұмыс істелді. Ван-дер-Ваальс теңдеуіндегі a тұрақтысын табыңдар.

6.18.* Бір моль Ван-дер-Ваальс газы V_1 көлемнен V_2 көлемге дейін изотермиялық ұлғайғанда қандай A жұмысын жасайды? Газдың температурасы T , Ван-дер-Ваальс тұрақтылары a және b . Идеал газдың жұмысымен салыстырыңдар.

6.19.* $T = 173$ К температурада $V_1 = 1$ л көлемді алып тұрған бір моль оттегі $V_2 = 9,712$ л-ге дейін изотермиялық ұлғайды. а) газдың ішкі энергиясының ΔU өсімішесін; б) газдың A жұмысын; в) газдың алған Q жылу мөлшерін табыңдар.

6.20. Ван-дер-Ваальс газының V мен T және V мен p айнымалыларындағы адиабаталық теңдеуін алыңдар. Осы нәтижелерді идеал газдың сондай теңдеулерімен салыстырыңдар

6.21. Массасы $m = 20$ кг азот вакуумда $V_1 = 1$ м³-ден $V_2 = 2$ м³-ге дейін адиабаталық ұлғаяды. Ван-дер-Ваальстың теңдеуіне енетін a тұрақтысын азот үшін белгілі деп алып, осы ұлғаюдағы температураның ΔT төмендеуін табыңдар (6.5 есептің жауабын қараңдар).

6.22. Үш атомды газдың $\nu = 0,5$ кмоль мөлшері вакуумда $V_1 = 0,5$ м³-ден $V_2 = 3$ м³-ге дейін адиабаталық ұлғаяды. Осы уақытта газдың температурасы $\Delta T = 12,2$ К-қа төмендейді. Ван-дер-Ваальстың теңдеуіне енетін a тұрақтысын табыңдар.

6.23. 1) Мына температураларда: а) 31°C және б) 50°C көмірқышқыл газын көмірқышқыл сұйығына айналдыру үшін қандай қысым түсіру керек? 2) 1 кг көмірқышқыл сұйығы қандай ең үлкен көлем алады? 3) көмірқышқыл сұйығының қаныққан буының ең үлкен қысымы қандай?

6.24. Ван-дер-Ваальс теңдеуіндегі b тұрақтысын белгілі деп алып, сындық күйдегі су буының ρ_c тығыздығын табыңдар (6.5 есептің жауабын қараңдар).

6.25. Гелий үшін T_c және p_c сындық мәндерін белгілі деп алып, сындық күйдегі гелийдің ρ_c тығыздығын табыңдар.

6.26. $t = -200^\circ\text{C}$ температурада мөлшері $\nu = 1$ кмоль гелий $V = 0,237$ м³ көлемді алады. Келтірілген шамалардағы Ван-дер-Ваальс теңдеуін пайдаланып, газдың p қысымын табыңдар.

6.27. Газдың көлемі мен температурасы олардың сындық мәндерінен екі есе үлкен болады деп есептеп, газдың қысымы оның сындық қысымынан неше есе үлкен болатындығын табыңдар.

6.28. Ван-дер-Ваальс газы үшін молярлық жылу сыйымдылықтардың $c_p - c_v$ айырымын анықтаңдар.

6.29. Бір моль Ван-дер-Ваальс газының U ішкі энергиясының: а) T температураға ($V = \text{const}$ болғанда); V көлемге ($T = \text{const}$ болғанда) тәуелділіктерінің графиктерін сызындар.

6.30. Ван-дер-Ваальс газының бір молінің энтропиясы үшін T мен V -нің функциясы болатын өрнек табындар. Идеал газдың энтропиясы үшін жазылған өрнекпен салыстырындар.

§ 7. Қаныққан булар және сұйықтықтар

Абсолют p ылғалдылық деп, ауадағы су буының парциаль қысымын айтады. Салыстырмалы ω ылғалдық деп абсолют ылғалдықтың осы температурада кеңістікті қанықтырушы су буының p_n парциаль қысымына қатынасын айтады.

Меншікті булану жылуы r деп, тұрақты температурада сұйықтықтың бірлік массасын буға айналдыру үшін қажет болатын жылу мөлшерін айтады.

Молярлық булану жылуы:

$$r_0 = \mu r,$$

мұндағы μ – бір киломольдің массасы.

Қаныққан бу қысымының p_k температураға тәуелділігі Клаузиус-Клапейрон тендеуімен беріледі:

$$\frac{dp}{dT} = \frac{r_0}{T(V_{0b} - V_{0c})},$$

мұндағы: V_{0b} – будың молярлық көлемі, V_{0c} – сұйықтықтың молярлық көлемі.

Қыздырғанда сұйықтық көлемінің салыстырмалы өзгерісі:

$$\frac{\Delta V}{V} = \beta \Delta T,$$

мұндағы $\beta [T^{-1}]$ – көлемдік ұлғаюдың температуралық коэффициенті.

Қысым өзгерген кездегі сұйық көлемінің салыстырмалы өзгерісі:

$$\frac{\Delta V}{V} = -k\Delta p,$$

мұндағы $k[\text{Па}^{-1}]$ – сығылу коэффициенті.

Беттік керілу α [Н/м] сұйықтықтың беттік жарғағы (пленкасы) жиегінің бірлік ұзындығына түсірілген күшке тең:

$$\alpha = F/l.$$

Жарғақтың ауданын ΔS -ке өзгерткенде, істелетін жұмыс:

$$\Delta A = \alpha \Delta S.$$

Сұйықтық бетінің қисықтығынан туындайтын қосымша қысым Лаплас формуласымен анықталынады:

$$\Delta p = \alpha \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right),$$

мұндағы R_1 және R_2 – сұйықтық бетінің өзара перпендикуляр қималарының қисықтық радиустары. Егер қисықтық центрі сұйықтықтың ішінде жатса (дөңес мениск), радиус оң деп алынады, ал кері жағдайда (ойыс мениск) – теріс деп саналады.

Капилляр түтіктегі сұйықтың көтерілу биіктігі:

$$h = \frac{2\alpha \cos \theta}{r\rho g},$$

мұндағы: r – түтіктің радиусы, ρ – сұйықтықтың тығыздығы және θ – жиектік бұрыш. Толық жұғу болғанда $\theta = 0$, жұқпайтын болғанда $\theta = \pi$.

Сұйықтықтың жазық бетінің үстіндегі p_k қысымымен салыстырғанда оның ойыс бетіндегі қаныққан будың p'_k қысымы кіші, ал дөңес бетіндегі қысым үлкен болады. Қосымша қысым мынаған тең:

$$\Delta p = p' - p = \pm \frac{2\alpha\rho}{\rho R},$$

мұндағы: ρ – сұйықтықтың тығыздығы, ρ_k – сұйықтықтың қаныққан буының тығыздығы, R – сұйықтық бетінің қисықтық радиусы.

Ерітіндінің p осмостық қысымының T термодинамикалық температурасымен байланысы Вант-Гофф формуласымен беріледі:

$$p = CRT,$$

мұндағы: R – газ тұрақтысы, C [моль/м³]= $m/\mu V$ – ерітіндінің молярлық концентрациясы (ерітіндінің бірлік көлеміндегі ерітілген заттың мөлшері).

Заттың молекулалары диссоциацияланбаған ерітінділері үшін:

$$C = \frac{m}{\mu V} = \frac{N}{N_A},$$

мұндағы: N_A – Авогадро саны, N – бірлік көлемдегі ерітілген заттың молекулалар саны. Диссоциация болғанда бірлік көлемдегі бөлшек-тердің саны көп болады да, осмостық қысымды арттырады.

Ерітіндінің үстіндегі қаныққан будың қысымы таза еріткіштің үстіндегіден аз болады. Ерітіндінің мейлінше аз концентрациясында ерітіндінің үстіндегі қаныққан будың қысымының салыстырмалы кемуі Рауль заңымен анықталады:

$$\frac{p_0 - p}{p_0} = \frac{\nu'}{\nu + \nu'},$$

мұндағы: p_0 – таза еріткіштің үстіндегі қаныққан будың қысымы, p – ерітіндінің үстіндегі қаныққан будың қысымы, ν' – ерітілген заттың мөлшері, ν – сұйықтықтың мөлшері. Сұйықтықтардың тұтқырлық құбылысына жататын есептер I тараудың 4-параграфына енгізілген.

7.1.* $t = 20^\circ\text{C}$ температурада $V = 1 \text{ м}^3$ тұйық көлемдегі ауаның салыстырмалы ылғалдығы $\omega = 0,6$. Су буы қаныққанда осы көлемде қанша су массасы буға айналуға тиісті?

7.2.* Су буының молярлық массасы $\mu = 0,018 \text{ кг/моль}$. $t = 30^\circ\text{C}$ температурадағы су буының бірлік көлемдегі n молекулалар санын табыңдар.

7.3.* $t = 50^{\circ}\text{C}$ температурада $m=6,5$ г су буы $V=10$ л көлемді алады. 1) Осы уақыттағы салыстырмалы ω ылғалдығы қандай? 2) Егер көлемді изотермиялық етіп екі есе кемітсек, конденсацияланатын будың Δm массасы қандай болады?

7.4. $t_1 = 200^{\circ}\text{C}$ температурадағы қаныққан су буының $\rho_{к1}$ тығыздығы $t_2 = 100^{\circ}\text{C}$ температурадағы қаныққан су буының $\rho_{к2}$ тығыздығынан неше есе үлкен болады?

7.5. Жаз күні $t = 30^{\circ}\text{C}$ температурадағы және $\omega = 0,75$ салыстырмалы ылғалдықтағы ауаның $V = 1$ м³ көлеміндегі су буының массасы қандай?

7.6. $m=1$ г суы бар кішкене табақшаны көлемі $V = 10$ дм³ ыдыстың ішіне орналастырады. Сосын ыдысты тығыздап жауып $t = 20^{\circ}\text{C}$ температурадағы қаныққан будың $p = 2,33$ кПа қысымында қалдырады. Осы кезде судың қанша бөлігі буға айналады? Су буының молярлық массасы $\mu = 0,018$ кг/моль.

7.7. Бөлменің температурасы $t_1 = 18^{\circ}\text{C}$, салыстырмалы ылғалдығы $\omega = 0,5$. Металл шәйнекке суық су құйылған. Судың қандай температурасында шәйнек терлеуін тоқтатады?

7.8.* Салыстырмалы ылғалдылығы $\omega_1 = 20\%$, көлемі $V_1 = 1$ м³ ауа салыстырмалы ылғалдылығы $\omega_2 = 30\%$, көлемі $V_2 = 2$ м³ ауамен араластырылады. Ауаның температурасы бірдей. Қоспаның көлемі $V_3 = 3$ м³. Қоспаның салыстырмалы ылғалдылығын табыңдар.

7.9. Құрғақ ауамен салыстырмалы ылғалдылығы $\omega = 50\%$ ауа тығыздығының қатынасын табыңдар. Ауаның екі бөлігі де атмосфера-лық қысымда және $t = 20^{\circ}\text{C}$ температурада алынады. Су буы мен ауаның молярлық массаларының қатынасы $\mu_{п}/\mu_{а} = 0,6$.

7.10. Вильсон камерасында көлемі $V_1 = 1$ л су буымен қаныққан ауа бар. Камераның бастапқы температурасы $t_1 = 20^{\circ}\text{C}$. Поршень жылжыған уақытта камераның көлемі $V_2 = 1,25$ V_1 -ге үлкейеді. Ұлғаю адиабаталық түрде өтеді, сонымен бірге адиабата көрсеткіші $\kappa = c_p/c_v = 1,4$ -ке тең. Мыналарды: 1) ұлғайғанға дейінгі су буының p_1 қысымын; 2) ұлғайғанға дейінгі камерадағы су буының m_1 массасын; 3) ұлғайғанға дейінгі су буының ρ_1 тығыздығын; 4) ұлғайғаннан кейінгі будың t_2 температурасын (будың конденсациясы барысында жылудың

бөлініп шығуына байланысты температураның өзгеруін ескермейміз); 5) конденсацияланған будың Δm массасын; 6) конденсациядан кейінгі су буының ρ_2 тығыздығын; 7) қанығу дәрежесін, яғни ұлғайғаннан кейінгі су буы тығыздығының (бірақ конденсацияға дейінгі) конденсациядан кейінгі орныққан температурада кеңістікті қанықтырып тұрған су буы тығыздығына қатынасын табыңдар.

7.11.* Көлденең қимасының ауданы $s = 20 \text{ см}^2$ цилиндр массасы $m = 5 \text{ кг}$ поршень арқылы екіге бөлінген. Оның астыңғы бөлігі сумен толтырылған, ал үстіңгі бөлігі бос. Поршень цилиндрмен қатқылдығы коэффициенті $k = 15 \text{ н/м}$ серіппе арқылы жалғасқан. Серіппе әуелбаста деформацияланбаған. Су $t_1 = 0^\circ\text{C}$ температурадан $t_2 = 100^\circ\text{C}$ температураға дейін қыздырылғанда пайда болған будың массасын табыңдар. Үйкеліс есепке алынбайды.

7.12.* Поршеньмен жабылған цилиндрде $t = 20^\circ\text{C}$ температурада ауа бар. Цилиндрдің түбінде судың тамшымағы бар. Цилиндрдің сыйымдылығын екі есе изотермалық азайтса, оның ішіндегі қысым қандай болады? Бұл үшін қандай жұмыс жасалынуы керек? Цилиндрдің бастапқы сыйымдылығы $0,5 \text{ м}^3$, $t=20^\circ\text{C}$ температурадағы қаныққан су буының қысымы $1,73 \text{ кПа}$. Цилиндрдегі бастапқы қысым $101,3 \text{ кПа}$.

7.13. Қалыпты жағдайдағы сұйық және бу күйіндегі судың меншікті көлемін табыңдар.

7.14. Термодинамиканың бірінші заңын пайдаланып, XIV және XV кестелердегі деректер бойынша $t = 200^\circ\text{C}$ температурадағы судың r меншікті булану жылуын табыңдар. Су үшін сындық температура $T_k = 647^\circ \text{ К}$, сындық қысым $p_k = 22 \text{ МПа}$. Тауып алынған нәтиженің дұрыстығын XVI кестедегі көрсеткіштер арқылы тексеріңдер.

7.15. $t = 100^\circ\text{C}$ температурадағы судың меншікті булану жылуының қандай бөлігі жүйенің ішкі энергиясын өсіруге кетеді?

7.16. Бензолдың (C_6H_6) $t = 77^\circ\text{C}$ температурадағы меншікті булану жылуы $r = 398 \text{ кДж/кг}$. Бензолдың $\Delta m = 20 \text{ г}$ массасы буға айналғандағы ішкі энергиясының ΔW өзгеруін табыңдар.

7.17. Жасырын булану жылуының температураға тәуелділігінің сипатын (өседі, азаяды және т.б.) көрсету керек.

7.18. Қаныққан будың p қысымының T температураға тәуелділігін анықтайтын теңдеуді жазыңдар. Судың буға айналуының молярлық жылу мөлшері Q , сұйық және газ фазаларындағы молярлық көлемдері V_c және V_r . $Q = \text{const}$, $V_r \gg V_c$ дей отырып, ал p қысымды есептеу үшін идеал газдың күйінің теңдеуін қолдануға болады деп болжап, $p(T)$ тәуелділігін табыңдар.

7.19. Клапейрон-Клаузиус теңдеуін және XV кестедегі анықтамаларды пайдаланып, $t = 5^\circ\text{C}$ температурадағы судың меншікті булану жылуын табыңдар. XVI кестедегі мәліметтер бойынша алынған нәтиженің дұрыстығын тексеріңдер.

7.20. $t_1 = 100^\circ\text{C}$ және $t_2 = 120^\circ\text{C}$ температуралардағы қаныққан сынап буының сәйкес қысымы $p_1 = 37,3$ Па және $p_2 = 101,3$ Па. Көрсетілген температуралар аясында сынаптың меншікті булану жылуының r орташа мәнін табыңдар.

7.21. $t_1 = 40^\circ\text{C}$ және $t_2 = 60^\circ\text{C}$ температурадағы этил спиртінің ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) қаныққан буының қысымы $p_1 = 17,7$ кПа және $p_2 = 67,9$ кПа. $t = 50^\circ\text{C}$ температурада тұрған массасы $\Delta m = 1$ г этил спиртінің буға айналғандағы энтропиясының ΔS өзгерісін табыңдар.

7.22. $t_1 = 50^\circ\text{C}$ температурадағы кейбір сұйықтың $\Delta \nu = 1$ кмоль мөлшерін буға айналғандағы энтропиясының өзгерісі $\Delta S = 133$ Дж/кг. Осы сұйықтың $t_1 = 50^\circ\text{C}$ температурадағы қаныққан буының қысымы $p_1 = 12,33$ кПа. Температураны $t_1 = 50^\circ\text{C}$ -тан $t_2 = 51^\circ\text{C}$ -қа дейін өзгерткенде сұйықтың қаныққан будың қысымы қанша өзгереді?

7.23. Егер сынап қармаушысы жоқ сорғыштың су көйлегінің температурасы $t = 15^\circ\text{C}$ болса, онда сынапты диффузионды сорғыштың жәрдемімен қандай шекті қысымға дейін ыдыстағы ауаны сорып шығаруға болады? $t_0 = 0^\circ\text{C}$ температурадағы қаныққан сынап буының қысымы $p_0 = 0,021$ Па, температуралардың осындай аясындағы сынаптың меншікті булану жылуы $r = 10,08$ МДж/кг.

7.24. $t = 0^\circ\text{C}$ температурадағы сынаптың тығыздығы $\rho = 13,6 \times 10^3$ кг/м³. Оның $t = 300^\circ\text{C}$ температурадағы ρ тығыздығын

табындар. Сынаптың көлемдік ұлғаю коэффициенті $\beta = 1,85 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$.

7.25. Теңіз суының сығылу коэффициенті $k=4,8 \cdot 10^{-10} \text{ Па}^{-1}$, ал беткі тығыздығы $\rho_0=1,03 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ деп алып, оның $h = 5 \text{ км}$ тереңдігіндегі ρ тығыздығын табындар.

Нұсқау. Теңіз суының гидростатикалық қысымын есептегенде оның тығыздығын шамамен судың беткі тығыздығына тең деп есептеңдер.

7.26. Қалыпты жағдайдағы бензолдың сығылғыштығы $k = 9 \cdot 10^{-10} \text{ Па}^{-1}$, көлемдік ұлғаю коэффициенті $\beta = 1,24 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$. $\Delta t = 1 \text{ K}$ -ге қыздырғанда бензолдың көлемі өзгермеу үшін сыртқы қысымды қандай шамаға өсіру керек?

7.27. Екі бірдей шыны қатынас түтіктің сол иінін $t=0^\circ\text{C}$ температурада ұстап, ал оң иінін $t=100^\circ\text{C}$ температураға дейін қыздырған кездегі олардың ішіндегі сынаптың деңгейлерінің Δh айырымын табындар. Сол иінінің биіктігі $h_0=90 \text{ см}$. Сынаптың көлемдік ұлғаю коэффициенті $\beta=1,82 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$. Шынының ұлғаюы ескерілмейді.

7.28. Биіктігі $L=10 \text{ см}$ шыны ыдыстың ішіне сынап құйылған. $t_0=20^\circ\text{C}$ температурада сынаптың деңгейі ыдыстың жоғарғы ернеуінен $h=1 \text{ мм}$ төмен. Сынап ыдыстан асып төгілмес үшін оны қанша қыздыру керек? Сынаптың көлемдік ұлғаю коэффициенті $\beta=1,82 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$. Шынының ұлғаюы ескерілмейді.

7.29. Сынап толтырыла құйылған шыны ыдыстың $t_0=0^\circ\text{C}$ температурадағы массасы $M=1 \text{ кг}$ болады. Бос ыдыстың массасы $M_0=0,1 \text{ кг}$. Шынының ұлғаюын елемей, $t=100^\circ\text{C}$ температурада ыдыстың ішіне сыятын сынаптың мөлшерін табындар. Сынаптың көлемдік ұлғаю коэффициенті $\beta=1,82 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$.

7.30. Шыны ыдысқа $t_0=0^\circ\text{C}$ температурада сұйық май толтырыла құйылған. Ыдысты маймен бірге $t=100^\circ\text{C}$ дейін қыздырғанда, оған құйылған майдың 6% ыдыстан асып төгілді. Шынының көлемдік ұлғаюын $\beta'=1,82 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$ -қа тең деп алып, майдың β көлемдік ұлғаю коэффициентін табындар.

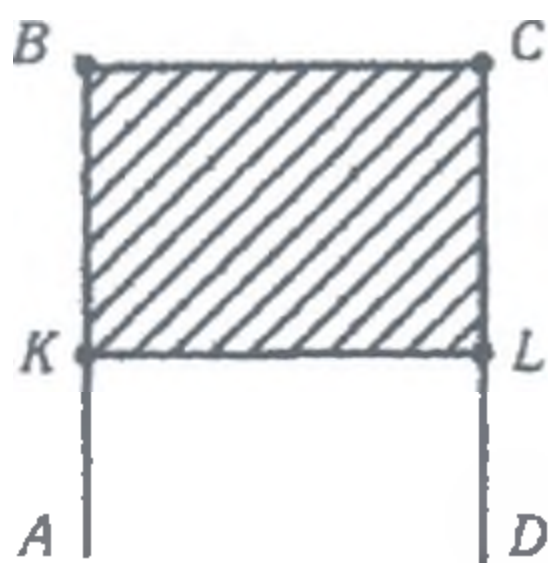
7.31. Ғимараттың температурасы $t=37^\circ\text{C}$, атмосфералық қысым $p_0=101,3 \text{ кПа}$. Осы ғимаратта тұрған сынап барометрінің көрсететін p қысымы қандай болады? Сынаптың көлемдік ұлғаю коэффициенті $\beta=1,82 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$. Шынының ұлғаюы ескерілмейді.

7.32. Биіктігі $h = 10 \text{ мм}$, ішкі диаметрі $d_1 = 50 \text{ мм}$, сыртқы диаметрі $d_2 = 52 \text{ мм}$ горизонталь қалайы сақинаны судың

бетінен жұлып алу үшін қандай F күшін жұмсау керек? 2) Табылған күштің қандай бөлігін беттік керілу күші құрайды?

7.33. Ішкі диаметрі $d_1=25$ мм, сыртқы диаметрі $d_2=26$ мм сақина серіппеге ілініп, су бетіне жанасып тұр. Серіппенің қатқылдығы $k=9,8 \cdot 10^{-7}$ Н/м. Судың деңгейін төмендеткенде серіппе $\Delta l=5,3$ мм созылып, сақина судан ажырайды. Сұйықтың α беттік керілуін табындар.

7.34. Жылжымалы KL мыс арқалығы бар $ABCD$ (48-сурет) кәсегі сабынның жұқа жарғағымен керілген. KL мыс арқалығы тепе-теңдікте тұру үшін оның d диаметрі қандай болу керек? Арқалықты $\Delta l=1$ см-ге жылжытқанда $A=45$ мкДж изотермалы жұмыс істелетіні белгілі деп алып, оның l ұзындығын табындар. Сабын ертіндісінің беттік керілуі $\alpha=0,045$ Н/м.



48-сурет

7.35. Ішкі диаметрі $d = 2$ мм вертикаль түтіктен ыдыстағы спирт тамшылап тұр. Әр тамшы $\Delta \tau = 1$ сек сайын үзіліп түседі. Қанша уақыттың ішінде массасы $m = 10$ г спирт ағып шығады? Үзілер кездегі тамшы мойнының диаметрін түтіктің ішкі диаметріне тең деп алындар.

7.36. Ішкі диаметрі $d = 3$ мм вертикаль түтіктен ыдыстағы су тамшылап ағып тұр. Су $t_1=100^\circ\text{C}$ -ден $t_2=20^\circ\text{C}$ -ге дейін суыған уақытында әрбір тамшының массасы $\Delta m=13,5$ мг-ға өзгереді. Судың $t_2=20^\circ\text{C}$ температурадағы α_2 беттік керілуін біле отырып, судың $t_1=100^\circ\text{C}$ температурадағы α_1 беттік керілуін табындар. Үзілер кездегі тамшы мойнының диаметрін түтіктің ішкі диаметріне тең деп алындар.

7.37. Диаметрі $d=1$ мм вертикаль ілінген қорғасыннан жасалған сымның төменгі ұшын балқытқанда $N=20$ қорғасын тамшысы пайда болды. Сымның ұзындығы қаншаға қысқарды? Сұйық қорғасынның беттік керілуі $\alpha=0,47$ Н/м. Тамшы мойнының үзілер кезіндегі диаметрі сымның ішкі диаметріне тең деп алындар.

7.38. Ішкі радиусы $r=1$ мм вертикаль түтіктен су тамшылап тұр. Тамшының үзілер кезіндегі R радиусын табыңдар. Тамшыны сфера тәрізді деп есептеңдер. Тамшы мойнының үзілер сәтіндегі диаметрін түтіктің ішкі диаметріне тең деп алыңдар.

7.39. Әрқайсысының радиусы $r = 1$ мм екі сынап тамшысының қосылуынан пайда болған тамшы қаншалықты қызатын болады?

7.40. Радиусы $R = 3$ мм сфера сияқты сынап тамшысын бірдей екі тамшыға бөлу үшін беттік керілу күшіне қарсы қандай жұмыс істеу керек?

7.41. Радиусы $r=1$ см сабын көпіршігінің көлемін екі есе өсіру үшін беттік керілу күшіне қарсы қандай A жұмыс істеу керек? Сабын ерітіндісінің беттік керілуі $\alpha=0,043$ Н/м.

7.42. Диаметрі $d=4$ см сабын ($\alpha=0,043$ Н/м) көпіршігін үрлеу үшін, беттік керілу күшіне қарсы қандай жұмыс істеу керек?

7.43. Су бетінен $h=20$ см тереңдікте орналасқан диаметрі $d=0,01$ мм ауа көпіршігіндегі ауаның қысымын анықтаңдар. Атмосфералық қысым $p_0=101,7$ кПа.

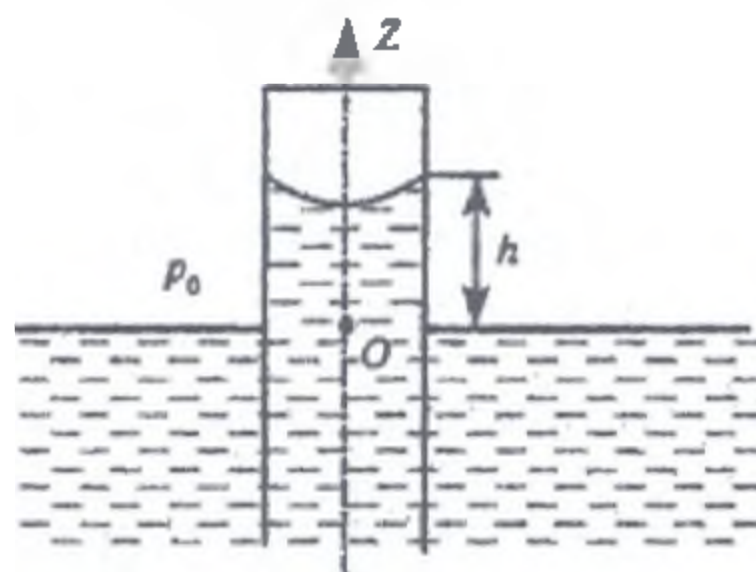
7.44. Сфералық сұйықтық тамшысының ішіндегі Δp_1 қосымша қысымды және сол сұйықтық сфералық пленкасының ішіндегі көпіршігінің Δp_2 қосымша қысымды есептеңдер. Тамшы мен көпіршіктің радиусы R , сұйықтықтың беттік керілу коэффициенті α .

7.45. Сұйықтық бетінің кездейсоқ нүктедегі қисықтық радиустары R_1 және R_2 . Осы нүктедегі беттің қисықтығы H неге тең және осы нүктенің астындағы сұйықтықтағы қосымша қысым H -пен қалай байланысқан? Сұйықтықтың беттік керілу коэффициенті α .

7.46. Сабын көпіршігінің ішіндегі ауаның қысымы атмосфералық қысымнан $\Delta p=133,3$ Па-ға артық. Көпіршіктің диаметрін табыңдар. Сабын ерітіндісінің беттік керілу коэффициенті $\alpha=0,043$ Н/м.

7.47. Су астында $h = 5$ м тереңдікте жатқан көпіршіктің ішіндегі ауаның тығыздығы $p_0 = 101,3$ кПа атмосфералық қысымдағы ауаның тығыздығынан неше есе артық болады? Көпіршіктің радиусы $r = 0,5$ мкм.

7.48. Тығыздығы ρ сұйықтық капиллярда h биіктікке көтерілді (49-сурет). Қоршаған ауаның қысымы p_0 . Z осінің нүктелеріндегі $p(z)$ тәуелділігінің суретін салыңдар. Егер капиллярдың радиусы r болса, а) толық жұққандағы б) толық жұқпағандағы сұйықтықтың беттік керілу коэффициенті неге тең?



49-сурет

7.49. Тығыздығы ρ сұйықтық капиллярда h_0 биіктікке көтерілді (50-сурет). Қоршаған ауаның қысымы p_0 . X осінің нүктелеріндегі қысымның $p(x)$ тәуелділігін сызындыр.

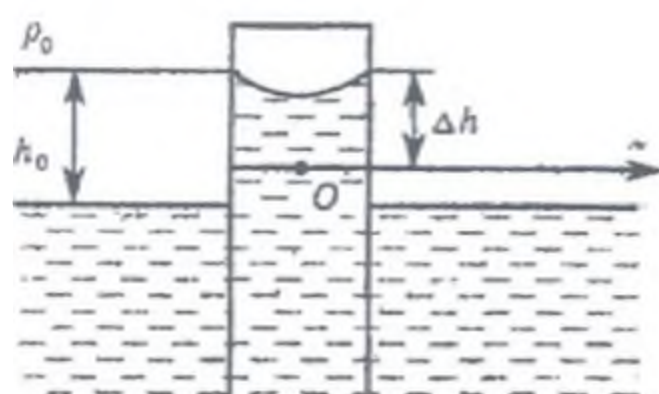
7.50. Сынабы бар ыдысқа ішкі диаметрі $d=3$ мм ашық капилляр түсірілген. Ыдыстағы және капиллярдағы сынап деңгейлерінің айырымы $\Delta h=3,7$ мм. Капиллярдағы сынап менискісінің қисықтық радиусы R неге тең?

7.51. Ішінде суы бар ыдысқа ішкі диаметрі $d=1$ мм ашық капилляр түсірілген. Ыдыс пен капиллярдағы судың деңгейлерінің айырымы $\Delta h=2,8$ см. Капиллярдың ішіндегі менискінің қисықтық радиусы R неге тең? Егер жұғу толық болса, онда ыдыстағы және капиллярдағы су деңгейлерінің айырымы Δh қандай болар еді?

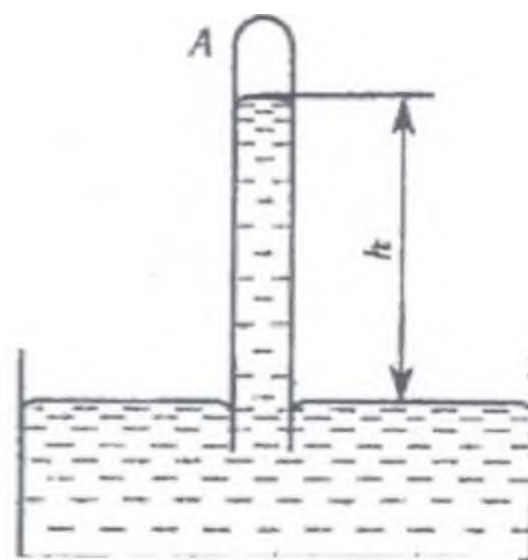
7.52. Толық жұғу болғанда капиллярдың ішіндегі су $\Delta h=2$ см-ге көтерілу үшін капиллярдың ішкі диаметрі қандай болу керек? Есепті: 1) Жердің бетінде және 2) Ай бетінде тұрған капилляр үшін шығарыңдар.

7.53. Диаметрлері $d_1=1$ мм және $d_2=2$ мм өзара қатынасқан екі капиллярдың ішіндегі сынап деңгейлерінің Δh айырымын табыңдар. Толық жұқпау үшін шығарыңдар.

7.54. Ішкі радиусы $r=2$ мм капилляр сұйықтықтың ішіне батырылған. Капиллярдың ішімен көтерілген сұйықтықтың массасы $m=9$ г. Сұйықтықтың α беттік керілу коэффициентін табыңдар.



50-сурет



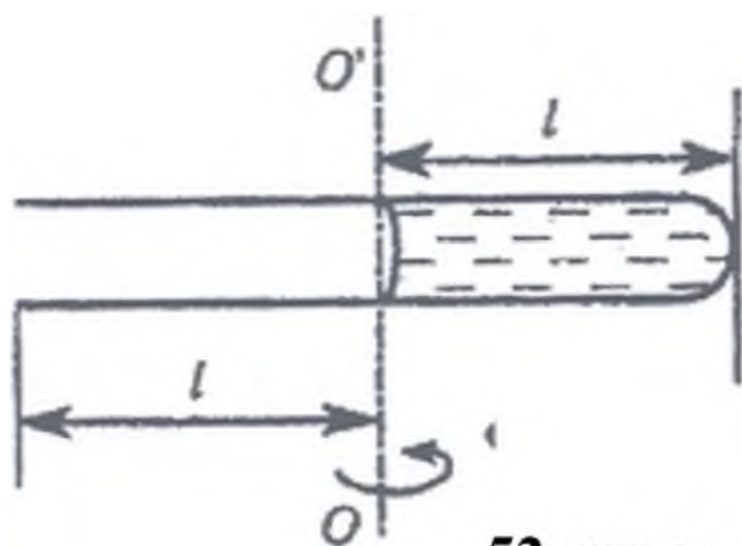
51-сурет

7.55. Суы бар ыдысқа ішкі радиусы $r = 0,16$ мм капилляр түсірілген. Ыдыстағы және капиллярдағы судың деңгейлері бірдей болу үшін капиллярдың үстіндегі ауаның қысымы p қандай болу керек? Сыртқы қысым $p_0 = 101,3$ кПа. Сұйықтық толық жұғады деп есептеңдер.

7.56. Суы бар ыдысқа капилляр түтік вертикаль түсірілген. Түтіктің жоғарғы жағы дәнекерленген. Түтіктегі және кең ыдыстағы судың деңгейлері бірдей болу үшін түтікті судың ішіне 1,5% ұзындығына дейін батырады. Түтіктің ішкі радиусы неге тең? Сыртқы қысым $p_0 = 100$ кПа. Сұйықтық толық жұғылады.

7.57. Сынаппен толтырылған барометрлік (51-сурет) A түтікшенің ішкі d диаметрі: а) 5 мм, б) 1,5 см-ге тең. Атмосфералық қысымды тікелей сынап бағанасының биіктігі бойынша табуға бола ма? Жоғарыдағы берілген әрбір жағдай үшін сынап бағанасының биіктігін табындар. Атмосфералық қысым $p_0 = 758$ мм. сын. бағ. Сұйықтық толық жұкпайды деп есептеңдер.

7.58. Барометрлік түтіктің ішкі диаметрі $d = 0,75$ см. Атмосфералық қысымды сынап бағанасының биіктігі бойынша өлшей отырып, қандай түзету енгізу керек? Сұйықтық толық жұкпайды деп есептеңдер.



52-сурет

7.59.* Сұйықтықпен жартылай толтырылған капилляр OO' осін айналады (52-сурет). Капиллярдың ұзындығы $2l$, радиусы — r . Сұйықтықтың тығыздығы ρ , беттік керілу коэффициенті α . Сұйық капиллярға толық жұғады. Қандай бұрыштық жылдамдықта сұйықтық капиллярдан төгілмейді?

7.60.* Горизонталь орналасқан конустық капиллярда толық жұғатын (толық жұқпайтын) сұйықтың тамшысы қалай қозғалады?

7.61. Су бетіне майланған (су толық жұқпайтын) болат ине салынған. Ине су бетінде қалқып тұруы үшін оның ең үлкен диаметрі қандай болу керек?

7.62. Диаметрі $d = 1$ мм майланған (су толық жұқпайтын) платина сымы судың бетінде жүзіп жүре ала ма?

7.63. Сынап құйылған ыдыстың түбінде тесік бар. Сынап бағанасының биіктігі $h = 3$ см-ге тең болғанда, сынап ыдыстан ағып кетпеу үшін тесіктің ең үлкен диаметрі d қандай болу керек?

7.64. Ауданы $S = 30$ см² шыны ыдыстың түбінде диаметрі $d = 0,5$ мм тесік бар. Ыдысқа сынап құйылған. Ыдыста сынаптың қанша массасы қалады?

7.65. Електі парафинмен жапқанда оның тесіктерінің радиусы $r = 1,5$ мм-ге тең болады. Судың парафинге жұқпайтынын есепке алып, електегі тесік арқылы төгілмейтін су қабатының h биіктігін табыңдар.

7.66. Судың бетінде су инелігі жүгіріп жүреді. Инеліктің алты табанының әрқайсысының астында радиусы $r = 0,1$ мм жарты сфера тәрізді шұңқыр пайда болады деп алып, су инелігінің m массасын табыңдар.

7.67. Өлшемдері $S = 9 \times 12$ см² суланған екі фотопластинканы бір-бірінен (ығыстырмай) ажыратып алу үшін қандай F күш

жұмсау керек? Пластинокалардың арасындағы су қабатының қалыңдығы $d = 0,05$ мм. Толық жұғу деп алыңдар.

7.68. Бір-бірінен $d=0,25$ мм қашықтықта тұрған вертикаль бағыттағы параллель-жазық екі шыны пластинканың арасына су құйылған. Пластинканың арасындағы сұйықтың көтерілу биіктігі $h=3,1$ см-ге, $\alpha = 0,03$ Н/м тең деп алып, сұйықтың ρ тығыздығын табыңдар. Толық жұқпайды деп алыңдар.

7.69. Бір-біріне параллель екі тік шыны пластиналар жартылай суға батырылған. Пластиналар арасындағы саңылау $d=0,5$ мм, олардың горизонталь ұзындығы $l = 10$ см. Толық жұғу деп есептеп, мыналарды:

а) саңылауда судың көтерілетін h биіктігін;

б) пластиналардың бір-біріне F тартылу күшін анықтандар.

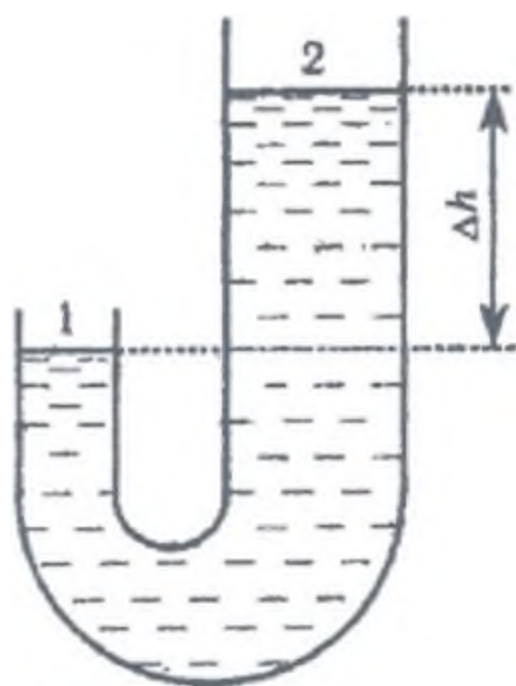
7.70. Горизонталь орналасқан екі параллель-жазық шыны пластинканың арасына $m = 5$ г сынап орналасқан. Жоғарғы пластинканың үстіне $M=5$ кг жүк қойғанда, пластинкалардың ара қашықтығы $d = 0,087$ мм-ге тең болды. Жүктің салмағымен салыстырғанда, пластинканың салмағын есепке алмай, сынаптың α беттік керілу коэффициентін табыңдар. Толық жұқпайды деп есептендер.

7.71. Ашық капиллярдың ішінде су тамшысы бар. Капиллярдың вертикаль қалыптағы жағдайында тамшы ұзындықтары: 1) 2 см, 2) 4 см және 3) 2,98 см-ге тең су бағанасын жасайды. Капиллярдың ішкі диаметрі $d = 1$ мм-ге тең. Жоғарыда көрсетілген әрбір ұзындықтар үшін жоғарғы және төменгі менискілердің R_1 және R_2 қисықтық радиустарын табыңдар. Толық жұғу деп есептендер.

7.72. Ішкі диаметрі $d = 2$ мм-ге тең горизонталь капиллярдың ішіне су құйғанда су бағанасының ұзындығы $h = 10$ см болды. Егер капиллярды вертикаль қалыпта орналастырсақ, онда судың қанша массасы ағып кетеді? Толық жұғу деп алыңдар.

Н ұ с қ а у. Капиллярдың ішінде қалған су бағанасының шекті ұзындығы, капиллярдың радиусына тең болатын төменгі менискінің қисықтық радиусына сәйкес болу керектігін ескеру керек (алдыңғы есептің шешуін қарандар).

7.73. Ішкі радиусы $r = 0,6$ мм-ге тең ашық вертикаль капиллярдың ішінде спирт бағанасы бар. Осы бағананың төменгі менискі капиллярдың төменгі ұшында ілініп тұрады. Төменгі менискінің қисықтық радиусы: 1) $3r$, 2) $2r$ және 3) r -ге тең болатын спирт бағанасының h биіктігін табыңдар. Толық жұғу деп алыңдар.



53-сурет

7.74. 53-суретте көрсетілген түтіктің екі ұшы ашық және керосинмен толтырылған. 1 және 2 түтікшенің ішкі радиустары $r_1 = 0,5$ мм және $r_2 = 0,9$ мм. Керосин деңгейлерінің қандай Δh айырымында, 1-түтіктің ұшындағы менискі: 1) ойыс, қисықтық радиусы $R = r_1$; 2) жазық; 3) дөңес, қисықтық радиусы $R = r_2$; 4) дөңес, $R = r_1$ -ге тең болады. Толық жұғу деп есептендер.

7.75. Суы бар кең ыдысқа жоғарғы ұшы ыдыстағы судың деңгейінен $h = 2$ см биік болатындай етіп капилляр батырылған. Капиллярдың ішкі радиусы $r = 0,5$ мм. Капиллярдағы менискінің R қисықтық радиусын табындар. Толық жұғу деп есептендер.

7.76. Ареометр толық жұғылатын судың ішінде жүзеді. Ареометрдің вертикаль цилиндр түтігінің диаметрі $d = 9$ мм. Егер судың бетіне спирттің бірнеше тамшысын құйсақ, онда ареометрдің суға бату тереңдігі қаншаға өзгереді?

7.77. Ареометр тығыздығы $\rho = 0,8 \times 10^3$ кг/м³ және беттік керілу коэффициенті $\alpha = 30$ Н/м сұйықтықта жүзеді. Сұйық ареометрдің кабырғасына толық жұғады. Ареометрдің вертикаль бағыттағы цилиндр түтігінің диаметрі $d = 9$ мм. Егер ареометрді майлап, сұйықтық толық жұқпайтын жағдайға әкелсек, оның суға бату тереңдігі қаншаға өзгереді?

7.78.* Екеуі де толық жұғатын (не толық жұқпайтын) екі жеңіл дене судың бетінде қалқып жүріп бір-біріне тартылады. Бір дене жұғатын, ал екінші дене жұқпайтын болса, олар бір-бірінен кері итеріледі, осы құбылысты түсіндіріңдер.

7.79.* Беттік керілу коэффициенті σ -ға тең сұйықтың бетінде майдың кішкене тамшысы қалқып жүр. Беттік тартылу коэффициенті ауа-май шекарасында σ_1 -ге, ал май-сұйықтық шекарасында σ_2 -ге тең. Егер тамшының радиусы r болса, оның қалыңдығы қандай?

7.80. $m=10$ г қантты ($C_{12}H_{22}O_{11}$) 0,5 л суға еріткенде ерітіндінің осмостық қысымы $p=152$ кПа-ға тең болады. Ерітінді қандай T температурада болады? Қант молекулаларының диссоциациясы болмайды.

7.81. $t = 87^{\circ}\text{C}$ температурада тұрған ерітіндінің осмостық қысымы $p=165$ кПа. Осы ерітіндідегі еріген заттың бір молекуласына судың қанша N молекуласы келеді? Диссоциация болмайды.

7.82. $V = 0,5$ л суға $m = 2$ г ас тұзы ерітілген. Ас тұзы молекулаларының диссоциациялану дәрежесі $\alpha = 0,75$. $t=17^{\circ}\text{C}$ температурадағы ерітіндінің p осмостық қысымын табыңдар.

7.83. Суға еріткендегі ас тұзы молекулаларының диссоциациялану дәрежесі $\alpha = 0,4$ -ке тең. Бұл жағдайда $t=7^{\circ}\text{C}$ температурада тұрған ерітіндінің осмостық қысымы $p = 118,6$ кПа. $V=1$ л суда ерітілген ас тұзының мөлшері қандай?

7.84. $t = 18^{\circ}\text{C}$ температурада $V = 1$ л суға $m = 2,5$ г ас тұзы ерітілген. Ерітіндінің осмостық қысымы $p=160$ кПа. Осы жағдайдағы ас тұзы молекулаларының диссоциациялану дәрежесі қандай? Ерітіндінің бірлік көлемінде еріген заттың қанша бөлшегі бар?

7.85. $m = 40$ г қант ($C_{12}H_{22}O_{11}$) $V=0,5$ л суға ерітілген. Ерітіндінің температурасы $t=50^{\circ}\text{C}$. Ерітіндінің үстіндегі қаныққан су буының p қысымы қандай болады?

7.86. $t_1 = 30^{\circ}\text{C}$ температурадағы ерітіндінің үстіндегі қаныққан будың қысымы $p_1=4,2$ кПа. Осы ерітіндінің үстіндегі қаныққан будың p_2 қысымын $t_2=60^{\circ}\text{C}$ температура үшін табыңдар.

7.87. Ерітіндінің үстіндегі қаныққан будың p қысымы таза судың қаныққан буының p_0 қысымынан 1,02 есе кіші. Ерітілген заттың бір молекуласына қанша су молекулалары келеді?

7.88. Өздігінен ұшып кетпейтін $m=100$ г зат $V=1$ л суда ерітілген. Ерітіндінің температурасы $t=90^{\circ}\text{C}$ -ге тең, ал ерітіндінің үстіндегі қаныққан бу қысымы $p=68,8$ кПа. Ерітілген заттың μ молярлық массасын табыңдар.

7.89. $\mu = 0,060$ кг/моль молярлық массасы бар өздігінен буланбайтын зат $V = 1$ л суда ерітілген. Ерітіндінің температурасы $t = 80^{\circ}\text{C}$, ал ерітіндінің үстіндегі қаныққан будың

қысымы $p = 47,1$ кПа. Ерітіндінің осмостық p_0 қысымын табындар.

§ 8. Қатты денелер

Қысым dp шамасына өзгергенде dT балқу температурасының өзгерісі Клаузиус-Клапейрон теңдеуі арқылы беріледі:

$$dT = T \frac{V_{0c} - V_0}{q_0} dp,$$

мұндағы: q_0 — молярлық балқу жылуы, V_{0c} — сұйықтықтың молярлық көлемі, $V_{0к}$ — қатты дененің молярлық көлемі, T — термодинамикалық балқу температурасы.

Аса төмен емес температурада қатты денелер үшін Дюлонг және Пти заңы орындалады. Бұл заң бойынша барлық химиялық карапайым қатты денелердің молярлық жылусыйымдылығы шамамен алғанда $3R=25$ Дж/(моль·К)-ға тең.

$\Delta\tau$ уақытта жылуөткізгіштік салдарынан тасылатын Q жылу мөлшері мына формуламен анықталады:

$$Q = \lambda \frac{\Delta T}{\Delta x} \Delta S \Delta \tau,$$

мұндағы: $\Delta T/\Delta x$ — ΔS ауданға перпендикуляр x бағытындағы температураның өзгерісі, λ — жылуөткізгіштік.

Температураны жоғарылатқанда қатты денелердің ұзындығы бірінші жуықтықта температурамен бірге сызықтық ұлғаяды:

$$l = l_0(1 + at),$$

мұндағы: l — t температурадағы дененің ұзындығы, l_0 — оның 0°C температурадағы ұзындығы, a — сызықтық ұлғаюдың температуралық коэффициенті.

Изотропты қатты денелер үшін $a=b/3$, мұндағы b — жылулық көлемдік ұлғаюдың температуралық коэффициенті.

Білікті бойлық созу (сығу) деформациясы жағдайында оның ұзындығының салыстырмалы өзгерісі Гук заңы бойынша мынадай болады:

$$\frac{\Delta l}{l} = \alpha p = \frac{1}{E} p,$$

мұндағы: p_k — қалыпты қысым, яғни $p_k = F/S$, ал F — созатын (сығатын) күш, S — көлденең қиманың ауданы, α — серпімділік коэффициенті, E [Па] = $1/\alpha$ Юнга модулі деп аталады.

Бойлық созылу (сығылу) кезінде білік диаметрінің салыстырмалы өзгерісі:

$$\frac{\Delta d}{d} = \beta p.$$

Мына шама: $\sigma = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{\Delta d/d}{\Delta l/l}$ — Пуассон коэффициенті деп аталады.

Білікті (сымды) белгілі бір φ бұрышқа бұру үшін қос күш моментін (бұраушы момент) түсіру керек:

$$M = \frac{\pi N r^4}{2l} \varphi,$$

мұндағы: l — сымның ұзындығы, r — оның радиусы, ал N [Па] — сым материалының ығысу модулі.

Кристаллография элементтері

1 килограмм-моль кристаллдың V_0 көлемі:

$$V_0 = \frac{\mu}{\rho},$$

мұндағы: μ — киломоль, ρ — кристаллдың тығыздығы.

Кристаллдың элементарлық ұясының V көлемі:

а) кубтық сингониядағы:

$$V = a^3,$$

б) гексагональды сингониядағы:

$$V = \frac{\sqrt{3}}{2} a^2 \cdot c,$$

мұндағы: a және c — ұяның параметрлері.

1 килограмм-моль кристаллдың элементарлық ұяларының Z_0 саны:

$$Z_0 = \frac{V_0}{V}$$

немесе

$$Z_0 = \frac{kN_A}{n},$$

мұндағы: k — қосылыстың химиялық формуласындағы бірдей атомдардың саны, N_A — Авогадро саны, n — элементарлық ұяға келетін бірдей атомдардың саны.

Кристаллдардың бірлік көлеміндегі элементарлық ұялардың Z саны:

$$Z = \frac{Z_0}{V_0},$$

а) жалпы жағдайда

$$Z = \rho \frac{k}{n} \cdot \frac{N_A}{n \cdot A},$$

б) бірдей атомдардан тұратын ($k=1$) кристалл үшін

$$Z = \rho \frac{N_A}{n \cdot A},$$

мұндағы: A — килограмм-атом.

Кубтық тордың параметрі:

$$a = \sqrt[3]{\frac{n\mu}{k\rho N_A}}.$$

Кубтық тордағы көршілес атомдардың арасындағы d қашықтық:

а) беттік центрленген

$$d = a/\sqrt{2},$$

б) көлемдік центрленген

$$d = \frac{\sqrt{3}}{2} a.$$

Қатты денелердің жылулық қасиеттері

Классикалық жылусыйымдылық теориясында химиялық қарапайым (бірдей атомдардан тұратын) қатты денелердің бір килограмм-атомының энергиясы мына формуламен анықталады:

$$E = 3RT,$$

мұндағы: R – әмбебап (универсаль) газ тұрақтысы, T – абсолюттік температура.

Химиялық жай қатты денелердің бір килограмм-атомының жылу сиымдылығы Дюлонг және Пти заңдары бойынша анықталады:

$$C_{\mu} = 3R.$$

Химиялық күрделі денелер (әртүрлі атомдардан тұратын) үшін бір киломольдің жылусиымдылығы Нейман-Копп заңы бойынша анықталады:

$$C_{\mu} = n \cdot 3R,$$

мұндағы n – қосылыстың химиялық формуласындағы бөлшектердің жалпы саны.

Кванттық осциллятордың бір еркіндік дәрежесіне келетін энергиясының $\langle \varepsilon \rangle$ орташа мәні Эйнштейннің кванттық теориясында мына формуламен өрнектеледі:

$$\langle \varepsilon \rangle = \varepsilon_0 + \frac{h\nu}{e^{h\nu/(kT)} - 1},$$

мұндағы: ε_0 – нольдік энергия $\left(\varepsilon_0 = \frac{1}{2} h\nu\right)$, h – Планк тұрақтысы, ν – осциллятордың тербеліс жиілігі, k – Больцман тұрақтысы, T – абсолюттік температура.

Жылусыйымдылықтың кванттық теориясында кристаллдың бір килограмм-атомының энергиясы былай анықталады:

$$E = E_0 + 3R \frac{\theta_E}{e^{\theta_E/(kT)} - 1},$$

мұндағы: $E_0 = \frac{3}{2} R\theta_E$ – килограмм-атомның нольдік энергиясы, $\theta_E = \frac{h\nu}{k}$ – сипаттауыш температура.

Кванттық күйдегі кристаллдың бір килограмм-атомының жылу сыйымдылығы:

$$C_\mu = 3R \left(\frac{\theta_E}{T}\right)^2 \frac{e^{\theta_E/T}}{(e^{\theta_E/T} - 1)^2}.$$

Дебайдың жылусыйымдылық теориясында тербелістердің жиілік спектрі жиіліктердің $g(\nu)$ таралу функциясымен беріледі. Жиіліктердің ν -дан $\nu + d\nu$ аралығында жатқан қатты дененің меншікті жиіліктерінің dZ саны мынаған тең:

$$dZ = g(\nu) d\nu.$$

Құрамында N атомы бар үшөлшемді кристалл үшін:

$$dZ = \frac{9N}{\nu_{\max}^3} \nu^2 d\nu,$$

мұндағы ν_{\max} – тербелістер спектрін шектейтін ең жоғарғы жиілік.

Қатты дененің энергиясы:

$$E = \int_0^{\nu_{\max}} \langle \varepsilon \rangle(\nu) d\nu.$$

Дебай бойынша бір килограмм-атомның энергиясы:

$$E = E_0 + 3RT \cdot 3 \left(\frac{T}{\theta_D} \right)^3 \int_0^{\theta_D/T} \frac{x^3}{e^x - 1} dx,$$

мұндағы: $E_0 = \frac{9}{8} R \theta_D$ – Дебай бойынша бір килограмм-атомның нольдік энергиясы, $\theta_D = \frac{h\nu_{max}}{k}$ – Дебайдың сипаттауыш температурасы.

Дебай бойынша кристаллдың бір килограмм-атомының жылу сыйымдылығы:

$$C_\mu = 3R \left[12 \left(\frac{T}{\theta_D} \right)^3 \int_0^{\theta_D/T} \frac{x^3}{e^x - 1} dx - \frac{3 \left(\frac{\theta_D}{T} \right)}{e^{\theta_D/T} - 1} \right].$$

Фонон энергиясы тербелістердің ν жиілігімен былайша байланысады:

$$\varepsilon = h\nu.$$

Фононның квазиимпульсі:

$$p = \frac{h}{\lambda} = \hbar k,$$

мұндағы: λ – толқынның ұзындығы, $\hbar = \frac{h}{2\pi}$, $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ – толқындық сан.

Фонон жылдамдығы (топтық):

$$u = \frac{d\varepsilon}{dp} = \frac{d\nu}{dk}.$$

Фононның фазалық жылдамдығы:

$$u_\phi = \frac{\nu}{k}.$$

Кристаллдағы толқындардың жылдамдығы:

$$\text{бойлық} - v_l = \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \text{көлденең} - v_t = \sqrt{\frac{G}{\rho}},$$

мұндағы: E – бойлық серпімділіктің модулі, G – көлденең серпімділіктің модулі, ρ – қатты дененің тығыздығы.

Дыбыстың орташаланған жылдамдығы мына формуламен анықталады:

$$\frac{3}{v^3} = \frac{2}{v_t^3} + \frac{1}{v_l^3}.$$

Жылу ағынына перпендикуляр бағыттағы ауданы S бетпен dt уақытта өтетін жылудың мөлшері Фурье заңы бойынша анықталады:

$$dQ = -\kappa \frac{dT}{dx} S dt,$$

мұндағы: κ — жылуөткізгіштік коэффициенті, $\frac{dT}{dx}$ — температура градиентінің проекциясы.

κ жылуөткізгіштік коэффициенті \bar{c} меншікті жылусыйымдылықпен, v дыбыс жылдамдығымен және фонондардың λ еркін жолының орташа ұзындығымен мына байланыста болады:

$$\kappa = \frac{1}{3} \bar{c} \lambda \cdot v.$$

Анықтама бойынша жылулық ұлғаюдың сызықтық коэффициенті:

$$\alpha = \frac{1}{l} \frac{dl}{dT}.$$

Катодтан шығатын термоэлектрондық эмиссиядағы қаныққан токтың тығыздығы Ричардсон-Дэшман формуласымен беріледі:

$$j = BT^2 \exp\{-A/(kT)\},$$

мұндағы: $B = 120(1 - R) \frac{A}{\text{см}^2 \text{К}^2}$, R — эмиттер бетіндегі потенциалдық барьерден өткізгіш электрондарының шағылысу коэффициенті, A — катодтан электрондардың шығу жұмысы (XXIV қосымшаны қара).

Шалаөткізгіштер

Өткізгіштердің меншікті өткізгіштігі:

$$\sigma = n \cdot e (u_n + u_p),$$

мұндағы: e – электронның заряды, n – тоқты тасушылардың концентрациясы, u_n және u_p – электрондар мен тесіктердің қозғалғыштығы.

Холл эффектісінде байқалатын пластина жақтарындағы U_x кернеуі:

$$U_x = R_x B b j,$$

мұндағы: R_x – Холл тұрақтысы, B – магнит өрісінің индукциясы, b – пластинаның ені, j – ток тығыздығы.

Бірдей ток тасушыларын иеленетін алмаз, кремний, германий және т.б. шалаөткізгіштер үшін Холл тұрақтысы:

$$R_x = \frac{3\pi}{8} \frac{1}{n \cdot e}.$$

8.1. $\nu = 1$ кмоль мұзды еріткендегі энтропияның өзгерісі $\Delta S = 22,2$ кДж/К. Сыртқы қысым $\Delta p = 100$ кПа-ға өскенде мұздың балқу температурасының қаншаға өзгередінін табыңдар.

8.2. $p_1 = 100$ кПа қысымдағы қалайының балқу температурасы $t_1 = 231,9$ °С, ал $p_2 = 10$ МПа қысымда $t_2 = 232,2$ °С-ге тең болды. Сұйық қалайының тығыздығы $\rho = 7,0 \cdot 10^3$ кг/м³. 1 кмоль қалайыны балқытқандағы энтропияның ΔS өзгерісін табыңдар.

8.3. Қысымды $\Delta p = 98$ кПа-ға өзгерткенде темірдің балқу температурасы $\Delta T = 0,012$ К-қа өзгереді. Балқыған кезде $\nu = 1$ кмоль темірдің көлемінің қанша өзгередіндігін табыңдар.

8.4. Дюлонг пен Птидің заңын пайдаланып: 1) мыстың, 2) темірдің, 3) алюминийдің c меншікті жылу сыйымдылығын табыңдар.

8.5. Дюлонг пен Птидің заңын пайдаланып, массасы $m = 0,025$ кг металл шариктің қандай материалдан жасалғандығын табыңдар. Шарикті $t_1 = 10$ °С-ден $t_2 = 30$ °С-ге дейін қыздыру үшін $Q = 117$ Дж жылу жұмсалған.

8.6. Дюлонг пен Птидің заңын пайдаланып алюминийдің меншікті жылу сыйымдылығы платинаның меншікті жылу сыйымдылығынан неше есе үлкен болатындығын табыңдар.

8.7. $v = 400$ м/сек жылдамдықпен ұшып келе жатқан қорғасын оқ қабырғаға соғылады да, оның ішіне кіреді. Оқтың кинетикалық энергиясының 10 пайызы оның өзін қыздыруға кетеді деп, оқтың қанша градусқа қызғанын табыңдар. Қорға-

сынның меншікті жылусыйымдылығын Дюлонг пен Птидің заңы бойынша табыңдар.

8.8. Мыстан (қалыңдығы $d_1 = 9$ мм) және темірден (қалыңдығы $d_2 = 3$ мм) жасалынған пластинкалар беттестірілген. Мыс пластинкасының сыртқы бетін $t_1 = 50^\circ\text{C}$ температурада, ал темір пластинканың сыртқы беті $t_2 = 0^\circ\text{C}$ температурада ұсталады. Олардың түйіскен беттерінің t температурасын табыңдар. Пластинкалардың ауданы олардың қалыңдығымен салыстырғанда тым үлкен.

8.9. Үй қабырғасының сыртқы бетінің температурасы $t_1 = -20^\circ\text{C}$, ішкі бетінің температурасы $t_2 = 20^\circ\text{C}$. Қабырғаның қалыңдығы $d = 40$ см. Қабырғаның әрбір 1 м^2 бетінен $\tau = 1$ сағатта $Q = 460,5$ кДж/м² жылу өтеді деп алып, оның λ жылуөткізгіштік коэффициентін табыңдар.

8.10. Еденінің ауданы $S = 20\text{ м}^2$, биіктігі $h = 3$ м бөлме төрт кірпішті қабырғасы арқылы бір минут ішінде канша Q жылу мөлшерін жоғалтады? Бөлменің ішіндегі температура $t_1 = 15^\circ\text{C}$, сырттағы температура $t_2 = -20^\circ\text{C}$. Кірпіштің жылуөткізгіштік коэффициенті $\lambda = 0,84\text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$. Қабырғалардың қалыңдығы $d = 50$ см. Бөлменің едені мен төбесі арқылы кететін жылу шығынын ескермейміз.

8.11. Темір біліктің бір ұшы $t_1 = 100^\circ\text{C}$ температурада ұсталып тұрады да, екінші ұшы мұзға тіреледі. Біліктің ұзындығы $l = 14$ см, көлденең қимасының ауданы $S = 2\text{ см}^2$. Оның қабырғасы арқылы шыққан жылу ескерілмейді. Мыналарды: 1) біліктің бойымен өткен жылуды, 2) $\tau = 40$ мин ішінде еріген мұздың m массасын табыңдар.

8.12. Егер мыс біліктің ұштарындағы температуралар айырымы $\Delta T = 15^\circ\text{C}$ болса, онда көлденең қимасының ауданы $S = 10\text{ см}^2$, ұзындығы $l = 50$ см мыс білік арқылы уақыт бірлігінде канша Q жылу мөлшері өтеді? Жылу шығындарын ескермейміз.

8.13. Плита үстінде диаметрі $D = 15$ см ішіне су толтырылған алюминий қазан тұр. Су қайнағанда $\tau = 1$ мин сайын $m = 300$ г бу пайда болады. Қазан түбінің қалыңдығы $d = 2$ мм, оның сыртқы бетінің температурасын табыңдар. Жылу шығындарын ескермейміз.

8.14. Радиусы $R = 9$ см металл цилиндр ыдыс $t_1 = 0^\circ\text{C}$ температурада мұзбен толтырылған. Ыдыс жылу өткізбейтіндей етіп қалыңдығы $d = 1$ см пробкамен қапталған. Егер сырттағы ауаның температурасы $t_2 = 25^\circ\text{C}$ -ге тең болса, онда ыдыстың ішіндегі мұз қанша τ уақыттан кейін түгел ериді? Жылу тек орташа радиусы $R_0 = 9,5$ см болатын ыдыстың бұйыр беті арқылы алмасады деп есептендер.

8.15. Көлденең қимасының ауданы $S=10$ см² болат білікті $t_1 = 0^\circ\text{C}$ -ден $t_2 = 30^\circ\text{C}$ -ге дейін қыздырғанда ұлғаюға жол бермес үшін, оның ұштарына қандай F күшін түсіру керек?

8.16. Радиусы $r=1$ мм болат сымға жүк ілінген. Сым жүктің әрекетінен, оны $\Delta t = 20^\circ\text{C}$ қыздырғандағыдай, қосымша ұзындық алады. Жүктің m массасын табыңдар.

8.17. $t_1 = 150^\circ\text{C}$ температурадағы мыс сымы ыстық күйінде қозғалмайтын берік екі қабырғаның арасына керілген. Сым суи келе, қандай t_2 температурада үзіледі? Гук заңы сым үзілгенге дейін орындалады.

8.18. Кейбір металлды $t_1 = 0$ -ден $t_2 = 500^\circ\text{C}$ -ге дейін қыздырғанда оның тығыздығы 1,027 есе кемиді. Осы металл үшін α сызықтық ұлғаю коэффициентін табыңдар. Оны берілген температура аралығында тұрақты деп алыңдар.

8.19. Кез келген температурада болат біліктің ұзындығы мыс біліктің ұзындығынан $\Delta l = 5$ см ұзынырақ болу үшін олардың $t_0 = 0^\circ\text{C}$ -де ұзындықтары қандай болу керек?

8.20. Салмағы $m = 1$ кг, $t_0 = 0^\circ\text{C}$ температурадағы мыс собықты (болванканы) қыздыру үшін $Q = 138,2$ кДж жылу мөлшері жұмсалды. Осы уақытта оның көлемі неше есе үлкейеді? Мыстың жылу сыйымдылығын Дюлонг және Пти заңы бойынша табыңдар.

8.21. Көлденең қимасы $S = 1,5$ мм²-ге тең мыс сымын созғанда қалдық деформацияның басталуы $F=44,1$ кН күш түсіргенде байқалды. Сым материалының серпімділік шегі p қандай болады?

8.22. $F = 9,8$ кН күшке үзілмей төтеп беретін болат тростың шекті диаметрі d қандай болу керек?

8.23. Вертикаль қалпында ілгенде өзінің меншікті салмағының әрекетінен үзіліп кететін мыс сымының l ұзындығын табыңдар.

8.24. Осының алдындағы есепті қорғасын сым үшін шешіндер.

8.25. Теңіздің тереңдігін өлшеу үшін пароходтан болат арқанмен (трос) гир түсірілген. Арқанның салмағына қарағанда гирдің салмағын есепке алмай, осы тәсілмен қандай ең l тереңдікті табуға болады? Теңіз суының тығыздығы $\rho = 1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

8.26. Үйдің шатырынан ұзындығы $l = 40 \text{ м}$, диаметрі $d = 2 \text{ мм}$ болат сым түсірілген. 1) Осы сым үзілмес үшін оған салмағы F қандай жүк ілу керек? 2) Егер осы сымға салмағы $m=70 \text{ кг}$ адам асылып тұрса, онда сым қаншаға ұзарады? 3) Адам сымды босатып жіберсе, қалдық деформация байқала ма? Болаттың серпімділік шегі $p=2,94 \text{ МПа}$.

8.27. Радиусы $r = 1 \text{ мм}$ болат сымға массасы $m = 100 \text{ кг}$ жүк ілінген. Тепе-теңдік қалыптан жүк өткенде осы сым үзіліп кетпес үшін оны қандай ең үлкен α бұрышқа бұру керек?

8.28. Ұзындығы $l = 50 \text{ см}$, диаметрі $d = 1 \text{ мм}$ темір сымға массасы $m = 1 \text{ кг}$ гир ілінген. Осындай жүгі бар сымды вертикаль жазықтықта бірқалыпты айналдырғанда сым үзіліп кетпес үшін оны қандай n жиілікпен айналдыруға болады?

8.29. Ұзындығы $l = 1 \text{ м}$ біртекті мыс білік бір ұшынан өтетін вертикаль осьтің төңірегінде бірқалыпты айналады. Қандай n айналу жиілігінде ол үзіліп кетеді?

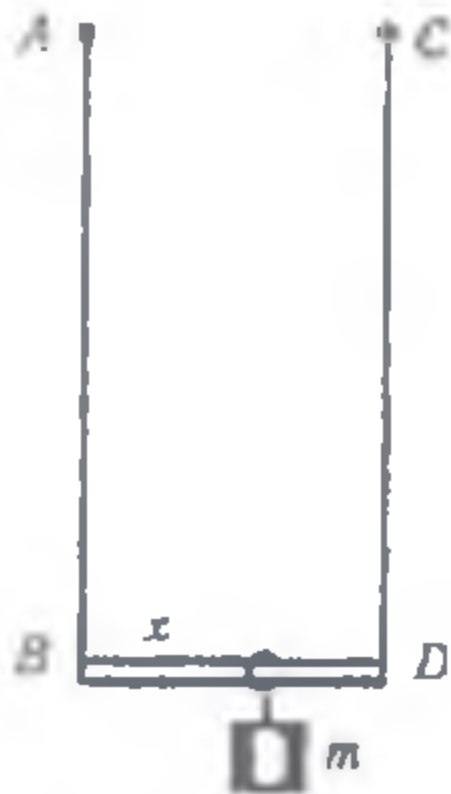
8.30. Біртекті білік ортасынан өтетін вертикаль осьтің төңірегінде бірқалыпты айналады. Біліктің ұшының сызықтық жылдамдығы $v = 380 \text{ м/с}$ -қа жеткенде ол үзіліп кетеді. Білік материалының p беріктік шегін табыңдар. Білік материалының тығыздығы $\rho=7,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

8.31. Ұзындығы $l = 1 \text{ м}$ ал радиусы $r=1 \text{ мм}$ болат сымға $m = 100 \text{ кг}$ жүк ілінген. Сымды созу жұмысын табыңдар.

8.32. Ұзындығы $l = 42 \text{ м}$, радиусы $r=3 \text{ мм}$ резеңке шнурдан рогатка жасалынған. Бала рогаткамен атқанда оның резеңке шнуры $\Delta l = 20 \text{ см}$ -ге созылады. Рогаткадан атылған массасы $m=0,02 \text{ кг}$ тас $v=20 \text{ см/сек}$ жылдамдықпен ұшады деп алып, осы

резенке үшін Юнг модулінің неге тең болатынын табыңдар. Шнурды созғандағы оның қимасының өзгерісі ескерілмейді.

8.33. Ұзындығы $l = 50$ см, ішкі диаметрі $d = 1$ см резенке шланг берілген. Шлангты созғанда оның ұзындығы бұрынғы ұзындығынан $\Delta l = 10$ см ұзарды. Резенке үшін Пуассон коэффициенті $\sigma = 0,5$ -ге тең деп алып, созылған шлангтың ішкі d_2 диаметрін табыңдар.



54-сурет

8.34. 54-суреттегі AB — темір сым, ал CD — ұзындығы және көлденең қимасы AB -ға тең мыс сым, BD — ұзындығы $l = 80$ см білік. Білікке массасы $m = 2$ кг жүк ілінген. Білік горизонталь калыпта калу үшін жүкті B нүктесінен қандай x қашықтықта ілу керек?

8.35. Ұзындығы $l = 10$ см, радиусы $r = 0,1$ мм сымды $\varphi = 10^\circ$ бұрышқа бұрау үшін қос күштің қандай M моментін түсіру керек? Сым материалының ығыстыру модулі $N = 4,9 \cdot 10^{10}$ Па.

8.36. Гальванометрдің айнасы ұзындығы $l = 10$ см, диаметрі $d = 0,01$ мм сымға ілінген. Жарық ебелегінің (зайчик) айнадан $L = 1$ м қашықтықта тұрған шкала бойымен $a = 1$ мм ауысуына сәйкес келетін бұрау моментін табыңдар. Сым материалының ығыстыру модулі $N = 4,0 \cdot 10^{10}$ Па.

8.37. $\varphi = 10^\circ$ бұрышқа бұралған, ұзындығы $l = 5$ см, диаметрі $d = 0,04$ мм сымның потенциалдық энергиясын табыңдар. Сым материалының ығыстыру модулі $N = 5,9 \cdot 10^{10}$ Па.

8.38. Гальванометрдің орамы арқылы электр тогы өткенде, оның кішкене айна бекітілген кәсекшесіне $M = 2 \cdot 10^{-13}$ Н·м-ге тең бұрау моменті әрекет етеді. Сонда кәсекше шағын φ бұрышқа бұрылады. Оны бұрауға кететін жұмыс $A = 8,7 \cdot 10^{-16}$ Дж. Гальванометрден $L = 1$ м қашықтықта тұрған шкала бойымен жарық ебелегі қандай қашықтыққа ауысады?

8.39. Сымды созған кезде көлемі өзгермейтін жағдайдағы Пуассонның σ коэффициентін табыңдар.

8.40. Цилиндр мыс білікті $p_k = 9,8 \cdot 10^7$ Па қысыммен сыққан кездегі тығыздығының салыстырмалы өзгерісін табыңдар. Мыс үшін Пуассон коэффициенті $\sigma = 0,34$.

8.41. Ұзындығы $l = 5$ м темір сым вертикаль ілінгеі. Егер сымға массасы $m = 10$ кг гир байланса, онда оның көлемі қаншаға өзгереді? Темір үшін Пуассон коэффициенті $\sigma = 0,3$.

8.42.* Беттік центрленген тордағы бір элементар ұяшыққа келетін түйіндер санын табыңдар.

8.43.* Са кристаллының (беттік центрленген кубтық сингониялық тор) a тұрақтысын және көршілес атомдарының d арақашықтығын анықтаңдар. Са кристаллының тығыздығы $\rho = 1,55 \cdot 10^3$ кг/м³.

8.44.* Кристалдың бірлік көлемдегі элементар ұяшықтардың санын анықтаңдар: а) хлористі цезийдің (торы көлемдік центрленген кубтық сингония); б) мыстың (торы беттік центрленген кубтық сингония); в) кобальттың (тығыз орналасқан гексагональдық құрылым).

8.45.* Неон кристалының ($T=20$ К болғандағы) тығыздығын табыңдар. Кристалдық тор беттік центрленген кубтық сингонияны құрайды. Осы температурадағы тор тұрақтысы $a = 4,52$ Å.

8.46.* Көршілес атомдардың арақашықтығы $d = 3,04$ Å белгілі болса, кристалдың салыстырмалы атомдық массасы қандай? Торы беттік центрленген кубтық сингония. Кристалдың тығыздығы $\rho = 0,534 \cdot 10^3$ кг/м³.

8.47.* Шарларды салу әдісін пайдаланып, тығыздап салынған гексагональды тордың c және a өлшемдерінің қатынасын табыңдар. Шынайы кристаллдағы осы шаманың есептелген шамадан алшақ болу себебін көрсетіңдер.

8.48.* Тығыздап салынған гексагональды магний кристалдық торының c және a тұрақтыларын анықтаңдар. Магний кристаллының тығыздығы $1,74 \cdot 10^3$ кг/м³.

8.49.* Тығыздап салынған гексагональды бериллий кристалдық торының a тұрақтысын анықтаңдар. Тор өлшемі $c = 3,59$ Å. Бериллий кристаллының тығыздығы $\rho = 1,82 \cdot 10^3$ кг/м³.

8.50.* Тығыздап салынған гексагональды He (гелий) кристалдық торының тығыздығын табыңдар. Тор тұрақтысы $a = 3,57 \text{ \AA}$.

8.51.* Массасы $m=20 \text{ кг}$ NaCl кристаллын $\Delta T=2 \text{ К}$ -ға қыздыру үшін қажет болатын жылу мөлшерін анықтаңдар. Екі жағдайды қарастыру керек:

а) қыздыру $T_1=\theta_D=320 \text{ К}$ -нен басталады;

б) қыздыру $T_1=2 \text{ К}$ -нен басталады.

8.52.* Классикалық теорияны пайдаланып, мына кристаллдардың: 1) Cu; 2) Al; 3) NaCl және 4) CaCl₂ меншікті жылусыйымдылықтарын есептеңдер.

8.53.* Ni кристаллын $t_1 = 0^\circ\text{C}$ -дан $t_2 = 200^\circ\text{C}$ -ға дейін қыздырғандағы ішкі энергиясының өзгеруін есептеңдер. Кристалдың массасы 20 г .

8.54.* Жылулық тепе-теңдіктегі сызықтық гармоникалық осциллятор энергиясының орташа мәні $\langle E \rangle$ үшін формуланы жазыңдар. $T=300 \text{ К}$ болғандағы $\langle E \rangle$ мәнін есептеңдер.

8.55.* Үшөлшемді $N=10^{26}$ классикалық гармоникалық осцилля-торлардан тұратын жүйенің жылусыйымдылығы мен энергиясын анықтаңдар. Жүйенің температурасы $T=300 \text{ К}$.

8.56.* Ag атомының сипаттауыш температурасы $\theta_E = 165 \text{ К}$. Ag атомының тербеліс жиілігін Эйнштейннің жылусыйымдылық теориясы бойынша анықтаңдар.

8.57.* Температураны $T_1 = \frac{1}{2}\theta_E$ -ден $T_2 = \theta_E$ -ге дейін көтергенде бір еркіндік дәрежесіне келетін кванттық осциллятордың энергиясы неше есе өзгереді?

8.58.* Эйнштейннің кванттық жылусыйымдылық теориясын пайдаланып, температурасын $T_1 = \frac{1}{2}\theta_E$ -ден $\Delta T = 2 \text{ К}$ шамасына көтергендегі кристалдың бір килограмм-атомының ішкі энергиясының ΔE өзгеруін табыңдар.

8.59.* Эйнштейннің теориясы бойынша цинк кристаллының бір килограмм-атомының нольдік энергиясын есептеңдер. Цинктің сипаттауыш температурасы $\theta_E=230 \text{ К}$.

8.60.* Дебай теориясында қатты дене көлденең және бойлық тұрғын толқындардан тұратын жүйе ретінде қарастырылады. Үшөлшемді тордан тұратын кристалл үшін жиіліктің $g(\nu)$ таралу функциясын анықтаңдар. Өздік тербелістердің Z санын шектеулі

және $3N$ -ге тең деп алындар. N – қарастырылып отырған көлемдегі атомдар саны.

8.61.* Үшөлшемді кристаллдың энергиясы үшін

$$E = 3RT \cdot 3 \left(\frac{T}{\theta_D} \right)^3 \int_0^{\theta_D/T} \frac{x^3}{e^x - 1} dx$$

формуласын пайдаланып, килограмм-атомдық жылусыйымдылықтың өрнегін шығарындар.

8.62.* Үшөлшемді кристаллдың килограмм-атомдық жылу сыйымдылығы мына формуламен беріледі:

$$C_\mu = 3R \left[12 \left(\frac{T}{\theta_D} \right)^3 \int_0^{\theta_D/T} \frac{x^3}{e^x - 1} dx - \frac{3 \left(\frac{\theta_D}{T} \right)}{e^{\theta_D/T} - 1} \right].$$

Төменгі температуралардағы ($\theta_D \gg T$) C_μ -нің шектік мәнін табындар.

8.63.* Au кристаллы үшін Дебай теориясы бойынша өздік тербелістерінің ең жоғарғы жиілігін есептеңдер. $\theta_D = 180$ К.

8.64.* Кристалл нольден $T = 0,1\theta_D$ дейін қыздырылды. Оның ішкі энергиясының ΔE өзгерісінің E_0 нольдік энергиясының шамасына қатынасын табындар. $T \ll \theta_D$ деп есептеңдер.

8.65.* Бір килограмм-атом кристалын $T_1 = \frac{1}{2}\theta_D$ -ден $\Delta T = 2$ К шамасына қыздырғандағы оның ішкі энергиясының өзгеруін есептеңдер. Дебайдың кванттық теориясын пайдалан.

8.66.* 10 г күмісті $T_1 = 10$ К-дан $T_2 = 20$ К-ға дейін қыздырғанда $\Delta Q = 0,71$ Дж жылу мөлшері бөлінсе, онда күміс үшін Дебайдың сипаттауыш температурасы қандай болады? $T \ll \theta_D$ деп есептеңдер.

8.67.* Эйнштейн мен Дебайдың сипаттауыш температураларының қатынасын табындар.

Нұсқау: Нольдік энергиялар үшін екі теория бойынша есептелінген өрнектерді пайдалану керек.

8.68.* Екіөлшемді тордан тұратын кристалл үшін жиіліктердің таралу функциясын $g(\nu)$ анықтаңдар. Кристалл бір-біріне байланыссыз қабаттардан тұрады. Өздік тербелістерінің Z саны шектелген және $3N$ -ге тең, N – қарастырылып отырған көлемдегі

атомдар саны. Қатты дене көлденең және бойлық тұрғын толқындардан тұратын жүйе ретінде қарастырылады.

8.69.* Екіөлшемді тордан тұратын кристалл үшін жиіліктердің таралу функциясын белгілі деп есептеп (8.68 есебін қараңдар) $N = N_A$ атомнан тұратын энергиясы үшін формула алыңдар.

8.70.* 8.69 есептің шешімін пайдаланып, екіөлшемді тордан тұратын кристаллдың килограмм-атомының жылусыйымдылығы C_μ үшін өрнекті жазыңдар.

8.71.* Егер Дебайдың сипаттауыш температурасы $\theta_D=350$ К болса, екіөлшемді тордан тұратын кристаллдың килограмм-атомының нольдік энергиясын есептеңдер.

8.72.* Бірөлшемді тордан тұратын кристалл үшін жиіліктердің $g(\nu)$ таралу функциясын анықтаңдар. Кристалл бір-біріне байланыссыз сызықтық тізбектерден тұрады. Оның өздік тербелістерінің Z саны шектелген және $3N$ -ге тең. N – қарастырылып отырған көлемдегі атомдар саны.

8.73.* 8.69 есебін бірөлшемді тордан тұратын кристалл үшін шешіндер.

8.74.* 8.70 есебін бірөлшемді тордан тұратын кристалл үшін шешіндер.

8.75.* Егер Дебайдың сипаттауыш температурасы $\theta_D=300$ К болса, бірөлшемді тордан тұратын кристаллдың килограмм-атомының нольдік энергиясын есептеңдер.

8.76.* Сипаттауыш температурасы $\theta_D=250$ К болса, фононның жиілігіне сәйкес келетін энергиясын табыңдар.

8.77.* Жиілігі $\nu = 0,1\nu_{\max}$ фононның квазиимпульсін табыңдар. Кристаллдағы дыбыс жылдамдығының орташа мәні $v = 1380$ м/с, $\theta_D = 100$ К. Дыбыс толқындарының дисперсиясы есепке алынбайды.

8.78.* Күміс кристаллындағы дыбыс жылдамдығының орташа мәнін есептеңдер. Күмістің серпімділік модульдері E мен G және ρ тығыздығын белгілі деп есептеңдер.

8.79.* Вольфрам кристаллындағы жиіліктері $\nu = 0,1\nu_{\max}$ -ге сәйкес келетін фонондардың толқын ұзындығын табыңдар. $\theta_D = 310$ К. Дыбыс толқындарының дисперсиясы есепке алынбайды.

8.80.* Сипаттауыш температурасы $\theta_D = 300$ К, атомдар арасындағы қашықтығы $a = 2,5$ Å кристаллдың дыбыс жылдамдығын табыңдар.

8.81.* Егер кейбір температурадағы кварц (SiO_2) үшін $\kappa = 13$ Вт/(м·град), жылусыйымдылығы $C = 44$ кДж·(м·град) $^{-1}$, дыбыс жылдамдығының орташа мәні $v = 5 \cdot 10^3$ м/с болса, оның фонондарының еркін жолының орташа λ ұзындығын табыңдар. Кварцтың тығыздығы $\rho = 2,65 \cdot 10^3$ кг/м 3 .

8.82.* Қорғасындағы фонондық газдың абсолюттік нольдегі қысымын табыңдар. $\theta_D = 85$ К.

8.83.* $T = \theta_D = 320$ К температурадағы мыстың фонондық қысымын табыңдар.

8.84.* Үш өзара перпендикуляр бағыттағы ұлғаю коэффициенттері $\alpha_1 = 1,25 \cdot 10^{-5}$ град $^{-1}$, $\alpha_2 = 1,1 \cdot 10^{-5}$ град $^{-1}$, $\alpha_3 = 1,15 \cdot 10^{-5}$ град $^{-1}$ болатын анизотропты кристаллдың көлемдік ұлғаю коэффициентін табыңдар.

8.85.* Дене температурасының 20 минут ішінде 100°C-дан 60°C-қа дейін төмендейтіндігі белгілі. Осы кездегі ауа температурасы 20°C. Қанша уақыт өткенде (суи бастаған кезінен) дене температурасы 25°C-қа дейін төмендейді? Дененің ауадағы сууының жылдамдығы дене мен ауа температурасының айырымына пропорционал деп есептеңдер.

8.86.* Қабырғаның (жылу өткізгіштік коэффициенті $k = 0,0015$) қалыңдығы 30 см. Ішкі бетіндегі температурасы 20°C, ал сыртқы бетіндегі температурасы 0°C болса, температура қабырғаның сыртқы бетінің қашықтығына қандай тәуелділікте болады?

8.87.* Көлденең қимасының ауданы тұрақты біртекті біліктің ұштары t_1 және t_2 ($t_2 > t_1$) температураларында ұсталады. Білік материалының температуралық сызықтық ұлғаю коэффициенті α . Біліктің ұзындығы қандай? Оның 0°C-тағы ұзындығы l_0 .

8.88.* Жылу желісінің құбыры (диаметрі 20 см) қалыңдығы 10 см изоляциямен қорғалған; жылуөткізгіштік коэффициенті $k = 0,0017$. Құбырдың температурасы 160°C, сыртқы жамылғының температурасы 30°C. Температураның изоляция ішіндегі таралуын және құбырдың 1 погондық метрі арқылы берілген жылу мөлшерін табыңдар.

8.89.* Ең үлкен массасы 2500 кг-нан аспайтын лифт кабинасын болаттан жасалған трос ұстап тұр. Егер лифтің ең үлкен үдеуі $1,5 \text{ м/с}^2$ болса, беріктік қоры 5,0-ке тең болат тросың диаметрі қандай болу керек?

8.90.* Егер алюминий сымды созғанда $A = 14 \text{ Дж}$ жұмыс атқарылса, оның салыстырмалы ұзаруын табыңдар. Сымның ұзындығы $l = 1 \text{ м}$, қимасының ауданы $S = 2 \text{ мм}^2$.

8.91.* Кез келген материалдан жасалған біртекті вертикаль бағананың көлденең қимасының ауданына тәуелсіз ең жоғарғы шектік биіктігі бар, осы биіктіктен асса бағана қирайды. Болаттан жасалған бағана үшін осы биіктікті есептеңдер. Болаттың сығылуға беріктік шегі $5 \cdot 10^8 \text{ Н/м}^2$, тығыздығы $7,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

8.92.* Болат пен цинктің бірдей жолақтарынан тұратын биметаллдық пластинканың қалыңдығы $d = 0,1 \text{ мм}$. Пластинканың температурасын оның жазық қалыптағы бастапқы температурасынан $\Delta T = 2 \text{ К}$ -ға көтергендегі қисықтық радиусын табыңдар.

8.93.*, Радиустары R_1 және R_2 , температуралары тұрақты және T_1 мен T_2 екі центрлі сфераның арасы жылу өткізетін біртекті затпен толтырылған. Осы екі сфераның аралығындағы температураның таралуын анықтаңдар.

8.94.* Изоляцияланбаған радиусы R біртекті цилиндр сымның бойымен күші I -ге тең ток жүреді. Егер оның бетіндегі температура (T_0) тұрақты ұсталса, сымның ішіндегі температураның стационарлық таралуын анықтаңдар. Сымның меншікті кедергісі ρ .

8.95.* Электр лампы қылының температурасын 2000 К-нен 2001 К-ге дейін көтергенде қанығу тогы 1%-ға өсетін болса, лампа қылы жасалған металдан электрондардың шығу жұмысы қандай болады?

8.96.* Вольфрам катодты электрондық лампадағы қанығу тогын мыналарды біле отырып анықтаңдар: қыздырғыш қылдың ұзындығы 3 см диаметрі 0,1 мм; қыздыру температурасы 2700 К; вольфрамның B тұрақтысы $60,2 \text{ А/(см}^2 \cdot \text{К}^2)$.

8.97.* Кейбір температурада германийдің меншікті кедергісі $\rho = 0,48 \text{ Ом} \cdot \text{м}$. Егер электронның қозғалғыштығы $u_n = 0,36$

$\text{м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$, ал тесіктердікі $u_p = 0,16 \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ болса, ток тасушыларының n концентрациясын анықтаңдар.

8.98.* Егер p -типті жартылай өткізгіштің меншікті өткізгіштігі $\sigma = 112 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$, ал Холл тұрақтысы $R_H = 3,66 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{Кл}$ болса, тесіктердің қозғалғыштығы мен концентрациясын анықтаңдар.

8.99.* Активация энергиясы $\Delta E_0 = 1 \text{ эВ}$ шалаөткізгіштегі Ферми деңгейін табыңдар. Электрондардың кинетикалық энергиясын есептеудің нольдік деңгейіне өткізгіштік аумақтың ең төменгі деңгейін алыңдар.

8.100.* Германий атомдарының кейбір бөлігі сурьма атомдарымен алмастырылған. Германийдің диэлектрлік өтімділігі $\varepsilon = 16$. Қоспа атомдардың электронын Бор моделі бойынша қарастырып, оның E байланыс энергиясын және орбитасының r радиусын есептеңдер.

8.101.* Ені $b = 1 \text{ см}$, ұзындығы $L = 10 \text{ см}$ шалаөткізгіштен жасалған пластина біртекті магнит өрісінің $B = 0,2 \text{ Тл}$ индукция векторына перпендикуляр орналастырылған. Пластиналардың ұштарына L бағытымен $U = 300 \text{ В}$ тұрақты кернеу берілген. $R_H = 0,1 \text{ м}^3/\text{Кл}$, меншікті кедергісі $\rho = 0,5 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ болса, пластина беттеріндегі U_H потенциалдар айырмасын табыңдар.

8.102.* Ені $b = 2 \text{ см}$ кремний пластинасы $B = 0,1 \text{ Тл}$ біртекті магнит өрісінде индукция сызықтарына перпендикуляр орналастырылған. Тығыздығы $j = 0,5 \text{ А/мм}^2$ ток пластина бойымен өткенде оның беттерінде $U_H = 0,368 \text{ В}$ холлдық потенциалдар айырымы пайда болады. Ток тасушылардың концентрациясын анықтаңдар.

III ТАРАУ

ЭЛЕКТР ЖӘНЕ МАГНЕТИЗМ

§9. Электростатика

Кулон заңы бойынша r арақашықтықпен салыстырғанда өз өлшемдері еленбейтін зарядталған екі дененің электростатикалық өзара әрекеттесу күші төмендегі формуламен анықталады:

$$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 \epsilon r^2},$$

мұндағы: q_1 және q_2 — денелердің электр заряды, ϵ — ортаның салыстырмалы диэлектрлік өтімділігі $\epsilon_0 = 8,85418782 \cdot 10^{-12}$ Ф/м — электрлік тұрақтысы.

Электр өрісінің кернеулігі мына формуламен анықталады:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

мұндағы F — q зарядқа әрекет ететін күш.

Нүктелік заряд өрісінің кернеулігі мынаған тең:

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 \epsilon r^2}.$$

Бірнеше зарядтан мысалы, диполь пайда болатын электр өрісінің кернеулігін өрістерді векторлық қосу ережесі бойынша табады.

Гаусстың теоремасы бойынша кез келген тұйық бет арқылы өтетін кернеуліктің ағыны:

$$N_E = \frac{1}{\epsilon_0 \epsilon} \sum_i q_i,$$

мұндағы: $\sum q_i$ — тұйық беттің ішіндегі зарядтардың алгебралық қосындысы. Осыған сәйкес кез келген тұйық бет арқылы өтетін электрлік ығысу (электр индукциясының ағыны) мынаған тең:

$$N_D = \sum q_i.$$

Гаусстың теоремасы бойынша әртүрлі зарядталған денелерден пайда болған электр өрісінің кернеулігін табуға болады.

Зарядталған шексіз ұзын жіптің туғызатын өрісінің кернеулігі:

$$E = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_0\epsilon a},$$

мұндағы: τ — жіптегі зарядтың сызықтық тығыздығы, a — жіп пен нүктенің арасындағы қашықтық. Егер жіптің ұзындығы шекті десек, онда жіптің ортасынан тұрғызылған перпендикулярдың бойында a қашықтықта жатқан нүктедегі өріс кернеулігі мынаған тең:

$$E = \frac{\tau \sin \theta}{2\pi\epsilon_0\epsilon a},$$

мұндағы θ — жіптің ұшына қарай жүргізген радиус-вектор мен қарастырып отырған нүктеден жіпке түсірілген нормаль арасындағы бұрыш.

Зарядталған шексіз жазықтықтың туғызатын өрісінің кернеулігі мынаған тең:

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0\epsilon},$$

мұндағы σ — жазықтықтағы зарядтың беттік тығыздығы. Егер жазықтықты радиусы R диск деп қарастырсақ, онда дискінің центрінен тұрғызылған перпендикуляр бойында одан a қашықтықта жатқан нүктедегі өрістің кернеулігі мынаған тең:

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0\epsilon} \left(1 - \frac{a}{\sqrt{R^2 + a^2}} \right).$$

Әратты зарядталған параллель шексіз жазықтықтардан тұратын жазық конденсатордың өрісі:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0\epsilon}.$$

Зарядталған шардың туғызатын өрісінің кернеулігі:

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2},$$

мұндағы: q — радиусы R шардың заряды; r — шардың центрінен бастап есептелген қашықтық және $r > R$.

Өрістің D электр индукциясы мына қатынаспен анықталады:

$$D = \varepsilon_0 \varepsilon E = \sigma.$$

Электр өрісінің екі нүктесінің арасындағы потенциал айырымы бірлік зарядты бір нүктеден екінші нүктеге көшіру үшін істелінетін жұмыспен анықталады:

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A}{q}.$$

Нүктелік заряд өрісінің потенциалы:

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon r},$$

мұндағы r — зарядтан бастап есептелген қашықтық.

Электр өрісінің кернеулігі мен потенциалы мына қатынаспен байланысқан:

$$E = -\frac{d\varphi}{dr}.$$

Біртекті өріс болған жағдайда жазық конденсатордың өрісі:

$$E = \frac{U}{d},$$

мұндағы: U — конденсатордың пластиналарының арасындағы потенциал айырымы, ал d — олардың арақашықтығы.

Оңашаланған өткізгіштің потенциалы мен оның заряды арасындағы қатынас:

$$q = C\varphi,$$

мұндағы C — оңашаланған өткізгіш сыйымдылығы.

Жазық конденсатордың сыйымдылығы:

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d},$$

мұндағы S — конденсатордың әрбір пластинасының ауданы.

Сфералық конденсатордың сыйымдылығы:

$$C = \frac{4\pi\epsilon_0\epsilon r R}{R - r},$$

мұндағы: r — ішкі сфераның радиусы, R — сыртқы сфераның радиусы. $R = \infty$ болған жағдайда оңашаланған шардың сыйымдылығын аламыз:

$$C = 4\pi\epsilon_0\epsilon r.$$

Цилиндрлік конденсатордың сыйымдылығы:

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon L}{\ln(R/r)},$$

мұндағы: L — коаксйалды цилиндрлердің биіктігі, r мен R — ішкі және сыртқы цилиндрлердің сәйкес радиустары.

Конденсаторлар жүйесінің сыйымдылығы:

параллель қосылған конденсаторларда

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots,$$

тізбектеп қосылған конденсаторларда

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots$$

Зарядталған оңаша өткізгіштіктің энергиясы төмендегі үш формуланың біреуі арқылы табылады:

$$W = \frac{qU}{2}, \quad W = \frac{CU^2}{2}, \quad W = \frac{q^2}{2C}.$$

Жазық конденсатор болған жағдайда

$$W = \frac{\epsilon_0\epsilon S U^2}{2d} = \frac{\epsilon_0\epsilon E^2 S d}{2} = \frac{\sigma^2 S d}{2\epsilon_0\epsilon},$$

мұндағы: S — әрбір пластинаның ауданы, σ — пластиналардағы зарядтық беттік тығыздығы. U — пластиналардың

арасындағы потенциал айырымы. d — олардың арасындағы қашықтық.

Мына шама:

$$W_0 = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E^2}{2} = \frac{ED}{2}$$

электр өрісінің энергиясының көлемдік тығыздығы деп аталады.

Жазық конденсатор пластиналарының өзара тартылу күші

$$F = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E^2 S}{2} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S U^2}{2d^2} = \frac{\sigma^2 S}{2\varepsilon_0 \varepsilon}.$$

9.1.* Мына векторлық өрістердің дивергенциясын анықтаңдар:

а) $\vec{a} = \vec{r}$, мұндағы \vec{r} — дивергенция анықталатын нүктенің радиус-векторы;

б) $\vec{a} = \vec{e}_r$, мұндағы \vec{e}_r — нүктенің радиус-векторының орты;

в) $\vec{a} = f(\vec{r})\vec{e}_r$, мұндағы $f(\vec{r})$ — радиус-вектор модулінің кейбір функциясы;

г) $\vec{a} = \frac{A}{r^3} \vec{r}$, мұндағы: A — тұрақты; \vec{r} — нүктенің радиус-векторы.

9.2.* Біртекті өрістің \vec{a} векторы берілген. а) осы өрістің дивергенциясын; б) кез келген тұйық бет арқылы өтетін \vec{a} векторының ағынын анықтаңдар.

9.3.* Центрі координаттардың бас нүктесінде болатын радиусы R сфера арқылы өтетін \vec{r} радиус-векторының ағынын есептеңдер.

9.4.* \vec{a} векторының $f(\vec{r})$ дивергенциясы белгілі ($\nabla \vec{a} = f(\vec{r})$). Центрі координаттың басында болатын радиусы R сфера арқылы өтетін \vec{a} векторының ағынын есептеңдер.

9.5.* Біртекті электр өрісінің \vec{E} векторының дивергенциясы неге тең?

9.6.* Координаттар функциясы ретінде электрстатикалық өрістің \vec{E} кернеулігі мына түрде беріледі: $\vec{E} = x^2 \vec{e}_x + y^2 \vec{e}_y +$

$z\vec{e}_z$. Осындай өрісті туғызатын зарядтардың ρ тығыздығын анықтаңдар.

9.7.* Зарядтар жүйесі туғызған өрістің потенциалы мына түрде берілген: $\varphi = ax^2 + by^2 - cz^2$. a, b, c – оң тұрақтылар. Өрістің $\vec{E}(x, y, z)$ кернеуін табыңдар.

9.8.* Электр өрісінің кернеуі мына түрде беріледі: $\vec{E} = a\vec{e}_x + b\vec{e}_y + c\vec{e}_z$, a, b, c – тұрақтылар. Осы өріс біртекті деп есептеле ме? Өрістің φ потенциалын анықтаңдар.

9.9.* Электростатикалық өрістің кернеулігі \vec{E} мына түрде беріледі: $\vec{E} = \frac{a}{r^2}\vec{e}_r$, a – тұрақты. Осы өріс біртекті деп есептеле ме? Өрістің φ потенциалын анықтаңдар.

9.10.* Төмендегі векторлық өрістердің роторын анықтаңдар:

а) $\vec{a} = \vec{r}$ — дивергенциясын анықтайтын нүктенің радиус-векторы;

б) $\vec{a} = \frac{\alpha}{r^3}\vec{r}$, α — тұрақты, \vec{r} — нүктенің радиус-векторы;

в) $\vec{a} = \vec{e}_r$ — нүктенің радиус-векторының орты;

г) $\vec{a} = f(r)\vec{e}_r$, $f(r)$ — радиус-вектор модулінің кейбір функциясы.

9.11.* Біртекті векторлық өрістің құйынсыз екенін дәлелдеңдер.

9.12.* $\vec{E} = a(y\vec{e}_x - x\vec{e}_y)$ өрісі электростатикалық бола ала ма?

9.13.* $\vec{E} = a(y\vec{e}_x - x\vec{e}_y)$ өрісі үшін мыналарды:

а) (x, y, z) координаталарымен берілген нүктелердің роторын;

б) x, y жазықтығында жатқан радиусы R шеңбердің Γ циркуляциясын есептеңдер; контурды айналу бағыты Z осімен оң бұрандалық жүйе жасайды.

9.14. Екі нүктелік зарядтардың өзара әрекет F күшінің әрбір 2 см сайын $2 \leq r \leq 10$ см аралығындағы r арақашықтыққа тәуелділігінің графигін салыңдар. Зарядтарды $q_1 = 20$ нКл және $q_2 = 30$ нКл -ға тең деп есептеңдер.

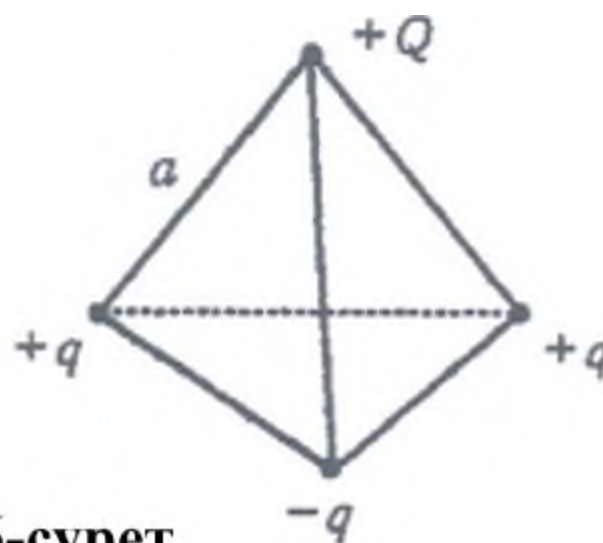
9.15. Екі протон арасындағы гравитациялық тартылыс күші олардың электростатикалық тебіліс күшінен қанша есе кем

болады? Протонның заряды модулі бойынша электрондық зарядына тең, ал таңбасы қарама-карсы.

9.16. Әрқайсысының заряды q , массасы m екі бөлшектің электростатикалық өзара әрекеттесуінің $W_{эл}$ энергиясы олардың гравитациялық әрекеттесуінің $W_{г}$ энергиясынан неше есе үлкен болады? Есепті: 1) электрондар және 2) протондар үшін шешіңдер.



55-сурет



56-сурет

9.17. Екі нүктелік зарядтың электростатикалық әрекеттесуінің $W_{эл}$ энергиясының олардың әрбір 2 см сайын $2 \leq r \leq 10$ см аралығындағы арақашықтыққа тәуелділігінің графигін салыңдар. Зарядтар $q_1 = 1$ нКл және $q_2 = 3$ нКл-ға тең; $\varepsilon = 1$. Графигі: 1) аттас зарядтар, 2) әр аттас зарядтар үшін салыңдар.

9.18.* Қабырғалары a -ға тең болатын квадраттың төбелерінде төрт заряд бар (55-сурет). Квадраттың центрінен тұрғызылған перпендикулярдағы электр өрісі кернеулігін x қашықтықтың функциясы ретінде табыңдар.

9.19.* Тетраэдрдың төбелерінде төрт заряд бар (56-сурет). Тетраэдрдың қабырғасы a . Q зарядқа әрекет ететін күшті табыңдар. Зарядтарды белгілі деп есептеңдер.

9.20. Дұрыс алтыбұрыштың төбелерінде үш оң және үш теріс зарядтар орналасқан. Осы зарядтардың түрліше орналасуындағы алтыбұрыштың центріндегі электр өрісінің E кернеулігін табыңдар. Әрбір зарядтың шамасы $q = 1,5$ нКл. Алтыбұрыштың қабырғасы $a = 3$ см.

9.21. Алдыңғы есепті алтыбұрыштың төбелеріндегі барлық алты зарядты да оң деп алған жағдайда шығарыңдар.

9.22. Радиустары мен массалары бірдей екі шарик бір-біріне беттері жанасып тұратындай етіп ұзындықтары бірдей жіптерге ілінген. Шариктерге $q_0 = 0,4$ мкКл заряд бергеннен кейін, олар бірін-бірі тебеді де, $2\alpha = 60^\circ$ бұрышқа алшақтайды. Шариктерді ілген нүктеден оның центрге дейінгі арақашықтығын $l = 20$ см-ге тең деп алып, әр шариктің m массасын табындар.

9.23. Радиустары және массалары бірдей екі шарикті беттері жанасып тұратындай етіп екі жіпке ілген. Жіптердің керілуі $T = 98$ мН-ға тең болу үшін шариктерге қандай q заряд беру керек? Шариктің ілу нүктесінен оның центріне дейінгі арақашықтық $l = 10$ см. Әр шариктің массасы $m = 5$ г.

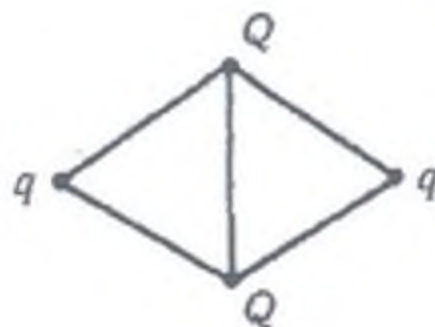
9.24.* Массасы m және заряды Q кішкене шарик ауырлық өрісінде сфералық қуыстың жоғарғы нүктесінде тепе-теңдік қалпын сақтауы үшін радиусы R сфераның төменгі нүктесіне қандай q заряд орналастыру керек (57-сурет)?

9.25.* Төрт оң заряд бес жіппен жалғастырылған (58-сурет). Әрбір жіптің ұзындығы l . Q зарядтарын өзара жалғастыратын ($Q > q$) жіптің керілу күшін анықтаңдар.

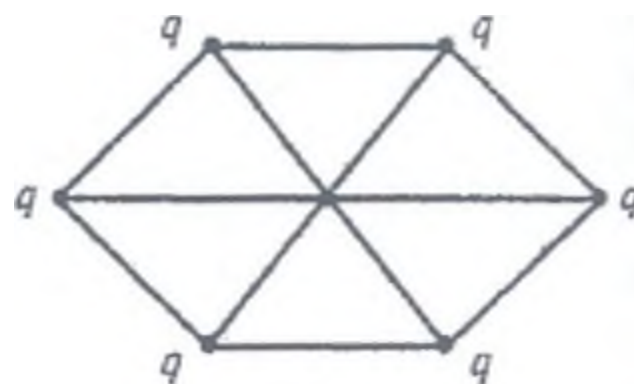
9.26.* Жеті бірдей q зарядтары 59-суретте көрсетілгендей бірдей серпімді жіптермен өзара байланған. Көршілес зарядтардың арақашықтығы l . Әрбір жіптің керілу күшін анықтаңдар.



57-сурет



58-сурет



59-сурет

9.27. Егер 9.22 есептегі шариктерді керосинге батырғанда олардың өзара тебілу бұрыштары $2\alpha_k = 54^\circ$ болса, шарик материалының ρ тығыздығын табындар.

9.28.* Заряд пен өткізгіш жазықтың электр өрісін осы заряд пен жазықтыққа қатысты симметриялы орналасқан теріс зарядтың электр өрісі ретінде көрсетуге болатынын дәлелдендер (айналық кескіндеу әдісі).

9.29. 60-суреттегі, AA —зарядының беттік тығыздығы $\sigma = 40$ мкКл/м² зарядталған шексіз жазықтық, ал B — массасы $m = 1$ г және заряды $q = 1$ нКл біраттас зарядталған шарик. Шарик ілініп тұрған жіптің AA жазықтығымен жасайтын бұрышы қандай?



60-сурет

9.30. 60-суреттегі AA — зарядталған шексіз жазықтық, ал B — массасы $m = 0,4$ мг, заряды $q = 667$ пКл біраттас зарядталған шарик. Шарик ілінулі тұрған жіптің керілу күші $T = 0,49$ мН. AA жазықтығындағы зарядтың σ беттік тығыздығын табындар.

9.31.* Гаусстың мына электростатикалық теоремасын дәлелдеңдер: S тұйық бет арқылы өтетін электростатикалық өріс кернеулігінің ағыны осы S бетпен тұйықталған көлемдегі барлық зарядтардың қосындысына тең; немесе барлық зарядтар осы көлемнен тыс орналасса нольге тең болады:

$$\int_{(S)} \vec{E} d\vec{s} = \frac{\sum_{i=1}^n q_i}{\epsilon_0}, \epsilon_0 - \text{электростатикалық тұрақтылық.}$$

9.32.* Гаусс теоремасын пайдаланып, зарядталған шексіз ұзын жіптің электростатикалық өрісінің кернеулігі үшін өрнекті табындар, ол үшін кернеулікті жіптен x қашықтықтың функциясы деп қарастырындар. Жіптегі зарядтың λ сызықтық тығыздығын белгілі деп есептендер. Жіптің потенциалын табындар.

9.33.* Алдыңғы есепті l шектелген ұзындығы бар жіп үшін шешіндер.

9.34.* Зарядталған шексіз жазықтықтың электростатикалық өрісінің кернеулігі үшін өрнекті табындар. Зарядтардың беттік тығыздығы σ белгілі.

9.35. а) Зарядының сызықтық тығыздығы $\tau = 0,2$ мкКл/м болатын зарядталған жіптен $r = 2$ см қашықтықта; б) зарядының беттік тығыздығы $\sigma = 20$ мкКл/м² зарядталған жазықтықтың

өрісінде, в) радиусы $R = 2$ см және зарядының беттік тығыздығы $\sigma = 20$ мкКл/м² зарядталған шар бетінен $r = 2$ см қашықтықта орналасқан, $q = 2\text{СГС}_q$ зарядына әрекет ететін F күшті табыңдар. Ортаның диэлектрлік өтімділігі $\varepsilon = 6$.

9.36. Өрісті: а) $q = 33,3$ нКл нүктелік зарядтан; б) зарядының сызықтық тығыздығы $\tau = 1,67$ мкКл/м шексіз ұзын зарядталған жіптен; в) зарядының беттік тығыздығы $\sigma = 25$ мкКл/м² шексіз созылған жазықтықтан туындайды деп алып, $1 \leq r \leq 5$ см интервалдағы электр өрісінің E кернеулігінің әрбір 1 см-ден кейінгі r арақашықтыққа тәуелділік қисықтарын бір графикке сызыңдар.

9.37. Зарядталған шексіз жазықтықтың электрлік өрісі қандай F_l күшпен осы өрісте орналасқан зарядталған шексіз ұзын жіптің ұзындық бірлігіне әрекет етеді? Жіп зарядының сызықтық тығыздығы $\tau = 3$ мкКл/м, жазықтықтағы зарядтың беттік тығыздығы $\sigma = 20$ мкКл/м².

9.38. Бір-бірінен $r_1 = 2$ см қашықтықта тұрған, аттас зарядтарының сызықтық тығыздықтары бірдей $\tau = 3$ мкКл/м болатын зарядталған екі шексіз ұзын жіп бір-бірінен қандай F_l күшпен (ұзындық бірлігіне келетін) тебіледі? Осы жіпті бір-біріне $r_2 = 1$ см-ге жақындату үшін қандай A_l жұмыс (ұзындық бірлігіне келетін) істеу керек болады?

9.39. Аттас зарядталған екі ұзын жіп бір-бірінен $r = 10$ см қашықтықта орналасқан. Жіптердегі зарядтардың сызықтық тығыздығы $\tau_1 = \tau_2 = 10$ мкКл/м. Әрбір жіптен $a = 10$ см қашықтықта тұрған нүктедегі қорытқы электр өрісінің E кернеулігінің бағыты мен модулін табыңдар.

9.40. Зарядтарының беттік тығыздығы бірдей $\sigma = 0,3$ мКл/м² болатын аттас зарядталған екі шексіз созылған жазықтық аудан бірлігіне шаққанда қандай F_S күшпен тебіледі?

9.41. Радиусы $R = 0,5$ см мыс шар майға батырылған. Майдың тығыздығы $\rho_m = 0,8 \cdot 10^3$ кг/м³. Егер біртекті электр өрісінде шар майдың ішінде қалықтап тұрса, онда шар заряды q неге тең болады? Кернеулігі $E = 3,6$ МВ/м электр өрісі вертикаль жоғары бағытталған.

9.42. Ұзындығы шектеулі зарядталған жіптің туғызатын электр өрісі шекті жағдайда: а) шексіз созылған жіптің, б)

нүктелік зарядтың туғызатын электр өрісіне ауысатындығын көрсетіндер.

9.43. Радиусы $R = 10$ см сымнан жасалған сақинаның теріс заряды $q = -5$ нКл. 1) Сақинаның центрінен $L = 0, 5, 8, 10$ және 15 см қашықтықта сақина осінің бойында жатқан нүктелердегі электр өрісінің кернеуліктерін табындар. $E=f(L)$ графигін сызындар. 2) Сақинаның центрінен қандай L қашықтықта электр өрісінің кернеулігі E ең үлкен мән қабылдайды?

9.44. Зарядталған сақинаның осіндегі электр өрісінің кернеулігі сақинаның центрінен L қашықтықта ең үлкен мәнге ие болады. Сақинаның центрінен $0,5L$ қашықтықта жатқан нүктедегі электр өрісінің кернеулігі ең үлкен кернеуліктен неше есе кіші болады?

9.45.* Өлшемі R дискінің осіндегі өрістің кернеулігі мен потенциалын ось бойындағы x қашықтықтың функциясы ретінде анықтандар. Зарядының беттік тығыздығы σ берілген.

9.46. Зарядталған дискінің туғызатын электр өрісі, шекті жағдайларда: 1) шексіз созылған жазықтықтың туғызатын, 2) нүктелік зарядтың туғызатын өрісіне ауысатындығын дәлелдеп көрсетіндер.

9.47. Әр аттас зарядпен зарядталған параллель екі диск зарядтарының беттік тығыздықтары бірдей және олар бір-бірінен $d = 1$ см қашықтықта орналасқан. 1) Дискілердің центрлерінің арасындағы өрістің жазық конденсатордың өрісінен айырмашылығы 5%-дан аспау үшін олардың R радиустарының шекті мәні қандай болады? 2) $R/d=10$ болғанда осы айтылған нүктелер үшін берілген өрісті жазық конденсатордың өрісіне тең деп алсақ, біз қандай δ қате жібереміз?

9.48.* Радиусы R зарядталған сфераның электр өрісінің кернеулігін және потенциалын анықтандар. Q заряды сфераның бетіне біркелкі таратылған. $E(r)$, $\varphi(r)$ функцияларының графиктерін сызындар.

9.49.* Көлемі бойынша зарядталған шардың электр өрісінің кернеулігін және потенциалын анықтандар. Шардың радиусы R , шардағы зарядтың көлемдік тығыздығы ρ . $E(\vec{r})$ және $\varphi(\vec{r})$ функцияларының графиктерін сызындар.

9.50.* Біркелкі зарядталған шексіз жазықтыққа q электрлік заряды қандай күшпен әрекет етеді? Жазықтықтың электр өрісінің кернеулігі неге тең? Зарядтың беттік тығыздығы σ .

9.51.* Радиусы R шексіз цилиндрдің ішіндегі және сыртындағы өріс кернеулігі мен потенциалын анықтандар. Цилиндр ішіндегі зарядтың көлемдік тығыздығы ρ . Өріс кернеулігінің цилиндр осіне дейінгі қашықтыққа тәуелділігінің графигін сызындар.

9.52.* Кубтың біркелкі зарядталған жақтары (беттері) қандай күшпен бірін-бірі итермелейді? Ал тетраэдрдің ше? Жақтардағы зарядтың беттік тығыздығы σ , қырының ұзындығы a .

9.53.* Радиусы R біркелкі зарядталған шардың ішінде радиусы r болатын сфералық қуыс ойып алынады; оның центрі шардың центрінен a қашықтықта (61-сурет). Зарядтың көлемдік тығыздығы ρ . Қуыстағы өрістің кернеулігін табындар.



61-сурет

9.54. $q = 1$ нКл оң заряды бар, массасы $m = 40$ мг шарик $v = 10$ см/с жылдамдықпен қозғалады. Шарик $q_0 = 1,33$ нКл нүктелік оң зарядқа қандай r қашықтыққа дейін жақындай алады?

9.55. Егер бір-біріне қарама-қарсы қозғалып келе жатқан екі электронның салыстырмалы жылдамдығы $v_0 = 10^6$ м/с тең болса, онда олар қандай r қашықтыққа жақындай алар еді?

9.56. Зарядтары $q_1 = 6,66$ нКл және $q_2 = 13,33$ нКл екі шарик бір-бірінен $r_1 = 40$ см қашықтықта тұр. Оларды $r_2 = 25$ см қашықтыққа дейін бір-біріне жақындату үшін қандай A жұмысы жасалады?

9.57. Радиусы $R = 1$ см зарядталған шардың центрінен $r = 10$ см қашықтықта тұрған өріс нүктесінің φ потенциалын табындар. Егер: а) шар бетіндегі зарядтың тығыздығы $\sigma = 0,1$ мкКл/м²

болса, 2) шардың потенциалы $\varphi_0 = 300$ В болса, онда осы нүктенің потенциалы қандай болады?

9.58. $q = 20$ нКл нүктелік зарядты шексіздіктен радиусы $R = 1$ см, зарядының беттік тығыздығы $\sigma = 10$ мкКл/м² шардың бетінен $r = 1$ см қашықтықта тұрған нүктеге дейін алып келу үшін қандай A жұмыс істелінеді?

9.59. Массасы $m = 1$ г, заряды $q = 10$ нКл кішкене шарик потенциалы $\varphi_1 = 600$ В-ке тең A нүктесінен потенциалы $\varphi_2 = 0$ нольге тең B нүктесіне ауысады. Егер оның B нүктесіндегі жылдамдығы $v_2 = 20$ см/с болса, онда оның A нүктесіндегі жылдамдығы неге тең болады?

9.60. Шексіз ұзын зарядталған жіптен $r_1 = 4$ см қашықтықта $q = 0,66$ нКл нүктелік заряд орналасқан. Өріс әрекетінен заряд $r_2 = 2$ см қашықтыққа дейін жіпке жақындайды. Осы уақытта істелінген жұмыс $A = 50$ эрг. Жіптегі зарядтың сызықтық тығыздығын табындар.

9.61. Оң зарядталған шексіз ұзын жіптен туындаған өрістің әрекетінен жіптен $r_1 = 1$ см қашықтықтағы нүктеден, $r_2 = 4$ см қашықтықтағы нүктеге дейін қозғалған α -бөлшек өзінің жылдамдығын $v_1 = 2 \cdot 10^5$ м/с-ден $v_2 = 3 \cdot 10^6$ м/с дейін өзгертеді. Жіптегі зарядтың τ сызықтық тығыздығын табындар.

9.62. Зарядының сызықтық тығыздығы $\tau = 0,2$ мкКл/м зарядталған шексіз ұзын жіп электр өрісін туғызады. Осы өрістің әрекетінен жіпке $r_1 = 1$ см қашықтықтан $r_2 = 0,5$ см қашықтыққа дейін жақындаған электрон қандай жылдамдық алады?

9.63. Зарядталған шексіз жазықтықтың маңында тұрған $q = 0,66$ нКл нүктелік заряд өрістің кернеулік сызығының бойымен $\Delta R = 2$ см жерге орын ауыстырады. Осы уақытта $A = 50$ эрг жұмыс істелінді. Жазықтықтағы зарядтың σ беттік тығыздығын табындар.

9.64. Жазық конденсатордың пластиналарының арасындағы потенциалдар айырымы $U = 90$ В. Әрбір пластинаның ауданы $S = 60$ см², заряды $q = 1$ нКл. Пластиналар бір-бірінен қандай d қашықтықта орналасқан?

9.65.* φ_1 потенциалға дейін зарядталған, радиусы r_1 металдан жасалған шарды, радиусы r_2 жұқақабырғалы өткізгіш

сфералық қабықшамен қоршайды. Шарды біраз уақыт өткізгіш сым арқылы қабықшамен қосқаннан кейінгі оның φ_2 потенциалын анықтаңдар.

9.66.* Радиусы R , біркелкі зарядталған жартылай сфераның центріндегі өрістің кернеулігі мен потенциалын табыңдар, зарядының беттік тығыздығы σ .

9.67.* Дипольдің центрінен r қашықтықтың және диполь осі мен \vec{r} бағытының арасындағы θ бұрышының (62-сурет) функциясы ретінде диполь өрісінің потенциалы мен кернеулігінің модулін табыңдар. Электрлік дипольдік момент \vec{p} -ға тең.



62-сурет

9.68.* Бір-бірінен $l = 10^{-8}$ м қашықтықта жатқан екі су молекуласының өзара әрекеттесу күшін табыңдар. Судың электрлік дипольдік моменті $p = 0,62 \cdot 10^{-29}$ Кл·м. Молекулалардың дипольдік моменттері осы молекулаларды жалғастыратын сызықтың бойында жатады деп есептендер.

9.69.* Екі электронды тепе-теңдік қалыпта ұзындығы l жіп ұстап тұр. Жүйе горизонталь бетте орналасқан. Жіпті күйдіріп үзеді. Егер үйкеліс коэффициенті k , ал электронның массасы m_e болса, онда олар қандай ең үлкен жылдамдықпен қозғалады?

9.70.* Массалары m , зарядтары q үш зарядталған бөлшек әрқайсысының ұзындығы l үш жіп арқылы жалғастырылған. Жіптердің біреуін күйдіріп үзеді. Бөлшектердің ең жоғарғы жылдамдығын анықтаңдар.

9.71.* Екі электрон бір-бірінен r қашықтықта орналасқан, олардың біреуінің жылдамдығы нольге тең, ал екіншісінің жылдамдығы электрондарды жалғастыратын сызыққа сүйір бұрыш жасай бағытталған. Олар бір-бірінен қайтадан осы r қашықтықта болғанда электрондардың жылдамдықтарының арасындағы бұрыш қандай болады?

9.72.* Массасы m , заряды q дене үлкен қашықтықтан металдан жасалған жазықтыққа қарай қозғалады. Дене жазықтықтан d қашықтықта болған сәттегі оның жылдамдығын

табындар. Дененің бастапқы жылдамдығы нольге тең, ал өлшемі d -дан әлдеқайда кіші.

9.73.* Металлдан жасалған екі жақты бұрыштың биссектрисасында оның қырынан d қашықтықта нүктелік q заряды орналасқан. Осы зарядқа әрекет ететін күшті табындар.

9.74. Вертикаль бағытпен орналасқан екі пластиналардың арасында олардан бірдей қашықтықта тозаң құлайды. Ауаның кедергісінің салдарынан тозаң $v_1 = 2$ см/с тұрақты жылдамдықпен құлап келеді. Пластиналарға $U = 3$ кВ потенциал айырымын бергеннен кейін тозаң пластиналардың біреуіне қанша t уақытта жетеді? Пластинаға жеткенге дейінгі тозаңның вертикаль бойымен жүрген жолы l қандай болады? Пластиналардың арақашықтығы $d = 2$ см тозаңның массасы $m = 2 \cdot 10^{-9}$ г, заряды $q = 6,5 \cdot 10^{-17}$ Кл.

9.75. Пластиналарының арақашықтығы $d = 1$ см горизонталь орналасқан жазық конденсатордың ішінде зарядталған май тамшысы орналасқан. Электр өрісі жоқ кезде тамшы $v_1 = 0,11$ мм/с тұрақты жылдамдықпен құлайды. Егер пластинаға $U = 150$ В потенциал айырымын түсірсек, онда тамшы $v_2 = 0,43$ мм/с жылдамдықпен құлайды. Тамшының r радиусын және q зарядын табындар. Ауаның динамикалық тұтқырлығы $\eta = 1,82 \cdot 10^{-5}$ Па·с, майдың тығыздығы ішінде тамшы құлаған газ тығыздығынан $\Delta\rho = 0,9 \cdot 10^3$ кг/м³ шамаға үлкен.

9.76. Бір-бірінен $d = 1$ см қашықтықта вертикаль орналасқан екі пластинаның арасында массасы $m = 0,1$ г зарядталған бузина шаригі жіпке ілінген. Пластиналарға $U = 1$ кВ потенциал айырымы берілгеннен кейін шарикпен бірге жіп $\alpha = 10^\circ$ бұрышқа бұрылды. Шариктің q зарядын табындар.

9.77. Жазық конденсатордың пластиналарының арақашықтығы $d = 4$ см. Протон оң пластинадан қозғала бастағанда, электрон теріс пластинадан қозғала бастайды. Олардың оң пластинадан қандай l қашықтықта бір-бірімен кездесетінін табындар.

9.78. Жазық конденсатор пластиналарының арақашықтығы $d = 1$ см. Пластиналардың бірінен протон мен α -бөлшек бір уақытта қозғала бастайды. Протон бір пластинадан екінші пластинаға дейінгі барлық жолды белгілі бір уақыт ішінде жүрді

десек, осы уақыттың ішінде α -бөлшектің жүретін l жолы қандай болады?

9.79. Электрон жазық конденсатордың ішінде бір пластинадан екінші пластинаға дейін жол жүргенде $v = 10^6$ м/с жылдамдыққа ие болады. Пластиналардың ара қашықтығы $d = 5,3$ мм. Мыналарды: 1) пластиналардың арасындағы U потенциал айырымын, 2) конденсатордың ішіндегі E электр өрісінің кернеулігін, 3) пластиналардағы зарядтың σ беттік тығыздығын табыңдар.

9.80. Біртекті электр өрісінде электрон $a = 10^{12}$ м/с² үдеу алады. Мыналарды: 1) E электр өрісінің кернеулігін; 2) бастапқы $v_0 = 0$ жылдамдығын нольге тең деп алып, электронның $t = 1$ мкс ішінде алған қозғалыс жылдамдығын; 3) осы уақыт ішіндегі электр өрісі күшінің істейтін A жұмысын және 4) электронның өтетін U потенциал айырымын табыңдар.

9.81. Электрон жазық конденсатордың бір пластинасынан екінші пластинасына дейін ұшады. Пластиналардың арасындағы потенциал айырымы $U = 3$ кВ, арақашықтығы $d = 5$ мм. Мыналарды: 1) электронға әрекет ететін F күшті, 2) электронның a үдеуін, 3) электронның екінші пластинаға жеткендегі v жылдамдығын, 4) конденсатордың пластиналарындағы зарядтың σ беттік тығыздығын табыңдар.

9.82. Электрон белгілі бір v_0 бастапқы жылдамдықпен горизонталь орналасқан жазық конденсатор пластиналары арасына олардан бірдей қашықтықта параллель ұшып кіреді. Конденсатордың пластиналарына $U = 300$ В потенциал айырымы берілген. Пластиналарының араларының қашықтығы $d = 2$ см, конденсатордың ұзындығы $l = 10$ см. Электрон конденсатордан ұшып шықпау үшін, оның v_0 бастапқы жылдамдығының шекті мәні қандай болу керек? Осы есепті α -бөлшек үшін де шығарыңдар.

9.83. Горизонталь орналасқан жазық конденсатордың пластиналарына параллель бағытта $v_0 = 9 \times 10^6$ м/с жылдамдықпен электрон ұшып кіреді. Электронның конденсаторда қозғала бастағанынан $t = 10$ нс уақыт өткеннен кейінгі a_n нормаль, a_τ тангенциаль, a толық үдеулерін табыңдар. Пластиналардың

арасындағы потенциал айырымы $U = 100$ В, пластиналардың арақашықтығы $d = 1$ см.

9.84. Бірдей потенциал айырымында үдеген протон мен α -бөлшегі жазық конденсатор пластиналарына параллель бағытта ұшып кіреді. Конденсатор өрісі әрекетінен протонның бұрылуы α -бөлшектің бұрылуынан неше есе үлкен болады?

9.85. $U_0 = 300$ В потенциал айырымында үдетілген электрондар шоғы зарядталмаған жазық конденсатор арқылы оның пластиналарына параллель бағытта өткенде конденсатордың шетінен $x = 12$ см қашықтықта орналасқан флуоресценциялаушы экранда жарқыраған дақ береді. Конденсаторды зарядтаған уақытта экрандағы дақ $y = 3$ см-ге ығысады. Конденсатордың пластиналарына түсірілген U потенциал айырымын табыңдар. Конденсатордың ұзындығы $l = 6$ см, ал пластиналарының арақашықтығы $d = 1,4$ см.

9.86. Жазық горизонталь конденсатордың ішінде оның пластиналарына параллель бағытта электрон $v = 3,6 \cdot 10^7$ м/с жылдамдықпен қозғалады. Конденсатордың ішіндегі өрістің кернеулігі $E = 3,7$ кВ/м. Конденсатор пластиналарының ұзындығы $l = 20$ см. Конденсатордың ішінде қозғалған уақытында электрон электр өрісінің әрекетінен вертикаль бағытта қандай y қашықтыққа ығысады?

9.87. Жер шарының C сыйымдылығын табыңдар. Жер шарының радиусы $R = 6400$ км. Егер Жер шарына $q = 1$ Кл заряд берсек, оның ϕ потенциалы қаншаға өзгереді?

9.88. Радиусы $R = 2$ см шарик $\phi = 2$ кВ потенциалға дейін теріс зарядталған. Шарикке берілген зарядты құрастыратын барлық электрондардың m массасын табыңдар.

9.89. Әрқайсысының радиусы $r = 1$ мм және заряды $q = 0,1$ нКл зарядталған сегіз су тамшылары бір су тамшысына бірігеді. Осы үлкен тамшының ϕ потенциалын табыңдар.

9.90. $\phi = 792$ В потенциалға дейін зарядталған шариктің зарядының беттік тығыздығы $\sigma = 333$ нКл/м. Шариктің r радиусы неге тең?

9.91. Қалыпты қысым кезінде ауадағы разряд электр өрісінің кернеулігі $E_0 = 3$ МВ/м-ге тең болғанда басталады деп алып: 1) шардың R радиусы мен оның ауада зарядтауға болатын

ең үлкен φ потенциалы арасындағы қатысты; 2) диаметрі $D = 1$ м-ге тең шардың ең үлкен φ потенциалын табындар.

9.92.* Жазық конденсатордың жылусыйымдылығы үшін формуланы табындар.

9.93.* Биіктігі l және радиустары R_1 мен R_2 ($l \gg R_1, R_2$) бір осьті цилиндрлік конденсатордың жылусыйымдылығы үшін формуланы жазындар.

9.94.* Радиустары R_1 және R_2 екі концентрлік сфералық конденсатордың жылусыйымдылығы үшін формуланы алындар.

9.95. Жазық ауа конденсаторының әрбір пластиналарының ауданы $S = 1 \text{ м}^2$, пластиналардың арақашықтығы $d = 1,5$ мм. Осы конденса-тордың C сыйымдылығын табындар.

9.96. Жазық ауа конденсаторы пластиналарының ауданы $S = 0,01 \text{ м}^2$, арақашықтығы $d = 5$ мм. Пластиналарға $U = 300$ В потенциал айырымы түсірілген. Конденсаторды кернеу көзінен ажыратқаннан кейін пластиналардың арасындағы кеңістік эбонитпен толтырылады. 1) Пластиналардың арасын толтырғаннан кейінгі потенциалдар айырымы U_2 қандай болады? 2) Пластиналардың арасын толтырғанға дейінгі C_1 және толтырғаннан кейінгі C_2 конденсатордың сыйымдылығы қандай? 3) Пластиналардың арасын толтырғанға дейінгі σ_1 және толтырғаннан кейінгі σ_2 пластиналардағы зарядтың беттік тығыздығы қандай?

9.97. Алдыңғы есепті пластиналарды кернеу көзінен ажыратпай олардың арасындағы кеңістікті эбонитпен толтырылған жағдай үшін шығарындар.

9.98. Коаксиальды электр кабелі центрлік талшықтан және оған қарағанда араларында изоляциясы бар концентрлі болып келген цилиндрлік қабықтан тұрады. Талшық радиусын $r = 1,3$ см, қабық радиусын $R = 3,0$ см, ал изоляцияның диэлектрлік өткізгіштігін $\varepsilon = 3,2$ деп алып, осындай кабельдің ұзындық бірлігіне келетін C_1 сыйымдылығын табындар.

9.99. Вакуумды цилиндрлік конденсатордың ішкі цилиндрінің радиусы $r = 1,5$ см, сыртқы цилиндрінің радиусы $R = 3,5$ см. Цилиндрлердің аралығына $U = 2,3$ кВ потенциал айырымы берілген. Цилиндрдің осінен $l_1 = 2,5$ см қашықтықтан $l_2 = 2$ см қашықтыққа дейін қозғалғанда электрон осы

конденсатордың өрісінің әрекетінен қандай v жылдамдық алады?

9.100. Цилиндр конденсаторы радиусы $r = 3$ мм ішкі цилиндрден, изолятордың екі қабатынан және радиусы $R = 1$ см сыртқы цилиндрден тұрады. Қалыңдығы $d_1 = 3$ мм изолятордың бірінші қабаты ішкі цилиндрге жанаса орналасқан. Осы қабаттардағы потенциалдар төмендеулерінің U_1/U_2 қатынасын табындар.

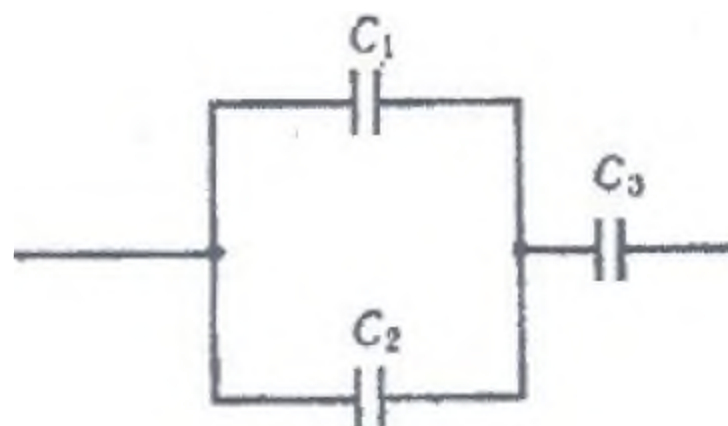
9.101. Фотоэлектрлік құбылысты зерттеген уақытта диаметрі $d = 1,5$ см металл шариктен (катодтан) және ішкі бетін күмістеген диаметрі $D = 11$ см сфералық колбадан (анодтан) тұратын сфералық конденсатор пайдаланылады. Колбадан ауа сорылып алынады. Осындай конденсатордың C сыйымдылығын табындар.

9.102. Егер радиусы $r = 3$ см шарға: а) $q = 1$ нКл заряд берілді десек және б) оны концентрлі етіп радиусы $R = 4$ см жермен қосылған екінші бір шармен қоршалған десек, онда оның φ потенциалы неге тең болады?

9.103. Радиустары $r = 10$ см және $R = 10,5$ см концентрлі екі сферадан тұратын сфералық конденсатордың C сыйымдылығын табындар. Сфералардың арасындағы кеністік маймен толтырылған. Майдың ішіне орналастырылған шардың осындай сыйымдылығы болу үшін оның R_0 радиусы қандай болу керек?

9.104. Вакуумдық сфералық конденсатордың ішкі шарының радиусы $r = 1$ см, сыртқы шарының радиусы $R = 4$ см. Шардың араларына берілген потенциалдар айырымы $U = 3$ кВ. $x_1 = 3$ см қашықтықтан $x_2 = 2$ см қашықтыққа шардың центріне жақындаған электронның алатын v жылдамдығы қандай?

9.105. Конденсаторлар жүйесінің C сыйымдылығын табындар (63-сурет). Конденсаторлардың әрқайсысының сыйымдылығы $C_i = 0,5$ мкФ.



63-сурет

9.106. Екі конденсатордың сыйымдылықтары электрометрдің көмегімен өзара салыстырылды. Ол үшін оларды $U_1 = 300$ В және $U_2 = 100$ В потенциалдар айырымдарына дейін зарядтап, екі конденсаторды да параллель косады. Сонда электрометрмен өлшенген конденсатор астарларының арасындағы потенциалдар айырымы $U = 250$ В-қа тең болып шықты. Сыйымдылықтардың C_1/C_2 қатынасын табындар.

9.107. A және B (64-сурет) нүктелерінің арасындағы потенциалдар айырымы $U = 6$ В. Бірінші конденсатордың сыйымдылығы $C_1 = 2$ мкФ, екіншісінің сыйымдылығы $C_2 = 4$ мкФ. Әрбір конденсатордың астарларындағы q_1 және q_2 заряд пен U_1 , U_2 потенциалдар айырымын табындар.

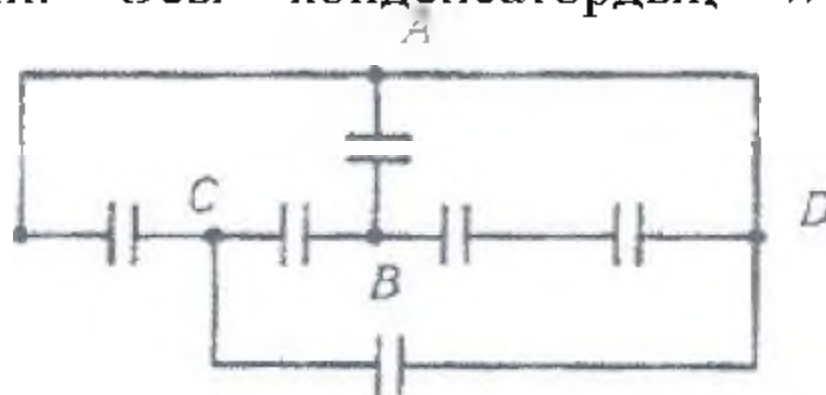


64-сурет

9.108. Егер екі конденсатордың әрқайсысының сыйымдылығы C , 10-нан 450 пФ-ға дейін өзгере алатын болса, онда сыйымдылықтары айнымалы екі конденсатордан тұратын жүйенің C сыйымдылығы қандай шекте өзгереді?

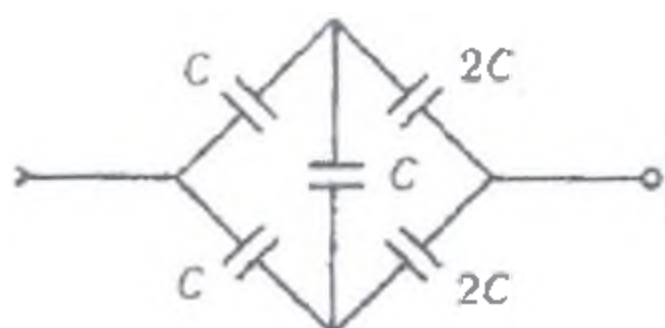
9.109. Сыйымдылығы $C = 20$ мкФ конденсатор $U = 100$ В потенциалға дейін зарядталған. Осы конденсатордың W энергиясын табындар.

9.110.* Сыйымдылықтары бірдей алты конденсатордың барлығын зарядтау үшін 65-суретте көрсетілген сұлбадағы нүктелердің қандай жұбына токтың көзін қосу керек?

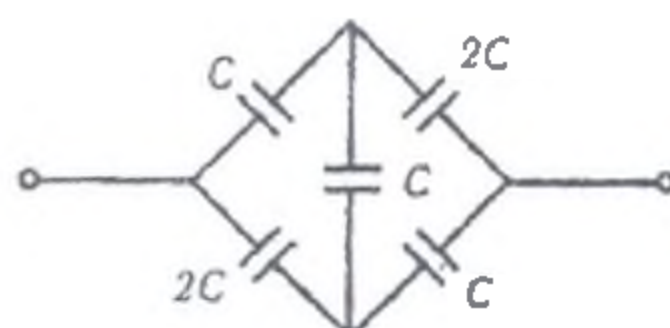


65-сурет

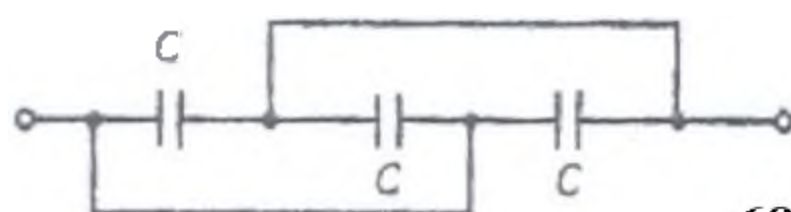
9.111. Жазық конденсатор өтімділігі конденсатордағы кернеуге $\varepsilon = \alpha V$ заңы бойынша тәуелді болатын диэлектрикпен толтырылған, мұндағы $\alpha = 1 \text{ В}^{-1}$. Осы зарядталмаған конденсаторға диэлектриксіз $V_0 = 156 \text{ В}$ кернеуіне дейін зарядталған тағы бір конденсатор параллель қосылады. Осы конденсаторларда қалыптасқан V кернеуін табындар.



66-сурет



67-сурет

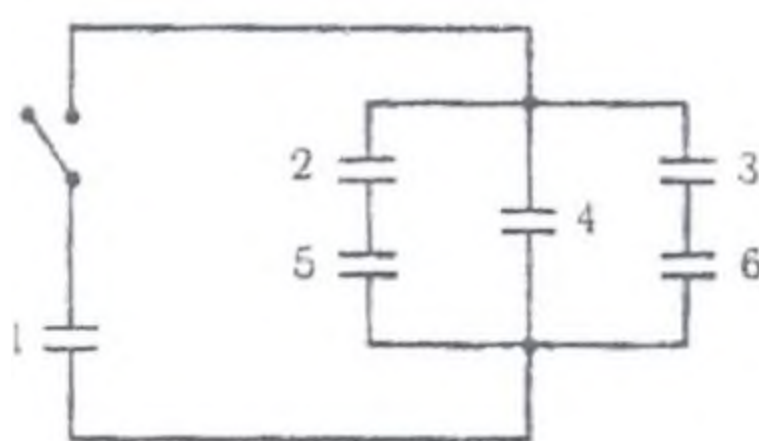


68-сурет

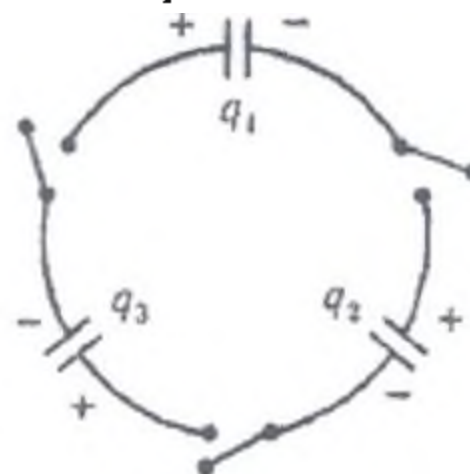
9.112.* 66 – 68 суреттердегі конденсаторлар жүйесінің сыйымдылықтарын анықтаңдар.

9.113.* V потенциалдар айырымына дейін зарядталған сыйымдылығы C 1-ші конденсаторға осындай сыйымдылықтары бар бірнеше конденсаторлардан тұратын батарея 69-суретте көрсетілгендей қосылған. Алты конденсатордың әрқайсысындағы зарядтарды табындар.

9.114.* Әрқайсысының сыйымдылығы C болатын үш бірдей окшауланған конденсаторларға q_1 , q_2 , q_3 сәйкес зарядтар берілген (70-сурет). Конденсаторларды бір-бірімен косады. Конденсаторлардағы жаңа зарядтарды табындар.



69-сурет

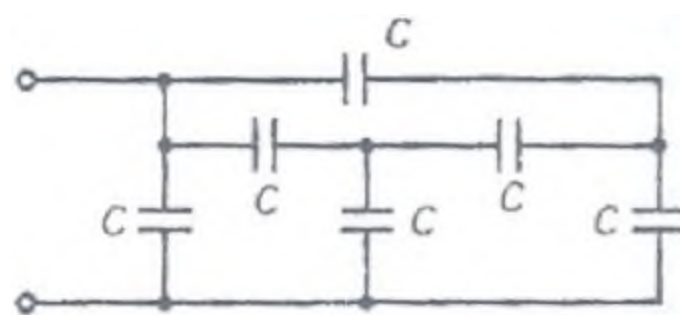


70-сурет

9.115.* Зарядталған жазық конденсаторлардың пластиналарын бірінен соң бірін жерге қосады. Осы кезде конденсаторлар разрядтала ма?

9.116.* Конденсаторлар батареясының сыйымдылығын табындар (71-сурет).

9.117. Керосинге батырылған шардың потенциалы $\varphi = 4,5$ кВ, зарядының беттік тығыздығы $\sigma = 11,3$ мкКл/м². Шардың R радиусын, q зарядын, C сыйымдылығын және W энергиясын табындар.



71-сурет

9.118. Радиусы $R_1 = 10$ см $\varphi_1 = 3$ кВ потенциалға дейін зарядталған 1-шар кернеу көзінен ажыратылғаннан кейін әуелі аулақта тұрған зарядталмаған 2-шармен сым арқылы (сыйымдылығын ескермеуге болатын) қосылады; одан кейін 2-шардан ажыратылып аулақта тұрған зарядталмаған 3-шармен жалғастырылады. 2- және 3-шарлардың радиустары $R_2 = R_3 = 10$ см. Мыналарды: 1) 1-шардың бастапқы W_1 энергиясын; 2) жалғастырғаннан кейінгі 1- және 2-шарлардың W_1' , W_2' энергияларын және жалғастырғандағы A разрядталу жұмысын, 3) жалғастырғаннан кейінгі 1- және 3-шарлардың W_1' , W_3' энергияларын және жалғастыру уақытындағы A разрядталу жұмысын табындар.

9.119. Ауданы $S = 0,01$ м² жазық конденсатордың пластиналары бір-біріне $F = 30$ мН күшпен тартылады. Пластиналардың арасындағы кеңістік слюдамен толтырылған. Мыналарды: 1) пластиналардағы q зарядтарын, 2) пластиналардың арасындағы өрістің E кернеулігін, 3) өрістің көлем бірлігіндегі W_0 энергиясын табындар.

9.120. Жазық конденсатордың пластиналарының арасына жұқа слюда пластинкасы қойылған. Электр өрісінің кернеулігі $E = 1$ МВ/м болғанда, осы пластинка қандай p қысымға душар болады?

9.121. Ауданы $S = 0,01$ м² жазық конденсатордың пластиналарының арасындағы потенциалдар айырымы $U = 280$ В. Пластиналардағы зарядтың беттік тығыздығы $\sigma = 495$ нКл/м².

Мыналарды: а) конденсатордың ішіндегі өрістің E кернеулігін; б) пластиналардың d арақашықтығын; в) конденсатордың бір пластинасынан екінші пластинасына дейінгі жолында электронның алатын v жылдамдығын; 4) конденсатордың W энергиясын; д) конденсатордың C сыйым-дылығын, 6) конденсатордың пластиналарының F тартылу күшін табыңдар.

9.122. Жазық ауа конденсаторы пластиналарының ауданы $S = 0,01 \text{ м}^2$, олардың арақашықтығы $d_1 = 2 \text{ см}$. Конденсатор пластиналарына $U = 3 \text{ кВ}$ потенциалдар айырымы беріледі. Егер кернеу көзін айырып тастамай тұрып, пластиналарды бір-бірінен $d_2 = 5 \text{ см}$ дейін алшақтататын болсақ, онда конденсатор өрісінің кернеулігі E қандай болады?

Конденсатордың пластинкаларды алшақтатқанға дейінгі W_1 және алшақтатқаннан кейінгі W_2 энергиясын есептеп шығарыңдар.

9.123. Алдыңғы есепті, конденсатор әуелі кернеу көзінен ағытылады, содан кейін конденсатордың пластиналары алшақтатылады деп есептеп, қайыра шығарыңдар.

9.124. Жазық конденсатор диэлектрикпен толтырылып, оның пластиналарына бір шама потенциалдар айырымы беріледі. Сонда оның энергиясы $W = 20 \text{ мкДж}$ -ге тең болады. Конденсаторды кернеу көзінен айырып тастағаннан кейін диэлектрикті конденсатордан алып тастайды. Диэлектрикті конденсатордан шығарып алу үшін электр өрісінің күшіне қарсы істелінетін жұмыс $A = 70 \text{ мкДж}$. Диэлектриктің ε диэлектрик өтімділігін табыңдар.

9.125. Мына нүктелердегі: а) радиусы $R = 1 \text{ см}$ зарядталған шардың бетінен $x = 2 \text{ см}$ қашықтықтағы; б) шексіз созылған зарядталған жазықтыққа жақын жердегі; в) шексіз ұзын зарядталған жіптен $x = 2 \text{ см}$ қашықтықтағы электр өрісі энергиясының W_0 көлемдік тығыздығын табыңдар. Шар мен жазықтықтағы зарядтың беттік тығыздығы $\sigma = 16,7 \text{ мкКл/м}^2$, жіптегі зарядтың сызықтық тығыздығы $\tau = 167 \text{ нКл/м}$. Ортаның диэлектрлік өтімділігі $\varepsilon = 2$.

9.126. Жазық конденсатордың арақашықтығы $d = 3 \text{ см}$ пластина-ларына $U = 1 \text{ кВ}$ потенциалдар айырымы берілген. Пластиналарының арасындағы кеңістік диэлектрикпен ($\varepsilon = 7$)

толтырылған. Мыналарды: 1) байланысқан (поляризацияланған) зарядтардың σ_6 беттік тығыздығын және 2) конденсаторды диэлектрикпен толтырған уақыттағы пластиналардағы зарядтың беттік тығыздығының қаншаға өзгертіндігін табыңдар. Конденсаторды диэлектрикпен толтыру оны: а) кернеу көзінен ағытқанға дейін; б) ағытқаннан кейін орындалады дей отырып, есепті шығарыңдар.

9.127. Жазық конденсатор пластиналарының арасындағы кеңістік диэлектрлік алғырлығы $\kappa = 0,08$ -ге тең диэлектрикпен толтырылған. Конденсатордың пластиналарына $U = 4$ кВ потенциалдар айырымы берілген. Пластиналардағы зарядтың беттік тығыздығын және диэлектриктегі байланысқан зарядтың беттік тығыздығын табыңдар. Пластиналардың араларының қашықтығы $d = 5$ мм.

9.128. Жазық конденсатор пластиналарының арасындағы кеңістік шынымен толтырылған. Пластиналардың арақашықтығы $d = 4$ мм-ге тең. Пластиналарға берілген кернеу $U = 1,2$ кВ. Мыналарды: а) шынының ішіндегі E өрісті; б) конденсатордың пластиналарындағы зарядтың σ_d беттік тығыздығын; в) шыныдағы байланысқан зарядтың σ_6 беттік тығыздығын және г) шынының κ диэлектрлік алғырлығын табыңдар.

9.129. Жазық конденсатордың пластиналарының арасы парафинмен толтырылған. Пластиналарды кернеу көзіне қосқанда парафинге түсірген пластиналардың қысымы $p = 5$ Па-ға тең болды. Мыналарды: а) электр өрісінің E кернеулігі мен парафиндегі D электрлік ығысуды; б) парафиндегі байланысқан зарядтардың σ_6 беттік тығыздығын; в) конденсатор пластиналарындағы зарядтардың σ_d беттік тығыздығын; г) парафин ішіндегі электр өрісінің энергиясының W_0 көлемдік тығыздығын және д) парафиннің κ диэлектрлік алғырлығын табыңдар.

9.130. Жазық конденсатордың пластиналарының арасындағы көлемі $V = 20$ см³ кеңістік диэлектрикпен ($\epsilon = 5$) толтырылған. Конденсатордың пластиналары кернеу көзіне қосылған. Сонда диэлектриктегі байланысқан зарядтардың беттік тығыздығы $\sigma_6 = 8,35$ мкКл/м². Диэлектрикті конденсатордан шығарып алу үшін электр өрісінің күшіне қарсы қандай A жұмыс істелу керек? Есепті: а) диэлектрикті алып тастау кернеу көзі қосылып

тұрғанда жүргізіледі; б) диэлектрикті алып тастау кернеу көзін ағытқаннан кейін жүргізілді деген екі жағдай үшін шығарыңдар.

9.131.* Өтімділігі ε изотропты диэлектриктің кейбір нүктесіндегі ығысу \vec{D} -ға тең. Осы нүктедегі \vec{P} үйектілік (поляризацияланғандық) неге тең?

9.132.* Екі шексіз параллель пластиналар зарядтардың $+\sigma$ және $-\sigma$ беттік тығыздығымен зарядталған. Осыдан кейін пластиналар арасындағы саңылау өтімділігі ε біртекті изотропты диэлектрикпен толтырылады. а) Сонда саңылаудағы өрістің \vec{E} кернеулігі; б) ығысуы \vec{D} ; в) пластиналар арасындағы $\Delta\varphi$ потенциалдар айырымы қалай өзгереді?

9.133.* Өтімділігі $\varepsilon = 2$ -ге тең біртекті және изотропты диэлектриктен жасалған шексіз жазықпараллельді пластина кернеулігі $E_0 = 100$ В/М-ға тең электр өрісінде орналасқан. Пластина \vec{E}_0 -ге перпендикуляр. а) Өрістің E кернеуін, пластина ішіндегі D электрлік ығысуын; б) диэлектриктің P үйектілігін; в) өзара біріктірілген зарядтардың σ' беттік тығыздығын анықтаңдар.

9.134.* Радиусы r , заряды Q шар радиусы R изотропты диэлектрик қабатымен қоршалған. Кабаттың диэлектрлік өтімділігі ε . Кабаттың ішкі және сыртқы беттеріндегі зарядтардың беттік тығыздығын табыңдар. $E(x)$ және $\varphi(x)$ функцияларының шардың центріне дейінгі қашықтыққа тәуелділік графигін сызыңдар.

9.135.* Радиусы r , заряды Q металл шар өтімділігі ε сұйық диэлектриктің қабатымен қоршалған. Диэлектриктің сыртқы радиусы R . Диэлектриктің шарға әрекет ететін қысымын табыңдар.

9.136.* Сыйымдылығы C конденсатордың диэлектриксіз q заряды бар. Егер оны өтімділігі ε диэлектрикпен толтырса, конденсаторда қандай жылу мөлшері бөлінеді?

9.137. Сутек атомының ядросы мен электронның арасындағы тартылу күшін табыңдар. Сутек атомының радиусы $0,5 \cdot 10^{-8}$ см; ядроның заряды шамасы жағынан электронның зарядына тең болады да таңбасы жағынан қарама-қарсы.

9.138. Ауада бір-бірінен 20 см қашықтықта тұрған екі нүктелік заряд кейбір күшпен өзара әрекеттеседі. Әрекет күші өзгермей сақталу үшін зарядтарды майдың ішінде бір-бірінен қандай қашықтықта орналастыру керек?

9.139. Натрий атомының ядросы мен оны атқылайтын протонның арасындағы электростатикалық тебілу күшін есептеп шығарыңдар. Протон натрий атомының ядросына $6 \cdot 10^{-12}$ см қашықтыққа жақындады деп есептендер. Натрий ядросының заряды протонның зарядынан 11 есе үлкен. Натрий атомының электрондық қабықшасына тигізетін әрекеті ескерілмейді.

9.140. Әрқайсысының массасы 0,2 кг екі бірдей зарядталған металдан жасалған шарик бір-бірінен біршама қашықтықта орналасқан. Осы қашықтықта олардың электростатикалық энергиясы олардың өзара гравитациялық энергиясынан миллион есе көп деп алып, шариктердің зарядын табыңдар.

9.141. Зарядталған дискіден (оның центріне түсірілген нормаль бойымен) $a = 5$ см қашықтықта тұрған A нүктедегі электр өрісінің кернеулігін табыңдар. 1) A нүктедегі өрістің шексіз созылған жазық-тықтың өрісінен айырмашылығы 2 пайыздан аспау үшін дискінің радиусының шекті мәні қандай болуы мүмкін? 2) Егер дискінің R радиусы a қашықтықтан 10 есе үлкен болса, онда A нүктедегі өрістің кернеулігі қандай болады? 3) Осы нүктедегі тауып алынған кернеулік шексіз созылған жазықтықтың кернеулігінен неше есе кіші болады?

9.142. Натрийдің қозғалмайтын ядроларын α -бөлшекпен атқылағанда, олардың арасындағы тебу күші 14 кг-ға жетті. α -бөлшектің натрийдің атом ядросына жақындаған ең кіші қашықтығы қандай? α -бөлшектің жылдамдығы қандай? Натрий атомының электрондық қабықшасының әрекетін ескерілмейді.

§ 10. Электр тогы

Ток күші (ток) I сан мәні жағынан уақыт бірлігі ішінде өткізгіштің көлденең қимасынан өтетін электр мөлшеріне тең болады:

$$I = \frac{dq}{dt}.$$

Егер $I = \text{const}$ болса, онда

$$I = \frac{q}{t}.$$

Электр тогының тығыздығы

$$j = \frac{I}{S},$$

мұндағы S — өткізгіштің көлденең қимасының ауданы.

Біртекті өткізгіштің учаскесінен (бөлігінен) өтетін токтың күші Ом заңына бағынады:

$$I = \frac{U}{R},$$

мұндағы: U — учаскенің ұштарындағы потенциал айырымы, R — осы учаскенің кедергісі.

Өткізгіштің кедергісі

$$R = \rho \frac{l}{S} = \frac{l}{\sigma S},$$

мұндағы: ρ — меншікті кедергі, σ — меншікті өткізгіштік, l — ұзындық және S — өткізгіштің көлденең қимасының ауданы.

Металдардың меншікті кедергісінің температураға тәуелділігі:

$$\rho_t = \rho_0(1 + \alpha t),$$

мұндағы: ρ_0 — 0°C температурадағы меншікті кедергі, α — кедергінің температуралық коэффициенті.

Тізбектің учаскесіндегі электр тогының жұмысы мынадай формуламен анықталады:

$$A = IUt = I^2Rt = \frac{U^2}{R}t.$$

Тұйықталған тізбек үшін Ом заңы:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r},$$

мұндағы: \mathcal{E} — генератордың э. қ. күші, R — сыртқы кедергі, r — ішкі кедергі (генератордың кедергісі).

Тізбекте бөлініп шығатын толық қуат

$$P = \mathcal{E}I.$$

Тармақталған тізбектер үшін Кирхгофтың екі заңы бар:

Кирхгофтың бірінші заңы: «Түйінде тоғысатын ток күштерінің алгебралық қосындысы нольге тең»:

$$\sum I_i = 0;$$

Кирхгофтың екінші заңы: «Кез келген тұйық контурда тізбектің жекелеген учаскелеріндегі потенциал түсулерінің алгебралық қосындысы осы контурда кездесетін электр қозғауыш күштердің (э.к.к.) алгебралық қосындысына тең»:

$$\sum I_i R_i = \sum \mathcal{E}_i$$

Кирхгофтың заңдарын қолданғанда мына ережелер басшылыққа алынады: сұлбада кездесетін кедергілердегі токтың бағыттары стрелка арқылы кездейсоқ көрсетіледі. Контурды кездейсоқ бағытпен айналғанда, бағыттары айналу бағытымен бірдей болып келген токтарды оң деп, ал айналу бағытына қарама-қарсы болып келген токтарды теріс деп есептейміз.

Айналу бағытында потенциалды өсіретін э.к.к. оң таңбаланады, яғни сұлбаны айналғанда генератордың ішіндегі ток көзінде минустен плюске қарай жүретін болсақ, онда э.к.к. оң болады. Осылайша құрастырып алынған теңдеулерді шешудің нәтижесінде анықталатын шамалар теріс болып шығуы мүмкін. Ток теріс мәнді болып шықса, онда оның нақты бағыты кездейсоқ алынған бағытқа қарама-қарсы екенін білдіреді.

Электр тогы үшін Фарадейдің екі заңы бар.

Фарадейдің бірінші заңы бойынша электролизде бөлініп шығатын заттың массасы мынаған тең болады:

$$m = KIt = Kq,$$

мұндағы: q — электролит арқылы өтетін электр мөлшері, K — электрохимиялық эквивалент.

Фарадейдің екінші заңы бойынша электрохимиялық эквивалент химиялық эквивалентке пропорционал болады, яғни:

$$K = \frac{1}{F} \frac{A}{Z},$$

мұндағы: A — молярлық масса, Z — валенттілік, $F = 96,48456 \cdot 10^8$ Кл/моль — Фарадей тұрақтысы.

Электролиттің меншікті электр өткізгіштігі мына формуламен анықталады:

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = \alpha C Z F (u_+ + u_-),$$

мұндағы: α — диссоциация дәрежесі, C [моль/м³] — молярлық концентрация, Z — валенттілік, F — Фарадей тұрақтысы, u_+ және u_- [м²/(В с)] — иондардың қозғалғыштығы. Осымен бірге $\alpha = n_o/n$ — көлем бірлігінің ішіндегі диссоциацияланған молекулалар санының осы көлемнің ішінде ерітілген заттың барлық молекулалар санына қатынасын көрсетеді. $\eta = CZ$ [моль/м³] шамасы — эквиваленттік концентрация, $\Lambda = \sigma/\eta$ [м²/(Ом·моль)] — эквиваленттік өткізгіштік деп аталады.

Газда өтетін тығыздығы аз ток үшін Ом заңы:

$$j = qn(u_+ + u_-)E = \sigma E,$$

мұндағы: E — өрістің кернеулігі, σ — газдың меншікті өткізгіштігі, q — ионның заряды, u_+ және u_- — иондардың қозғалғыштығы, n [м⁻³] — газдың көлем бірлігіндегі әр таңбалы иондардың саны (қос иондар саны). Сонымен қатар $n = \sqrt{N/\gamma}$, мұндағы: N [м⁻³ с⁻¹] — уақыт бірлігіндегі көлем бірлігінде иондаушы агенттердің туғызатын иондар қосағының (жұбының) саны, γ [м³/с] — рекомбинация коэффициенті.

Газдағы қаныққан токтың тығыздығы мына формуламен анықталады:

$$j_k = Nqd,$$

мұндағы: d — электродтардың арақашықтығы.

Металл бетінен сыртқа босап шығуы үшін электронның мынадай кинетикалық энергиясы болуы керек:

$$\frac{mv^2}{2} \geq A,$$

мұндағы A — берілген металдан электронның шығу жұмысы.

Термоэлектрондық эмиссиядағы қанығу тогының тығыздығы мына формуламен анықталады:

$$j_n = BT^2 \exp\left(-\frac{A}{kT}\right),$$

мұндағы: T — катодтың термодинамикалық температурасы, A — шығу жұмысы, $k = 1,380662 \cdot 10^{-23}$ Дж/К — Больцман тұрақтысы $B[A/(m^2 \cdot K^2)]$ — әртүрлі металдар үшін түрліше болатын эмиссиялық тұрақты.

10.1. Өткізгіш ішінде I ток күші t уақытқа қарай $I = 4 + 2t$ теңдеуі бойынша өзгереді, мұндағы I — ампермен, ал t — секундпен өлшенеді. $t_1 = 2$ с-тан $t_2 = 6$ с-қа дейінгі уақыт ішінде өткізгіштің көлденең қимасы арқылы өтетін электр мөлшері q қандай болады? Өткізгіштің көлденең қимасынан осындай уақыттың ішінде, осындай ток мөлшері өту үшін I_0 тұрақты токтың күші қандай болу керек?

10.2. Лампалы реостат параллель қосылған бес электр лампасынан тұрады. Реостаттың R кедергілерін: а) лампалардың барлығы да жанып тұрғанда; б) біреуі, екеуі, үшеуін, төртеуі ағытылып тасталғанда табындар. Лампалардың әрқайсысының кедергісі $r = 350$ Ом.

10.3. $t_1 = 20^\circ\text{C}$ -де электр лампасының вольфрамнан жасалған қылсымының кедергісі $R_1 = 35,8$ Ом. Лампаны кернеуі $U = 120$ В электр желісіне қосқанда оның қылсымынан $I = 0,33$ А ток өтеді десек, лампаның қылсымының t_2 температурасы қандай болады? Вольфрамның кедергісінің температуралық коэффициенті $\alpha = 4,6 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$.

10.4. $t_1 = 14^\circ\text{C}$ температурадағы мыс сымнан жасалған катушка орамының кедергісі $R_1 = 10$ Ом. Ток жібергеннен кейін орамның кедергісі $R_2 = 12,2$ Ом-ға тең болды. Орам қандай температураға дейін қыздырылды? Мыстың кедергісінің температуралық коэффициенті $\alpha = 4,15 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$.

10.5. Э. қ. күші $\mathcal{E} = 2$ В элементтің ішкі кедергісі $r = 0,5$ Ом. Тізбектегі ток $I = 0,25$ А болғандағы элементтің ішіндегі U_r потенциал түсуін анықтаңдар. Осындай жағдайларда тізбектің сыртқы кедергісі R қандай болады?

10.6. Элементтің электр қозғаушы күші $\mathcal{E} = 1,6$ В, кедергісі $r = 0,5$ Ом. Тізбектегі ток күші $I = 2,4$ А болғандағы элементтің п. ә. коэффициенті η неге тең?

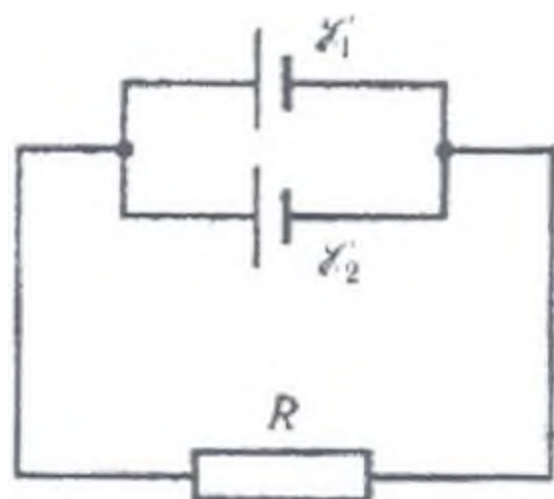
10.7. Элементтің электр қозғаушы күші $\mathcal{E} = 6$ В. Сыртқы кедергі $R = 1,1$ Ом болғанда тізбектегі ток $I = 3$ А-ге тең. Элементтің ішіндегі U_r потенциал түсуін және оның r кедергісін табыңдар.

10.8. Егер элементтің r ішкі кедергісі сыртқы R кедергіден n есе кіші болатын болса, онда элементтің қысқыштарындағы U потенциалдар айырымы элементтің \mathcal{E} э. қ. күшінің қандай үлесіне тең болады? Есепті: а) $n = 0,1$; б) $n = 1$; в) $n = 10$ үшін шығарыңдар.

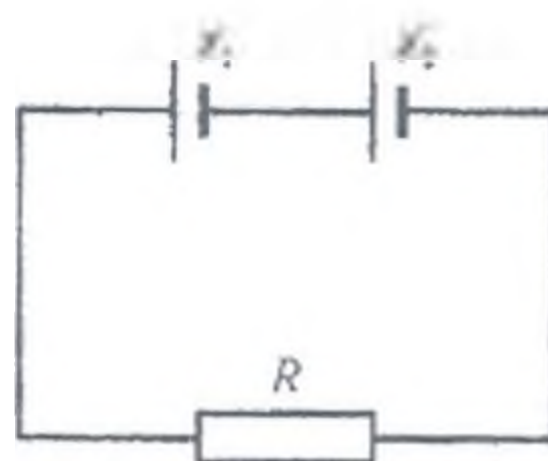
10.9. Элемент, реостат және амперметр тізбектеп қосылған. Элементтің э. қ. күші $\mathcal{E} = 2$ В, ішкі кедергісі $r = 0,4$ Ом. Амперметр $I = 1$ А ток күшін көрсетеді. Элементтің η п. э. коэффициенті қандай?

10.10. Э. қ. күштері $\mathcal{E} = 2$ В, ішкі кедергілері $r = 0,3$ Ом екі бірдей элемент берілген. Егер: а) сыртқы кедергілерді $R = 0,2$ Ом-ға және б) $R = 16$ Ом-ға тең деп алатын болсақ, онда күші үлкен ток алу үшін, осы элементтерді қалай қосу керек (тізбектеп пе немесе параллель ме)? Осы жағдайлардың әрқайсысындағы I токтың күшін есептеп шығарыңдар.

10.11. 72-суретте көрсетілген ішкі кедергілері $r_1 = 1$ Ом, $r_2 = 1,5$ Ом, ал электр қозғаушы күштері бірдей $\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2 = 2$ В болатын параллель қосылған екі элемент $R = 1,4$ Ом сыртқы кедергімен тұйықталған. Осы элементтердің әрқайсысындағы және барлық тізбектегі I ток күшін табыңдар.



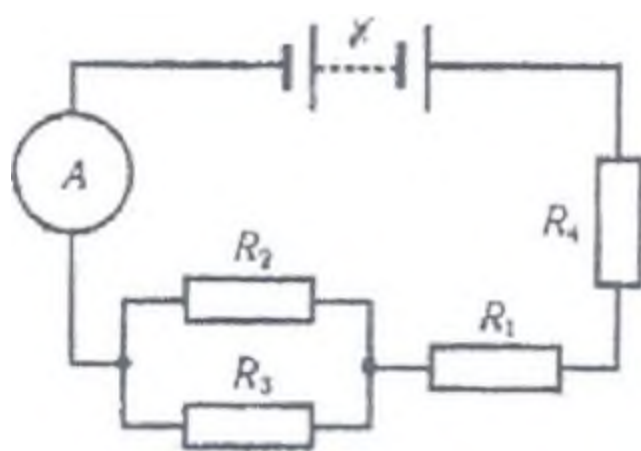
72-сурет



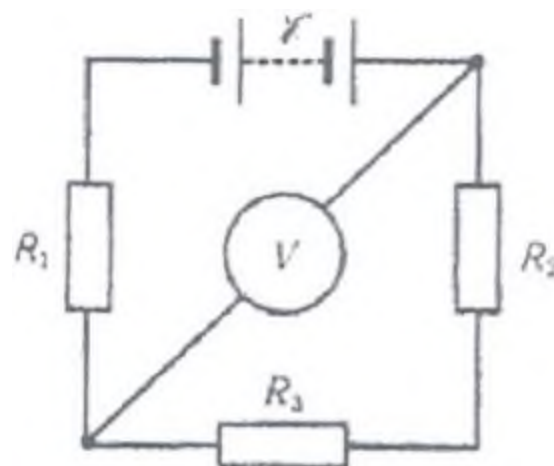
73-сурет

10.12. 73-суретте көрсетілген ішкі кедергілері $r_1 = 1$ Ом, $r_2 = 1,5$ Ом, ал электр қозғаушы күштері бірдей $\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2 = 2$ В болатын параллель қосылған екі элемент $R = 0,5$ Ом сыртқы кедергімен тұйықталған. Әрбір элементтің қысқыштарындағы U потенциалдар айырымын табыңдар.

10.13. 1) Егер батареяның $\mathcal{E} = 10$ В, $r = 1$ Ом және пайдалы әрекет коэффициенті $\eta = 0,8$ болса, онда 74-суреттегі амперметр қандай I ток күшін көрсетеді? 2) Егер R_1 кедергідегі потенциалдың түсуі $U_1 = 4$ В-қа, ал R_4 кедергідегі потенциалдың түсуі $U_4 = 2$ В-қа тең болды десек, R_2 кедергідегі U_2 потенциалдың түсуі неге тең болады?

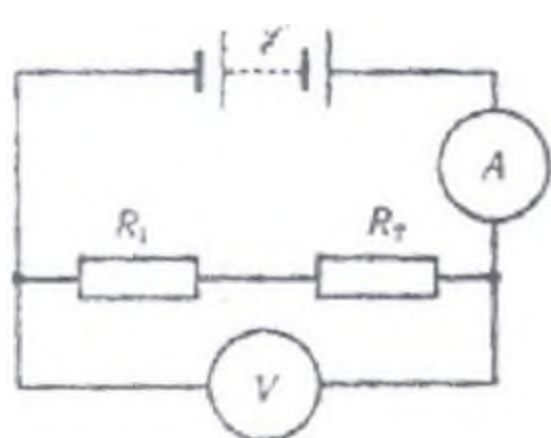


74-сурет

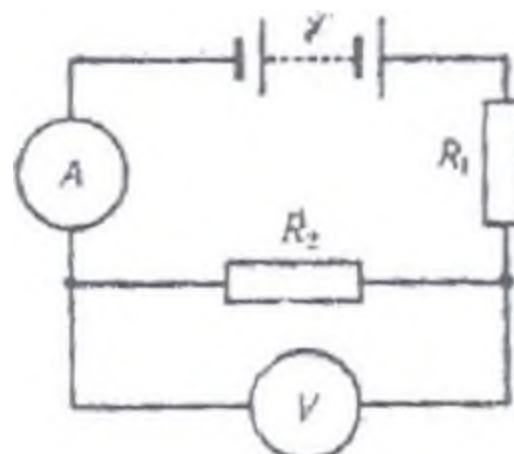


75-сурет

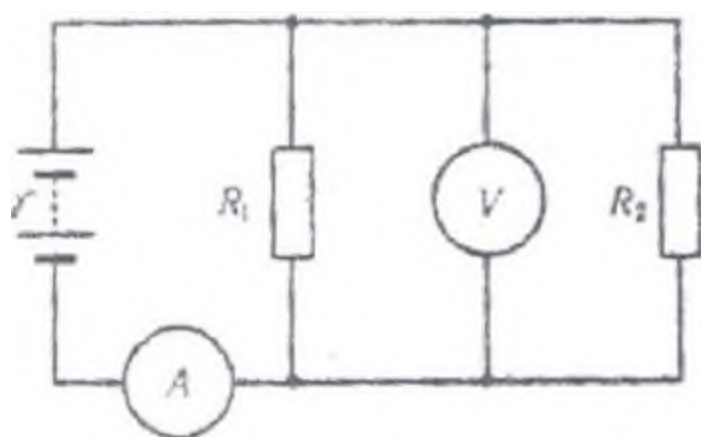
10.14. 75-суреттегі батареяның э.к.к. $\mathcal{E} = 100$ В, $R_1 = 100$ Ом, $R_2 = 200$ Ом және $R_3 = 300$ Ом, ал вольтметрдің кедергісі $R_V = 2$ кОм десек, онда оның көрсететін U потенциалдар айырымы қандай болады? Батареяның кедергісі есепке алынбайды.



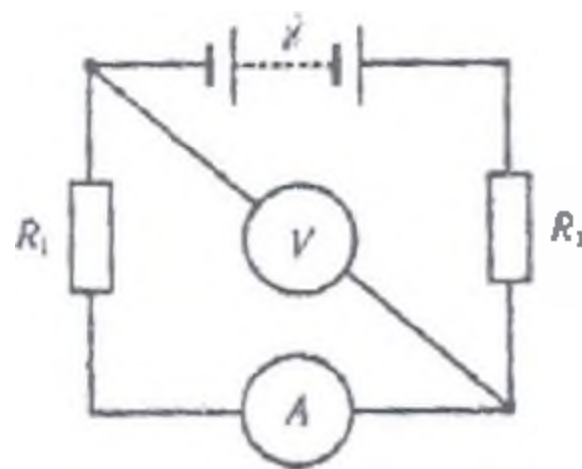
76-сурет



77-сурет



78-сурет



79-сурет

10.15. 76—79-суреттерде бейнеленген амперметр мен вольтметрдің көрсетулерін табыңдар. Вольтметрдің кедергісі $R_V = 1$ кОм, батареяның э. к. күші $\mathcal{E} = 110$ В, $R_1 = 400$ Ом, $R_2 = 600$ Ом.

10.16. Кедергісі $R_A = 0,16$ Ом амперметр $R = 0,04$ Ом кедергімен шунтталған. Амперметрдің көрсетуі $I_0 = 8$ А. Тізбектегі ток күші I неге тең?

10.17. $I = 10$ А дейінгі тоқты өлшеу үшін шкаласы 100 бөлікке бөлінген, кедергісі $R_A = 0,18$ Ом амперметр арналған. Осы амперметрмен $I_0 = 100$ А-ге дейінгі ток күшін өлшеу үшін қандай R кедергі алу керек және оны амперметрмен қалай жалғастырады? Соңғы жағдайда амперметр шкаласы бөліктерінің құны қалай өзгертін болады?

10.18. $U = 30$ В-қа дейінгі потенциалдар айырымын өлшеуге шкаласы 150 бөлікке бөлінген, кедергісі $R_V = 2$ кОм вольтметр арналған. Осы вольтметрмен $U_0 = 75$ В-қа дейінгі потенциалдар айырымын өлшеу үшін қандай R кедергі алу керек және оны вольтметрге қалай жалғастырады? Сонда вольтметр шкаласы бөліктерінің құны қалай өзгертін болады?

10.19. Қуаты $P = 40$ Вт 120-вольттік электр шамы берілген. Электр желісінің кернеуі $U_0 = 220$ В болғанда шамның қалыпты жануы үшін оған тізбектеп қандай қосымша R кедергі жалғастыру керек? Осындай кедергіні алу үшін диаметрі $d = 0,3$ мм нихром сымының неше l метрін алу керек?

10.20. Әрқайсысы 110 В кернеуге есептелінген қуаттары $P_1 = P_2 = 40$ Вт, $P_3 = 80$ Вт үш электр шамы берілген. Электр желісіндегі кернеу $U_0 = 220$ В болған кезде шамдардың қалыпты

қызуу үшін оларды қалай жалғастырудың сұлбасын сызыңдар. Қалыпты қызған шамдардан өтетін I_1 , I_2 , I_3 ток күшін табыңдар.

10.21. Генератордан $l = 100$ м жерде тұрған зертханада $I = 10$ А ток тұтынатын электрлік қыздыру аспабы ток желісіне қосылады. Зертханада жанып тұрған электр шамы қысқыштарындағы U кернеу қаншаға кемиді? Ток таситын мыс сымның қимасы $S = 5 \text{ мм}^2$.

10.22. Э.қ.күші $\mathcal{E} = 500$ В батареядан $l = 2,5$ км қашықтыққа энергия жекізу керек. Пайдаланатын қуат $P = 10$ кВт. Жалғастырушы мыс сымның диаметрін $d = 1,5$ см-ге тең деп, электр желісіндегі қуаттың ең аз ΔP шығынын табыңдар.

10.23. Э. қ. күші $\mathcal{E} = 110$ В-қа тең генератордан $l = 250$ м қашықтыққа энергия беру керек. Пайдаланатын қуат $P = 1$ кВт. Электр желісіндегі қуаттың шығыны 1%-дан аспайтындай жалғастырушы сымдардың ең кіші S қимасын табыңдар.

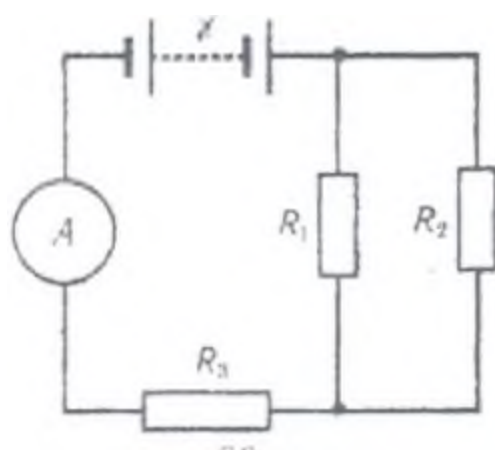
10.24. Тізбекке ұзындықтары мен диаметрлері бірдей мыс және болат сымдары тізбектеліп жалғастырылған. Мыналарды: а) осы сымдарда бөлініп шығатын жылу мөлшерлерінің қатынасын; б) осы сымдардағы кернеу түсулерінің қатынасын табыңдар.

10.25. Э. қ. күші $\mathcal{E} = 6$ В элемент ең үлкен $I = 3$ А ток береді. Сыртқы кедергіде уақыт бірлігінде бөлініп шығатын ең көп Q_t жылу мөлшерін табыңдар.

10.26. Электр қозғаушы күші $\mathcal{E} = 240$ В, ішкі кедергісі $r = 1$ Ом батарея $R = 23$ Ом сыртқы кедергімен тұйықталған. Батарея-ның P_0 толық қуатын, P пайдалы қуатын және η п.э.к-ін табыңдар.

10.27. Элемент әуелі $R_1 = 2$ Ом, сонсоң $R_2 = 0,5$ Ом сыртқы кедергілермен тұйықталады. Осы жағдайлардың әрқайсысында сыртқы тізбекте бөлінетін қуат бірдей $P = 2,54$ Вт-қа тең деп алып, элементтің \mathcal{E} э.қ.к-ін және генератордың ішкі r кедергісін табыңдар.

10.28. Ішкі кедергісі $r = 0,5$ Ом, э. қ. күші $\mathcal{E} = 2$ В элемент R сыртқы кедергімен тұйықталған. Мына шамалардың: 1) тізбектегі I ток күшінің; 2) сыртқы тізбектегі U потенциал айырымының; 3) пайдалы P қуаттың және 4) толық P_0 қуаттың R кедергіге тәуелділігінің графигін салыңдар. R кедергінің мәндерін $0 \leq R \leq 4$ Ом шегінде әрбір $0,5$ Ом сайын алыңдар.



80-сурет

10.29. Э.к. күші \mathcal{E} ішкі кедергісі r элемент сыртқы R кедергімен тұйықталған. Сыртқы тізбекте бөлінетін ең жоғарғы қуат $P = 9$ Вт. Осы кездегі тізбектегі ток $I = 3$ А. Элементтің \mathcal{E} э.к. күші мен r ішкі кедергісін анықтандар.

10.30. 80-суреттегі сұлбадан амперметрдің I көрсетуін табындар. Батареяның э. к. күші $\mathcal{E} = 100$ В, ішкі кедергісі $r = 2$ Ом. Кедергілер $R_1 = 25$ Ом және $R_2 = 78$ Ом. Кедергі R_1 -де бөлініп шығатын қуат $P_1 = 16$ Вт.

10.31. A және B нүктелерінің арасындағы потенциалдар айырымы $U = 9$ В. Екі өткізгіштің кедергілері $R_1 = 5$ Ом және $R_2 = 3$ Ом. A мен B нүктелерінің арасындағы өткізгіштер: а) тізбектеліп; б) параллель қосылған болса, уақыт бірлігінде әрбір өткізгіште қанша Q_τ жылу бөлінеді?

10.32. $W = 3$ гВт·сағ электр энергиясын жұмсап қандай V көлемдегі суды қайнатуға болады? Судың бастапқы температурасы $t_0 = 10^\circ\text{C}$.

10.33. Егер $V = 1$ л су $\tau = 5$ мин ішінде қайнайтын болса, онда электр шайнегінің қыздырғышы қанша P қуат жұмсайды? Егер электр желісіндегі кернеу $U = 120$ В болса, онда жылытқыштың R кедергісі қандай болады? Судың бастапқы температурасы $t_0 = 13,5^\circ\text{C}$.

10.34. Электр шайнегінің екі қыздырғышы бар. Оның бірін токқа қосқанда шайнектің ішіндегі су $\tau_1 = 15$ минутта қайнайды, ал екіншісін қосқаннан $\tau_2 = 30$ минутта қайнайды. Егер екеуін бірдей токқа а) тізбектеп немесе б) параллель коссак, онда шайнектегі су қанша τ уақытта қайнар еді?

10.35. Температурасы $t_0 = 23^\circ\text{C}$ $V = 4,5$ л суды қайнату үшін $W = 0,5$ кВт·сағ электр энергиясы жұмсалады. Жылытқыштың п. э. коэффициенті η неге тең?

10.36. Қыздырғышының кедергісі $R = 16$ Ом, ішінде $t_0 = 9^\circ\text{C}$ температурада $V = 600$ см³ суы бар электр шайнегі токтан

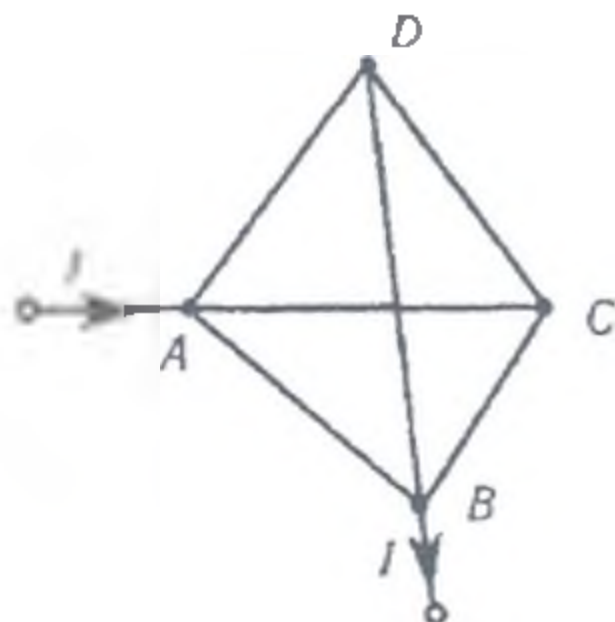
ажыратылмай ұмыт қалған. Шайнекті токқа косқан соң қанша τ уақыттан кейін оның ішіндегі су қайнап сарқылады? Электр желісіндегі кернеу $U = 120$ В. Шайнектің п.э. к-і $\eta = 60\%$.



81-сурет

10.37. Сынапты-диффузионды сорғышта әрбір уақыт бірлігінде сынаптың $m_\tau = 100$ г/мин массасы буға айналады. Егер қыздырғышы кернеуі $U = 127$ В электр желісіне қосылған болса, онда оның R кедергісі неге тең болу керек? Сынаптың меншікті булану жылуы $q = 296$ кДж/кг.

10.38.* Бес бірдей өткізгіштен тұратын тізбекке 81-суретте үзілісті сызықтармен көрсетілгендей тағы сондай екі өткізгішті қоссақ, онда тізбектің кедергісі қалай өзгереді?



82-сурет

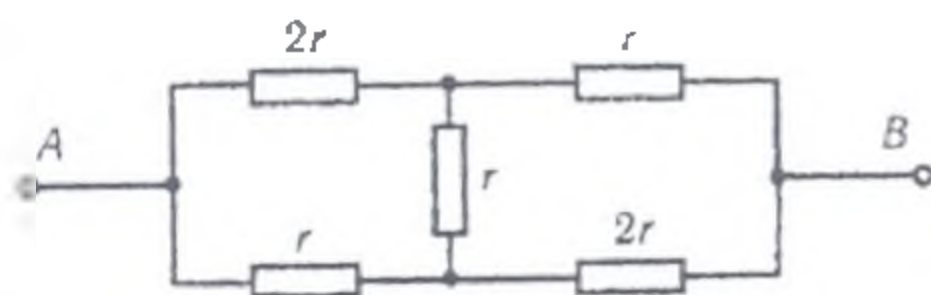
10.39.* Тетраэдр түрінде сымнан жасалған қаңқа тұрақты токтың көзіне 82-суреттегідей қосылған. Барлық қырларының кедергісі бірдей және R -ге тең. Бүкіл тізбектің кедергісін анықтаңдар. Қаңқаның қай қырын алып тастағанда тізбектегі ток ең үлкен өзгеріске ұшырайды? Осы токтың ең үлкен өзгерісі ΔI_{\max} неге тең? Қысқыштардағы U кернеуді белгілі деп есептендер.

10.40.* Қаңқа сандары шексіздікке ұмтылатын бір-біріне сұғына орналасқан теңқабырғалы үшбұрыштардан жасалған (әр үшбұрыштың қабырғаларының ортасы келесі үшбұрыштың төбесі болады). Кез келген қабырғаның кедергісі оның ұзындығына пропорционал, ал сыртқы үшбұрыш қабырғасының кедергісі R . Сыртқы үшбұрыштың ток көзі қосылған екі төбесінің аралығындағы тізбектің кедергісін табыңдар.

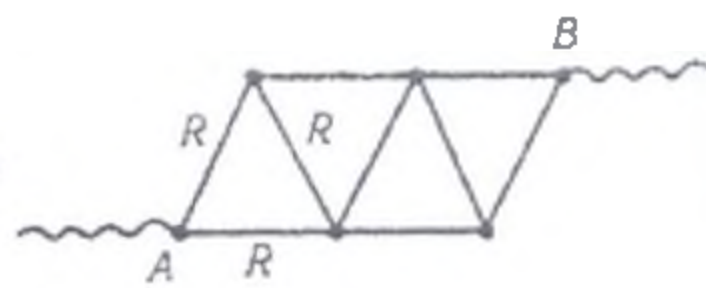
10.41.* Резисторлар сұлбасы саны шексіз болатын бөлімшелерден тұрады (83-сурет). Алдыңғы бөлімше резисторларының

кедергісі келесі бөлімше резисторларының кедергісінен K есе өзгеше болады. Егер 1-ші бөлімшедегі кедергілер R_1 және R_2 болса, A және B нүктелерінің арасындағы R_{AB} кедергісін табындар.

10.42.* Кернеу A және B нүктелеріне берілген кездегі куб формасындағы сымнан жасалған қаңканың кедергісін анықтаңдар (84-сурет). Кубтың әрбір қабырғасының кедергісі R -ге тең.



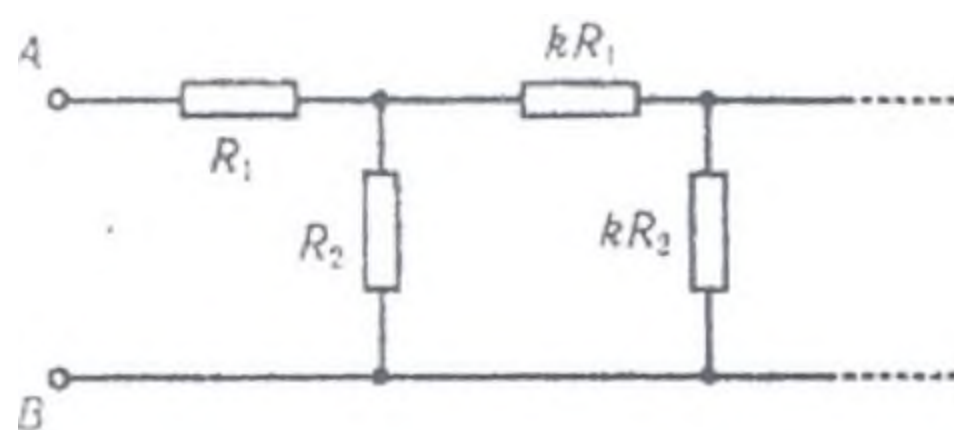
83-сурет



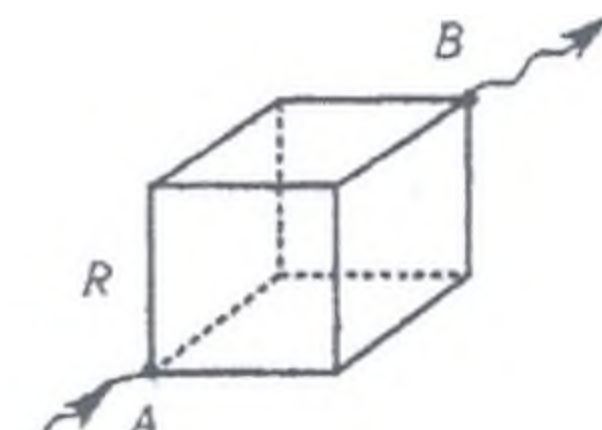
84-сурет

10.43.* A және B нүктелерінің арасындағы R_{AB} кедергісін табындар (85-сурет). Барлық бұтағының кедергілері сұлбада көрсетілген.

10.44.* Кирхгоф заңын пайдаланып, әрқайсысының кедергісі R тоғыз бірдей сымдардан құрастырылған тізбектің A және B нүктелерінің арасындағы кедергісін табындар (86-сурет).



85-сурет

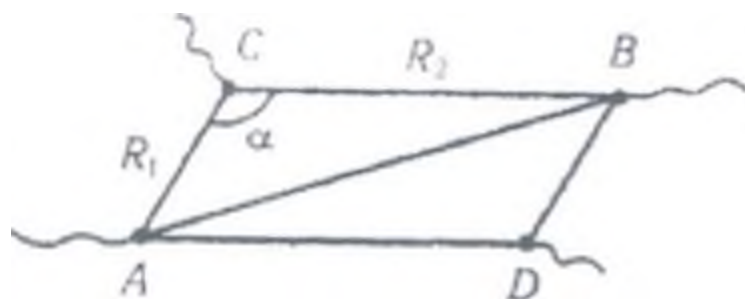


86-сурет

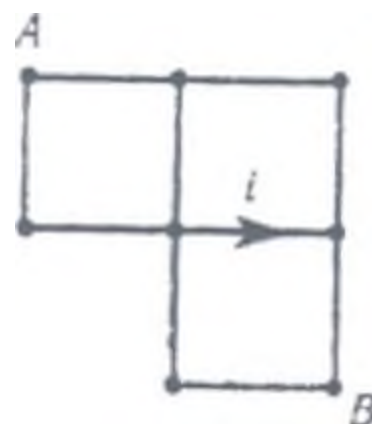
10.45.* Егер кернеу мына аралықтарға (87 сурет): а) A және B нүктелерінің арасына; б) C және D нүктелерінің арасына берілсе, онда параллелограмм түрінде сымнан құрастырылған қаңканың кедергісі қандай? Параллелограммның қабырғаларының кедергілері R_1 және R_2 , ал олардың арасындағы бұрыш φ -ға тең.

10.46.* Ұяшықтың әрбір (88-сурет) қабырғасындағы токты, A түйінінен B түйініне дейінгі толық ток күшін және осы

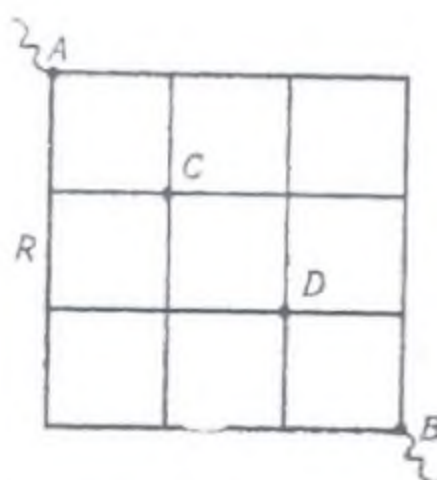
түйіндердің арасындағы кедергіні анықтандар. Ұяшықтың әрбір қабырғасының кедергісі R , ал оның қабырғаларының бірінде ағатын ток i .



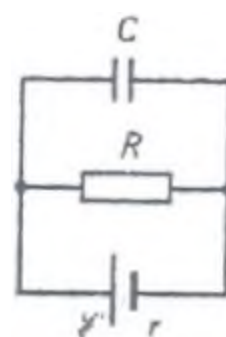
87-сурет



88-сурет



89-сурет



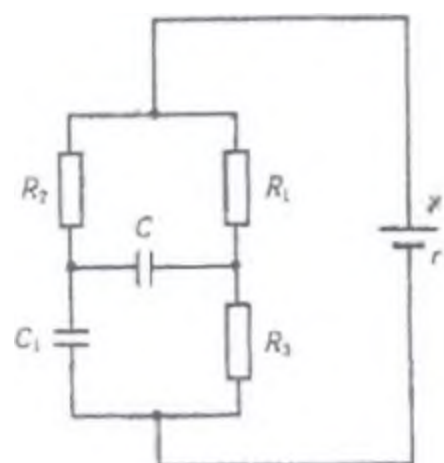
90-сурет

10.47.* Квадрат түрінде сымнан жасалған қаңқаның A және B нүктелерінің арасындағы кедергісін табындар (89-сурет). Әрбір қабырғасының кедергісі R . C және D нүктелерінің арасындағы кедергі қандай болады?

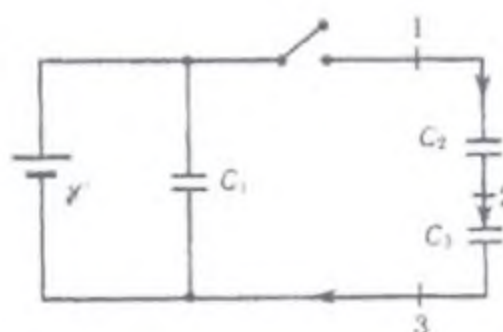
10.48.* Егер $\mathcal{E} = 5$ В, ток көзінің кедергісі $r = 1$ Ом, кедергі $R = 4$ Ом болса, 90-суретте көрсетілген конденсатордағы зарядты табындар. Конденсатордың электрсійымдылығы $C = 20$ мкФ.

10.49.* 91-суретте көрсетілген сұлбадағы электрсійымдылығы C конденсатордың заряды мен кернеуін анықтандар. Ток көзінің э.қ.к-і $\mathcal{E} = 2$ В, $r = 2$ Ом, $R_1 = 1$ Ом, $R_2 = 2$ Ом, $R_3 = 3$ Ом, $C = 10$ мкФ, $C_1 = 20$ мкФ.

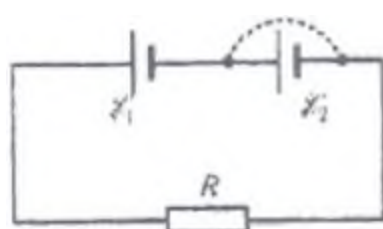
10.50.* 92-суреттегі сұлбада $\mathcal{E} = 100$ В, $C_1 = 1$ мкФ, $C_2 = 2$ мкФ, $C_3 = 3$ мкФ. Алғашында K_1 кілті тұйықталады. Сосын оны айырып, K_2 кілтін тұйықтайды. 1, 2 және 3 қималары арқылы стрелкалармен көрсетілген бағытта қандай q_1 , q_2 және q_3 зарядтары ағады?



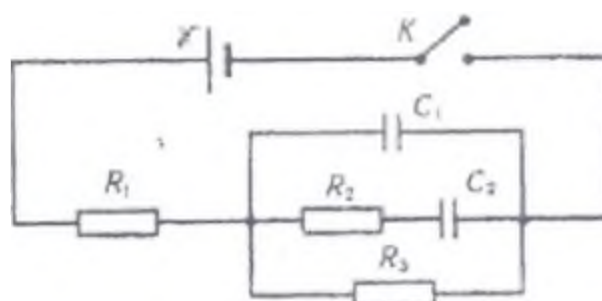
91-сурет



92-сурет



93-сурет



94-сурет

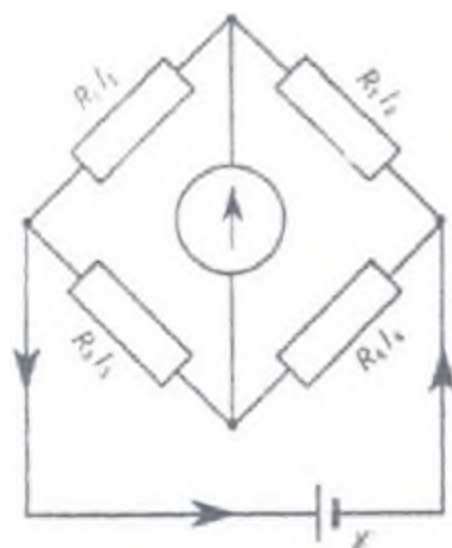
10.51.* Егерде 93-суретте көрсетілгендей етіп ток көздерінің біреуін, мысалы, \mathcal{E}_2 э.к. күшін қысқа тұйықтаса, резистор арқылы ағатын ток күші ұлғаяды ма? \mathcal{E}_1 , \mathcal{E}_2 , R – берілген.

10.52.* 94-суреттегі: 1) K кілтін қосқан алғашқы сәтте және 2) көп уақыт өткен соң батарея арқылы ағатын ток күшін табындар. Элементтің барлық шамалары (параметрлері) берілген деп есептеңдер.

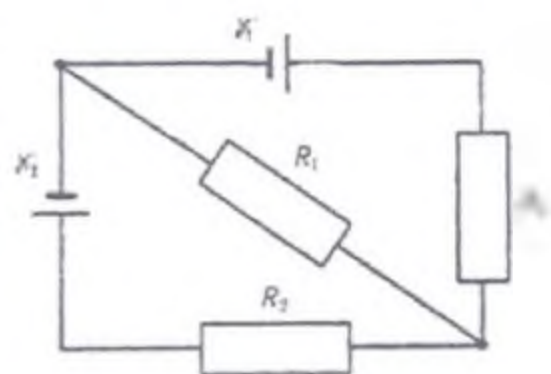
10.53. Гальвонометр арқылы $I_g = 0$ тогы жүреді деп есептеп, Уитсон көпірінің (95-сурет) жеке бұтағындағы I_1 тогын табындар. Элементтің э.к.күші $\mathcal{E} = 2$ В, кедергілері $R_1 = 30$ Ом, $R_2 = 45$ Ом, $R_3 = 200$ Ом.

10.54. 96-суреттегі сұлбадағы элементтердің э. к. күші $\mathcal{E}_1 = 2,1$ В, $\mathcal{E}_2 = 1,9$ В, кедергілер $R_1 = 45$ Ом, $R_2 = 10$ Ом және $R_3 = 10$ Ом. Тізбектің барлық бөліктеріндегі I ток күштерін табындар.

10.55. Егер параллель жалғастырылған екі элементтің э. к. күштері $\mathcal{E}_1 = 1,4$ В және $\mathcal{E}_2 = 1,2$ В, ішкі кедергілері $r_1 = 0,6$ Ом және $r_2 = 0,4$ Ом болса, онда олардың қысқыштарындағы потенциалдар айырымы U қандай болады?



95-сурет



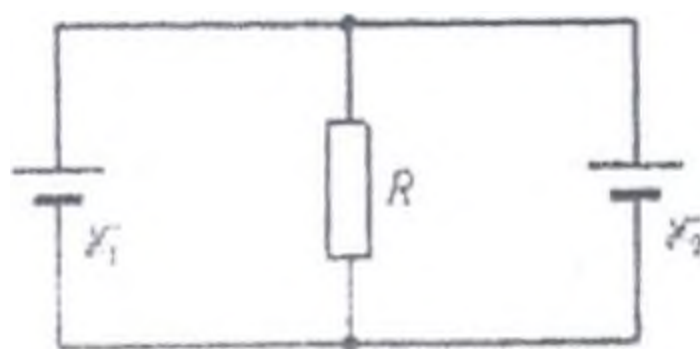
96-сурет

10.56. Электр қозғаушы күштері бірдей $\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2 = 2$ В (97-сурет) екі элемент R сыртқы кедергімен тұйықталған. Элементтердің ішкі кедергілері $r_1 = 1$ Ом және $r_2 = 2$ Ом. Егер \mathcal{E}_1 арқылы өтетін ток күші $I_1 = 1$ А. \mathcal{E}_2 арқылы өтетін I_2 ток күшін табындар. Кедергі R арқылы қандай I ток өтеді?

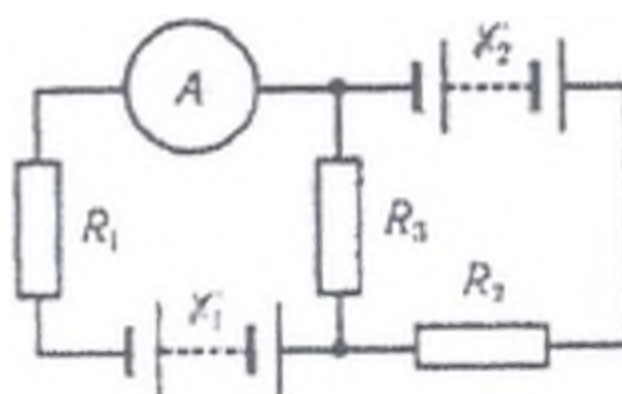
10.57. Алдыңғы есепті $\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2 = 4$ В, $r_1 = r_2 = 0,5$ Ом және $I_1 = 2$ А болады деп шығарындар.

10.58. 98-суреттегі $\mathcal{E}_1 = 110$ В, $\mathcal{E}_2 = 220$ В, $R_1 = R_2 = 100$ Ом, $R_3 = 500$ Ом. Амперметрдің көрсетуін анықтаңдар.

10.59. Батареялардың э.к.күші $\mathcal{E}_1 = 2$ В, $\mathcal{E}_2 = 4$ В, кедергісі $R_1 = 0,5$ Ом (98-сурет). R_2 кедергідегі потенциалдың түсуі $U_2 = 1$ В (ток R_2 арқылы онна солға бағытталған). Амперметрдің көрсетуін табындар.



97-сурет

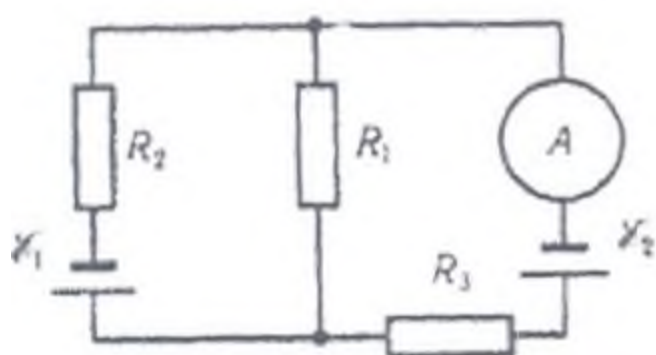


98-сурет

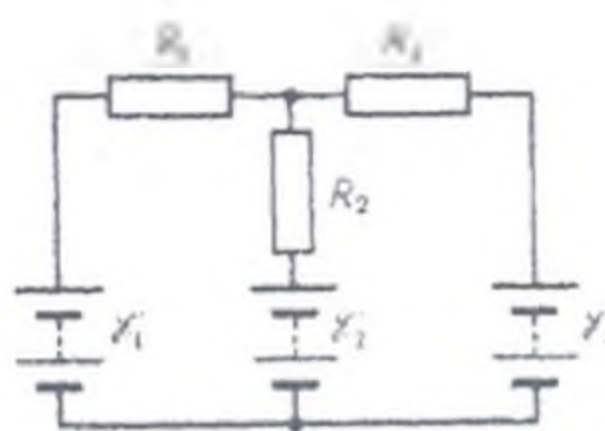
10.60. 98-суреттегі батареялардың э.к. күші $\mathcal{E}_1 = 30$ В, $\mathcal{E}_2 = 5$ В, кедергілері $R_1 = 10$ Ом, $R_3 = 20$ Ом. Амперметр арқылы өтетін $I = 1$ А ток R_3 -тен R_1 -ге бағытталған. R_2 кедергіні табыңдар.

10.61. Батареялардың э.к. күші $\mathcal{E}_1 = 2$ В, $\mathcal{E}_2 = 1$ В, кедергілер $R_1 = 1$ кОм, $R_2 = 0,5$ кОм, $R_3 = 0,2$ кОм, амперметрдің кедергісі $R_A = 0,2$ кОм (99-сурет). Амперметрдің көрсетуін табыңдар.

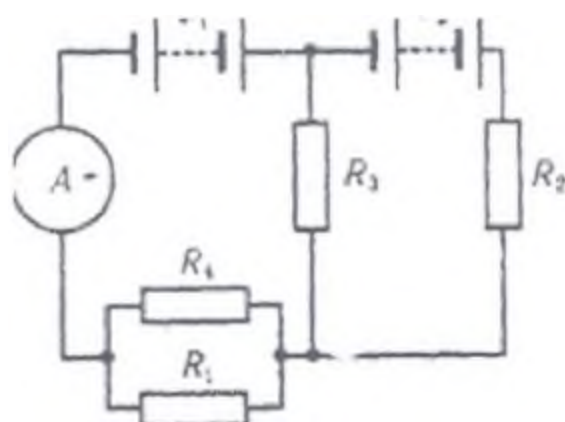
10.62. Батареялардың э.к. күші $\mathcal{E}_1 = 2$ В, $\mathcal{E}_2 = 3$ В, кедергі $R_3 = 1,5$ кОм, амперметрдің кедергісі $R_A = 0,5$ кОм (99-сурет). R_2 кедергідегі потенциалдардың түсуі $U_2 = 1$ В-қа тең (ток R_2 арқылы жоғарыдан төмен карай бағытталған). Амперметрдің көрсетуін табыңдар.



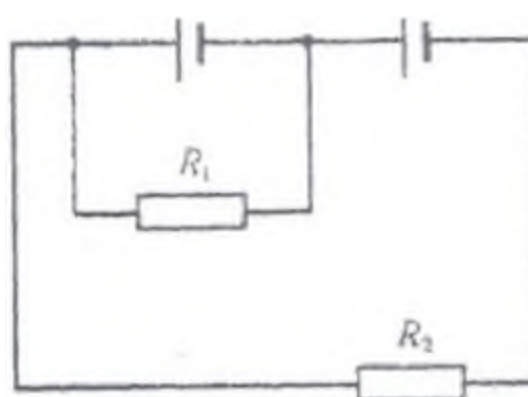
99-сурет



100-сурет



101-сурет



102-сурет

10.63. Батареялардың э.к.күші $\mathcal{E}_1 = 2$ В, $\mathcal{E}_2 = 4$ В, $\mathcal{E}_3 = 6$ В, кедергілер $R_1 = 4$ Ом, $R_2 = 6$ Ом, $R_3 = 8$ Ом (100-сурет). Тізбектің барлық бөліктеріндегі I_i ток күштерін табыңдар.

10.64. Батареялардың э.к.күші $\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2 = \mathcal{E}_3 = 6$ В, кедергілер $R_1 = 20$ Ом, $R_2 = 12$ Ом (100-сурет). Батареяның теріс қысқышымен сұлбаның жоғарғы түйіні қысқа тұйықталғанда тұйықтағыш сым арқылы $I = 1,6$ А ток жүреді. Тізбектің барлық бөліктеріндегі I_i ток күшін және R_3 кедергіні табыңдар.

10.65. 100-суретте көрсетілген сұлбада I_1 және I_3 ток күштері оңнан солға, ал I_2 – жоғарыдан төмен бағытталған. R_1, R_2 және R_3 кедергілеріндегі потенциалдардың түсуі бірдей $U_1 = U_3 = 2U_2 = 10$ В. Егер $\mathcal{E}_1 = 25$ В болса, онда \mathcal{E}_2 және \mathcal{E}_3 э.к.күштерін табыңдар.

10.66. Батареялардың э.к.күші $\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2 = 100$ В, $R_1 = 20$ Ом, кедергілер $R_2 = 10$ Ом, $R_3 = 40$ Ом, $R_4 = 30$ Ом (101-сурет). Амперметрдің көрсетуін табыңдар.

10.67. Батареялардың э.к.күші $\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2$, кедергілер $R_1 = R_3 = 20$ Ом, $R_2 = 15$ Ом, $R_4 = 30$ Ом (101-сурет). Амперметр арқылы жоғарыдан төмен бағытталған $I = 1,5$ А ток күші өтеді. R_2, R_3 кедергілері арқылы өтетін I_2, I_3 ток күштерін және \mathcal{E}_1 және \mathcal{E}_2 э.к.күштерін табыңдар.

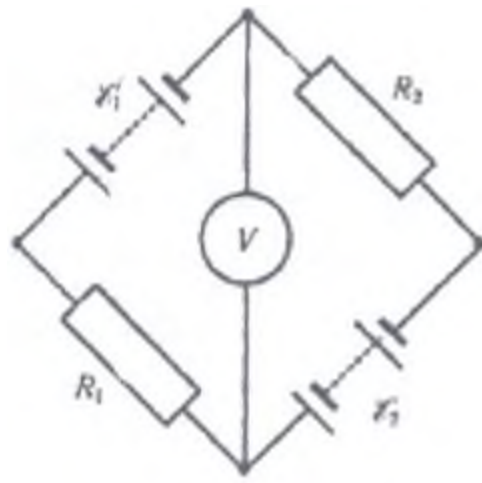
10.68. 102-суреттегі сұлбада э. к. күштері бірдей $\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2 = 2$ В және кедергілері де бірдей $r_1 = r_2 = 0,5$ Ом екі элемент берілген. $R_1 = 0,5$ Ом, $R_2 = 1,5$ Ом кедергілер арқылы өтетін I_1 және I_2 ток күштерін, элемент \mathcal{E}_1 арқылы өтетін I ток күшін табыңдар.

10.69. Батареялардың э.к.күші $\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2$, кедергілер $R_2 = 2R_1$ (103-сурет). Вольтметр арқылы ағатын ток R_2 арқылы өтетін токтан неше есе үлкен?

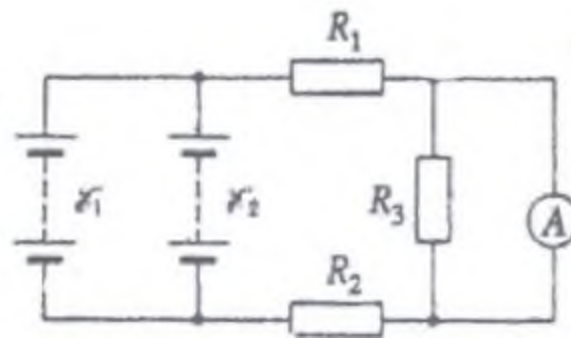
10.70. Батареялардың э.к.күші $\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2 = 100$ В, кедергілер $R_1 = R_2 = 0,2$ кОм, вольтметрдің кедергісі $R_V = 1$ кОм (103-сурет). Вольтметрдің көрсетуін табыңдар.

10.71. Батареялардың э.к.күші $\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2$, кедергілері $R_1 = R_2 = 100$ Ом, вольтметрдің кедергісі $R_V = 150$ Ом (103-сурет). Вольтметрдің көрсетуі $U = 150$ В. Батареялардың \mathcal{E}_1 және \mathcal{E}_2 э.к.күштерін табыңдар.

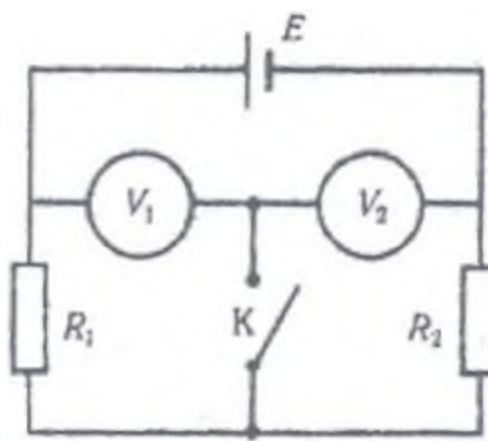
10.72. Элементтердің э.к.күші $\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2 = 1,5$ В, ішкі кедергілері $r_1 = r_2 = 0,5$ Ом, кедергілері $R_1 = R_2 = 2$ Ом, $R_3 = 1$ Ом, амперметрдің кедергісі $R_A = 3$ Ом (104-сурет). Амперметрдің көрсетуін табыңдар.



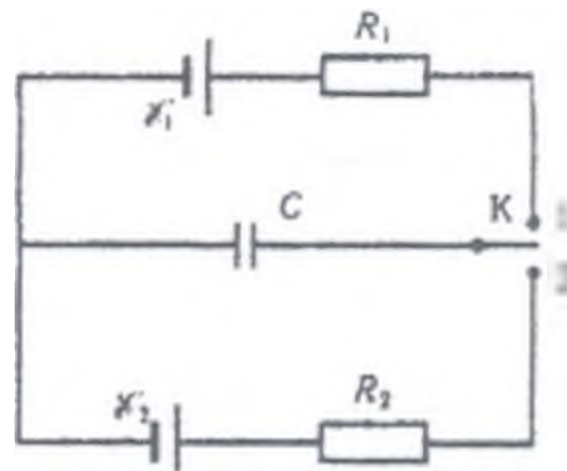
103-сурет



104-сурет



105-сурет



106-сурет

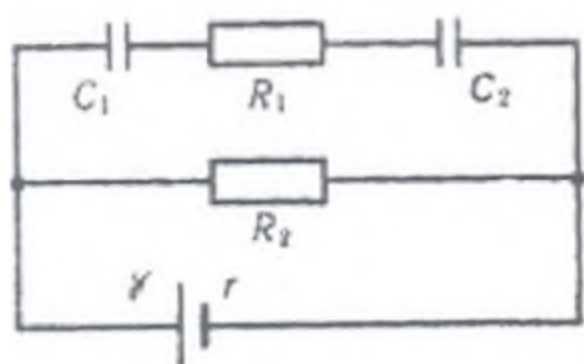
10.73. Элементтің э.к.күші $\mathcal{E} = 200$ В, кедергілер $R_1 = 2$ кОм, $R_2 = 3$ кОм, вольтметрдің кедергілері $R_{V_1} = 3$ кОм, $R_{V_2} = 2$ кОм (105-сурет). Кілт K а) қосылып және б) ашық тұрғандағы вольтметрлердің V_1 және V_2 көрсеткіштерін табыңдар. Есепті Кирхгоф заңын пайдаланып шешіңдер.

10.74.* Конденсатор зарядының өзгерісі өте аз болатындай етіп, K кілтін кезек-кезек әр контактпен аз уақытқа тұйықтайды (106-сурет). Конденсаторда қандай $q_{\text{қал}}$ заряд қалыптасады?

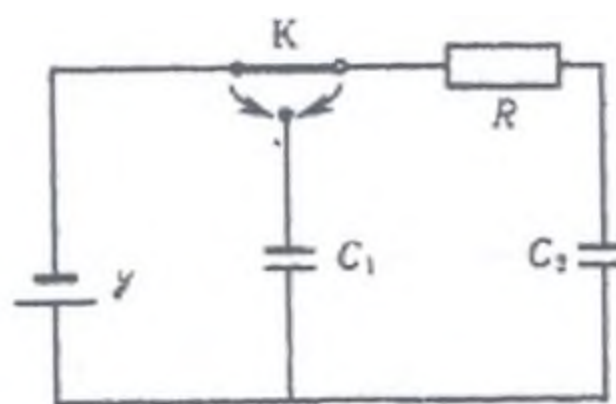
10.75.* Сыйымдылықтары C_1 және C_2 болатын конденсаторлардағы кернеуді табыңдар (107-сурет). Резисторлардың кедергілері R_1 және R_2 , ток көзінің э.к.күші \mathcal{E} , ішкі кедергісі r .

10.76.* 108-суреттегі сұлбаның K кілті қайыра тұйықтаған кезде резисторде бөлінетін Q жылу мөлшерін анықтандар. Сұлбадағы барлық параметрлер берілген деп есептендер.

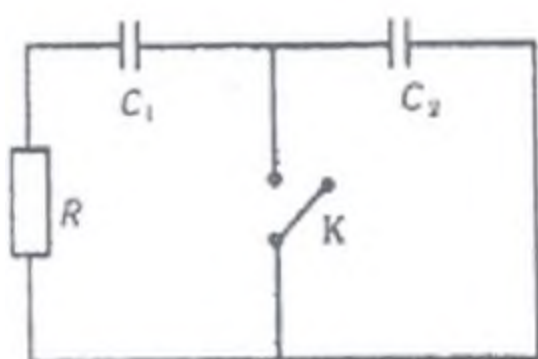
10.77.* Сыйымдылығы C_1 конденсатор кедергісі R резистор арқылы разрядталады (109-сурет). Разрядтын ток күші I_0 мәніне жеткенде K кілтін ашады. Осы кезден бастап резисторде бөлінетін Q жылу мөлшерін табыңдар.



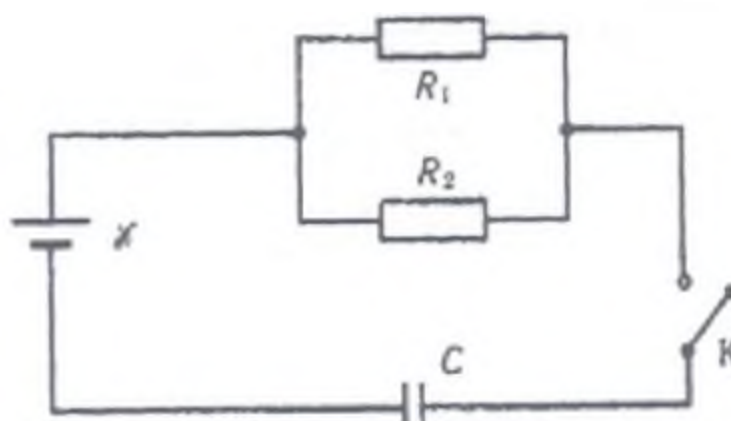
107-сурет



108-сурет



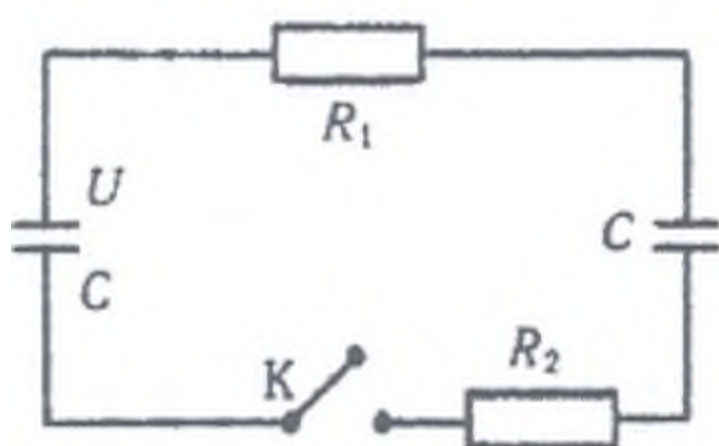
109-сурет



110-сурет

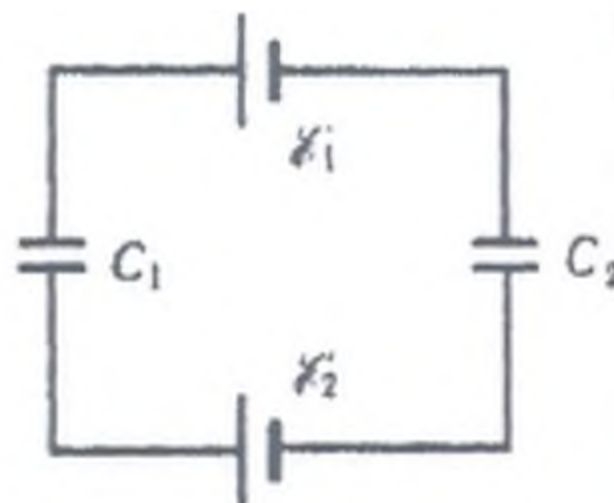
10.78.* 110-суреттегі сыйымдылығы C конденсатор зарядталмаған. K кілтін бірсыпыра уақытқа тұйықтаған кезде конденсатордағы кернеу U мәніне дейін төмендейді. Осы уақыт ішінде резистордағы R_2 кедергісінен бөлінетін Q жылу мөлшерін табындар. Ток көзінің э.к.күші \mathcal{E} -ге тең, ал оның ішкі кедергісі есепке алынбайды.

10.79.* Кілтті тұйықтағаннан кейін әрбір резисторда бөлінетін жылу мөлшерін анықтаңдар. Бірінші конденсатор U кернеуіне дейін зарядталған, ал екіншісі зарядталмаған (111 сурет).

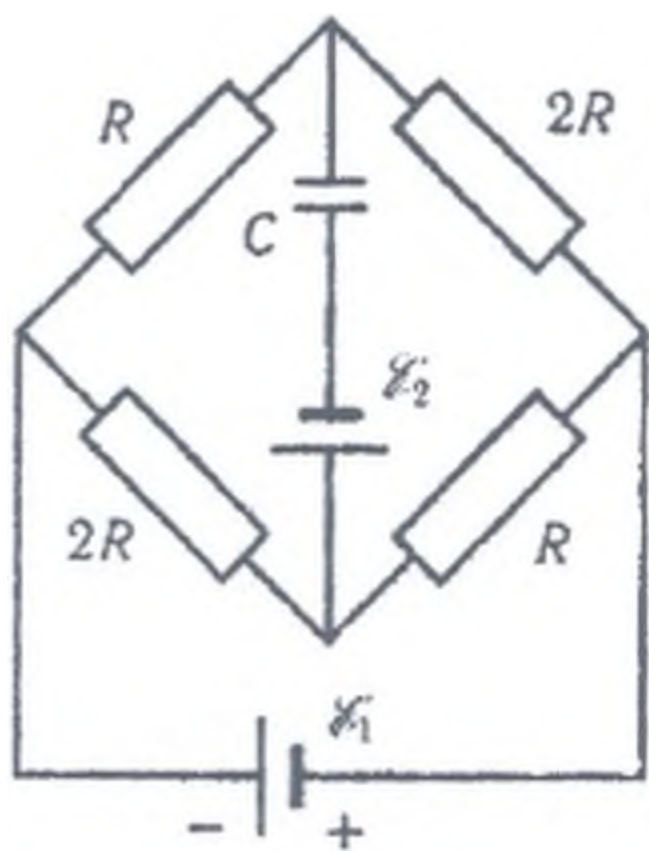


111-сурет

111-сурет



112-сурет



113-сурет

10.80.* Конденсаторлардағы U_1 , U_2 кернеулерін табындар (112-сурет). $\mathcal{E}_1 = 12$ кВ, $\mathcal{E}_2 = 13$ кВ, $C_1 = 3$ мкФ, $C_2 = 7$ мкФ.

10.81.* 113-сурет сұлбасындағы C конденсатордағы потенциалдар айырымын табындар. Номиналдар шамалары берілген. C конденсаторының жоғарғы пластинасындағы заряд $\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2$ болғанда қандай таңбалы болады?

10.82.* Ішкі кедергісі $r = 0,08$ Ом аккумулятор ток күші 4 А болған кезде сыртқы тізбекке 8 Вт қуат береді. Ток күші 6 А болғанда аккумулятор сыртқы тізбекке қандай қуат береді?

10.83.* Батареяға қосылған кедергісі R_1 резисторда шығындалатын қуат W -ға тең. Егер R_1 кедергісін R_2 -ге алмастырғанда оның W қуаты өзгермесе, батареяның э.к.күші қандай болады?

10.84.* Қуаты W_0 генератордың электрэнергиясы тұтынушыға жалпы кедергісі r -ге тең болатын сым арқылы беріледі. Генератордың э.к.күші \mathcal{E} . Осы желінің п.э.коэффициентін, яғни тиімді жүктемеде бөлінген қуаттың генератор қуатына қатынасын анықтандар. Генератордың ішкі кедергісі есепке алынбайды.

10.85.* Генератордан берілетін қуат тұрақты сақталатын болса, қуаттың шығынын (берілетін сымдардағы) 100 есе азайту үшін қуат көзінің кернеуін қанша есе көбейту керек?

10.86.* Электр желісінің кедергісі 300 Ом. Осы желі арқылы тұтынушыға 25 кВт қуат берілгенде, желідегі шығын 4%-дан аспау үшін генератор кернеуі қандай болу керек?

10.87.* Электр желісінің кірісіне $U_1 = 10$ кВ кернеуде біршама қуат беріледі, желінің п.э.коэффициенті $\eta_1 = 80\%$. Оның п.э.коэффициентін $\eta_2 = 95\%$ -ға дейін өсіру үшін желідегі

кернеуді қандай U_2 шамасына жеткізу керек? Қуаттың тұрақтылығы: а) желінің кірісінде, б) пайдалы жүктемеде сақталатын жағдайларды қарастырыңдар.

10.88.* Электр плиткасы спиралінің жылулық қуаты осы спираль мен бөлме температураларының айырымына $N = k(T - T_0)$ теңдеуіне сәйкес сызықтық тәуелділікте болады. Спиральдің кедергісі де осы айырмаға сызықтық тәуелділікте болады: $R = R_0 [1 + \alpha(T - T_0)]$, мұндағы R_0 – бөлме температурасындағы спиральдің кедергісі. Осы спираль арқылы I ток күшін өткізгенде ол қандай температураға дейін қызады?

10.89. Мыс купоросының электролизінде қанша τ уақытта ауданы $S = 25 \text{ см}^2$ мыс пластинкасының (катодтың) массасы $\Delta m = 99 \text{ мг}$ -ға дейін өседі? Пластика бетінде пайда болған мыс қабатының d қалыңдығын табыңдар. Токтың тығыздығы $j = 200 \text{ А/м}^2$.

10.90. Мыс купоросының электролизі кезінде $\tau = 1$ сағ ішінде $m = 0,5 \text{ г}$ мыс бөлініп шығады. Әр электродтың ауданы $S = 75 \text{ см}^2$. Токтың j тығыздығын табыңдар.

10.91. Сутекнің K электрохимиялық эквивалентін табыңдар.

10.92. AgNO_3 ерітіндісі бар электролиттік ваннаға тізбектеп қосылған амперметр $I = 0,90 \text{ А}$ ток күшін көрсетеді. Егер $\tau = 5$ мин уақыт ток өткенінде $m = 316 \text{ мг}$ күміс бөлініп шыкса, онда амперметрдің көрсетуі дұрыс бола ма?

10.93. Ішінде AgNO_3 және CuSO_4 ерітінділері бар екі электролиттік ванна тізбектеп қосылған. $m_1 = 180 \text{ мг}$ күміс бөлініп шығатын уақытта қанша m_2 мыс бөлініп шығады?

10.94. Al_2O_3 ерітіндісінен электролиз арқылы алюминий шығарып алған кезде балқытылған криолиттен $I = 20 \text{ кА}$ ток өтті. Осы уақыттағы электродтардағы потенциал айырымы $U = 5 \text{ В}$ болды. 1) Қанша уақытта $m = 1 \text{ т}$ алюминий бөлініп шығады? 2) Осы уақыттағы жұмсалатын электр энергиясының W мөлшері қандай?

10.95. AgNO_3 ерітіндісінің электролизі кезінде $m = 500 \text{ мг}$ күміс бөлініп шығу үшін қанша электр W энергиясын жұмсау керек? Электродтардағы потенциал айырымы $U = 4 \text{ В}$.

10.96. Сутек пен оттектен судың түзілу реакциясында жылу бөлініп шығады:



Электролизде судың ыдырауы болатын ең кіші потенциалдар айырымын табыңдар.

10.97. Азот қышқылының өте әлсіз ерітіндісінің Λ_∞ эквиваленттік электр өткізгіштігін есептеп шығару керек.

10.98. Азот қышқылының ерітіндісі арқылы $I = 2 \text{ А}$ ток жіберіледі. Әр таңбалы иондармен $\tau = 1$ минут ішінде қанша q электр мөлшері көшіріледі?

10.99. Кейбір концентрациядағы KCl ерітіндісінің эквиваленттік электр өткізгіштігі $\Lambda = 12,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/(\text{Ом} \cdot \text{моль})$ -ке тең, осы концентрациядағы оның меншікті өткізгіштігі $\sigma = 0,122 \text{ Ом/м}$, ал оның шексіз ерітілгендегі эквиваленттік өткізгіштігі $\Lambda_\infty = 13 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/(\text{Ом} \cdot \text{моль})$ -ге тең болады. Мыналарды: а) осы концентрациядағы KCl -дың α диссоциациялану дәрежесін, б) ерітіндінің эквиваленттік η концентрациясын, 3) K^+ және Cl^- иондардың қозғалғыштықтарының ($u_+ + u_-$) қосындысын табыңдар.

10.100. Ұзындығы $l = 84 \text{ см}$ және көлденең қимасының ауданы $S = 5 \text{ мм}^2$ түтікті толтырып тұрған AgNO_3 ерітіндісінің R кедергісін табыңдар. Ерітіндінің эквиваленттік концентрациясы $\eta = 1 \text{ моль/л}$, диссоциациялану дәрежесі $\alpha = 81\%$.

10.101. Ұзындығы $l = 2 \text{ см}$ және көлденең қимасының ауданы $S = 7 \text{ см}^2$ түтікті толтырып тұрған KNO_3 ерітіндісінің R кедергісін табыңдар. Осы ерітіндінің эквиваленттік өткізгіштігін $\Lambda = 1,1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/(\text{Ом} \cdot \text{моль})$, эквиваленттік концентрациясы $\eta = 0,05 \text{ моль/л}$.

10.102. Ұзындығы $l = 3 \text{ см}$ және көлденең қимасының ауданы $S = 10 \text{ см}^2$ CuSO_4 ерітіндісімен толтырылған. Ерітіндінің эквиваленттік концентрациясы $\eta = 0,1 \text{ моль/л}$, кедергісі $R = 38 \text{ Ом}$. Ерітіндінің Λ эквиваленттік өткізгіштігін табыңдар.

10.103. Тұз қышқылының децинормальды ерітіндісінің меншікті электр өткізгіштігі $\sigma = 3,5 \text{ Ом/м}$. Диссоциацияланудың α дәрежесін табыңдар.

10.104. Газы бар ыдысқа рентген сәулесін түсіргенде уақыт бірлігі ішінде оның көлем бірлігінде $N = 10^{16} \text{ м}^{-3} \cdot \text{с}^{-1}$ молекула ионданады. Рекомбинация нәтижесінде ыдыстың ішінде тепе-теңділік орнайды да, көлем бірлігінде әр таңбалы $n = 10^{14} \text{ м}^{-3}$ ион пайда болады. Рекомбинация коэффициентін табыңдар.

10.105. Разрядты түтіктің электродтарына $U = 5$ В потенциалдар айырымы берілген, электродтардың арақашықтығы $d = 10$ см. Түтіктің ішіндегі газ біртекті ионданған. Көлем бірлігіндегі әр аттас иондардың саны $n = 10^8 \text{ м}^{-3}$, $u_+ = 3 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ және $u_- = 3 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$. Түтіктің ішіндегі токтың j тығыздығын табыңдар. Толық токтың қандай бөлігі оң иондармен көшіріледі?

10.106. Иондау камерасының әр электродтарының ауданы $S = 0,01 \text{ м}^2$, арақашықтығы $d = 6,2$ см. Ионизатордың көлем бірлігінде секунд сайын туындайтын әр таңбадағы иондар саны $N = 10^{15} \text{ м}^{-3} \cdot \text{с}^{-1}$ деп алып, осындай камерадағы I_k қанығу тогын табыңдар.

10.107. Рекомбинация коэффициенті $\gamma = 10^{-12} \text{ м}^3/\text{с}$ болады деп, алдыңғы есептегі камераның көлем бірлігінде туындайтын әр таңбалы иондардың мүмкін болатын n ең үлкен санын табыңдар.

10.108. Ұзындығы $l = 84$ см, көлденең қимасының ауданы $S = 5 \text{ мм}^2$ түтіктің R кедергісін табыңдар.

Түтік көлем бірлігіне келетін тепе-теңдікте тұрған бір зарядты $n = 10^{13} \text{ м}^{-3}$ иондары бар ауамен толтырылған. Иондардың қозғалғыштығы $u_+ = 1,3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ және $u_- = 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$.

10.109. Егер 10.106 есептегі иондау камерасының электродтарына $U = 20$ В потенциал айырымы берілсе, онда оның электродтарының арасынан қандай I ток өтеді? Иондардың қозғалғыштығы $u_+ = u_- = 10^{-4} \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$, рекомбинация коэффициенті $\gamma = 10^{-12} \text{ м}^3/\text{с}$. Табылған ток қанығу тогының қандай бөлігін құрайды?

10.110. Сутек атомын иондау үшін электронның ең кіші жылдамдығы v қандай болу керек? Сутек атомының иондану потенциалы $U = 13,5$ В.

10.111. Сынап атомдары қандай T температурада иондануға жеткілікті ілгерілемелі қозғалыстың кинетикалық энергиясына ие болады? Сынап атомының иондану потенциалы $U = 10,4$ В.

10.112. Гелий атомының иондану потенциалы $U = 24,5$ В. Иондану A жұмысын табыңдар.

10.113. Металдан босап шығу үшін: 1) цезийдегі және 2) платинадағы еркін электрондардың ең кіші жылдамдығы v қандай болу керек?

10.114. Егер вольфрамның температурасын $\Delta T = 100$ К шамасына жоғарылатсақ, онда $T_1 = 2400$ К температурада тұрған вольфрамның меншікті термоэлектрондық эмиссиясы неше есе өзгереді?

10.115. Температура $T=1800$ К болғанда ториленген вольфрам катодының беретін меншікті эмиссиясы, сол температурада таза вольфрам катодының беретін меншікті эмиссиясынан неше есе үлкен болады? Таза вольфрам үшін B эмиссия тұрақтысы $B_1=0,6 \cdot 10^6$ А/(м²·К²), ал ториленген вольфрам үшін $B_2 = 0,3 \cdot 10^7$ А/(м²·К²).

10.116. $T_1 = 2500$ К температурада таза вольфрамның беретін меншікті эмиссиясын ториленген вольфрам қандай T_2 температурада береді? Керекті белгілерді алдыңғы есептің шартынан алу керек.

§ 11. Электромагнетизм

Магнит өрісінің \vec{B} магниттік индукциясы оның \vec{H} кернеулігімен мынадай байланыста болады:

$$\vec{B} = \mu_0 \mu \vec{H},$$

мұндағы: μ — ортаның салыстырмалы магниттік өтімділігі $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м = $12,5663706144 \cdot 10^{-7}$ Гн/м — магниттік тұрақтылық.

Ферромагнитті денелер үшін $\mu = \varphi(H)$, яғни $B = f(H)$. Есептерді шешу кезінде $B = f(H)$ тәуелділігін білу талап етілсе, IX қосымшадағы графикті пайдалану керек.

Био-Савар-Лаплас заңы бойынша I ток өтетін контурдың dl элементі кеңістіктің кейбір A нүктесінде кернеулігі dH магнит өрісін туғызады:

$$d\vec{H} = \frac{I d\vec{l} \times \vec{r}}{4\pi r^3},$$

мұндағы: r — A нүктесінен токтың dl элементіне дейінгі қашықтық, \vec{r} — dl ток элементіне дейін A нүктесінің радиус-

векторы.

Дөңгелек токтың центріндегі магнит өрісінің кернеулігі:

$$H = \frac{I}{2R},$$

мұндағы R — тогы бар дөңгелек контурдың радиусы.

Шексіз ұзын түзу сызықты тогы бар өткізгіштің магнит өрісінің кернеулігі:

$$H = \frac{I}{2\pi a},$$

мұндағы a — кернеулігін іздеп отырған нүктеден тогы бар өткізгішке дейінгі қашықтық.

Дөңгелек токтың осіндегі магнит өрісінің кернеулігі:

$$H = \frac{R^2 I}{2(R^2 + a^2)^{3/2}},$$

мұндағы: R — тогы бар дөңгелек контурдың радиусы, a — кернеулігін іздеп отырған нүктеден контурдың жазықтығына дейінгі қашықтық.

Тороид және шексіз ұзын соленоидтың ішіндегі магнит өрісінің кернеулігі:

$$H = In,$$

мұндағы n — соленоид (тороид) ұзындығының бірлігіне келетін орам саны.

Ұзындығы шектеулі соленоидтың осіндегі магнит өрісінің кернеулігі:

$$H = \frac{In}{2} (\cos \beta_1 - \cos \beta_2),$$

мұндағы β_1 және β_2 — қарастырып отырған нүктеден соленоидтың ұштарына жүргізілген радиус-вектор мен соленоид осінің арасындағы бұрыштар.

Магнит өрісі энергиясының көлемдік тығыздығы:

$$W_0 = \frac{\vec{H} \cdot \vec{B}}{2}.$$

Контур арқылы өтетін магнит ағыны (магнит индукциясының ағыны):

$$\Phi = BS \cos \varphi,$$

мұндағы: S — контурдың көлденең қимасының ауданы, φ — контурдың жазықтығына түсірілген нормаль мен магнит өрісінің бағыты арасындағы бұрыш.

Тороидтан өтетін магнит ағыны:

$$\Phi = \frac{\mu_0 \mu I N S}{l},$$

мұндағы: N — тороид орамының жалпы саны, l — оның ұзындығы, S — оның көлденең қимасының ауданы. Егер тороидтың ауа қатпары болса, онда:

$$\Phi = \frac{IN}{l_1 / S \mu_0 \mu_1 + l_2 / S \mu_0 \mu_2},$$

мұндағы: l_1 — темір өзектің ұзындығы, μ_1 — оның магнит өтімділігі, l_2 — ауа қатпарының ұзындығы, μ_2 — ауаның магнит өтімділігі.

Магнит өрісінде тұрған тогы бар өткізгіштің dl элементіне Ампер күші әрекет етеді:

$$dF = BI \sin \alpha \, dl,$$

мұндағы α — токтың бағыты мен магнит өрісінің арасындағы бұрыш.

Тогы бар тұйықталған контурға, сондай-ақ магнит өрісіндегі магнит стрелкасына әрекет етеін қос күштің айналдырушы моменті:

$$\vec{M} = \vec{p} \times \vec{B},$$

мұндағы \vec{p} — тогы бар контурдың (немесе магнит стрелкасының) магнит моменті.

Тогы бар контурдың магнит моменті:

$$\vec{p} = \vec{I} \times \vec{n} \cdot S,$$

мұндағы: S — контурдың ауданы, \vec{n} — контур жазықтығына түсірілген нормальдің векторы.

I_1 және I_2 тогы бар шексіз ұзын параллель екі түзу сызықты өткізгіш өзара мынадай күшпен әрекеттеседі:

$$F = \mu_0 \mu \frac{I_1 I_2 l}{2\pi d},$$

мұндағы: l — өткізгіштің ұзындығы, d — олардың араларының қашықтығы.

Магнит өрісіндегі тогы бар өткізгіштің орын ауыстыру жұмысы:

$$dA = Id\Phi,$$

мұндағы $d\Phi$ — өткізгіштің қозғалған уақыттағы кесіп өтетін магнит ағыны.

Магнит өрісінде v жылдамдықпен қозғалатын зарядталған бөлшекке әрекет ететін күш Лоренц формуласымен анықталады:

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B},$$

мұндағы q — бөлшектің заряды.

Магнит өрісіне перпендикуляр қойылған өткізгіш пластинканың бойымен I ток өткенде оның беттерінің арасында көлденең потенциалдар айырымы туындайды:

$$U = K \frac{IB}{a} = \frac{IB}{ne a},$$

мұндағы: a — пластинканың қалыңдығы, B — магнит өрісінің индукциясы, $K = 1/ne$ — токты тасушылардың n концентрациясы мен олардың e зарядтарына кері пропорционал Холл тұрақтысы. K тұрақтысын және $\sigma = 1/\rho = ne\mu$ материалдың меншікті өткізгіштігін біле отырып, ток тасушылардың u қозғалғыштығын табуға болады.

Контурды қоршаған беттен өтетін Φ магнит ағынының кез келген өзгерісінде контурда э.қ.к-тің пайда болу құбылысын электромагниттік индукция деп атайды. Индукция э.қ.к-і:

$$\mathcal{E} = - \frac{d\Phi}{dt}$$

теңдеуімен анықталады.

Магнит ағынының өзгерісін сол контурдағы ток күшін өзгерту арқылы да алуға болады (өздік индукция). Мұндай жағдайда өздік индукцияның э.қ. күші мына формуламен анықталады:

$$\mathcal{E} = -L \frac{dI}{dt},$$

мұндағы: L — контурдың индуктивтілігі.

Соленоидтың индуктивтілігі:

$$L = \mu_0 \mu n^2 l S,$$

мұндағы: l — соленоидтың ұзындығы, S — оның көлденең қимасының ауданы, n — оның ұзындық бірлігіне келетін орам саны.

Э.қ.күшті ажыратқанда, өздік индукция құбылысы салдарынан, тізбектегі ток күші мына заң бойынша азаяды:

$$I = I_0 \exp\left(-\frac{R}{L}t\right),$$

ал э. қ. күшті қосқанда ток күші мына заң бойынша өседі:

$$I = I_0 \left[1 - \exp\left(-\frac{R}{L}t\right)\right],$$

мұндағы R — тізбектің кедергісі.

Тогы бар контурдың магнит энергиясы:

$$W = \frac{LI^2}{2}.$$

Магнит ағынының өзгерісі көрші контурдағы ток күшінің өзгеруімен де орын тебуі мүмкін (өзара индукция құбылысы). Осындай жағдайда индукцияланатын э.қ.к:

$$= -L_{12} \frac{dI}{dt},$$

мұндағы L_{12} — контурлардың өзара индуктивтігі.

Ортақ магнит ағынының өтіндегі екі соленоидтың өзара индуктивтігі:

$$L_{12} = \mu_0 \mu n_1 n_2 S l,$$

мұндағы n_1 және n_2 — осы соленоидтардың ұзындық бірлігіне келетін орам саны.

Өткізгіште индукциялық ток пайда болғанда, оның көлденең қимасынан өтетін электр мөлшері мынаған тең:

$$dq = -\frac{1}{R} d\Phi.$$

11.1* Био-Савар-Лаплас заңын пайдаланып, I тогы бар шексіз ұзын өткізгіш сымның магнит өрісінің H кернеулігі $H = \frac{I}{2\pi r}$ -ға тең болатынын көрсетіндер, мұндағы r — өткізгішке дейінгі қашықтық.

11.2* Дөңгелек токтың осіндегі магнит өрісінің кернеулігін анықтаңдар. Ток күші I , орам радиусы R .

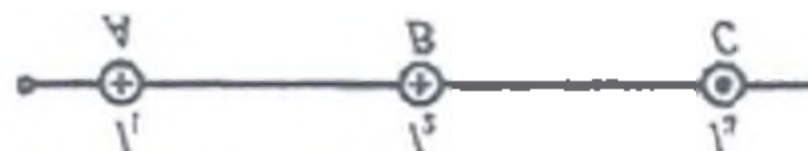
11.3. Бойымен $I = 1$ А ток өтетін, радиусы $R = 1$ см дөңгелек сым орамының центріндегі магнит өрісінің H кернеулігін табыңдар.

11.4. 114-суретте тогы бар шексіз ұзын түзу сызықты екі өткізгіштің қимасы көрсетілген. Өткізгіштердің араларының қашықтығы $AB = 10$ см-ге тең, $I_1 = 20$ А, $I_2 = 30$ А. M_1 , M_2 және M_3 нүктелеріндегі I_1 және I_2 токтардан пайда болған H магнит өрісінің кернеулігін табыңдар. Қашықтықтар мынаған тең: $M_1A = 2$ см, $AM_2 = 4$ см және $BM_3 = 3$ см.

11.5. 115-суретте тогы бар шексіз ұзын түзу сызықты үш өткізгіштің қимасы көрсетілген. Қашықтықтар: $AB = BC = 5$ см, $I_1 = I_2 = I$ және $I_3 = 2I$. I_1 , I_2 , I_3 токтардан пайда болған магнит өрісінің кернеулігі нольге тең болатын AC түзуіндегі нүктені табыңдар.



114-сурет

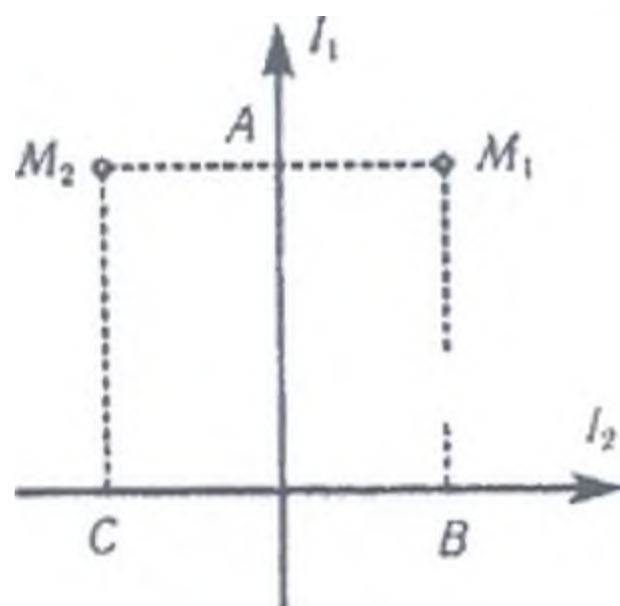


115-сурет

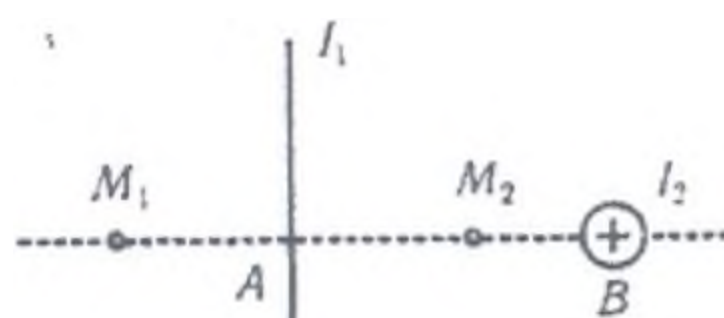
11.6. Түзу сызықты шексіз ұзын екі өткізгіш бір-біріне перпендикуляр болып орналасады да бір жазықтықта жатады (116-сурет). $I_1 = 2$ А және $I_2 = 3$ А. M_1 және M_2 нүктелеріндегі

магнит өрісінің H_1 , H_2 кернеулігін табындар. Қашықтықтар: $M_1A = M_2A = 1$ см, $BM_1 = CM_2 = 2$ см.

11.7. Түзу сызықты шексіз ұзын бір-біріне перпендикуляр орналасқан екі өткізгіш өзара перпендикуляр жазықтықта жатады (117-сурет). $I_1 = 2$ А және $I_2 = 3$ А-ге тең деп алып, M_1 және M_2 нүктелеріндегі H_1 , H_2 магнит өрісінің кернеулігін табындар. Қашықтықтар $M_1A = M_2A = 1$ см, $AB = 2$ см.



116-сурет



117-сурет

11.8. Түзу сызықты ұзын екі өткізгіш бір-бірінен $d = 10$ см қашықтықта параллель орналасқан. Өткізгіштер арқылы қарама-қарсы бағытта $I_1 = I_2 = 5$ А токтар өтеді. Әр өткізгіштен $a = 10$ см қашықтықта тұрған нүктедегі магнит өрісінің \vec{H} кернеулігінің модулі мен бағытын табындар.

11.9. Тогы бар түзу сызықты AB өткізгіш кесіндісінен $a = 5$ см қашықтықта кесінді ортасына түсірілген перпендикулярда орналасқан C нүктесіндегі H магнит өрісінің кернеулігін табындар. Өткізгіш арқылы өтетін ток $I = 20$ А. C нүктесінен AB өткізгіш кесіндісі 60° бұрышпен көрінеді.

11.10. Алдыңғы есепті, өткізгіштегі ток $I = 30$ А-ге тең, өткізгіштің кесіндісі C нүктесінен 90° бұрышпен көрінеді деп, қайыра шығарындар. C нүктесі өткізгіштен $a = 6$ см қашықтықта орналасқан.

11.11. $I = 20$ А ток тік бұрыш жасап иілген ұзын өткізгіш арқылы өтеді. Осы бұрыштың биссектрисасы бойында, оның төбесінен $a = 10$ см қашықтықта жатқан нүктедегі магнит өрісінің H кернеулігін табындар.

11.12. Көлденең қимасы $S = 1,0 \text{ мм}^2$ мыс сымынан жасалған сақина бойымен $I = 20 \text{ А}$ ток өткенде, сақинаның центрінде кернеулігі $H = 178 \text{ А/м}$ магнит өрісін туғызады. Сақина тәрізді сымның ұштарындағы U потенциалдар айырымы қандай?

11.13. Дөңгелек контурдың осінде оның жазықтығынан $a = 3 \text{ см}$ қашықтықта жатқан нүктедегі магнит өрісінің H кернеулігін табыңдар. Контурдың радиусы $R = 4 \text{ см}$, контурдағы ток күші $I = 2 \text{ А}$.

11.14. Радиусы $R = 11 \text{ см}$ дөңгелек орамның центріндегі магнит өрісінің кернеулігі $H_0 = 0,8 \text{ Э}$. Орам осінде, оның жазықтығынан $a = 10 \text{ см}$ қашықтықта жатқан нүктедегі магнит өрісінің H кернеулігін табыңдар.

11.15. Радиустары $R = 4 \text{ см}$ екі дөңгелек орам бір-бірінен $d = 10 \text{ см}$ қашықтықтағы параллель жазықтықтарда орналасқан. Орам бойымен $I_1 = I_2 = 2 \text{ А}$ ток өтеді. Орамдардың осінде олардан бірдей қашықтықта тұрған нүктедегі магнит өрісінің кернеулігін табыңдар. Есепті: а) орамдағы токтар бір бағытта жүретін; б) токтар қарама-қарсы бағытта жүретін жағдайлар үшін шығарыңдар.

11.16. Диаметрі $D = 10 \text{ см}$, $I = 10 \text{ А}$ ток өтетін дөңгелек орамның осі бойында магнит өрісі H кернеулігінің таралуын табыңдар. Әрбір 2 см сайын $0 \leq x \leq 10 \text{ см}$ интервалдағы x -тің мәндері үшін H мәндерінің кестесін жасап, графигін сызыңдар.

11.17. Екі дөңгелек орам өзара перпендикуляр жазықтықта, центрлері бір-біріне сәйкес келетіндей орналасқан. Әр орамның радиусы $R = 2 \text{ см}$ және олардан өтетін ток $I_1 = I_2 = 5 \text{ А}$. Осы орамдардың центріндегі магнит өрісінің H кернеулігін табыңдар.

11.18. Ұзындығы $l = 1 \text{ м}$ сымнан квадрат кәсекше жасалған. Кәсекшеден $I = 10 \text{ А}$ ток өтеді. Кәсекшенің центріндегі магнит өрісінің H кернеулігін табыңдар.

11.19. Сымнан жасалған дөңгелек орамның ұштарындағы потенциалдар айырымы U_1 болғанда, оның центрінде кернеулігі H магнит өрісі туындайды. Радиусы екі есе үлкен болып келген осындай сымнан жасалған орамның центріндегі магнит өрісінің кернеулігі жоғарыда алынған магнит өрісінің кернеулігіндей болу үшін қандай U_2 потенциалдар айырымын беру керек?

11.20. Пішіні дұрыс көпбұрыш болатын сым кәсекше бойымен $I = 2$ А ток өтеді. Осы уақытта кәсекшенің центрінде кернеулігі $H = 33$ А/м магнит өрісі пайда болады. Кәсекше жасалған сымның l ұзындығын табыңдар.

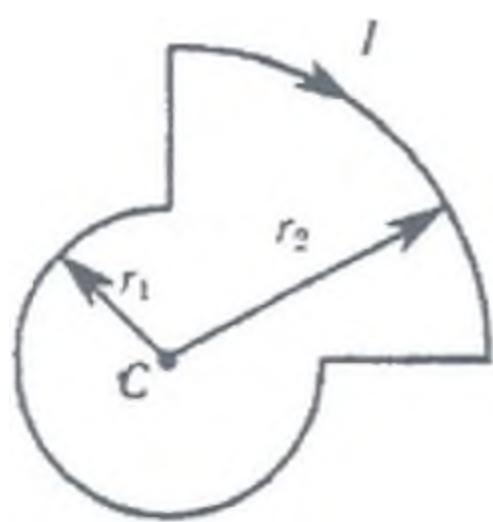
11.21. Шексіз ұзын өткізгіштің бір ұшы өткізгішке жанама дөңгелек орам жасайды. Өткізгіштің бойымен $I = 5$ А ток өтеді. Орам центріндегі магнит өрісінің кернеулігін $H = 41$ А/м тең деп алып, орамның R радиусын табыңдар.

11.22.* Бойында I ток күші ағатын шексіз ұзын соленоидтың осіндегі сызықтық өрістің кернеулігі $H = In$ -ге тең болатынын көрсету керек, мұндағы n – соленоидтың ұзындық бірлігіндегі орамдар саны.

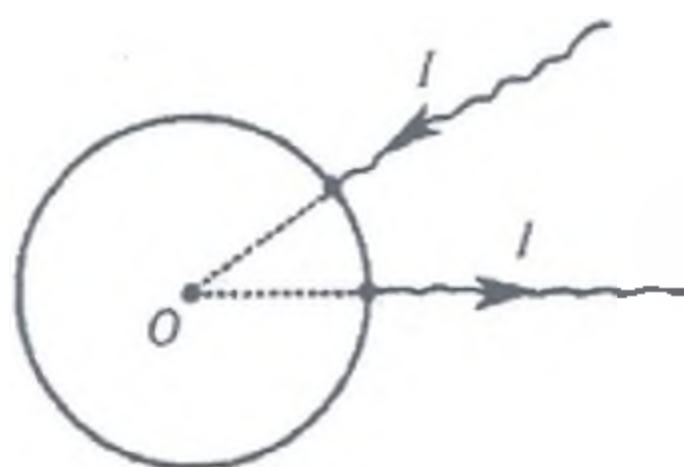
11.23.* Алдыңғы есептегі сияқты, бірақ шектелген ұзындығы бар соленоидтың осіндегі кернеулік мына өрнекке тең болатынын көрсетіңдер:

$$H = \frac{In}{2} (\cos \beta_1 - \cos \beta_2)$$

мұндағы β_1 және β_2 — берілген нүктеден соленоидтың ұштарына жүргізілген радиус-вектор мен соленоид осінің аралығындағы бұрыштар.



118-сурет



119-сурет

11.24.* 118-суретте көрсетілген жазық контур арқылы $I = 1$ А ток жүреді. Контурдің түзусызықты бөліктерінің арасындағы бұрыш 90° . Радиустары $r_1 = 10$ см және $r_2 = 20$ см. C нүктесіндегі B магниттік индукциясын табыңдар.

11.25.* Бойында I ток күші ағатын сақинаның центріндегі магниттік өрістің B индукциясын табыңдар (119-сурет). Радиал-

дық ток жеткізуші өткізгіштердің магниттік өрістері бірін-бірі теңгереді.

11.26.* Радиусы R шеңберге іштей сызылған дұрыс n -бұрыш түрінде иілген сым бойымен I ток өткізіледі. Осы көпбұрыштың центріндегі B магнит индукциясын табыңдар. Табылған шешімді $n \rightarrow \infty$ жағдайы үшін зерттеңдер.

11.27.* Радиусы R түзу сым бойымен тұрақты \vec{j} тығыздықта ток өткізіледі. Орыны осы сым осімен салыстырғанда оське перпенди-куляр болып табылатын \vec{r} радиус-векторымен анықталатын нүктедегі \vec{H} кернеулігі үшін теңдеуді табыңдар. Осы нүкте сымның ішінде және одан тыс жатқан жағдайларды да қарастырыңдар.

11.28.* Қимасы дөңгелек түзу сымның ішінде осі сымның осіне параллель цилиндрлік қуыс бар. Қуыс осінің сымның осімен салыстырғандағы ығысуы \vec{a} . Сым арқылы қимасы бойынша \vec{j} тығыздығы тұрақты ток ағады. Қуыстың ішіндегі магниттік өрістің \vec{H} кернеулігін табыңдар. $\vec{a} = 0$ болған жағдайды қарастырыңдар.

11.29. Ұзындығы $l = 30$ см шарық $N = 1000$ орамнан тұрады. Шарық арқылы өтетін ток $I = 2$ А-ге тең болады деп алып, оның ішіндегі H магнит өрісінің кернеулігін табыңдар. Шарықтың диаметрін оның ұзындығына қарағанда өте кіші деп есептеңдер.

11.30. Ұзындығы $l = 20$ см, диаметрі $D = 5$ см соленоидтың ішінде кернеулігі $H = 1$ кА/м болатын магнит өрісін алуымыз керек. Мыналарды: 1) осы соленоид үшін қажет IN ампер-орам санын; 2) орамдағы диаметрі $d = 0,5$ мм мыс сымының ұштарына берілетін U потенциалдар айырымын табыңдар. Соленоидтың өрісін біртекті деп есептеңдер.

11.31. Ұзындығы $l = 3$ см, диаметрі $D = 2$ см соленоид осінің бойындағы магнит өрісінің H кернеулігінің таралуын табыңдар. Соленоидпен өтетін токтың күші $I = 2$ А-ге тең. Шарықтағы орам саны $N = 100$. Әрбір $0,5$ см сайын $0 \leq x \leq 3$ см интервалдағы x -тің мәндері үшін алынған H мәндерінің кестесін жасап, графигін салыңдар.

11.32. Сыйымдылығы $C = 10$ мкФ конденсатор э.қ.к-і $\mathcal{E} = 120$ В потенциалдар айырымын беретін батареядан периодты түрде

зарядталады да, $N = 200$ орамнан тұратын ұзындығы $l = 10$ см соленоид арқылы разрядталады. Соленоидтың ішіндегі магнит өрісі кернеулігінің орташа мәні $H = 240$ А/м. Конденсатордың қайыра қосылуы қандай n жиілікпен қайталанады? Соленоидтың диаметрін оның ұзындығымен салыстырғанда өте кіші деп алыңдар.

11.33. Кернеулігі $H = 79,6$ кА/м біртекті магнит өрісінде қабырғасы $a = 4$ см квадрат кәсекше орналасқан. Оның жазықтығы магнит өрісінің бағытымен $\alpha = 45^\circ$ бұрыш жасайды. Кәсекшеден өтетін Φ магнит ағынын анықтаңдар.

11.34. Индукциясы $B = 0,05$ Тл магнит өрісінде ұзындығы $l = 1$ м білік айналады. Біліктің бір ұшынан өтетін айналу осі магнит өрісінің бағытына параллель. Біліктің әр айналымында қиып өтетін Φ магнит ағынын табыңдар.

11.35. Ауданы $S = 16$ см² кәсекше біртекті магнит өрісінде $n = 2$ с⁻¹ жиілікпен айналады. Айналу осі кәсекше жазықтығында магнит өрісінің бағытына перпендикуляр орналасқан. Магнит өрісінің кернеулігі $H = 79,6$ кА/м. Мыналарды: 1) кәсекшеден өтетін Φ магнит ағынының t уақытқа тәуелділігін; 2) Ең үлкен Φ_{\max} магнит ағынының мәнін табыңдар.

11.36. Ұзындығы $l = 30$ см кішкене диаметрлі соленоидтың ішіндегі магнит өрісі энергиясының көлемдік тығыздығы $W_0 = 1,75$ Дж/м³-ке тең болу үшін қанша ампер-орам керек болады?

11.37. Торойдтың темір өзегінің ұзындығы $l_1 = 2,5$ м, ауа қаптамасының ұзындығы $l_2 = 1$ см. Торойд орамасының орам саны $N=1000$. Ток күші $I = 20$ А болғанда ауа қаптамасындағы магнит өрісінің индукциясы $B=1,6$ Тл. Аталған шарттар бойынша темір өзектің μ магниттік өтімділігін анықтаңдар. (Темір үшін B мен H арасындағы тәуелділік белгісіз).

11.38. Торойдтың темір өзегінің ұзындығы $l_1 = 1$ м-ге тең, ауа қаптамасының ұзындығы (қалыңдығы) $l_2 = 1$ см. Өзектің көлденең қимасының ауданы $S = 25$ см². Өзек материалының магниттік өтімділігі $\mu = 800$ болса, $\Phi = 1,4$ мВб магнит ағынын алу үшін қанша ампер-орам керек? (Темір үшін B мен H арасындағы тәуелділік белгісіз).

11.39. Торойдтың темір өзегінің ұзындығы $l_1 = 50$ см, ауа қаптамасының ұзындығы $l_2 = 2$ мм. Торойдтың орамасындағы

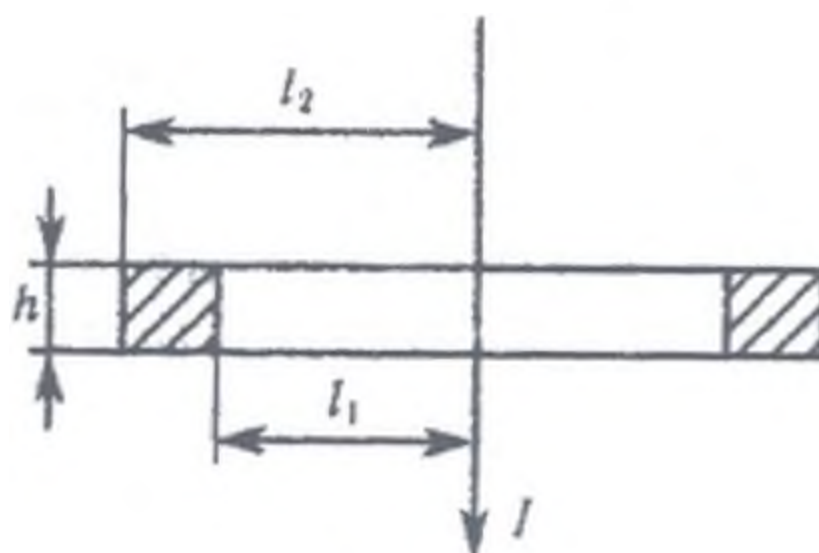
ампер-орамның саны $IN = 2000 \text{ А} \cdot \text{в}$. Егер осы ампер-орам санында ауа қаптамасының ұзындығын екі есе өсірсек, онда ауа қаптамасындағы магнит өрісінің кернеулігі неше есе кемитін болады?

11.40. Соленоидтың ішіне ұзындығы $l = 25,1 \text{ см}$, диаметрі $D = 2 \text{ см}$ темір өзек орналасқан. Соленоидтың орам саны $N = 200$. Өзегі бар соленоид үшін әрбір 1 А сайын $0 \leq I \leq 5 \text{ А}$ интервалында Φ магнит ағынының I ток күшіне тәуелділігінің графигін салындар. Ордината осінің бойына Φ (10^{-4} Вб) шамасына еселенген магнит ағынын салындар.

11.41. Соленоидтан (өзексіз) өтетін магнит ағыны $\Phi = 5 \text{ мкВб}$. Соленоидтың p магниттік моментін табындар. Соленоидтың ұзындығы $l = 25 \text{ см}$.

11.42. Темір сақинаның центрінен оның жазықтығына перпендикуляр бағытта бойымен $I = 25 \text{ А}$ ток жүріп тұрған түзу ұзын сым өтеді. Сақинаның төртбұрышты қимасының өлшемдері $l_1 = 18 \text{ мм}$, $l_2 = 22 \text{ мм}$, $h = 5 \text{ мм}$ (120-сурет). Сақина қимасының кез келген нүктесіндегі индукция шамамен алғанда бірдей және сақинаның орта қима сызығындағы индукцияға тең болады деп есептеп, қимадан өтетін Φ магнит ағынын табындар.

11.43. Алдыңғы есептегі сақина қимасының әртүрлі нүктелеріндегі магнит өрісі түрліше болады деп есептеп, сақина қимасының ауданынан өтетін Φ магнит ағынын табындар. μ мәнін тұрақты деп санап, оны сақина қимасының орта сызығындағы H мәні үшін берілген $B = f(H)$ қисығының графигі бойынша табындар.



120-сурет

11.44. Ауа қаптамасының қалыңдығы $l_2 = 0,1$ см, ұзындығы $l_1 = 50,2$ см болатын өзектің $N = 20$ орамнан тұратын орамасы бар. Қаптамада $B_2 = 1,2$ Тл индукция алу үшін, орамадан қандай I ток өту керек?

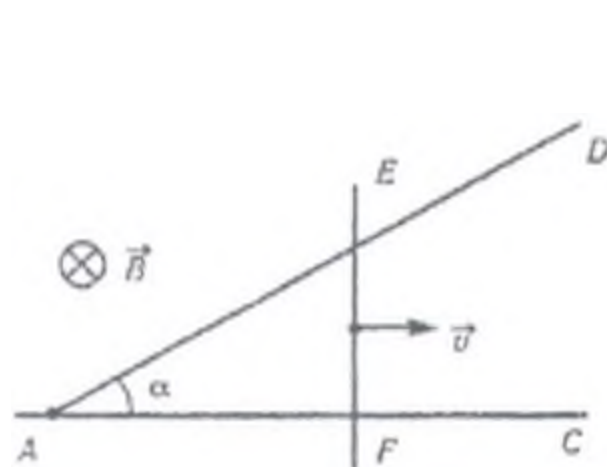
11.45. Электромагниттің полюстері арасында индукциясы $B = 1,4$ Тл магнит өрісін жасау керек. Темір өзектің ұзындығы $l_1 = 40$ см, полюс аралық кеңістіктің ұзындығы $l_2 = 1$ см, өзектің диаметрі $D = 5$ см. 1) Қажетті магнит өрісін туғызу үшін электромагниттің көлденең қимасының ауданы $S = 1 \text{ мм}^2$ мыс сымнан жасалған орамасын қоректендіруге қандай \mathcal{E} э. қ. күшін алу керек? 2) Егер токтың мүмкін болатын шекті тығыздығы $I = 3 \text{ МА/м}^2$ болса, онда оралымдардың ең аз b қалыңдығы қандай болады?

11.46. Электромагниттің полюстерінің арасында индукциясы $B = 0,1$ Тл біртекті магнит өрісі жасалады. Магнит өрісінің бағытына перпендикуляр қойылған ұзындығы $l = 70$ см ұзын сымның бойымен күші $I = 70$ А ток өтеді. Сымға әрекет ететін F күшті табыңдар.

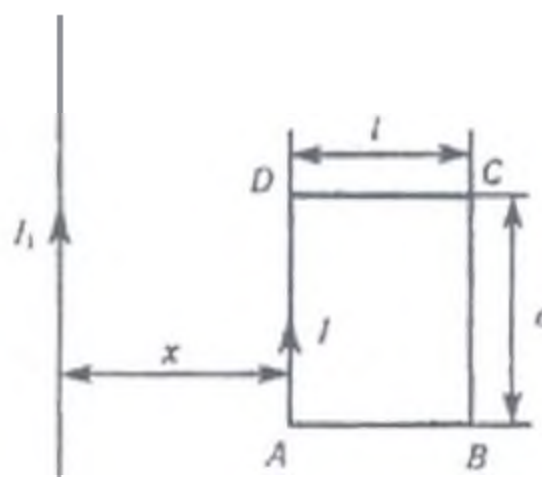
11.47.* EF өткізгіш сым \vec{v} жылдамдықпен, өзара α бұрышын жасайтын AC және AD сымдарын тұйықтап, жылжиды (121-сурет). Өткізгіштердің жазықтығына перпендикуляр бағытта индукциясы \vec{B} біртекті магниттік өрісі түсірілген.

EF өткізгіш A нүктеден C нүктеге дейін қозғалғанда тізбекте бөлініп шығатын толық жылу мөлшерін табыңдар. EF өткізгішінің ұзындық бірлігіне келетін кедергісі R_l . AC және AD сымдарының кедергілері есепке алынбайды. $AC = l_0$, $EF \perp AC$, $\vec{v} \perp EF$.

11.48.* Шексіз ұзын түзу сымның тікбұрышты контурға әрекет ететін күшін анықтаңдар. Сым контурдың жазықтығында орналасқан. Контур бойымен I , сымның бойымен I_1 тогы ағады. Контурдың AD және BC қабырғаларының ұзындығы a және сымға параллель орналасқан. AD -дан сымға дейінгі қашықтық x . $AB = DC = l$ (122-сурет).

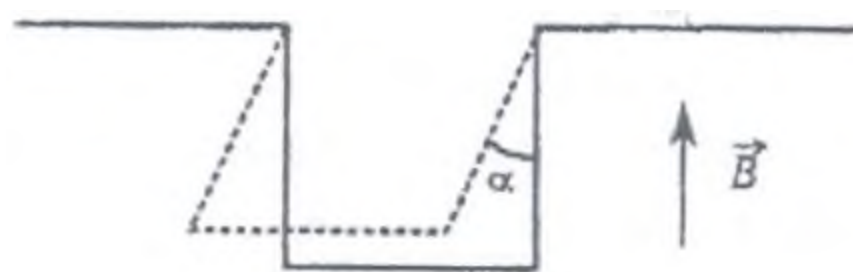


121-сурет



122-сурет

11.49.* Қимасы S мыс сымы кәсекше түрінде иіліп, горизонталь ось төңірегінде айнала алады (123-сурет). Сым вертикаль бағытталған біртекті магнит өрісінде орналасқан. Сымның бойымен I тогы аққан кезде, ол вертикальдан α бұрышына ауытқиды. Өрістің B индукциясын табыңдар. Мыстың тығыздығы ρ .



123-сурет



124-сурет

11.50.* Сымнан, радиусы $r = 10$ см болатын, бойымен $I = 10$ А ток жүретін жарты сақина жасалған (123-сурет). Жарты сақина магниттік өрісте орналасқан. Индукция векторы осы жарты сақинаның жазықтығында және оның диаметріне перпендикуляр орналасқан. Индукция $B = 50$ мТл. Осы сымға әрекет ететін күшті табыңдар.

11.51. Погондық орамдар саны $n = 15 \text{ см}^{-1}$, радиусы $R = 5,5$ см соленоидтың бойымен I ток күші ағады. Соленоид материалы шыдайтын күштің шектік мәні $F_{\text{ш}} = 100$ Н. Соленоид қирамау үшін одан қандай ең үлкен ток күшін өткізуге болады?

11.52. Түзу сызықты параллель екі ұзын өткізгіш бір-бірінен $d_1 = 10$ см қашықтықта орналасқан. Өткізгіштер арқылы ток $I_1 = 20$ А және $I_2 = 30$ А бір бағытта өтеді. Осы өткізгіштерді бір-бірінен $d_2 = 20$ см қашықтыққа дейін алпақтату үшін

өткізгіштің ұзындық бірлігіне шаққанда қандай A_l жұмыс істеу керек болады?

11.53. Түзу сызықты параллель екі ұзын өткізгіш бір-бірінен біршама қашықтықта орналасқан. Өткізгіштерден шамалары және бағыттары бірдей ток өтеді. Осы өткізгіштерді бір-бірінен екі есе қашықтыққа алшақтату үшін өткізгіштердің ұзындық бірлігіне келетін жұмыс $A_l = 55$ мкДж/м деп алып, әрбір өткізгіштен өтетін токтың I_1 және I_2 күшін табыңдар.

11.54. Ұзындығы $l = 20$ см сымнан квадрат және дөңгелек контурлар жасалынған. Индукциясы $B = 0,1$ Тл біртекті магнит өрісінде орналастырылған әр контурға әрекет ететін M_1 және M_2 айналдырушы күш моменттерін табыңдар. Контурлардан өтетін токтың күші $I = 2$ А. Әр контурдың жазықтығы магнит өрісінің бағытымен $\alpha = 45^\circ$ бұрыш жасайды.

11.55. Ұзындығы $l = 3$ см, көлденеңі $b = 2$ см тік бұрышты кәсекке оралған жіңішке сымның $N = 400$ орамынан тұратын гальванометр шарығы индукциясы $B = 0,1$ Тл магнит өрісінде жіпке ілінген. Шарық арқылы өтетін ток $I = 0,1$ мкА. Шарықтың жазықтығы магнит өрісінің: а) бағытына параллель, б) магнит өрісі бағытымен $\alpha = 60^\circ$ бұрыш жасайды деп алып, гальванометр шарығына әрекет ететін M айналдырушы моментті табыңдар.

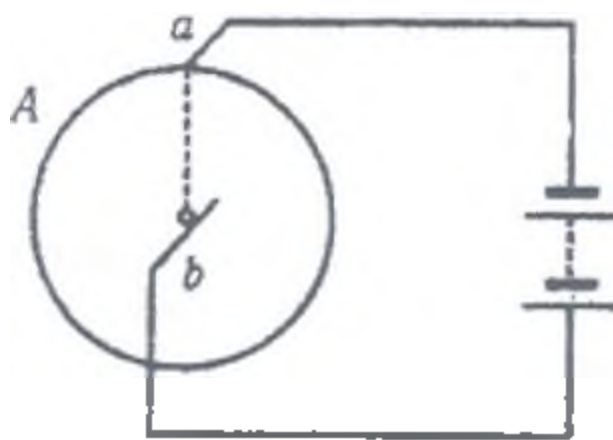
11.56. Вертикаль тартылған түзусызықты ұзын сымнан $a = 20$ см қашықтықта диаметрі $d = 0,1$ мм, ұзындығы $l = 0,1$ м жіңішке жіпке магниттік моменті $p = 0,01$ А·м² болатын қысқа магнит тілі (стрелкасы) ілінген. Тіл сым мен жіп арқылы өтетін жазықтықта орналасқан. Егер сым арқылы $I = 30$ А ток өткізілсе, онда тіл қандай φ бұрышқа бұрылады? Жіп материалының ығысу модулі $G = 5,9$ ГПа. Жүйе Жердің магнит өрісінен экрандалған.

11.57. Квадрат кәсекше индукциясы $B = 13,7$ мТл магнит өрісінде сымға ілінген, кәсекшенің жазықтығына түсірілген нормаль мен магнит өрісінің бағыты арасындағы бұрыш $\alpha = 90^\circ$. Кәсекшенің қабырғасы $a = 1$ см. Егер кәсекше арқылы $I = 1$ А ток жіберсек, онда ол $\varphi = 1^\circ$ бұрышқа бұрылады. Сым материалының G ығысу модулін табыңдар. Сымның ұзындығы $l = 10$ см, ал жіптің радиусы $r = 0,1$ мм.

11.58. Дөңгелек контур біртекті магнит өрісінде орналастырылған, оның жазықтығы өрістің бағытымен тік бұрыш жасайды. Магнит өрісінің кернеулігі $H = 150$ кА/м. Контурдан $I = 2$ А ток өтеді. Контурдың радиусы $R = 2$ см. Контурды оның диаметрімен сәйкес келетін осьтің төңірегінде $\varphi = 90^\circ$ -қа бұру үшін қандай A жұмыс істеуге болады?

11.59. Индукциясы $B = 0,5$ Тл біртекті магнит өрісінде ұзындығы $l = 10$ см өткізгіш бірқалыпты қозғалады. Өткізгіш арқылы өтетін токтың күші $I = 2$ А. Өткізгіштің қозғалу жылдамдығы $v = 20$ см/с және ол магнит өрісінің бағытына перпендикуляр бағытталған. 1) $t = 10$ с уақытта өткізгіштің орын ауыстыруына жұмсалған A жұмысты, 2) осы қозғалысқа шығындалған P қуатты табындар.

11.60. Радиусы $R = 5$ см біртекті A мыс дискі индукциясы $B = 0,2$ Тл магнит өрісінде орналастырылған, дискінің жазықтығы магнит өрісінің бағытына перпендикуляр (125-сурет). Дискінің радиусы ab арқылы $I = 5$ А ток өтеді (a және b сырғымалы контактілер). Дискінің айналу жиілігі $n = 3$ с⁻¹. Мыналарды: а) осындай қозғалтқыштың P қуатын; б) магнит өрісі чертежден бізге қарай бағытталған жағдайдағы дискінің айналу бағытын; в) дискіге әрекет ететін айналдырушы M моментін табындар.



125-сурет

11.61. A дискінің $t = 1$ минутта айналғандағы ab радиусымен киылысатын Φ магнит ағынын табындар (125-сурет). Дискінің радиусы $R = 10$ см. Магнит өрісінің индукциясы $B = 0,1$ Тл. Диск $n = 5,3$ с⁻¹ жиілікпен айналады.

11.62. $U = 1$ кВ потенциалдар айырымында үдетілген электрон өзінің қозғалысына перпендикуляр бағыттағы біртекті магнит өрісіне ұшып кіреді. Магнит өрісінің индукциясы $B =$

1,19 мТл. Мыналарды: 1) электронның траекториясының R қисықтық радиусын, 2) оның шеңбер бойымен T айналу периоды, 3) электронның M импульс моментін табыңдар.

11.63. $U = 300$ В потенциалдар айырымында үдетілген электрон өзінен $a = 4$ мм қашықтықта тұрған түзу сызықты ұзын сымға параллель қозғалады. Егер өткізгіш арқылы $I = 5$ А ток өтетін болса, электронға қандай F күш әрекет етеді?

11.64. $U = 1$ МВ потенциалдар айырымында үдетілген α -бөлшектің (гелий атомының ядросы) ағыны кернеулігі $H = 1,2$ кА/м біртекті магнит өрісіне ұшып кіреді. Әрбір бөлшектің жылдамдығының бағыты магнит өрісінің бағытымен тік бұрыш жасайды. Әрбір бөлшекке әрекет ететін F күшті табыңдар.

11.65. Электрон біртекті магнит өрісі бағытына перпендикуляр бағытта өріске ұшып кіреді. Электронның жылдамдығы $v = 4 \cdot 10^7$ м/с. Магнит өрісінің индукциясы $B = 1$ мТл. Магнит өрісіндегі электронның a_τ тангенциаль және a_n нормаль үдеулері неге тең болады?

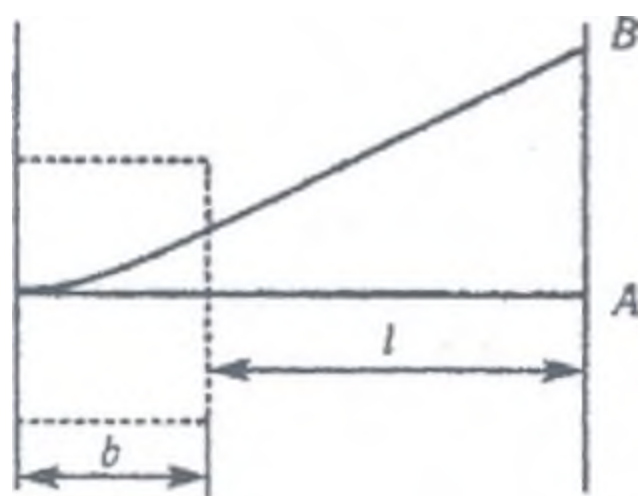
11.66. Индукциясы $B = 1$ Тл магнит өрісінде радиусы $R = 60$ см шеңбер доғасының бойымен қозғалатын протонның W кинетикалық энергиясын табыңдар.

11.67. Бірдей потенциалдар айырымында үдетілген протон мен электрон біртекті магнит өрісіне ұшып кіреді. Протон траекториясының R_1 қисықтық радиусы электрон траекториясының R_2 қисықтық радиусынан неше есе үлкен болады?

11.68. Зарядталған бөлшек магнит өрісінде шеңбер бойымен $v = 10^6$ м/с жылдамдықпен қозғалады. Магнит өрісінің индукциясы $B = 0,3$ Тл. Шеңбердің радиусы $R = 4$ см. Бөлшектің энергиясын $W = 12$ кэВ-ке тең деп алып, оның q зарядын табыңдар.

11.69. Зарядталған бөлшек кернеулігі $H = 200$ кА/м біртекті магнит өрісіне $v = 10^6$ м/с жылдамдықпен ұшып кіргеннен кейін радиусы $R = 8,3$ см шеңбер доғасының бойымен қозғалады деп есептеп, бөлшек үшін q/m қатынасын табыңдар. Бөлшектің қозғалыс жылдамдығының бағыты магнит өрісінің бағытына перпендикуляр. Табылған мәнді электрон мен протонның және α -бөлшектің q/m мәнімен салыстырыңдар.

11.70. $U = 300$ В потенциалдар айырымымен үдетілген электрондар шоғы сызбадан (126-сурет)бізге қарай бағытталған, біртекті магнит өрісіне ұшып кіреді. Өрістің ені $b = 2,5$ см. Магнит өрісі болмаған уақытта электрондар шоғы магнит полюстерінің ұшынан $l = 5$ см қашықтықта тұрған флуоресциялаушы экранның A нүктесінде дақ түсіреді. Магнит өрісін қосқан уақытта дақ B нүктесіне ауысады. Магнит өрісінің индукциясын $B = 14,6$ мкТл-ға тең деп алып, электрондар шоғының $x = AB$ ығысуын табындар.



126-сурет

11.71. Кернеулігі $H = 8$ кА/м магнит өрісі мен кернеулігі $E = 1$ кВ/м электр өрісі бір жакқа бағытталған. Осындай электромагниттік өріске электрон $v = 10^5$ м/с жылдамдықпен ұшып кіреді. Электронның a_n нормаль, a_t тангенциаль және толық a үдеулерін табындар. Есепті мынадай шарттар үшін: 1) электронның жылдамдығы электр өрісі бағытына параллель деп және 2) электронның жылдамдығы электр өрісінің бағытына перпендикуляр деп шығарындар.

11.72. Индукциясы $B = 0,5$ мТл магнит өрісі кернеулігі $E = 1$ кВ/м электр өрісіне перпендикуляр бағытталған. Электрондар шоғы электромагниттік өріске ұшып кіреді, оның үстіне электрондардың \vec{v} жылдамдығы \vec{E} және \vec{B} векторлар жатқан жазықтыққа перпендикуляр болады. Мыналарды: а) электрондар шоғына екі өрістің бір уақыттағы әрекеті оларды ешқайда бұрылмайды деп, электрондардың v жылдамдығын; б) бір ғана магнит өрісін қосқан уақыттағы электрондар траекториясының R кисықтық радиусын табындар.

11.73. $U = 6$ кВ потенциалдар айырымымен үдетілген электрон біртекті магнит өрісі бағытына $\alpha = 30^\circ$ бұрышпен ұшып кіреді де, спираль бойымен қозғала бастайды. Магнит

өрісінің индукциясы $B = 13$ мТл. Спираль орамының R радиусын және h қадамын табыңдар.

11.74. Электрон жазық горизонталь конденсатордың пластиналарына параллель бағытта $v = 10^7$ м/с жылдамдықпен ұшып кіреді. Конденсатордың ұзындығы $l = 5$ см, конденсатордың электр өрісінің кернеулігі $E = 10$ кВ/м. Электрон конденсатордан ұшып шыққанда бағыты электр өрісіне перпендикуляр болатын магнит өрісіне тап болады. Магнит өрісінің индукциясы $B = 10$ мТл. Магнит өрісіндегі электронның спиральдық траекториясының R радиусын және h қадамын табыңдар.

11.75. $U = 3$ кВ потенциалдар айырымымен үдетілген электрон соленоидтың магнит өрісіне оның осіне $\alpha = 30^\circ$ бұрыш жасап ұшып кіреді. Соленоидтың ампер-орам саны $IN = 5000$ А·в. Соленоидтың ұзындығы $l = 25$ см. Соленоидтың магнит өрісіндегі электронның спиральдық траекториясының h қадамын табыңдар.

11.76. Қалыңдығы $a = 0,5$ мм, биіктігі $b = 10$ мм мыс пластинканың $S = ab$ қимасы арқылы $I = 20$ А ток өтеді. Бағыты токтың бағытына және b қырына перпендикуляр болатын магнит өрісіне пластинканы орналастырғанда, $U = 3,1$ мкВ көлденең потенциалдар айырымы пайда болады. Магнит өрісінің индукциясы $B = 1$ Тл. Осы жағдайлар үшін мыстың өткізгіш электрондарының n концентрациясын және олардың орташа v жылдамдығын анықтаңдар.

11.77. Алюминий пластинканың $S = ab$ қимасы арқылы (a — қалыңдығы, b — биіктігі) $I = 5$ А ток жіберіледі. Пластинка бағыты токтың бағыты мен b қырына перпендикуляр болатын магнит өрісінде орналастырған. Магнит өрісінің индукциясын $B = 0,5$ Тл және пластинканың қалыңдығын $a = 0,1$ мм деп алып, осы уақытта пайда болатын көлденең U потенциалдар айырымын анықтаңдар. Өткізгіш электрондардың концентрациясын атомдардың концентрациясына тең деп есептендер.

11.78.* Индукциясы B магнит өрісіне перпендикуляр орналастырылған қалыңдығы a өткізгіш пластина бойымен I тогы жүргенде пайда болатын потенциалдар айырымын табыңдар. Токты тасушылардың концентрациясы n -ге тең.

11.79. Қалыңдығы $a = 0,2$ мм шалаөткізгіш пластинкасын осы пластинкаға перпендикуляр бағытталған магнит өрісіне орналас-тырады. Шалаөткізгіштің меншікті кедергісі $\rho = 10$ мкОм·м. Магнит өрісінің индукциясы $B = 1$ Тл. Пластинканың бойымен өріске перпендикуляр бағытта $I = 0,1$ А ток жіберіледі. Осы уақытта $U = 3,25$ мВ көлденең потенциалдар айырымы пайда болады. Шала өткізгіштегі токты тасушылардың n қозғалғыштығын анықтаңдар.

11.80. Индукциясы $B = 0,1$ Тл біртекті магнит өрісінде ұзындығы $l = 10$ см өткізгіш қозғалады. Өткізгіштің қозғалу жылдамдығы $v = 15$ м/с және ол магнит өрісіне перпендикуляр бағытталған. Өткізгіштегі \mathcal{E} индукцияланған э. қ. к. неге тең?

11.81. Орамы $N = 500$, диаметрі $D = 10$ см шарық магнит өрісінде тұр. Егер магнит өрісінің B индукциясы $t = 0,1$ с ішінде 0-ден 2 Тл-ға дейін өседі десек, шарықтағы индукцияның э. қ. күшінің орташа мәні $\mathcal{E}_{ор}$ неге тең болады?

11.82. Реактивті қозғалтқышы бар ұшақтың жылдамдығы $v=950$ км/сағ. Жердің магнит өрісінің кернеулігінің вертикаль құраушысы $H_v=39,8$ А/м, ұшақ қанаттарының құлашы $l = 12,5$ м деп алып, қанаттардың ұштарында пайда болатын \mathcal{E} индукцияның э. қ. күшін табыңдар.

11.83. Индукциясы $B = 0,05$ Тл магнит өрісінде ұзындығы $l = 1$ м білік $\omega = 20$ рад/с тұрақты бұрыштық жылдамдықпен айналады. Айналу осі біліктің ұштары арқылы өтеді де, магнит өрісінің күш сызық-тарына параллель болады. Білік ұштарында пайда болатын индук-цияның \mathcal{E} э. қ. күшін табыңдар.

11.84. Ауданы $S = 0,01$ м² дөңгелек сым орамы индукциясы $B=1$ Тл біртекті магнит өрісінде тұр. Орамның жазықтығы магнит өрісінің бағытына перпендикуляр. Өрісті $t = 10$ мс-қа ағытып тастағанда орамда пайда болатын $\mathcal{E}_{ор}$ индукцияның э. қ. күшінің орташа мәні неге тең болады?

11.85. Индукциясы $B = 0,8$ Тл біртекті магнит өрісінде кәсекше $\omega = 15$ рад/с бұрыштық жылдамдықпен бірқалыпты айналады. Кәсекшенің ауданы $S = 150$ см². Айналу осі кәсекшенің жазықтығында жатады да, магнит өрісінің бағыты-

мен $\alpha = 30^\circ$ бұрыш жасайды. Айналып тұрған кәсекшедегі ең үлкен \mathcal{E}_{\max} индукцияның э. қ. күшін табыңдар.

11.86. Ұзындығы $l = 1$ м горизонталь білік бір ұшы арқылы өтетін вертикаль осьтің төңірегінде айналады. Айналу осі индукциясы $B = 50$ мкТл магнит өрісіне параллель орналасқан. Біліктің қандай n айналу жиілігінде оның ұштарындағы потенциалдар айырымы $U = 1$ мВ-қа тең болады?

11.87.* Радиусы $a = 0,25$ м металл диск $n = 1000$ айн/мин жасап айналады. Мына жағдайлардағы дискінің центрі мен шетінің арасындағы U потенциалдар айырымын табыңдар:

а) магнит өрісі болмағанда;

б) дискінің жазықтығына перпендикуляр $B = 10$ мТл магниттік өріс үшін.

11.88. Ұзындығы $l = 20$ см, көлденең қимасының ауданы $S = 30$ см² соленоидқа сым орамы кигізілген. Соленоидтың $N = 320$ орамынан $I = 3$ А ток өтеді. Соленоидтағы токты $t = 1$ мс бойы айырып тастағанда соленоидқа кигізілген орамда қандай $\mathcal{E}_{\text{ор}}$ орташа э. қ. күші индукцияланады?

11.89. Егер алдыңғы есепте қарастырылған соленоидтың ішінде темір өзек бар десек, онда орамда индукцияланған $\mathcal{E}_{\text{ор}}$ орташа э. қ. күші неге тең болады?

11.90. Ұзындығы $l = 144$ см, диаметрі $D = 5$ см соленоидқа сым орамы кигізілген. Соленоидтың орамасы $N = 2000$ орамнан тұрады және оның бойымен $I = 2$ А ток өтеді. Соленоидтың ішінде темір өзегі бар. Соленоидты токтан $t = 2$ мс бойы алып тастағанда соленоидқа кигізілген орамда индукцияланатын $\mathcal{E}_{\text{ор}}$ орташа э. қ. күші қандай болады?

11.91. Орам саны $N = 400$ болатын шарықтың ұзындығы $l = 20$ см. Шарықтың L_1 индуктивтіктігін табыңдар. Шарықтың көлденең қимасының ауданы $S = 9$ см². Ішіне темір өзегі енгізілген жағдайдағы шарықтың L_2 индуктивтілігін табыңдар. Темір өзектің магниттік өтімділігі $\mu = 400$.

11.92. Соленоидтың орамасы көлденең қимасы $S = 1$ мм² мыс сымының N орамынан тұрады. Соленоидтың ұзындығы $l = 25$ см, оның кедергісі $R = 0,2$ Ом. Соленоидтың L индуктивтілігін табыңдар.

11.93. Ұзындығы $l = 20$ см, диаметрі $D = 3$ см шарықтың $N = 400$ орамы бар. Шарық арқылы күші $I = 2$ А ток өтеді. Шарықтың L индуктивтілігін және оның көлденең қимасының ауданынан өтетін Φ магнит ағынын табыңдар.

11.94. Индуктивтігі $L = 1$ мГн орамасы бірқабат шарықта қанша орам саны бар? Катушканың диаметрі $D = 4$ см, сымның диаметрі $d = 0,6$ мм. Орамдар бір-біріне тығыз орналасқан.

11.95. Темір өзегі бар шарықтың көлденең қимасының ауданы $S = 20$ см², орам саны $N = 500$. Өзегі бар шарықтың орамасынан $I = 5$ А ток өткендегі индуктивтілігі $L = 0,28$ Гн. Темір өзектің μ магниттік өтімділігін табыңдар.

11.96. Ұзындығы $l = 50$ см, көлденең қимасының ауданы $S = 2$ см² соленоидтың индуктивтігі $L = 0,2$ мкГн. Қандай I токта соленоидтың ішіндегі магнит өрісі энергиясының көлемдік тығыздығы $W_0 = 1$ мДж/м³ шамасына тең болады?

11.97. Егер ток күші $I = 1$ А токта шарықтың көлденең қимасынан өтетін магнит ағыны $\Phi = 2$ мкВб болса, индуктивтігі $L = 1$ мГн шарықта қанша орам саны бар?

11.98. Ұзындығы $l = 1$ м темір өзегі бар соленоидтың көлденең қимасының ауданы $S = 10$ см². Соленоидтың көлденең қимасының ауданынан өтетін магнит ағыны $\Phi = 1,4$ мВб болса, онда өзек материалының μ магниттік өтімділігі қандай болады? Осындай магнит ағыны соленоидтан өтетін токтың қандай I мәніне сәйкес келетінін табыңдар. Соленоидтың индуктивтілігі $L = 0,44$ Гн.

11.99. Темір өзегі бар соленоидтың ұзындығы $l = 50$ см, көлденең қимасының ауданы $S = 10$ см² және орамының саны $N = 1000$. Соленоидтың орамасынан өтетін ток: а) $I = 0,1$ А; б) $I = 0,2$ А; в) $I = 2$ А деп алып, осы соленоидтың L индуктивтілігін табыңдар.

11.100. Екі шарық ортақ бір өзекке оралған. Бірінші шарықтың индуктивтілігі $L_1 = 0,2$ Гн, екіншісінікі — $L_2 = 0,8$ Гн. Екінші шарықтың кедергісі $R_2 = 600$ Ом. Егер бірінші шарық арқылы өтетін $I_1 = 0,3$ А токты $t = 1$ мс уақытқа үзіп тастаса, онда екінші шарықтан өтетін I_2 ток қандай болады?

11.101. Индукциясы $B = 0,05$ Тл магнит өрісінде мыс сымнан жасалған ауданы $S = 25$ см² квадрат кәсекше орналасқан.

Сымның көлденең қимасының ауданы $s = 1 \text{ мм}^2$. Кәсекше жазықтығына түсірілген нормаль өріс бойымен бағытталған. Магнит өрісі ғайып болса, кәсекше контурынан қандай q электр мөлшері өтеді?

11.102. Индукциясы $B = 0,05 \text{ Тл}$ магнит өрісінде $N = 200$ сым орамынан тұратын шарық орналасқан. Шарықтың кедергісі $R = 40 \text{ Ом}$, көлденең қимасының ауданы $S = 12 \text{ см}^2$. Шарықтың осі магнит өрісінің бағытымен $\alpha = 60^\circ$ бұрыш жасайды. Магнит өрісі ғайып болса, шарықтан өтетін электр мөлшері q қандай болады?

11.103. Радиусы $r = 2 \text{ см}$ дөңгелек контур индукциясы $B = 0,2 \text{ Тл}$ біртекті магнит өрісінде орналастырылған. Контурдың жазықтығы магнит өрісіне перпендикуляр, ал кедергісі $R = 1 \text{ Ом}$. Катушканы $\alpha = 90^\circ$ бұрышқа бұрғанда одан өтетін q электр мөлшері қандай болады?

11.104. Темірдің магниттік өтімділігін өлшеу үшін одан ұзындығы $l = 50 \text{ см}$ және көлденең қимасының ауданы $S = 4 \text{ см}^2$ тороид жасалды. Тороидтың орам саны $N_1 = 500$ болатын бір орамасы ток көзімен жалғастырылған, орам саны $N_2 = 1000$ болатын екіншісі гальванометрмен қосылған. Бірінші ретті орамадағы токтың бағытын қарама-қарсы бағытқа ауыстырып, біз екінші ретті орамада индукцияланған ток алатын боламыз. Бірінші ретті орамадағы $I = 1 \text{ А}$ ток бағытын ауыстырғанда, гальванометр арқылы $q = 0,06 \text{ Кл}$ электр мөлшері өтеді деп алып, темірдің μ магниттік өтімділігін табыңдар. Екінші ретті ораманың кедергісі $R = 20 \text{ Ом}$.

11.105. Ыстық күйіндегі кедергісі $R = 10 \text{ Ом}$ электр шамы дроссель арқылы 12 вольттік аккумулятормен жалғастырылады. Дроссельдің индуктивтігі $L = 2 \text{ Гн}$, кедергісі $r = 1 \text{ Ом}$. Егер шамдағы кернеу $U = 6 \text{ В}$ болғанда білінерліктей жана бастаса, онда ол аккумуляторға қосылғаннан кейін қанша t уақыт өткенде толық жанатын болады?

11.106. Ұзындығы $l = 20 \text{ см}$, диаметрі $D = 2 \text{ см}$ шарық берілген. Шарықтың орамасы көлденең қимасының ауданы $s = 1 \text{ мм}^2$ мыс сымның $N = 200$ орамынан тұрады. Шарық біршама э. қ. күші бар тізбекке қосылған. Ауыстырақосқыш арқылы э. қ. күшін ағытып тастағанда шарық қысқа тұйықталады. Э. қ. күшін

ағытып тастағаннан кейін қанша t уақытта тізбектегі токтың күші екі есе кемитін болады?

11.107. Индуктивтігі $L = 0,2$ Гн, кедергісі $R = 1,64$ Ом шарық берілген. Э. қ. күшті ағытып, шарықты қысқа тұйықтағаннан кейін $t = 0,05$ с уақыт өткен соң шарықтағы токтың күші неше есе кемитіндігін табыңдар.

11.108. Катушканың кедергісі $R = 10$ Ом, индуктивтігі $L = 0,144$ Гн. Катушканы ток көзіне қосқаннан кейін қанша t уақыттан соң одан қалыпты токтың жартысына тең болатын ток ағатын болады?

11.109. Контурдың кедергісі $R = 2$ Ом, индуктивтігі $L = 0,2$ Гн. Э. қ. күшін тізбекке қосқан кезден бастап контурдан өтетін I ток күшінің өсуі t уақытқа тәуелділігінің графигін әрбір $0,1$ сек сайын $0 \leq t \leq 0,5$ с интервалы үшін құру керек. Ордината осінің бойына өсу үстіндегі I ток күшінің соңғы I_0 ток күшіне қатынасын салыңдар.

11.110. Қимасы $s = 1$ мм² мыс сымнан жасалған квадрат кәсекше магнит өрісінде орналасқан. Магнит өрісінің индукциясы $B = B_0 \sin \omega t$ заңы бойынша өзгереді, мұндағы $B_0 = 0,01$ Тл, $\omega = 2\pi/T$, $T = 0,02$ с. Кәсекше ауданы $S = 25$ см². Кәсекше жазықтығы магнит өрісінің бағытына перпендикуляр. Мыналардың: а) кәсекшедегі \mathcal{E} индукция э. қ. күшінің, б) кәсекше бойымен өтетін I ток күшінің, в) кәсекше бетінен өтетін Φ магнит ағынының t уақытқа тәуелділігін және олардың ең үлкен мәндерін табыңдар.

11.111. Индуктивтігі $L = 20$ мГн шарық арқылы, $I = I_0 \sin \omega t$ заңы бойынша өзгереді ток өтеді, мұндағы $I_0 = 5$ А, $\omega = 2\pi/T$, $T = 0,02$ с. Мыналардың: а) шарықтағы \mathcal{E} индукция э. қ. күшінің; б) шарықтың магнит өрісінің W энергиясының уақытқа t тәуелділігін табыңдар.

11.112. Екі шарықтың өзара индуктивтігі $L_{12} = 5$ мГн. Бірінші шарықтағы ток $I = I_0 \sin \omega t$ заңы бойынша өзгереді, мұндағы $I_0 = 10$ А, $\omega = 2\pi/T$, $T = 0,02$ с. Мыналарды: а) екінші шарықтағы \mathcal{E}_2 индукция э. қ. күштің t уақытқа тәуелділігін, б) осы э. қ. күштің ең үлкен $\mathcal{E}_{2\max}$ мәнін табыңдар.

11.113.* Индуктивтігі $L = 2$ мкГн және кедергісі $R_0 = 1$ Ом э.қ.күші $\mathcal{E} = 3,0$ В шарық тұрақты ток көзіне қосылған. Шарыққа параллель $R = 2$ Ом кедергісі қосылған. Шарықтағы ток қалыпты мәніне жеткенде, ток көзі айырылады. Тізбектегі ток үзілгеннен кейінгі R кедергісінде пайда болатын Q жылу мөлшерін табындар.

11.114.* Бойында тогы бар қысқа тұйықталған асқын өткізгіш ұзын соленоидқа асқын өткізгіш білікті енгізген кезде соленоидтағы ток 3 есе көбейеді. Соленоидтың көлденең қимасының біліктің көлденең қимасынан қанша есе үлкен болатынын анықтаңдар.

11.115.* Қысқатұйықталған асқын өткізгіш ұзын соленоидты магниттік өріске оның B_0 индукция векторының бағытына α бұрыш жасап енгізеді. Егер соленоид сыртқы өріске тек қана жартылай енсе, соленоидтағы магниттік өрістің индукциясы қалай таралып бөлінеді?

11.116.* Бойында I тогы ағатын индуктивтігі L асқын өткізгіш сақинаны индукциясы B_0 магниттік өріске енгізеді. Сақинаның бойында ағатын ток күшін табындар. Сақинаның жазықтығына нормаль өрістің бағытымен α бұрыш жасайды, сақинаның радиусы R .

11.117.* Қимасының ауданы S , ұзындығы L , массасы m жіңішке асқын өткізгіш индукциясы B бойлық магниттік өріске кіруі үшін қандай ең кіші жылдамдықта болуы керек?

11.118.* Егер қабырғасы жұқа, өткізгіштігі идеал ұзын цилиндрді өз осі төңірегінде айналдырса, оның ішінде магнит өрісі пайда болады. Цилиндрдің бұрыштық жылдамдығы ω болса, оның индукциясы қандай?

11.119.* Индукциясы B біртекті магнит өрісі бойымен бір нүктеден $\delta\alpha$ азғантай бұрыштық алшақтығы бар v жылдамдықпен электрондар ұшып шығады. Шоқтың көлденең өлшемі ең аз болатын ұшып шыққан орнынан алғандағы қашықтықты анықтаңдар және шоқтың ең аз көлденең өлшемін бағалаңдар.

11.120.* Өтімділігі μ_1 және μ_2 магнетиктен жасалған екі пластина біріктіріліп, оларға перпендикуляр болатын индукциясы \vec{B}_0 біртекті өрісте орналастырылған. Табандарының

ауданы S , \vec{B}_0 -ге перпендикуляр болатын ал жасаушылары \vec{B}_0 -ге параллель болатын ойша бөлініп алған цилиндр беті арқылы өтетін \vec{B} векторының Φ_B және \vec{H} векторының Φ_H ағындары неге тең?

11.121.* Индукциясы \vec{B}_0 біртекті магниттік өріске өтімділігі μ біртекті және изотропты магнетиктен жасалған шар орналастырылған.

а) Магнетиктегі \vec{H} кернеулік пен \vec{B} индукцияны анықтаңдар. Магнитсіздендіру деректігін (факторын) белгілі деп есептеңдер.

б) $\mu \gg 1$ болған жағдайда \vec{B} индукциясы үшін жуық өрнекті жазыңдар.

11.122.* Радиусы a , кедергісі R дөңгелек өткізгіш контур берілген. Бастапқыда онда ток болмайды. Содан соң контурдың жазықтығына перпендикуляр индукциясы \vec{B} біртекті магнит өрісі қосылады.

а) Контурда пайда болатын ток қандай бағытта ағады?

б) Контурдың бойымен қандай q заряд ағады?

11.123.* Жоғарлататын трансформатордың екінші орамасында өте жоғары кернеу болғанда, ораманың өзінде бөлінетін жылуға неге үлкен энергия шығындалмайды?

11.124.* Индуктивтігі L , кедергісі R_L шарықта айнымалы ток бөлетін қуатты анықтау үшін кейде үш вольтметрлік әдіс қолданылады. Ол үшін шарықпен тізбектеліп белгілі R кедергісі қосылады. Шарықтағы U_1 , R кедергідегі U_2 және шарық пен кедергінің арасындағы қысқыштың U эффективті кернеулерін өлшеп, алғашқы W қуаты анықталады. Ол қандай болады?

11.125.* Ұзын соленоидтың үстіне тығыздап шарық орамасыораған. Соленоидтағы ток уақытқа тура пропорционал өседі. Шарықтағы токтың уақытқа тәуелділік сипаты қандай болады?

11.126.* Егер тұрақты токтың сериестік қозғалтқышының орамасындағы кедергі $R = 20$ Ом болса, және оны кернеуі $U = 120$ В желіге қоссақ, онда ол $P = 200$ Вт қуат өндіре ала ма?

11.127.* Сериестік және шунттық қозғалтқыштардың беретін қуаты ең үлкен деп есептеп, олардың п.э.коэффициентін анықтаңдар. Қысқыштардағы кернеу U , екі қозғалтқыштың

роторлары мен статорларындағы орамалардың R_1 және R_2 кедергілері бірдей.

11.128.* Қысқыштарындағы кернеуі $U = 120$ В болғанда, тұрақты токтың шунттық қозғалтқышы $P = 160$ Вт механикалық қуат өндіреді. Оның якорінің айналу жиілігі $n = 10$ с⁻¹, кедергісі $R = 20$ Ом. Осы кернеудегі ең жоғары айналу жиілігін анықтаңдар.

11.129.* Егер шунттық қозғалтқыштың якоріндегі U кернеу және якорь осіне түсірілген механикалық момент M тұрақты сақталып, оның статорындағы орамаларында ток күшін арттырсақ, онда қозғалтқыш-тың жиілігі қалай өзгереді?

11.130.* Электромотор э.қ.күші $\mathcal{E} = 12$ В батареядан қоректенеді. Егер якорды толық тежеген кезде тізбекте $I_0 = 3$ А ток ағатын болса, онда орамасында $I = 2$ А ток 1 секундта жүргенде мотор қандай механикалық W жұмыс жасайды?

11.131.* Электромоторды тұрақты ток желісіне қосқан кезде қосқыш ток $I_0 = 15$ А, ал қалыптасқан жағдайда ток $I = 9$ А-ге дейін азайса, оның п.э.коэффициенті қандай болады?

IV ТАРАУ

ТЕРБЕЛІСТЕР ЖӘНЕ ТОЛҚЫНДАР

§ 12. Гармониялық тербелмелі қозғалыс және толқындар

Гармониялық тербелмелі қозғалыс тендеуінің түрі:

$$x = A \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi\right) = A \sin(2\pi\nu t + \varphi) = A \sin(\omega t + \varphi),$$

мұндағы: x — нүктенің тепе-теңдік қалыптан ығысуы, бұл әр түрлі уақыт кезеңінде түрліше болады, A — амплитуда, T — период, φ — бастапқы фаза, $\nu[\text{Гц}] = 1/T$ — тербеліс жиілігі, $\omega[\text{с}^{-1}] = 2\pi/T$ — бұрыштық жиілік.

Тербеліс жасайтын нүктенің жылдамдығы:

$$v = \frac{dx}{dt} = \frac{2\pi}{T} A \cos\left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi\right),$$

үдеуі:

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{4\pi^2}{T^2} A \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi\right).$$

Массасы m нүктеге гармониялық тербеліс жасататын күш:

$$F = ma = -\frac{4\pi^2 m}{T^2} A \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi\right) = -\frac{4\pi^2 m}{T^2} x = -kx,$$

мұндағы $k = 4\pi^2 m/T^2$, осыдан $F = -kx$ күштің әрекетінен тербелетін нүктенің тербеліс периоды $T = 2\pi\sqrt{m/k}$, k — қатқылдық коэффициенті, ол сан жағынан бір ығысу туғызатын күшке тең.

Тербелген нүктенің кинетикалық энергиясы:

$$W_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{2\pi^2 m}{T^2} A^2 \cos^2\left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi\right),$$

ал потенциалдарық энергиясы:

$$W_{\text{п}} = \frac{kx^2}{2} = \frac{2\pi^2 m}{T^2} A^2 \sin^2 \left(\frac{2\pi}{T} t + \varphi \right).$$

Толық энергия:

$$W = \frac{2\pi^2 m}{T^2} A^2.$$

Гармониялық тербелмелі қозғалысқа маятниктің шағын тербелісі мысал бола алады. Математикалық маятник тербелісінің периоды:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}},$$

мұндағы: l — маятниктің ұзындығы, g — еркін түсу үдеуі.

Физикалық маятниктің шағын тербелістерінің периоды:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{J}{mdg}},$$

мұндағы: J — маятниктің айналу осіне байланысты инерция моменті, m — маятниктің массасы, d — массалар центрінен оның айналу осіне дейінгі қашықтық, g — еркін түсу үдеуі.

Бір жаққа бағытталған периодтары бірдей екі гармониялық тербелістерді қосқанда периоды қосылатын тербелістердің периодындай гармониялық тербеліс алынады, оның амплитудасы:

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_1)},$$

бастапқы фазасы:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{A_1 \sin \varphi_1 + A_2 \sin \varphi_2}{A_1 \cos \varphi_1 + A_2 \cos \varphi_2}$$

теңдеулерімен анықталады. Мұндағы: A_1 мен A_2 — қосылған тербелістердің амплитудалары, φ_1 мен φ_2 — олардың бастапқы фазалары.

Периодтары бірдей өзара перпендикуляр екі тербелістерді қосқанда, одан шыққан қорытқы қозғалыс траекториясының теңдеуі мына түрде болады:

$$\frac{x^2}{A_1^2} + \frac{y^2}{A_2^2} - \frac{2xy}{A_1 A_2} \cos(\varphi_2 - \varphi_1) = \sin^2(\varphi_2 - \varphi_1).$$

Массасы m материялық нүктеге $F = -kx$ серпімді күшіне қоса $F_{\text{тр}} = -rv$ үйкеліс күші әрекет етсе (мұндағы r — үйкеліс коэффициенті, v — тербелетін нүктенің жылдамдығы), онда нүктенің тербелістері өшетін болады. Өшетін тербелмелі қозғалыстың теңдеуі:

$$x = Ae^{-\delta t} \sin(\omega t + \varphi),$$

мұндағы $\delta [c^{-1}]$ — өшу коэффициенті. Сонымен қатар $\delta = r/2m$ және $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}$, мұндағы ω_0 — меншікті тербелістердің бұрыштық жиілігі. $\kappa = \delta T$ шамасы өшудің логарифмдік декременті деп аталады.

Егер тербелісі

$$x_1 = Ae^{-\delta t} \sin \omega_0 t$$

теңдеумен берілген массасы m материялық нүктеге периодты $F = F_0 \sin \omega t$ сыртқы күш әрекет етсе, онда нүктенің тербелісі мәжбүр тербеліс болады да, оның теңдеуі мына түрге келеді:

$$x_2 = A \sin(\omega t + \varphi),$$

мұндағы:

$$A = \frac{F_0}{m \sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\delta^2 \omega^2}}, \quad \operatorname{tg} \varphi = \frac{2\delta \omega}{\omega_0^2 - \omega^2}.$$

Мәжбүр тербелістің ω жиілігі меншікті тербелістің ω_0 жиілігімен және δ өшу коэффициентімен мына қатынастағыдай:

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - 2\delta^2}$$

байланыста болғанда резонанс орын алады.

Өшпейтін тербеліс сәуле деп аталатын кейбір бағыттың бойымен c жылдамдықпен тарағанда, тербеліс көзінен l қашықтықта осы сәуледе жатқан кез келген нүктенің ығысуы мына теңдеумен беріледі:

$$x = A \sin \left(\frac{2\pi}{T} t - \frac{2\pi l}{\lambda} \right),$$

мұндағы: A — тербелетін нүктелердің амплитудасы, λ — толқынның ұзындығы. Сонымен бірге $\lambda = cT$. Сәуленің бойында тербеліс көзінен l_1 және l_2 қашықтықта жатқан екі нүктенің фазалар айырымы мынадай:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = 2\pi \frac{l_2 - l_1}{\lambda}.$$

Толқындардың интерференциясында амплитуданың ең үлкен, ең кіші мәндері тиісінше төмендегі шарттардан алынады:

$$l_2 - l_1 = 2n \frac{\lambda}{2} \quad (n = 0, 1, 2, \dots)$$

$$l_2 - l_1 = (2n + 1) \frac{\lambda}{2} \quad (n = 0, 1, 2, \dots)$$

мұндағы $l_2 - l_1$ — сәулелер жолының айырымы.

12.1. Амплитудасы $A = 50$ мм, периоды $T = 4$ с, бастапқы фазасы $\varphi = \pi/4$ болатын гармониялық тербелістің теңдеуін жазыңдар. Тербелетін нүктенің $t=0$ және $t = 1,5$ с болғанда тепе-теңдік қалыптан x ығысуын табыңдар. Осы қозғалыстың графигін сызыңдар.

12.2. Амплитудасы $A = 5$ см, периоды $T = 8$ с гармониялық тербелістің φ бастапқы фазалары а) 0; б) $\pi/2$; в) π ; г) $3\pi/2$; д) 2π деп алып, осы тербелмелі қозғалыстың теңдеуін жазыңдар. Қозғалыстың барлық жағдайдағы графигін сызыңдар.

12.3. Амплитудалары $A_1 = A_2 = 2$ см және периодтары $T_1 = T_2 = 8$ с бірдей, ал $\varphi_2 - \varphi_1$ фазаларының айырымы: а) $\pi/4$; б) $\pi/2$; в) π ; г) 2π болатын екі гармониялық тербелісті бір графикке сызыңдар.

12.4.* Қозғалыс басталғаннан кейін 0,25 с өткенде ығысуы амплитуданың жартысына тең болатын дене тербелісінің бастапқы фазасын анықтаңдар. Тербеліс периоды 6 с.

12.5. Гармониялық тербелістің бастапқы фазасы $\varphi = 0$. Периодтың қандай үлесінен кейін нүктенің жылдамдығы оның ең үлкен жылдамдығының жартысына тең болады?

12.6. Гармониялық тербелістің амплитудасы $A = 5$ см, периоды $T = 4$ с. Тербелетін нүктенің ең үлкен жылдамдығы v_{\max} мен ең үлкен үдеуін a_{\max} табыңдар.

12.7. Материялық нүктенің тербелісі $x = 0,03 \cdot \sin \pi (t + 0,5)$ заңы бойынша орындалады. Тербелістің амплитудасы мен периоды СИ жүйесінде берілген. Жылдамдық пен үдеуінің ең үлкен мәнін анықтаңдар. Қозғалыс басталғаннан кейін 5с өткен соң тербелістің фазасы неге тең?

12.8. Нүкте қозғалысының $x = 2 \sin\left(\frac{\pi}{2}t + \frac{\pi}{4}\right)$ см теңдеуі берілген. Тербелістің T периодын; нүктенің v_{\max} ең үлкен жылдамдығын; ең үлкен a_{\max} үдеуін табыңдар.

12.9.* Гармониялық осциллятордың уақытқа тәуелді ығысуы мына теңдеумен $x = 2,4 \cos\left(\frac{2\pi t}{4} + \frac{\pi}{6}\right)$ анықталады, мұндағы x метрмен, t секундпен берілген. Мыналарды: а) тербелістің периоды мен жиілігін; б) $t = 0$ -ге тең болғандағы жылдамдығы мен ығысуын; в) $t = 10$ с уақыттағы жылдамдығы мен үдеуін табыңдар.

12.10.* Гармониялық тербеліс жасайтын материялық нүктенің жылдамдығы $v(t) = -6 \sin 2\pi t$ теңдеуімен беріледі. Осы нүктенің ығысуының уақытқа тәуелділігін жазыңдар.

12.11.* A және B бөлшектері бірдей амплитудамен (10 см) бір сызықтың бойында гармониялық тербеледі. Олардың қозғалыс жиіліктері тиісінше $\omega_A = 20 \text{ с}^{-1}$ және $\omega_B = 21 \text{ с}^{-1}$. $t = 0$ уақытта екі бөлшек $x = 0$ нүктесінен оң бағытта өтеді. а) Олар $t = 0,350$ секундта бір-бірінен қандай қашықтықта болады? б) Осы уақыт сәтіндегі B бөлшегінің A бөлшегіне қарағандағы жылдамдығы қандай болады?

12.12. Нүкте гармониялық тербеліс жасайды. Тербеліс периоды $T = 2$ с, амплитудасы $A = 50$ мм, бастапқы фазасы $\varphi = 0$.

Нүктенің тепе-теңдік қалыптан ығысуы $x = 25$ мм болған кездегі v жылдамдығын табындар.

12.13. Нүктенің ең үлкен үдеуі $a_{\max} = 49,3$ см/с², тербеліс периоды $T = 2$ с, тепе-теңдік қалпынан алғашқы ығысуы $x_0 = 25$ мм болған кездегі гармониялық тербелмелі қозғалысының теңдеуін жазындар.

12.14.* Бөлшек 24 м/с тұрақты жылдамдықпен центрі координаттардың бас нүктесінде болатын шеңбердің бойымен қозғалады. Бөлшек координаттары $t = 0$ уақытта $x = 3,0$ м, $y = 4,2$ м нүктеде болады. Айналу жиілігі қандай? Бастапқы φ_0 фазасы неге тең? Бұл бөлшектің x , y жазықтығындағы траекториясы қандай өрнекпен жазылады?

12.15. Массасы $m = 16$ г материялық нүктенің тербеліс теңдеуі $x = 0,1 \sin\left(\frac{\pi}{8}t + \frac{\pi}{4}\right)$. Нүктеге әрекет ететін F күштің t уақытқа (бір периодтың шегінде) тәуелділігінің графигін салындар. Күштің ең үлкен F_{\max} мәнін табындар.

12.16. Массасы $m = 10$ г материялық нүкте $x = 5 \sin\left(\frac{\pi}{5}t + \frac{\pi}{4}\right)$ теңдеуі бойынша тербеледі. Нүктеге әрекет ететін ең үлкен F_{\max} күш пен тербелетін нүктенің W толық энергиясын табындар.

12.17. Массасы $m = 16$ г материялық нүктенің тербеліс теңдеуі: $x = 2 \sin\left(\frac{\pi}{4}t + \frac{\pi}{4}\right)$ см. Нүктенің W_k кинети-калық, W_n потенциалдардық және W толық энергияларының t уақытқа (бір периодтың шегіндегі) тәуелділігінің графигін салындар.

12.18. Мына уақыт кезеңдері үшін: а) $t = T/12$; б) $t = T/8$; в) $t = T/6$ гармониялық тербеліс жасайтын нүктенің W_k кинетикалық энергия-сының W_n потенциалдардық энергиясына қатынасын анықтаңдар. Тербелістің бастапқы фазасы $\varphi = 0$.

12.19. Нүктенің тепе-теңдік қалпынан ығысуы мына мәндерге: а) $x = A/4$; б) $x = A/2$; в) $x = A$ тең болатын кезеңдер үшін гармониялық тербеліс жасайтын нүктенің W_k кинетикалық энергиясының оның W_n потенциалдардық энергиясына қатынасын анықтаңдар. A — тербеліс амплитудасы.

12.20. Гармониялық тербелмелі қозғалыс жасайтын дененің толық энергиясы $W = 30$ мкДж, денеге әрекет ететін ең үлкен

күш $F_{\max} = 1,5$ мН. Тербелістің периодын $T = 2$ сек, бастапқы фазасын $\varphi = \pi/3$ деп, осы дененің қозғалыс теңдеуін жазыңдар.

12.21. Материялық нүктенің гармониялық тербелісінің амплитудасы $A = 2$ см, тербелістің толық энергиясы $W = 0,3$ мкДж. Тербелістегі нүктенің тепе-теңдік қалпынан есептегендегі қандай x ығысуында оған әрекет ететін күш $F = 22,5$ мкН болады?

12.22. Ұзындығы $l = 2$ м жіпке ілінген шарикті $\alpha = 4^\circ$ бұрышқа бұрып, оның тербелісін бақылайды. Тербелісті гармониялық өшпейтін деп есептеп, шариктің тепе-теңдік қалыптан өтер шағындағы жылдамдығын табыңдар. Шариктің тепе-теңдік қалыптан өтер шағындағы жылдамдығын механикадағы теңдеулер арқылы тауып, есептің шешуін тексеріңдер.

12.23. Серіппеге $m = 10$ кг жүк ілінген. $F = 9,8$ Н күштің әрекетінен серіппе $l = 1,5$ см-ге созылатынын біле отырып, жүктің вертикаль тербелісінің T периодын анықтаңдар.

12.24. Серіппеге жүк ілінген. Жүк тербелісінің ең үлкен кинетикалық энергиясы $W_{k \max} = 1$ Дж. Серіппе k қатқылдығын табыңдар. Тербелістің амплитудасы $A = 5$ см.

12.25. Жүктер бірдей екі серіппеге ілінеді. Егер серіппелерді: а) бір-бірімен тізбектеп жалғастырудан б) параллель жалғастыруға ауыстырсақ, онда оларға ілінген жүктің вертикаль тербелістерінің периодтары қалай өзгереді?

12.26.* Спиральді серіппеге ілінген жүктің массасын 600 г-ға ұлғайтсақ, оның тербелісінің периоды 2 есе өседі. Ілінген жүктің бастапқы массасын анықтаңдар.

12.27. Таразының гир салынған табакшалары серіппеге ілінген. Осы уақытта вертикаль тербелістің периоды $T_1 = 0,5$ с. Таразының табакшаларына қосымша гир салынғаннан кейінгі оның вертикаль тербелісінің периоды $T_2 = 0,6$ с-қа тең болды. Қосымша гирдің әрекетінен серіппе қаншаға ұзарады?

12.28. Ұзындығы $l = 40$ см, радиусы $r = 1$ мм резеңке жіпке массасы $m = 0,5$ кг гир ілінген. Осы резеңкенің Юнга модулі $E = 3$ МН/м²-ге тең деп алып, гирдің вертикаль тербелісінің T периодын табыңдар.

Н ұ с қ а у. Резеңкенің k деформация коэффициентінің резеңкенің E Юнга модулімен мынадай қатынас арқылы байланыста болатындығын ескеру керек

$k=SE/l$, мұндағы S — резеңкенің көлденең қимасының ауданы, ал l — оның ұзындығы.

12.29.* Массасы m жүкті еркін ілінген серіппенің ұшына ақырындап байлайды. Жүкті босатқан кезде ол 30 см төмендейді де, тербеле бастайды. Тербелістің жиілігі неге тең болады?

12.30. Сұйықтың ішінде жүзіп жүрген ареометрдің массасы $m = 0,2$ кг. Егер осы ареометрді сұйықтың ішіне шамалы батырып, содан кейін босатып жіберсек, онда ол $T = 3,4$ с периодпен тербеліс жасай бастайды. Тербелісті өшпейтін деп есептеп, осы тәжірибедегі мәліметтер бойынша ареометр жүзіп жүрген сұйықтың ρ тығыздығын табындар. Ареометрдің цилиндр тәрізді вертикаль түтігінің диаметрі $d=1$ см.

12.31.* Математикалық маятникті вертикальдан 90° -қа ауытқытып, босатып жібереді. Маятник тепе-теңдік қалыпқа келе бергенде, оның іліну нүктесі жоғары қарай a үдеуімен қозғала бастады. Маятник вертикалдан қандай ең үлкен бұрышқа ауытқиды?

12.32.* Горизонталь тірек (платформа) вертикаль бағытта $y = a \cos \omega t$ гармониялық тербелісін жасайды. Тіректің үстінде абсолютті серпімсіз материалдан жасалған шайба жатыр.

а) Қандай жағдайда шайба тіректен ажырайды?

б) Шайба ажыраған кезде тірек қандай орында болады және қай бағытта қозғалады?

в) Егер $a = 20$ см, $\omega = 10 \text{ с}^{-1}$ болса, шайба осы тіректің орташа күйіне сәйкес келетін орнынан қандай h биіктікке көтеріледі?

12.33.* Массасы $M = 20$ кг бөрене әрқайсысының ұзындығы $l = 1$ м болатын екі арқанға ілінген. Осы бөрененің шетіне массасы $m = 10$ г, $v = 500$ м/с жылдамдықпен ұшып келе жатқан оқ тиеді де, ішінде қалып қояды. Бөрененің тербелісінің φ_m амплитудасы мен T периодын табындар. Үйкеліс есепке алынбайды.

12.34.* Массасы $M = 5$ кг, радиусы $R = 10$ см, біртекті тұтас цилиндр блогына жіп арқылы массасы $m = 1$ кг жүк ілінген. Жіптің екінші ұшы қатқылдығы $k = 10^3$ Н/м-ға тең серіппе арқылы тірекке қосылған. Цилиндр өз осімен үйкеліссіз айналады. Жіптің блок бойымен сырғуын есептемей, мыналарды: а) жүктің шағын тербелісінің ω жиілігін; б) тербелістің амплитудасы $a = 5$ см болған кездегі блоктың оң және сол

жақтарындағы жіптің F_{1m} және F_{2m} ең үлкен керілу күштерін табындар.

12.35.* Массалары m_1 және m_2 екі шар жіңішке горизонталь біліктің бойымен сырғиды. Шарлар қатқылдық коэффициенті k -ға тең салмақсыз серіппе арқылы бір-бірімен қосылған. Осы шарларды бір-бірінен алшақтатып, содан соң босатып қоя береді. Мыналарды:

а) жүйенің массалар центрінің ығысуын;

б) пайда болатын тербелістердің ω жиілігін;

в) егер шарлардың бастапқы салыстырмалы ығысуы a болса, олардың салыстырмалы жылдамдықтарының ең жоғары мәндерін анықтандар.

12.36.* Алдыңғы есептің шарты бойынша бастапқыда шарлар қозғалмайды. Содан соң массасы m_1 шарға $p_1 = m_1 v_0$ импульсін береді. Мыналарды: а) жүйенің массалар центрінің v_c жылдамдығын; б) жүйенің ілгерілімелі $E_{\text{ілт}}$ және тербелілемелі $E_{\text{тер}}$ қозғалыстарының энергиясын; в) тербелістің ω жиілігі мен x_m амплитудасын анықтаңдар.

12.37.* Көлбеу қабырғаға ұзындығы l маятник ілінген. Маятникті вертикалдан қабырға мен вертикальдің жасайтын бұрышынан екі есе үлкен кішкене бұрышқа алшақтатады. Егер қабырғаға соқтығысу абсолютті серпімді болса, маятниктің тербеліс периоды қандай болады?

12.38.* Қатқылдығы k серіппеге ілінген массасы m дене тіректе жатыр. Тіректі кенеттен алып тастайды. Егер бастапқыда серіппе: а) деформацияланбаған болса; б) Δl -ға сығылған болса, дененің тербелісінің $y(t)$ теңдеуін жазындар.

12.39.* Қос маятниктің іліну нүктесі горизонталь бағытта гармониялық тербеліс жасайды. Астыңғы жіптің ұзындығы l , астыңғы шариктің массасы m , үстіңгі шариктің массасы M . Жіптің үстіңгі жағы вертикал күйде қалуы үшін іліну нүктесінің тербеліс жиілігі қандай болу керек?

12.40.* Қос маятниктің іліну нүктесі қозғалыссыз тұр. Маятниктер гармониялық тербеліс жасайды. Олардың жиілігі қандай? Шариктердің массалары m , астыңғы жіптің ұзындығы l .

12.41.* Радиусы R біртекті дөңгелек диск шетінен ілінген. Іліну нүктесімен салыстырғандағы дисктің шамалы тербелістерінің жиілігі қандай болады?

12.42.* Физикалық маятник ұзындығы 35 см жіңішке біртекті білік болып табылады. Тербеліс жиілігі ең үлкен болу үшін іліну нүктесі массалар центрінен қандай қашықтықта болатынын анықтаңдар.

12.43. Бір жаққа қарай бағытталған $T = 8$ с периодтары бірдей, амплитудалары да бірдей $A = 0,02$ м екі гармониялық тербелмелі қозғалысты қосқанда пайда болатын қозғалыстың теңдеуін жазыңдар. Осы тербелістердің арасындағы фаза айырмасы $\varphi_2 - \varphi_1 = \pi/4$. Тербелістің біреуінің бастапқы фазасы нольге тең.

12.44. $x_1 = 0,02\sin(5\pi t + \pi/2)$ м және $x_2 = 0,03\sin(5\pi t + \pi/4)$ м теңдеулерімен берілген бір жаққа қарай бағытталған тербелістерді қосудан пайда болған гармониялық тербелістің A амплитудасын және бастапқы φ фазасын табыңдар.

12.45. Амплитудалары мен периодтары бірдей бір бағыттағы екі гармониялық тербелісті қосудың нәтижесінде периоды мен амплитудасы сондай қорытқы тербеліс шығады. Қосылатын тербелістердің фаза айырымын $\varphi_2 - \varphi_1$ табыңдар.

12.46. Теңдеулері $x_1 = 4\sin\pi t$ см және $x_2 = 3\sin(\pi t + \pi/2)$ см түрде берілген, бір жаққа қарай бағытталған, екі гармониялық тербелістерді қосудың нәтижесінде пайда болған гармониялық тербелістің A амплитудасын және бастапқы φ фазасын табыңдар. Қорытқы тербелістің теңдеуін жазыңдар. Амплитудаларды қосудың векторлық диаграммасын анықтаңдар.

12.47. Тербеліс мына теңдеу арқылы берілген $x = A\sin 2\pi\nu_1 t$, мұндағы A — уақытқа тәуелді $A = A_0(1 + \cos 2\pi\nu_2 t)$ заңы бойынша өзгереді. Тербеліс қандай гармониялық тербелістерден тұратынын табыңдар. $A_0 = 4$ см, $\nu_1 = 2$ Гц, $\nu_2 = 1$ Гц жағдайлары үшін құраушы және қорытқы тербелістердің графигін құрыңдар. Қорытқы тербелістің спектрін сызыңдар.

12.48. Жиіліктері бірдей $\nu_1 = \nu_2 = 5$ Гц және бастапқы фазалары бірдей $\varphi_2 = \varphi_1 = \pi/3$ екі өзара перпендикуляр тербелістерді қосудың нәтижесінде пайда болған қорытқы тербелістің

теңдеуін жазыңдар. Тербелістердің амплитудалары: $A_1 = 0,10$ м, $A_2 = 0,05$ м.

12.49. Нүкте периодтары да және бастапқы фазалары да бірдей екі тербеліске қатысады. Тербелістердің амплитудалары $A_1 = 3$ см және $A_2 = 4$ см. а) Тербелістерді бірдей бағытта, б) өзара перпендикуляр бағыттарда өтеді деп алып, қорытқы тербелістің A амплитудасын табыңдар.

12.50. Нүкте бір мезгілде өзара перпендикуляр екі тербеліске $x = 2\sin\omega t$ м және $y = 2\cos\omega t$ м қатысады. Осы нүктенің қозғалыс траекториясын табыңдар.

12.51. Нүкте бір мезгілде өзара перпендикуляр екі тербеліске $x = \cos\pi t$ және $y = \cos\frac{\pi}{2}t$ қатысады. Нүктенің қорытқы қозғалысының траекториясын табыңдар.

12.52. Нүкте бір мезгілде өзара перпендикуляр екі тербелістерге $x = \sin\pi t$ және $y = 2\sin(\pi t + \pi/2)$ қатысады. Нүктенің қорытқы қозғалысының траекториясын табыңдар және оны масштабын көрсете отырып сызыңдар.

12.53.* Меншікті тербелістерінің периоды $T = 1$ с-ка тең математикалық маятниктің іліну нүктесі амплитудасы $A_n = 1$ см және периоды $T_n = 1,1$ с болатын синусоидальды тербеліс жасайды. Маятниктің қалыптасқан тербелісінің A амплитудасы қандай болады?

12.54. Өшетін тербелістің периоды $T = 4$ с, өшудің логарифмдік декременті $\kappa = 1,6$; бастапқы фазасы $\varphi = 0$. Уақыт $t = T/4$ болғанда нүктенің ығысуы $x = 4,5$ см. Осы тербелмелі қозғалыстың екі период шегіндегі графигін құрыңдар.

12.55. Теңдеуі $x = e^{-0,1t} \sin\frac{\pi}{4}t$ м болатын өшетін тербелістің графигін құрыңдар.

12.56. Өшетін тербелістің теңдеуі $x = e^{-0,25t} \sin\frac{\pi}{4}t$ м түрінде берілген. t уақыт: $0, T, 2T, 3T$ және $4T$ шамаларына тең болғандағы тербеліп тұрған нүктенің v жылдамдығын табыңдар.

12.57. Математикалық маятник тербелісі өшуінің логарифмдік декременті $\kappa = 0,2$. Маятниктің бір толық тербелісінде тербеліс амплитудасының неше есе кемитіндігін табыңдар.

12.58.* Өшетін тербелістерді бақылаған кезде көршілес екі тербелістің екіншісінің амплитудасы біріншісіне қарағанда 60%-

ға кем болатыны байқалды. Тербеліс периоды $T = 0,5$ с. Өшпейтін тербелістердің өшу коэффициенті мен меншікті жиілігін анықтаңдар.

12.59. Ұзындығы $l = 24,7$ см математикалық маятник өшетін тербеліс жасайды. Маятниктің тербеліс энергиясы қанша t уақыттан кейін 9,4 есе кемитін болады? Есепті өшудің логарифмдік декрементінің а) $\kappa = 0,01$; б) $\kappa = 1$ мәндері үшін шешіндер.

12.60. Өшетін тербеліс жасайтын математикалық маятник өшуінің логарифмдік декременті $\kappa = 0,2$. Маятниктің бір толық тербелісінің ең шеткі қалпында оның толық үдеуі неше есе кемиді?

12.61. Математикалық маятниктің өшетін тербелісінің амплитудасы $t = 1$ мин ішінде екі есе кемиді. Оның $t = 3$ мин ішінде неше есе кемитіндігін табыңдар.

12.62.* Математикалық маятниктің өшетін тербелісінің бастапқы амплитудасы $A_0 = 3$ см. $t_1 = 10$ с уақыт өткенде амплитуда $A_1 = 1$ см болып өзгереді. Қанша уақыттан кейін осы амплитуда $A_2 = 0,3$ см-ге тең болады?

12.63. Вертикаль қалыпта тұрған серіппеге жүк ілінген. Сонда серіппе $\Delta l = 9,8$ см ұзарады. Жүкті төмен қарай тартып, содан кейін босатып жіберу арқылы оны тербеліс жасауға мәжбүр етеді. а) Тербе-лістер $t = 10$ с ішінде тоқталу үшін (олардың амплитудасы бастапқы шамасынан 1 пайызға дейін төмендесе, тербелістер тоқтады деп шартты түрде аламыз); б) жүк тепе-теңдік қалпына апериодты түрде келуі үшін және в) өшудің логарифмдік декременті $\kappa = 6$ -ға тең болу үшін өшу коэффициенті δ неге тең болады?

12.64. Массасы $m = 10$ г дене ең үлкен мәні $A_{max} = 7$ см амплитудамен өшетін тербеліс жасайды; тербелістің бастапқы фазасы $\varphi = 0$ және өшу коэффициенті $\delta = 1,6 \text{ с}^{-1}$. Осы денеге F периодты сыртқы күш әрекет ете бастағанда еріксіз тербелістер орнығады. Еріксіз тербелістердің теңдеуі мына түрде беріледі: $x = 5 \sin(10\pi t - 3\pi/4)$. Мыналарды: 1) меншікті тербелістердің теңдеуін (сан коэффициенттерімен), 2) периодты сыртқы күштің теңдеуін (сан коэффициенттерімен) табыңдар.

12.65. Вертикаль серіппеге ілінген массасы $m = 0,2$ кг гир өшу коэффициенті $\delta = 0,75 \text{ с}^{-1}$ -ге тең өшетін тербеліс жасайды. Серіппенің қатқылдығы $k = 0,5$ кН/м. Гирдің мәжбүр тербелістерінің A амплитудасының периодты сыртқы күштің ω жиілігіне тәуелді болатындығын сызып көрсетіндер. Сыртқы күштің ең үлкен мәнін $F_0 = 0,98$ Н деп алыңдар. Графикті құруда мына жиіліктер үшін $\omega = 0$; $\omega = 0,5\omega_0$; $\omega = 0,75\omega_0$; $\omega = \omega_0$; $\omega = 1,5\omega_0$; $\omega = 2\omega_0$ амплитуданың A мәндерін табыңдар, мұндағы ω_0 — іліп қойған гирдің өздік тербелісінің жиілігі.

12. 66. Қара жолмен жүріп өткен трактор, өзінің соңында бір-бірінен $l = 30$ см қашықтықта қатар-қатар жатқан ойыс түрінде із қалдырды. Осы жолмен массасы $m_0 = 1$ кг жүк әрекетінен әрқайсысы $x_0 = 2$ см-ге майысатын бірдей екі рессоры бар арбасын бала сүйретіп өтеді. Осы арбаны жолмен сүйретіп өткенде дөңгелегінің ойыстарға түсіп солкылдауларынан ол резонансқа келіп, өте қатты шайқала бастаған болса, онда арба қандай v жылдамдықпен сүйретілген? Бала арбасының массасы $M = 10$ кг.

12.67. Периоды $T=10^{-14}$ с-қа тең тербелістің λ толқын ұзындығын табыңдар. Тербелістердің таралу жылдамдығы $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

12.68. Жиілігі $\nu = 500$ Гц және амплитудасы $A = 0,25$ мм дыбыс тербелісі ауада тарайды. Толқын ұзындығы $\lambda = 70$ см. Мыналарды: 1) тербелістердің c таралу жылдамдығын, 2) ауа бөлшектерінің v_{\max} ең үлкен жылдамдығын табыңдар.

12.69. Өшпейтін тербелістің теңдеуі $x = \sin \frac{\pi}{2} t$ см түрінде берілген. 1) Тербелістердің таралу жылдамдығын $c = 300$ м/с деп алып, толқынның теңдеуін табыңдар. 2) Тербелістер көзінен $l = 600$ м қашықтықта тұрған нүкте үшін тербеліс теңдеуін жазып және график арқылы көрсетіндер. 3) Тербеліс басталғаннан $t = 4$ с өткен сәттегі толқын нүктелері үшін тербеліс теңдеуін жазып және график арқылы көрсетіндер.

12.70. Өшпейтін тербелістің теңдеуі $x = \sin 2,5\pi t$ см түрінде берілген. Тербелістер басынан $t = 1$ с өткен сәт үшін тербеліс көзінен $l = 20$ м қашықтықта тұрған нүктенің a үдеуі мен v жылдамдығын және тепе-теңдік қалыптан x ығысуын табыңдар. Тербелістің таралу жылдамдығы $c = 100$ м/с.

12.71. Тербелістер көзінен $l_1 = 10$ м және $l_2 = 16$ м қашықтықта тұрған екі нүкте тербелістерінің фазалар айырымы $\Delta\varphi$ қандай болады? Тербелістер периодтары $T = 0,04$ с; таралу жылдамдығы $c = 300$ м/с.

12.72. Толқынының ұзындығы $\lambda = 1$ м-ге тең сәуле бойында бір-бірінен $l = 2$ м қашықтықта жатқан екі нүкте тербелісінің $\Delta\varphi$ фазалар айырымын табыңдар.

12.73. $t = T/6$ уақыт кезеңі үшін тербеліс көзінен $l = \lambda/12$ қашықтықта жатқан нүктенің тепе-теңдік қалпынан x ығысуын табыңдар. Тербелістер амплитудасы $A = 0,05$ м.

12.74. Тербелістер көзінен $l = 4$ см қашықтықта жатқан нүктенің $t = T/6$ кезеңдегі тепе-теңдік қалпынан ығысуы амплитуданың жартысына тең. Қума толқынның λ ұзындығын табыңдар.

12.75. Тұрғын толқынның шағылысуы: а) тығыздығы аз ортада және б) тығыздығы үлкен ортада өтеді деген екі жағдай үшін тұрғын толқынның графигін сызып, оның түйіні мен шоқтылықтарының пайда болатын орнын табыңдар. Қума толқынның ұзындығы $\lambda = 12$ см.

12.76.* Толқындық вектордың сан мәні $k = 0,0314$ см болса, толқынның λ ұзындығы қандай болады?

12.77. Ұзындығы $l = 0,5$ м біртекті білік оның жоғарғы ұшы арқылы өтетін горизонталь ось төңірегінде вертикал жазықтықта шамалы тербелістер жасайды. Білік тербелісінің T периодын табыңдар.

12.78. Айналу осі оның жоғарғы шетінен $d = 10$ см қашықтықта жатқан нүкте арқылы өтеді деп есептеп, алдыңғы есептегі біліктің T тербеліс периодын табыңдар.

12.79. Вертикаль біліктің ұштарына екі жүк бекітілген. Жүктердің массаларының центрі өзекшенің ортасынан төмен $d = 5$ см қашықтықта. Егер жүгі бар біліктің оның ортасынан өтетін горизонталь ось төңірегіндегі шағын тербелістерінің периоды $T = 2$ с-қа тең болса, өзекшенің l ұзындығын табыңдар. Жүктердің массаларымен салыстырғанда біліктің массасы есепке алынбайды.

12.80. Диаметрі $D = 56,5$ см шеңбер қабырғаға қағылған шегеге ілінген және осы қабырғаға параллель жазықтықта

шағын тербеліс жасайды. Шеңбер тербелісінің T периодын табындар.

12.81. Біртекті шариктің шағын тербелістерінің T периодын анықтаған кезде оны математикалық маятник деп қарастыру үшін диаметрі $D = 4$ см шарик ілінген жіптің қандай ең аз l ұзындығын алу керек? Осы кездегі δ қателік 1%-дан аспау керек.

12.82. Радиусы R біртекті шарик ұзындығы $l = R$ жіпке ілінген. Осы маятниктің шағын тербелістерінің T_1 периоды массалар центрінен осындай қашықтықта жатқан математикалық маятниктің шағын тербелісінің T_2 периодынан қанша есе үлкен болады?

§ 13. Акустика

Акустикалық тербелістердің серпімді ортада таралуының жылдамдығы мына формуламен анықталады:

$$c = \sqrt{E/\rho},$$

мұндағы: E — ортаның Юнг модулі, ρ — ортаның тығыздығы.

Газдардағы тербелістердің таралу жылдамдығы:

$$c = \sqrt{\kappa RT/\mu},$$

мұндағы: μ — молярлық масса, T — газдың термодинамикалық температурасы, R — газ тұрақтысы, $\kappa = C_p/C_v$ (C_p — қысым тұрақты болғандағы газдың жылу сыйымдылығы, C_v — көлем тұрақты болғандағы газдың жылу сыйымдылығы).

«Децибелмен» берілген L_p дыбыс қысымының деңгейі p дыбыс қысымының амплитудасымен мына қатынас арқылы байланысады:

$$L_p = 20 \lg \frac{p}{p_0},$$

мұндағы: p_0 — дыбыс қаттылығының нольдік деңгейіндегі дыбыс қысымының амплитудасы. Дыбыс қаттылығының L_1 деңгейі (фон бойынша) дыбыс қарқындылығымен мына қатынас арқылы байланысады:

$$L_I = 20 \lg \frac{I}{I_0}$$

мұндағы: I_0 — естілу табалдырығы (дыбыс қаттылығының нольдік деңгейі). Шартты түрде: $I_0 = 10^{-12}$ Вт/м² және $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Па деп алынады.

Допплер принципі бойынша бақылаушы қабылдайтын дабыстың жиілігі мына формуламен анықталады:

$$\nu' = \frac{c + v}{c - u} \nu,$$

мұндағы: ν — дыбыс көзі шығаратын дыбыстың жиілігі, u — дыбыс көзінің қозғалыс жылдамдығы, v — бақылаушының қозғалыс жылдамдығы және c — дыбыстың таралу жылдамдығы. Егер бақылаушы дыбыс көзіне қарай қозғалады десек, онда жылдамдық $v > 0$ болады; ал дыбыс көзі бақылаушыға қарай қозғалса, онда $u > 0$ болады.

Ішектің негізгі тонының жиілігі мына формуламен анықталады:

$$\nu = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{F}{\rho S}},$$

мұндағы: l — ішектің ұзындығы, F — оның керілу күші, S — оның горизонталь қимасының ауданы, ρ — орта материалының тығыздығы.

13.1. Жиілігі $\nu = 435$ Гц негізгі «ля» тонының λ толқын ұзындығын табындар. Дыбыстың ауадағы жылдамдығы $c = 340$ м/с.

13.2. Адамның құлағы шамамен алғанда жиілігі $\nu_1 = 20$ Гц-тен $\nu_2 = 20\,000$ гц-ке дейінгі дыбысты қабылдай алады. Дыбыс тербелістерінің естілу интервалы қандай толқындар ұзындығының арасында жатады? Ауадағы дыбыстың жылдамдығы $c = 340$ м/с.

13.3. Болат ішіндегі дыбыстың c таралу жылдамдығын табындар.

13.4.* Ауадағы дыбыс жылдамдығын акустикалық резонанс әдісімен анықтаңдар үшін бір жағынан дыбыс мембранасымен жабылған поршенді құбыр қолданылады. $\nu = 2000$ Гц жиілігінде резонанс байқалатын поршеннің көршілес орындарының

арақашықтығы $L = 17$ см. Ауадағы дыбыс жылдамдығын анықтаңдар.

13.5. Керосиннің ішіндегі дыбыстың таралу жылдамдығы $c = 1330$ м/с. Керосиннің $\beta = 1/E$ сығылу коэффициентін табыңдар.

13.6. Теңіздің тереңдігін эхолоттың көмегімен өлшейді. Дыбыстың шығуы мен оны қайыра қабылдағанға дейінгі уақыт аралығы $t = 2,5$ с болса, онда теңіздің тереңдігі қандай болғаны? Судың сығылу коэффициенті $\beta = 4,6 \cdot 10^{-10} \text{Па}^{-1}$, теңіз суының тығыздығы $\rho = 1,03 \cdot 10^3 \text{кг/м}^3$.

13.7. Мына t температуралардағы: 1) -20°C , 2) 0°C , 3) 20°C дыбыстың ауада таралуының жылдамдығын табыңдар.

13.8.* Дыбыс толқынындағы қысымның өзгеруі $p = 2,2 \sin\left(\frac{\pi x}{3} - 1700\pi t\right)$ теңдеуімен беріледі, мұндағы: p – паскаль-мен, x – метрмен, t – секундпен өлшенеді. Мыналарды: 1) толқынның ұзындығын; 2) жиілігін; 3) таралу жылдамдығын; 4) толқынның ығысу амплитудасын анықтаңдар. Ортаның тығыздығы $\rho = 2,7 \cdot 10^3 \text{кг/м}^3$.

13.9. Тәжірибе жағдайында екіатомды газ молекуласының орташа квадраттық жылдамдығы $v = 461$ м/с-қа тең болғанын біле отырып, дыбыстың газдағы c таралу жылдамдығын табыңдар.

13.10. $p = 1,01 \cdot 10^5$ Па қысымда екіатомды газдың тығыздығы $\rho = 1,29 \text{кг/м}^3$ -ге тең деп алып, осы газ арқылы дыбыстың таралу жылдамдығын табыңдар.

13.11. Азот молекуласының ілгерілемелі қозғалысының орташа молярлық кинетикалық энергиясы $W_{\text{к.м}} = 3,4 \text{кДж/моль}$ екендігін біле отырып, осыған орай азот арқылы дыбыстың c таралу жылдамдығын табыңдар.

13.12. Атмосфераның жоғарғы қабатының температурасын анықтау үшін термометрді пайдалануға болмайды, өйткені газ тығыздығының аздығынан термометр қоршап тұрған ортамен жылулық тепе-теңдікке келе алмайды. Осы мақсатта белгілі бір биіктікте жарылатын гранаталары бар ракета жіберіледі. $h_1 = 21$ км биіктікте жасалған жарылудан пайда болған дыбыс $h_2 = 19$ км биіктікте жасалған жарылудан пайда болған дыбыстан $\Delta t =$

6,75 с кейін жететіні белгілі деп, жердің бетінен $h = 20$ км биіктіктегі t температураны табыңдар.

13.13. Ауа-шыны шекарасындағы дыбыс толқынының n сыну көрсеткішін табыңдар. Шыны үшін Юнг модулі $E = 6,9 \cdot 10^{10}$ Па, шынының тығыздығы $\rho = 2,6 \cdot 10^3$ кг/м³, ауаның температурасы $t = 20^\circ\text{C}$.

13.14. Ауа-шыны шекарасындағы дыбыс толқынының толық ішкі шағылысуының шекті α бұрышын табыңдар. Есепті шығаруға керекті мәліметтерді алдыңғы есептен алып пайдаланыңдар.

13.15.* Сейсмикалық бойлық толқын екі жыныстың бөліну шекарасына 10° бұрыш жасап түседі. Жылдамдықтардың салыстырмалы тығыздықтары 3,6 және 4,9. Осы жыныстардың серпінділік модульдері бірдей деп есептеп, толқынның сыну бұрышын табыңдар.

13.16. Дыбыс қысымдарының деңгейі бойынша екі дыбыс бір-бірінен $\Delta L_p = 1$ дБ шамасына ажырайды. Олардың дыбыс қысымдары амплитудаларының p_2/p_1 қатынасын табыңдар.

13.17. Қаттылық деңгейі $L_{I_1} = 70$ фон көшедегі шу, қаттылық деңгейі $L_{I_2} = 40$ фон шу сияқты бөлмеде естіледі. Көшедегі және бөлмедегі дыбыстар қарқындылықтарының I_1/I_2 қатынасын табыңдар.

13.18. Дыбыстың қарқындылығы 1000 есе өсті. Осы уақыттағы дыбыс қысымының деңгейі қаншаға өсті? Дыбыс қысымының амплитудасы неше есе өсті?

13.19. Дыбыстың қарқындылығы $I = 10$ мВт/м². Мыналарды: 1) дыбыстың L_I қаттылық деңгейін, 2) p дыбыс қысымының амплитудасын табыңдар.

13.20.* Естілу шегіндегі дыбыс үшін ауа молекулаларының ең үлкен ығысуын есептеңдер. Дыбыс жиілігі 1000 Гц. Осы толқындағы қысымның ең үлкен өзгеруін табыңдар.

13.21.* Адамның құлағы дауыс қаттылығы деңгейінің 1,0 дБ айырмашылығын қабылдай алады. Қаттылық деңгейлері осындай шамаға ажырасатын дыбыстардың амплитудаларының қатынасы қандай?

13.22. Мына: а) $\nu = 100$ Гц; б) $\nu = 2000$ Гц жиіліктер үшін граммофон табағындағы дыбыс жолының көршілес тістерінің

арасындағы l қашықтығын табындар. Табақтың центрінен алынған орташа қашықтық $r = 10$ см. Табақтың айналу жылдамдығы $n = 78 \text{ мин}^{-1}$.

13.23. Кундт түтігінің ішінде тұрғын толқын жасағанда ауа бағанасында $n = 6$ шоқтықтың пайда болғаны байқалды. Егер болат білік түтік ішінде: а) ортасынан, 2) ұшынан бекітілген десек, ауа бағанасының l_2 ұзындығы қандай болғаны? Біліктің ұзындығы $l_1 = 1 \text{ м}$. Дыбыстың болаттағы жылдамдығы $c_1 = 5250 \text{ м/с}$, ауадағы жылдамдығы $c_2 = 343 \text{ м/с}$.

13.24. Кундт түтігінің ішіндегі шыны білік ортасынан бекіткенде ауа бағанасында $n = 5$ шоқтықтың пайда болғаны байқалса, онда біліктің ұзындығы l_1 неге тең болғаны? Ауа бағанасының ұзындығы $l_2 = 0,25 \text{ м}$. Шыны үшін Юнг модулі $E = 6,9 \cdot 10^{10} \text{ Па}$, ал шынының тығыздығы $\rho = 2,5 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Ауадағы дыбыстың жылдамдығы $c = 340 \text{ м/с}$ деп аламыз.

13.25. Шоқтардың араларындағы байқауға болатын ең кіші қашықтық $l \approx 4 \text{ мм}$ десек, дыбыстың жылдамдығын анықтайтын Кундттың әдісін қандай ең үлкен жиіліктер үшін қолдануға болады? Ауадағы дыбыстың жылдамдығы $c = 340 \text{ м/с}$.

13.26. Бір-біріне қарсы жүріп келе жатқан екі поездың жылдамдықтары $v_1 = 72 \text{ км/сағ}$ және $v_2 = 54 \text{ км/сағ}$. Бірінші поездың ысқырығының жиілігі $\nu = 600 \text{ Гц}$. Мыналарды: а) поездардың кездесуінің алдындағы; б) поездардың кездесуінен кейінгі екінші поезддағы жолаушының еститін дыбыс тербелістерінің ν' жиілігін табындар. Дыбыстың ауадағы жылдамдығы $c = 340 \text{ м/с}$.

13.27. Поезд қозғалмай тұрған бақылаушының жанынан өткен уақытта паровоз гудогінің тон жиілігі секірмелі өзгереді. Егер поезд $v = 60 \text{ км/сағ}$ жылдамдықпен қозғалған болса, онда жиілік секірмесі тонның шын жиілігінің қанша пайызын құрайды?

13.28.* Дыбыс көзіне $3,3 \text{ м/с}$ жылдамдықпен жақындап келе жатқан денеге қарай жиілігі 5000 Гц дыбыс толқыны жіберіледі. Шағылған толқынның жиілігі неге тең?

13.29. Мылтықтың оғы $v = 200 \text{ м/с}$ жылдамдықпен ұшады. Қозғалмай тұрған бақылаушы үшін жанынан ұшып өткен оқ

ысқырығының тон жиілігі неше есе өзгертінін табыңдар. Дыбыстың ауадағы жылдамдығы $c = 333$ м/с.

13.30.* Екі дельфин бір-біріне қарсы қозғалады. Олардың бірі v жиілігімен тарайтын дыбыс импульстерін шығарады. Дельфиндердің сумен салыстырғандағы жылдамдығы v -ға тең болса, осы импульстер екінші дельфинге қандай v_1 жиілікпен жетеді? Дыбыстың судағы жылдамдығы c .

13.31. Қабырғаға перпендикуляр бағытта $v = 6,0$ м/с жылдамдықпен ұшып келе жатқан жарқанат жиілігі $\nu = 45$ кГц ультрадыбыс шығарады. Жарқанат қандай екі ν_1 және ν_2 жиіліктегі дыбысын еститін болады? Дыбыстың ауадағы таралу жылдамдығы $c = 340$ м/с.

13.32.* Сүңгір қайық вертикаль төмендеп, су түбіне қарай ұзақтығы τ_0 қысқа дыбыс импульстерін шығарады. Гидроакустиктің қайықта өлшеген шағылу сигналдарының ұзақтығы τ . Қайықтың бату жылдамдығы қандай? Судағы дыбыс жылдамдығы v .

13.33. Ля нотасын (жиілігі $\nu = 435$ Гц) шығару үшін ұзындығы $l = 20$ см, ал диаметрі $d = 0,2$ мм болат ішекті қандай F күшпен керуге болады?

13.34. Болат үшін беріктік шегін біле отырып, ұзындығы $l = 1$ м ішектің құлақ күйіне келтіруге болатын ең үлкен ν жиілігін табыңдар.

13.35. $F_1 = 147$ Н күшпен керілген ішек камертонмен бірге $\nu_c = 8$ Гц соғу жиілігін береді. Осы сым шекті $F_2 = 156,8$ Н күшпен кергеннен кейін ол камертонмен үндес (унисон) құлақ күйіне келтірілді. Камертонның тербеліс ν_2 жиілігін табыңдар.

13.36. Алдыңғы есептегі камертон басқа камертонмен бірге $\nu_c = 2$ Гц соғу жиілігін береді. Екінші камертонның ν тербеліс жиілігін табыңдар.

13.37.* Ұзындығы L біртекті жіп вертикаль ілінген. Жіптің төменгі ұшына дейінгі қашықтыққа тәуелді болатын көлденең тербелістердің таралу жылдамдығын анықтаңдар.

13.38. Мыналарды: а) ашық түтіктің және б) жабық түтіктің негізгі үнінің ν жиілігін табыңдар.

13.39. Жабық түтік $\nu_1 = 130,5$ Гц жиілікке сәйкес келетін, негізгі ν_0 үнін шығарады. Егер түтікті ашып қойса, оның негізгі

үнінің ν_2 жиілігі қандай болады? Түтіктің l ұзындығы қандай? Ауадағы дыбыстың жылдамдығы $c = 340$ м/с.

§ 14. Электромагниттік тербелістер және толқындар

C сыйымдылықтан, L индуктивтіктен, R кедергіден тұратын контурда электромагниттік тербелістің T периоды мына формуламен анықталады:

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{1/LC - (R/2L)^2}}.$$

Егер контурдың R кедергісі соншама аз, ал

$$(R/2L)^2 \ll \frac{1}{LC},$$

болса, онда тербелістер периоды

$$T = 2\pi\sqrt{LC}.$$

Егер контурдың кедергісі R нольге тең болмаса, онда тербелістер өшетін болады. Бұл жағдайда, егер уақытты конденсатордың астарларындағы потенциалдардар айырымының ең үлкен болатын кезеңінен бастап санасақ, онда конденсатордың астарларындағы потенциалдардар айырымы уақыт барысында мына заң бойынша өзгереді:

$$U = U_0 e^{-\delta t} \cos \omega t,$$

мұндағы: $\delta = R/2L$ – өшу коэффициенті. $\kappa = \delta T$ шамасы өшудің логарифмдік декременті деп аталады.

Егер $\delta = 0$ болса, онда бұл тербелістер өшпейтін болады да, потенциалдардар айырымы былайша жазылады:

$$U = U_0 \cos \omega t.$$

Егер уақытты конденсатордың астарларындағы потенциалдар айырымы нольге тең болатын кезеңнен бастап есептесек, онда төмендегі қатынас орынды болып шығады:

$$U = U_0 \sin \omega t.$$

Айнымалы ток үшін Ом заңы мына түрде жазылады:

$$I_{\text{эф}} = \frac{U_{\text{эф}}}{Z},$$

мұндағы $I_{\text{эф}}$ және $U_{\text{эф}}$ — ток күшінің және кернеудің эффективті мәндері және олар өздерінің I_0 және U_0 амплитудалық шамаларымен мына қатынастар арқылы байланысады:

$$I_{\text{эф}} = I_0 / \sqrt{2}, \quad U_{\text{эф}} = U_0 / \sqrt{2},$$

ал Z — тізбектің толық кедергісі. Егер тізбектің R актив кедергісі, C сыйымдылығы және L индуктивтігі бар болса, әрі олар тізбектей жалғастырылса, онда:

$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2}.$$

Сондай-ақ ток күші мен кедергінің арасындағы фаза ығысуы мына формуламен анықталады:

$$\text{tg} \alpha = \frac{\omega L - 1/\omega C}{R}.$$

R , C және L -ды әртүрлі әдіспен қосу үшін φ фаза ығысуының және тізбектің Z толық кедергісінің формулалары 4.23. есептің шешуінде берілген.

Айнымалы ток тізбегіндегі R актив кедергісі және L индуктивтілігі бар шарғы тізбектеп жалғастырған R мен L -ге сәйкес келеді. Аққыш конденсатор, яғни C сыйымдылығы және R актив кедергісі бар конденсатор параллель жалғастырылған R мен C -ға сәйкес келеді.

Айнымалы токтың қуаты:

$$P = I_{\text{эф}} U_{\text{эф}} \cos \varphi.$$

14.1. Тербелмелі контур сыйымдылығы $C = 888$ пФ конденсатордан және индуктивтігі $L = 2$ мГн шарғыдан тұрады. Контур қандай λ толқын ұзындығына күйленген?

14.2. Тербелмелі контурдың индуктивтігі $L = 2$ мГн, сыйымдылығы $C_1 = 69$ пФ-дан $C_2 = 533$ пФ дейін өзгере алады десек, онда контурды толқындардың қандай диапазонына күйлеуге болады?

14.3.* Индуктивтігі 10 мГн шарғыдан, сыйымдылығы 4 мкФ конденсатордан тұратын тербелмелі контурда электромагниттік тербеліс пайда болу үшін қандай кедергі қосу керек?

14.4. Индуктивтігі $L = 30$ мкГн шарғы, көлденең қимасының ауданы $S = 0,01$ м², астарларының арақашықтығы $d = 0,1$ мм жазық конденсатормен жалғастырылған. Егер контур ұзындығы $\lambda = 750$ м толқынға күйленсе, онда астарлардың арасындағы кеңістікті толтырып тұрған ортаның ϵ диэлектрлік өтімділігі неге тең болады?

14.5. Тербелмелі контур сыйымдылығы $C = 25$ нФ конденсатордан және индуктивтігі $L = 1,015$ Гн шарғыдан тұрады. Конденсатор астарларының заряды $q = 2,5$ мкКл. Конденсатор астарларындағы U потенциалдар айырымының және тізбектегі I ток күшінің өзгерісін көрсететін теңдеуді (сан коэффициенттерімен) жазыңдар. $T/8$, $T/4$, $T/2$ уақыт кезеңдеріндегі тізбектегі конденсатор астарларындағы потенциалдар айырымын және ток күшінің мәндерін табыңдар. Бір период шегіндегі осы тәуелділіктердің графиктерін құрыңдар.

14.6. Алдыңғы есептегі тербелмелі контур үшін $W_{эл}$ электр өрісі энергиясының, W_m магнит өрісі энергиясының және W өрістің толық энергиясының t уақытқа тәуелді өзгерісінің теңдеулерін (сан коэффициенттерімен) жазыңдар; $T/8$, $T/4$, $T/2$ уақыт кезеңдеріндегі электр өрісі энергиясының, магнит өрісі энергиясының және өрістің толық энергияның мәндерін табыңдар; бір период шегіндегі осы тәуелділіктердің графиктерін құрыңдар.

14.7.* LC контурда $t = 0$ болған кезде $Q = Q_0$, $I = 0$. Уақытты $t = 0$ -ден бастап есептегенде T периодтың қандай бөлігінде алғаш рет шарғы мен конденсатор арасында энергия тең бөлінеді? Осы кездегі конденсатордың заряды қандай болады?

14.8. Тербелмелі контурдағы ток күшінің уақыт ағымындағы өзгерісі $I = -0,02\sin 400\pi t$ А теңдеуі түрінде берілген. Контурдың индуктивтігі $L = 1$ Гн. Тербелістің T периоды; контурдың C сыйымдылығын; магнит өрісінің W_m ең үлкен энергиясын; электр өрісінің ең үлкен $W_{эл}$ энергиясын табыңдар.

14.9. $T/8$ уақыт кезеңі үшін тербелмелі контурдың магнит өрісі энергиясының оның электр өрісінің энергиясына қатысы $W_m / W_{эл}$ неге тең болады?

14.10.* Өшудің логарифмдік декременті $\kappa = 0,03$ болатын тербелмелі контурда өшпейтін тербелістерді 1 сағатқа дейін ұстап тұру үшін қандай энергия беру керек? Контур сыйымдылығы $C = 0,05$ мкФ конденсатордан, индуктивтігі $L = 2$ мГн шарғыдан тұрады. Шарғыдағы ең үлкен ток күші $I_m = 5$ мА.

14.11. Тербелмелі контур сыйымдылығы $C = 0,2$ мкФ конденса-тордан және индуктивтігі $L = 5,07$ мГн шарғыдан тұрады. Конденсатордың астарларындағы потенциалдар айырымы өшудің логарифмдік декрементінің қандай κ мәнінде $t = 1$ мс уақыт ішінде үш есе кемиді? Осы уақытта контурдың кедергісі R неге тең болады?

14.12.* Бастапқы сыйымдылығы C_0 зарядталған конденсатор индуктивтігі L шарғымен тұйықталған. Тізбектегі ток уақытқа тура пропорционал өсетін жағдай үшін конденсатор сыйымдылығының t уақытқа тәуелділігін табыңдар.

14.13. Тербелмелі контур сыйымдылығы $C = 2,22$ нФ конденса-тордан және диаметрі $d = 0,5$ мм мыс сым оралған ұзындығы $l = 20$ см шарғыдан тұрады. Тербелістер өшуінің логарифмдік декрементін κ табыңдар.

14.14. Тербелмелі контурдың $C = 1,1$ нФ сыйымдылығы және $L = 5$ мГн индуктивтігі бар. Өшудің логарифмдік декременті $\kappa = 0,005$. Қанша уақыттан кейін контур энергиясының 99 % пайызы өшу салдарынан болатын шығынға кетеді?

14.15.* Тербеліс жиілігін 0,10%-ға өзгерту үшін LC -контурға ($L = 200$ мГн, $C = 1200$ нФ) қандай кедергі берілуі керек? Тербеліс жиілігі өсе ме әлде кеме ме?

14.16.* Бір-біріне тіркес RL -тізбекте ток нольден ең үлкен мәнінің жартысына дейін 1,56 мс-та өседі. Егер $L = 310$ Гн

болса: а) тізбектің уақыт тұрақтылығын; б) R кедергіні анықтаңдар.

14.17.* Сыйымдылығы 120 пФ конденсатордан тұратын контурдың резонанстық жиілігі $18,0$ МГц болу керек. Ұзындығы 12 м, диаметрі $1,1$ мм изоляцияланған сымнан тығыз орамды өзегі жоқ соленоид түрінде индуктивтік шарғы жасау көзделеді. Шарғыдағы орам саны қанша болу керек?

14.18. Сыйымдылықтары $C_1 = 0,2$ мкФ және $C_2 = 0,1$ мкФ екі конденсатор кернеуі $U = 220$ В, жиілігі $\nu = 50$ Гц айнымалы ток тізбегіне тізбектеп қосылған. Тізбектегі I ток күшін, бірінші және екінші конденсаторлардағы потенциалдардың түсуін табыңдар.

14.19. Ұзындығы $l = 25$ см, радиусы $r = 2$ см шарғының орамасында көлденең қимасының ауданы $s = 1$ мм², мыс сымнан жасалған $N = 1000$ орам бар. Шарғы жиілігі $\nu = 50$ Гц айнымалы ток тізбегіне қосылған. Актив кедергі R мен индуктивтік кедергі X_L шарғының толық Z кедергісінің қандай бөлігін құрайды?

14.20. Сыйымдылығы $C = 20$ мкФ конденсатор және кедергісі $R = 150$ Ом резистор жиілігі $\nu = 50$ Гц айнымалы ток тізбегіне тізбектеп қосылған. Конденсатордағы U_C және резистордағы U_R кернеудің түсуі осы тізбекке берілген U толық кернеудің қандай бөлігін құрайды?

14.21.* Бір-біріне тіркескен RL -тізбекте ($R = 160$ Ом, $L = 0,85$ мГн), $I = 31\cos(377t)$ ток жүреді, мұндағы I – ампермен, t – секундпен өлшенеді. Контурда орташа есеппен қанша қуат шығындалады?

14.22.* 120 В, 60 Гц жүйеге қосылған бір-біріне тіркескен RL -тізбектегі ($R = 65,0$ Ом, $L = 50,0$ мГн) ток күшінің эффективті мәні неге тең?

14.23. Актив R кедергіні, C сыйымдылықты және L индуктивтікті әртүрлі тәсілде қосқанда тізбектің Z толық кедергісі үшін және кернеу мен токтың арасындағы φ фаза ығысуы үшін берілген формуланы анықтаңдар. Мынадай жағдайларды қарастыру керек: а) R мен C тізбектеп қосылған; б) R мен C параллель қосылған; в) R мен L тізбектеп қосылған; г) R мен L параллель қосылған; д) R , L және C тізбектеп қосылған.

14.24. Сыйымдылығы $C = 1$ мкФ конденсатор және кедергісі $R = 3$ кОм резистор, жиілігі $\nu = 50$ Гц айнымалы токтың тізбегіне қосылған. Конденсатор мен резисторды: а) тізбектеп; б) параллель қосылған деп алып, тізбектің толық Z кедергісін табыңдар.

14.25. Кернеуі $U = 220$ В, жиілігі $\nu = 50$ Гц айнымалы токтың тізбегіне $C = 35,4$ мкФ сыйымдылық, $R = 100$ Ом кедергі және $L = 0,7$ Гн индуктивтік тізбектеп қосылған. Тізбектегі I токтың күшін, сыйымдылықтағы, омдық кедергідегі және индуктивтіктегі U_C , U_R , U_L кернеулердің түсуін табыңдар.

14.26. $L = 22,6$ мГн индуктивтік және кедергі R жиілігі $\nu = 50$ Гц айнымалы токтың тізбегіне параллель қосылған. Кернеу мен токтың арасындағы фаза ығысуын $\varphi = 2\pi/3$ тең деп R шамасын табыңдар.

14.27.* Индуктивтігі 23 мГн және кедергісі $0,8$ Ом шарғы C конденсаторы мен 360 Гц кернеу көзіне қосылған. Кернеу мен ток күшінің фазалары бірдей болу үшін конденсатордың C сыйымдылығы қандай болуы керек?

14.28. Кернеуі $U = 220$ В айнымалы ток тізбегіне C сыйымдылық, R кедергі және L индуктивтік параллель жалғанған. Конденсатордағы кернеудің түсуі $U_C = 2U_R$ және индуктивтіктегі кернеудің түсуі $U_L = 3U_R$ болса, кедергідегі U_R кернеудің түсуін табыңдар.

V ТАРАУ

ОПТИКА

§ 15. Геометриялық оптика және фотометрия

Сфералық айнаның D оптикалық күші мына формуламен анықталады:

$$\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} = \frac{2}{R} = \frac{1}{F} = D,$$

мұндағы: a_1 мен a_2 — зат пен кескінінің айнадан қашықтығы, R — айнаның қисықтық радиусы және F — оның тоғыс (фокус) қашықтығы.

Сәуле бойымен айнадан бастап алған қашықтықты оң деп, ал сәулеге қарсы алынған қашықтықты теріс деп есептейді. Егер F метрмен берілсе, онда D диоптриямен беріледі: $1 \text{ дптр} = 1 \text{ м}^{-1}$.

Сәуленің бір ортадан екінші ортаға өту барысында жарықтың сыну заңы орындалады:

$$\frac{\sin i}{\sin \beta} = n = \frac{v_1}{v_2},$$

мұндағы: i — түсу бұрышы, β — сыну бұрышы, n — бірінші ортамен салыстырғандағы екінші ортаның сыну көрсеткіші, v_1 мен v_2 — бірінші және екінші орталардағы жарықтың таралу жылдамдықтары.

Біртекті ортада орналасқан жұқа линзаның D оптикалық күші мына формуламен анықталады:

$$-\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) = \frac{1}{F} = D,$$

мұндағы: a_1 мен a_2 — заттың және кескіннің линзадан қашықтығы, n — линза материалының салыстырмалы сыну көрсеткіші, R_1 мен R_2 — линзалардың қисықтық радиустары.

Айналар үшін берілген таңбалар ережесі линзалар үшін де дұрыс болады. Біріктірілген екі жұқа линзаның оптикалық күші мынаған тең:

$$D = D_1 + D_2,$$

мұндағы D_1 мен D_2 — линзалардың оптикалық күші.

Айналар мен линзалардағы көлденең ұлғаю мына формуламен анықталады:

$$k = \frac{y_2}{y_1} = \frac{a_2}{a_1},$$

мұндағы: y_1 — заттың биіктігі, ал y_2 — кескіннің биіктігі.

Лупаның үлкейтуі:

$$k = \frac{L}{F},$$

мұндағы: L — ең жақсы көру аралығы, F — лупаның тоғыс аралығы.

Микроскоптың үлкейтуі:

$$k = Ld D_1 D_2,$$

мұндағы: L — ең жақсы көру аралығы, d — объектив пен окуляр тоғыстарының арақашықтығы, D_1 мен D_2 — объектив пен окулярдың оптикалық күштері.

Телескоптың үлкейтуі

$$k = \frac{F_1}{F_2},$$

мұндағы: F_1 және F_2 — объектив пен окулярдың тоғыс аралықтары.

Φ жарық ағыны берілген аудан арқылы уақыт бірлігінде жарық толқындарымен тасылатын энергия арқылы анықталады:

$$\Phi = \frac{dW}{dt}.$$

I жарық күші сан жағынан жарық ағынының денелік бұрыштың бірлігіне келетін шамасына тең болады:

$$I = \frac{d\Phi}{d\omega}.$$

Жарықталу E аудан бірлігі арқылы өтетін жарық ағынының шамасымен сипатталады:

$$E = \frac{d\Phi}{dS}.$$

Жарық күші I болатын нүктелік көз, өзінен r қашықтықта тұрған ауданның бетінде мынадай жарықталу жасайды:

$$E = \frac{I}{r^2} \cos \alpha,$$

мұндағы α — сәуленің түсу бұрышы.

Жарқырау R сан жағынан жарық шығарып тұрған дененің бірлік ауданы шығаратын жарық ағынына тең болады:

$$R = \frac{d\Phi}{dS}.$$

Егер дененің жарқырауына оның жарықталуы себепші болатын болса, онда $R = \rho E$ болады, мұндағы ρ — шағылу коэффициенті.

Жарық шығарып тұрған беттің B жарықтылығы деп, сан жағынан жарық шығарып тұрған беттің элементінен тарайтын жарық күшінің бақылау бағытына перпендикуляр жазықтықтағы осы элементтің проекциясының ауданына (яғни элементтің көрінетін бетіне) қатынасына тең шаманы айтады:

$$B = \frac{dI}{dS \cos \theta'}$$

мұндағы θ — беттің элементіне түсірілген нормаль мен бақылау бағытының арасындағы бұрыш.

Егер дене Ламберт заңы бойынша сәуле шығаратын болса, яғни егер жарықтылық бағытқа тәуелді болмаса, онда жарқырау R мен жарықтылық B мынадай қатынас арқылы байланысады:

$$R = \pi B.$$

15.1.* а) Судағы; б) скипидардағы; в) мұздағы жарықтың жылдамдығы неге тең?

15.2.* Кәдімгі электр шамының қыздырғыш сымы ұзақтығы 10^{-8} с-қа жуық аралықта жарық толқындарының сәулелерін шығарады. Осы цугтың кеңістіктегі созылымы қандай?

15.3. Егер нәрсе айнадан $a_l = 30$ см қашықтықта орналасса, онда осы нәрсенің қисықтық радиусы $R = 40$ см сфералық дөңес

айнадағы кескіні қандай a_2 қашықтықта орналасады? Егер нәрсенің биіктігі $y_1 = 2$ см болса, онда оның кескінінің y_2 биіктігі қандай болады? Миллиметрлік қағазға сызбасын салып, есептеулерді тексеріңдер.

15.4. Сфералық дөңес айнаның қисықтық радиусы $R = 60$ см. Айнадан $a_1 = 10$ см қашықтықта биіктігі $y_1 = 2$ см нәрсе қойылған. Нәрсе кескінінің орны мен y_2 биіктігін табыңдар. Сызбасын салыңдар.

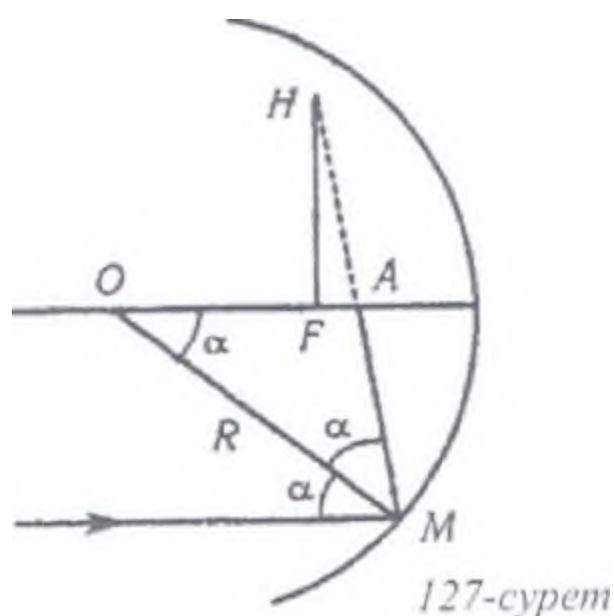
15.5. Қисықтық радиусы $R = 40$ см сфералық ойыс айнада биіктігі нәрсенің биіктігінен екі есе кем болатын шынайы кескін алу керек болды. Сол үшін нәрсені қай жерге қою керек және пайда болған кескіннің орны қай жерде болады?

15.6.* Кескіні шексіз аулақта болу үшін объект дөңес айнадан (радиусы 24,0 см) қандай қашықтықта болуы керек?

15.7. Сфералық ойыс айнаның алдына, бас оптикалық осьтің бойына оған перпендикуляр етіп, айнаның төбесінен $a_1 = 4F/3$ қашықтықта жанып тұрған шырақ қойылған. Ойыс айнадағы шырақтың кескіні тоғыс аралығы $F' = 2F$ дөңес айнаға түседі. Айналардың ара қашықтығы $d = 3F$ -ке тең және олардың осьтері бір-біріне сәйкес келеді. Екінші айнаға қарағанда бірінші айнадағы шырақтың кескіні, жорымал нәрсенің рөлін атқарады да, екі айнаның арасында орналасқан шын кескінді береді. Осы кескінді салыңдар және жүйенің жалпы k сызықтық үлкейтуін есептеп шығарыңдар.

15.8. Қисықтық радиусы $R = 16$ м сфералық рефлекторда пайда болатын Күннің кескіні қай жерде орналасады және оның y_2 мөлшері қандай болады?

15.9. Егер сфералық айнаның бетіне жарық шоғы түсетін болса (шоктың ені α бұрышымен анықталады, 127-сурет), онда оптикалық оське параллель бағытта айнаның шетіне түсетін сәуле, сол айнадан шағылысқаннан кейін оптикалық осьті тоғыста қиып өтпей, тоғыстан кейбір AF қашықтықта қиып өтетін болады. Қашықтық $x = AF$ — бойлық сфералық абберрация делінеді, қашықтық $y = FH$ — көлденең сфералық абберрация делінеді. Осы абберрацияларды α бұрышының шама-сымен, сфералық айнаның R радиусымен байланыстыратын формуланы қорытып шығарыңдар.



127-сурет

15.10. Тесігінің диаметрі $d = 40$ см сфералық ойыс айнаның қиықтық радиусы $R = 60$ см. Бас оське параллель болып келген шеткі сәулелердің бойлық x және y көлденең сфералық абберацияларын табындар.

15.11. Тоғыс аралығы $F = 20$ см сфералық ойыс айна берілген. Бойлық x сфералық абберация F тоғыс аралығының 2 пайыздан артық емес бөлігін құру үшін, нәрсе оптикалық осьтен қандай ең үлкен h қашықтықта орналасу керек?

15.12. Жарықтың сәулесі жазық параллель шыны пластинканың бетіне $i = 30^\circ$ бұрышпен түседі де, одан алғашқы сәулеге параллель болып шығады. Шынының сыну көрсеткіші $n = 1,5$. Егер сәулелердің арақашықтығы $l = 1,94$ см-ге тең болса, пластинканың қалыңдығы d қандай болады?

15.13. Қалыңдығы $d = 1$ см жазық параллель шыны пластинкаға $i = 60^\circ$ бұрышпен жарық сәулесі түседі. Шынының сыну көрсеткіші $n = 1,73$. Жарықтың бір бөлігі шағылысады, ал бір бөлігі сынып, шынының ішіне өтеді, сонан кейін пластинканың ішкі бетінен шағылысып, екінші рет сынады да, қайтадан бірінші шағылысқан сәулеге параллель болып ауаға шығады. Сәулелердің l арақашықтығын анықтаңдар.

15.14. Жарықтың сәулесі сыну көрсеткіші n денеге i бұрышпен түседі. Шағылған сәуле сынған сәулеге перпендикуляр болу үшін i мен n өзара қандай байланыста болу керек?

15.15.* Қалыңдығы $d = 15$ см, сыну көрсеткіші $n = 1,5$ шыны пластинканың астында кішкене түйіршік жатыр. Егер көру сәулесі пластинканың бетіне перпендикуляр болса, түйіршіктің бейнесі пластинканың үстіңгі бетінен қандай l қашықтықта пайда болады?

15.16.* Зат ойыс айнаның осінде оның тоғысынан әртаман орналастырылған. Қалыңдығы d , сыну көрсеткіші n жазық параллель шыны пластинка тоғыс пен айнаның аралығында айна осіне перпендикуляр орналасқан. Егер пластинканы алып тастаса, бейне қаншаға ығысады?

15.17. Жарық сәулесі скипидардан ауаға шығады. Осы сәуле үшін толық ішкі шекті шағылу бұрышы $\beta = 42^\circ 23'$. Скипидардағы жарықтың таралу жылдамдығы v_1 неге тең?

15.18. Су толтырылған стаканның үстіне шыны пластинка қойылған. Су мен шыныны бөліп тұрған беттен толық ішкі шағылу болу үшін жарық сәулесі пластинканың бетіне қандай i бұрышпен түсу керек? Шынының сыну көрсеткіші $n_1 = 1,5$.

15.19. $h = 10$ см биіктікке дейін су толтырған ыдыстың түбіне нүктелік жарық көзін орналастырған. Судың бетінде центрі осы жарық көзінің үстіне дәл келетін мөлдір емес дөңгелек пластинка жүзіп жүр. Бірде-бір сәуле судың бетінен шығып кетпеу үшін осы пластинканың ең кіші радиусы r қандай болу керек?

15.20. Ақ жарық пластинкаға $i = 45^\circ$ -пен түскен уақытта әр түрлі λ толқын ұзындықтағы сәулелер үшін сыну бұрыштары β мынадай болады:

λ , нм	759	687	589	486	397
β	$24^\circ 2'$	$23^\circ 57'$	$23^\circ 47'$	$23^\circ 27'$	$22^\circ 57'$

Пластинка затының n сыну көрсеткішінің λ толық ұзындығына тәуелділігінің графигін салындар.

15.21. Шынының кейбір сорттарының қызыл және күлгін сәулелер үшін сыну көрсеткіштері $n_k = 1,51$ және $n_k = 1,53$. Осы сәулелердің шыны-ауа бөліну бетіне түскендегі толық ішкі шағылуының β_k және β_k шекті бұрыштарын табындар.

15.22.* Сұйық толтырылған цилиндрлік стакан бүйір бетінен көрінетін тиынның үстіне орналасқан. Сұйықтың тиын көрінбейтін ең аз n сыну көрсеткішін табындар.

15.23. Монохроматты сәуле сындыру бұрышы $\gamma = 40^\circ$ болатын призманың бүйір бетіне тік түседі. Осы сәуле үшін призма материалының сыну көрсеткіші $n = 1,5$. Призмадан

шыққан сәуленің алғашқы бағытынан δ ауытқу бұрышын табындар.

15.24. Монохроматты сәуле призманың бүйір бетіне тік түседі де, одан $\delta = 25^\circ$ -қа бұрылып шығады. Осы сәуле үшін призма материалының сыну көрсеткіші $\gamma = 1,7$. Призманың сындыру бұрышын табындар.

15.25. Тең бүйірлі призманың сыну бұрышы $\gamma = 10^\circ$. Монохроматты сәуле призманың бүйір жағына $i = 10^\circ$ бұрышпен түседі. Призма материалының сыну көрсеткішін $n = 1,6$ деп алып, сәуленің алғашқы түсу бағытынан қандай δ бұрышқа бұрылатынын табындар.

15.26. Кейбір монохроматты сәуле үшін призма материалының сыну көрсеткіші $n = 1,6$. Сәуле призмадан шыққанда толық ішкі шағылу болмау үшін, осы сәуленің призмаға ең үлкеу түсу бұрышы қандай болу керек. Призманың сындыру бұрышы $\gamma = 45^\circ$.

15.27. Жарық шоғы тең бүйірлі призма жағының бойымен сырғиды. Призманың қандай шекті γ сыну бұрышында сынған сәулелер оның екінші бүйір жағында толық ішкі шағылуға душар болады? Осы сәулелер үшін призма материалының сыну көрсеткіші $n = 1,6$.

15.28. Тік бұрышты тең бүйірлі призманың бүйір бетіне монохроматты сәуле түседі. Призманың ішіне кірген сәуле призма табанынан толық ішкі шағылады да, оның екінші бүйір бетінен шығады. Егер осы сәуле үшін призма материалының сыну көрсеткіші $n = 1,5$ болса, онда толық ішкі шағылу да орын алу үшін, сәуле призмаға қандай ең кіші i бұрышымен түсуі керек?

15.29. Монохроматты сәуле тең бүйірлі призманың бүйір бетіне түседі де, сынғаннан кенін призманың ішімен оның табанына параллель өтеді. Призмадан шыққанда оның алғашқы бағытынан δ бұрышқа ауытқығаны белгілі болды. Призманың γ сындыру бұрышының, сәуленің δ бұрылу бұрышының және осы сәуле үшін n сыну көрсеткішінің араларындағы байланысты табындар.

15.30. Тең бүйірлі призманың бүйір бетіне ақ жарық өз құрамындағы қызыл сәуле призманың екінші жағына перпен-

дикуляр болып шығатындай бұрышпен түседі. Призманың сындыру бұрышы $\gamma = 45^\circ$ -қа тең болса, δ_k қызыл және $\delta_{\text{к}}$ күлгін сәулелер алғашқы түсу бағытынан қандай бұрыштарға ауытқиды? Қызыл және күлгін сәулелер үшін призма материалының сыну көрсеткіштері $n_k = 1,37$ және $n_{\text{ф}} = 1,42$.

15.31. Натрийдің сары сызығы үшін ($\lambda_2 = 589$ нм) кварц линзасының тоғыс (тоғыс) қашықтығы $F_2 = 16$ см. Сынап спектрінің ультракүлгін сызығы ($\lambda_1 = 259$ нм) үшін кварцтан жасалған линзаның F_1 тоғыс қашықтығын табыңдар. Осы толқын ұзындықтары үшін кварцтың сыну көрсеткіштері $n_1 = 1,504$ және $n_2 = 1,458$.

15.32. Мына линзалардың F тоғыс қашықтығын табыңдар: а) радиустары $R_1 = 15$ см, $R_2 = -25$ см қос-дөңес линза; б) радиустары $R_1 = 15$ см, $R_2 = \infty$ жазық-дөңес линза; в) радиустары $R_1 = 15$ см, $R_2 = 25$ см ойыс-дөңес линза (оң мениск); г) радиустары $R_1 = -15$ см, $R_2 = 25$ см қос-ойыс линза; д) радиустары $R_1 = \infty$, $R_2 = -15$ см жазық-ойыс линза; е) радиустары $R_1 = 25$ см, $R_2 = 15$ см дөңес-ойыс линза (теріс мениск). Линза материалының сыну көрсеткіші $n = 1,5$.

15.33. Сыну көрсеткіштері $n_1 = 1,5$ және $n_2 = 1,7$ екі шыныдан бірдей қос-дөңес екі линза жасалған. Олардың F_1/F_2 тоғыс қашықтық-тарының қатынасын табыңдар. Линзаларды сыну көрсеткіші $n = 1,6$ мөлдір сұйықтың ішіне батыратын болсақ, онда осы линзалардың әрқайсысы оптикалық оське параллель сәулелерге қандай әрекет жасайды?

15.34. Қос-дөңес линза беттерінің қисықтық радиустары $R_1 = R_2 = 50$ см. Линза материалының сыну көрсеткіші $n = 1,5$. Линзаның оптикалық D күшін табыңдар.

15.35. Оптикалық күші $D = 10$ дптр қос-дөңес линзадан $a_1 = 15$ см жерде оптикалық оське перпендикуляр етіп биіктігі $y_1 = 2$ см нәрсе қойылған. Пайда болған кескіннің орны мен y_2 биіктігін табыңдар. Сызбасын салыңдар.

15.36. Қисықтық радиустары мен сыну көрсеткіштері $n = 1,5$ бірдей қос-дөңес линзалардың тоғыстары қисықтық центрлерімен дәл келетіндігін дәлелдеңдер.

15.37. Тоғыс қашықтығы $F = 16$ см линза нәрсенің айқын кескінін арақашықтығы $d = 6$ см болатын екі орыннан береді. Нәрседен экранға дейінгі $a_1 + a_2$ қашықтықты табыңдар.

15.38.* Жинағыш линза экранда бір нәрсенің кескінін береді. Бейненің биіктігі a . Нәрсе мен экранды қозғалтпай линзаны экранға қарай қозғаған кезде нәрсенің екінші айқын кескінінің биіктігі b -ға тең екендігін табады. Осы нәрсенің шын h биіктігін табыңдар.

15.39.* Горизонталь жатқан ойыс айнаға аздаған су құйылған. Айна өзінен 54 см қашықтықтағы экранда дененің шын бейнесін береді. Экранды айнаға жақындатқанда осы бейне айнадан 36 см қашықтықта қайтадан пайда болады. Айнаның қисықтық радиусы мен одан денеге дейінгі l қашықтықты табыңдар. Судың сыну көрсеткіші $n = 1,33$.

15.40.* Тоғыс қашықтығы F линза үшін зат пен оның бейнесінің ең аз арақашықтығын табыңдар.

15.41. Линзаның ауадағы тоғыс қашықтығы $F_1 = 20$ см болса, оның суға батырылғандағы F_2 тоғыс қашықтығы қандай? Линза шынысының сыну көрсеткіші $n = 1,6$.

15.42. Қисықтық радиусы $R = 30$ см және сыну көрсеткіші $n = 1,5$ жазық-дөңес линза нәрсенің кескінін $k = 2$ есе үлкейтіп береді. Нәрсе мен кескіннің линзадан a_1 және a_2 қашықтықтарын табыңдар. Сызбасын жасаңдар.

15.43. Флинтгластан жасалған қисықтық радиустары бірдей $R_1 = R_2 = 8$ см қос-дөңес линзаның бойлық хроматикалық абберрациясын табыңдар. Флинтгlastың қызыл ($\lambda_k = 760$ нм) және күлгін ($\lambda_k = 430$ нм) сәулелер үшін сыну көрсеткіштері $n_k = 1,5$ және $n_k = 1,8$.

15.44. Алдыңғы есептегі линзадан $a_1 = 40$ см жерде оптикалық осьтің бойында жарық шығарып тұрған нүкте орналасқан. Нүкте толқын ұзындықтары: а) $\lambda_1 = 760$ нм және б) $\lambda_2 = 430$ нм-ге тең монохромат жарық шығарады деп алып, осы нүкте кескінінің орнын табыңдар.

15.45. Қос-дөңес линзаның тоғыс жазықтығында жазық айна орналасқан. Нәрсе линзаның алдында тоғыс пен екі тоғыс қашықтығының арасында тұр. Нәрсенің кескінін салыңдар.

15.46. а) Ең жақсы көру қашықтағы $L = 25$ см қалыпты көз үшін және б) ең жақсы көру қашықтығы $L = 15$ см жақыннан көргіш көз үшін тоғыс қашықтығы $F = 2$ см лупаның k үлкейтуін табындар.

15.47. Қалыпты көз үшін $k = 10$ үлкейту беретін лупа беттерінің қисықтық радиустары $R_1 = R_2$ неге тең болу керек? Лупа жасалынған шынының сыну көрсеткіші $n = 1,5$.

15.48.* Көзі қалыпты көретін адам тоғыс қашықтығы 8 см лупаны қолданады. Лупаның ең үлкен үлкейтуін табындар.

15.49. Микроскоптың тоғыс қашықтығы $F_1 = 2$ см объективтен және тоғыс аралығы $F_2 = 40$ мм окулярдан тұрады. Объектив пен окулярдың тоғыстарының арақашықтығы $d = 18$ см. Микроскоптың беретін k үлкейтуін табындар.

15.50. Ауданы $S = 2 \times 2$ м² суретті одан $a = 4,5$ м қашықтықта тұрған фотоаппаратпен түсіреді. Кескіннің өлшемі $S = 5 \times 5$ см². Аппарат объективінің F тоғыс қашықтығын табындар. Суреттен объективке дейінгі қашықтықты тоғыс қашықтығынан үлкен болады деп есептеңдер.

15.51. Телескоп объективінің тоғыс қашықтығы $F_1 = 150$ см, ал окулярдікі $F_2 = 10$ см. Толық Ай кұралсыз көзге $\vartheta_0 = 31'$ бұрышпен көрінетін болса, онда осы телескопта толық Ай қандай ϑ бұрышпен көрінеді?

15.52. Диаметрі $D = 9$ см, тоғыс қашықтығы $F = 50$ см қос-дөңес линзаның көмегімен Күн кескіні экранға проекцияланады. Егер Күннің бұрыштық диаметрі $\alpha = 32'$ -қа тең болса, Күн кескіні диаметрінің шамасы d қандай болады? Күн кескіні жасайтын жарықталу Күннің тікелей жасайтын жарықталуынан неше есе үлкен болады?

15.53. Жарық күші $I = 200$ кд шамдық электр шамынан шыққан жарық жұмыс орнына $\alpha = 45^\circ$ бұрышпен түседі де $E = 141$ лк жарықталу туғызады. Мыналарды: а) шамның жұмыс орынынан қандай r қашықтықта тұрғанын; б) шамның жұмыс орынынан қандай h биіктікте ілінгендігін табындар.

15.54. Төбеге ілінген шам горизонталь бағытта шамдық $I = 60$ кд жарық күшін береді. Егер шамнан $r = 2$ м қашықтықтағы қабырғаға ауданы $S = 0,5$ м² сурет вертикаль ілінсе, ал қарама-қарсы қабырғада шамнан $a = 2$ м қашықтықта үлкен айна

орналасқан десек, онда суретке түсетін жарық ағыны Φ қандай болады?

15.55. Үлкен сызбаны алдымен түгелімен, ал кейін оның жеке бөліктерін табиғи шамасында фотоға түсіреді. Бөліктерді түсіргенде экспозиция уақытын неше есе үлкейту керек?

15.56. Көктемде күн мен түннің теңелетін күні – 21 наурызда Жердің солтүстігінде Күн талтүсте горизонтпен $\alpha = 10^\circ$ бұрыш жасайды. Горизонталь қойылған ауданның жарықталуынан вертикаль қойылған ауданның жарықталуы неше есе көп болады?

15.57. Күзгі күн мен түннің теңелу уақытында Күн талтүсте экваторда зенитте тұрады. Осы уақыттағы экватордағы Жер бетінің жарықталуы Санкт-Петербургтағы Жер бетінің жарықталуынан неше есе көп болады? Санкт-Петербургтің ендігі $\varphi = 60^\circ$.

15.58. Ауданы $S = 25 \text{ м}^2$ квадрат бөлменің центріне шам ілінген. Бөлменің бұрыштарында ең үлкен жарықталу болу үшін шам еденнен қандай h биіктікте тұру керек?

15.59. Диаметрі $D = 2 \text{ м}$ дөңгелек үстелдің центрінен жоғары жарық күші $I = 100 \text{ кд}$ шам ілінген. Шамды $0,5 \leq h \leq 0,9 \text{ м}$ аралықта біртіндеп әрбір $0,1 \text{ м}$ -ге көтерген сайын үстел шеттерінің E жарықталуының өзгерісін есептеп шығарыңдар. $E=f(h)$ графигін салыңдар.

15.60. Диаметрі $D = 1,2 \text{ м}$ дөңгелек үстелдің центрінде оның бетінен $h_1 = 40 \text{ см}$ биіктікте бір электр шырағданы бар шам тұр. Үстелдің центрінен жоғары оның бетінен $h_2 = 2 \text{ м}$ биіктікте дәл сондай төрт шырағданы бар люстра ілінген. Үстел шетінің жарықталуы қай жағдайда (және неше есе) үлкен болады: үстел үстінде тұрған шам жанғанда маб немесе люстра жанғанда ма?

15.61. Нәрсені суретке түсіргенде ол өзінен $r_1 = 2 \text{ м}$ қашықтыққа қойылған электр шамымен жарықталады. Осы шамды нәрседен $r_2 = 3 \text{ м}$ қашықтыққа алыстатсақ, экспозицияны неше есе үлкейту керек?

15.62. Тік түсетін Күн сәулесінен болатын Жер бетінің E жарықталуын табыңдар. Күннің жарықтылығы $B = 1,2 \cdot 10^9 \text{ кд/м}^2$.

15.63.* Жинақтайтын линза нәрсенің бейнесін табиғи шамасында береді. Егер линза мен нәрсені жылжыта отырып, оның

бейнесінің ауданын 9 есе ұлғайтса, нәрсенің кескінінің жарықталуы қанша есе азаяды?

15.64. Шамда жарық шығаратын дененің қызметін диаметрі $d = 3$ мм қыздырылған шарик атқарады. Оның жарық күші $I = 85$ кд. Шамның сфералық колбасы: а) мөлдір шыныдан немесе б) күңгірт шыныдан жасалынды деп алып, осы шамның B жарықтылығын табыңдар. Колбаның диаметрі $D = 6$ см.

15.65.* Жарық күші 60 кд нүктелік жарық көзінен жарықталған горизонталь жазықтықтың үстіне сәулелер шоғының жолына жарық көзі тоғысында болатындай етіп жинақтағыш линзаны орналастырады. Егер жарық көзінің астындағы жазықтықтың жарықталуы 15 лк болса, линзаның оптикалық күші қандай болады?

15.66. Ауданы $S = 20 \times 30$ см² бір парақ ақ қағаздың бетіне $\Phi = 120$ лм жарық ағыны тік түседі. Шағылу коэффициенті $\rho = 0,75$ болса, парақ қағаздың E жарықталуы, R жарқырауы және B жарықтылығы қандай болады?

15.67.* Квадрат пішінді спорт алаңының центрінің үстінде одан $r = 5$ м қашықтықта лампа ілулі тұр. Алаң центрінен қандай қашықтықтағы жер бетінің жарықталуы оның центріне қарағанда 2 есе аз? Шамның барлық бағыттағы жарық күші бірдей деп есептендер.

15.68. Ауданы $S = 10 \times 30$ см² парақ қағаз жарық күші $I = 100$ кд шаммен жарықталады, оған шамнан шыққан барлық жарықтың 0,5% бөлігі түседі. Осы парақ қағаздың E жарықталуын табыңдар.

15.69. Жарық күші $I = 100$ кд электр шамының минут сайын жан-жаққа тарататын жарық энергиясы $W_r = 122$ Дж/мин. 1) Жарықтың K механикалық эквивалентін; 2) шамның пайдаланатын қуатын $N = 100$ Вт деп алып, жарық серпімдік η пайдалы әрекет коэффициентін табыңдар.

§ 16. Толқындық оптика

Допплер принципі бойынша тіркеуші аспаптың қабылдайтын ν' жарық жиілігі жарық көзінің жіберетін ν жиілігімен мына қатынас арқылы байланысы:

$$v' = v \sqrt{\frac{1 - v/c}{1 + v/c}},$$

мұндағы: v — жарық көзімен салыстырғандағы тіркеуші аспаптың жылдамдығы, c — жарықтың таралу жылдамдығы. v мәнінің оң болуы жарық көзінің алыстауына сәйкес келеді. $v \ll c$ болғанда алдыңғы формуланы жуықтап, мына түрде көрсетуге болады:

$$v' \approx v \frac{1}{1 + v/c} = \frac{vc}{c + v}.$$

Когерентті екі жарық көзіне параллель болып орналасқан, экрандағы интерференциялық жолақтардың арақашықтығы:

$$l = \frac{L}{d} \lambda,$$

мұндағы: λ — жарық толқынының ұзындығы, L — бір-бірінен d қашықтықта тұрған жарық көздерінің экранға дейінгі қашықтығы (жәнеде $L \gg d$).

Жазық-параллель пластинкалардағы жарық интерференциясының нәтижесі (өтуші жарықтағы) мына формулалармен анықталады:

жарықтың күшеюі

$$2hn \cos \beta = 2k \frac{\lambda}{2} \quad (k = 0, 1, 2, \dots),$$

жарықтың әлсіреуі

$$2hn \cos \beta = (2k + 1) \frac{\lambda}{2} \quad (k = 0, 1, 2, \dots),$$

мұндағы: h — пластинканың қалыңдығы, n — сыну көрсеткіші, β — сыну бұрышы, λ — жарық толқынының ұзындығы. Шағылған жарықтағы жарықтың күшею және әлсіреу шарттары өтуші жарықтағы шарттарға керісінше болады.

Ньютонның жарық сақиналарының радиустары (өтуші жарықта) мына формуламен анықталады:

$$r_k = \sqrt{kR\lambda} \quad (k = 1, 2, \dots);$$

қараңғы (күңгірт) сақиналардың радиустары:

$$r_k = \sqrt{(2k - 1)R \frac{\lambda}{2}} \quad (k = 1, 2, \dots);$$

мұндағы: R — линзаның қисықтық радиусы. Шағылған жарықтағы жарық және қараңғы сақиналардың орналасуы олардың өтуші жарықтағы орналасуына керісінше болады.

Параллель сәулелердің шоғы тік түсіп тұрған саңылаудан дифракция кезіндегі жарықталударының минимум орны мына шарт бойынша анықталады:

$$a \sin \varphi = \pm k\lambda \quad (k = 1, 2, 3, \dots),$$

мұндағы: a — саңылаудың ені, φ — дифракция бұрышы, λ — түскен жарықтың толқын ұзындығы.

Дифракциялық тордағы жарықтың максимумдары торға түсірілген нормальмен φ бұрыш жасайтын бағытта (жарық торға тік түскен жағдайда) мына шарт бойынша анықталады:

$$a \sin \varphi = \pm k\lambda \quad (k = 1, 2, 3, \dots),$$

мұндағы: d — тор тұрақтысы, φ — дифракция бұрышы, λ — толқын ұзындығы, k — спектрдің орналасу реті. Тор тұрақтысы: $d = 1/N_0$, мұндағы N_0 — тордың ұзындық бірлігіне келетін тор саңылауларының саны.

Дифракциялық тордың айыру қабілеті мына формуламен анықталады:

$$\frac{\lambda}{\Delta\lambda} = kN,$$

мұндағы: N — тор саңылауларының жалпы саны, k — спектрдің орналасу реті, λ және $\lambda + \Delta\lambda$ — әлі де болса тор айыра алатын бір-біріне жақын жатқан екі спектр сызығы толқындарының ұзындығы.

Дифракциялық тордың бұрыштық дисперсиясы деп, мына шаманы айтады:

$$\frac{d\varphi}{d\lambda}.$$

Дифракциялық тордың сызықтық дисперсиясы деп мына шаманы айтады:

$$D = F \frac{d\varphi}{d\lambda},$$

мұндағы: F — спектрді экранға проекциялайтын линзаның тоғыс қашықтығы.

Электрлік айнадан табиғи жарық шағылғанда Френель формуласы орын алады:

$$I_{\perp} = 0,5I_0 \left[\frac{\sin(i - \beta)}{\sin(i + \beta)} \right]^2, \quad I_{\parallel} = 0,5I_0 \left[\frac{\operatorname{tg}(i - \beta)}{\operatorname{tg}(i + \beta)} \right]^2$$

мұндағы: I_{\perp} — жарықтың түсу жазықтығына перпендикуляр бағытта шағылған сәуле тербелісінің қарқындылығы; I_{\parallel} — жарықтың түсу жазықтығына параллель бағытта шағылған сәуле тербелістерінің қарқындылығы; I_0 — түскен табиғи жарықтың қарқындылығы; i — түсу бұрышы, β — сыну бұрышы.

Егер $i + \beta = 90^\circ$ болса, $I_{\parallel} = 0$ болады. Бұл жағдайда түсу бұрышы i_B және диэлектрлік айнаның сыну көрсеткіші n өзара мына қатынастықпен байланысады:

$$\operatorname{tg} i_B = n \text{ (Брюстер заңы).}$$

Поляризатор мен анализатор арқылы өтетін жарықтың қарқындылығы:

$$I = I_0 \cos^2 \varphi, \text{ (Малюс заңы),}$$

мұндағы: φ — поляризатор мен анализатор жазықтықтарының арасындағы бұрыш, I_0 — поляризатордан өткен жарықтың қарқындылығы.

16.1. Күн спектрінің фотосуретін түсіргенде, Күннің сол жақ және оң жақ шеттерінен алынған спектрлеріндегі сары спектр ($\lambda = 589$ нм) сызығының $\Delta\lambda = 0,008$ нм-ге ығысатындығы табылды. Күн дискісі айналуының сызықтық v жылдамдығын табыңдар.

16.2. Егер α -бөлшектердің шоғы бойымен бақылағанда гелий сызығының ($\lambda = 492,2$ нм) ең үлкен доплер ығысуы $\Delta\lambda = 0,8$ нм

болса, онда гелийлік разрядтық түтікше электродтарының арасындағы U потенциалдар айырымы қандай болады?

16.3. Андромеда ε жұлдызының спектрін суретке түсіргенде титан сызығы ($\lambda = 495,4$ нм) спектрдің күлгін шетіне қарай $\Delta\lambda = 0,17$ нм ығысатындығы табылды. Жермен салыстырғанда бұл жұлдыз қалай қозғалады?

16.4. Егер жарық көзі толқынының ұзындығы λ болса, онда сыну көрсеткіші n , сындыру бұрышы α бипризма арқылы алынатын интерференция жолақтарының саны қанша болады? Жарық көзінен бипризмаға дейінгі қашықтық a , ал бипризмадан экранға дейінгі қашықтық b .

16.5. Юнг тәжірибесінде саңылаулар монохромат жарықпен ($\lambda = 600$ нм) жарықталынды. Саңылаулардың бір-бірінен арақашықтығы $d = 1$ мм, саңылаулардан экранға дейінгі қашықтық $L = 3$ м. Бірінші үш жарық жолақтарының орналасуын табындар.

16.6. Френель айналарымен жасалған тәжірибеде жарық көзінің жорымал кескіндерінің арақашықтығы $d = 0,5$ мм, ал экранға дейінгі арақашықтық $L = 5$ м. Жасыл жарықта пайда болған интерференциялық жолақтардың бір-бірінен қашықтығы $l = 5$ мм. Жасыл жарықтың λ толқын ұзындығын табындар.

16.7. Юнг тәжірибесінде интерференцияланған сәулелердің біреуінің жолына жұқа шыны пластинка қойылған, соның салдарынан орталық жарық жолақ алғашқы бесінші жарық жолағының (центрлік жолақты есептемегендегі) тұрған жеріне ығысты. Сәуле пластинка бетіне перпендикуляр түседі. Пластинканың сыну көрсеткіші $n = 1,5$. Толқын ұзындығы $\lambda = 600$ нм. Пластинканың h қалыңдығы қандай?

16.8. Юнг тәжірибесінде қалыңдығы $h = 12$ см пластинканы интерференцияланатын сәулелердің біреуінің жолына перпендикуляр орналастырған. Пластинканың әр тұсының сыну көрсеткіштерінің әртүрлілігі салдарынан туындайтын жол айырымы $\Delta = 1$ мкм-ден аспау үшін сыну көрсеткіштер бір-бірінен қандай шамаға ажырасады?

16.9. Сабынды жарғағына $i = 45^\circ$ бұрышпен ақ жарық түседі. Жарғақтың қандай өзгермейтін қалыңдығында шағылған

сәулелер сары түске ($\lambda = 600$ нм) боялатын болады? Сабынды судың сыну көрсеткіші $n = 1,33$

16.10. Сабынды суды төккенде вертикаль орналасқан сынаға ұқсас ағын жарғағы түзіледі. Сынапты доғаның шағылған жарығындағы ($\lambda = 546,1$ нм) интерференциялық жолақтарды бақылағанда, бес жолақтардың арасындағы қашықтық $l = 2$ см болатындығы анықталды. Синаның Y бұрышын табыңдар. Жарық жарғақ бетіне перпендикуляр түседі. Сабынды судың сыну көрсеткіші $n = 1,33$.

16.11. Вертикаль орналасқан сабынды жарғақ сына жасайды. Интерференция шағылған жарықта қызыл шыны ($\lambda_1 = 631$ нм) арқылы бақыланады. Сонда көршілес қызыл жолақтардың арақашықтығы $l_1 = 3$ мм-ге тең болды. Содан кейін осы сабынды жарғақ көк шыны ($\lambda_2 = 400$ нм) арқылы бақыланады. Көршілес көк жолақтардың l_2 арақашықтығын табыңдар. Өлшеулер кезінде жарғақтың пішіні өзгермейді және жарық вертикаль түседі деп есептеңдер.

16.12. Шыны синаның бетіне жарық шоғы ($\lambda = 582$ нм) тік түседі. Синаның бұрышы $Y = 20^\circ$. Синаның ұзындық бірлігіне күңгірт (қара) интерференциялық жолақтардың қай k_0 саны келеді? Шынының сыну көрсеткіші $n = 1,5$.

16.13.* Сыну көрсеткіші 1,5 жұқа жарғаққа толқын ұзындығы $\lambda = 600$ нм сәулемен жарықталады. Интерференциялық жолақтар жарғақтың қандай ең аз қалыңдығында жоғалады?

16.14. Ньютон сақиналарын алатын қондырғы монохроматты жарықпен жарықталады. Жарық жарғаққа тік түседі. Бақылау шағылған жарықта жүргізіледі. Линзаның қисықтық радиусы $R = 8,6$ м. Өлшеулер арқылы төртінші (ортаңғы қараңғы сақинаны ноль деп есептегенде) қараңғы сақинаның диаметрі $r_4 = 4,5$ мм болатындығы анықталынды. Түскен жарықтың λ толқын ұзындығын табыңдар.

16.15. Ньютон сақинасын алатын қондырғы пластинка бетіне тік түсетін ақ жарықпен жарықталды. Төртінші көк сақинаның ($\lambda_k = 630$ нм) және үшінші қызыл сақинаның ($\lambda_k = 400$ нм) r_k , r_k радиустарын табыңдар. Бақылау өтуші жарықта жүргізіледі. Линзаның қисықтық радиусы $R = 5$ м.

16.16. Қондырғы 16.15 есептегі шартқа сәйкес жарықталады. Ньютонның бесінші және жиырма бесінші жарық сақиналарының арақашықтығы $l = 9$ мм. Линзаның қисықтың радиусы $R = 15$ м. Қондырғы пластинкасына тік түскен монохромат жарықтың λ толқын ұзындығын табыңдар. Бақылау шағылған жарықта жүргізіледі.

16.17. Қондырғы 16.15 есептегі шартқа сәйкес жарықталады. Ньютонның екінші және жиырмасыншы қара сақиналарының арақашықтығы $l_1 = 4,8$ мм. Оның үшінші және он алтыншы қара сақиналары араларының l_2 қашықтығын табыңдар. Бақылау шағылған жарықта жүргізіледі.

16.18. Ньютон сақиналарын алатын қондырғы пластинка бетіне тік түсетін сынапты доға жарығымен жарықталды. Бақылау өтуші жарықта жүргізіледі. Сызығы $\lambda_1 = 579,1$ нм-ге сәйкес келетін қай реттегі жарық сақина, сызығы $\lambda_2 = 577$ нм-ге тең болатын келесі жарық сақинаға сәйкес келеді?

16.19. Ньютонның сақинасын бақылауға арналған қондырғы толқын ұзындығы $\lambda = 589$ нм жарықпен жарықталды. Линза мен шыны пластинканың арасындағы кеңістік сұйықпен толтырылған. Өтуші жарықтағы үшінші жарық сақинаның радиусы $r_3 = 3,65$ мм-ге тең болады деп алып, сұйықтың n сыну көрсеткішін анықтаңдар. Линзаның қисықтық радиусы $R = 10$ м.

16.20. Ньютонның сақинасын бақылауға арналған қондырғы пластинка бетіне тік түскен толқын ұзындығы $\lambda = 600$ нм монохромат жарықпен жарықталды. Шағылған жарықта көрінетін төртінші қара сақина тұрған жердегі линза мен шыны пластинканың арасындағы ауа қабатының h қалыңдығын табыңдар.

16.21.* Линза мен пластинканың арасына бензол ($n = 1,5$) құйылған болса, Ньютон сақиналарының орталық қараңғы дағының r радиусын табыңдар. Линзаның қисықтық радиусы $R = 1$ м. Бақылау толқын ұзындығы $\lambda = 5890 \text{ \AA}$ шағылған жарықта жүргізіледі.

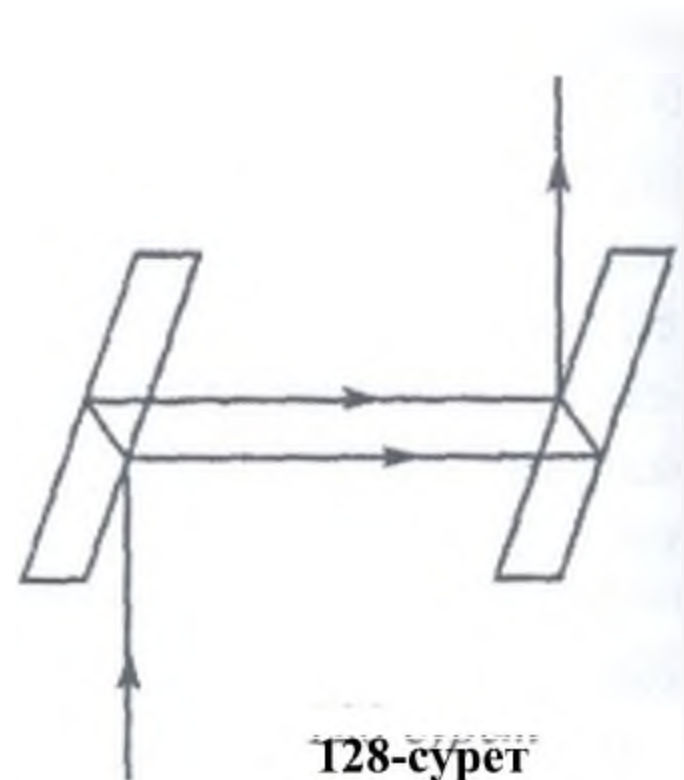
16.22. Ньютонның сақинасын бақылауға арналған қондырғы пластинка бетіне тік түсетін монохромат жарықпен жарықталады. Линза мен шыны пластинканың арасындағы кеңістікті сұйықпен толтырғаннан кейін шағылған жарықтағы қара

сакиналардын радиустары 1,25 есе кемиді. Сұйықтың сыну көрсеткішін n табындар.

16.23. Майкельсон интерферометрімен жасаған тәжірибеде интерференциялық картинаны $k = 500$ жолаққа ығыстыру үшін айнаны $L = 0,161$ мм қашықтыққа орын ауыстыру керек болды. Түскен жарықтың λ толқын ұзындығын табындар.

16.24. Аммиактың сыну көрсеткішін өлшеу үшін Майкельсон интерферометрі иіндерінің біріне ұзындығы $l = 14$ см ауасы сорылған түтікті орналастырады. Түтіктің ұштары жазық параллель шыны пластинкамен жабылған. Түтікті аммиакпен толтырғанда, ұзындығы $\lambda = 590$ нм толқын үшін интерференциялық картина $k = 180$ жолаққа ығысты. Аммиактың n сыну көрсеткішін табындар.

16.25. Жамен интерферометрі сәулеле-рінің біреуінің жолына (128-сурет) ұзындығы $l = 10$ см ауасы сорылған түтік қойылған. Түтікті хлормен толтырғанда $\lambda = 590$ нм толқын ұзындығы үшін интерференциялық картина $k = 131$ жолаққа ығысты. Хлордың n сыну көрсеткішін табындар.



16.26. Қалыңдығы $d=0,4$ мкм шыны пластинканың бетіне ақ жарық шоғы тік түседі. Шынының сыну көрсеткіші $n = 1,5$. Көрінетін спектрдің шегінде жатқан (400-ден 700 нм-ге дейін) қандай λ толқын ұзындықтары шағылған жарықта шоғында күшейетін болады?

16.27. Шыны объективтің ($n_1 = 1,5$) бетіне сыну көрсеткіші $n_2 = 1,2$ жарғақша («жарықтағыш» жарғақша) жапсырылған. Осы жарғақшаның қандай ең кіші d қалыңдығында көрінетін спектрдің орта бөлігінде шағылған жарық мейлінше әлсірейтін болады?

16.28.* Бір қабатты оптикалық жамылғы $\lambda = 550$ нм жарықтың шағылуын нольге дейін төмендетеді. Осы жамылғы λ

= 450 нм және $\lambda = 700$ нм болғанда жамылғы жоқ болған кезбен салыстырғанда шағылуды қанша есе азайтады?

16.29. Егер жарық көзінен толқындық бетке дейінгі қашықтық $a = 1$ м, ал толқын бетінен бақылау жүргізетін нүктеге дейінгі қашықтық $b = 1$ м болса, Френельдің бірінші бес зоналарының r_k радиустарын есептеп шығарыңдар. Жарық толқынының ұзындығы $\lambda = 500$ нм.

16.30. Жазық толқын үшін Френельдің бірінші бес аумағының r_k радиусын есептеп шығарыңдар. Толқындық беттен бақылау нүктесіне дейінгі қашықтық $b = 1$ м. Жарық толқынының ұзындығы $\lambda = 500$ нм.

16.31. Дифракциялық картина нүктелік монохромат жарық ($\lambda = 600$ нм) көзінен l қашықтықта байқалады. Жарық көзінен $a = 0,5l$ қашықтықта диаметрі $D = 1$ см мөлдір емес дөңгелек тосқауыл қойылған. Тосқауыл Френельдің тек орталық аумағын ғана жабады деп есептеп, l қашықтықты табыңдар.

16.32. Дифракциялық картина нүктелік монохромат жарық ($\lambda = 500$ нм) көзінен $l = 4$ м қашықтықта байқалады. Экран мен жарық көзінің ортасына дөңгелек тесігі бар диафрагма қойылған. Тесіктің қандай R радиусында экранда байқалатын дифракциялық сақиналардың центрі қараңғы болып көрінеді?

16.33. Диаметрі $D = 1,96$ мм болатын дөңгелек тесігі бар диафрагмаға монохромат жарықтың ($\lambda = 600$ нм) параллель шоғы тік түседі. Диафрагма мен экранның қандай l арақашықтығында дифракциялық картинаның центрінде әлі де болса қараңғы жолақ байқалады?

16.34.* Сыну көрсеткіші n (λ толқын ұзындығы үшін) шыны диск A бақылау нүктесі үшін біржарым Френель аумағын жабады. Дисктың қандай b қалыңдығында A нүктесіндегі жарықталу ең жоғары болады?

16.35. Біріншісінен басқа барлық аумақтар жабық болса, аумақтық пластинканың l қарқындылығы қандай? Пластинкасыз жарықтың қарқындылығы I_0 .

16.36. Ені $a = 6 \lambda$ саңылауға толқын ұзындығы λ монохромат жарықтың параллель шоғы тік түседі. Жарықтың үшінші дифракциялық минимумы қандай бұрышпен байқалатын болады?

16.37. Тар саңылауға монохроматтық жарықтың параллель шоқтары тік түседі. Екіншілік максимумдардың салыстырмалы қарқындылығын анықтаңдар.

16.38. Егер сынаптың жасыл сызығы ($\lambda = 546,1 \text{ нм}$) бірінші ретті спектрде $\varphi_1 = 19^\circ 8'$ бұрышпен көрінетін болса, онда дифракциялық тордың ұзындық бірлігіне штрихтардың саны N_0 қанша болады?

16.39. Дифракциялық торға жарық шоғы тік түседі. Бірінші ретті спектрде натрий сызығы $\varphi_1 = 17^\circ 8'$ дифракция бұрышын береді. Екінші ретті спектрдегі кейбір сызық $\varphi_1 = 24^\circ 12'$ дифракция бұрышын береді. Осы сызықтың толқын ұзындығын мен тордың ұзындық бірлігіне келетін штрихтардың N_0 санын табыңдар.

16.40. Дифракциялық торға разрядты түтікшеден жарық шоғы тік түседі. $\varphi = 41^\circ$ бағытында екі сызықтардың $\lambda_1 = 656,3 \text{ нм}$ және $\lambda_2 = 410,2 \text{ нм}$ максимумдары дәл келу үшін дифракциялық тордың d тұрақтысы неге тең болу керек?

16.41. Дифракциялық торға жарық шоғы тік түседі. Гониометр түтігін φ бұрышқа бұрғанда көзге үшінші ретті спектрдегі $\lambda_1 = 440 \text{ нм}$ сызығы көрінеді. Осы φ бұрышымен спектрдің көрінетін шегінде (400-ден 700 нм) жатқан басқадай λ_2 толқын ұзындықтарына сәйкес келетін спектр сызықтары көрінер ме еді?

16.42. Гелиймен толтырылған разрядтық түтікшеден шыққан жарық шоғы дифракциялық торға тік түсіп тұр. Екінші ретті спектрдегі гелийдің қызыл сызығы ($\lambda_1 = 670 \text{ нм}$) үшінші ретті спектрдің қай λ_2 сызығымен беттеседі?

16.43. Гелиймен толтырылған разрядтық түтікшеден шыққан жарық шоғы дифракциялық торға тік түседі. Көру түтігі әуелі бірінші ретті спектрдегі орталық жолақтың екі жағындағы күлгін сызыққа ($\lambda_k = 389 \text{ нм}$) қарай бағытталып қойылды. Лимба бойынша нольдік бөліктен оң жаққа қарайғы есептеулер $\varphi_{\phi 1} = 27^\circ 33'$ және $\varphi_{\phi 2} = 36^\circ 27'$ болатын нәтижелерді берді. Осыдан кейін көру түтігі бірінші ретті спектрдегі орталық жолақтың екі жағындағы қызыл сызыққа қарай бағытталып қойылды. Нольдік бөліктен оң жаққа қарайғы лимба бойынша есептеулер $\varphi_{k1} =$

$23^{\circ}54'$ және $\varphi_{k2} = 40^{\circ}6'$ болатын нәтижелерді берді. Гелий спектрінің қызыл сызығының λ_k толқын ұзындығын табыңдар.

16.44. Дифракциялық тор тұрақтысын $d = 2$ мкм-ге тең деп алып, натрийдің сары сызығындағы ($\lambda = 589$ нм) спектрдің ең үлкен реттік k нөмірін табыңдар.

16.45. Монохромат жарық шоғы дифракциялық торға тік түседі. Үшінші ретті максимум тік бағытқа $\varphi = 36^{\circ}48'$ бұрыш жасай бақыланады. Түскен жарықтың толқын ұзындығы арқылы көрсетілген тордың d тұрақтысын табыңдар.

16.46.* Монохромат жарықтың шоғы мөлдір дифракциялық тор нормаліне θ бұрыш жасап түседі. Тор тұрақтысы d . Дифракциялық максимумдар үшін қатынасты анықтаңдар.

16.47. Штрихтар саны 5500 штрих/см болатын дифракциялық тордың ені 3,6 см. Торға толқын ұзындығы 624 нм жарық түседі. Егер кез келген ретте де екі толқынның ұзындығын ажыратамыз десек, онда олар бір-бірінен қанша шамаға ажырайды? Қай ретте ең жақсы ажыратуға қол жетеді?

16.48. Калий спектрінің бірінші реттік сызықтарын $\lambda_1 = 404,4$ нм және $\lambda_2 = 404,7$ нм ажырата алу үшін тордың дифракциялық тұрақты-сы d неге тең болады? Тордың ені $a = 2,5$ см.

16.49. Бірінші реттегі натрийдің $\lambda_1 = 589$ нм және $\lambda_2 = 589,6$ нм дублетін ажырату үшін ені $a = 2,5$ см дифракциялық тордың d тұрақтысы неге тең болады?

16.50. Дифракциялық тордың тұрақтысы $d = 2$ мкм. Екінші ретті спектрдегі сары сәулелер ($\lambda = 600$ нм) аймағында осы тор толқын ұзындықтарының қандай $\Delta\lambda$ айырымын ажырата алады? Тордың ені $a = 2,5$ см.

16.51. Бірінші ретті спектрдегі $\lambda = 589$ нм үшін дифракциялық тордың $d\varphi/d\lambda$ бұрыштық дисперсиясын анықтаңдар. Тор тұрақтысы $d = 2,5$ мкм.

16.52. Бірінші ретті спектрдегі $\lambda = 668$ нм үшін дифракциялық тордың бұрыштық дисперсиясы $d\varphi/d\lambda = 2,02 \cdot 10^5$ рад/м. Дифракциялық тордың d периодын табыңдар.

16.53. Спектрді экранға проекциялайтын линзаның тоғыс қашықтығы $F = 40$ см тең деп алып, алдыңғы есептің шартындағы дифракциялық тордың D сызықтық дисперсиясын табыңдар.

16.54. Тұрақтысы $d = 2$ мкм дифракциялық тор арқылы алынатын бірінші ретті спектрдегі сынап доғасының экрандағы екі сызығы ($\lambda_1 = 577$ нм және $\lambda_2 = 579,1$ нм) бір-бірінен қандай l қашықтықта орналасады? Спектрді экранға проекциялайтын линзаның тоғыс қашықтығы $F = 0,6$ м.

16.55. Жарық шоғы дифракциялық торға тік түседі. Үшінші ретті спектрдегі қызыл сызық ($\lambda_1 = 630$ нм) $\varphi = 60^\circ$ бұрышпен көрінеді. Осы бұрышпен төртінші ретті спектрде спектрлік λ_2 сызықтың қайсысы көрінеді? Дифракциялық тордың ұзындық бірлігінде N_0 штрихтардың саны қанша? Осы тордың үшінші ретті спектріндегі $\lambda_1 = 630$ нм үшін $d\varphi/d\lambda$ бұрыштық дисперсиясы неге тең?

16.56. Периоды d , ені b диафракциялық тор үшін m максимумының қарқындылығы нольге тең болатын шартын табыңдар.

16.57. Бірінші ретті спектрдегі калийдің $\lambda_1 = 404,4$ нм және $\lambda_2 = 404,7$ нм екі сызықтарының арақашықтығы $l = 0,1$ мм болу үшін, дифракциялық тор арқылы алынған спектрді экранға проекциялайтын линзаның тоғыс қашықтығы қандай болу керек? Дифракциялық тор тұрақтысы $d = 2$ мкм.

16.58. Сыну көрсеткіші $n = 1,57$ шыныдан жарық шағылған кездегі i_B толық поляризациялану бұрышын анықтаңдар.

16.59. Кейбір зат үшін толық іштей шағылудың шекті бұрышы $i = 45^\circ$. Осы зат үшін i_B толық поляризациялану бұрышын табыңдар.

16.60. Көлдің бетінен шағылған Күннің сәулесі мейлінше толық поляризациялану үшін, Күн горизонтқа қандай i_B бұрышпен орналасу керек?

16.61. Жарық шыны бетінен шағылғанда шағылған сәуле $\beta = 30^\circ$ сыну бұрышында толығымен поляризацияланатын болса, онда шынының n сыну көрсеткіші неге тең?

16.62. Жарық сәулесі шыны ($n = 1,5$) ыдысқа құйылған сұйықтан өтеді де, оның түбінен шағылады. Сәуле ыдыстың түбіне $i_B = 42^\circ 37'$ бұрыш жасап түскенде шағылған сәуле толығымен поляризацияланатын болады. Сұйықтың n сыну көрсеткішін табыңдар. Толық ішкі шағылу болу үшін сұйықтың

ішімен өтетін жарықтың сәулесі ыдыстың түбіне қандай i бұрышпен түсетіндігін табыңдар.

16.63. Жазық-поляризацияланған жарық шоғы $\lambda_1 = 589$ нм исланд шпатынан жасалған пластинканың оптикалық осіне перпендикуляр түседі. Кәдімгі және басқа сәулелер үшін исланд шпатының сыну көрсеткіштері тиісінше $n_k = 1,66$ және $n_6 = 1,49$ болса, онда кәдімгі және басқа сәулелердің кристалдағы толқын ұзындықтары λ_k және λ_6 неге тең?

16.64. Егер поляризатор мен анализатордан өткен табиғи жарықтың қарқындылығы төрт есе кемиді десек, онда поляризатор мен анализатордың бас жазықтарының арасындағы бұрыш φ неге тең болады? Жарықтың жұтылуы есепке алынбайды.

16.65. Табиғи жарық поляризатор мен анализатор арқылы олардың бас жазықтарының арасындағы бұрыш φ -ға тең болатындай өтеді. Анализатор да, поляризатор сияқты түскен жарықтың 8%-ын жұтады және шағылтады. Анализатордан шыққан сәуленің қарқындылығы поляризаторға түскен табиғи жарықтың қарқындылығының 9%-на тең болды. φ бұрышын табыңдар.

16.66. Толық i_B поляризациялану бұрышымен шыныға ($n = 1,54$) түсетін табиғи жарықтың ρ шағылу коэффициентін анықтаңдар. Шыныға өткен сәулелердің P поляризациялану дәрежесін табыңдар.

16.67. Он жұқа жазық-параллель шыны пластинкалардан тұратын Столетовтың қаттамасына сәуле толық поляризация бұрышымен түседі. Сынған сәуленің өзі өткен пластинкаларының ($n = 1,5$) N санына байланысты поляризациялану дәрежесін табыңдар. Түсетін сәуле – табиғи.

16.68. Табиғи жарықтың шыныға ($n = 1,5$) $i = 45^\circ$ бұрышпен түскен кездегі ρ шағылу коэффициенті мен шағылған сәуленің P_1 поляризациялану дәрежесін және сынған сәулелердің P_2 поляризациялану дәрежесін анықтаңдар.

§ 17. Салыстырмалылық теория элементтері

Кейбір санақ жүйесімен салыстырғандағы v жылдамдықпен қозғалған дененің l ұзындығы осы жүйеде қозғалмай тұрған дененің l_0 ұзындығымен төмендегі қатынас арқылы байланысады:

$$l = l_0 \sqrt{1 - \beta^2},$$

мұндағы: $\beta = v/c$, c — жарықтың таралу жылдамдығы.

Бақылаушыға қатысты v жылдамдықпен қозғалатын жүйедегі Δt уақыт аралығы, бақылаушы үшін қозғалмайтын жүйедегі Δt_0 уақыт аралығымен төмендегі қатынас арқылы байланысады:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \beta^2}}.$$

Дененің m массасының оның қозғалыс жылдамдығына тәуелділігі мынадай теңдеумен беріледі:

$$m = \frac{\Delta m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}},$$

мұндағы m_0 — осы дененің тыныштық массасы.

Дененің кинетикалық энергиясының жылдамдыққа тәуелділігі мына теңдеумен беріледі:

$$W_k = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} - 1 \right).$$

Жүйенің массасының Δm шамаға өзгерісі жүйе энергиясының мына өзгерісіне сәйкес келеді:

$$\Delta W = c^2 \Delta m.$$

17.1. Қозғалыстың қандай салыстырмалы v жылдамдығында, қозғалған дене ұзындығының релятивистік қысқаруы 25%-ға тең болады?

17.2. Қозғалған дененің бойлық өлшемі екі есе кішірею үшін оның жылдамдығы v қандай болу керек?

17.3. Ғарыштық сәулелердің мезондары Жердің бетіне әртүрлі жылдамдықпен жетеді. Жылдамдығы жарық жылдамдығының 95%-на тең болатын мезон өлшемінің релятивистік қысқаруын табыңдар.

17.4. Егер тұрақсыз бөлшек жарық жылдамдығының 99%-ындай жылдамдықпен қозғала бастаған болса, онда қозғалмайтын бақылаушының сағаты бойынша оның өмір сүруі ұзақтығы неше есе өседі?

17.5. Ғарыштық сәулелердің құрамына кіретін мезон жарық жылдамдығының 95%-ындай жылдамдықпен қозғалады. Мезонның «меншікті уақытының» бір секундына жердегі бақылаушының сағаты бойынша алынған қандай $\Delta\tau$ уақыт аралығы сәйкес келеді?

17.6. α -бөлшектің нольге тең бастапқы жылдамдығын жарық жылдамдығының 0,9 бөлігіне тең болатын жылдамдыққа дейін үдеткенде оның массасы қаншаға артады?

17.7. Мына жылдамдықтар үшін: а) $v \ll c$; б) $v = 2 \cdot 10^8$ м/с; в) $v = 2,2 \cdot 10^8$ м/с; г) $v = 2,4 \cdot 10^8$ м/с; д) $v = 2,6 \cdot 10^8$ м/с; е) $v = 2,8 \cdot 10^8$ м/с электрон зарядының оның массасына қатынасын (e/m) табындар. Осы көрсетілген жылдамдықтар үшін m мен e/m -нің қатынасының $\beta = v/c$ шамасына тәуелділігінің кестесін жасап, графигін сызындар.

17.8. Қандай v жылдамдықпен қозғалатын электронның массасы оның тыныштық массасынан екі есе үлкен болады?

17.9. Бөлшек массасының салыстырмалы өсуі 5%-дан артпас үшін циклотронның ішіндегі бөлшекті қандай W_k энергияға дейін үдетуге болады? Есепті: а) электрондар; б) протондар; в) дейтондар үшін шешіндер.

17.10. Электронның жылдамдығы жарық жылдамдығының 95%-ын беру үшін ол қандай U үдетуші потенциалдар айырымынан өту керек?

17.11. Протонның бойлық өлшемі екі есе кішірею үшін, ол қандай U үдетуші потенциалдар айырымынан өту керек?

17.12. * π^0 -мезон ($m_0 = 2,4 \cdot 10^{-28}$ кг) $v = 0,8 \cdot c = 2,4 \cdot 10^8$ м/с жылдамдықпен қозғалады. Оның кинетикалық энергиясы неге тең? Алынған шешуді классикалық механика бойынша есептеулермен салыстырындар.

17.13. * Алдыңғы есептегі π^0 -мезонның ыдырауы кезінде және оның электромагниттік сәулеленуге түрленуінде қанша энергия шығарылады?

17.14. * Радиусы R сфералық өткізгіштің массасы, егер оған $Q = 85$ мкКл заряд берілген болса, қаншаға өзгереді?

17.15. * Электрон ($m_0 = 9,11 \cdot 10^{-31}$ кг) консервативтік күштің әрекетінен тыныштық жағдайдан v жылдамдыққа дейін үдейді. Осы кезде оның потенциалдық энергиясы $4,2 \cdot 10^{-14}$ Дж-ға кемиді. Электронның жылдамдығын анықтаңдар.

17.16. Циклотронда үдетілген электрондардың кинетикалық энергиясы $W_k = 0,67$ МэВ. Осы электрондардың жылдамдығы жарық жылдамдығының қандай β үлесіне тең болады?

17.17. Электрондар мен протондар үшін олардың W_k кинетикалық энергиясының v жылдамдыққа тәуелділігінің кестесін жасандар (жарық жылдамдығының β үлесі бойынша). Кестені β -ның мына мәндері үшін: 0,1; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 0,95 және 0,999 құрыңдар.

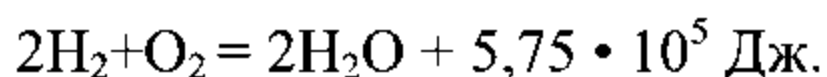
17.18. Қозғалыстағы электронның массасы оның тыныштықтағы массасынан екі есе үлкен. Осы электронның кинетикалық энергиясын W_k табыңдар.

17.19. Энергияның $\Delta W = 4,19$ Дж-ге өзгеруі массаның қандай Δm өзгерісіне сәйкес келеді?

17.20. Массаның $\Delta m = 1$ а.е.м. өзгерісіне сәйкес келетін энергияның ΔW өзгерісін табыңдар.

17.21. Массаның электронның тыныштық массасының шамасын-дай ($\Delta m = m_e$) өзгеруіне сәйкес келетін энергиясының ΔW өзгерісін табыңдар.

17.22. Судың пайда болу реакциясын төмендегідей жазып, бір киломоль суды шығарып алғандағы массаның Δm_μ шығынын табыңдар:



17.23. ${}^{235}_{92}\text{U}$ уран ядросы бөлінгенде шамамен $W = 200$ МэВ энергия босайды. Бір моль уран бөлінгендегі массаның Δm_μ өзгерісін табыңдар.

17.24. Күн қуаты $P = 3,9 \cdot 10^{26}$ Вт энергия ағынын сәуле түрінде шығарады. Күннің энергия шығарындарын тұрақты деп алып, оның массасы қанша τ уақытта екі есе кемитіндігін табыңдар.

§ 18. Жылулық сәуле шығару

Абсолют қара дененің энергетикалық жарқырауы (сәулеленгіштігі), яғни абсолют қара дененің бірлік бетінен уақыт бірлігінде шығаратын энергиясы Стефан-Больцман формуласымен аныкталады:

$$R_{\text{э}} = \sigma T^4,$$

мұндағы: T — термодинамикалық температура, $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м²·К⁴) — Стефан-Больцман тұрақтысы.

Егер сәуле шығарушы дене абсолют қара дене болмаса, онда:

$$R'_{\text{э}} = k\sigma T^4,$$

мұндағы: k — коэффициент әрдайым бірден кем.

Энергетикалық жарқырау $R_{\text{э}}$ абсолют қара дененің энергетикалық жарқырауының r_{λ} спектрлік тығыздығымен мына қатынас бойынша байланысады:

$$R_{\text{э}} = \int_0^{\infty} r_{\lambda} d\lambda.$$

Абсолют қара дененің сәуле шығарғыштық қабілеті:

$$\varepsilon_{\nu, T} = \frac{2\pi h \nu^3}{c^2} \frac{1}{\exp(h\nu/kT) - 1},$$

мұндағы: $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж/с — Планк тұрақтылығы, ν — жарық жиілігі, $c = 3 \cdot 10^{10}$ см/с — жарық жылдамдығы, $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/к — Больцман тұрақтысы, T — абсолют қара дененің температурасы.

Абсолют қара дененің энергетикалық жарқырауының спектрлік тығыздығы ең үлкен болған жағдайда оның термодинамикалық температурасының толқын ұзындығына көбейтіндісі тұрақты шама болады, яғни:

$$\lambda_{\text{max}} T = C_1 = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}.$$

Абсолют қара дененің энергетикалық жарқырауының ең үлкен спектрлік тығыздығы абсолют температураның бесінші дәрежесіне пропорционал өседі (Винның екінші заңы):

$r\lambda_{max} = C_2 T^5,$

мұндағы $C_2 = 1,29 \cdot 10^{-5} \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{К}^5)$.

18.1. Пештің мұржасынан шығатын сәуленің қуаты $N = 34,6 \text{ Вт}$ болса, оның T температурасы қандай болады? Мұржаның ауданы $S = 6,1 \text{ см}^2$. Сәуле шығаруды абсолют кара дененің сәуле шығаруындай болады деп есептендер.

18.2. Күннің сәуле шығару қуаты N қандай болады? Күннің сәуле шығаруын кара дененің сәуле шығаруына жуық деп алыңдар. Күн бетінің температурасы $T = 5800 \text{ К}$.

18.3. Қатая бастаған қорғасынның R' , энергетикалық жарқырауы қандай болады? Осы температура үшін қорғасын мен абсолют кара дененің энергетикалық жарқырауларының қатынасы $k = 0,6$.

18.4. Абсолют кара дененің сәуле шығару қуаты $N = 34,6 \text{ кВт}$. Осы дененің ауданын $S = 0,6 \text{ см}^2$ -ге тең деп алып, оның температурасын табыңдар.

18.5. Қыздырылған металдың бетінен шығатын сәуленің қуаты $N' = 0,67 \text{ кВт}$. Беттің ауданы $S = 10 \text{ см}^2$, температурасы $T = 2500 \text{ К}$. Осы бет абсолют кара болса, оның N сәуле шығару қуаты қандай болар еді? Берілген температурадағы абсолют кара дене мен осы беттің энергетикалық жарқырауларының k қатынасын табыңдар.

18.6. Электр шамындағы вольфрам қылының диаметрі $d = 0,3 \text{ мм}$, ұзындығы $l = 5 \text{ см}$. Электр шамын кернеуі $U = 127 \text{ В}$ тізбекке қосқанда оның қылынан күші $I = 0,31 \text{ А}$ ток өтеді. Шам қылының T температурасын табыңдар. Тепе-теңдік орнағаннан кейін шамның қылынан бөлініп шығатын жылу толығымен сәуле шығаруға жұмсалады. Осы температурадағы абсолют кара дене мен вольфрамның энергетикалық жарқырауларының қатынасы $k = 0,3$.

18.7. 25-ваттық электр шамының вольфрам қылының температурасы $T = 2450^\circ \text{ К}$. Берілген температурадағы вольфрам қылының энергетикалық жарқырауының абсолют кара дененің энергетикалық жарқырауына қатынасы $k = 0,3$. Қылдың сәуле шығаратын бетінің S ауданын табыңдар.

18.8. Күннің K тұрақтысын табындар, яғни Күннен Жер қандай қашықтықта болса, сондай қашықтықта сәуле жолына перпендикуляр қойылған бір өлшем аудан арқылы бір өлшем уақытта Күннің жіберетін сәулелік энергиясының мөлшерін анықтаңдар. Күннің сәуле шығаруын абсолют кара дененің сәуле шығаруына жақын деп алындар. Күн бетінің температурасы $T=5800\text{ K}$.

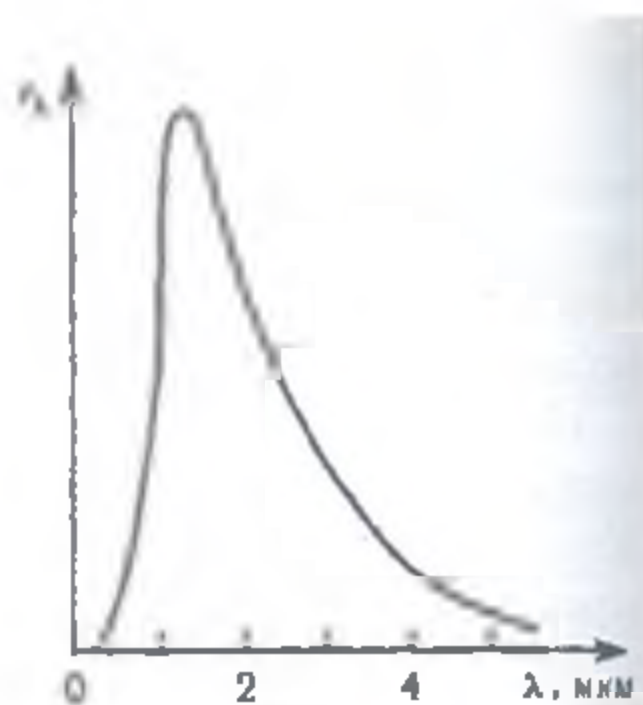
18.9. Күннің жіберетін сәулелік энергиясының 10%-ын атмосфера жұтып алады деп есептеп, ауданы $S = 0,5$ га тең горизонталь Жер телімінің Күннен алатын N қуатын табындар. Күннің горизонттан биіктігі $\varphi = 30^\circ$. Күннің сәуле шығаруын абсолют кара дененің сәуле шығаруына жақын деп алындар.

18.10. Күн бетінің температурасы $T=6000\text{ K}$, Жер орбитасының Күн диаметріне қатынасы $2,14 \cdot 10^2$. Жердің беті барлық бағытпен сәуле шығарады деп есептеп, оның орташа температурасын есептендер.

18.11. Абсолют кара дененің ең үлкен спектрлік тығыздығы $\lambda=484\text{ нм}$ толқын ұзындық келеді деп алып, оның R , энергетикалық жарқырауын анықтаңдар.

18.12. Абсолют кара дененің сәуле шығару қуаты $N = 10\text{ кВт}$. Дененің энергетикалық жарқырауының ең үлкен спектрлік тығыздығы $\lambda=700\text{ нм}$ толқын ұзындығына келетін болса, оның сәуле шығаратын бетінің S ауданын табындар.

18.13. Егер жарық көзі ретінде: а) электр шамының қылы ($T = 3000\text{ K}$); б) Күннің беті ($T = 6000^\circ\text{K}$) және в) жарылған сәтінде температурасы $T \approx 10^7\text{ K}$ градусқа дейін жететін атом бомбасы алынса, онда энергетикалық жарқыраудың ең үлкен спектрлік тығыздығына сәйкес келетін толқын ұзындықтары спектрдің қандай облысында жатады? Сәуле шығаруды абсолют кара дененің сәуле шығаруына жақын деп алындар.



129-сурет

18.14. 129-суретте, кейбір температурадағы абсолют қара дененің энергетикалық жарқырауының ν_λ спектрлік тығыздығының оның λ толқын ұзындығына байланыс қисығы берілген. Осы қисық қай T температураға сәйкес келеді? Табылған температурада шығарылған энергияның қандай пайызы көрінетін спектрдің үлесіне тиеді?

18.15. Абсолют қара денені қыздырғанда энергетикалық жарқырауының ең үлкен спектрлік тығыздығына сәйкес келетін λ толқын ұзындығы 690 нм-нан 500 нм-ға дейін өзгерді. Сонда дененің энергетикалық жарқырауы неше есе өседі?

18.16. Температурасы адам денесінің температурасына ($t = 37^\circ\text{C}$), яғни $T = 310\text{ K}$ -ге тең абсолют қара дененің энергетикалық жарқырауының ең үлкен спектрлік тығыздығы қандай λ толқын ұзындығына сәйкес келеді?

18.17. Абсолют қара дене 1000K-нен 3000K температураға дейін қыздырылды. Сонда оның R_λ энергетикалық жарқырауы неше есе өсті? Энергетикалық жарқыраудың ең үлкен спектралдық тығыздығына келетін толқын ұзындығы λ қаншаға өзгереді?

18.18. Абсолютті қара дененің температурасы $T_1=2900\text{K}$. Дене суыған кезде энергетикалық жарқырауының максимум спектралдық тығыздығына келетін толқын ұзындығы $\Delta\lambda=9\text{мкм}$ -ге өзгерді. Дене қандай T_2 температураға дейін суыды?

18.19.* Дене энергияны жұтудан гөрі 10 есе көп шығаратын кездегі оның температурасын анықтаңдар. Қоршаған ортаның температурасы $t_0=23^\circ\text{C}$.

18.20.* Рубин лазері ұзақтығы $\tau = 0,5\text{ мс}$ импульсте параллель жарық шоғы түрінде $E = 10\text{ Дж}$ энергия шығарады. Лазердің толқын ұзындығы $\lambda = 6943\text{Å}$, ал сәуле сызығының ені $\Delta\lambda=0,01\text{Å}$. Шыққан сәуленің спектралдық тығыздығы бойынша лазер сәулесіндегі $T_{\text{эфф}}$ эффективті температураны анықтаңдар.

18.21.* Куб формалы қара жұқақабырғалы металлдан жасалған ыдысқа 50°C -ға дейін қыздырылған 1 кг су құйылған. Су ыдыстың барлық көлемін толтырады. Ыдыс қабырғасының температурасы 0°C -да ұсталып тұратын қара қуыста орналастырылған. Ыдыстың 10°C -ға дейін сууы үшін қанша t уақыт кетеді?

18.22.* Температурасы T қара дененің V көлемдегі сәуле шығаруының энтропиясы мен жылу сыйымдылығын табыңдар.

18.23.* Абсолют қара дененің $\varepsilon_{\nu,T}$ сәуле шығару қабілеттілігі мен энергиясының $u_{\nu,T}$ көлемдік спектралдық тығыздығы бір-бірімен $\varepsilon_{\nu,T} = 0,25c \cdot u_{\nu,T}$ формуласы арқылы өзара байланыста болатынын көрсетіндер.

18.24.* Планк формуласынан Рэлей-Джинс және Винн қатынастарын қорытып шығарыңдар.

VI ТАРАУ

АТОМ ЖӘНЕ АТОМ ЯДРОСЫНЫҢ ФИЗИКАСЫ

§ 19. Жарықтың кванттық табиғаты және бөлшектердің толқындық қасиеттері

Жарық квантының (фотонның) энергиясы мына формуламен анықталады:

$$\varepsilon = h\nu,$$

мұндағы: $h = 6,626176 \cdot 10^{-34}$ Дж·с — Планк тұрақтысы, ν [Гц] — тербеліс жиілігі.

Фотонның импульсі мен массасы:

$$p = \frac{h\nu}{c}, \quad m = \frac{h\nu}{c^2},$$

мұндағы: $c = 2,99792458 \cdot 10^8$ м/с — бостықтағы жарықтың жылдамдығы.

Сыртқы фотоэффектті туғызатын фотонның энергиясы мен металдан ұшып шыққан электронның ең үлкен кинетикалық энергиясының арасындағы байланыс Эйнштейн формуласы арқылы беріледі:

$$h\nu = A + \frac{mv^2}{2},$$

мұндағы: A — электронның металдан шығу жұмысы, m — электронның массасы. Егер $\nu = 0$ болса, онда $h\nu_0 = A$, мұндағы ν_0 — фотоэффектінің қызыл шекарасына сәйкес келетін жиілік.

Жарық қысымының шамасы:

$$P = \frac{E}{c} (1 + \rho),$$

мұндағы: E — бірлік уақыт ішінде бірлік бетке түсетін энергияның мөлшері, ρ — жарықтың шағылу коэффициенті.

Комптондық шашырау кезінде рентген сәулелерінің толқын ұзындықтарының өзгерісі мына формуламен анықталады:

$$\Delta\lambda = \frac{h}{mc} (1 - \cos \varphi),$$

мұндағы: φ — шашырау бұрышы, m — электронның массасы.

Элементар бөлшектер шоғының қасиеті, осы бөлшектердің орынауыстыру бағытымен тарайтын жазық толқынның қасиетіндей болады. Бөлшектер шоғына сәйкес келетін λ толқын ұзындығы Бройль қатынасымен анықталады:

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{\sqrt{2Wm}},$$

мұндағы: v — бөлшектің жылдамдығы, m — бөлшектің массасы, ал W — олардың кинетикалық энергиясы. Егер бөлшектің v жылдамдығы c жарық жылдамдығымен шендес болса, онда алдыңғы формула мына түрге келеді:

$$\lambda = \frac{h}{m_0 v} \sqrt{1 - \beta^2} = \frac{h}{\sqrt{2Wm_0 + W^2/c^2}},$$

мұндағы: $\beta = v/c$, m_0 — бөлшектің тыныштықтағы массасы.

19.1. а) Жарықтың қызыл сәулелері ($\lambda = 700$ нм); б) рентген сәулелері ($\lambda = 25$ пм) және в) гамма-сәулелері ($\lambda = 1,24$ пм); фотондарының m массасын табыңдар.

19.2.* Тұрақтысы $d = 3$ мкм дифракциялық тор монохроматты жарық ағынының жолына көлденең қойылған. Сонда екі көршілес максимумға сәйкес келетін дифракция бұрыштары $\varphi_1 = 23^\circ 35''$ және $\varphi_2 = 36^\circ 52''$ -қа тең болады. Осы жарық ағыны фотондарының энергиясын есептеңдер.

19.3. Сынап доғасының қуаты $N=125$ Вт. Сәуле шығарудың λ толқын ұзындықтары: 612,3; 579,1; 546,1; 404,7; 365,5 және 253,7 нм болатын сәулелердегі уақыт бірлігінде шыққан фотондардың саны қанша болады? Осы сызықтардың қарқындылығы сынап доғасының мынадай қарқындылығына сәйкес келеді: 2%, 4%, 4%, 2,9%, 2,5% және 4%. Қуаттың 80%-ын сәуле шығаруға кетеді деп есептеңдер.

19.4.* Фотосинтезде жарықтың әрекетінен $\text{CO}_2 \rightarrow \text{CO} + \text{O}_2$ реакциясы өтеді. Осы реакция үшін $\lambda = 670$ нм 9 фотон қажет деп есептеледі. Кері реакция кезінде CO_2 -нің бір молекуласы түзілгенде 4,9 эВ энергия бөлінетін болса, синтездің п.э.коэффициенті қандай болады?

19.5. Электронның импульсі толқын ұзындығы $\lambda = 520$ нм фотонның импульсіне тең болу үшін ол қандай v жылдамдықпен қозғалуға тиіс?

19.6. Фотонның массасы электронның тыныштықтағы массасына тең болу үшін оның энергиясы ε қандай болу керек?

19.7. Фотондардың монохромат шоғының $S = 2$ см² аудан арқылы $t = 0,5$ мин ішінде тасымалдайтын импульсі $p = 3 \cdot 10^{-9}$ кг·м/сек. Осы фотондар шоғы үшін ауданның бірлігіне уақыт бірлігі ішіндегі түсетін энергияны табыңдар.

19.8.* $T = 300$ К температурадағы гелий атомының $|\vec{p}|$ орташа импульсінің абсолют мәніне қосынды импульсі тең болатын толқын ұзындығы $\lambda = 0,6$ мкм фотондардың параллель шоқтағы саны қанша?

19.9. Рентген және гамма-сәулелерінің экспозициялық дозаларын өлшеу үшін рентген бірлігін қолдану шарттарын жоғары энергияларда жүзеге асыру қиындыққа соғады; сондықтан рентгенді доза бірлігі ретінде $\varepsilon = 3$ Мэв-қа дейінгі сәуле шығаруда ғана қолдануға жол беріледі. Рентгендік сәуле шығарудың қандай шекті толқын ұзындығына дейін рентген бірлігін пайдалануға болатындығын табыңдар.

19.10.* Қуаты 100 Вт электр шамы көзге көрінетін жарық ретінде (толқынның орташа ұзындығы 550 нм) тұтынған энергиясының 3%-ын барлық бағытта бірқалыпты шығарады. Шамнан 10 км қашықтықтағы бақылаушының көзіне (қарашығының диаметрі 4,0 мм) 1 с ішінде қанша көрінетін жарық фотондары түседі?

19.11. А.Г. Столетовтың «Актино-электрлік зерттеу» (1888 ж.) деген еңбегінде тұңғыш рет фотоэффектінің негізгі заңдары анықталынды. Оның тәжірибелерінен алынған нәтижелерінің бірінде мынадай анықтама берілген: «Толқын ұзындықтары 295 нм-ден кіші сынғыштығы ең жоғары сәулелер разрядтаушы әрекет жасайды». А.Г. Столетов жұмыста пайдаланған металдан электронның шығу жұмысын анықтаңдар.

19.12. Литий, натрий, калий және цезий үшін λ_0 фотоэффектінің қызыл шекарасын табыңдар.

19.13. Кейбір металл үшін фотоэффектінің қызыл шекарасы $\lambda_0 = 2750$ нм. Фотоэффекті туғызатын фотон энергиясының еі кіші шамасы ε неге тең?

19.14.* Толқын ұзындығы $\lambda = 342$ Å квант литий металының таза бетінен фотоэлектронды жұлып шығарды. Шыққан электрон кернеулігі $H = 1,2 \cdot 10^3$ А/м магнит өрісінде радиусы $R = 1,2$ см шеңбер бойымен айналады. Осы электронды литий атомынан босатып алуға жұмсалған энергияны анықтаңдар.

19.15.* 30 кВ кернеуде үдетілген электрондардың теледидар кинескопының экранымен соқтығысқанда шығарылатын рентген сәулесінің ең кіші толқын ұзындығы неге тең?

19.16. Калийге толқын ұзындығы $\lambda = 330$ нм жарық түсіргенде жұлынған электрондар үшін U кідірткіш потенциалдар айырымын табыңдар.

19.17. Платина бетінен фотоэффект кезінде электрондар $U = 0,8$ В потенциалдар айырымында толығынан кідіреді. Қолданылған сәуленің λ толқын ұзындығын және фотоэффекті туғыза алатын толқынның шекті λ_0 ұзындығын табыңдар.

19.18. Энергиясы $\varepsilon = 4,9$ эВ фотондар шығу жұмысы $A = 4,5$ эВ металдан электрондарды жұлып шығарады. Әрбір электронның металдың бетіне беретін ең үлкен p_{\max} импульсін табыңдар.

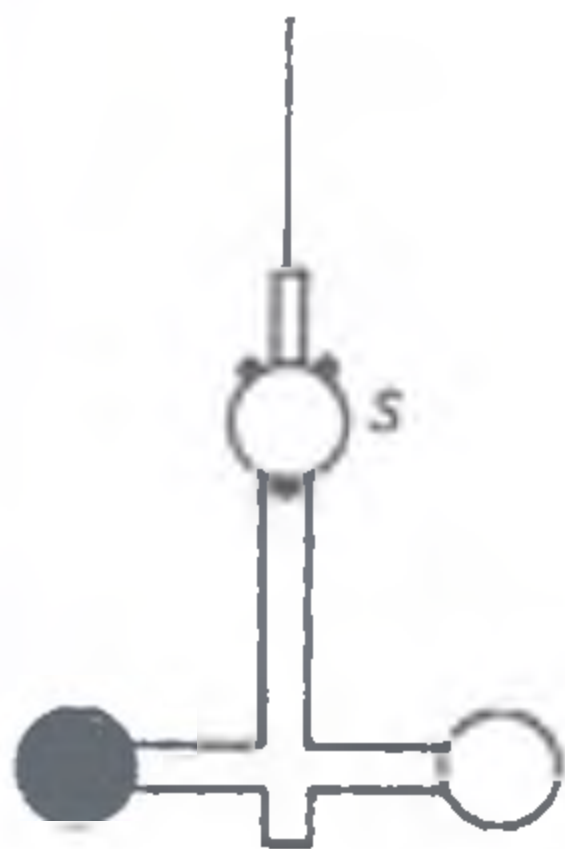
19.19. Жиілігі $\nu_1 = 2,2 \cdot 10^{15}$ Гц жарықпен металдан жұлынатын электрондар толығымен $U_1 = 6,6$ В потенциалдар айырымында, ал жиілігі $\nu_2 = 4,6 \cdot 10^{15}$ Гц жарықпен жұлынатын электрондар $U_2 = 16,5$ В потенциалдар айырымында толық кідіріледі деп алып, h Планк тұрақтысын табыңдар.

19.20. Вакуумдық фотоэлемент орталық катодтан (вольфрамнан жасалған шарик) және анодтан (колбаның ішкі күмістелген беті) тұрады. Электродтардың арасындағы $U_0 = 0,6$ В контактілік потенциалдар айырымы ұшып шығатын электрондарды үдетеді. Фотоэлемент толқын ұзындығы $\lambda = 230$ нм жарықпен жарықталады. Фототок нольге дейін түсу үшін электродтардың арасына қандай U кідірткіш потенциалдар айырымын беру керек? Егер катод пен анодтың арасына сырттан потенциалдар айырымы берілмесе, онда анодқа жеткен электрондардың алатын v жылдамдығы қандай болады?

19.21. Алдыңғы есептегі фотоэлементтің электродтарының арасына $U = 1$ В кідірткіш потенциалдар айырымы түсірілген. Катодқа түсетін жарықтың толқын ұзындығының қандай λ_0 шекті мәнінде фотоэффект құбылысы басталады?

19.22. 130-суретте П.Н. Лебедевтің жарық қысымын өлшеу тәжірибесінде қолданған аспабының бір бөлігі көрсетілген. Жіңішке жіпке ілінген пыны крестовина ауасы сорып алынған ыдысқа орналастырылған, оның ұштарында платина фольгасынан жасалған екі жеңіл дөңгелек бар. Дөңгелектің біреуін қарайтып бояп, ал екіншісін жалтыр күйінде қалдырған. Дөңгелектің біреуіне жарық түсіре отырып және жіптің қандай бұрышқа бұрылғанын өлшеп (айналық санақ үшін S айнасы қолданылады) жарық қысымын табуға болады. Доға шамы-нан уақыт бірлігінде дөңгелек беттерінің бірлік ауданына түсетін энергиясын және жарық қысымының P шамасын табындар. Жалтыр дөңгелекті жарықтандырғанда айнадан $b = 1200$ мм жерде тұрған шкаланың бойындағы жарық ебелегінің бұрылуы $a = 76$ мм. Дөңгелектің диаметрі $d = 5$ мм. Дөңгелектің центрінен айналу осіне дейінгі ара қашықтық $l = 9,2$ мм. Жалтыр дөңгелектен жарықтың шығылу коэффициенті $\rho = 0,5$. Жіптің бұрылу моментінің ($M = k\alpha$) тұрақтысы $k = 2,2 \cdot 10^{-11}$ Н·м/рад.

19.23.* Жер бетін абсолют кара деп есептеп, Күн сәулесі жарығының оған түсіретін F_1 қысым күшін табындар. Осы күштің Күннің F_2 гравитациялық тарту күшіне қатынасын табындар. Күннің жарқырауы $2 \cdot 10^{26}$ Дж/м²·с. Қалған керекті астрономиялық шамалардың мәні XII қосымшада берілген.



130-сурет

19.24. П. Н. Лебедевтің жасаған тәжірибелерінің бірінде дөңгелекке түскен монохромат жарықтың ($\lambda = 560$ нм) қуаты $N = 8,33$ В болды. Бірлік уақыт ішінде дөңгелек бетінің бірлік ауданына түсетін I фотондар санын және оған берілген $F\Delta t$ күш импульсін мына шағылу коэффициенттері үшін табыңдар: а) $\rho = 0$, б) $\rho = 0,5$ және в) $\rho = 1$. Аспаптың қажетті шамаларын 19.22 есептен алыңдар.

19.25.* Қарқындылығы $I = 0,5$ Вт/см² параллель жарық ағыны жазық беттен айналық шағылғанда, оған түсетін нормаль (тік) қысымын табыңдар. Осы беттің шағылдыру коэффициенті $\rho = 0,6$, жарық бағыты мен жазыққа нормальдің арасындағы бұрыш $\theta = 30^\circ$.

19.26. 100 ваттық электр шамының өз қабырғасына түсіретін P жарық қысымын табыңдар. Шамның сфералық колбасының радиусы $r = 5$ см. Қабырға түскен жарықтың 4%-ын шағылдырады да, 6%-ын өткізіп жібереді. Барлық пайдаланатын қуат сәуле шығаруға кетеді деп есептеңдер.

19.27. Ауданы $S = 100$ см² бетке уақыт бірлігінде $E = 1,05$ Дж/с жарық энергиясы түседі. Берілген бет: а) барлық сәулені түгел шағылдыратын және б) оған түскен сәулелерді толық жұтып алатын жағдайлар үшін P жарық қысымының шамасын табыңдар.

19.28. Монохромат сәуле шоғы ($\lambda = 490$ нм) бетке нормаль түседі де, оған $P = 4,9$ мкПа қысым жасайды. Осы беттің бірлік ауданына уақыт бірлігінде қанша I жарық фотоны түседі? Жарықтың шағылу коэффициенті $\rho = 0,25$.

19.29. Толқын ұзындығы $\lambda = 70,8$ пм рентген сәулесі парафинде комптондық шашырайды. а) $\varphi = \pi/2$ және б) $\varphi = \pi$ бағыттарда шашыратылған рентген сәулелерінің λ толқын ұзындығын табыңдар.

19.30. Егер рентген сәулесі графитте $\varphi = 60^\circ$ бұрышпен комптондық шашыраса және шашыраған сәуленің толқын ұзындығы $\lambda = 25,4$ пм болса, онда рентген сәулесінің λ_0 толқын ұзындығы қандай болғаны?

19.31. Толқын ұзындығы $\lambda_0 = 20$ пм рентген сәулелері $\varphi = 90^\circ$ бұрышпен комптондық шашырауға душар болады. Шашырау кезіндегі рентген сәулелерінің $\Delta\lambda$ толқын ұзындығының

өзгерісін, серпімді электронның W_e энергиясын және импульсін табыңдар.

19.32. Комптон шашырауы кезінде түскен фотонның энергиясы шашыраған фотон мен серпімді электронның араларында бірдей бөлінеді. Шашырау бұрышы $\varphi = \pi/2$. Шашыраған фотонның W энергиясы мен p импульсін табыңдар.

19.33. Рентген сәулелерінің энергиясы $\varepsilon = 0,6$ МэВ. Рентген сәулелерінің комптондық шашыраудан кейінгі толқын ұзындығы 20%-ға өзгерді деп, серпімді электронның W_e энергиясын табыңдар.

19.34. $U_1 = 1$ В және $U_2 = 100$ В потенциалдар айырымынан өткен электрон үшін де-Бройль толқынының ұзындығын табыңдар.

19.35. Толқын ұзындықтары де-Бройль толқындармен бірдей болатын электрон мен протонның кинетикалық энергияларының қатынасын есептендер. Олардың жылдамдықтары жарық жылдамдығына қарағанда өте аз.

19.36. Де-Бройль толқынының λ ұзындығын мыналар үшін табыңдар: а) жылдамдығы $v = 10^6$ м/с электрон; б) $T = 300^\circ$ температурада орташа квадраттық жылдамдықпен қозғалатын сутек атомы; в) $v = 1$ см/сек жылдамдықпен қозғалатын массасы $m = 1$ г шарик.

19.37. Кинетикалық энергиясы: а) $W_1 = 10$ кэВ және б) $W_2 = 1$ МэВ электрон үшін де-Бройль толқынының λ ұзындығын табыңдар.

19.38. $U = 200$ В потенциалдар айырымында үдетілген зарядталған бөлшек де-Бройль толқынының $\lambda = 2,02$ пм-ге тең ұзындығын иеленеді. Оның заряды электронның зарядына тең болады деп алып, осы бөлшектің m массасын табыңдар.

19.39. Электронның v жылдамдықтары үшін: $2 \cdot 10^8$; $2,2 \cdot 10^8$; $2,4 \cdot 10^8$; $2,6 \cdot 10^8$; $2,8 \cdot 10^8$ м/с де-Бройль толқын ұзындықтары мәндерінің кестесін жасаңдар.

19.40. α -бөлшек радиусы $r = 0,83$ см шеңбер бойымен біртекті магнит өрісінде қозғалады. Өрістің кернеулігі $H = 18,9$ кА/м. Осы α -бөлшек үшін де-Бройль толқынының λ ұзындығын табыңдар.

19.41. $T = 293$ К температурада неғұрлым ықтимал жылдамдықпен қозғалатын сутек атомы үшін де-Бройль толқынының ұзындығын табыңдар.

§ 20. Бор атомы. Рентген сәулелері

Бордың бірінші постулаты бойынша электрон ядро айналасында радиустары мына қатынасты қанағаттандыратын белгілі бір орбиталар бойында ғана қозғала алады:

$$mv_k r_k = k \frac{h}{2\pi},$$

мұндағы: m — электронның массасы, v_k — оның k -інші орбитадағы жылдамдығы, r_k — осы орбитаның радиусы, h — Планк тұрақтысы, k — кез келген бүтін сан (кванттық сан).

Бордың екінші постулаты бойынша электронның бір орбитадан екінші орбитаға ауысуына сәйкес келетін сәуле шығарудың жиілігі мына формуламен анықталады:

$$h\nu = W_n - W_k$$

мұндағы: k мен n — орбиталардың нөмірі ($n > k$), W_k және W_n — оларға сәйкес келетін электрон энергиясының мәндері.

Сутек спектрінің сызығына сәйкес келетін ν жиілікті немесе λ толқын ұзындығын табуға мүмкіндік беретін формула мына түрде беріледі:

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = R c \left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right),$$

мұндағы: k мен n — орбитаның нөмірі, c — бостықтағы жарықтың жылдамдығы, сондай-ақ

$$R = \frac{e^4 m}{8 \varepsilon_0^2 h^3 c} = 1,097373177 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$$

Ридбергтің тұрақтысы, мұндағы: e — электронның заряды, m — оның массасы, h — Планк тұрақтысы және ε_0 — электрлік тұрақты.

Сутекке ұқсас иондар үшін ν жиілікті немесе λ толқын ұзындығын табуға мүмкіндік беретін формула:

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = RcZ^2 \left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right),$$

мұндағы Z — элементтің Менделеев кестесіндегі реттік нөмірі.

Рентген сәулелерінің дифракциясы Вульф-Бреггтің теңдеуімен сипатталады:

$$2d \sin \varphi = m\lambda \quad (m = 0, 1, 2, \dots),$$

мұндағы: d — кристалдық тордың тұрақтысы (кристалдың атомдық жазықтықтарының арақашықтығы), φ — кристалдың беті мен рентген сәулелерінің шоғы арасындағы бұрыш.

Тұтас рентген спектрінің қысқа толқынды шекарасына сәйкес келетін ν_0 жиілік мына қатынастан табылуы мүмкін:

$$h\nu_0 = eU$$

мұндағы U — рентген түтігіне берілген потенциалдар айырымы.

Рентгендік сипаттамалық сәулелердің толқын ұзындығын Мозли формуласы арқылы табуға болады:

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = Rc(Z - b)^2 \left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right),$$

мұндағы: Z — антикатод жасалынған элементтің реттік нөмірі, b — экрандау тұрақтысы. Кейінгі формуланы мына түрде де жазуға болады:

$$\sqrt{\nu} = a(Z - b),$$

мұндағы

$$a = \sqrt{Rc \left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right)}.$$

Қалыңдығы x пластинкадан өткен рентген сәулелер шоғының қарқындылығы мына формуламен аныкталады:

$$I = I_0 e^{-\mu x},$$

мұндағы: I_0 — пластинкаға түсетін сәулелер шоғының қарқындылығы, μ [м⁻¹] — жұтылудың сызықтық коэффициенті. Жұтылу коэффициенті μ рентген сәулелерінің толқын ұзындығы мен заттың тығыздығына тәуелді болады. Жұтылудың μ_m массалық коэффициенті μ сызықтық коэффициентпен μ_m [м²/кг] $= \mu/\rho$

қатынасы арқылы байланысады, мұндағы ρ — материалдың тығыздығы.

Рентген сәулелерінің әртүрлі заттармен жұтылуын «жартылай әлсіреу қабаты» деп аталатын, яғни түсетін сәулелердің қарқындылығын екі есе кішірейтетін $x_{1/2}$ пластинка қалыңдығымен сипаттауға болады.

20.1. Сутек атомындағы үш алғашқы борлық электрондық орбиталардың r_k радиустарын және олардың бойындағы электронның v_k жылдамдықтарын табыңдар.

20.2. Бірінші борлық орбитадағы электронның W_k кинетикалық, W_n потенциалдардық және W толық энергиясын табыңдар.

20.3. Сутек атомының n -ші орбитасында тұрған электронның кинетикалық энергиясын $n = 1, 2, 3$ және ∞ үшін табыңдар.

20.4* Сутек атомының бірінші борлық орбитасындағы электронның бұрыштық жылдамдығын анықтаңдар.

20.5. Спектрдің көрінетін облысындағы сутектің спектрлік сызықтарының ең кіші λ_{\min} және ең үлкен λ_{\max} толқын ұзындықтарын табыңдар.

20.6. Сутек спектрінің ультракүлгін аймағындағы ең үлкен λ_{\max} толқын ұзындығын табыңдар. Электрондардың соққылауы арқылы сутек атомын қоздырғанда осы айтылған сызық пайда болу үшін электронның ең кіші v_{\min} жылдамдығы қандай болу керек?

20.7. Сутек атомын ионизациялайтын U_i потенциалдарды анықтаңдар.

20.8. Сутек атомын қоздыратын U_1 бірінші потенциалды анықтаңдар.

20.9. Электрондардың соққылауымен сутек атомын қоздырғанда сутек спектрінің барлық серияларындағы барлық сызықтар пайда болу үшін электрондардың (электрон вольт есебімен) ең кіші энергиясы W_{\min} қандай болу керек? Осы электрондардың ең кіші жылдамдығы v_{\min} қандай болады?

20.10. Электрондардың соққылауымен сутек атомын қоздырғанда сутек спектрінде тек бір ғана спектрлік сызық болу

үшін, атқылайтын электрондардың энергиясы қандай шекте жату керек?

20.11.* Әлдебір монохромат жарықпен қоздырылған сутек атомы үш спектрлік сызықта сәуле шығарады. Атомдары қоздырылатын энергетикалық деңгейдің кванттық санын және шығарылатын сызықтардың толқын ұзындықтарын анықтаңдар.

20.12. Монохромат жарықтың квантымен сутек атомын қоздырғанда үш спектрлік сызық пайда болу үшін осы жарықтың λ толқын ұзындығы қандай шекте жату керек?

20.13. Толқын ұзындығы $\lambda=486$ нм фотон шығару кезінде сутек атомындағы электронның кинетикалық энергиясы каншалық өзгертін болады?

20.14. Монохромат жарықтың квантымен сутек атомын қоздырғанда электронның r_k орбитасының радиусы 9 есе өсу үшін осы жарықтың λ толқын ұзындығы қандай шекте жату керек?

20.15. Атомарлық сутекпен толтырылған разрядты түтікшеден шыққан жарық шоғы дифракциялық торға тік түседі. Тор тұрақтысы $d = 5$ мкм. Осы тордың жәрдемімен бесінші ретті спектрде $\varphi=41^\circ$ бұрышпен байқалатын спектр сызығы электронның қандай ауысуына сәйкес келеді?

20.16. Сутек атомындағы бірінші бор орбитасымен қозғалатын электрон үшін де-Бройль λ толқынының ұзындығын табыңдар.

20.17. Бір рет ионданған гелий үшін бірінші бор электрондық орбитасының r_1 радиусын және сол орбитадағы электронның v_1 жылдамдығын табыңдар.

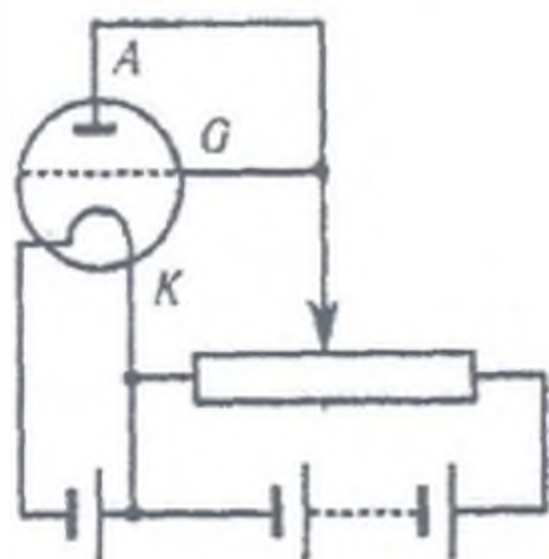
20.18. Мыналарды: а) бір рет иондалған гелийдің және б) екі рет ионданған литийдің U_1 бірінші қоздыру потенциалын табыңдар.

20.19. Мыналарды: а) бір рет иондалған гелийдің және б) екі рет ионданған литийдің иондану U_i потенциалдарын табыңдар.

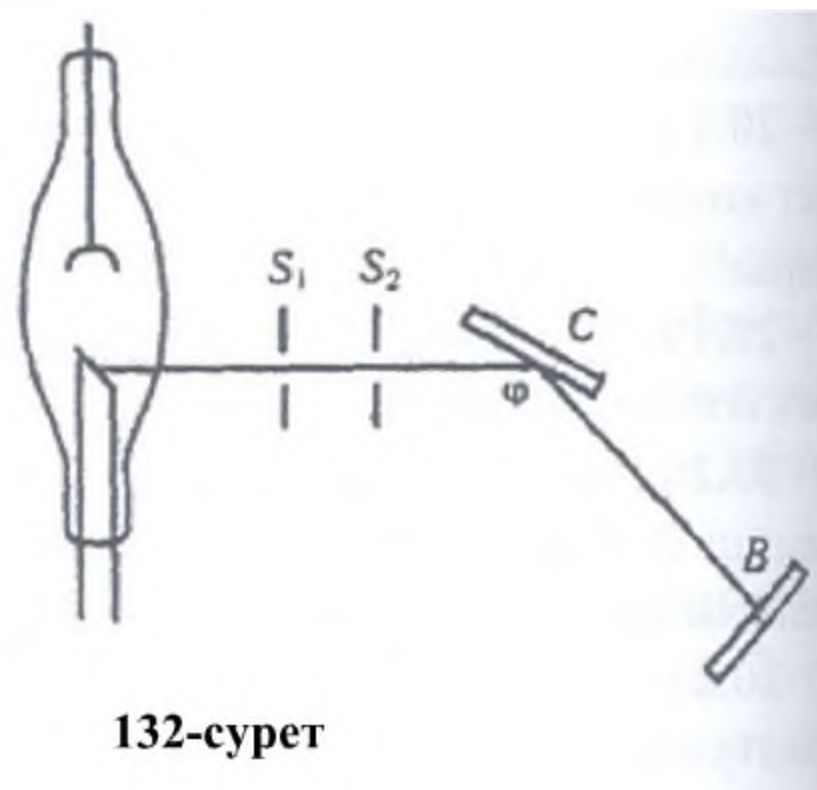
20.20. Бір рет иондалған гелий атомындағы электронның екінші бор орбитасынан біріншісіне өткенде туындайтын фотонның λ толқын ұзындығын табыңдар.

20.21.* Сутек атомнының " n "-орбитасында қозғалатын электрон-ның магниттік моментін анықтандар. Магниттік моменттің механикалық моментке қатынасының барлық орбита үшін тұрақты болатынын көрсетіндер.

20.22. Натрийдің D -сызығы атомның бір орбитасынан екінші орбитасына электронның өтуі нәтижесінде атом энергиясының $\Delta W = 3,37 \cdot 10^{19}$ Дж-ға кеміген кезінде болады. Натрийдің D -сызығының λ толқын ұзындығын табындар.



131-сурет



132-сурет

20.23. 131-суретте натрийдің резонанстық потенциалдарын анықтауға арналған аспаптың сұлбасы көрсетілген. Түтіктің ішінде натрийдің буы бар. G және A электродтарының потенциалдары бірдей. Катод K мен G сетканың арасындағы үдетуші потенциалдар айырымының қандай кіші мәнінде толқын ұзындығы $\lambda = 589$ нм болатын спектрлік сызық байқалады?

20.24. Электрон $U = 4,9$ В потенциалдар айырымынан өткеннен кейін сынап атомымен соғылысады да, оны бірінші қоздыру күйіне келтіреді. Сынап атомының қалыпты күйіне өтуіне сәйкес келетін фотонның толқын ұзындығы қандай болады?

20.25. 132-суретте рентген сәулелерінің дифракциясын бақылауға арналған қондырғы көрсетілген. C кристалын айналдырғанда B фотографиялық пластинкаға қарай толқын ұзындықтары Вульф-Брегг теңдеуін қанағаттандыратын сәулелер ғана шағылады. Кристалл жазықтығы мен рентген сәулелер шоғының арасындағы қандай ең кіші φ бұрышта толқын ұзындығы λ

= 20 пм болатын рентген сәулелері шағылған? Кристалл торының тұрақтысы $d = 303$ пм.

20.26. Тас тұзының бір молярлық массасын ($\mu = 0,058$ кг/моль) және тығыздығын ($\rho = 2,2 \cdot 10^3$ кг/м³) біле отырып, оның d тор тұрақтысын табыңдар. Тас тұзының кристалдық құрылымы карапайым куб болып табылады.

20.27. Планк тұрақтысын рентген сәулелерінің көмегімен эксперимент арқылы анықтағанда кристалды φ бұрыш жасайтындай етіп орналастырады (132-сурет), ал рентген түтігіндегі электродтарға берілетін U потенциалдар айырымын осы бұрышқа сәйкес келетін сызық пайда болғанға дейін өсіріп отырады. Мына мәліметтер бойынша h Планк тұрақтысын анықтаңдар: тас тұзының кристалы $\varphi = 14^\circ$ бұрыш жасай орналастырылған; осы бұрышқа сәйкес келетін сызық алғаш пайда болғандағы потенциалдар айырымы $U = 9,1$ кВ; кристал торының тұрақтысы $d = 281$ пм.

20.28.* Кристалдың атомдық жазықтықтары бір-бірінен 210 пм аралықта орналасқан. Егер бірінші реттік шағылу 45° бұрышта бақыланатын болса, кристалға түсетін рентген сәулелерінің толқын ұзындықтары неге тең болады?

20.29.* Толқын ұзындығы λ монохроматты рентген сәулелерінің жазық шоғы N шашырату центрлерінен тұратын периоды a сызықтық тізбектен шашырағанда пайда болатын дифракциялық максимумдардың бұрыштық енін анықтаңдар.

20.30. Рентген түтігіне берілетін кернеуді $\Delta U = 23$ кВ-қа кеміткенде ізелінетін λ толқын ұзындығы 2 есе өседі деп алып, үздіксіз рентген спектрінің қысқа толқындық шекарасын анықтайтын толқын ұзындығын табыңдар.

20.31. Радийдің гамма-сәулелерінің толқын ұзындығы $\lambda = 1,6$ пм. Осындай толқын ұзындығын рентген түтігінде алу үшін, оған қандай U потенциалдар айырымын қосу керек?

20.32. Егер антикатодтың материалы етіп: а) мыс, б) күміс, в) вольфрам және г) платиналарды алатын болсақ, онда K -серияның барлық сызықтарын алу үшін рентген түтігіне берілетін ең кіші U потенциалдар айырымы қандай болады?

20.33. Сипаттамалық рентгендік сәулелердің λ толқын ұзындығы мен антикатод элементтерінің Z рет сандарының

араларындағы байланысты Мозли формуласы жеткілікті дәрежедегі нақтылықпен береді деп алып, антикатодтары: а) темірден, б) мыстан, в) молибденнен, г) күмістен, д) танталдан, е) вольфрамнан және ж) платиналардан жасалынған түтіктің беретін рентген сәулелерінің K -сериясының ең үлкен λ толқын ұзындығын табындар. K -серияның экрандау тұрақтысы $b=1$.

20.34. Вольфрам атомындағы электронның M -ші қабаттан L -ші қабатқа өткенде шығатын сәуленің толқын ұзындығы $\lambda = 143$ нм деп алып, рентген сәулелерінің L -сериясының b экрандау тұрақтысын табындар.

20.35. Атомдағы электрон L -ші қабаттан K -ші қабатқа өткенде толқын ұзындығы $\lambda=78,8$ пм рентген сәулесі шығады. Бұл қандай атом? K -серия үшін экрандау тұрақтысы $b=1$.

20.36. Көлемі V ауаға рентген сәулесі түсіріледі. Сәуленің экспозициялық дозасы $D_3 = 4,5$ Р. Осы сәулемен берілген көлемдегі атомдардың қандай үлесі иондалады?

20.37. Рентген түтігінің белгілі бір қашықтықта жасаған экспозициялық дозасының қуаты $P_3 = 2,58 \cdot 10^{-5}$ А/кг. Берілген қашықтықтағы бір грамм ауада осы түтіктің бір секундта жасайтын қос иондарының саны қанша?

20.38. Көлемі $V = 6$ см³ иондаушы камерада қалыпты жағдайда тұрған ауаға рентген сәулесі түсірілген. Рентген сәулелерінің экспозициялық дозасының қуаты $P_3 = 0,48$ мР/см². Қанықтырғыш иондаушы I_K тоқты табындар.

20.39. Кейбір толқын ұзындықтағы рентген сәулелері үшін алюминийдің жартылай әлсіреу қабатының $x_{1/2}$ қалыңдығын табындар. Осы толқын ұзындығы үшін алюминийдің массалық жұту коэффициенті $\mu_m=5,3$ м²/кг.

20.40.* Графит қабатының қалыңдығын 0,5 см-ге ұлғайтқанда өткен рентген сәулелерінің қарқындылығы 3 есе азаяды. Осы түсірілген сәуле үшін графиттің әлсіреу сызықтық коэффициентін анықтаңдар.

20.41. Қалыңдығы $d=0,15$ мм темір қабатынан толқын ұзындығы $\lambda = 20$ пм рентген сәулелері өткенде оның қарқындылығы неше есе кемитін болады? Осы толқын ұзындығы үшін темірдің массалық жұту коэффициенті $\mu_m=5,3$ м²/кг.

20.42. Төмендегі кестеде кейбір материалдар үшін энергиялары $W = 1$ МэВ рентген сәулелерінің жартылай әлсіреу қабатының $x_{1/2}$ қалыңдықтарының мәндері келтірілген. Рентген сәулелерінің осы энергиясы үшін берілген материалдардың сызықтық және массалық жұту коэффициентін табындар. Бұл мәліметтер рентген сәулелерінің қандай λ толқын ұзындықтары үшін алынған?

Материал	Cy	Алюминий	Темір	Қорғасын
$x_{1/2}$	10,2	4,5	1,56	0,87

20.43. Рентген сәулелерінің қарқындылығын 80 есе азайту үшін жартылай әлсіреу қабатының саны қанша болады?

§ 21. Радиоактивтік

Радиоактивтік заттың dt уақыт ішінде ыдырайтын атомдарының саны сол заттың dN атомдарының санына пропорционал болады да, төмендегі катынаспен анықталады:

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N,$$

мұндағы λ — радиоактивтік ыдырау тұрақтысы. Интегралдап мынаны аламыз:

$$N = N_0 e^{-\lambda t},$$

мұндағы: N_0 — уақыт $t = 0$ кезіндегі атомдар саны, N — олардың t уақыт өткеннен кейінгі саны.

Уақыт бірлігінде препаратта орын тебетін ыдыраулардың саны радиоактивті препараттың активтілігі ($1 \text{ Бк} = 1 \text{ ыд/с}$) деп аталады:

$$a[\text{Бк}] = \frac{dN}{dt} = -\lambda N.$$

Жартылай ыдырау периоды $T_{1/2}$ мен ыдырау тұрақтысы λ мына қатынас арқылы байланысады:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}.$$

Ыдырау тұрақтысына кері $\tau = 1/\lambda$ шамасын радиоактивті атомның өмір сүруінің орташа уақыты деп атайды.

Егер радиоактивті A изотоптың белгілі бір мөлшерін жабық ыдыстың ішіне ұстасақ және оның ыдырауы кезінде радиоактивті B изотопы пайда болса, онда осы ыдыстың ішінде t уақыт өткеннен кейін B заттың ядроларының саны мына формуламен анықталады:

$$N_B = N_{0A} \frac{\lambda_A}{\lambda_B - \lambda_A} (e^{-\lambda_A t} - e^{-\lambda_B t}),$$

мұндағы: N_{0A} — уақыт $t = 0$ кезіндегі A изотоптағы ядролардың саны, λ_A мен λ_B — A және B изотоптарының сәйкес ыдырау тұрақтылары. Егер A изотоптың жартылай ыдырау периоды B изотоптың жартылай ыдырау периодынан айтарлықтай үлкен болса, онда кейінгі формула мына түрде жазылады:

$$N_B = N_{0A} \frac{\lambda_A}{\lambda_B} (1 - e^{-\lambda_B t}).$$

Радиоактивтік тепе-теңдік болғанда:

$$N_A / N_B = \lambda_A / \lambda_B.$$

Радиоактивтік изотоптың меншікті активтігі уақыт бірлігінде ыдырайтын заттың бірлік массасына келетін ыдырау актысының санымен анықталады.

21.1. $\Delta t = 1$ тәулік уақытта $N=10^6$ полоний атомдарының қаншасы ыдырайды?

21.2. $\Delta t = 1$ тәулік уақытта $N=10^6$ радон атомдарының қаншасы ыдырайды?

21.3. $m=1$ г радий массасының a активтілігін табыңдар.

21.4. Активтілігі $a=3,7 \cdot 10^{10}$ Бк радонның массасын табыңдар.

21.5. Активтілігі $a=3,7 \cdot 10^{10}$ Бк ${}^{210}_{84}\text{Po}$ полонийдің m массасын табыңдар.

21.6. Егер таллийдің 100 күннен кейін активтілігі 1,07 есе азаятын болса, оның жартылай ыдырауының периоды неге тең?

21.7. Мыналардың: а) $^{235}_{92}\text{U}$ уранның және б) $^{222}_{86}\text{Rn}$ радонның меншікті a_m активтілігін табыңдар.

21.8. Гейгер-Мюллер ионизациялық санауыштары радиоактивті изотопы болмаған уақытта да белгілі бір «фонды» көрсетеді. Фон космостық сәулелер тарапынан немесе радиоактивтік ластанудың салдарынан болуы мүмкін. Радонның қандай m массасына санауыш $t = 5$ сек ішінде бір серпіліс беретін фон сәйкес келеді?

21.9. Ионизациялық санауыштың көмегімен кейбір радиоактивтік изотоптың активтілігі зерттелінеді. Бастапқы кезеңдегі $t = 10$ сек ішінде санауыш 75 серпіліс береді. $T = T_{1/2}$ сек өткеннен кейінгі санауыштың $t=10$ сек ішіндегі серпіліс саны қандай болды? $T_{1/2} \gg 10$ сек деп аламыз.

21.10.* Санау тиімділігі 5% болғанда β -бөлшектерді санау жылдамдығы $1,9 \cdot 10^3$ бөлшек/с болады деп алып, $^{134}_{55}\text{Cs}$ изотопындағы β -радиоактивті ядролардың санын есептеңдер. Жартылай ыдырау периоды 2,3 жыл.

21.11. Табиғи уран $^{234}_{92}\text{U}$, $^{235}_{92}\text{U}$, $^{238}_{92}\text{U}$ үш изотоптың қоспасы болып табылады, $^{234}_{92}\text{U}$ уран өте аз (0,006%), $^{235}_{92}\text{U}$ үлесіне келетіні 0,71%, ал қалған массаны (99,28%) $^{238}_{92}\text{U}$ уранының үлесіне тиеді. Осы изотоптардың жартылай ыдырау периоды $T_{1/2}$ тиісінше $2,5 \cdot 10^5$ жыл, $7,1 \cdot 10^8$ жыл және $4,5 \cdot 10^9$ жылға тең болады. Әрбір изотоптың табиғи уранның жалпы радиоактивтігіне қосатын радиоактивтігінің пайыздық үлесін есептеп шығарыңдар.

21.12. Радиоактивтік ыдырау кезінде радий атомының ядросынан ұшып шығатын α -бөлшектің кинетикалық энергиясы $W_1=4,78$ МэВ. α -бөлшектің v жылдамдығын, α -бөлшегі ұшып шыққанда бөлінген W толық энергиясын табыңдар.

21.13. Активтілігі $a=3,7 \cdot 10^{10}$ Бк радон: а) $t=1$ сағатта және б) τ орташа өмір сүру уақытында ыдырағанда қанша Q жылу бөледі? Радоннан ұшып шығатын α -бөлшектің кинетикалық энергиясы $W = 5,5$ МэВ.

21.14. $m = 1$ г уран өзінің ыдырау өнімдерімен тепе-теңдікте болғанда $P=1,07 \cdot 10^{-7}$ Вт қуат бөліп шығарады. Уран атомдарының τ орташа өмір сүру уақытында бөліп шығаратын Q_μ молярлық жылу мөлшерін табыңдар.

21.15. Бір сағат ішінде $m=1$ г радийдан пайда болған радонның α активтілігін табыңдар.

21.16. $m_0 = 1$ г радий бір жылда ыдырағанда қалыпты жағдайдағы көлемі $V = 43$ мм³ болатын гелий пайда болады. Осы деректер бойынша N_A Авогадро санын табыңдар.

21.17.* Құрамында өзімен тепе-теңдік жағдайда болатын ыдырау өнімдері бар радий препаратының қосынды активтілігін есептеңдер. Радийдің өзінің активтілігі $\alpha=3,7 \cdot 10^{10}$ Бк.

21.18. Радийдің біршама атомдары жабық ыдыстың ішіне орналастырылған. Осы ыдыстағы радонның N атомдарының саны тепе-теңдікте тұрған соншама N' радон атомдарының санынан қанша t уақыт өткеннен кейін 10%-ға ажырайды? $0 \leq t \leq 6T_{1/2}$ аралығындағы N/N' өзгерісінің t уақытқа тәуелділік қисықтығын салыңдар. Уақыт бірлігі етіп радонның $T_{1/2}$ жартылай ыдырау периодын алыңдар.

21.19. Радонның N' біршама атомдары тұйық ыдыстың ішіне орналасқан. $0 \leq t \leq 20$ тәулік аралығында ыдыстың ішіндегі радон атомдары санының N/N' өзгерісінің әрбір 2 тәуліктен кейін t уақытқа тәуелділігінің қисығын салыңдар. Радонның ыдырау тұрақтысы $\lambda = 0,181$ тәулік⁻¹. $N/N'=f(t)$ қисығынан радонның $T_{1/2}$ жартылай ыдырау периодын табыңдар.

21.20. Төмендегі кестеде әлдебір радиоактивті элементтің α активтілігінің t уақытқа байланысты өлшеу нәтижелері келтірілген. Осы элементтің $T_{1/2}$ жартылай ыдырау периодын табыңдар.

t , сағ.	0	3	6	9	12	15
$\alpha=3,7 \cdot 10^7$ Бк	21,6	12,6	7,6	4,2	2,4	1,8

21.21.* Ыдырау тұрақтысы λ_1 болатын B_1 изотопының ядросы радиоактивті ыдыраған кезде ыдырау тұрақтысы λ_2 болатын B_2 изотопы пайда болады. Бастапқыда изотоп құрамында N_0 санына тең B_1 ядролары ғана болды деп есептеп, уақыт ағымына

қарай B_2 изотопының радиоактивтік ядролар санының өзгеру заңын табыңдар.

21.22. Уран кеніндегі қорғасын уран қатарының ең соңғы ыдырау өнімі болғандықтан, кендегі уранның массасының қорғасын массасына қатынасы арқылы кеннің жасын анықтауға болады. Кендегі $m_{\text{ур}} = 1$ кг $^{238}_{92}\text{U}$ уран массасна $m_{\text{к}} = 320$ г $^{206}_{82}\text{Pb}$ қорғасын массасы сәйкес келетіндігі белгілі деп алып, уран кенінің t жасын анықтаңдар.

21.23. Радий мен уранның жартылай ыдырау $T_{1/2}$ периодтарын біле отырып, табиғи уран кеніндегі радийдің бір атомына уранның қанша атомы сәйкес келетіндігін табыңдар.

Н ұ с қ а у. Табиғи уранның радиоактивтігіне негізінен $^{238}_{92}\text{U}$ изотопының активтілігі алынатыны есте болу керек.

21.24. Құрамында 42% таза уран бар кеннің қандай ең аз m массасынан $m_0 = 1$ г радий алуға болады?

21.25. α -бөлшектері радий изотопынан $v = 1,5 \cdot 10^7$ м/сек жылдамдықпен ұшып шығады да, флуоресцияланатын экранға соғылады. Экран жарық күшінің бірлігінде $P_I = 0,25$ Вт/кд қуатты пайдаланады, әрі $m = 1$ мкг радийдан шыққан α -бөлшектердің барлығы да экран бетіне түседі деп есептеп, экранның I жарық күшін табыңдар.

21.26. Радиоактивтік изотоптың алғашқы массасының қандай үлесі осы изотоптың өмір сүру уақытында ыдырайтын болады?

21.27. Массасы $m = 1$ г $^{210}_{84}\text{Po}$ полонийдің a активтігін табыңдар.

21.28. Жасанды алынған радиоактивті стронций $^{90}_{38}\text{Sr}$ изотопының a_m меншікті активтігін табыңдар.

21.29. Массасы $m_1 = 10$ мкг радиоактивті $^{45}_{20}\text{Ca}$ изотобына массасы $m_2 = 30$ мг радиоактивті емес $^{40}_{20}\text{Ca}$ изотобы қосылған. Изотоптың меншікті a_m активтігінің қаншаға кемитіндігін табыңдар.

21.30. $m_1 = 5$ мг радиоактивті емес $^{209}_{83}\text{Bi}$ изотопқа радиоактивті $^{210}_{83}\text{Bi}$ изотопты қосады, сонсоң 10 тәуліктен кейін ыдыратылған атомның санының ыдыратылмаған атом санына қатынасы 50% болды десек, онда қосылған радиоактивті

изотоптың m_2 массасы қандай болғаны? ${}^{210}_{83}\text{Bi}$ -ің ыдырау тұрақтысы $\lambda = 0,14 \text{ тәулік}^{-1}$.

21.31. Төрт α -ыдыраудан және екі β -ыдыраудан кейін ${}^{232}_{90}\text{Th}$ элементінен қандай изотоп пайда болады?

21.32. Үш α -ыдыраудан және екі β -ыдыраудан кейін ${}^{238}_{92}\text{U}$ ураннан қандай изотоп пайда болады?

21.33. Екі β -ыдыраудан және бір α -ыдыраудан кейін ${}^{238}_{92}\text{U}$ ураннан қандай изотоп пайда болады?

21.34. Бір β -ыдыраудан және бір α -ыдыраудан кейін радиоактивті изотоп ${}^8_3\text{Li}$ литийден қандай изотоп пайда болады?

21.35. Төрт β -ыдыраудан кейін ${}^{133}_{51}\text{Sb}$ сурьма радиоактивті изотоптан қандай изотоп пайда болады?

21.36. Радиоактивтік ыдырауда полоний ${}^{214}_{84}\text{Po}$ атомы ядросынан ұшып шығатын α -бөлшектің кинетикалық энергиясы $W_k = 7,68 \text{ МэВ}$. Мыналарды: а) α -бөлшектің v жылдамдығын; б) α -бөлшек ұшып шыққанда бөлінген W толық энергиясын; в) ауада туындайтын бір қос ионға $W_0 = 34 \text{ эВ}$ энергия жұмсалады деп, α -бөлшектің туғызатын қос иондарының санын; г) полонийдің шығаратын барлық α -бөлшектердің ионизациялау камерасындағы I_k қанықтыру тогын табыңдар. Полонийдің активтілігі $a = 3,7 \cdot 10^4 \text{ Бк}$.

§ 22. Ядролық реакциялар

Кез келген изотоп ядросының байланыс энергиясы мына қатынас арқылы анықталады:

$$W = c^2 \Delta m,$$

мұндағы Δm — ядро құрамындағы бөлшектердің массасы мен ядроның өз массасының айырымы. Шындығында,

$$\Delta m = Zm_p + (A - Z)m_n - m_{\text{я}}, \quad (1)$$

мұндағы: Z — изотоптың реттік саны, A — массалық сан, m_p — протонның массасы, m_n — нейтронның массасы, ал $m_{\text{я}}$ — изотоп ядросының массасы. $m_{\text{я}} = m_A - Zm_e$ болғандықтан, мұндағы m_A —

изотоптың массасы, ал m_e — электронның массасы, ендеше алғашқы теңдеуді төмендегіше жазуға болады:

$$\Delta m = Zm_{1H} + (A - Z)m_n - m_A, \quad (2)$$

мұндағы: Zm_{1H} — сутек ${}^1_1\text{H}$ изотопының массасы, m_A — берілген изотоптың массасы.

Ядролық реакцияда энергияның өзгеруі мына катынаспен анықталынады:

$$Q = c^2(\Sigma m_1 - \Sigma m_2), \quad (3)$$

мұндағы: Σm_1 — реакцияға дейінгі бөлшектердің массаларының қосындысы, ал Σm_2 — реакциядан кейінгі бөлшектердің массаларының қосындысы. Егер $\Sigma m_1 > \Sigma m_2$ болса, онда реакцияда энергия бөлінеді, ал $\Sigma m_1 < \Sigma m_2$ болса, онда реакцияда энергия жұтылады. Кейінгі формулаға, ядроның байланыс энергиясын есептеп шығарғандағы сияқты, ядролардың массасының орнына изотоптардың массасын алуға болатынын ескертеміз, өйткені атомдағы электрондардың массасына берілетін түзету әр түрлі таңбамен енеді де, қысқартылып қалады.

22.1. Магнийдің үш изотоптарының: а) ${}^{24}_{12}\text{Mg}$; б) ${}^{25}_{12}\text{Mg}$; в) ${}^{26}_{12}\text{Mg}$; ядроларының құрамына енетін нейтрондар мен протондардың санын табыңдар.

22.2. Литий ${}^7_3\text{Li}$ изотопы ядросының W байланыс энергиясын табыңдар.

22.3. Гелий ${}^4_2\text{He}$ атомы ядросының W байланыс энергиясын табыңдар.

22.4. Алюминий ${}^{27}_{13}\text{Al}$ атомы ядросының W байланыс энергиясын табыңдар.

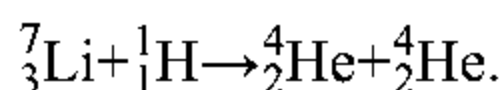
22.5. а) ${}^3_1\text{H}$ және б) ${}^3_2\text{He}$ ядроларының W байланыс энергиясын табыңдар. Осы ядролардың қайсысы орнықтырақ?

22.6. Оттек ${}^{16}_8\text{O}$ атомының ядросындағы бір нуклонға келетін W байланыс энергиясын табыңдар.

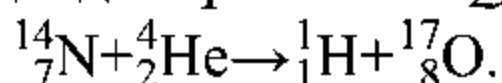
22.7. Дейтерий ${}^2_1\text{H}$ ядросының W байланыс энергиясын табыңдар.

22.8. Төмендегі ядролардың: а) ${}^7_3\text{Li}$; б) ${}^{14}_7\text{N}$; в) ${}^{27}_{13}\text{Al}$; г) ${}^{40}_{20}\text{Ca}$; д) ${}^{63}_{29}\text{Cu}$; е) ${}^{113}_{48}\text{Cd}$; ж) ${}^{200}_{80}\text{Hg}$; және з) ${}^{238}_{92}\text{U}$ бір нуклонына келетін W_0 байланыс энергиясын табыңдар. $W_0=f(A)$ тәуелділігін сызыңдар. Мұндағы A — массалық сан.

22.9. Мына ядролық реакцияда босап шығатын Q энергияны табыңдар:



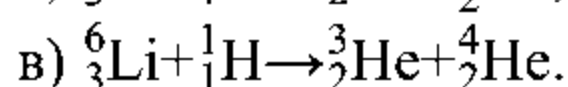
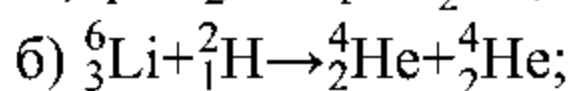
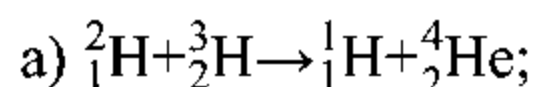
22.10. Мына реакцияда жұтылатын Q энергияны табыңдар.



22.11. Мына ядролық реакцияларда бөлініп шығатын Q энергияны табыңдар:

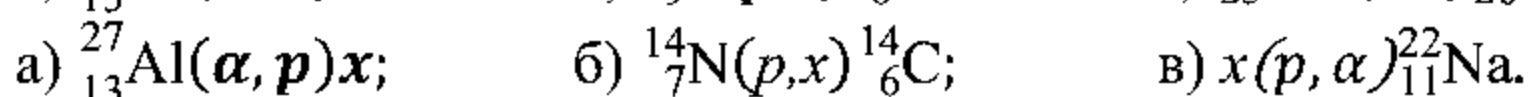
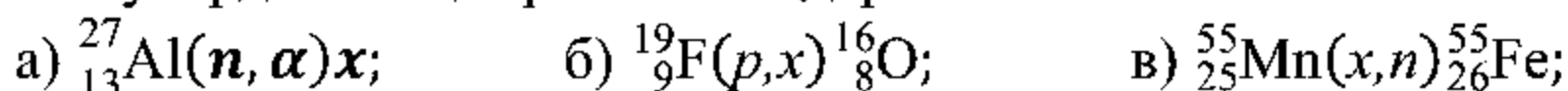


22.12. Мына термоядролық реакцияларда бөлініп шығатын Q энергияны табыңдар:

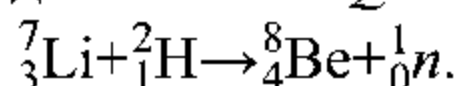


22.13. ${}^7_3\text{Li}$ (p, α) реакциясында литийдің $m = 1$ мг массасы толық ыдырағанда бөлініп шығатын жылуды түгелімен пайдаланатын болсақ, онда судың қанша M массасын 0°C -ден қайнағанға дейін қыздыруға болады?

22.14. Төмендегі ядролық реакцияларда жетіспей тұрған белгілеулерді толықтырып жазыңдар:



22.15. Мына реакцияда бөлінетін Q энергияны табыңдар:



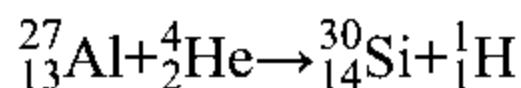
22.16.* Күніне $0,1\text{ кг}$ ${}^{235}_{92}\text{U}$ шығындайтын, п.э. коэффициенті 16% атом электр станциясының электр қуатын табыңдар.

22.17.* ${}^4_2\text{He}$ ядросы пайда болатын екі дейтронды синтездеген кезде шығатын энергия $23,8\text{ МэВ}$ -ке тең. Дейтрондағы және α -бөлшектегі бір нуклонға тең байланыс энергиясының айырымын табыңдар.

22.18. Алюминий $^{27}_{13}\text{Al}$ изотопын α -бөлшектерімен атқылағанда, фосфордың $^{30}_{15}\text{P}$ радиоактивті изотопы пайда болады да, кейін ол ыдырап, позитронды бөліп шығарады. Осы екі реакцияның теңдеуін жазыңдар. $^{30}_{15}\text{P}$ изотоптың жартылай ыдырау периоды $T_{1/2} = 130$ сек болса, онда оның a_m меншікті активтігі неге тең?

22.19. $^{23}_{11}\text{Na}$ изотопты дейтондармен атқылағанда β -радиоактивті $^{24}_{11}\text{Na}$ изотоп пайда болады. β -бөлшектердің санауышы құрамында радиоактивті $^{24}_{11}\text{Na}$ бар препаратқа жақын орналастырылған. Бірінші өлшеу кезінде санауыш 1 минутта 170 серпілу, ал бір тәуліктен кейін 1 минутта 56 серпілу берді. Осы екі реакцияның теңдеуін жазыңдар. $^{24}_{11}\text{Na}$ изотопының $T_{1/2}$ жартылай ыдырау периодын табыңдар.

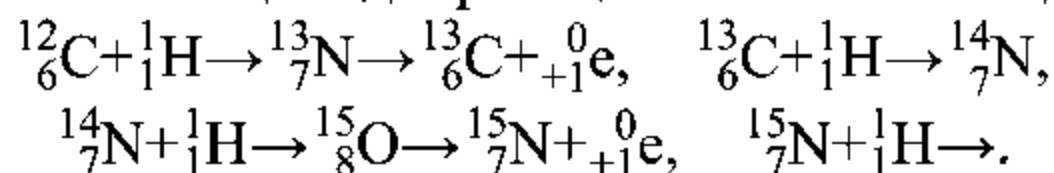
22.20. Егер



реакциясында $m = 1$ г алюминий массасындағы ядролардың барлығы да түрленетін болса, онда қанша Q_1 энергия бөлініп шығады? Алюминийдің ядросын энергиясы $W=8$ МэВ α -бөлшектермен атқылаған кезде $n=2 \cdot 10^6$ α -бөлшектердің ішіндегі тек біреуі ғана ядрода түрлендіру туғызады десек, осы түрлендіреулерді орындау үшін қанша Q_2 энергия жұмсау керек?

22.21. Литий ^6_3Li изотопын дейтондармен (^2_1H дейтерий ядроларымен) атқылағанда екі α -бөлшек пайда болады. Сонымен қатар $a=22,3$ МэВ энергия бөлініп шығады. Дейтон d мен α -бөлшектің массаларын біле отырып, литий ^6_3Li изотопының m массасын табыңдар.

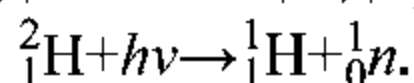
22.22. Күн сәулесі энергиясының көзі сутектен гелий пайда болатын мына циклдік реакция болып табылады:



Уақыт бірлігінде сутектің қанша m массасы гелийге түрленеді? Күннің тұрақтысы $K=1,37$ кВт/м². Сутек Күн массасының 35%-

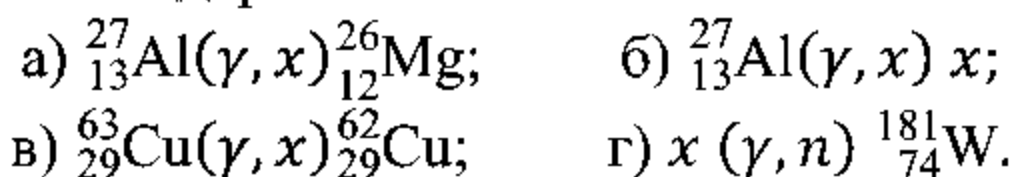
ын құрайды деп алып, Күннің сәуле шығаруы тұрақты болғанда сутектің қоры неше t жылға жететінін есептеңдер.

22.23. γ -сәулелермен дейтонның ыдырау реакциясы:



Мына мәліметтер арқылы нейтронның массасын табыңдар: γ -кванттардың энергиясы $W_1 = 2,66$ МэВ, ал ұшып шыққан протондардың туғызған ионизациялаулары бойынша өлшенген энергиясы $W_2 = 0,22$ МэВ-ке тең болып шықты. Нейтронның энергиясын протонның энергиясына тең деп аламыз. Дейтон мен протонның массалары белгілі дейміз.

22.24. Мына реакциялардағы жетіспейтін белгілеулерді орнына қойып жазыңдар:



22.25. Радиоактивті изотоптарды туғызатын реакция шығымын екі түрлі санмен сипаттауға болады: біріншіден, орын алған ядролық түрлену актілері санының атқылаушы бөлшектердің санына қатынасын көрсететін k_1 санымен, немесе алынған өнімнің активтігінің нысананы атқылайтын бөлшектер санына қатынасын көрсететін k_2 санымен сипатталады. k_1 және k_2 шамалары өзара қалай байланысқан?

22.26. ${}^7_3\text{Li}$ -ді протондармен атқылағанда жартылай ыдырау периоды $T_{1/2} = 4,67 \cdot 10^6$ сек болатын бериллийдің ${}^7_4\text{Be}$ радиоактивті изотопы пайда болады. Жалпы заряды $q = 1$ мкА·сағ болатын бомбылаушы протондар алынған изотоптың $a = 6,51 \cdot 10^6$ Бк активтігін туғызады деп алып, реакцияның k_1 шығымын табыңдар (22.25. есептің шартын қараңдар).

22.27. ${}^{56}_{26}\text{Fe}(p, n)$ ядролық реакциясы нәтижесінде жартылай ыдырау периоды $T_{1/2} = 80$ тәулікке тең болатын кобальттің радиоактивті ${}^{56}_{27}\text{Co}$ изотопы пайда болады. Жалпы заряды $q = 20$ мкА·сағ бомбылаушы протондар алынған препаратта $a = 5,2 \cdot 10^7$ Бк радиоактивтілік туғызады деп алып, реакцияның k_1 шығымын табыңдар (22.25 есептің шартын қараңдар).

22.28. Ішінде ${}^7_4\text{Be}$ бериллий үгіндісі мен газ тәрізді радон бар түтік нейтрон көзі болып табылады. Радонның α -бөлшектері бериллиймен реакцияласқанда нейтрондар пайда болады.

Нейтрондардың алыну реакциясын жазыңдар. Егер мұндай көз алғашқы $t = 5$ тәуліктен кейін уақыт бірлігінде $a_2 = 1,2 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$ нейтрондар беретін болса, онда түтікке енгізілген радонның бастапқы m массасы қандай болады? Реакциялардың шығымы $k_1 = 1/4000$, яғни $n = 4000$ α -бөлшектің ішінде тек біреуі ғана реакция туғызады.

22.29. Нейтрондардың көзі ретінде алдыңғы есепте (22.28) айтылған түтік алынады. Активтілігі $a = 3,7 \cdot 10^{10}$ Бк радоннан шығарылатын α -бөлшектері бериллий үгіндісіне түскенде уақыт бірлігінде қанша a_2 нейтрондар туғызады? 4000 α -бөлшектердің ішінен тек біреуі ғана реакция туғызады, яғни реакция шығымы $k_1 = 1/4000$.

22.30. $^{11}_6\text{C}$ көміртек радиоактивті изотопының түзілу реакциясы $^{10}_5\text{B} (d, n)$ түрінде өтеді, мұндағы d — дейтерий ^2_1H ядросының (дейтонының) белгіленуі. $^{11}_6\text{C}$ изотопының жартылай ыдырау периоды $T_{1/2} = 20$ мин. Осы реакцияда қандай Q энергия бөлінеді? Егер $k_1 = 10^{-8}$ болса, реакцияның k_2 шығымын табыңдар (22.25 есептің шартын қараңдар).

22.31. $^{14}_7\text{N} (\alpha, p)$ реакциясындағы α -бөлшектің кинетикалық энергиясы $W_1 = 7,7$ МэВ. Егер протонның кинетикалық энергиясы $W_2 = 8,5$ МэВ болса, онда ол α -бөлшектің қозғалу бағытына қандай φ бұрыш жасап ұшып шығады?

22.32. ^6_3Li литий изотопын дейтондармен атқылағанда бомбылаушы дейтондардың жылдамдықтарының бағытына симметриялы φ бұрыш жасап екі α -бөлшек пайда болады. Егер атқылайтын дейтондардың энергиясы $W_1 = 0,2$ МэВ десек, онда пайда болған α -бөлшектердің W_2 кинетикалық энергиясы қандай болады? φ бұрышын табыңдар.

22.33. Гелий ^3_2He изотопы тритий ^3_1H ядросын протондармен атқылау арқылы алынады. Ядролық реакцияның теңдеуін жазыңдар. Осы реакцияда қанша Q энергия бөлінеді? Реакцияның «табалдырығын», яғни осы реакцияны туғызатын бомбылаушы бөлшектің ең аз кинетикалық энергиясын табыңдар.

Н ұ с қ а у. Атқылаушы бөлшектің кинетикалық энергиясының шекті мәні кезінде реакцияның салдарынан туатын бөлшектің салыстырмалы жылдамдығы нольге тең болатындығын ескеру керек.

22.34. Алдыңғы есептегі сияқты ядролық реакцияның $^{14}_7\text{N}$ (α, p) табалдырығын табыңдар.

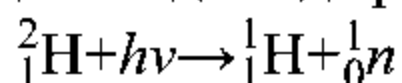
22.35.* Соққылаушы протондардың кинетикалық энергиясының табалдырық мәнінде орындалатын ^7_3Li (p, n) ^7_4Be ядролық реакция өнімдерінің қосынды кинетикалық энергиясын табыңдар (литий нысанасы тыныштықта тұр).

22.36.* Бастапқы кезде тыныштықта тұрған ^7_3Li ядросының кулондық потенциалдардық барьерін жеңу үшін соққылаушы α -бөлшектің ең аз кинетикалық энергиясын есептендер. Осындай энергиямен α -бөлшек $^7_3\text{Li}(\alpha, n)^{10}_5\text{B}$ ядролық реакциясын туғыза ала ма?

22.37. Жылдамдығы өте аз («жылулық») нейтрондармен борды атқылағанда $^{10}_5\text{B}$ (n, α) реакция жүреді. Реакцияда бөлініп шығатын Q энергияны табыңдар. Бор ядросын қозғалмайды деп, нейтрондардың жылдамдығын есепке алмай α -бөлшектің v жылдамдығы мен W кинетикалық энергиясын табыңдар.

22.38. Литийдің ^7_3Li изотопын протондармен атқылағанда екі α -бөлшек пайда болады. Әрбір α -бөлшектің пайда болған сәтіндегі энергиясы $W_1=9,15$ МэВ. Атқылаушы протондардың W_2 энергиясы неге тең?

22.39. γ -сәулелермен дейтонды ыдырату реакциясын:



өткізуге жеткілікті болатын γ -кванттың ең аз энергиясының мәнін табыңдар.

22.40. $^{24}_{12}\text{Mg}$ (d, n) реакциясын жүзеге асыра алатын γ -кванттың ең аз энергиясының мәнін табыңдар.

22.41. Егер уран ядросының әрбір бөлінуінде шамамен $Q = 200$ МэВ энергия бөлініп шығатын болса, онда $m=1$ г $^{235}_{92}\text{U}$ уран бөлінгенде киловатт-сағат есебімен қанша W энергия босайды?

22.42. Қуаты $P=5000$ кВт атом электр станциясында бір тәулікте $^{235}_{92}\text{U}$ уранның қанша m массасы шығындалады? АЭС-тің п.э.к-і 17%. Әрбір ядро ыдырағанда $Q=200$ МэВ энергия бөлініп шығады.

22.43. Сутек бомбасы жарылғанда дейтерий мен тритийден гелий түзілетін термоядролық реакция өтеді. Реакция

теңдеуін жазыңдар. Осы реакцияда бөлініп шығатын Q энергияны табыңдар. $m=1$ г гелий түзілгенде қанша W энергия алуға болады?

§ 23. Элементар бөлшектер. Бөлшектерді үдеткіштер

Бұл параграфтың есептерін шығару «Жинақтың» алдыңғы бөлімдерінде қаралып кеткен: бөлшектердің бір-бірімен соқтығысуы, бөлшектердің электр және магнит өрістеріндегі қозғалысы т.б. заңдылықтарға негізделінген кейбір есептерді шығарғанда салыстырмалылық теориясының формулаларын пайдалану қажет.

23.1. Ядролық физикада нысананы атқылайтын зарядталған бөлшектердің санын микроампер-сағатпен (мкА·сағ) көрсетілген олардың жалпы зарядтарымен сипаттау қабылданған. Зарядталған бөлшектердің қандай саны $q=1$ мкА·сағ жалпы зарядқа сәйкес келетіндігін табыңдар. Есепті: а) электрондар және б) α -бөлшектер үшін шығарыңдар.

23.2. Баяулатқыш заттың қозғалмайтын ядросымен нейтрон серпімді центрлік соқтығысқанда оның кинетикалық энергиясы 1,4 есе кеміді. Баяулатқыш заттың ядросының m массасын табыңдар.

23.3. Нейтрон ${}_{11}^{23}\text{Na}$ изотопының қозғалмайтын ядросымен серпімді центрлік соқтығысқаннан кейінгі оның жылдамдығы бастапқы жылдамдығының қандай бөлігіне тең болады?

23.4. Баяу нейтрондарды алу үшін оларды құрамында сутек бар (мысалы, парафин) зат арқылы өткізеді. Массасы m_0 нейтрон өзінің кинетикалық энергиясының қандай ең үлкен бөлігін: а) протонға (массасы m_0) және б) қорғасын атомының ядросына (массасы $m=207m_0$) беретіндігін табыңдар. Берілетін энергияның ең үлкен бөлігі серпімді центрлік соқтығуға сәйкес келеді.

23.5. Егер центрлік соқтығысу болмаса, онда алдыңғы есептегі нейтрон мен протон арасында энергия қалай бөлінеді?

Нейтрон өзінің әрбір соқтығысуында орта есеппен алғанда $\varphi=45^\circ$ -қа бұрылып отырады.

23.6. $W_0=4,6$ МэВ энергиясы бар нейтрон протондармен соқтығысудың нәтижесінде өзінің қозғалысын баяулатады. Нейтрон өзінің әрбір соқтығысуынан кейін орта есеппен алғанда $\varphi=45^\circ$ -қа бұрылып отырады деп есептеп, оның энергиясы $W=0,23$ эВ-қа дейін кемігенде ол қанша соқтығысу жасайды?

23.7. Индукциясы $B = 3$ Тл біртекті өріске зарядталған бөлшектер ағыны ұшып кіреді. Бөлшектердің жылдамдығы $v=1,52 \cdot 10^7$ м/сек және ол өрістің бағытына перпендикуляр бағытталған. Әрбір бөлшекке әрекет ететін күш $F = 1,46 \cdot 10^{-11}$ Н деп алып, олардың әрқайсысының q зарядын табыңдар.

23.8.* Өзара перпендикуляр электр және магнит өрістері бар кеңістікте қозғалғанда ешқандай ауытқуы болмайтын α -бөлшектің жылдамдығын табыңдар. Магнит өрісінің кернеулігі 5 кА/м, электр өрісінің кернеулігі 6,28 кВ/м. α -бөлшегінің жылдамдығы екі өрістің де кернеулік сызықтарына перпендикуляр.

23.9. Электрон $U=180$ кВ потенциалдар айырымында үдетілген. Салыстырмалылық теориясының түзетулерін ескере отырып, электронның m массасын, v жылдамдығын, W кинетикалық энергиясын және e/m қатынасын табыңдар. Релятивтік түзетуді ескермей, осы электронның v' жылдамдығын табыңдар.

23.10. Ғарыштық сәулелердегі мезонның энергиясы, жуықтап алғанда, $W=3000$ МэВ. Мезонның тыныштық энергиясы $W=100$ МэВ. Зертханалық сағат бойынша өзінің τ өмір сүру уақытының ішінде мезон атмосферада қандай l қашықтығын жүреді? Мезонның меншікті өмір сүру уақыты $\tau_0=2$ мкс.

23.11. Ғарыш сәулелеріндегі мезонның кинетикалық энергиясы $W=7m_0c^2$, мұндағы m_0 — мезонның тыныштық массасы. Мезонның τ_0 меншікті өмір сүру уақыты оның зертханалық сағат бойынша алынған τ өмір сүру уақытынан неше есе кем болады?

23.12. Позитрон мен электрон екі фотон түзе отырып қосылады. Бөлшектердің бастапқы энергиясы еленбейтін аз шама деп есептеп, әрбір фотонның $h\nu$ энергиясын табыңдар. Осы фотондардың λ толқын ұзындықтары қандай?

23.13. Электрон мен позитрон энергиясы $h\nu = 2,62$ МэВ фотоннан пайда болады. Позитрон мен электронның пайда болу сәтіндегі толық кинетикалық энергиясы $W_1 + W_2$ неге тең болады?

23.14. Энергиясы $h\nu = 5,7$ МэВ фотоннан пайда болған электрон мен позитрон магнит өрісінде орналасқан Вильсон камерасында қисықтық радиусы $R = 3$ см болатын траекториялар береді. Өрістің B магнит индукциясын табыңдар.

23.15. Қозғалмайтын бейтарап π -мезон ыдырағанда бірдей екі фотонға айналады. Әрбір фотонның $h\nu$ энергиясын табыңдар. π -мезонның тыныштық массасы $m_0(\pi) = 264,2m_0$, мұндағы m_0 — электронның тыныштық массасы.

23.16. Нейтрон мен антинейтрон бірігеді де екі фотон түзеді. Бөлшектердің бастапқы энергияларын елеусіз аз деп есептеп, пайда болған әрбір фотонның $h\nu$ энергиясын табыңдар.

23.17. K^0 -мезон зарядталған екі π -мезонға ыдырайды. K^0 -мезонның тыныштық массасы $m_0(K^0) = 965m_0$, мұндағы m_0 — электронның тыныштық массасы. Әрбір π -мезонның массасы $m(\pi) = 1,77m_0(\pi)$, мұндағы $m_0(\pi)$ — оның тыныштық массасы. π -мезондардың түзілу сәтіндегі $m_0(\pi)$ тыныштық массасын және v жылдамдығын табыңдар.

23.18. Циклотронның магнит өрісінің B индукциясы мен дуанттарға берілген потенциалдар айырымының v жиілігі байланыстыратын формуланы тауып: а) дейтондар, б) протондар және в) α -бөлшектер үшін v жиілікті анықтандар. Магнит өрісінің индукциясы $B = 1,26$ Тл.

23.19. Циклотроннан ұшып шығатын бөлшектердің W энергиясын, олардың циклотрондағы қозғалу траекториясының ең үлкен R қисықтық радиусымен байланыстыратын формуланы қорытып шығарыңдар. Ең үлкен қисықтық радиусын $R = 48,3$ см-ге тең деп алып, циклотроннан ұшып шығатын: а) дейтондардың; б) протондардың және в) α -бөлшектердің энергиясын табыңдар. Дуанттарға берілген потенциалдар айырымының жиілігі $\nu = 12$ МГц.

23.20. Циклотрондағы бөлшектердің траекториясының ең үлкен қисықтық радиусы $R = 0,35$ м, дуанттарға түсірілген потенциалдар айырымының жиілігі $\nu = 13,8$ МГц. Циклотронның

синхронды жұмыс істеуі үшін қажетті магнит өрісінің индукциясын және ұшып шығатын протондардың ең үлкен W энергиясын табыңдар.

23.21. Алдыңғы есепті: а) дейтондар және б) α -бөлшектер үшін шығарыңдар.

23.22. α -бөлшекпен жұмыс істегенде циклотронда алынған иондық ток $I = 15$ мкА. Массасы $m = 1$ г радийге қарағанда осындай циклотрон неше есе өнімдірек болады?

23.23. Циклотрондағы бөлшектердің траекториясының ең үлкен қисықтық радиусы $R = 50$ см; магнит өрісінің индукциясы $B = 1$ Тл. Осы циклотрондағыдай үдеу алу үшін, протондар қандай тұрақты U потенциалдар айырымынан өтуге тиіс?

23.24.* Бөлшектердің траекториясының ең үлкен қисықтық радиусы $\rho = 49$ см болған кездегі дейтонды $W = 2$ МэВ-қа дейін үдететін циклотронды токпен қамтамасыз ететін генератордың жиілігін анықтаңдар.

23.25. Радиусы $R = 50$ см циклотронның дуанттарының арасына, жиілігі $\nu = 10$ МГц болатын $U = 75$ кВ айнымалы потенциалдар айырымы түсірілген. Мыналарды: 1) циклотронның магнит өрісінің B индукциясын, 2) циклотроннан ұшып шығатын бөлшектердің v жылдамдығын және W энергиясын, 3) зарядталған бөлшектердің циклотроннан ұшып шыққанға дейін қанша n айналым санын жасайтындығын табыңдар. Есепті дейтондар, протондар және α -бөлшектер үшін шығарыңдар.

23.26.* Циклотронда үдетілген α -бөлшектердің шоғы қалыңдығы 5 мг/см² алюминийден жасалған терезе арқылы сыртқа шығарылады. Циклотрондағы α -бөлшектердің ең үлкен қисықтық радиусы 40 см, магнит өрісінің индукциясы $1,3$ Тл. Ауадағы шоктың ұзындығын табыңдар.

23.27. Синхротронмен үдетілген дейтондардың энергиясы $W = 200$ МэВ. Осы дейтондар үшін мыналарды: 1) m/m_0 қатынасын, (мұндағы m — қозғалыстағы дейтонның массасы, m_0 — оның тыныштық массасы; 2) v жылдамдығын табыңдар.

23.28. Фазотронда бөлшектердің жылдамдығының артуына қарай олардың массасының өсуі үдетуші өрістің периодының өсуімен теңгеріледі. Протондарды үдеткіш фазотронда дуанттарға берілетін кернеудің жиілігі әрбір үдетуші циклде $\nu=25$

МГц-тен $\nu' = 18,9$ МГц-ке дейін өзгеріп отырады. Осы фазотрондар үшін мыналарды: 1) магнит өрісінің B индукциясын және 2) ұшып шығатын протондардың W кинетикалық энергиясын табындар.

23.29. Фазотронның көмегімен $W = 660$ МэВ энергияға дейін үдетілген протондарға және $W = 840$ МэВ энергияға дейін үдетілген α -бөлшектерге зерттеу жүргізілді. Массаның өсуін теңестіру үшін фазотрондағы үдетуші өрістің периоды өзгертіліп отырылды. а) Протондар және б) α -бөлшектермен жұмыс істеген уақытта фазотрондағы үдеткіші өрістің периодын неше есе өзгерту қажет болды?

ЖАУАПТАРЫ ЖӘНЕ ШЕШУЛЕРІ

I ТАРАУ

МЕХАНИКАНЫҢ ФИЗИКАЛЫҚ НЕГІЗДЕРІ

§ 1. Кинематика

1.1. $\Delta \vec{v} = -2\vec{v}$; $|\Delta \vec{v}| = 2v$; $\Delta v = 0$.

1.2. $\Delta \vec{r} = -5\vec{i} + \vec{j} - 10\vec{k}$; $|\Delta \vec{r}| = \sqrt{126}$; $\Delta |\vec{r}| = -10$.

1.4. $\vec{v} = 4t\vec{i} + \vec{j}$; $\vec{\omega} = 4\vec{i}$; $|\vec{v}| \approx 8 \text{ м/с}$; $S \approx 38 \text{ м}$.

1.5. $v = 5,4 \text{ м/с}$; $\vec{\omega} = a(2\vec{i} + 3\vec{j} + 4\vec{k})$; $|\vec{\omega}| = 5,4 \text{ м/с}^2$; $S \approx 13,5 \text{ м}$.

1.6. а) $\vec{r} = a(\cos \omega t \cdot \vec{i} + \sin \omega t \cdot \vec{j})$,

$\vec{v} = a\omega(-\sin \omega t \cdot \vec{i} + \cos \omega t \cdot \vec{j})$, $\vec{\omega} = -\omega^2 \cdot \vec{r}$, $|\vec{r}| = a$,

$v = a\omega$, $\omega = a\omega^2$;

б) $\vec{r} \cdot \vec{v} = 0$;

в) $x^2 + y^2 = a^2$ — радиусы a -ға тең шеңбер;

г) $\vec{r} \cdot \vec{\omega} = -\omega^2 a^2 = -r \cdot \omega$;

д) сағат тілінің бағытына қарама-қарсы;

е) бөлшек, центрі координат басында болатын, радиусы a -ға тең шеңбер бойымен сағат тілінің бағытына қарама-қарсы бағытпен бірқалыпты қозғалады;

ж) бөлшектің қозғалысының бағыты қарама-қарсы бағытқа өзгереді.

1.7.

а) $l = \frac{v_0^2 \cdot \sin 2\alpha}{g}$; б) $h_{\max} = \frac{v_0^2 \cdot \sin \alpha}{g}$; в) $t_n = \frac{v_0 \cdot \sin \alpha}{g}$, $\tau = \frac{2v_0 \cdot \sin \alpha}{g}$; г) $y(x) = x \cdot \operatorname{tg} \alpha - \frac{g(1 + \operatorname{tg}^2 \alpha)}{2v_0^2} x^2$.

1.8. $\langle v \rangle = 12,3 \text{ км/сағ}$; $u = 3 \text{ км/сағ}$.

1.9. а) $v = 3 \text{ м/с}$, б) $v = 1 \text{ м/с}$, в) $v = 2,24 \text{ м/с}$.

1.10. $u = 0,60 \text{ м/с}$, $t = 250 \text{ с}$.

1.11. $S = 700 \text{ м}$.

1.12. $S = l(v - u)/(v + u)$.

1.13. $v_1 = \frac{v}{\sin \alpha / 2}$.

1.14. $S = 2lv \frac{v \sin \alpha + \sqrt{c^2 - v^2 \cos^2 \alpha}}{c^2 - v^2}$.

1.15. $v = cl / \sqrt{l^2 - c^2 \Delta t^2}$.

1.16. а) $t = 8,4 \text{ с}$; б) $t = 7,3 \text{ с}$; в) $t = 7,8 \text{ с}$;

1.17. $h_n = \frac{g}{2} t_0^2 (2n - 1)$, мұндағы $t_0 = 1 \text{ с}$; $h_{\text{соңғы}} = 14,7 \text{ м}$;

$$\Delta t_n = \sqrt{\frac{2l_0}{g}} (\sqrt{n} - \sqrt{n-1}); \quad l_0 = 1 \text{ м}; \quad \Delta t_{\text{соңғы}} \approx 0,05 \text{ с.}$$

$$1.18. \quad v_x = l \sqrt{\frac{g}{2\Delta h}} = 5 \text{ м/с}; \quad \operatorname{tg} \alpha = 0,5.$$

$$1.19. \quad a_n \approx 0,8g; \quad a_\tau \approx 0,6g.$$

$$1.20. \quad R = 305 \text{ м.}$$

$$1.21. \quad R = 6,3 \text{ м.}$$

$$1.22. \quad \operatorname{tg} \alpha = \sqrt{2}; \quad v_0 = \sqrt{gR(1 + \operatorname{tg}^2 \alpha)} = 9,4 \text{ м/с}; \quad \alpha = 54^\circ 44'.$$

$$1.23. \quad (x_n, y_n) = (-4 \text{ м}, 0); \quad (x_0, y_0) = (-3 \text{ м}, 2,1 \text{ м}); \quad v = 7,6 \text{ м/с.}$$

$$1.24. \quad V_0 = \sqrt{\frac{g \cdot L \cos \alpha}{2 \cos \beta \sin(\beta - \alpha)}}.$$

$$1.25. \quad u = \frac{v \cos \alpha}{2} \left(1 + \sqrt{1 - \frac{2gh}{v^2 \sin^2 \alpha}} \right), \quad v \sin \alpha \geq \sqrt{2gh}.$$

$$1.26. \quad t = \frac{v_0 \sin \alpha (v_0 \cos \alpha + 2u)}{g(v_0 \cos \alpha + u)}.$$

$$1.27. \quad S = |v_1 - v_2| \frac{v_1}{g} \sin \alpha.$$

$$1.28. \quad a = \frac{2l(t_1 - t_2)}{t_1 t_2 (t_1 + t_2)} = -3,2 \text{ м/с}^2; \quad v_0 = \frac{l(t_1^2 + 2t_1 t_2 - t_2^2)}{t_1 t_2 (t_1 + t_2)} = 13,6 \text{ м/с.}$$

$$1.29. \quad v = \sqrt{aL}.$$

$$1.30. \quad t = (2 + \sqrt{2})t_0.$$

$$1.31. \quad t = 2 \frac{\sqrt{2gh} + 2u}{g}.$$

$$1.32. \quad v = \frac{5l}{6t}. \quad \text{Нұсқау: егер қозғалыстың қайтымдылығын пайдалансақ және санақтың бастауына екі кесіндінің бөліну шекарасын алсақ, бұл есеп әлдеқайда оңай шешіледі.}$$

$$1.33. \quad v_0 = 0,45 \text{ м/с}; \quad a = 0,3 \text{ м/с}^2.$$

$$1.34. \quad t = 2\sqrt{2h/g}, \quad \text{бұрышқа байланысты емес.}$$

$$1.35. \quad n = \frac{v_0}{d} \sqrt{2h/g} = 90^\circ.$$

$$1.36. \quad a = g \operatorname{ctg} \alpha.$$

$$1.37. \quad v_{0\min} = \sqrt{\frac{gL^2}{(L^2 + h^2)^{1/2} - h}} = \sqrt{g(\sqrt{L^2 + h^2} + h)}, \quad \alpha = \frac{\pi}{4} + \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \frac{h}{l}$$

болғанда жетеді.

$$1.38. \quad v = \sqrt{5gR}.$$

$$1.39. \quad \operatorname{tg} \alpha = 2 \frac{H-h}{l} + \frac{r}{(R^2 - r^2)^{1/2}}; \quad \alpha = 45^\circ.$$

$$1.40. \quad u = 2v_0 \cos \left[\frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} \right], \quad S = 2v_0 t \cos \left[\frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} \right].$$

$$1.41. \quad R = 8,33 \text{ см.}$$

1.42. $\varepsilon = \omega^2/4\pi n = 3,2 \text{ рад/с}^2$.

1.43. $t = 6,3 \text{ с}; n = 9,4 \text{ об.}$

1.44. $t = \sqrt{a_n R / a_\tau}$; а) $t = \sqrt{R / a_\tau} = 2 \text{ с};$ б) $t = \sqrt{R / a_\tau} = 2,8 \text{ с.}$

1.45. $\omega = 4,4 \cdot 10^{16} \text{ рад/с}; a_n = 9,7 \cdot 10^{22} \text{ м/с}^2$.

1.46. а) $\omega = 3,14 \text{ рад/с};$ б) $v = 0,314 \text{ м/с};$ в) $a_\tau = 0,314 \text{ м/с}^2, a_n = 0,986 \text{ м/с}^2;$ г) $a = 1,03 \text{ м/с}^2;$

д) $\sin \alpha = 0,305$.

1.47. $a_n = 4,5 \text{ м/с}^2, a_\tau = 0,06 \text{ м/с}^2$.

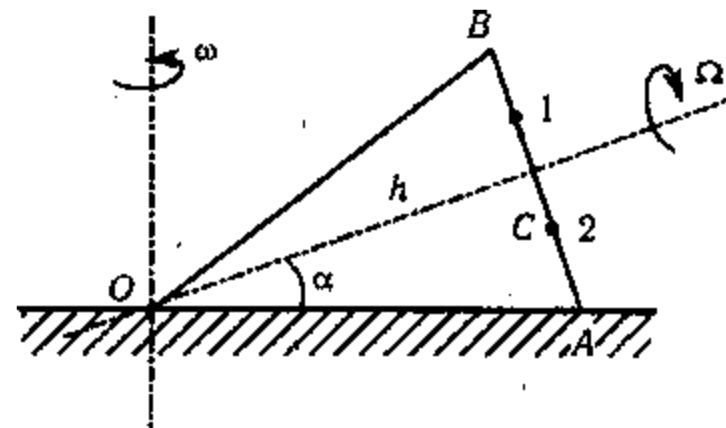
1.48. а) $\omega = 20 \text{ рад/с}; v = 2 \text{ м/с};$ б) $a_n = 40 \text{ м/с}^2, a_\tau = 1,6 \text{ м/с}^2;$ в) $\varepsilon = 16 \text{ рад/с}^2$.

1.49. $\vec{v}_A = v(\vec{i} + \vec{j}); \vec{v}_B = 2v\vec{i}; \vec{v}_C = v(\vec{i} - \vec{j}).$

1.50. $R_A = 2\sqrt{2}r; R_B = 4r.$

1.51. а) $\varphi = 20 \text{ рад};$ б) x, y жазықтығында жатқан және x осімен 63° бұрыш жасайтын осьтің айналасында.

1.52. Конус тайғанақтамай сырғитын болғандықтан OA кесіндісін құрайтын нүктелер қозғалыссыз жағдайда болу керек (133-сурет).



133-сурет

$$\frac{\omega h}{\cos \alpha} = \Omega h \tan \alpha, \quad \Omega = \frac{\omega}{\sin \alpha}$$

AB диаметріндегі кездейсоқ нүктенің жылдамдығы екі нүктенің қосындысынан тұрады:

$$v_{1,2} = \omega (h \cos \alpha \mp r \sin \alpha) \pm r\omega / \sin \alpha,$$

мұндағы r — C нүктесінен 1 және 2 нүктелеріне дейінгі қашықтық. Үстіңгі таңбалар C нүктесінен жоғары жатқан нүктелер үшін, ал төменгі таңбалар C нүктесінен төмен жатқан нүктелер үшін.

1.53. $v = 1 \text{ м/с.}$

1.54. $t = a/v$; квадраттың центрінен.

1.55. Автомобильдің орташа жылдамдығы мынадай формуламен анықталады: $\vec{v} = l/t$, мұндағы $l = l_1 + l_2 = v_1 t_1 + v_2 t_2$. Есептің шарты бойынша $t_1 = t_2 = t/2$. Сөйтіп, $\vec{v} = \left(\frac{v_1 t}{2} + \frac{v_2 t}{2} \right) / t = \frac{v_1 + v_2}{2} = 60 \text{ км/сағ.}$

1.56. 1) Самолет меридианға $\varphi = 3^\circ 52'$ бұрыш жасай оңтүстік-батысқа қарай бағыт ұстау керек, жылдамдығы $v = 798 \text{ км/сағ};$ 2) бағыты солтүстік-батысқа қарай, $\varphi = 3^\circ 52', v = 798 \text{ км/сағ};$ 3) бағыты батысқа қарай, $v = 746 \text{ км/сағ};$ 4) бағыты шығысқа қарай, $v = 854 \text{ км/сағ.}$

1.57. 1) 30 мин; 2) 30,2 мин; 3) 26,8 мин.

1.58. 1) $v_0 = 14,7$ м/сек; 2) $h = 11$ м.

1.59. 1) $t = 2,9$ сек; 2) $h_1 = 4h = 40$ м

1.60. 1) $h = 57$ м; 2) $t = 3,4$ сек.

1.61. A денесінің жүрген жолы $h_1 = v_1 t - gt^2/2$ -ге тең болады, ал B денесінің жүрген жолы $h_2 = gt^2/2$ -ге тең. Денелердің ара қашықтығы $x = h - (h_1 + h_2)$. $h_1 + h_2 = v_1 t$ болғандықтан, іздеп отырған тәуелділік $x = h - v_1 t$ болады. Денелер $x = 0$ болғанда, яғни $t = h/v_1$ уақыт моментінде бір-бірімен кездеседі.

1.62. 1) $a = 0,13$ м/сек²; 2) $t = 3,6$ мин.

1.63. Бір қалыпты айнымалы қозғалыс кезінде қозғалыстың мынадай екі теңдеуінің болуы қажет:

$$S = v_0 t + \frac{at^2}{2} \quad (1)$$

және

$$v = v_0 + at \quad (2)$$

Есептің шарты бойынша $v = 0$. Ендеше (2) теңдеуден мынаны аламыз:

$$a = -\frac{v_0}{t} \quad (3)$$

(3) теңдеуді (1) теңдеуге қойып, мынаны табамыз:

$$s = \frac{v_0 t}{2} \quad (4)$$

Сан мәндерді (3) және (4) теңдеулерге қойып, мынаны аламыз:

$$a = -0,5 \text{ м/сек}^2 \text{ және } s = 100 \text{ м.}$$

1.64. 1) $a = -0,55$ м/сек² және 2) $s = 566$ м.

1.65. $t = 30$ сек; $s = 225$ м.

1.66. $t = \frac{v_0'' - v_0'}{a_1 + a_2}$. Әрқашанда t уақыт 0-ден үлкен болғандықтан, есептің шешуі болу үшін, міндетті түрде $v_0'' > v_0'$ болу керек.

1.67. $t = \frac{v_0'' - v_0'}{\Delta t}$. Біздің қарастырып отырған жағдайымызда $a = 1$ м/сек².

1.68. 1) 12 сек-тан кейін; 2) $a = 0,64$ м/сек².

1.69. 1) $h = 1,22$ м; 2) $v_0 = 10$ м/сек; 3) $v = 11,1$ м/сек; $\varphi = 26^\circ 12'$.

1.70. $v_0 = 4,4$ м/сек.

1.71. $R = 305$ м.

1.72. $s_x = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$ болғандықтан, $\frac{s_1}{s_2} = \frac{g_1}{g_2}$ болады, $s_2 = s_1 = \frac{g_1}{g_2}$, мұндағы g_1

және g_2 ауырлық күштерінің үдеулері. Есептің берілген сан мәндерін қойып, мынаны аламыз: $s_2 = 16,23$ м.

1.73. 5,9 м.

1.74. $h = 7,4$ м.

1.75. 1) $7,26 \cdot 10^{-5}$ рад/сек; 2) $14,5 \cdot 10^{-5}$ рад/сек; 3) $1,74 \cdot 10^{-3}$ рад/сек; 4) $1,19 \cdot 10^{-3}$ рад/сек; 5) 7,8 км/сек.

1.76. $v = 231$ м/сек.

1.77. $v = 1660$ км/сағ.

1.78. $v = 400$ м/сек.

1.79. $R = 8,33$ см.

1.80. Бірқалыпты айнымалы және айналмалы қозғалыс кезінде қозғалыстың мына екі теңдеуі орын алады:

$$\varphi = \omega_0 t + \frac{\varepsilon t^2}{2} \quad (1)$$

және

$$\omega = \omega_0 + \varepsilon t \quad (2)$$

Есептің шарты бойынша $\omega_0 = 0$. Ендеше (1) және (2) теңдеулері мынадай түрде болады:

$$\varphi = \frac{\varepsilon t^2}{2} \quad (3)$$

және

$$\omega = \varepsilon t \quad (4)$$

(3) және (4) теңдеулерді бірге шеше отырып және $\varphi = 2\pi N$ болатынын ескеріп, ең соңында алатынымыз: $\varepsilon = \frac{\omega^2}{4\pi N} = 3,2$ рад/сек².

1.81. $\varepsilon = 1,26$ рад/сек², $N = 360$ айн.

1.82. $\varepsilon = -0,21$ рад/сек², $N = 240$ айн.

1.83. 10 сек.

1.84. 1) 6,3 сек-тан кейін; 2) 9,4 айн.

1.85. Есептің шарты бойынша $a_t = \text{const}$. Егер t -ны қозғалыстың басынан бастап есептесек, онда

$$a_t = \frac{v}{t}. \quad (1)$$

Сонан соң

$$a_n = \frac{v^2}{R}. \quad (2)$$

(1) және (2) теңдеулерден

$$t = \frac{1}{a_t} \sqrt{a_n R}. \quad (3)$$

Егер $a_n = a_t$ болса, онда (3) теңдеуден алатынымыз

$$t = \sqrt{\frac{R}{a_t}} = 2 \text{ сек.}$$

2) Егер $a_n = 2a_t$ болса, онда

$$t = \sqrt{\frac{2R}{a_t}} = 2,8 \text{ сек болады.}$$

$$1.86. a_t = \frac{v^2}{4\pi NR} = 0,1 \text{ м/сек}^2.$$

$$1.87. a_n = \frac{v^4 t^2}{16\pi^2 N^2 R^3} = 0,01 \text{ м/сек}^2.$$

$$1.88. \omega = 4,4 \cdot 10^{16} \text{ рад/сек}, a_n = 9,7 \cdot 10^{22} \text{ м/сек}^2.$$

$$1.89. a_n = 4,50 \text{ м/сек}^2, a_t = 0,06 \text{ м/сек}^2.$$

$$1.90. v = 4 \text{ м/сек}, a_t = 2 \text{ м/сек}^2, a_n = 2 \text{ м/сек}^2, a = 2,83 \text{ м/сек}^2.$$

$$1.91. \varepsilon = 0,43 \text{ рад/сек}^2.$$

$$1.92. R = \frac{a}{\varepsilon \sqrt{1 + \varepsilon^2 t^4}} = 6,1 \text{ м.}$$

$$1.93. 1) \omega = 14 \text{ рад/сек}; 2) v = 1,4 \text{ м/сек}; 3) \varepsilon = 12 \text{ рад/сек}^2; 4) a_t = 1,2 \text{ м/сек}^2, a_n = 19,6 \text{ м/сек}^2.$$

$$1.94. \Delta a_t = 0,3 \text{ м/сек}^2.$$

$$1.95. R = 1,2 \text{ м.}$$

$$1.96. a_n/a_t = 0,59.$$

§ 2. Материалдық нүктенің және қатты денелердің ілгерлемелі қозғалысының динамикасы

$$2.1. F = ma = m(2c - 6dt); F = 2H.$$

$$2.2. \omega = -a\omega^2 \sin \omega t; \omega \simeq -0,25 \text{ м/с}^2; F = m\omega = -0,25 \text{ Н.}$$

$$2.3. \omega = \sqrt{4c^2 + 36d^2 t^2} \simeq 60 \text{ м/с}^2; F = 60 \text{ Н.}$$

$$2.4. a = a_1 = a_2 = a_3 = \begin{cases} \frac{mg - Mg(k_1 + k_2)}{m + 2M}, & m > M(k_1 + k_2), \\ 0 & m \leq M(k_1 + k_2) \end{cases}$$

$$a = 1 \text{ м/с}^2; T_{23} = m(g - a) = 4,5 \text{ Н}; T_{12} = M(a + k_1 g) \simeq 2 \text{ Н}; F_{\text{ось}} = T_{23} \sqrt{2} = 6,31 \text{ Н.}$$

$$2.5. a = g \frac{1 - \sin \alpha}{2} = 2,45 \text{ м/с}^2;$$

$$T = \frac{m_1 m_2 (1 + \sin \alpha) g}{m_1 + m_2} = \frac{mg}{2} (1 + \sin \alpha) = 7,35 \text{ Н.}$$

$$2.6. a = g \frac{m_1 - m_2 (\sin \alpha + k \cos \alpha)}{m_1 + m_2} = 2,02 \text{ м/с}^2;$$

$$T = \frac{m_1 m_2 (1 + \sin \alpha + k \cos \alpha) g}{m_1 + m_2} = \frac{mg}{2} (1 + \sin \alpha) = 7,77 \text{ Н.}$$

$$2.7. \sin \alpha > \mu \cos \alpha \text{ болғандықтан:}$$

$$a_1 = g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha) \simeq 3,3 \text{ м/с}^2;$$

$$a_2 = a_3 = (m_2 \sin \alpha + \mu m_1 \cos \alpha - m_3)g / (m_2 + m_3) \simeq 0,94 \text{ м/с}^2.$$

$$2.8. F_{\text{үйк}} = \begin{cases} mg \sin \alpha, & \text{tg} \alpha \leq k \text{ болғанда} \\ kmg \cos \alpha, & \text{tg} \alpha \geq k \text{ болғанда.} \end{cases}$$

$$2.9. a = \frac{Mg \operatorname{tg} \alpha}{m + M \operatorname{tg}^2 \alpha}.$$

$$2.10. a = g \frac{m \sin 2\alpha}{2(M + m \sin^2 \alpha)}.$$

$$2.11. \mu = \frac{m M \sin 2\alpha}{2(M + m \sin^2 \alpha)(M + m \cos^2 \alpha)}.$$

$$2.12. a_1 = \frac{(m_2 - m_3)^2}{m_2^2 + m_3^2 + 6m_2 m_3} g;$$

$$a_2 = \frac{m_1^2 - 4m_2^2}{m_1^2 + 4m_2 m_3} g; a_3 = \frac{m_1^2 - 4m_3^2}{m_1^2 + 4m_2 m_3} g; T = \frac{8m_1 m_2 m_3}{4m_2 m_3 + m_1(m_2 + m_3)} g.$$

$$2.13. a_1 = \frac{4m_1 m_3 - 3m_2 m_3 + m_1 m_2}{4m_1 m_3 + m_2 m_3 + m_1 m_2} g; a_2 = \frac{m_1 m_2 - 4m_1 m_3 + m_2 m_3}{4m_1 m_3 + m_2 m_3 + m_1 m_2} g;$$

$$a_1 = \frac{4m_1 m_3 - 3m_1 m_2 + m_2 m_3}{4m_1 m_3 + m_2 m_3 + m_1 m_2} g;$$

2.14. Екі жүк те g үдеуімен еркін төмен құлайды. B және C блоктары сағат тіліне қарсы бағытта, ал A блогы сағат тілі бағытымен айналады.

$$2.15. a = \frac{(m_1 - m_2)g - f}{m_1 + m_2}.$$

2.16. $u/4$ жылдамдығымен жоғары қарай.

$$2.17. k = 0,01.$$

$$2.18. v = v_0 \sqrt{\frac{\sin \alpha - k \cos \alpha}{\sin \alpha + k \cos \alpha}};$$

$$\Delta t = \frac{v_0}{g} \left(\frac{1}{\sin \alpha + k \cos \alpha} + \sqrt{\frac{1}{\sin^2 \alpha - k^2 \cos^2 \alpha}} \right); k < \operatorname{tg} \alpha.$$

2.19. $u = v/2$. Нұсқау: жылдамдық бойымен вертикаль төмен қарай және көлбеу жазықтық бойымен бағытталған осьтер үшін қозғалыстардың теңдеуін жазу керек.

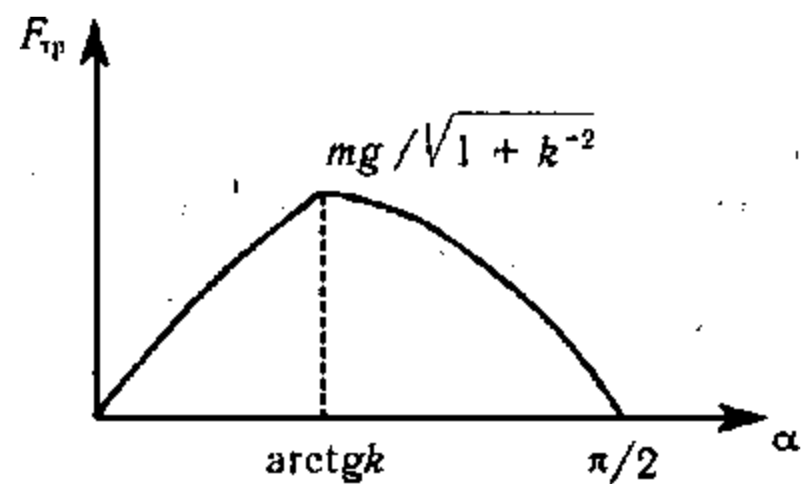
$$2.20. u = 5,14 \text{ км/сағ}; u' = 1,71 \text{ км/сағ}.$$

$$2.21. \text{ а) } u = 17,8 \text{ км/сағ}; \text{ б) } u = 53,5 \text{ км/сағ}; \text{ в) } u = -17,8 \text{ км/сағ}.$$

«Минус» таңбасы вагонның снарядқа қарсы, бірақ аз жылдамдықпен қозғалысын жалғастыратынын көрсетеді.

$$2.22. u = -12,5 \text{ м/с}.$$

$$2.23. \text{ а) } u = 0,67 \text{ м/с}; \text{ б) } u = 0,83 \text{ м/с}; \text{ в) } u = 0,5 \text{ м/с}.$$



134-сурет

$$2.24. \quad v' = v - \frac{F_0 t_0}{m}; \quad v'' = \frac{F_0 t_0}{m}.$$

$$2.25. \quad p = \sqrt{p_1^2 + 2p_1 p_2 \cos \alpha + p_2^2}.$$

$$2.26. \quad \vec{v} = \frac{m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 + m_3 \vec{v}_3}{m_1 + m_2 + m_3}.$$

$$2.27. \quad F = 3mg(1 - xl).$$

$$2.28. \quad F = m(v^2 - gl)/l.$$

$$2.29. \quad v = \sqrt{\frac{gL}{(1+m/M) \sin 2\alpha}}.$$

$$2.30. \quad v = \frac{-u \sin \alpha + \sqrt{u^2 \sin^2 \alpha + (1+m/M)gl \sin 2\alpha}}{(1+m/M) \sin 2\alpha}.$$

$$2.31. \quad v = \sqrt{\frac{gL}{(1+m/M) \sin 2\alpha + \frac{2F}{Mg} \sin^2 \alpha}}.$$

$$2.32. \quad \Delta p = -\frac{2\Delta W_k}{v_1 - v_0} = -3,5 \text{ КГ} \cdot \text{М/с}.$$

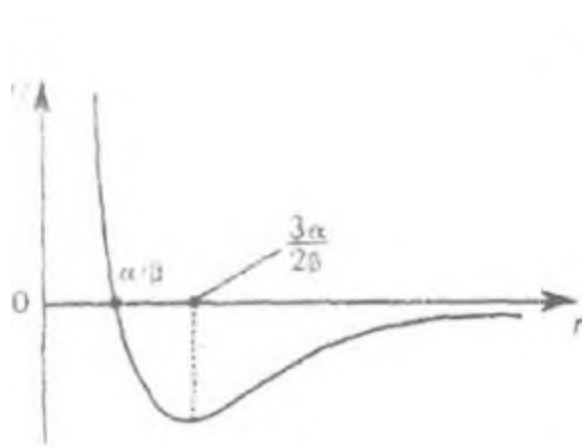
$$2.33. \quad \text{а) } \vec{F}(0) = 4,5\vec{i} + 12\vec{j} - 2,6\vec{k}; \quad \text{б) } \vec{a}_0 = \frac{1}{m}(4,5\vec{i} + 12\vec{j} - 2,6\vec{k});$$

$$\text{в) } W_k = \frac{mv_0^2}{2} = 2,5 \text{ Дж}.$$

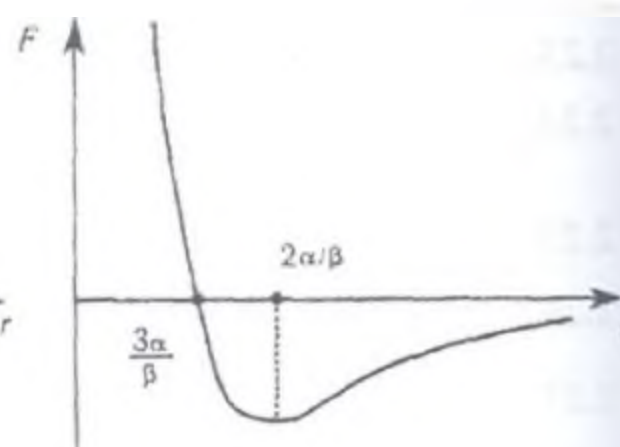
$$2.34. \quad \text{а) } \vec{F} = -\frac{\partial U}{\partial r} \vec{e}_r = \frac{\alpha}{r^2} \vec{e}_r,$$

$$A = \alpha \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) = \alpha \left(\frac{1}{\sqrt{14}} - \frac{1}{\sqrt{29}} \right) = 0,82\alpha, \text{ Дж};$$

$$\text{б) } \vec{F} = -k\vec{r}, \quad A = \frac{k}{2}(r_1^2 - r_2^2) = \frac{k}{2}(14 - 29) = -7,5k, \text{ Дж}.$$



135-сурет



136-сурет

2.35. 1) Иә, $r = 3\alpha/2\beta$ болғанда (135-сурет). Нұсқау: тұрақты тепе-теңдік шарты:

$$\frac{\partial U}{\partial r} = 0. \quad F = -\frac{\partial U}{\partial r} = \frac{3\alpha}{r^4} - \frac{2\beta}{r^3}; \quad \frac{\partial F}{\partial r} = -\frac{12\alpha}{r^5} + \frac{6\beta}{r^4} = 0;$$

2) $r_{min} = \frac{2\alpha}{\beta}$ (136-сурет). Иә, болады.

Нұсқау: бөлшектің толық энергиясының таңбасын талдау керек.

2.36. $v_0 > \sqrt{2\alpha/mr_0}$ болғанда – гипербола бойынша, $v_0 = \sqrt{2\alpha/mr_0}$ болғанда – парабола бойынша, $v_0 < \sqrt{2\alpha/mr_0}$ болғанда – эллипс бойынша.

Нұсқау: бөлшектің толық энергиясының теңдеуін жазып, таңбасын талдау керек.

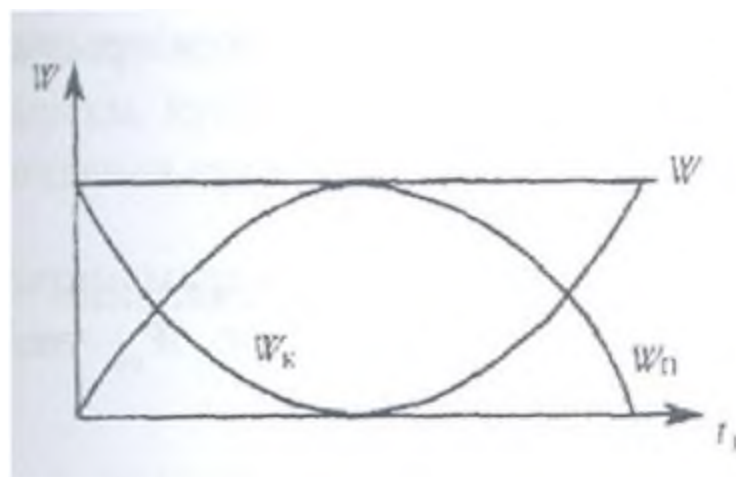
2.37. $v_0 > \sqrt{2\alpha/mr_0}$ болғанда немесе $E = -\frac{m\alpha^2}{2M^2}$ болғанда, мұндағы E – бөлшектің толық энергиясы, $M = |\mathbf{M}| = m|\mathbf{r} \times \mathbf{v}|$ бөлшектің импульсінің моменті.

2.38. $A_{үйк} = 2,25$ МДж; $S = 375$ м.

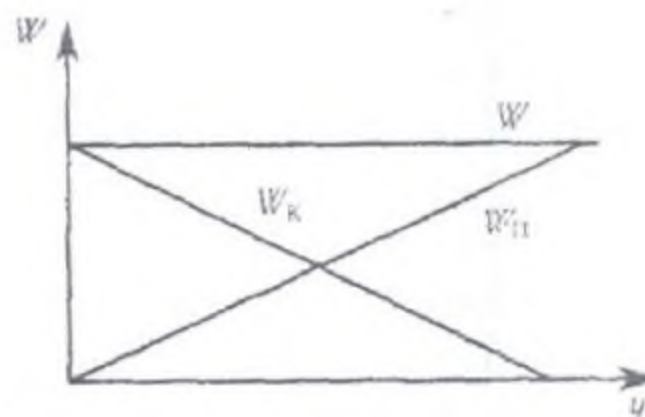
2.39. $A_{үйк} = 2,25$ МДж; $S = 212$ м.

2.40. $W = W_k + W_n$, $W_k = \frac{m}{2}(v_0 - gt)^2$, $W_n = mgy = mg(v_0t - \frac{gt^2}{2})$, (137-сурет).

2.41. $W_n = mgy$, $W_k = m(\frac{v_0^2}{2} - gy)$ (138-сурет).



137-сурет



138-сурет

2.42. а) $W_k = 6,6$ Дж, $W_n = 15,9$ Дж, $W = 22,5$ Дж;

б) $W_k = 5,7$ Дж, $W_n = 16,8$ Дж, $W = 22,5$ Дж.

2.43. $A = mg\frac{l}{2} + (m + \frac{M}{2})gd$.

2.44. $S = \frac{l}{2} + \frac{v^2}{2\mu g} = 2,8$ м.

2.45. $S = 6$ м. 2.46. $L = \frac{2tga}{K_0}$.

2.47. Дененің жылдамдығы $v_1 = -3,33$ м/с, төбеніктің жылдамдығы $v_2 = 1,67$ м/с.

Нұсқау: алдымен дене төбенің басына шыға ала ма, соны анықтау керек.

$$2.48. h = \frac{v}{2kg} \sqrt{u^2 + v^2}.$$

$$2.49. \beta = \arccos \left(\frac{v_1 v_2 \cos \alpha}{u_1 u_2} \right).$$

$$2.52. \sin \alpha = m_2 / m_1.$$

$$2.53. u_2 = 2m_1 v \cos \alpha / (m_1 + m_2).$$

$$2.54. E_{\min} = E (1 + m_e / m).$$

$$2.55. \frac{h_1}{h_0} = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} \right)^2.$$

$$2.56. v = 550 \text{ м/с}.$$

$$2.57. x = l \frac{T - 3mg}{T - mg}.$$

$$2.58. A = \frac{1}{6} \rho g h^2 S = 1,63 \cdot 10^5 \text{ Дж}.$$

$$2.59. Q = \frac{3 p^2}{16 m}.$$

$$2.60. h = 1,23 \text{ м}.$$

$$2.61. F = 72,5 \text{ Н}.$$

$$2.62. v = 3,6 \text{ км/сағ}.$$

$$2.63. \frac{W_{n1}}{W_{n2}} = \frac{k_2}{k_1}.$$

$$2.64. \text{Бірінші пружинадан } l = k_1 L / (k_1 + k_2) = 6 \text{ см кашықтықта}.$$

$$2.65. F = m \Delta l / (\Delta t)^2 = 13,7 \text{ Н}.$$

$$2.66. l_0 = 6,3 \text{ см}.$$

$$2.67. v_{\max} = \sqrt{2g(H - l) + mg^2/k},$$

$$F_{\max} = mg \left[1 + \sqrt{1 + \frac{2k}{mg} (H - l)} \right].$$

$$2.68. \frac{l_1}{l_2} = \frac{m_2}{m_1}, \quad l_1 \text{ және } l_2 - \text{сакинаның бастапқы козғалыс нүктесінен 5-ші соқтығысу нүктесіне дейінгі доғаларының ұзындықтары}.$$

$$2.69. a = (2H/l - 1)g = 19g.$$

$$2.70. v_3 = \frac{v\sqrt{2}}{2}. \quad \text{Шомбал серіппенің энергиясы жылдамдықтың квадратына пропорциональ екендігін ескеру керек: } W_{\text{пр}} = \alpha v^2, \alpha = \text{const}.$$

$$2.71. F_{\min} = kg(m_1 + m_2/2).$$

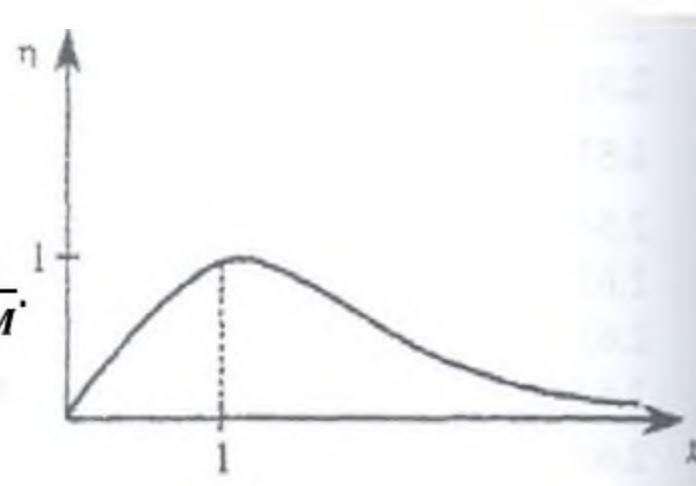
$$2.72. S = \sqrt{\frac{2h}{g} \frac{mv}{m+M}}.$$

$$2.73. v = \frac{m+M}{m} u.$$

$$2.74. v = \sqrt{\frac{gl}{\frac{(m \cos \alpha)^2}{2kM^2} + \sin 2\alpha}}, \quad \alpha = \arctg \frac{m}{2kM}.$$

2.75. Қаптың бастапқы горизонталь импульсы $mv_0 \cos \alpha = 0,5mv_0$, ал үйкеліс күшінің импульсы $F_{\text{тр}} \cdot t = kmv_0 \sin \alpha \cong 0,6mv_0$. Сондықтан, кап тақтаның шетіне жеткен бойда тоқтайды.

$$2.76. l = H(\sin \alpha - k \cos \alpha) (\cos \alpha - k \sin \alpha)^2 / k \sin \alpha = 0,25 \text{ м}.$$



139-сурет.

2.77. Егер $\operatorname{tg} \varphi \leq 2k$ болса, шарик қабырғадан перпендикуляр түрде соғылады.

2.78. $F\Delta t = 0,17 \text{ Н} \cdot \text{с}$; $Q = 37,2 \text{ мДж}$.

2.79. $\eta = \frac{\Delta W_k}{W_{k_1}} = \frac{4m_1m_2}{(m_1+m_2)^2} = \frac{4m_1}{m_2(1+m_1/m_2)^2}$; $\frac{m_1}{m_2} = x$; (139-сурет).

2.80. $\gamma = \frac{\pi}{3} + \operatorname{arctg}(2\sqrt{3}) = 134^\circ$

2.81. $h = \left(\frac{m_1-m_2}{m_1+m_2}\right)^2 H$.

2.82. Шариктің ілінген жібі өте ұзын екенін ескере отырып, m_1 шарик горизонталь түзудің бойымен қозғалады, ал жіп вертикаль күйінде қалады деп есептеуге болады. Бұл жүйедегі барлық сыртқы күштер вертикаль бағытталған, сондықтан импульстің горизонталь құраушысы сақталады:

$$m_2 v_0 = (m_1 + m_2)v_K.$$

Механикалық энергияның сақталу заңы:

$$\frac{m_2 v_0^2}{2} = \frac{(m_1 + m_2)v_K^2}{2} + \frac{m_2 v_B^2}{2} + m_2 gl.$$

$v_B = 0$ болған кезде v_0 жылдамдығы минимал мәнге ие болады. Сондықтан:

$$v_{0\min} = \sqrt{2gl(1 + m_2/m_1)}.$$

2.83. Егер $F \leq k(m_1 + m_2)g$ болса, қозғалыс болмайды. $F > k(m_1 + m_2)g$ болсын. Дененің бөрененің бойымен сырғуы жоқ жағдайды қарастырамыз. Қозғалыс теңдеуі:

$$m_1 a = F - f - k(m_1 + m_2)g, \quad m_2 a = f, \quad f \leq km_2 g$$

Аламыз:

$$a = \frac{F}{m_1 + m_2} - kg, \quad f = \frac{m_2 F}{m_1 + m_2} - km_2 g \leq km_2 g.$$

Осы жағдай мынадай шартта болуы мүмкін:

$$k(m_1 + m_2)g < F < 2F \leq k(m_1 + m_2)g$$

Егер $F > k(m_1 + m_2)g$ болса, дене бөрене бойымен жылжи алады. Осы кездегі қозғалыс теңдеуі мынадай:

$$m_1 a_1 = F - km_2 g - k(m_1 + m_2)g, \quad m_1 a_2 = km_2 g;$$

$$a_1 = \frac{F}{m_1} - k \frac{2m_1 + m_2}{m_1} g, \quad a_2 = kg.$$

2.84. $F > k(m_1 + m_2)g$, $t = \sqrt{\frac{2lm_1}{F - kg(m_1 + m_2)}}$.

2.85. $v_0 > \sqrt{2kgl(1 + m/M)}$.

2.86. $\Delta x_{\max} = l + \sqrt{\frac{m_1 m_2}{k(m_1 + m_2)}} v$.

Нұсқау: есепті массалар центрі жүйесінде шешкен ыңғайлы.

$$2.87. v_0 = \sqrt{\frac{kLl_0}{M}}.$$

Нұсқау: есепті массалар центрі жүйесінде шешкен ыңғайлы.

2.88. 140-суретті караңыз.

$$2.89. W_{k\max} = \frac{F^2}{2k}; W_{п\max} = \frac{2F^2}{k};$$

$$V_{\text{сал}} = F\sqrt{(m_1 + m_2)/(km_1m_2)}.$$

2.90. Нұсқау: денелердің қозғалыс жылдамдықтарын л-жүйесінде массалар центрінің жылдамдығы және бөлшектердің салыстырмалы жылдамдығы арқылы өрнектеу керек.

$$\begin{cases} \vec{v}_\alpha = \vec{v}_{\text{цм}} + \frac{m_\beta}{m_\alpha + m_\beta} \vec{v} \\ \vec{v}_\beta = \vec{v}_{\text{цм}} - \frac{m_\alpha}{m_\alpha + m_\beta} \vec{v} \end{cases} \quad \text{мұндағы: } \vec{v} = \vec{v}_\alpha - \vec{v}_\beta - \text{салыстырмалы}$$

жылдам-дық.

$$2.91. \Delta W = F(l - Ft^2/2m).$$

$$2.92. W = W_1 + W_2 + \frac{m_1 m_2}{2(m_1 + m_2)} (\vec{v}_1 - \vec{v}_2)^2; \text{ жоқ.}$$

Нұсқау: 2.90. есептің шешуін пайдаланып, ішкі энергияға жиынтық кинетикалық энергияның тек бір бөлігі ғана өтетінін көрсету керек, яғни: $\Delta \varepsilon = \frac{\mu}{2} (v^2 - v'^2)$, мұндағы: v және v' — денелердің салыстырмалы жылдамдықтары.

$$2.93. \alpha_{\max} = \arccos \frac{mv^2 - W_0 + 2W_1}{mv^2 + W_0 - 2W_1}.$$

$$2.94. \Delta W = Fl.$$

$$2.95. \frac{\Delta P}{P} = \frac{mv^2/R}{mg} = \frac{\omega^2 R}{g} = 0,34\%.$$

$$2.96. F = 245 \text{ Н.}$$

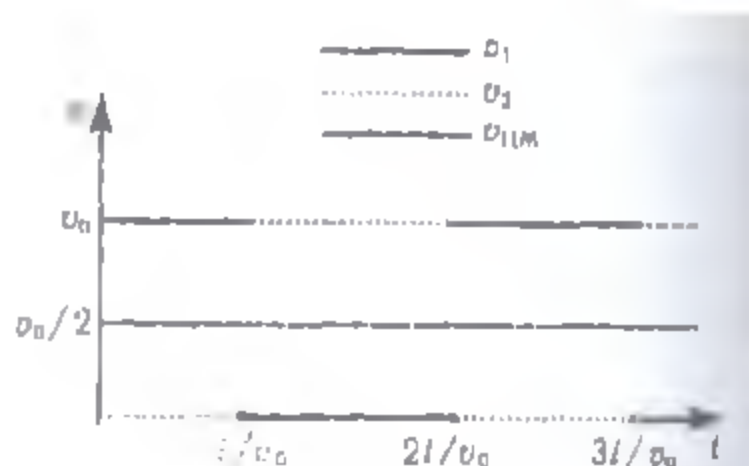
$$2.97. v = 2,43 \text{ м/с}; T = 0 \text{ (ең жоғарғы нүктесінде)}, T = 39,2 \text{ (ең төменгі нүктесінде)}.$$

$$2.98. m = 0,5 \text{ кг.}$$

$$2.99. T = 1,96 \text{ Н.}$$

$$2.100. k = 0,2.$$

$$2.104. h = \frac{2}{3} R.$$



140-сурет.

$$2.101. \text{ а) } R = 1600 \text{ м; б) } R = 711 \text{ м.}$$

$$2.102. \alpha = 22^\circ.$$

$$2.103. v = \sqrt{\frac{m}{M}} gR$$

$$2.105. u = \frac{d^2}{D} \sqrt{\frac{8F}{\pi \rho (D^4 - d^4)}}.$$

$$2.106. N_1 = M\omega^2 L;$$

$$N_2 = \omega^2 L \left(M + \frac{m}{2} \right).$$

$$2.107. T = \frac{M\omega^2}{2L} (L^2 - x^2) \text{ (141-сурет).}$$

$$2.108. N = m(2\pi n)^2 \cdot R = 0,4 \text{ Н};$$

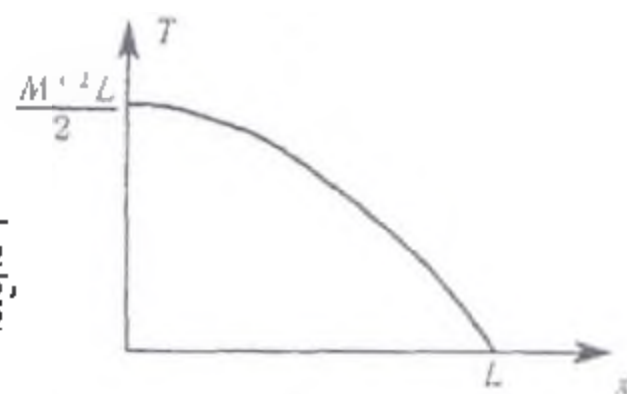
$$H = R(1 - g/(2\pi n)^2 \cdot R) = 1 \text{ м.}$$

$$2.109. T = 2\pi \sqrt{R \operatorname{tg} \alpha / (a + g)}.$$

$$2.110. n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\left(\frac{2\pi T}{m} - \frac{g}{k} \right) \frac{1}{R}} = 5,8 \text{ айн/с.}$$

$$2.111. v_1 = \omega r_1 = 2r_1 \sin \frac{\alpha}{2} \sqrt{g \frac{m_1 r_1 + m_2 r_2}{m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2}},$$

$$v_2 = \omega r_2 = 2r_2 \sin \frac{\alpha}{2} \sqrt{g \frac{m_1 r_1 + m_2 r_2}{m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2}}.$$



141-сурет

$$2.112. T = m \cdot l \cdot n^2 = 90 \text{ Н.}$$

$$2.113. T = \frac{\pi d^2}{4} \rho v^2.$$

$$2.114. R = \frac{R_0}{1 - m\omega^2/4\pi^2 k}, \text{ егер } \omega < 2\pi\sqrt{k/m} \text{ болса; ал } \omega > 2\pi\sqrt{k/m}$$

болғанда сақина тпексіз созылады.

$$2.115. \omega_1 = 0, \text{ егер } \varepsilon > kg/r \text{ болса; } \omega_1 = (kg^2/r^2 - \varepsilon^2)^{1/4}, \text{ егер } \varepsilon < kg/r \text{ болса.}$$

2.116. Үстелмен байланысты инерциясыз жүйедегі денелер үшін қозғалыс (тыныштық) теңдеуін жазамыз:

$$OY: N - MW - Mg = 0, \quad ma_{\text{сал}} = mg - T - (-mW),$$

mW – инерциялық күш, $a_{\text{сал}}$ – столмен салыстырғандағы жүктердің үдеуі.

$$OX: Ma_{\text{сал}} = T.$$

Осы теңдеулерді шешіп, мынаны табамыз:

$$a_{\text{сал}} = \frac{m(g+W)}{m+M}, \quad T = \frac{mM}{m+M} (W + g).$$

$$2.117. a_{\text{сал}} = \frac{m(g-M)}{m+M}, \quad T = \frac{mM}{m+M} (g - W).$$

$$2.118. a_{\text{сал}} = \frac{m\sqrt{W^2 + g^2} + MW}{m+M}, \quad T = \frac{mM}{m+M} (\sqrt{W^2 + g^2} - W).$$

$$2.119. a_{\text{сал}} = \frac{(M-m)(g+M)}{m+M}, \quad T = \frac{2mM}{m+M} (g + W); \quad F_{\text{ось}} = 2T.$$

$$2.120. a_1 = g \frac{2m_2 m_3}{m_1(m_2 + m_3) + 4m_2 m_3}; \quad a_2 = g \frac{m_1(m_3 - m_2) - 4m_2 m_3}{m_1(m_2 + m_3) + 4m_2 m_3};$$

$$a_3 = g \frac{m_1(m_3 - m_2) + 4m_2 m_3}{m_1(m_2 + m_3) + 4m_2 m_3}; \quad T_1 = g \frac{2m_1 m_2 m_3}{m_1(m_2 + m_3) + 4m_2 m_3}; \quad T_2 = \frac{1}{2} T_1.$$

2.121. $l = \frac{kl_0 - Mg \cos \alpha}{k - M\omega^2 \sin^2 \alpha}$. Егер мына шарттар орындалса, $kl_0 > Mg \cos \alpha$

немесе $\omega < \frac{1}{\sin \alpha} \sqrt{\frac{k}{M}}$. Муфтаның осы күйі орнықты болатындығын көрсету керек.

2.122. $a_{\text{сип}} = at^2 \omega^2 + 4at\omega$.

2.123. $A = \frac{m\omega^2}{2} (R_2^2 - R_1^2) = 1,5 \text{ Дж.}$

2.124. а) $\vec{v}' = \frac{1}{2} (\vec{r} \times \vec{\omega})$; б) $\vec{v} = \frac{1}{2} (\vec{r} \times \vec{\omega})$.

2.125. $a_1 = \frac{(m_1 - m_2)g + m_2 a}{m_1 + m_2}$; $F_{\text{ик}} = \frac{m_1 m_2 (2g - a)}{m_1 + m_2}$.

2.126. $P = \frac{4m_t}{\pi^2 d^2 R^2 \rho}$.

2.127. $G = \frac{3g}{4\pi\rho R} = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$.

2.128. Жерден $r = 3,4 \cdot 10^3 \text{ км}$ қашықтықта.

2.129. $v_1 = \sqrt{GM/R} = \sqrt{gR} = 7,9 \text{ км/с.}$

2.130. $v_2 \geq \sqrt{2gR} = 11,2 \text{ км/с.}$

2.131. $v = 30 \text{ км/с.}$

2.132. $T = \sqrt{3\pi/G\rho}$, Жер үшін $T = 1,41 \text{ сағ.}$

2.133. $a_n = 9,2 \text{ м/с}^2$.

2.134. $h = 35800 \text{ км.}$

2.135. Планета центрінен r қашықтықта ($r \leq R$) массасы dm кішкене элементті бөліп аламыз. Осы массаға Жердің бетіндегі dm_1 және dm_2 массалардың әсер ететін тарту күштерін қарастырамыз (142-сурет).

$$F_1 = G \frac{dm \cdot dm_1}{r_1^2}; \quad F_2 = G \frac{dm \cdot dm_2}{r_2^2};$$

$dm_1 \sim dS_1$ – алшақтау бұрышы $d\Omega$ болатын конустық бетпен қиылған беттің ауданы, ал $dm_2 \sim dS_2$. Сонда $F_1 \sim \frac{dS_1}{r_1^2}$, және $F_2 \sim \frac{dS_2}{r_2^2}$, бірақ

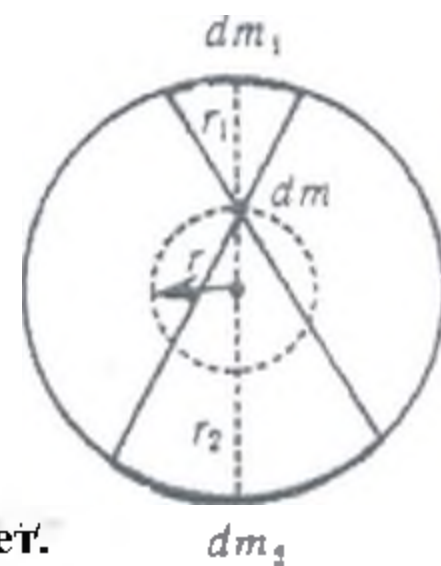
$$\frac{dS_1}{r_1^2} = \frac{dS_2}{r_2^2} = d\Omega - \text{денелік бұрыш.}$$

Демек, радиусы r сферадан тыс шоғырланған массалар «бөліп» алған dm массасының гравитациялық тартылысын өзара теңгеретін болады. Тек осы радиусы r сфераның ішіндегі массалар ғана dm «сынақ» массасына әсер етеді.

$$F = G \frac{Mm}{r^2}; \quad m = \rho V = \rho \frac{4}{3} \pi r^3;$$

$$\vec{F} = G \frac{M4\pi r}{3} \vec{r}; \quad g_r = \frac{4\pi\rho G}{3} r = g \frac{r}{R} \quad (143\text{-сурет});$$

$$F = -\frac{\partial W_{\text{п}}}{\partial r}; \quad W_{\text{п}} = -G \frac{2\pi M\rho}{3} r^2.$$



142-сурет.

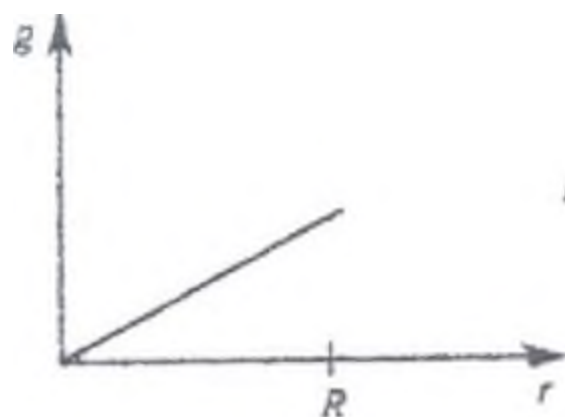
$$2.136. T = 2\pi\sqrt{R^3/G(m_1 + m_2)}.$$

$$2.137. W_{\Pi} = 2W_K.$$

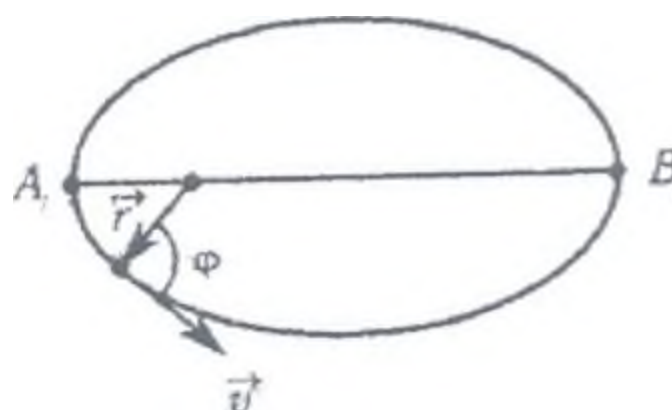
$$2.138. V_A = v(2GM/rv^2 - 1); R = r/(2GM/rv^2 - 1);$$

M – Жердің массасы.

2.139. Импульс моментінің сақталу заңынан: $v \cdot r \cdot \sin\varphi = \text{const}$, $v = \frac{\text{const}}{r \sin\varphi}$, $r \sin\varphi$ – A нүктесіндегі кіші, ал B нүктесінде ең үлкен шамасында болады. Демек, v_A – ең үлкен де, ал v_B – ең кіші (144-сурет).



143-сурет



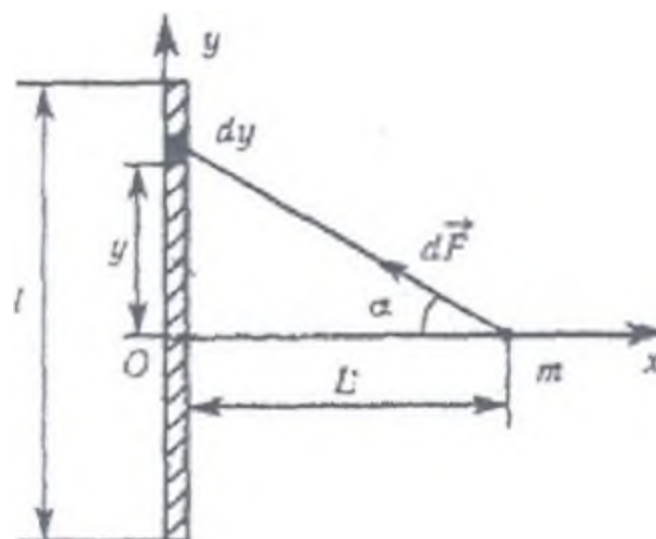
144-сурет

2.140. Біртекті сұйыққа қарағанда, көпіршіктің маңындағы тартылу өрісі кем. Көпіршік маңайындағы сұйық кемірек сығылған. Сондықтан ауа көпіршіктері бір-біріне жақындауға тырысады. Ауа көпіршіктерінің бір-біріне тартылуын көпіршік көлеміндегі судың массасына тең болатын екі теріс массалардың тартылуы түрінде елестетуге болады:

$$F = G \left(\frac{4}{3} \pi \rho \right)^2 \frac{r^6}{R^2}.$$

2.141. Білікше бойынан ұзындығы dy және массасы dM болатын элементті бөліп аламыз (145-сурет). Массасы m бөлшекті dM массасы-ның тарту күші:

$$dF = G \frac{m \cdot dM}{y^2 + L^2}.$$



145-сурет.

Осындай элементар тарту күштерінің Oy осіне проекцияларының қосындысы нольге тең болатындығы (жоғары-төмен симметрия), ал Ox осіне проекциялары шынайы тарту күштерін беретіндігі белгілі, яғни:

$$\begin{aligned} F &= \int dF_x = \int dF \cos \alpha = \\ &= \int G \frac{m dM}{y^2 + L^2} \cdot \frac{L}{\sqrt{y^2 + L^2}} = G \cdot L \cdot m \int \frac{dM}{(y^2 + L^2)^{3/2}}; \end{aligned}$$

$$dM = \frac{M}{l} dy;$$

$$F = 2G \frac{lm}{l} M \int_0^{l/2} \frac{dy}{(y^2 + L^2)^{3/2}} = 2G \frac{mM}{lL} \int_0^{\arctg \frac{l}{2L}} \cos \alpha d\alpha = 2G \frac{mM}{lL} \cdot \frac{y}{\sqrt{y^2 + L^2}} \Big|_0^{l/2} \\ = G \frac{mM}{L} \cdot \frac{1}{\sqrt{L^2 + l^2/4}}.$$

Интеграл $y = Ltga$ тендеуін қолдану арқылы алынады. $L \gg l$ болғанда $F \approx G \frac{Mm}{L^2}$.

2.142. $F = G \frac{Mm}{2\sqrt{5}a^2}$

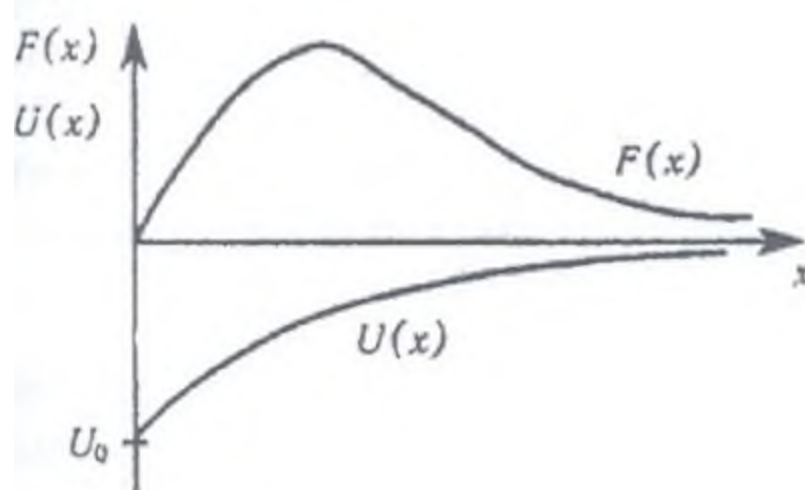
2.143. 2.141. есебінің шешімін пайдаланып, сақина бойымен интеграциялап, мынаны аламыз (146-сурет):

$$F(x) = 2\pi^2 G m \rho r^2 R \cdot \frac{x}{(x^2 + R^2)^{3/2}}; \\ U(x) = - \int_0^x F(x) dx = - \frac{2\pi^2 G \cdot m \rho r^2 R}{(x^2 + R^2)^{1/2}}; \quad U_0 = -2\pi^2 G m \rho r^2.$$

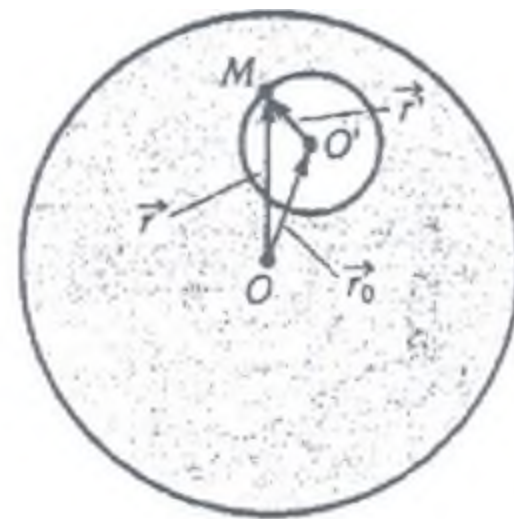
2.144. Нұсқау: диск ауданын ені көлденеңі dr -ға тең сақиналарға бөлу керек, осындай сақинаның тарту күшіне косатын үлесін тауып, r бойынша интеграциялдау қажет.

а) $F = 2\pi G m \sigma (1 - x/\sqrt{x^2 + R^2})$;

б) $U(x) = -2\pi G m \sigma [x + R - \sqrt{x^2 + R^2}]$.



146-сурет



147-сурет

2.145. а) $F = 2Gm\lambda/x$; б) $M = 2\lambda x$.

2.146. 2.135-тен мына тендеу алынады: $g_r = g \frac{x}{R}$, $\vec{F} = G \frac{mMx}{R^3}$.

2.147. $F = GmM/2R^2$.

2.148. Ойша қуысты қорғасын массасымен толтырамыз, ал бастапқы жағдай өзгермеу үшін массасы қосылған қорғасынның массасына тең болатын «теріс» массалы зат (антизат) қосамыз. Сонда қуыстағы гравитациялық өріс кез-келген M нүктеде қорғасынның өз массасымен және антизат массасымен жасалынады (147-сурет), яғни:

$$\begin{aligned}\vec{W} &= \vec{W}_3 + \vec{W}_{\text{анти}}; \\ \vec{W}_3 &= G \frac{4\pi}{3} \rho_3 \cdot \vec{r}; \quad \vec{W}_{\text{анти}} = G \frac{4\pi}{3} \rho_{\text{анти}} \cdot \vec{r}'; \\ \rho &= \rho_3 = -\rho_a; \quad \vec{W} = G \frac{4\pi}{3} \rho (\vec{r} - \vec{r}') = G \frac{4\pi}{3} \rho \vec{r}_0.\end{aligned}$$

2.149. $\vec{g}(\vec{r}) = 2\pi G \rho_0 \vec{e}_r$.

2.150. «Толтыру» әдісін және суперпозиция принципін пайдаланып (2.148-ті қараңыз), мынаны табамыз:

$$a = \frac{G\rho}{(x+R)^2} \frac{4\pi}{3} R^3 \left[1 - \left(8 + \frac{2R}{x+R} \right)^{-2} \right].$$

2.151. $\frac{R_1}{R_3} = \sqrt[3]{\frac{gT^2}{9\pi^2 R_3}}, \quad \omega_{\text{сп}} > \frac{2\pi}{T}; \quad \frac{R_2}{R_3} = \sqrt[3]{\frac{gT^2}{\pi^2 R_3}}, \quad \omega_{\text{сп}} < \frac{2\pi}{T}.$

2.152. $r = \sqrt[3]{GM(T/2\pi)^2} = 4,2 \cdot 10^4$ км, мұндағы M және T – Жердің массасы және оның өз осінен айналу периоды; 3,1 км/с; 0,22 м/с².

2.153. $\vec{v} = -\vec{u} \ln(m/m_0).$ **2.154.** $m = m_0 e^{-\omega t/u}.$

2.155. $\vec{v} = \frac{\vec{F}}{\mu} \ln \frac{m_0}{m_0 - \mu t}; \quad \vec{\omega} = \frac{\vec{F}}{m_0 - \mu t}.$

2.156. Төмен түсіп келе жатқан аэростатқа мынадай күштер әсер етеді: көтергіш күш F_1 (жоғары қарай), ауаның, кедергі күші F_2 (жоғары қарай) және аэростаттың ауырлық күші F_3 (төмен қарай). Аэростаттың қозғалысы бірқалыпты болғандықтан, Ньютонның бірінші заңы бойынша тең әсерлі күш нольге тең болады, яғни

$$F_1 + F_2 = F_3. \quad (1)$$

Балласты (әуеде ұшу аппаратының ұшу биіктігін тәртіптейтін жүк) лақтырып тастағанда аэростат та жоғары көтеріле бастайды, осыған қарай (1) тендеудің орнына мынаны аламыз:

$$F_1 = F_2 + (F_3 - F_x) \quad (2)$$

(1) және (2) тендеулерді бірге шешіп, алатынымыз $F_x = 2(F_3 - F_1)$. Бізде $F_3 = 1600$ кГ = 1600·9,81 Н, $F_x = 1200$ кГ = 1200·9,81 Н. Онда $F_x = 7,85 \cdot 10^3$ Н = 800 кГ.

2.157. 1) Жоғары қарай көтерілетін жүкке екі күш әсер етеді: төмен қарай бағытталған жүктің салмағы P және жоғары бағытталған жіптің керілу күші T . Жоғары көтерілетін жүкке Ньютонның екінші заңын колдана отырып, $ma = T - P$ екенін табамыз, бұдан іздеп отырған жіптің керілу күші

$$T=ma+P=m(a+g) \quad (1)$$

Бізде $m = 1$ кг, $a = 5$ м/сек² және $g = 9,81$ м/сек². Осы берілгендерді (1) теңдеуге қойып, мынаны табамыз: $T = 14,8$ н = 1,51 кГ.

2) Төмен қарай түсетін жүкке ауырлық күші P (төмен қарай) мен жіптің керілу күші T (жоғары қарай) әсер етеді. Сондықтан, $ma = P - T$, бұдан:

$$T = m(g-a) \quad (2)$$

Егер жүк төмен қарай g үдеуімен түссе (жүктің еркін төмен түсуі), яғни егер $a = g$ болса, онда біздің күткеніміздей жіптің керілуі нольге тең болады. Берілген сан мәндерді (2)-ге қойып, мынаны аламыз: $T = 4,8$ Н = 0,49 кГ.

2.158. $a = 1,25$ м/сек².

2.159. 1) $a = 4,9$ м/сек² (лифт жоғары көтеріледі);

2) $a = 2,45$ м/сек² (лифт төмен түседі).

2.160. $a_2 = 13,8$ м/сек².

2.161. $F = 2,77 \cdot 10^4$ Н.

2.162. 1) $F = 3000$ Н; 2) $F = 3,0 \cdot 10^4$ Н; 3) $F = 3,0 \cdot 10^5$ Н.

2.163. $v_0 = 11,75$ м/сек.

2.164. Ньютонның екінші заңы бойынша $F = ma$, бірақ $a = \frac{dv}{dt}$. Бізде

$$v = \frac{ds}{dt} = -B + 2Ct - 3Dt^2, \text{ олай болса, } a = \frac{dv}{dt} = 2C - 6Dt.$$

Сонда

$$F = ma = m(2C - 6Dt) = 0,5(10 - 6t) \text{ Н} \quad (1)$$

(1) теңдеу F күшінің t уақытқа тәуелділігін көрсетеді. Бірінші секундтың аяғында $F = 2$ Н болады.

2.165. $F\Delta t = 5,6 \cdot 10^{-23}$ Н·сек.

2.166. 0,51 сек.

2.167. $F = 86$ Н.

2.168. 1) $v_{\max} = 21,6$ км/сағ; 2) $t = 73$ сек, $a = -0,098$ м/с²; 3) $s = 218$ м.

2.169. 1) $F_1 = 980$ Н; 2) $F_2 = 3000$ Н.

2.170. $\alpha = 14^\circ$.

Н ұ с қ а у: Тең әсерлі ауырлық күші мен инерция күшінің сұйықтың бетіне перпендикуляр бағыта болатынын ескеру керек.

2.171. $\alpha = 6^\circ 30'$.

2.172. $k = 0,15$.

2.173. Арканның ұзындық бірлігіндегі салмағын P_0 арқылы белгілейміз. Онда арканның төмен салбыап тұратын бөлігі $P_1 = P_0 \cdot 0,25l$ болады. Бұл салмақ арканның стол үстінде жатқан бөлігіне әсер ететін үйкеліс күшімен теңгеріледі, $F = k P_0 \cdot 0,75l$. $P_0 \cdot 0,25l = k P_0 \cdot 0,75l$, бұдан $k = 0,25/0,75 = 0,33$.

2.174. $F = 2370$ Н.

2.175. 1) $k \leq 0,07$; 2) $a = 0,39$ м/с²; 3) $t = 22,7$ сек; 4) $v = 8,85$ м/с.

2.176. $k = \operatorname{tg} \alpha - \frac{v^2}{2gs \cos \alpha} = 0,2$. 2.177. $k = 0,5$.

2.178. 10 есе. 2.179. 1) $A_1 = 21,0$ Дж; 2) $A_2 = 64,0$ Дж. 2.180. $k = 0,01$.

2.181. $v \leq 50$ км/сағ.

2.182. $k = 0,05$. 2.183. $A = 35,6$ Дж. 2.184. $m = 0,06$ кг.

2.185. $W_k = W_n = 98,1$ Дж. 2.186. $W_k = 32,2$ Дж; $W_n = 39,4$ Дж.

2.187. $t = 1,5$ сек; $s_x = 19,1$ м. 2.188. $a_t = 0,1$ м/с².

2.189. $k = 0,07$. 2.190. 1) $k = 0,22$. 2) $Q = 5,7$ Дж.

2.191. 1) $A = 7 \cdot 10^6$ Дж; 2) $N = 29,4$ кВт.

2.192. Автомобильдің двигателімен өндірілген қуатты мына формуламен анықтауға болады:

$$N = Fv = kPv.$$

- 1) Автомобильдің горизонталь жолмен қозғалған кезінде: $N = kPv = 6,9$ кВт.
- 2) Тауға қарай қозғалған кезде автомобильге үйкеліс күші мен ауырлық күшінің жолға параллель болатын құраушысын жеңуге тура келеді, яғни $F = P(k \cos \alpha + \sin \alpha)$. Олай болса, $N = Pv(k \cos \alpha + \sin \alpha)$. Бізде $\sin \alpha = 0,05$. α -ның өте кішкене болатындығына байланысты $\cos \alpha \cong 1$ деп алуға болады, онда $N = 11,8$ кВт.
- 3) Автомобиль таудан төмен қарай қозғалған кездегі двигателінің өндірген қуаты $N = Pv(k \cos \alpha - \sin \alpha) = 1,98$ кВт-қа тең болады.

2.193. Автомобиль таудың басынан төмен қарай, сөндірілген мотормен тұрақты жылдамдықпен қозғалу үшін үйкеліс күші ауырлық күшінің жолға параллель болатын құраушысына тең болу керек, яғни $kmg \cos \alpha = \operatorname{tg} \alpha$, бұдан $k = \operatorname{tg} \alpha$. Тауға қарай қозғалған автомобильдің өндіретін қуаты мына формуламен анықталады: $N = Fv = Pv(k \cos \alpha + \sin \alpha)$. Осы формулаға $k = \operatorname{tg} \alpha$ қойып, мынаны аламыз: $N = Pv 2 \sin \alpha = 11,8$ кВт.

2.194. $v = 0,6$ м/с.

2.195. 1) $v = 17,8$ км/сағ; 2) $v = 53,5$ км/сағ; 1) $v = -17,8$ км/сағ. «-» таңбасы вагонның аз жылдамдықпен снарядқа қарсы бағытта қозғала беретіндігін көрсетеді.

2.196. 1) 0,67 м/с; 2) 0,83 м/с; 3) 0,5 м/с. 2.197. $s =$ м.

2.198. $W_k = 49$ Дж. 2.199. $\Delta t = 0,58$ с. 2.200. $F = 20$ Н.

2.201. 1) 284 м; 2) 71 м; 3) 1770 м. 2.202. $W_k = 1,5 \cdot 10^5$ Дж.

2.203. 1) $v_1 = v_2 = 1,8$ м/с; 2) $v_1 = 0,6$ м/с және $v_2 = 2,6$ м/с.

§ 3. Қатты денелердің айналмалы қозғалысы

3.1. $J = 9,7 \cdot 10^{27} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; $L = 7 \cdot 10^{33} \text{ кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}$.

3.7. а) $J_1 = 63,5 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; б) $J_2 = 62,5 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; в) $\delta = 1,6 \%$.

3.8. $m = 2(F \cdot R - M)/\varepsilon R^2 = 7,36 \text{ кг}$. 3.9. $\varepsilon = 2,35 \text{ рад/с}^2$.

3.10. $M = 100 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

3.11. Екі гирге әсер ететін керілген жіптің реакция күштерінің әртүрлі екендігін ескере отырып, блок үшін гирлердің қозғалысының теңдеуін жазамыз:

$$\begin{cases} m_1 a = m_1 g - T_1 \\ m_2 a = T_2 - m_2 g \\ J \cdot \varepsilon = (T_1 - T_2) R, \end{cases}$$

$\varepsilon = a/R$, $J = mR^2/2$ – блоктың инерция моменті, m – оның массасы.

Теңдеулер жүйесін шешеміз, сонда:

$$a = \frac{(m_1 - m_2)g}{m_1 + m_2 + J/R^2} = 2,8 \text{ м/с}^2;$$

$$T_1 = \frac{m_1 g (2m_2 + J/R^2)}{m_1 + m_2 + J/R^2} = 14 \text{ Н}; \quad T_2 = \frac{m_2 g (2m_1 + J/R^2)}{m_1 + m_2 + J/R^2} = 12,6 \text{ Н};$$

3.12. $\varepsilon = \frac{|m_1 - m_2|}{(m_1 + m_2 + J/R^2)R}$.

3.13. 3.11. есептің шешіміне ұқсас.

$$a = \frac{2mg}{m_0 + 2m} = 3 \text{ м/с}^2.$$

Есепті механикалық энергияның сақталу заңын пайдаланып шешеміз.

$$mgh = \frac{mv^2}{2} + \frac{J\omega^2}{2},$$

h – жүктің төмен түсу биіктігі, v – осы биіктіктегі жүктің жылдамдығы, $\omega = v/R$, $J = m_0 R^2/2$.

$h = at^2/2$, $v = at$ деп есептеу керек.

Осының бәрін сақталу заңына қойып, нақ сондай жауап аламыз.

3.14. $J = 9,5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$. 3.15. $t = 1,1 \text{ с}$; $W_k = 0,81 \text{ Дж}$; $T = 4,1 \text{ Н}$.

3.16. $a = 3,53 \text{ м/с}^2$; $T_1 = 6,3 \text{ Н}$; $T_2 = 4,5 \text{ Н}$.

3.17. Дисктің кинетикалық энергиясы ілгерлемелі қозғалыстың энергиясы мен айналмалы қозғалыстың кинетикалық энергияларының қосындысынан тұрады:

$$W_k = \frac{mv^2}{2} + \frac{J\omega^2}{2} = \frac{3mv^2}{4} = 24 \text{ Дж}.$$

3.18. $W_k = 0,1 \text{ Дж}$. 3.19. $Q = 2,51 \text{ мДж}$. 3.20. $s = 4,1 \text{ м}$.

3.21. Механикалық энергияның сақталу заңынан (3.13 есепті қараңыз) мынаны табамыз:

$$mgl \sin \alpha = \frac{v^2}{2} (m + J/R^2).$$

Қозғалыстың кинематикасын ескере отырып:

$$a = \frac{mg \sin \alpha}{m + J/R^2}.$$

Шар, обруч және диск үшін инерция моменттерінің мәндерін қойып, мыналарды табамыз:

$$a_1 = 3,5 \text{ м/с}^2, \quad a_2 = 2,44 \text{ м/с}^2, \quad a_3 = 3,27 \text{ м/с}^2.$$

$$3.22. v = \sqrt{\frac{2mgh}{m + J/R^2}}; \quad v_1 = 2,65 \text{ м/с}; \quad v_2 = 2,56 \text{ м/с}; \quad v_3 = 2,21 \text{ м/с}.$$

$$3.23. a = 2/3 g \sin \alpha.$$

$$3.27. \cos \alpha > r/R.$$

$$3.25. t = \omega R/(g \cdot k); \quad N = \omega^2 R/(4\pi g k).$$

$$3.28. t = v/kg.$$

$$3.26. v = \sqrt{gl(\sin \alpha - 2k \cos \alpha)}.$$

$$3.29. n = mgl^2/(l^2 + 3a^2).$$

3.30. Энергияның сақталу заңынан $\frac{m\omega^2 R^2}{2} + \frac{J\omega^2}{2} = mgh$ h -ты табамыз, содан кейін $l = h/\sin \alpha$ – обручтың жазықтық бойындағы көтерілу ұзындығын табамыз. $l = at^2/2$ және $v = at$ екенін ескеріп, $t = \frac{3}{2} \cdot \frac{\omega R}{g \sin \alpha}$ оңай табуға болады.

$$3.31. t = \omega_0 R/kg, \quad Q/W = 1/2.$$

$$3.32. v = \sqrt{3gh} = 9,5 \text{ м/с}; \quad M = mg\sqrt{gh/3} = 4,7 \cdot 10^2 \text{ кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}.$$

$$3.33. \omega_1 = \omega_2 = 14 \text{ рад/с}^2; \quad v_1 = 1,05 \text{ м/с}; \quad v_2 = 2,10 \text{ м/с}.$$

$$3.34. \alpha = 81^\circ 22'.$$

3.35. Импульс моментінің сақталу заңы мынадай: $J_1 \omega_1 = J_2 \omega_2$;

$$J_1 = mR^2/2 + m_0 R^2, \quad J_2 = mR^2/2; \quad n_2 = n_1 \frac{mR^2 + 2m_0 R^2}{mR^2} = 22 \text{ айн/мин}.$$

$$3.36. A = 162 \text{ Дж}.$$

$$3.40. m_2 = m_1 \sin \alpha / \sin(1/R - \alpha).$$

$$3.37. n_2 = 21 \text{ айн/мин}.$$

$$3.41. T = mg/2 \tan \alpha; \quad T' = mg/2 \sin \alpha;$$

$$3.38. W_{k_2}/W_{k_1} = 1,05.$$

$$3.42. F_A = mg \tan \alpha; \quad F_B = mg$$

$$3.39. A = -mR^2 \omega^2/4.$$

$$\cos 2\alpha / \cos \alpha.$$

$$3.43. k = 1/\sqrt{3}.$$

$$3.44. \begin{cases} F = mg/2, & \alpha = 0 & k \geq 1/2 \text{ болғанда,} \\ F = \frac{mg}{2k} \sqrt{5k^2 - 4k + 1}, \tan \alpha = \frac{1-2k}{k}, & k < 1,2 \text{ болғанда.} \end{cases}$$

$$3.45. \tan \alpha \geq (1 - k_1 k_2)/2k_1.$$

$$3.46. T_n = (2n - 1) mg/\sqrt{3}.$$

$$3.47. k \geq 1/3.$$

$$3.48. F = kmg(\sqrt{2} - 1).$$

$$3.49. \alpha = \arcsin \sqrt[3]{\frac{2a}{l}}; \quad N_{\text{кем}} = mg \sqrt[3]{\frac{l}{2a}}; \quad N_{\text{қаб}} = mg \sqrt[3]{\frac{l^2}{4a^2} - 1}, \quad l > 2a.$$

$$3.50. N_c = N_e = 720 \text{ Н}. \quad N_D = 700 \text{ Н}.$$

3.51. $T = 6,4 \text{ Н}$; $F_{\text{үйк1}} = 13,6 \text{ Н}$; $F_{\text{үйк2}} = 40,8 \text{ Н}$; тыныштық жағдайында.

$$3.52. k = \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha + \frac{2P}{Q} \left(\frac{2h}{l \sin \alpha} - \frac{R}{l \cos \alpha} \right)}.$$

$$3.49. \alpha = \arcsin \sqrt[3]{\frac{2a}{l}}; N_{\text{кем}} = mg \sqrt[3]{\frac{l}{2a}}; N_{\text{каб}} = mg \sqrt{\sqrt[3]{\frac{l^2}{4a^2}} - 1}, l > 2a.$$

$$3.50. N_c = N_e = 720 \text{ Н}. N_D = 700 \text{ Н}.$$

3.51. $T = 6,4 \text{ Н}$; $F_{\text{үйк1}} = 13,6 \text{ Н}$; $F_{\text{үйк2}} = 40,8 \text{ Н}$; тыныштық жағдайында.

$$3.52. k = \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha + \frac{2P}{Q} \left(\frac{2h}{l \sin \alpha} - \frac{R}{l \cos \alpha} \right)}.$$

§ 4. Газдар мен сұйықтардың механикасы

4.1. $h = H/2$. Нұсқау: аққан сұйықтың жылдамдығы үшін Торичелли формуласын жазу керек.

$$4.3. v = 0,12 \text{ м/с}.$$

4.4. S_1 – көлденең ыдыстың ауданы және v_1 – осы ыдыстағы су ағынының жылдамдығы (ыдыстағы су деңгейінің төмендеу жылдамдығы), S_2 – тесіктің көлденең қимасының ауданы және v_2 – тесіктен ағатын судың жылдамдығы деп белгілейміз. Бернулли теоремасы бойынша:

$$\frac{\rho v_1^2}{2} + pgh = \frac{\rho v_2^2}{2} \text{ немесе } v_1^2 + 2gh = v_2^2 \quad (1)$$

Ағынның үзіліссіздігіне байланысты $v_1 S_1 = v_2 S_2$ немесе

$$v_1 = v_2 S_2 / S_1. \quad (2)$$

(2) теңдеуді (1) теңдеуге қойып, $v_1 = S_2 \sqrt{2gh} / \sqrt{S_1^2 - S_2^2}$ аламыз. $S_1 = \pi D^2/4$ және $S_2 = \pi d^2/4$ екендігін ескеріп, $v_1 = d_2 \sqrt{2gh} / \sqrt{D^4 - d^4}$ аламыз. $d^4 \ll D^4$ болғандықтан, шамамен

$$v_1 = (d^2/D^2) \sqrt{2gh}. \quad (3)$$

Егер $d = D$ болса, $v_1 = \sqrt{2gh}$ болады. $h = 0,2 \text{ м}$ болса, $v_1 = 0,8 \text{ м/с}$ болады.

4.5. Екі жағдайда да судың ағыны стол үстіне ыдыстан $l = 0,4 \text{ м}$ қашықтықта түседі.

$$4.6. \text{ а) } v = 0; \text{ б) } v = 1,04 \text{ м/с}; \text{ а) } v = 1,25.$$

4.7. Бактағы судың деңгейінің төмендеуінің жылдамдығы $v_1 = S_2 \sqrt{2gy} / \sqrt{S_1^2 - S_2^2}$ (4.4. шешімін қараңыз). Мұндағы y – бактағы судың деңгейі (айнымалы). dt уақыт ішінде бактағы судың деңгейі мына шамаға төмендейді:

$$dy = v dt = A \sqrt{y} dt, \text{ мұндағы } A = S_2 \sqrt{2g} / \sqrt{S_1^2 - S_2^2} \quad (1)$$

(1)-ден $dt = dy / A \sqrt{y}$ аламыз. Осыдан:

$$t = \frac{1}{A} \int_0^h \frac{dy}{\sqrt{y}}$$

Оқушыларға интеграциялауды ақарына дейін жеткізіп жауабын табу ұсынылады:

$$t = \frac{2\sqrt{h}\sqrt{S_1^2 - S_2^2}}{S_2\sqrt{2g}} = \sqrt{\frac{2h[(S_1/S_2)^2 - 1]}{g}} = 3 \text{ мин.}$$

Егер бактағы судың деңгейі $h = 1$ м биіктікте тұрақты ұсталынатын болса, осы көлемдегі судың ағып шығуы екі есе кіші болатындығына көз жеткізуге болады.

4.8. $d = 1,4$ см.

4.12. $F/mg = 3$.

4.9. $P = 250$ кПа.

4.13. $v = 4,1$ м/с.

4.10. $v = 1,4$ м/с.

4.14. $\eta = 2$ Па·с.

4.11. $\Delta h = 1,6$ мм.

4.15. $\Delta T = 4$ мин.

4.16. $\eta = 1,09$ Па·с, $\nu = 12,1$ см²/с.

4.17. Ыдыстағы кастор майы деңгейінің төменделу жылдамдығы майдың капилляр арқылы өту жылдамдығына тәуелді. Капилляр арқылы t уақытта өтетін кастор майының көлемі Пуазейл формуласы арқылы анықталады:

$$V = \frac{\pi r^4 t \Delta P}{8l\eta}. \quad (1)$$

Капилляр ұштарындағы қысымдардың айырмашылығы сұйық қабатының гидростатикалық қысымына байланысты, яғни:

$$\Delta P = \rho gh. \quad (2)$$

Басқа жағынан алғанда:

$$V = S'v't = \pi r^2 v't, \quad (3)$$

мұндағы v' – капилляр арқылы өтетін майдың жылдамдығы. (1) - (3) формулаларынан мынаны табамыз: $v' = r^4 \rho gh / 8l\eta R^2$. Бірақ $v' S' = v S$ болғандықтан (мұндағы v – ыдыстағы майдың деңгейінің төмендеуінің жылдамдығы және S – ыдыстың көлденең қимасының ауданы), түптеп келгенде, мынаны аламыз: $v = r^4 \rho gh / 8l\eta R^2$. $h = 0,26$ м болса, жылдамдық $v = 3 \cdot 10^{-5}$ м/с болады.

4.18. $t = 1,5$ мин.

4.19. $l = 1,1$ см.

4.20. $D = 4,6$ мм.

4.21. Рейнольдс саны $Re = 1800$, яғни $Re < 3000$ – ламинарлық қозғалыс.

4.22. $D \leq 0,085$ м.

$$4.23. \sigma = \frac{(R-\Delta)^2}{R^2-(R-\Delta)^2}.$$

$$4.25. m = \frac{1}{3}\pi R^3 \rho.$$

4.26. $P(x)$ қысымын мына шарт арқылы табуға болады: бөліп алынған жіңішке цилиндрлік көлемнің ішкі табанына түсетін қысым күші $m\omega^2 y$, мұндағы y – цилиндрдің центрінен айналу осіне дейінгі қашықтық, m – бөліп алынған көлемнің массасы:

$$P(x) = \frac{1}{2}\rho\omega^2 \left[(R-x)^2 - \frac{1}{4}R^2 \right].$$

$$4.27. y = \frac{1}{2} \frac{\omega^2}{g} x^2.$$

$$4.28. F = \frac{4}{3}\pi r^3 (R-r)\rho\omega^2.$$

$$4.29. a = g(s/S)^2.$$

$$4.30. R = rR_0/(R_0 - r), \quad \alpha = 120^\circ.$$

II – Тарау

Молекулалық физика және термодинамика

§ 5. Молекула-кинетикалық теория

$$5.1. p_0 = \frac{p(h-\Delta l)(h+\Delta l)}{2h\Delta l}; \quad p = \rho g l; \quad h = (L-l)/2.$$

$$5.2. \eta = \frac{m_1\mu_2}{m_1\mu_2 + m_1\mu_2} = 0,8.$$

$$5.3. p = \frac{p_1V_1 + p_2V_2 + p_3V_3}{V_1 + V_2 + V_3}.$$

$$5.4. \Delta N = N_A \frac{V}{R} \left(\frac{p_2}{T_2} - \frac{p_1}{T_1} \right) = 8,6 \cdot 10^{23}.$$

$$5.5. n = \frac{(p_2 - p_1)V}{p_0V_0}.$$

$$5.6. n = \frac{\lg(p/p_0)}{\ln[V/(V+V_0)]}.$$

5.7. Ауа шаригінің қорытқы көтергіш күші шарик көлеміндегі ауа салмағы мен шариктің өзінің салмағының айырмасына тең (шариктегі сутегінің салмағы мен қабығының салмағының айырмасы): $F = m_2g - (m_1g + P)$, мұндағы m_2 – шарик көлеміндегі ауаның массасы, m_1 – шарик көлеміндегі сутектің массасы. $P = 0$ болғандықтан:

$$F = (m_2 - m_1)g = g \frac{pV}{RT} (\mu_2 - \mu_1) = \frac{4\pi r^3}{3} \frac{pq}{RT} (\mu_2 - \mu_1) = 96 \text{ мН.}$$

$$5.8. P_2 = P_1 + g \frac{pV}{RT} (\mu_{He} - \mu_{H_2}) \simeq 1,09 \cdot 10^3 \text{ кг.}$$

$$5.9. P_2 \simeq 80,5 \text{ Н; } T_1 = \frac{\mu_{H_2}}{\mu_{He}} T \simeq 4350 \text{ К.}$$

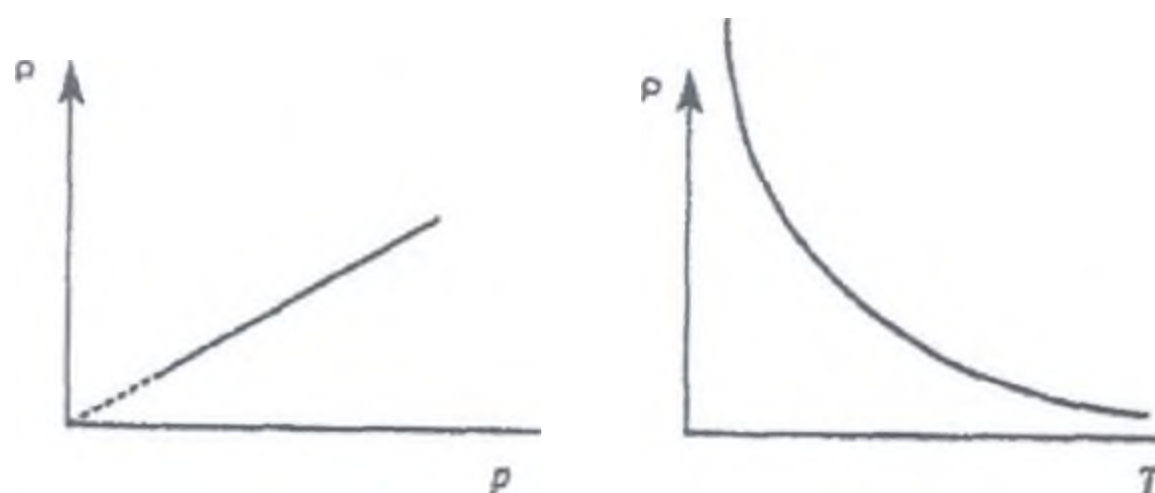
$$5.10. \eta = \frac{2T_2}{T_1 + T_2},$$

$$5.11. p' = p \frac{V_1}{V_1 + V_2} \frac{T_1}{T} \left(1 + \frac{V_2 T_2}{V_1 T_1} \right) = 1,14 \cdot 10^5 \text{ Па.}$$

$$5.12. \rho = 0,081 \text{ кг/м}^3.$$

5.13. $\rho = p\mu/RT$; а) $T = \text{const}$ болғанда $-\rho \sim p$; б) $p = \text{const}$ болғанда $-\rho \sim 1/T$ (148-сурет).

$$5.14. p = 415 \text{ кПа.}$$



148-сурет.

$$5.15. \mu = \frac{m_1 + m_2}{m_1/\mu_1 + m_2/\mu_2} = 4,6 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль; } V = 11,7 \text{ л.}$$

$$5.16. m = 2,5 \text{ кг.}$$

5.17. Егер молекулалар диссоциацияланбаған болса, онда ыдыстағы қысым $p = mRT/\mu V$ болар еді.

Диссоциациядан кейін ыдыста атомарлық йодтың $\nu_1 = 2\alpha m/\mu$ саны, ал молекулярлық йодтың саны $\nu_2 = (1 - \alpha)m/\mu$ болады. Олардың туғызатын қысымы:

$$p_1 = \frac{2\alpha m}{\mu} \frac{RT}{V}, \quad p_2 = \frac{(1 - \alpha)m}{\mu} \frac{RT}{V},$$

Дальтон заңы бойынша:

$$p_k = p_1 + p_2 = \frac{mRT}{\mu V} (1 + \alpha) = p(1 + \alpha),$$

яғни, $1 + \alpha = p_k/p = 1,12$; $\alpha = 0,12$.

$$5.18. \alpha = 20\%.$$

$$5.19. p_k/p = 1,25.$$

$$5.20. \rho = 1,2 \text{ кг/м}^3; p_1 = 21 \text{ кПа; } p_2 = 79 \text{ кПа.}$$

$$5.21. \rho = 1,98 \text{ кг/м}^3.$$

$$5.22. \text{ а) } m_0 = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг; б) } m_0 = 6,65 \cdot 10^{-27} \text{ кг.}$$

$$5.23. T_1 = T \frac{\eta_1(\eta^2-1)}{\eta(\eta_1^2-1)} = 420 \text{ K}.$$

5.24. x – поршендердің ығысуы болсын. Ығысудан кейінгі поршендердің аралығындағы ауаның қысымы:

$$V' = V_0 + x(S_2 - S_1).$$

Бойль-Мариотт заңынан:

$$p_0 V_0 = p' V',$$

мұндағы p' – ығысудан кейінгі поршендердің аралығындағы ауаның қысымы. Стерженнің тепе-теңдік шарты:

$$(p - p') S_1 = (p_0 - p') S_2.$$

Осы екі теңдеуді бірге шешіп, мынаны табамыз:

$$x = \frac{V_0}{S_1 - S_2} \cdot \frac{p - p_0}{p + p_0 S_2 / S_1}.$$

5.25. Поршендердің тепе-теңдік шарты мен Бойль-Мариотт заңы бастапқы күш үшін мынадай теңдеуге әкеледі:

$$F^2 - F(2kl + p_0 S) + p_0 k \cdot l \cdot S = 0$$

және

$$F = kl + p_0 S / 2 - \sqrt{(kl)^2 + (p_0 S / 2)^2} \quad (F \rightarrow 0 \text{ болғанда, } k \rightarrow 0).$$

$$5.26. p = 2 \cdot 10^{-23} \text{ кг} \cdot \text{м} / \text{с}.$$

$$5.28. N = 2 \cdot 10^{27}.$$

$$5.29. n = N_A [2\alpha/\mu + (1 - \alpha/\mu)] = 3,56 \cdot 10^{24} \text{ кг}^{-1}.$$

$$5.30. N = 4,5 \cdot 10^{23}.$$

$$5.31. V = 3,2 \text{ л}; p_1 = 98 \text{ мПа}; p_2 = 35 \text{ мПа}; n = 2,6 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}.$$

$$5.38. c_V = 650 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К}); c_p = 910 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К}).$$

5.39. Атомарлық және молекулярлық оттектің қоспасын қыздыру үшін мынадай жылу мөлшері қажет болады:

$$Q = 2\alpha \frac{m}{\mu} C'_p \Delta t + (1 - \alpha) \frac{m}{\mu} C''_p \Delta t = \frac{m}{\mu} C_p \Delta t,$$

мұндағы C'_p және C''_p – атомарлық және молекулярлық оттектің жылу сыйымдылықтары, C_p – қоспаның жылу сыйымдылығы. Демек,

$$2\alpha C'_p + (1 - \alpha) C''_p = C_p; \quad \alpha = (C_p - C''_p) / (2 C'_p - C''_p);$$

$$C_p = \mu \cdot c_p = 1,05 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К}) \cdot 32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль} = 33,6 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}).$$

$$C'_p = 20,8 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}); \quad C''_p = 29,1 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}); \quad \alpha = 0,36.$$

$$5.40. \alpha = 0,23.$$

$$5.41. c_p = 685 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К}).$$

5.42. Газдың алатын жылу мөлшері: $Q = \frac{m}{\mu} C_p (T_2 - T_1)$, мұндағы $C_p = 29,1 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$ – оттектің молярлық жылу сыйымдылығы. T_2 температурасын қыздырғанға дейінгі және одан кейінгі газ күйлерінің теңдеулері арқылы табамыз:

$$pV_1 = \frac{m}{\mu}RT_1, \quad pV_2 = \frac{m}{\mu}RT_2, \quad \text{осыдан} \quad T_2 = T_1 \frac{V_2}{V_1}.$$

Бірақ $V_1 = mRT_1/\mu p$, сондықтан $T_2 = \mu V_2 p/mR = 1156 \text{ К}$. Сонымен $T_2 - T_1 = 873 \text{ К}$ және $Q = \frac{m}{\mu}C_p(T_2 - T_1) = 7,9 \text{ кДж}$.

Қыздырғанға дейінгі газдың энергиясы мына формуламен анықталады:

$$W_1 = \frac{i}{2} \frac{m}{\mu} RT_1 = 1,8 \text{ кДж},$$

мұндағы $i = 5$ -ке тең, себебі, өйткені оттегі — екі атомды газ. Қыздырғаннан кейінгі газдың энергиясы:

$$W_2 = \frac{i}{2} \frac{m}{\mu} RT_2 = 7,6 \text{ кДж}.$$

5.43. а) $p = \text{const}$ болғанда $Q = mC_p\Delta T/R$. Бірақ $pV_1 = mRT_1/\mu$ және $pV_2 = mRT_2/\mu$, осыдан:

$$p\Delta V = \frac{m}{\mu}R\Delta T, \quad \text{немесе} \quad \frac{m}{\mu}\Delta T = \frac{p\Delta V}{R}.$$

Демек, $Q = C_p p\Delta V/R = 700 \text{ Дж}$.

б) $v = \text{const}$ болғанда, $Q = (m/\mu)C_v\Delta T$. Бірақ $p_1V = mRT_1/\mu$ және $p_2V = mRT_2/\mu$, осыдан:

$$V\Delta p = \frac{m}{\mu}R\Delta T, \quad \text{немесе} \quad \frac{m}{\mu}\Delta T = \frac{V\Delta p}{R}.$$

Демек, $Q = C_v V\Delta p/R = 500 \text{ Дж}$.

5.44. $m = 3,7 \text{ г}$; $\Delta W_0 = 3,3 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$.

5.45. $i = 6$.

5.46. $\sqrt{v^2} = 500 \text{ м/с}$.

5.47. $n = 4,2 \cdot 10^{24} \text{ м}^{-3}$.

5.48. $1,44 \cdot 10^7 \text{ есе}$.

5.49. $m\sqrt{v^2} = \sqrt{3kTm} = 6,3 \cdot 10^{-24} \text{ кг} \cdot \text{м/с}$.

5.50. Газдың ішкі энергиясы мына формуламен анықталады:

$$W = \frac{i}{2} \frac{m}{\mu} RT.$$

Екі атомды газ үшін $i = 5$ -ке тең, оның ішінде $i = 3$ молекулалардың ілгерлемелі қозғалысының үлесіне, ал $i = 2$ — айналмалы қозғалысының үлесіне келеді. Сандық мәндерін қойып мынаны табамыз: $W = 3,7 \text{ кДж}$, және $W_{\text{ілг}} = 2,2 \text{ кДж}$ және $W_{\text{айн}} = 1,5 \text{ кДж}$.

5.51. $W = 750 \text{ Дж}$.

5.52. $T_1 = 2 \cdot 10^4 \text{ К}$; $T_2 = 900 \text{ К}$.

5.54. $p_1 = p_0 \cdot 2^\kappa$, мұндағы $\kappa = 5/3$ — біратомды және $\kappa = 7/5$ — екіатомды газ үшін.

5.55. $\frac{dT}{dh} = -\frac{\mu g}{R} \frac{\kappa - 1}{\kappa}$.

5.58. $\omega = 0,94$.

5.59. $W_{N,n_0}(k) = C_{n_0}^k \cdot C_{N-n_0}^{n_0 k} / C_{n_0}^N$.

k	0	1	2	3	4	5	6
ω	0,436	0,413	0,132	0,0176	$9,69 \cdot 10^{-4}$	$1,84 \cdot 10^{-5}$	$7,16 \cdot 10^{-8}$

5.60. $\omega = N! / [G(G-1) \dots (G-N+1)] = 1/G_G^N$.

5.61. $\omega = \frac{N! G_G^N}{G^N}$.

5.62. $\langle f(x) \rangle = \sum_i f(x_i) \omega(x_i); \sqrt{\langle (x - \langle x \rangle)^2 \rangle} = \sqrt{\langle x^2 \rangle - \langle x \rangle^2}$.

5.63. $\langle x^3 \rangle = (x_1^3 - x_2^3)p + x_2^3$.

5.64. $\langle f(x) \rangle = \int_a^b f(x) \rho(x) dx = \int_a^b f(x) d\omega(x);$

$\sqrt{\langle (x - \langle x \rangle)^2 \rangle} = \sqrt{\langle x^2 \rangle - \langle x \rangle^2}$.

5.65. $d\omega = 3r^2 dr / R^3; \langle r \rangle = \frac{3}{4}R; \sqrt{\langle r^2 \rangle} = \sqrt{3/5} R; R_{1/2} = R/2^{1/3}$.

5.66. $\omega = 1/2^N, 1/4, 1/1024, 10^{-1,8} \cdot 10^{23}$.

5.67. $d\omega(x) = \lambda \exp(-\lambda x) dx; \langle x \rangle = 1/\lambda; \langle x^2 \rangle = 2/\lambda^2. \sqrt{\langle (x - \langle x \rangle)^2 \rangle} = 1/\lambda; \delta x = 1$.

5.68. $T = 83 \text{ K}$.

5.69. Молекулалардың жылдамдық бойынша таралуы мына формуламен беріледі:

$$\frac{\Delta N}{N} = \frac{4}{\sqrt{\pi}} e^{-u^2} u^2 \Delta u, \quad (1)$$

мұндағы u – салыстырмалы жылдамдық. Қарастырып отырған жағдайда $v = 100 \text{ м/с}$ және $\Delta v = 10 \text{ м/с}$. Ең ықтимал жылдамдық $v_{\text{в}} = \sqrt{2RT/\mu} = 376 \text{ м/с}$. Демек, $u = v/v_{\text{в}} = 100/376, u^2 = 0,071, e^{-u^2} = 0,93$ және $\Delta u = 10/376$. Осыдан (1) формула мынадай болады:

$$\frac{\Delta N}{N} = \frac{4}{\sqrt{\pi}} 0,93 \cdot 0,071 \cdot \frac{10}{376} = 0,004 = 0,4\%.$$

Сонымен, жылдамдығы осы интервалда жататын молекулалардың саны барлық молекулалар санының 0,4%-ын құрайды.

5.70. Кез келген газ үшін кез келген температурада $\Delta N_1/\Delta N_2 = 1,1$ болады.

5.71. а) $N_1/N = 57\%$; б) $N_2/N = 43\%$. Осыдан молекулалардың жылдамдықтары бойынша таралу қисықтығының симметриялы емес екенін көреміз.

5.72. $N_x = 1,9 \cdot 10^{22}$.

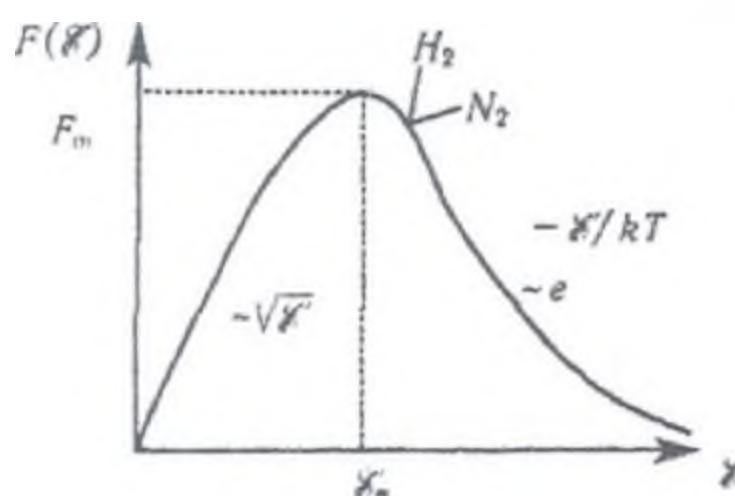
5.73. $P \approx A \exp(-64\alpha) \cdot 4\pi \cdot 64 \cdot 2 \cdot 10^{-4}$.

$$5.74. \eta = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \int_1^{\infty} e^{-u^2} u^2 du.$$

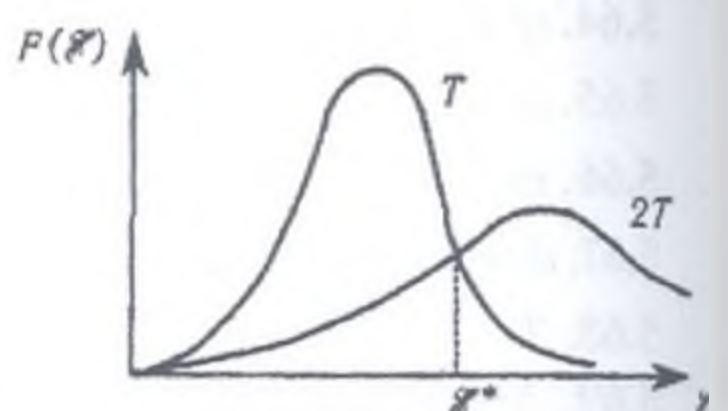
$$5.76. F(\varepsilon) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \exp\left(-\frac{\varepsilon}{kT}\right) \sqrt{\varepsilon}/(kT)^{3/2}; \quad \varepsilon_m = 2kT; \quad F_m = 2\sqrt{\frac{2}{\pi}} e^{-2}/kT$$

(149-сурет).

$$5.77. \varepsilon_0 = \frac{kT}{2}; \quad \langle \varepsilon \rangle = \frac{3}{2} kT; \quad F_0 = 2/(\sqrt{2\pi e} kT); \quad \varepsilon^* = 3kT \ln 2 \quad (150\text{-сурет}).$$



149-сурет



150-сурет

$$5.78. p_2 - p_1 = mgN/S.$$

5.79. Газдың p қысымы h биіктікке байланысты мына заң бойынша азаяды: $p = p_0 \exp(-\mu gh/RT)$. Осы есептің шарты бойынша $p = 67,2$ кПа.

$$5.80. \text{ а) } \rho = 1,28 \text{ кг/м}^3; \quad \text{ б) } \rho = 0,78 \text{ кг/м}^3.$$

$$5.81. \eta = 0,225.$$

$$5.82. n(\vec{r}) = n_0 \exp\left(-\frac{u(\vec{r}) - u(\vec{r}_0)}{kT}\right).$$

$$5.83. d\omega = \frac{dN}{N} = \frac{n(\vec{r}) dx dy dz}{\int_{(V)} n(\vec{r}) dx dy dz}.$$

$$5.84. d\omega = \frac{\exp(-u(\vec{r})/kT) dV}{\int_{(V)} \exp(-u(\vec{r})/kT) dV}.$$

$$5.85. n(h) = n_0 \exp\left(-\frac{mgh}{kT}\right); \quad p(h) = p_0 \exp\left(-\frac{mgh}{kT}\right); \quad p_0 = nkT.$$

5.86. Барометрлік формула:

$$p = p_0 \exp(-\mu gh/RT). \quad (1)$$

Концентрациясы (көлем бірлігіндегі бөлшектер саны):

$$n = p/kT. \quad (2)$$

(2)-ші тендеуді (1)-ге қойып h_1 және h_2 биіктіктері үшін мына формулаларды табамыз:

$$n_1 = n_0 \exp(-\mu gh_1/RT), \quad n_2 = n_0 \exp(-\mu gh_2/RT);$$

осыдан

$$\frac{n_1}{n_2} = \exp\left(-\frac{\mu g(h_1 - h_2)}{RT}\right) = \exp\left(\frac{\mu g(h_2 - h_1)}{RT}\right),$$

немесе

$$\ln \frac{n_1}{n_2} = \frac{mg(h_2 - h_1)}{RT}. \quad (3)$$

Бөлшектің массасы $m = \mu/N_A$ болғандықтан, (3) формуланы былай деп жазуға болады:

$$\ln \frac{n_1}{n_2} = \frac{N_A mg(h_2 - h_1)}{RT},$$

Архимед заңына түзету енгізіп, мына формуланы аламыз:

$$N_A = \frac{RT \ln(n_1/n_2)}{gV(\rho - \rho_0)(h_2 - h_1)} = 6,1 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1},$$

мұндағы: ρ – гуммигуттың тығыздығы және ρ_0 – сұйықтың тығыздығы.

$$5.87. \quad n = n_0 e^{-\frac{\mu g h}{RT}}; \quad p = p_0 e^{-\frac{\mu g h}{RT}};$$

μ – молярлық масса, R – газ тұрақтысы.

5.88. Изотермалық атмосферадағы бөлшектердің концентрациясы мына теңдеумен беріледі:

$$n(h) = n_0 \exp\left[G \frac{mM}{kT} \left(\frac{1}{R+h} + \frac{1}{R}\right)\right] > 0,$$

кез келген h биіктікте планета өзінің бөлшектерін жоғалтады.

$$5.89. \quad d\omega(\vec{d}, \vec{v}) = \left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{3/2} \exp\left(-\frac{mv^2}{2kT}\right) dv_x dv_y dv_z \frac{dxdydz}{V}.$$

5.90. $(dx dy dz)/V$ көбейтіндісінің орнына мына формуланы жазамыз:

$$\exp\left(-\frac{u(\vec{r})}{kT}\right) dxdydz \bigg/ \int_{(V)} \exp\left(-\frac{u(\vec{r})}{kT}\right) dxdydz;$$

$$d\omega = A \exp\left(-\frac{\mathcal{E}}{kT}\right) dV dv_x dv_y dv_z.$$

5.91. Кез келген биіктікте бірдей болады.

$$5.92. \quad T \simeq 120\text{K}; \quad v \simeq 1370 \text{ м/с}.$$

$$5.93. \quad v = \omega R / \Delta\varphi \simeq 100 \text{ м/с}.$$

5.94. $f(v) = 2N/3v_0^2$, мұндағы $N = \int f(v) dv$; $v_0 \leq v \leq 2v_0$. Тұрақты күштің әрекеті интервалдардың шегін $\frac{F}{m}\tau$ шамаға ығыстырады. Ал функцияның түрі бұрынғы қалпында қалады.

$$5.95. \quad \omega \simeq \eta RT / \mu l \simeq 70g.$$

$$5.100. \quad \bar{Z} = 2,47 \cdot 10^9 \text{ с}^{-1}.$$

$$5.96. \quad \bar{\lambda} = 850 \text{ мкм}.$$

$$5.101. \quad 2,3 \text{ есе}.$$

$$5.97. \quad \bar{\lambda} = 5,6 \text{ км}.$$

$$5.102. \quad \bar{\lambda} = 1 \text{ мкм}.$$

$$5.98. \quad \bar{\lambda} = 93 \text{ нм}.$$

$$5.103. \quad \bar{\lambda} = 23 \text{ нм}.$$

$$5.99. \quad \bar{Z} = 4,9 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1}.$$

$$5.104. \quad \bar{\tau} = 1,6 \cdot 10^{-7} \text{ с}.$$

5.105. Молекулалар бір-бірімен соқтығыспауы үшін олардың еркін жолының орташа ұзындығы ыдыстың диаметрінен кем болмауы керек, яғни $\bar{\lambda} \geq D \geq 1/\sqrt{2}\pi\sigma^2 n$; осыдан $n \leq 1/\sqrt{2}\pi\sigma^2 D = 1,7 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$.

5.106. $p \leq 399 \text{ мПа}$.

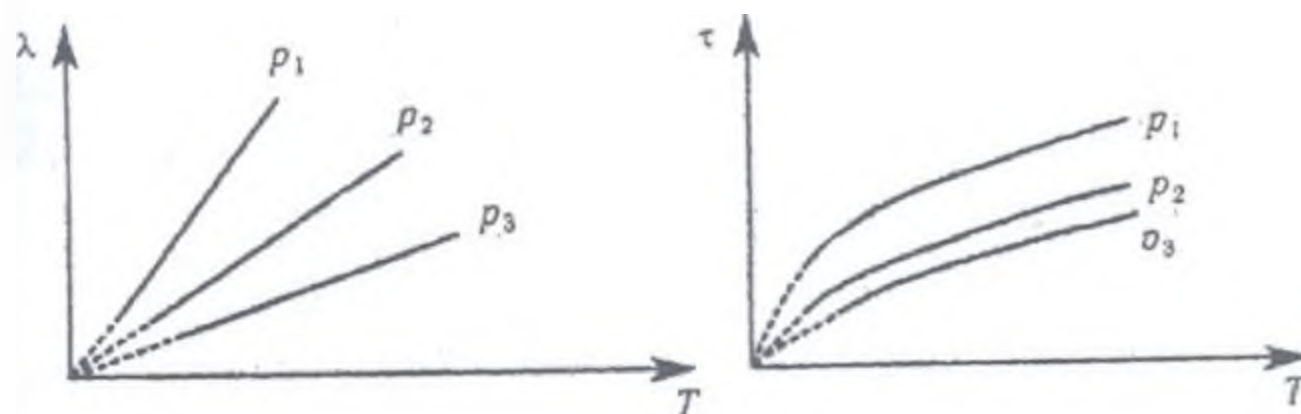
5.107. $\bar{z} = \frac{\sqrt{v^2}}{\bar{\lambda}} \sqrt{\frac{8}{3\pi}} = 9,2 \cdot 10^7 \text{ м}^{-3}$.

5.108. $t = \frac{\ln 2}{n\sigma\langle v \rangle}$; $\langle v \rangle = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}}$; $\sigma = \pi d^2/4$.

5.109. $d\omega = dS/\lambda$.

5.110. $d\omega(x) = \frac{1}{\lambda} \exp(-x/\lambda) dx$.

5.111. $\lambda \sim T/p$, $\tau \sim \sqrt{T}/p$ (151-сурет).



151-сурет.

5.112. $\sigma(v) = \Delta N_{11}/j$, мұндағы $j = n_2 v$ – соқтығысатын бөлшектер ағынының тығыздығы, $\Delta N_{11} = \Delta N/(\Delta t \cdot n_1 S d)$ – бір шашыратушыға есептегендегі уақыт бірлігіндегі шашыраудың саны.

5.114. $D = 9,1 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$.

5.117. $D_{12} = 0,7 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$.

5.115. $D = 8,4 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$.

5.119. $p = 39,9 \text{ кПа}$.

5.116. $m = 5 \text{ мг}$.

5.120. $\eta = 17,8 \text{ мкПа} \cdot \text{с}$.

5.121. Мына формуланы қарастырамыз:

$$\eta = \bar{v} \cdot \bar{\lambda} \rho / 3, \quad (1)$$

мұндағы: $\bar{v} = \sqrt{8RT/\pi\mu}$ – молекулалардың орташа арифметикалық жылдамдығы; $\bar{\lambda} = RT/\sqrt{2}\pi\sigma^2 p$ – газдың еркін жолының ұзындығы $P = p m / RT$ – газдың тығыздығы. Осы мәндерді (1) формулаға қойып, мынаны аламыз:

$$\eta = \frac{2k}{3\pi\sigma^2} \sqrt{\frac{\mu T}{R\pi}}$$

осы формуладан:

$$\sigma^2 = \frac{2k}{3\pi\eta} \sqrt{\frac{\mu T}{R\pi}} = 9 \cdot 10^{-20} \text{ м}^2,$$

яғни, $\sigma = 0,3 \text{ нм}$.

5.122. $\eta = \bar{v} \cdot \bar{\lambda} \rho / 3$. \bar{v} мен $\bar{\lambda}$ және ρ мәндері үшін формулаларды қойып, $\eta = A\sqrt{T}$ табамыз, мұндағы A – кез келген тұрақты.

5.123. $n = N_A \eta / \mu D = 1,8 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$.

5.124. $v = 2,72 \text{ м/с}$.

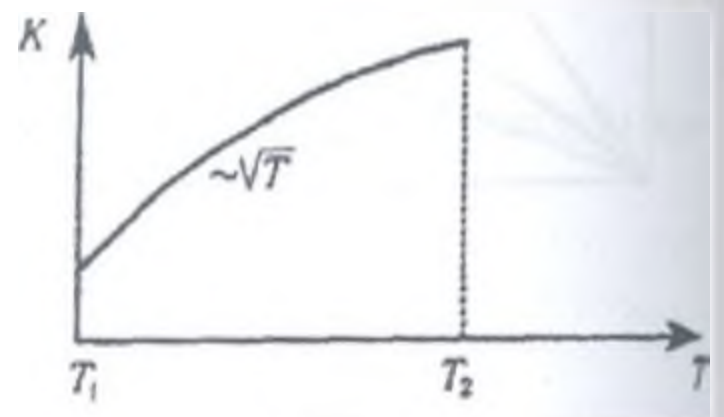
5.125. $F_S = 45 \text{ мН/м}^2$.

5.126. $\eta = F(R-r)/4\pi^2 n h R r = 18 \text{ мкПа}\cdot\text{с}$.

5.127. $K = 90 \text{ мВт/(м}\cdot\text{К)}$.

5.128. $K = 13,2 \text{ мВт/(м}\cdot\text{К)}$.

5.129. $K = \bar{v} \cdot \bar{\lambda} C_V \rho / 3$. \bar{v} мен $\bar{\lambda}$ және ρ мәндері үшін формулаларды қойып, $K = A\sqrt{T}$ табамыз, мұндағы A – кез келген тұрақты. 152 суретте K жылу өткізгіштігінің T температураға тәуелділігінің сипаты көрсетілген.



152-сурет.

5.130. а) $D_1/D_2 = 0,8$; б) $\eta_1/\eta_2 = 1,25$; в) $K_1/K_2 = 0,96$.

5.131. $p = 1,26 \text{ Па}$.

5.133. $Q = 23,9 \text{ кДж}$.

5.134. $Q = 78 \text{ Дж}$.

5.135. $\Delta\langle E_k \rangle = \frac{3}{2} k [T(x) - T(x + \lambda)] = -\frac{3}{2} k \frac{\partial T}{\partial x} \lambda$, $\lambda \ll T/|\partial T/\partial x|$ болғанда.

5.136. $T(x) = T_2 - (T_2 - T_1)x/l$; $q = Sk(T_2 - T_1)/l$.

5.137. а) $k = 13,3 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$; б) $T = 200 + 12/r$, ($[T] = K$, $[r] = \mu$).

5.138. $W = n\alpha\lambda k\sqrt{kT_0/m}$; өзгермейді.

5.139.
$$k = \frac{k_1}{1 + \frac{1}{4\alpha} \left[1 + \sqrt{\frac{k_1}{k_2} \sqrt{\mu_1/\mu_2}} \right]^2} + \frac{k_2}{1 + \frac{\alpha}{4} \left[1 + \sqrt{\frac{k_2}{k_1} \sqrt{\mu_2/\mu_1}} \right]^2}.$$

5.140. $t' = nt$.

5.141. $F = ps/2$.

5.142. $\omega' = \omega(r_1/r_2)^2$.

5.143. $F \approx 10^{-2} \text{ Н}$.

5.144. $p \approx FT_1/[S(T_2 - T_1)]$.

5.145. $p_0 = p_1\sqrt{T_0/T_1}$.

5.146. $q = \frac{1}{2} n \frac{m}{\mu} \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}} \frac{\Delta T}{d}$.

5.147. $\tau = (4V/S) \ln \eta \sqrt{\pi\mu/8RT}$.

5.148. $v = [7(k+1)RT/(k\mu_1 + \mu_2)]^{1/2}$.

$$5.149. v = \left\{ \frac{2\kappa RT_1}{\mu(\kappa-1)} \left[1 - \frac{p_2^{(\kappa-1)/\kappa}}{p_1} \right] \right\}^{1/2}.$$

$$5.150. T = 120 \text{ К}, v = 1370 \text{ м/с}.$$

$$5.151. T \approx 120 \text{ К}, p = 0,33 \text{ Мпа}.$$

$$5.152. Q = \frac{m}{\mu} C_p \Delta T = 7,92 \text{ кДж}; \quad \Delta W = \frac{i}{2} p \Delta V = 5,66 \text{ кДж}; \quad A = p \Delta V = 2,26 \text{ кДж}.$$

Сонымен, термодинамиканың 1-ші заңына байланысты $Q = \Delta W + A$.

$$5.153. \Delta W = 1 \text{ кДж}.$$

$$5.154. A = 13,2 \text{ Дж}; \quad \Delta W = 39,6 \text{ Дж}.$$

$$5.155. Q = 10,4 \text{ Дж}; \quad \Delta h = 2,8 \text{ см}.$$

$$5.156. 2,72 \text{ есе}.$$

$$5.157. A = 70 \text{ Дж}; \quad Q = A = 70 \text{ Дж}.$$

$$5.158. T_2 = 207 \text{ К}.$$

$$5.159. T_2 = 865 \text{ К}.$$

$$5.160. i = 5.$$

$$5.161. t_2 = 123^\circ \text{C}; \quad p_2 = 5,28 \text{ Мпа}.$$

$$5.162. C_p/C_v = 1,4.$$

$$5.163. A = \frac{p}{\alpha} [1 - e^{-\alpha V_1}].$$

$$5.165. \text{ а) термодинамиканың бірінші бастамасы мына теңдеуді береді:}$$

$$(C_V + \alpha T) dT = C_V dT + p dV = C_V dT + \frac{RT}{V} dV, \quad \text{яғни:}$$

$$dT = \frac{R}{\alpha} \frac{dV}{V}; \quad T - T_0 = \frac{R}{\alpha} \ln \frac{V}{V_0};$$

б) және в) осы әдісті қолданыңыздар.

$$5.167. C = C_V - \nu R / (n - 1).$$

$$5.168. \text{ а) } C = C_V + R/2; \quad \text{ б) } C = C_V - 2R.$$

$$5.169. c = \left(\frac{1}{1-n} + \frac{3}{2} \right) R; \quad n = \frac{5}{3}; \quad n = 1.$$

$$5.171. C = 2p_0 V_0 / T_0.$$

$$5.172. v_{\max} = \sqrt{2gh \left[1 - \frac{pS}{Mg} + \frac{pS}{Mg} \ln \frac{pS}{Mg} \right]};$$

$$u_{\max} = \sqrt{2gh \left[1 - \frac{5}{2} \left(\frac{pS}{Mg} \right)^{3/5} + \frac{3}{2} \frac{pS}{Mg} \right]}.$$

$$5.173. v_{1 \max} = [3p_0 V_0 m_2 / m_1 (m_1 + m_2)]^{1/2};$$

$$v_{2 \max} = [3p_0 V_0 m_1 / m_2 (m_1 + m_2)]^{1/2}.$$

$$5.174. T_{\max} = T_0 + 2mv^2/3R, \text{ мұндағы: } R - \text{газ тұрақтысы}.$$

$$5.175. Q = mgh(1 + 2c/R) + (c + R)T_0.$$

$$5.176. Q = \frac{Mv^2}{2} \left(1 + \frac{c}{R} \right).$$

5.177. а) $Q = 1,55$ кДж, $A = 0,92$ кДж, $\Delta W = 0,63$ кДж;

б) $Q = 1,88$ кДж, $A = 1,25$ кДж, $\Delta W = 0,63$ кДж.

5.178. $\eta = 18\%$.

5.179. Карно циклі бойынша жұмыс істейтін жылу машинасы $A = Q_1 - Q_2 = \eta Q_1$, мұндағы: Q_1 – машинаның жылытқыштан алатын жылу мөлшері, Q_2 – холодильникке берілетін жылу мөлшері, η – машинаның п.э.коэффициенті. $\eta = (T_1 - T_2)/T_1 = 0,25$. $A = \eta Q_1 = 630$ Дж. $Q_2 = Q_1 - A = 1,88$ кДж.

5.180. $\eta = 26,8\%$; $Q_1 = 274$ кДж. $Q_2 = 200$ кДж.

5.181. а) $V_1 = 2$ л, $p_1 = 708$ кПа; $V_2 = 5$ л, $p_2 = 284$ кПа; $V_3 = 8$ л, $p_3 = 146$ кПа; $V_4 = 3,22$ л, $p_4 = 365$ кПа.

б) Изотермалық ұлғаюпроцесі кезіндегі жұмыс:

$$A_1 = RT_1 \nu \ln \frac{V_2}{V_1} = 1,3 \text{ кДж}$$

және сығылу кезіндегі жұмыс:

$$A_3 = RT_2 \nu \ln \frac{V_4}{V_3} = -1,07 \text{ кДж};$$

Адиабаталық ұлғаю процесі кезіндегі жұмыс:

$$A_2 = \frac{RT_1}{\kappa - 1} \nu \left(1 - \frac{T_2}{T_1} \right) = 620 \text{ Дж.}$$

және сығылу кезіндегі жұмыс:

$$A_4 = \frac{RT_2}{\kappa - 1} \nu \left(1 - \frac{T_1}{T_2} \right) = -620 \text{ Дж};$$

в) толық циклдегі жұмыс:

$$A = \sum_{i=1}^4 A_i = 230 \text{ Дж};$$

г) циклдің п.э.коэффициенті:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 0,175;$$

д) қыздырғыштан алынатын жылу мөлшері:

$$Q_1 = A/\eta = 1,3 \text{ кДж};$$

е) және холодильникке берілген жылу мөлшері:

$$Q_2 = Q_1 - A = 1,07 \text{ кДж.}$$

5.182. 2,1 есе.

5.183. Кері цикл кезінде сыртқы күштер газға A жұмысын жасайды. Осы кезде суық денеден алынған Q_2 жылу мөлшері жұмсалған A жұмысымен бірге қыздырылған денеге берілген Q_1 жылу мөлшеріне тең. Осыдан $\eta = (T_1 - T_2)/T_1 = 0,093$; $Q_2 = Q_1 - A = A/\eta - A = 360$ кДж; $Q_1 = Q_2 + A = 397$ кДж.

5.184. $m_2 = 4,94$ кг.

5.185. Q жылу мөлшерінің есебінен $A = \eta Q$ жұмысын жасауға болады, мұндағы η – жылу машинасының п.э.коэффициенти $\eta = (T_1 - T_2)/T_1$. Бөлмеге суытқыш машинадан $Q' = A/\eta'$ жылу мөлшері беріледі, $\eta' = (T'_1 - T'_2)/T'_1$. Сонда

$$\frac{Q'}{Q} = \frac{\eta A}{\eta' A} = \eta/\eta' = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \frac{T}{T - T_a} = 3,$$

яғни, бөлме пештегі ағаштың жануынан оны суытқыш машинамен қыздырған-дағыдан 3 есе аз жылу мөлшерін қабылдап алады.

5.186. $\eta = 0,2$; $\eta' = 0,3$.

5.187. 104 цикл.

5.188. $\eta = A/Q$, себебі: $A_{AB} = A_{BA}$ және $A_{CD} = A_{EB} = 0$, сонда:

$$A = A_{BC} - A_{DE} = \frac{m R (T_0 - T_3)}{\mu \kappa - 1} \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\kappa-1} \right];$$

$$A = \frac{m}{\mu} C_v (T_0 - T_3) \left(1 - \frac{T_2}{T_3} \right).$$

$$Q = \frac{m}{\mu} C_v (T_0 - T_3) \text{ болғандықтан,}$$

$$\eta = \frac{A}{Q} = \frac{T_2 - T_3}{T_2} = 1 - \frac{T_3}{T_2} = 1 - \frac{1}{(V_1/V_2)^{\kappa-1}} = 41,2\%.$$

5.189. $p_2 = 930$ кПа; $T_2 = 686$ К.

5.190. $n = 1,3$.

5.191. а) $\eta = 36,7\%$; а) $\eta = 44,6\%$; а) $\eta = 49,6\%$.

$$5.192. \eta = \frac{A}{Q_1} = 1 - \frac{1}{\kappa} \frac{T_3 - T_0}{T_2 - T_1}.$$

$$5.193. \eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{P \cdot t}{mq}, \text{ екінші жағынан}$$

$$\eta = 1 - \frac{\beta^\kappa - 1}{\kappa \varepsilon^{\kappa-1} (\beta - 1)}, \text{ мұндағы } \beta = T_2/T_1, \quad \varepsilon = V_2/V_1.$$

Бір-бірімен теңестіріп, жағылған мұнайдың массасын табамыз: $m = 5,9$ кг.

$$5.194. \eta = \frac{A}{Q}; \quad A = R(T_2 - T_1); \quad Q = \frac{R}{\kappa-1} (T_1 - T_2) + RT_1;$$

$$\eta = \frac{(\kappa-1)(T_1 - T_2)}{\kappa T_1 - T_2}.$$

$$5.195. \eta = \frac{(\kappa-1)(T_1 - T_2)}{(2\kappa-1)T_1 - \kappa T_2}.$$

5.197. Энтропияның өзгерісі мына формуламен анықталады:

$$\Delta S = S_A - S_B = \int_A^B \frac{dQ}{T},$$

мұндағы S_A және S_B – бірінші және екінші күйдегі энтропиялар. Берілген жағдайдағы энтропияның жалпы өзгеруі оның әрбір процестердегі өзгерістерінің қосындысынан тұрады.

Массасы m мұзды T температурасынан $T_0 = 273$ К температураға қыздырғанда мынаны аламыз: $dQ = mc_{\text{л}} dT$, мұндағы $c_{\text{л}} = 2,1$ кДж/(кг·К) – мұздың меншікті жылу сыйымдылығы, ал

$$\Delta S_1 = mc_{\text{л}} \ln(T_0/T).$$

Массасы m мұзды T_0 температурасында балқытқан кезде мына формуланы аламыз $\int dQ = m\lambda$, мұндағы $\lambda = 0,33$ МДж/кг – балқытудың меншікті жылу мөлшері, ал

$$\Delta S_2 = m\lambda/T_0.$$

Массасы m суды T_0 температурасынан $T_{\text{п}}$ температураға дейін қыздырғанда мынаны аламыз:

$$\Delta S_3 = mc \ln(T_{\text{п}}/T_0),$$

мұндағы $c = 4,19$ кДж/(кг·К) – судың меншікті жылу сыйымдылығы.

Массасы m суды $T_{\text{п}}$ температурасында буға айналдырғанда мынаны аламыз:

$$\Delta S_4 = mr/T_{\text{п}},$$

мұндағы $r = 2,26$ МДж/кг – буға айналуының меншікті жылу мөлшері.

Энтропияның жалпы өзгеруі:

$$\Delta S = m \left(c_{\text{л}} \ln \frac{T_0}{T} + \frac{\lambda}{T_0} + c \ln \frac{T_{\text{п}}}{T_0} + \frac{r}{T_{\text{п}}} \right) = 88 \text{ Дж/К}.$$

5.198. $\Delta S = 7,4$ Дж/К.

5.199. $\Delta S = 1230$ Дж/К.

5.200. Мынаны аламыз:

$$\Delta S = \int_1^2 \frac{dQ}{T}.$$

Бірақ,

$$dQ = \frac{m}{\mu} C_v dT + p dV,$$

және сонымен қоса

$$pV = \frac{m}{\mu} RT,$$

осыдан:

$$\Delta S = \int_1^2 \frac{m}{\mu} C_v \frac{dT}{T} + \int_1^2 \frac{m}{\mu} R \frac{dV}{V},$$

немесе

$$\Delta S = \frac{m}{\mu} C_v \ln \frac{T_2}{T_1} + \frac{m}{\mu} R \ln \frac{dV}{v} = 5,4 \text{ Дж/К}.$$

5.201. Осы есептегі энтропияны V және p параметрлері арқылы белгілейміз. Сонда:

$$\Delta S = \frac{m}{\mu} C_v \ln \frac{T_2}{T_1} + \frac{m}{\mu} R \ln \frac{V_2}{V_1}. \quad (1)$$

Менделеев-Клапейрон тендеуінен:

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{p_1 V_1} \quad (2)$$

(2)-ші тендеуді (1)-ге қойып, мынаны аламыз:

$$\Delta S = \frac{m}{\mu} C_v \ln \frac{p_2}{p_1} + \frac{m}{\mu} C_v \ln \frac{V_2}{V_1} + \frac{m}{\mu} R \ln \frac{V_2}{V_1} = \frac{m}{\mu} C_v \ln \frac{p_2}{p_1} + \frac{m}{\mu} C_p \ln \frac{V_2}{V_1}.$$

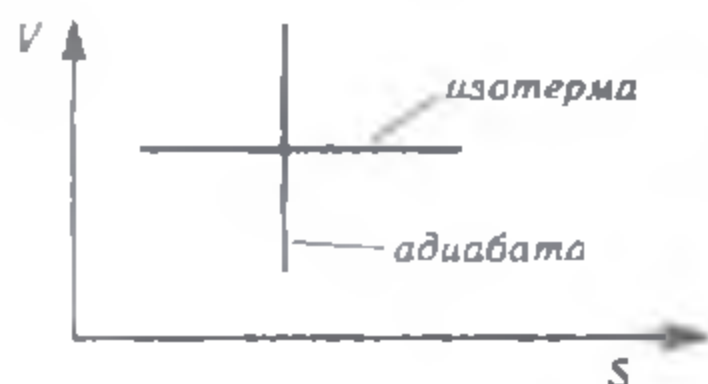
Изобаралық процесс кезінде $p_1 = p_2$ және

$$\Delta S = \frac{m}{\mu} C_p \ln \frac{V_2}{V_1} = 66,3 \text{ Дж/К}.$$

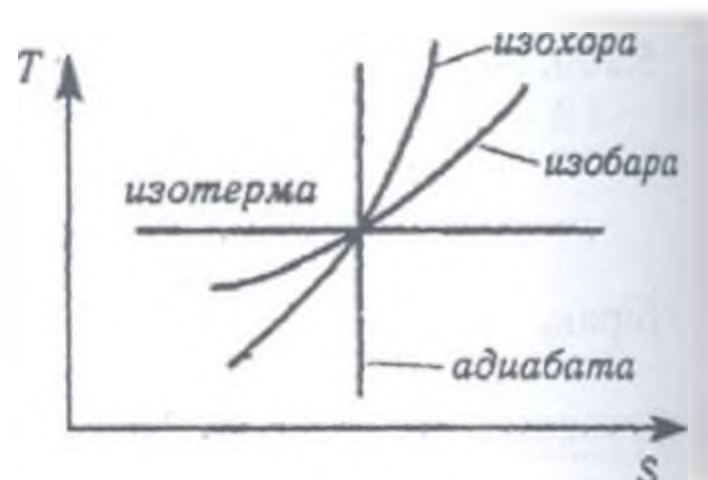
5.202. а) $\Delta S = 1,76 \text{ Дж/К}$; б) $\Delta S = 2,46 \text{ Дж/К}$.

5.203. $Q = 420 \text{ кДж}$.

5.204. Егер процесс қайталанатын болса тұрақты, ал процесс қайталанбайтын болса ұлғаяды.



153-сурет



154-сурет

5.205. 153-суретті қараңыз.

5.206. 154-суретті қараңыз.

5.207. $dQ = S dT$; $Q = \int_{T_1}^{T_2} (a + bT) dT = a(T_2 - T_1) + \frac{b}{2} (T_2^2 - T_1^2)$.

5.208. $Q = 1,79 \text{ кДж}$.

5.209. Энтропия $\Delta S = 2 \text{ Дж/К}$ -ға өседі.

5.210. $\Delta S = 0,25 \text{ Дж/К}$.

5.211. $C = \alpha T$.

5.212. $S = C/3$.

5.213. $S = \frac{\kappa+1}{\kappa-1} R \cdot \ln V + \text{const.}$

5.214. а) $\Delta S \approx 296 \text{ Дж}$; б) $\Delta U = 0$.

5.215. а) $\Delta V = 0$; б) $\Delta S = R \ln 2$.

- 5.216. $P = (V/V_0)^N$, мұндағы $V = \frac{1}{2} V_0$.
 $P = 2^{-N}$; $P(2) = 1/4$; $P(5) = 1/32$; $P(10) \approx 1/4$; $P(100) = 10^{-30}$.
- 5.218. $S = k \ln P$, k – Больцман тұрақтысы.
- 5.220. $G = e^{s/k}$.
- 5.221. $T = 280^\circ\text{K} = 7^\circ\text{C}$.
- 5.222. $p_1 = 1,08 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$; $p = 1,16 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$.
- 5.223. 1400°K температураға дейін.
- 5.224. $p = 1,55 \cdot 10^8 \text{ Н/м}^2$; $\rho = 500 \text{ кг/м}^3$.
- 5.225. $3,3 \cdot 10^{-23} \text{ Н} \cdot \text{сек}$.
- 5.226. $2 \cdot 10^{-23} \text{ кг} \cdot \text{м/сек}$.
- 5.227. $3,3 \cdot 10^{22}$.
- 5.228. $7,5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$.
- 5.229. $\frac{\sqrt{v_1^2}}{\sqrt{v_2^2}} = 2,65$.
- 5.230. $\sqrt{v^2} = 5 \cdot 10^5 \text{ м/с}$.
- 5.231. $\sqrt{v^2} = 5 \cdot 10^5 \text{ м/с}$.
- 5.232. $N = 1,88 \cdot 10^{22}$.
- 5.233. $W_k = 210 \text{ Дж}$.
- 5.234. $W_{\text{айн}} = 8,3 \cdot 10^4 \text{ Дж}$.
- 5.235. 1) $M = \frac{2W}{v^2} = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$;
 2) $p = \frac{2W}{3V} = 1,67 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$.
- 5.236. 1) $T = 20\,000^\circ\text{K}$; 2) $T = 900^\circ\text{K}$.
- 5.237. $\frac{c_p}{c_v} = 1,59$.
- 5.238. $M = 60 \text{ кг}$.
- 5.239. $Q = 545 \text{ Дж}$.
- 5.240. 1) $M = 3,7 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$; 2) $\Delta W = 3,3 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$.
- 5.241. $Q = \frac{\rho V c_v \Delta t}{\mu} = 208 \text{ Дж}$.
- 5.242. 1) $Q = 6,25 \text{ кДж}$; 2) $T_2 = 4T_1$; 3) $p_2 = 4p_1$.
- 5.243. $Q = 155 \text{ Дж}$.
- 5.244. $T = 83^\circ\text{K} = -190^\circ\text{C}$.
- 5.245. $\frac{\Delta N}{N} = 2,8\%$.
- 5.246. $\frac{\Delta N}{N} = 4,5\%$.
- 5.247. 1) $v_{\text{ык}} = 487 \text{ м/с}$ және $\frac{\Delta N}{N} = 3,4\%$; 2) $v_{\text{ык}} = 731 \text{ м/с}$ және $\frac{\Delta N}{N} = 2,2\%$. Сонымен, температураны жоғарылатқанда, бөліну қисығының максимумы оңға қарай ығысады да, максимумның шамасы кішірейеді.
- 5.248. $p_1 = 0,354 \text{ атм}$, $p = 0,713 \text{ атм}$, $\Delta p = 0,36 \text{ атм}$.
- 5.249. 1,7 есе.
- 5.250. 1) $h = 5,5 \text{ км}$; 2) $h = 80 \text{ км}$.

§ 6. Нақты газдар

- 6.6. а) $T = 280 \text{ K}$; б) $T = 280 \text{ K}$ – сонымен, қысымы аз болғанда газ идеал газ түрінде болады.
- 6.7. а) $T = 482 \text{ K}$; а) $T = 204 \text{ K}$.
- 6.8. $T_2/T_1 = (2p + p_i)/(p + p_i) = 1,85$, мұндағы $p_i = \alpha v^2/V^2$. Егерде газ Менделеев-Клапейрон теңдеуіне бағынышты болса, $T_2/T_1 = 2$ болар еді.
- 6.9. Көлемді Ван-дер-Ваальс формуласы арқылы анықтау үш дәрежелі теңдеуді шешуді қажет етеді. Заттың газ күйіне сәйкес келетін осы

теңдеудің үш түбірінің біреуін бірте-бірте жуықтау әдісі арқылы табуға болады. Ван-дер-Ваальс теңдеуінен оттектің кездейсоқ мөлшері $v = m/\mu$ үшін мынаны аламыз:

$$V = \frac{vRT}{p + v^2 a/V^2} + vb = \frac{vRT}{p + p_i} + vb. \quad (1)$$

Бірінші жуықтау ретінде $V = V_1$ – Менделеев-Клапейрон теңдеуінен алынатын көлемді аламыз

$$V_1 = \frac{vRT}{p} = 0,24 \text{ м}^3.$$

Сонда

$$p_i = \frac{v^2 a}{V_1^2} = \frac{10^6 \cdot 0,136}{(0,24)^2} \text{ Па} \approx 2,4 \text{ МПа}.$$

p_i -ді (1)-ші теңдеуге қойып, екінші жуықтауды аламыз:

$$V_2 = \left(\frac{10^3 \cdot 8,31 \cdot 300}{1,24 \cdot 10^7} + 10^3 \cdot 3,16 \cdot 10^{-5} \right) \text{ м}^3 = 0,232 \text{ м}^3.$$

Сонда

$$p_i = \frac{v^2 a}{V_2^2} = \frac{10^6 \cdot 0,136}{(0,232)^2} \text{ Па} = 2,53 \text{ МПа}.$$

$$V_3 = \left(\frac{10^3 \cdot 8,31 \cdot 300}{1,253 \cdot 10^7} + 10^3 \cdot 3,16 \cdot 10^{-5} \right) \text{ м}^3 = 0,231 \text{ м}^3.$$

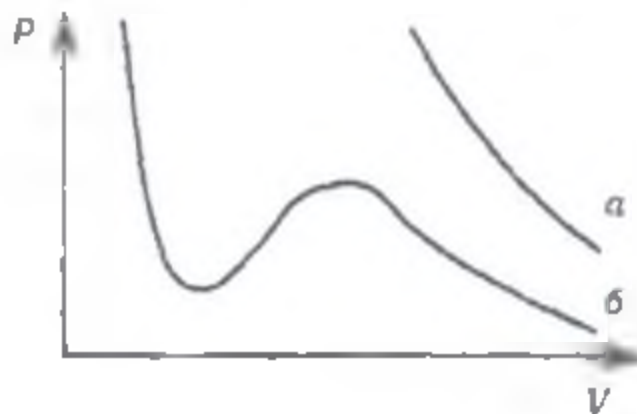
Осылай төртінші т.б. жуықтауларды табуға болады. Төртінші жуықтаудың іс жүзінде үшіншімен сәйкес келетіндігіне көз жеткізу қиын емес. Сонымен іздеп отырған көлем $V = 231 \text{ л}$ болады.

6.10. а) $\sigma = 297 \text{ пм}$; б) $\sigma = 313 \text{ пм}$. Сонымен әртүрлі екі әдіспен алынған қорытындылар бір-бірімен жақсы сәйкес келеді.

6.11. $\lambda = 79 \text{ нм}$.

6.12. $D = 3,5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$.

6.13. 155-суретте $t = 0^\circ\text{C}$ температурада $v = 1 \text{ кмоль}$ көмірқышқыл газы үшін тұрғызылған $p = f(v)$ графигі берілген. a қисығы идеал газдың теңдеуіне сәйкес, ал b қисығы нақты газдың теңдеуіне сәйкес келеді.



155-сурет.

6.14. $p_i = 27T_{\text{с}}^2 p^2 / 64 p_{\text{к}} T^2 = 1,31 \text{ кПа}$.

6.15. $p \left(V - \frac{m}{\mu} b \right) = \frac{m}{\mu} RT$; $x = \frac{v-v'}{v} = \frac{pb}{RT} = 33\%$, мұндағы v және v' – өз молекулаларын есептеген және есептемеген жағдайларға сәйкес сутектің мөлшері.

6.16. $p_i/p = 4,95\%$; $V_i/V = 0,86\%$.

6.17. Молекулалардың бір-бірімен өзара әрекеттеріне карсы күштің жасайтын жұмысы:

$$A = \int_{V_1}^{V_2} p_i dV, \text{ мұндағы } p_i = \frac{m^2 a}{\mu^2 V^2}.$$

Сонымен,

$$A = \frac{m^2 a}{\mu^2} \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V^2} = \frac{m^2 a}{\mu^2} \left(\frac{1}{V_1} - \frac{1}{V_2} \right) = \frac{m^2 (V_2 - V_1)}{\mu^2 V_1 V_2},$$

осы формуладан

$$a = \frac{A \mu^2 V_1 V_2}{m^2 (V_2 - V_1)} = \frac{A V_1 V_2}{v^2 (V_2 - V_1)} = 0,136 \cdot \text{м}^6 / \text{моль}^2.$$

6.18. $A = RT \ln \frac{V_2 - b}{V_1 - b} + a \left(\frac{1}{V_2} - \frac{1}{V_1} \right).$

6.19. а) $\Delta U = 0,121$ Дж; б) $A = 3,31$ кДж; в) $Q = 3,31$ кДж.

6.20. $T(V - b)^{R/C_v} = \text{const}$; $\left(p + \frac{a}{V^2} \right) (V - b)^{R/C_v + 1} = \text{const}.$

6.21. $\Delta T = av(V_2 - V_1)^2 / V_1 V_2 i R = 2,33$ К, мұндағы i – газ молекулаларының еркіндік дәрежесінің саны, v – азоттың мөлшері.

6.22. $a = 0,364$ Па·м⁶/моль².

6.23. $t_1 = 31^\circ\text{C}$ – көмірқышқыл газының сындық (шекті) температурасы болғандықтан қажет қысым $p = p_k = 7,38$ МПа. $t_2 = 50^\circ\text{C}$ – шекті температурадан жоғары болғандықтан, көмірқышқыл газын ешқандай қысымда сұйық көмірқышқылына айналдыруға болмайды. Ең жоғары көлем $V_{\max} = 3b/\mu = 2,9$ л; ең жоғары қысым $p_{\max} = p_k = 7,38$ МПа.

6.24. $\rho_k = \mu/3b = 196$ кг/м³. 6.25. $\rho_k = 8\mu p_k / 3 T_k R = 57$ кг/м³.

6.26. $p = 2,7$ МПа.

6.27. $\pi = p/p_k = 2,45.$

6.28. $C_p - C_v = \frac{R}{1 - 2a \frac{(V-b)^2}{RTV^3}}.$

6.30. $S = C_v \ln T + R \ln(V - b) + \text{const}.$

§ 7. Қаныққан булар және сұйықтар

7.1. $\Delta m = \rho_{к.б.} V(1 - \omega) = 6,8$ г.

7.2. $n = 10^{24} \text{ м}^{-3}$.

7.3. $W = 60,6\%$; $\Delta m = 86 \text{ мг}$.

7.4. 12 есе.

7.5. Салыстырмалы ылғалдылық $\omega = p/p_k$ формуласымен анықталады, мұндағы p – ауадағы су буының қысымы және p_k – берілген температурада кеңістікті қанықтыратын су буының қысымы. Су буының V көлемдегі m массасы

$$m = pV\mu/RT = \omega p_k V\mu/RT. \quad (1)$$

$T = 303 \text{ К}$ температурасында қаныққан будың қысымы $p_k = 4,23 \text{ кПа}$.
 $M = 0,018 \text{ кг/моль}$ болғандықтан, (1) формуладан $m = 22,5 \text{ г}$ табамыз.

7.6. $\Delta m/m = \mu p \cdot V/RT \cdot m = 0,17$.

7.7. $t_2 = 7^\circ\text{C}$.

7.8. $\omega = 27\%$.

7.9. $\rho_1/\rho_2 = \frac{p_0}{p_0 - \omega p_{к.б.}(1 - \mu_n/\mu_b)} = 1,005$.

7.10. а) Ұлғайғанға дейін қаныққан су буы $t_1 = 20^\circ\text{C}$ -да болады, демек (XV қосымшаны қараңыз) осы будың қысымы $p_1 = 2,33 \text{ кПа}$; б) ұлғаюға дейінгі камерадағы су буының массасы $m_1 = p_1\mu V_1/RT_1 = 17,2 \text{ мг}$; в) $\rho_1 = p_1\mu/RT_1 = 17,2 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$; г) $T_2 = T_1/(V_2/V_1)^{\kappa-1} = 268\text{К}$; д) $t_1 = -5^\circ\text{C}$ температурасында қаныққан су буының қысымы $p_1 = 399 \text{ Па}$. Осы қысымға сәйкес камерадағы су буының массасы $m_2 = p_2\mu V_2/RT_2 = 4,0 \text{ мг}$. Яғни, конденсацияланған будың массасы $\Delta m = m_1 - m_2 = (17,2 - 4,0) \text{ мг} = 13,2 \text{ мг}$; е) $\rho_2 = p_2\mu/RT_2 = 3,2 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$; ж) ұлғайғаннан кейінгі (бірақ конденсациялануға дейінгі) су буының тығыздығы

$$\rho_3 = \frac{m_1}{V_2} = \frac{17,2 \cdot 10^{-6}}{1,25 \cdot 10^{-3}} \text{ кг/м}^3 = 13,7 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3,$$

сондықтан, қанығу дәрежесі $s = \rho_3/\rho_2 = 4,3$.

7.11. $\Delta m = 12 \text{ г}$.

7.13. $v_c = 0,001 \text{ м}^3/\text{кг}$; $v_b = 1,25 \text{ м}^3/\text{кг}$.

7.14. Булану кезінде жылу мөлшері молекулалардың өзара әрекеттесуіне және сыртқы қысымға қарсы ұлғаю жұмысына шығындалады. Сонымен, термодинамиканың бірінші заңына сәйкес мына формуланы аламыз

$$r_0 = \Delta W + A, \quad (1)$$

мұндағы: r_0 – буланудың молярлық жылу мөлшері, ΔW – булану кезіндегі өзара әсер күшінің молярлық ішкі энергиясының өзгеруі, A – сыртқы қысымға жұмсалатын молярлық жұмыс. Осы кезде

$$A = p_k (V_{0б} - V_{0с}), \quad (2)$$

мұндағы p_k – булану температурасындағы қаныққан будың қысымы, $V_{0с}$ – сұйықтың молярлық көлемі, $V_{0б}$ – будың молярлық көлемі.

$$V_{0c} = \frac{\mu}{\rho} = \frac{0,018 \text{ кг/моль}}{1000 \text{ кг/м}^3} = 18 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{моль},$$

мұндағы: μ – судың молярлық массасы, ρ – судың тығыздығы. Шарт бойынша $\nu = m/\mu = 1$ кмоль болғандықтан, Менделеев-Клапейрон теңдеуінен $V_{06} = RT/p_k$. $T = 473$ К болғанда (XV қосымшаны қараңыз) $p_k = 1,55$ МПа және $V_{06} = RT/p_k = 2,5$ л/моль болады. Булану кезіндегі молекулалардың өзара әсерінің ішкі энергиясының өзгеруі Ван-дер-Ваальс теңдеуіне сәйкес деп есептеп (6.17. есепті қараңыз), мынаны аламыз:

$$\Delta W = \frac{a(V_{06} - V_{0c})}{V_{0c}V_{06}}, \quad (3)$$

мұндағы $a = 27T_k^2 R^2/64p_k = 5,56 \cdot 10^2 \text{ Па} \cdot \text{м}^6/\text{моль}^2$. $V_{0c} \ll V_{06}$ екендігін біле отырып, (1)-(3) теңдеулерден мынаны аламыз:

$$r_0 = \frac{a}{V_{0c}} + pV_{06} = \frac{ap}{\mu} + RT = 35 \text{ кДж/моль}.$$

Сонда буланудың меншікті жылу мөлшері $r = r_0/\mu = 1,95$ МДж/кг болады. XVI қосымша $t = 200^\circ\text{C}$ температурасы үшін $r = 1,94$ МДж/кг мәнін береді. Сонымен, Ван-дер-Ваальс теңдеуі, демек, (3) формула да жуық шамамен алынатынына қарамастан, қорытындылардың сәйкес болуы жақсы деп есептелінеді.

7.15. $\Delta W/r_0 = (r_0 - A)/r_0 = 1 - RT/r_0 = 92,4\%$.

7.16. $\Delta W = 7,22$ кДж.

7.17. T температурасының өсуімен Q азаяды, $Q(T_{кр}) = 0$.

7.18. $\frac{dp}{dT} = \frac{q}{T(V_g - V_c)}$; $p = p_0 \exp\left(-\frac{q}{RT}\right)$.

7.19. Клаузиус-Клапейрон теңдеуін аламыз:

$$\frac{dp}{dT} = \frac{r_0}{T(V_{06} - V_{0c})}. \quad (1)$$

Қаныққан булар Менделеев-Клапейрон теңдеуіне бағынады деп есептеп, мынаны аламыз ($\nu = 1$ моль үшін) $V_{06} = RT/p$. $t = 5^\circ\text{C}$ температурасында қаныққан будың қысымы $p_k = 870$ Па (XV қосымшаны қараңыз) болатындықтан, $V_{06} = 2,65$ м³/моль болатындығын табу оңай. Жәнеде, $V = \mu/\rho \leq 18 \cdot 10^{-6}$ м³/моль. Сонымен, біз мынаны аңғарамыз $V_{0c} \ll V_{06}$, осыдан (1) теңдеуді былай жазуға болады:

$$\frac{dp}{dT} = \frac{r_0}{RT^2}, \text{ немесе } \frac{dp}{p} = \frac{r_0}{R} \frac{dT}{T^2}. \quad (2)$$

Температураның шағын интервалы $T_2 - T_1$ үшін r_0 молярлы булану жылу мөлшерін тұрақты деп есептеуге болады, сонда (2) теңдеуді интеграциялап мынаны аламыз:

$$\ln \frac{p_2}{p_1} = \frac{r_0(T_2 - T_1)}{RT_1T_2}, \quad (3)$$

осыдан

$$r_0 = \frac{RT_1T_2 \ln(p_2/p_1)}{T_2 - T_1}, \quad (4)$$

мұндағы p_1 және p_2 — T_1 және T_2 температураларындағы қаныққан будың қысымы. Осы есепте $t = 5^\circ\text{C}$ температурасындағы буланудың r меншікті жылу мөлшерін табу керек. Сондықтан T_1 және T_2 мәндері үшін $t_1 = 4^\circ\text{C}$ және $t_2 = 6^\circ\text{C}$ мәндерін алуға болады. Сонда XV қосымшаға сүйеніп, мынаны аламыз: $p_1 = 811$ Па, $p_2 = 932$ Па және $p_2/p_1 = 1,15$. (4) формулаға сандық мәндерін қойып, мынаны аламыз: $r_0 = 45$ кДж/моль. Осыдан буланудың меншікті жылу мөлшері $r = r_0/\mu = 2,49$ МДж/кг. XVI қосымшасының мәнін пайдаланып $r = f(t)$ графигін тұрғызып, $t = 5^\circ\text{C}$ температурасында $r = 2,48$ МДж/кг екендігіне және табылған мәнмен сәйкес келетініне көзіміз жетеді.

7.20. $r = 0,302$ МДж/кг.

7.21. $\Delta S = 2,86$ Дж/К.

7.22. $\Delta p = 599$ Па.

7.23. $p = 93$ мПа-ға дейін, яғни, қаныққан сынып буына дейін $t = 15^\circ\text{C}$ температурада.

7.24. $\rho_0 = m/V_0$ және $\rho = m/V$. Бірақ $V = V_0(1 + \beta t)$ болғандықтан, $\rho = \rho_0(1 + \beta t) = 12,9 \cdot 10^3$ кг/м³ болады.

7.25. $\rho = 1,055 \cdot 10^3$ кг/м³. 7.26. $\Delta p = \beta \Delta t/k = 1,4$ Мпа.

7.27. $\Delta h = 16,4$ мм.

7.28. $\Delta t = h(1 + \beta t)/(L - h)\beta = 56^\circ\text{C}$.

7.29. $m = 884$ г.

7.30. $\beta = 7 \cdot 10^{-4} \text{K}^{-1}$.

7.31. $p = 102$ кПа.

7.32. Сақинаны судың бетінен жұлып алу үшін қажет болатын күш осы сақинаға әсер ететін ауырлық күші мен беттік керілу күштерінің қосындысынан тұрады, яғни $F = F_1 + F_2$. Ауырлық күші

$$F_1 = \rho h \frac{\pi}{4} (d_2^2 - d_1^2) g = 40,0 \text{ мН.}$$

Сақинаны жұлып алған кезде беттік пленка сақинаның ішкі және сыртқы беті бойынша жыртылады, сондықтан беттік керілу күші

$$F_2 = \pi \alpha (d_1 + d_2) = 23,5 \text{ мН.}$$

Сонымен, $F = 63,5$ мН. $\chi = F_2/F = 37\%$.

7.33. $\alpha = 0,032$ Н/м.

7.34. $d = 1,2$ мм; $l = 5$ см.

7.35. Тамшыға әсер ететін ауырлық күші жұлып алынған мезетте беттік жарғақты $l = \alpha \pi r$ ұзындығымен жыртуы керек, мұндағы r – тамшы мойынының радиусы. Осыдан ауырлық күші $P = 2\pi r \alpha = \pi d \alpha$. Массасы m спирте N тамшы болады, демек $N = mg/P = mg/\pi d \alpha = 780$ тамшы. Шарт бойынша тамшылар $\Delta\tau = 1$ с уақыт сайын бірінен кейін бірі үзілетін болғандықтан, барлық спирт $\Delta\tau = 780$ с = 13 мин уақытта ағып болады.

7.36. $\alpha_1 = 0,059$ Н/м.

7.37. $\Delta l = 34$ см.

7.38. $R = \sqrt[3]{3r\alpha/2\rho g} = 2,2$ мм.

7.39. Сынаптың екі тамшысының қосылуынан шығатын энергия $\Delta W = \alpha \Delta S$ болады, мұндағы: $\Delta S = 4\pi r^2 \cdot 2 - 4\pi R^2$ – беттің ауданының өзгеруі, R – үлкен тамшының радиусы. R радиусын үлкен тамшының көлемін барлық қосылған тамшылардың көлемімен теңестіру арқылы анықтаймыз: $2 \cdot 4\pi r^3/3 = 4\pi R^3/3$, осыдан $R = r\sqrt[3]{2}$. Сонда $\Delta S = 4\pi r^2(2 - \sqrt[3]{4})$ және

$$\Delta W = \alpha \Delta S = \alpha \cdot 4\pi r^2(2 - \sqrt[3]{4}). \quad (1)$$

Бөлініп шығатын энергия сынап тамшыларын қыздыруға кетеді, яғни,

$$\Delta W = cm\Delta T = c\rho(4/3)\pi R^3\Delta t = c\rho(8/3)\pi r^3\Delta t. \quad (2)$$

(1) және (2) теңестіріп, мынаны аламыз:

$$\Delta t = 3\alpha(2 - \sqrt[3]{4})/c\rho 2r = 1,65 \cdot 10^{-4} \text{ К.}$$

7.40. $A = 14,7$ мкДж.

7.41. $A = 14,7$ мкДж.

7.42. $A = 14,7$ мкДж.

7.43. Көпіршіктегі ауаның p қысымы атмосфералық p_0 қысымынан, судың гидростатикалық қысымынан $p_1 = \rho gh$, беттің кисықтығынан болатын $p_2 = 2\alpha/r = 4\alpha/d$ қосымша қысымнан туындайды. Сонымен, $p = p_0 + \rho gh + 2\alpha/r = 132,9$ кПа.

7.44. $\Delta p_2 = 2\Delta p_1 = 4\alpha/R$ – Лаплас формуласы.

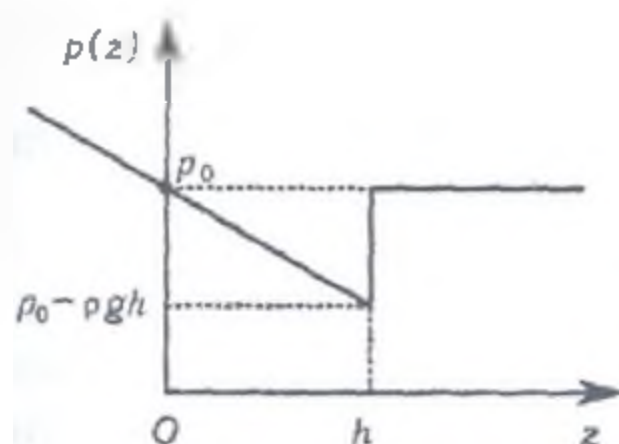
7.45. $H = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$; $\Delta p = \alpha H$.

7.46. $d = 8\alpha/\Delta p = 2,6$ мм.

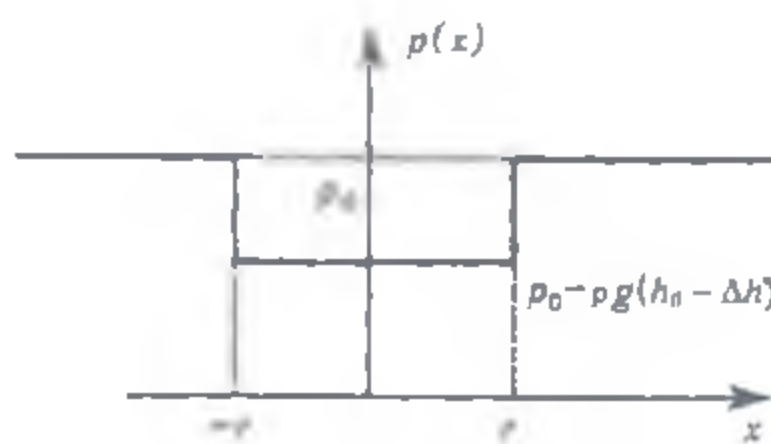
7.47. 4,4 есе.

7.48. $\alpha = \rho ghr/2$ (156-сурет).

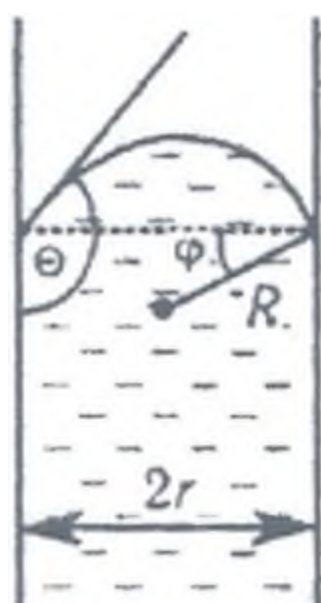
7.49. r – капилляр радиусы (157-сурет).



156-сурет



157-сурет



158-сурет

7.50. Менисктің радиусы R түтікшенің r радиусымен мына формула арқылы байланысты (158-сурет):

$$r = R \cos \varphi = R \cos(180^\circ - \theta) = -R \cos \theta,$$

мұндағы θ — шеттік бұрыш. Менисктің қисықтығынан пайда болатын қосымша қысым $\Delta p = -(2\alpha \cos \theta)/r$. Сынап үшін $\theta > \pi/2$, яғни $\cos \theta < 0$, сондықтан қосымша қысым оң және капиллярдағы сынаптың деңгейі ыдыстағыға қарағанда төмен болады. Осы деңгейлердің айырмашылығы:

$$\Delta h = -\frac{4\alpha \cos \theta}{\rho g h}, \text{ осыдан } -\cos \theta = \frac{\Delta h \rho g h}{4\alpha} = 0,740.$$

Яғни, сынаптың менискісінің қисықтық радиусы мынадай болады:

$$R = -r/\cos \theta = 2 \text{ мм.}$$

7.51. $l = 0,53$ мм; $\Delta h = 2,98$ см.

7.52. а) $d = 1,5$ мм; $\Delta h = 8,8$ см.

7.53. $\Delta h = 7,5$ мм.

7.54. $\alpha = 0,07$ Н/м.

7.55. $p = p_0 + 2\alpha/r = 102,2$ кПа.

7.56. p_0 және p — капиллярды суға батырғанға дейінгі және батырғаннан кейінгі капиллярдағы ауаның қысымы, V_0 және V — капиллярды батырғанға дейінгі және батырғаннан кейінгі ауаның көлемі. Бойл-Мариотт заңы бойынша:

$$p_0 V_0 = p V, \quad (1)$$

мұндағы: $p = p_0 + 2\alpha/r$, $V_0 = S h_0$, S — капиллярдың қимасының ауданы, h_0 — оның ұзындығы. $V = S h$, ал h — батырғаннан кейінгі судың бетіне шығатын түтікше бөлігінің ұзындығы. Осыларды есептей отырып, мынаны аламыз:

$$p_0 h_0 = \left(p_0 + \frac{2ga}{r} \right) h, \quad \text{осыдан} \quad r = \frac{2\alpha h}{p_0(h_0 - h)}. \quad (2)$$

Шарт бойынша $(h_0 - h)/h_0 = 0,015$, немесе $h/(h_0 - h) = 65,7$. Осы сандық мәндерді (2) формулаға қойып $r = 0,1$ мм аламыз.

7.57. а) $h = 755$ мм; б) $h = 757$ мм. Сонымен, егер түтікше қысаң болса атмосфералық қысым сынап бағанасының h биіктігі бойынша тікелей анықтау мүмкін емес, себебі бағана қысымына түтікшедегі сынаптың дөңес менискісінің қысымы да қосылады.

7.58. Сынап бағанасының биіктігіне 2 мм қосу керек.

7.59. $\omega = (2/l)\sqrt{\alpha/r\rho}$.

7.60. Толық жұғатын сұйық капиллярдың қысаң жағына қарай ығысады, ал толық жұқпайтын сұйық кері бағытта жылжиды.

7.61. Ине судың бетіне батып кетпеуі үшін, иненің жатқан ауданына түсіретін өзінің салмағының қысымы, иненің астындағы ойыстағы сұйық бетінің қисықтығынан туатын және жоғары бағытталған қысымнан аспау керек. (Архимед заңы бойынша болатын салмақтың жоғалуын есепке алмаймыз). Иненің суға түсіретін қысымы $p_1 = mg/l d = \rho V g / l d = \rho \pi d g / 4$, мұндағы: l — иненің ұзындығы, ал V — оның көлемі. Сұйықтың беттік қисықтығының салдарынан туатын қысым Лаплас формуласымен анықталады $p_2 = \alpha(1/R_1 + 1/R_2)$. Біздің қарастырып отырған жағдайымызда сұйықтың беті цилиндрлік, яғни $R_1 = \infty$ және $R_2 = r$ — иненің радиусы. Ендеше, $p_2 = \alpha/r = 2\alpha/d$. $p_1 \leq p_2$ болғандықтан, $\rho \pi d g / 4 \leq 2\alpha/d$ болады, осыдан $d \leq \sqrt{8\alpha/\rho \pi g} = 1,6$ мм.

7.62. Жоқ.

7.63. $d = 0,5$ мм.

7.64. $m = 1,22$ кг.

7.65. $h = \frac{2\alpha}{\rho g r} = 10$ мм.

7.66. $m = 27,5$ мг.

7.67. Пластиналардың арасындағы жұғатын сұйықтың беті цилиндр формалы болып келген, оның қисықтық радиусы $R = d/2$, мұндағы d — пластиналардың арақашықтығы. Онда ойыс цилиндр бетінің астындағы қосымша теріс қысым $p = \alpha/R = 2\alpha/d$. p шамасы — пластиналардың S ауданына әсер ететін сыртқы қысымның артық мөлшері. Олай болса, пластиналарды бір-бірінен бөліп алу үшін әсер ететін күш

$$F = pS = \frac{2\alpha}{d} S = 31,5 \text{ Н.}$$

7.68. $\rho = 0,79 \cdot 10^3$ кг/м³.

7.69. $h = \frac{2\alpha}{\rho g d} = 30$ мм; $F = \frac{2\alpha^2 l}{\rho g d^2} = 0,44$ Н.

7.70. $\alpha = 0,5 \text{ Н/м}$.

7.71. Капилляр вертикаль қалыпта тұрған кезде, оның жоғарғы менискісі ойыс болып және осы менискінің қисықтығының салдарынан болған қысым әр уақытта жоғары бағытталады да, мынаған тең болады: $p_1 = 2\alpha/R_1$, мұндағы R_1 — жоғарғы менискінің қисықтық радиусы. Сұйықтың толық жұғуы кезінде $p_1 = 2\alpha/r$, мұндағы r — капиллярдың радиусы.

Сұйық бағанасының гидростатикалық қысымы әр уақытта төмен бағытталады да, мынаған тең болады: $p_2 = pgh$. Егер $p_1 > p_2$ болса, онда жоғары бағытталған қорытқы қысым менискіні ойыс болуына мәжбүр етеді. Осы уақытта төменгі менискінің қисықтығынан туатын қысым p_3 төмен бағытталады және мынаған тең болады: $p_3 = 2\alpha/R_2$, мұндағы R_2 — төменгі менискінің қисықтық радиусы. Тепе-теңдік жағдайда $p_1 = p_2 + p_3$. Егерде $p_1 < p_2$ болса, онда қорытқы қысым төмен бағытталады да, төменгі мениск дөңес болады. Осыдан қысым $p_3 = 2\alpha/R_2$ болады да, жоғары бағытталады. Осы жағдайда $p_1 + p_3 = p_2$. Егер $p_1 = p_2$ болса, онда төменгі мениск жазық болады да, $p_3 = 0$. Есептің берілген сан мәндерін пайдаланып, төмендегілерді алу қиын емес:

а) $R_1 = 0,5 \text{ мм}$, $R_2 = -1,52 \text{ мм}$; б) $R_1 = 0,5 \text{ мм}$, $R_2 = 1,46 \text{ мм}$; в) $R_1 = 0,5 \text{ мм}$, $R_2 = \infty$.

7.72. $m = 0,22 \text{ г}$.

7.73. а) $h = 11,5 \text{ мм}$; б) $h = 12,9 \text{ мм}$; в) $h = 17,2 \text{ мм}$ (7.71 есепті қараңыз).

7.74. а) $\Delta h = 6,8 \text{ мм}$; б) $\Delta h = 11,5 \text{ мм}$; в) $\Delta h = 17 \text{ мм}$; г) $\Delta h = 23,8 \text{ мм}$. $\Delta h > 23,8 \text{ мм}$ болса, сұйық бірінші түтікшеден ағады.

7.75. Егер капилляр мейлінше ұзын болып келсе, онда оның ішіндегі су $h' = 2,98 \text{ см}$ биіктікке көтерілгенін білуге көз жеткізу қиын емес. Бірақ капиллярдың биіктігі $h < h'$ болады. Енді менискіге оның қисықтығынан туатын жоғары бағытталған p_0 қысым түсірілген дейік және ол мынаған тең болсын: $p_0 = 2\alpha/R$, ал гидростатикалық қысым $p = pgh$. Кез келген биіктік h үшін $pgh = 2\alpha/R$, осыдан мынаны аламыз: $R = 2\alpha/pgh = 0,75 \text{ мм}$.

7.76. Судың ішінде жүзіп жүрген ареометрге мынадай күштер әсер етеді: төмен қарай бағытталған ареометрдің салмағы P , беттік керілу күші $F = 2\pi r\alpha$, бұл күш толық жұғу жағдайында төмен қарай бағытталады (ал толық жұғу болмаған кезде жоғары қарай бағытталады), оларға қоса жоғары бағытталған Архимед күші: $F_A = \rho g(V + Sh)$, мұндағы V — ареометрдің цилиндрлік емес бөлігінің көлемі, S — ареометр түтікшесінің көлденең қимасының ауданы және h — сұйықтың ішінде тұрған цилиндрлік түтікшенің ұзындығы. Тепе-

тендік уақытта $P + F = F_A$. Спирттің бірнеше тамшысынан судың тығыздығы өзгермейді деп есептеп, су үшін және спирт үшін мынаны жазуға болады:

$$P + d\pi\alpha_1 = \rho g(V + Sh_1), \quad P + d\pi\alpha_2 = \rho g(V + Sh_2),$$

осыдан $\Delta h = 4\Delta\alpha/\rho g d = 2,4$ мм.

7.77. $\Delta h = 3,5$ мм.

7.79. $h = r \sqrt{\frac{\sigma + \sigma_1 + \sigma_2}{\sigma - (\sigma_1 + \sigma_2)} \frac{\sigma^2}{\sigma^2 - (\sigma_1 - \sigma_2)^2}}$, $\sigma > \sigma_1 + \sigma_2$ болғанда.

7.80. $T = 313$ К.

7.81. $N = 1000$.

7.82. $p = 290$ кПа.

7.83. $m = 2$ г.

7.84. $\alpha = 0,55$; $n = 4 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$.

7.85. $p = 12,4$ кПа.

7.86. $p_2 = 19,6$ кПа.

7.87. $N = 50$.

7.88. Рауль заңын заттың молярлық массасын анықтаған кезде қолдануға болады. Шынымен, Рауль заңын былай жазуға болады:

$$\frac{p_0}{p_0 - p} = \frac{v}{v'} + 1, \quad \text{немесе} \quad \frac{p_0}{p_0 - p} - 1 = \frac{p}{p_0 - p} = \frac{v}{v'} \quad (1)$$

$v = m/\mu$ және $v' = m'/\mu'$ екенін біле тұрып, (1) теңдеуден мынаны аламыз:

$$\mu' = \mu \frac{m'}{m} \cdot \frac{p}{p_0 - p}, \quad (2)$$

мұндағы: m – еріткіштің массасы, μ – еріткіштің молярлық массасы, m' – ерітіндінің массасы, μ' – ерітіндінің молярлық массасы. Сандық мәндерін қойып, мынаны табамыз: $\mu' = 0,092$ кг/моль.

7.89. $p_0 = 925$ кПа.

§8. Қатты денелер

8.1. Клаузиус-Клапейрон теңдеуінен

$$\Delta T = \frac{\Delta p T (V_c - V)}{q_0}. \quad (1)$$

Басқа жағынан алғанда энтропияның өзгерісі

$$\Delta S = m\lambda_0/T = \nu q_0/T, \quad (2)$$

мұндағы: λ_0 – меншікті балқу жылуы, q_0 – молярлық балқу жылуы, m – масса. (1) және (2) теңдеулерден

$$\Delta T = \Delta p (V_c - V_k) \nu / \Delta S = 0,009 \text{ К}. \quad (3)$$

8.2. $\Delta S = 15,8$ кДж/К.

8.3. $\Delta V = 1,03$ л.

8.4. а) $c = 390$ Дж/(кг·К); а) $c = 450$ Дж/(кг·К); а) $c = 930$ Дж/(кг·К).

8.5. Шариктің молярлық массасы $\mu = 0,107$ кг/моль, яғни, шарик күмістен жасалған.

8.6. 7,2 есе.

8.7. $\Delta T = 66$ К.

8.8. Біріктіріліп қосылған мыс және темір пластинкалар арқылы өтетін жылу мөлшерін мына формуламен анықтаймыз:

$$Q = \lambda_1 \frac{t_1 - t}{d_1} S \tau = \lambda_2 \frac{t - t_2}{d_2} S \tau,$$

осыдан

$$t = \frac{\lambda_1 t_1 d_2 + \lambda_2 t_2 d_1}{\lambda_1 d_2 + \lambda_2 d_1} = 34,5^\circ\text{C}.$$

8.9. $\lambda = 1,28$ Вт/(м·К).

8.10. $Q = 190$ кДж.

8.11. $Q_\tau = 8,38$ Дж/с; $m = 60$ г.

8.12. $Q_\tau = 11,7$ Дж/с.

8.13. $t = 106^\circ\text{C}$.

8.14. $\tau = 28,6$ сағ.

8.15. $t_0 = 0^\circ\text{C}$ температурадан $t = 30^\circ\text{C}$ температураға дейін қыздырғанда өзек мына шамаға ұзарады:

$$\Delta l = l - l_0 = l_0 \alpha t. \quad (1)$$

Өзек ұзармауы үшін, оған мына күшті түсіру керек: $F = \Delta l ES/l_0$, осы формуладан

$$\Delta l = l_0 F/ES, \quad (2)$$

мұндағы E – өзек материалының Юнг моделі. (1) және (2) теңдеулерден табамыз:

$$F = ES \alpha t = 71 \text{ кН}.$$

8.16. $m = 15,2$ кг.

8.17. $t = 20^\circ\text{C}$.

8.18. $\alpha = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ К}^{-1}$.

8.19. Болат және мыс өзектер үшін

$$l_1 = l_{01}(1 + \alpha_1 t) = l_{01} + l_{01} \alpha_1 t, \quad (1)$$

$$l_2 = l_{02}(1 + \alpha_2 t) = l_{02} + l_{02} \alpha_2 t, \quad (2)$$

Шарт бойынша

$$l_1 - l_2 = \Delta l, \quad l_{01} - l_{02} = \Delta l. \quad (3)$$

(3) теңдеуден (2) және (1) теңдеулерді алып, мынаны табамыз:

$$a_1 l_{01} = a_2 l_{02}. \quad (4)$$

(3) және (4) теңдеулерден $t_0 = 0^\circ\text{C}$ температурасындағы өзектердің ұзындықтарын табу оңай:

$$l_{02} = La_1/(a_2 - a_1) = 11 \text{ см}, \quad l_{01} = l_{02} + L = 16 \text{ см}.$$

8.20. 1,02 есе. 8.21. $p = 29,4 \text{ Мпа}$. 8.22. $d = 4,0 \text{ мм}$.

8.23. $l = 2,9 \text{ км}$. 8.24. $l = 180 \text{ км}$. 8.25. $l = 11,9 \text{ км}$.

8.26. $F = 2,45 \text{ кН}$; $\Delta l = 4 \text{ см}$; жоқ, себебі меншікті күш түсу серпімділік шегінен кіші болады.

8.27. $\alpha = 75^\circ 30'$.

8.28. $n = 3,4 \text{ с}^{-1}$.

8.29. Білікшеге берілген жағдайда әсер ететін центрлік тепкіш күш:

$$F = \int_0^m r \omega^2 dm = \int_0^l r \omega^2 \rho S dr,$$

мұндағы: ω – айналыстың бұрыштық жылдамдығы, r – массасы dm элементтен айналу осіне дейінгі қашықтық. Біртекті білекше үшін $dm = \rho S dr$, мұндағы ρ – білекше материалының тығыздығы, ал S – оның қимасының ауданы. Интеграциялап күштің максимал мәні үшін мынаны аламыз:

$$F = \rho S \omega^2 l^2 / 2,$$

осыдан шекті айналым саны мынадай:

$$n = \frac{1}{\pi l} \sqrt{\frac{F}{2\rho S}} = 38 \text{ айн/с}.$$

8.30. $p = 570 \text{ Мпа}$.

8.31. Гук заңы бойынша

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{1}{E} p_k = \frac{1}{E} \frac{F}{S}, \quad \text{осыдан} \quad F = \frac{SE}{l} \Delta l. \quad (1)$$

Серпімді күш үшін

$$F = k \Delta l. \quad (2)$$

(1) және (2) салыстырып, $k = SE/l$ екенін көреміз. Сонда

$$A = k (\Delta l)^2 / 2 = SE (\Delta l)^2 / 2l. \quad (3)$$

Δl мәнін (1) теңдеу бойынша есептеп және басқа сандық мәндерді (3) теңдеуге қойып мынаны табамыз: $A = 0,706 \text{ Дж}$.

8.32. $E = 2,94$ Мпа.

8.33. Шлангті Δl мәніне дейін созу үшін мынадай күш түсіру қажет:

$$F = \frac{1}{\alpha} S \frac{\Delta l}{l}. \quad (1)$$

Осы кезде шлангтің ішкі диаметрі $\Delta d = \beta d_1 F/S$ азаяды. Бірақ, (1) теңдеуден $F/S = \Delta l/\alpha l$, яғни

$$\Delta d = \beta d_1 \frac{1}{\alpha} \frac{\Delta l}{l} = \frac{\sigma d_1 \Delta l}{l},$$

мұндағы $\sigma = \beta/\alpha$ – Пуассон коэффициенті. Сандық мәндерін қойып, мынаны табамыз: $\Delta d = 1$ мм, яғни, $d_2 = d_1 - \Delta d = 9$ мм.

8.34. $x = 0,3$ м.

8.35. $M = 2,26 \cdot 10^{-7}$ Н·м.

8.36. Бұраушы момент $M = \pi N d^4 \varphi / (2l \cdot 16)$, және $\operatorname{tg} 2\varphi = a/L$. φ -дің аз мәнінде $\operatorname{tg} \varphi \approx \varphi$, сонда $\varphi = a/2L = 32lM / \pi N d^4$. Сондықтан $M = a\pi N d^4 / 64l = 1,96 \cdot 10^{-13}$ Н·м.

8.37. Сымды $d\varphi$ бұрышқа бұру үшін мынадай жұмыс жасау қажет:

$$dA = M d\varphi,$$

мұндағы M – бұраушы момент. $M = \pi N r^4 \varphi / 2l$ болғандықтан

$$A = \int_0^\varphi \frac{\pi N r^4 \varphi}{2l} = \frac{\pi N r^4 \varphi^2}{4l} = 1,25 \cdot 10^{-12} \text{ Дж.}$$

Осы жұмыс ширатылған сымның потенциалдық W энергиясына айналады.

8.38. $a = 1,74$ см.

8.39. Пуассон коэффициенті $\sigma = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{\Delta r/r}{\Delta l/l}$, мұндағы: r – сымның радиусы және l – оның ұзындығы. Созылғанға дейінгі және созылғаннан кейінгі сымның көлемі:

$$V_1 = \pi r^2 l, \quad V_2 = \pi (r - \Delta r)^2 (l + \Delta l).$$

Егер, созған кезде көлемі өзгермесе

$$\pi r^2 l = \pi (r - \Delta r)^2 (l + \Delta l).$$

Δr және Δl квадраттарының шамасын есепке алмай, мынаны табамыз $\pi r^2 l = 2\pi r l \Delta r$. бұдан $\sigma = 0,5$.

8.40. Сығылмаған білекшенің тығыздығы $\rho_1 = m/V_1$, мұндағы $V_1 = \pi r^2 l$. Сығылған білекшенің тығыздығы $\rho_2 = m/V_2$, мұндағы $V_2 = \pi (r - \Delta r)^2 (l + \Delta l)$. Демек, тығыздықтың өзгеруі

$$\Delta\rho = \rho_2 - \rho_1 = m\left(\frac{1}{V_2} - \frac{1}{V_1}\right) = \frac{m\Delta V}{V_2V_1}.$$

Сығылудың шамасы өте кішкене болғандықтан, жуықтап былай деп алуға болады: $V_2V_1 = V_1^2$, яғни $\Delta\rho = m\Delta V/V_1$ деп болжауға болады. Сонда тығыздықтың салыстырмалы өзгерісі мынадай болады $\Delta\rho/\rho_1 = \Delta V/V_1$.

Көлемнің өзгеруін табамыз:

$$\Delta V = \pi r^2 l - \pi(r - \Delta r)^2(l + \Delta l).$$

Δr және Δl квадраттарының шамасын есепке алмай, мынаны табамыз:

$$\Delta V = V_1 \frac{\Delta l}{l} (1 - 2\sigma),$$

бұдан

$$\frac{\Delta\rho}{\rho_1} = \frac{\Delta V}{V_1} = \frac{\Delta l}{l} (1 - 2\sigma),$$

мұндағы σ – Пуассон коэффициенті. Гук заңы бойынша $\Delta l/l = p_\kappa/E$. Сонда

$$\frac{\Delta\rho}{\rho_1} = \frac{p}{E} (1 - 2\sigma).$$

Біздегі $p_\kappa = 9,81 \cdot 10^7$ Па, $E = 1,18 \cdot 10^{11}$ Па және $\sigma = 0,34$. Осы мәндерді қойып мынаны табамыз: $\Delta\rho/\rho_1 = 0,027\%$.

8.41. $\Delta V = 1$ мм³.

8.42. $n = 4$ түйіншек.

8.43. a тұрақтысы элементар ұяшықтың көлемімен $V = a^3$ тендеуі арқылы байланысты, ал $V = V_0/Z_0$. Сондықтан

$$a^3 = \frac{V_0}{Z_0}.$$

Бір килограмм-атом Са-дің көлемі

$$V_0 = \frac{A}{\rho}.$$

Бір килограмм-атомдағы элементар ұяшықтардың саны

$$Z_0 = \frac{N_A}{n},$$

N_A – Авогадро саны, n – бір ұяшыққа келетін атомдар саны. Осы формулаларды орнына қойып мынаны аламыз:

$$a^3 = \frac{nA}{\rho \cdot N_A}, \text{ бұдан } a = \sqrt[3]{\frac{nA}{\rho \cdot N_A}}.$$

$n = 4$ мәнін қойып (алдыңғы есепті қараныз) және $\rho = 1,55 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$, $A = 40 \text{ кг/атом}$ сандық мәндерін қойып мынаны аламыз: $a = 5,56 \text{ \AA}$. Қашықтық

$$d = \frac{a}{\sqrt{2}} = 3,93 \text{ \AA}.$$

8.44. а) $1,44 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$, б) $2,1 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$, а) $4,54 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$.

8.45. $\rho = 1,46 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

8.46. $m = 6,95$ – литий.

8.47. $c/a = 1,63$.

8.48. $a = 3,20 \text{ \AA}$, $c = 5,21 \text{ \AA}$.

8.49. $a = 2,3 \text{ \AA}$.

8.50. $\rho = 207 \text{ кг/м}^3$.

8.51. Денені T_1 температурадан T_2 температураға дейін қыздыру үшін мынадай ΔQ жылу мөлшері бөлінеді:

$$\Delta Q = \int_{T_1}^{T_2} C(T) dT.$$

Дененің жылу сыйымдылығы

$$C = \frac{m}{\mu} C_\mu,$$

(m – дененің салмағы, μ – молярлық масса), яғни

$$\Delta Q = \int_{T_1}^{T_2} C_\mu(T) dT.$$

$T_1 = \theta_D = 320 \text{ К}$ температурдан 2 К -ға қыздырған кезде молярлық жылу сыйымдылығы өзгермейді деп есептеуге болады, себебі $\Delta T \ll T$. Осы жағдайда

$$\Delta Q = \frac{m}{\mu} C_\mu(T_1) \Delta T.$$

$C_\mu(T_1)$ -ді табамыз. Дебай теориясы бойынша:

$$C_\mu(T_1) = 3R \left[12 \left(\frac{T_1}{\theta_D} \right)^3 \int_0^{\theta_D/T_1} \frac{x^3 dx}{e^x - 1} - \frac{3 \left(\frac{\theta_D}{T_1} \right)}{e^{\theta_D/T_1} - 1} \right].$$

$T_1 = \theta_D$ болған кезде интеграл

$$\int_0^1 \frac{x^3 dx}{e^x - 1} = 0,225,$$

сондықтан $C_\mu(T_1) = 2,87R$ және

$$\Delta Q = 2,87 \frac{m}{\mu} R \Delta T = 16,3 \text{ Дж.}$$

Екінші жағдайда $T \ll \theta_D$, яғни

$$C_\mu = \frac{12\pi^4}{5} R \left(\frac{T}{\theta_D} \right)^3, \text{ (көрсету керек!)}$$

$$\Delta Q = \frac{12\pi^4}{5} \frac{m}{\mu} \frac{R}{\theta_D^3} \int_{T_2}^{T_2+\Delta T} T^3 dT.$$

Интеграциялап, мынаны аламыз:

$$\Delta Q = 9\pi^4 \frac{m}{\mu} R \frac{t_2^4}{\theta_D^3} = 1,22 \cdot 10^{-3} \text{ Дж.}$$

8.52. $C_{Cu} = 925 \text{ Дж/(кг·К)}$; $C_{Al} = 390 \text{ Дж/(кг·К)}$; $C_{NaCl} = 852 \text{ Дж/(кг·К)}$; $C_{CaCl_2} = 925 \text{ Дж/(кг·К)}$;

8.53. $\Delta E = 1,7 \text{ кДж}$.

8.54. $\langle E \rangle = kT$; $\langle E \rangle = 4,14 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$.

8.55. $E = 124 \text{ кДж}$; $C = 414 \text{ Дж/град}$.

8.56. $\nu = 3,44 \cdot 10^{12} \text{ Гц}$.

8.57. 3,74 есе.

8.58. $\Delta E = 36 \text{ кДж}$.

8.59. $E_0 = 2,87 \text{ МДж/килограмм-атом}$.

8.60. $g(v) = \frac{9N}{v_{\max}^3} v^2$.

$$8.61. \quad C_\mu = 3R \left[12 \left(\frac{T_1}{\theta_D} \right)^3 \int_0^{\theta_D/T} \frac{x^3 dx}{e^x - 1} - \frac{3 \left(\frac{\theta_D}{T} \right)}{e^{\theta_D/T} - 1} \right].$$

$$8.62. \quad C_\mu = \frac{12\pi^4}{5} R \left(\frac{T}{\theta_D} \right)^3$$

8.63. $\nu_{\max} = 3,76 \cdot 10^{12} \text{ Гц}$.

8.64. $\Delta E/E_0 = 5,2 \cdot 10^{12} \text{ Гц}$.

8.65. $\Delta E = 4,14 \text{ МДж/килограмм-атом}$. 8.66. $\theta_D = 212 \text{ К}$.

$$8.67. \theta_E/\theta_D = 3/4.$$

$$8.68. g(v) = \frac{9N}{v_{\max}^3} v^2.$$

$$8.69. E = 3RT \cdot 2 \left(\frac{T}{\theta_D} \right)^2 \int_0^{\theta_D/T} \frac{x^2 dx}{e^x - 1}.$$

$$8.70. C_\mu = 3R \left[6 \left(\frac{T}{\theta_D} \right)^3 \int_0^{\theta_D/T} \frac{x^3 dx}{e^x - 1} - \frac{3 \left(\frac{\theta_D}{T} \right)}{e^{\theta_D/T} - 1} \right].$$

$$8.71. E_0 = 2,91 \text{ МДж.}$$

$$8.72. g(v) = \frac{3N}{v_{\max}}.$$

$$8.73. E = 3RT \left(\frac{T}{\theta_D} \right) \int_0^{\theta_D/T} \frac{x dx}{e^x - 1}.$$

$$8.74. C_\mu = 3R \left[2 \int_0^{\theta_D/T} \frac{x dx}{e^x - 1} - \frac{\left(\frac{\theta_D}{T} \right)}{e^{\theta_D/T} - 1} \right].$$

$$8.75. E_0 = 1,87 \text{ МДж.}$$

$$8.76. \varepsilon = 3,45 \cdot 10^{-21} \text{ Дж.}$$

$$8.77. p = 10^{-25} \text{ Н} \cdot \text{с.}$$

$$8.78. v = 1,5 \cdot 10^3 \text{ м/с.}$$

$$8.79. \lambda = 48 \text{ Å.}$$

$$8.80. v = 3,13 \cdot 10^3 \text{ м/с.}$$

$$8.87. l = l_0 [1 + \alpha(t_1 + t_2)/2].$$

$$8.88. T = 591,8 - 431,8 \lg R, \text{ мұндағы } R \text{ — түтікшенің осіне дейінгі қашықтық (см-мен); } Q = 30,2 \text{ кДж/сағ.}$$

$$8.89. D = 2 \text{ см.}$$

$$8.90. \Delta l/l = 0,014.$$

$$8.91. H_{\max} = 6,5 \text{ км.}$$

$$8.92. R = d(1 + \alpha_6 \Delta T) / (\alpha_u - \alpha_6) \Delta T = 56 \text{ см.}$$

$$8.93. T(R) = \frac{T_1 - T_2}{R_1 - R_2} \cdot \frac{R_1 R_2}{R} + \frac{t_1 R_1 - t_2 R_2}{R_1 - R_2}.$$

$$8.81. \lambda = 40 \text{ Å.}$$

$$8.82. 11,5 \text{ МН/м}^2.$$

$$8.83. 77,7 \text{ МПа.}$$

$$8.84. \alpha = 3,40 \cdot 10^{-5} \text{ град}^{-1}.$$

$$8.85. \Delta t = 1 \text{ сағат } 20 \text{ минут.}$$

$$8.86. T = 2x/3.$$

$$8.94. T(r) = T_0 + \frac{I^2 \rho}{4\pi^2 R^4 \kappa} (R^2 - r^2).$$

$$8.95. A = 3,1 \text{ В. } 8.96. I_k = 0,15 \text{ А. } 8.97. n = 2,5 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}.$$

$$8.98. u_p = 3,5 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с}); n_p = 2 \cdot 10^{22} \text{ м}^{-3}.$$

$$8.99. \varepsilon_F = -0,05 \text{ В.}$$

$$8.100. \varepsilon = 0,053 \text{ В.}$$

$$8.101. U_X = 1,2 \text{ В.}$$

$$8.102. n = 10^{22} \text{ м}^{-3}.$$

III ТАРАУ

ЭЛЕКТР ЖӘНЕ МАГНЕТИЗМ

§9. Электростатика

$$9.1. \text{ а) } \nabla \vec{r} = 3; \text{ б) } \nabla \vec{e}_r = 2/\vec{r}; \text{ в) } \nabla(f(\vec{r})\vec{e}_r) = \frac{2f(\vec{r})}{r} + \frac{df}{dr}; \text{ г) } 0.$$

$$9.2. \nabla \vec{a} = 0; \Phi_{\vec{a}} = 0.$$

$$9.3. \Phi_{\vec{r}} = 4\pi R^3.$$

$$9.4. \Phi_{\vec{a}} = \int_0^R f(r) 4\pi r^2 dr.$$

$$9.5. \nabla \vec{E} = 0.$$

$$9.6. \rho = \varepsilon_0(2x + 2y + 1).$$

$$9.7. \vec{E} = -(2ax\vec{e}_x + 2by\vec{e}_y + 2cz\vec{e}_z).$$

$$9.8. \text{ Иә, болады; } \varphi(x, y, z) = -(ax + by + cz).$$

$$9.9. \text{ Жоқ, болмайды; } \varphi(\vec{r}) = -\frac{a}{r}.$$

$$9.10. \text{ а) – г) } [\nabla \times \vec{a}] = 0.$$

$$9.12. \text{ Жоқ, бола алмайды.}$$

$$9.13. \text{ а) } [\nabla \times \vec{E}] = 2a\vec{e}_z; \text{ б) } \Gamma = 2a\pi R^2.$$

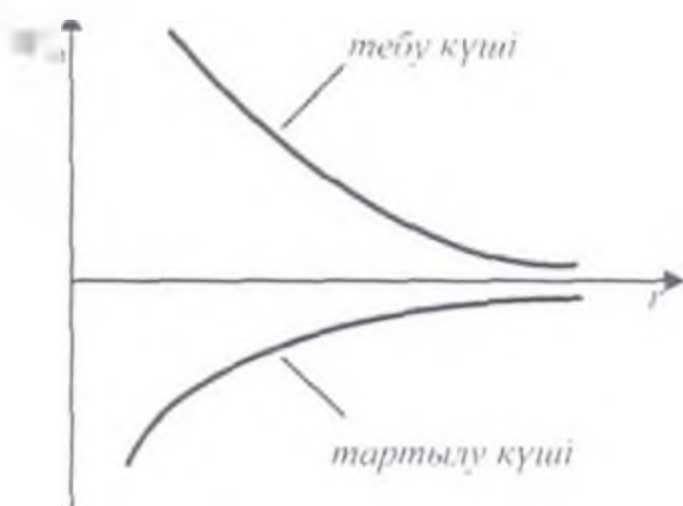
$$9.15. 1,25 \cdot 10^{36} \text{ есе.}$$

$$9.16. \text{ а) } W_{\text{эл}}/W_{\text{гр}} = 4,17 \cdot 10^{42};$$

$$\text{ б) } W_{\text{эл}}/W_{\text{гр}} = 1,24 \cdot 10^{36}$$

9.17. 159-суретте екі нүктелік зарядтың электростатикалық өзара әрекетінің $W_{\text{эл}}$ энергиясының олардың ара қашықтығына тәуелділігінің сипаттамасы берілген.

$$9.18. F = \frac{a \cdot q}{2\pi\varepsilon_0 \left(x^2 + a^2/2\right)^{3/2}}.$$



159-сурет

$$9.19. F = \frac{qQ\sqrt{2}}{4\pi\epsilon_0 a^2}.$$

9.20. Зарядтардың орналасуына байланысты:

а) $E = 0$; б) $E = 60$ кВ/м; в) $E = 30$ кВ/м.

9.21. $E = 0$.

9.22. Әрбір шарикке екі күш әрекет етеді (160-суретті қараңыз): ауырлық күші mg және электростатикалық тебу күші F_E . Осы екі күштің ортақ қорытқы күші F . Бірақ $F_E = mgtg\alpha = q^2/4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2$, $r/2 = l\sin\alpha$, мұндағы $q = q_0/2$ – әрбір шариктегі заряд, g – еркін түсу үдеуі, осыдан мынаны аламыз:

$$m = \frac{F_E}{gtg\alpha} = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0\epsilon \cdot 4l^2 g \sin^2 \alpha tg\alpha} = 15,6 \text{ г.}$$

9.23. $q = 1,1$ мкКл.

9.24. $q_{\min} = 32 \pi\epsilon\epsilon_0 mgR^2/Q$.

$$9.25. T = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 l^2} \left(Q^2 - \frac{q^2}{3\sqrt{3}} \right).$$

$$9.26. T = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 l^2} \left(\frac{9}{4} - \frac{\sqrt{3}}{3} \right).$$

9.27. Ауадағы шарик үшін мына теңдеуді алуға болады (9.22 есептің шешімін қараңыз):

$$mg = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0\epsilon \cdot 4l^2 g \sin^2 \alpha tg\alpha}. \quad (1)$$

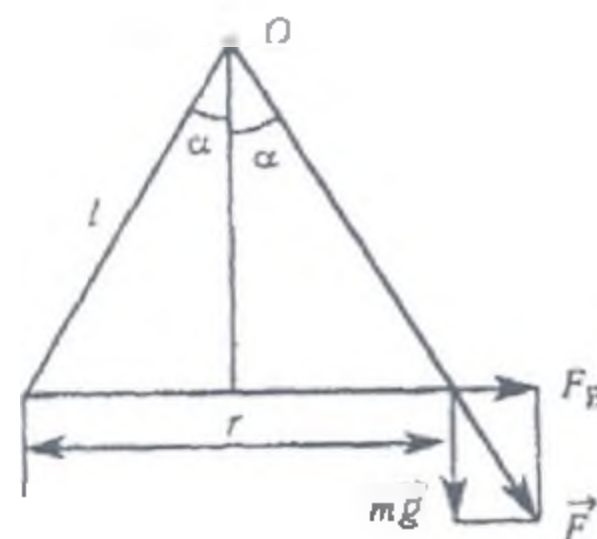
Шарикті керосинге батырғанда әрбір шарикке Архимед күші $F_{\text{Арх}}$ әрекет ете бастайды. Керосинге батырылған шарик үшін мына формуланы аламыз:

$$mg - F_{\text{Арх}} = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0\epsilon_{\text{к}} \cdot 4l^2 g \sin^2 \alpha_{\text{к}} tg\alpha_{\text{к}}}. \quad (2)$$

Екінші жағынан:

$$mg - F_{\text{Арх}} = (\rho - \rho_{\text{к}})Vg, \quad (3)$$

мұндағы: ρ – шарик материалының тығыздығы, $\rho_{\text{к}}$ – керосиннің тығыздығы, V – шариктің көлемі, g – еркін түсу үдеуі. (1) – (3)-ден мынаны табамыз:



160- сурет

$$\frac{mg - F_{\text{Арх}}}{mg} = \frac{\rho - \rho_{\text{к}}}{\rho} = \frac{\varepsilon \sin^2 \alpha \operatorname{tg} \alpha}{\varepsilon_{\text{к}} \sin^2 \alpha_{\text{к}} \operatorname{tg} \alpha_{\text{к}}},$$

бұдан

$$\rho = \rho_{\text{к}} \frac{\varepsilon_{\text{к}} \sin^2 \alpha_{\text{к}} \operatorname{tg} \alpha_{\text{к}}}{\varepsilon_{\text{к}} \sin^2 \alpha_{\text{к}} \operatorname{tg} \alpha_{\text{к}} - \varepsilon \sin^2 \alpha \operatorname{tg} \alpha} = 2,55 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3.$$

9.29. $\alpha = 13^\circ \text{C}$.

9.30. $\sigma = 2\varepsilon_0 \varepsilon \sqrt{T^2 - (mg)^2} / q = 7,8 \text{ мкКл/м}^2$.

9.32. $E = \lambda / (2\pi\varepsilon_0 x)$.

9.33. $E = \frac{\lambda l}{2\pi\varepsilon_0 x \sqrt{4x^2 + l^2}}$.

9.34. $E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$.

9.35. а) $F = 20 \text{ мкН}$; а) $F = 126 \text{ мкН}$; а) $F = 62,8 \text{ мкН}$;

9.37. $F_l = 3,4 \text{ Н/м}$.

9.38. $F_l = 8,1 \text{ Н/м}$; $A_l = 0,112 \text{ Дж/м}$.

9.39. $E = 3,12 \text{ МВ/м}$; өріс екі жіп арқылы өтетін жазықтыққа перпендикуляр бағытталған.

9.40. $F_S = 5,1 \text{ кН/м}^2$.

9.41. Шарға үш күш әрекет етеді: электр өрісінің күші F (жоғары қарай), ауырлық күші mg (төмен қарай) және Архимед күші $F_{\text{Арх}}$ (жоғары қарай). Тепе-теңдік жағдайда:

$$mg = F + F_{\text{Арх}}; \quad (1)$$

$$mg = 4\pi R^3 g \rho / 3, \quad F = Eq, \quad F_{\text{Арх}} = 4\pi R^3 g \rho_{\text{м}} / 3 \quad (2)$$

мұндағы ρ және $\rho_{\text{м}}$ – мыстың және майдың сәйкес тығыздықтары. (1) және (2) теңдеулерден мынаны аламыз:

$$q = 4\pi R^3 g (\rho - \rho_{\text{м}}) / 3E = 11 \text{ нКл}.$$

9.42. Мынаны аламыз

$$E = \frac{\tau \sin \alpha}{2\pi\varepsilon_0 \varepsilon a}. \quad (1)$$

Сызбадан мынаған көз жеткізуге болады:

$$\sin \alpha = \frac{l/2}{\sqrt{a^2 + (l/2)^2}}, \quad (2)$$

мұндағы: l – жіптің ұзындығы, a – жіптен қарастырылып отырған нүктеге дейінгі қашықтық. (2)-ні (1)-ге қойып, мынаны аламыз (9.33 есеппен салыстыру керек):

$$E = \frac{\tau l}{4\pi\epsilon_0\epsilon a \sqrt{a^2 + (l/2)^2}}, \quad (3)$$

а) $a \ll l$ болғанда $\sqrt{a^2 + (l/2)^2} \approx l/2$. (3) формуладан $E = \tau/2\pi\epsilon_0\epsilon a^2$ – шексіз ұзын жіптің өрісінің кернеулігі.

б) $a \gg l$ болғанда $\sqrt{a^2 + (l/2)^2} \approx a$. (3) формуладан $\tau l = q$ болғандықтан, $E = q/2\pi\epsilon_0\epsilon a^2$ – нүктелік зарядтың өрісінің кернеулігін аламыз.

9.43. Сақинаның dl элементін қарастырамыз (161-суретті қараңыз). Осы элементтің заряды dq . A нүктесіндегі осы элементтің электр өрісінің кернеулігі $dE = dq/4\pi\epsilon_0\epsilon x^2$. Ол сақинаның dl элементін A нүктесімен қосатын x сызығының бойымен бағытталған. Сақинаның жалпы өрісінің кернеулігін табу үшін барлық $d\vec{E}$ элементтерді векторлық түрінде қосу керек. $d\vec{E}$ векторын $d\vec{E}_\tau$ және $d\vec{E}_n$ құрастырушыларына бөлуге болады. Бір-біріне диаметралды қарама-қарсы $d\vec{E}_n$ құрастырушылары өзара жойылады, сонда

$$E = \int dE_\tau.$$

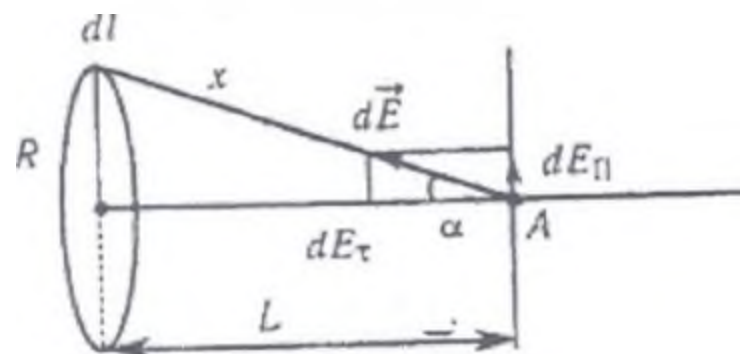
Құрастырушы

$$dE_\tau = dE \cos \alpha = dE \frac{L}{x} = \frac{L dq}{4\pi\epsilon_0\epsilon x^2},$$

$$E = \frac{L}{4\pi\epsilon_0\epsilon x^3} \int dq = \frac{Lq}{4\pi\epsilon_0\epsilon x^3}.$$

Бірақ $x = \sqrt{R^2 + L^2}$, сондықтан сақинаның осіндегі электр өрісінің кернеулігі:

$$E = \frac{Lq}{4\pi\epsilon_0\epsilon (R^2 + L^2)^{3/2}}. \quad (1)$$



161-сурет

Егер $L \gg R$ болса $E = q/4\pi\epsilon_0\epsilon L^2$, яғни үлкен қашықтықта зарядталған сақинаны нүктелік заряд ретінде қарастыруға болады. (1) теңдеуге сандық мәндерін қойып, 0, 1,60, 1,71, 1,60 және 1,15 кВ/м-ге тең

болатын E кернеуліктерін табамыз. x және L мәндерін α бұрышы арқылы жазамыз. $R = x \sin \alpha$, $L = x \cos \alpha$, сонда (1) формула мына түрге келеді:

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon R^2} \cos \alpha \sin^2 \alpha.$$

E кернеулігінің максимал мәнін табу үшін $dE/d\alpha$ туындысын нольге теңстіреміз:

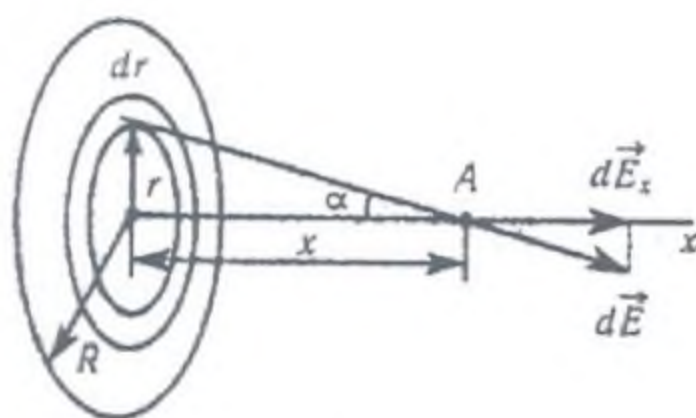
$$\frac{dE}{d\alpha} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon R^2} (\cos^2 \alpha 2 \sin \alpha - \sin^3 \alpha) = 0$$

немесе $\operatorname{tg}^2 \alpha = 2$. Сонда электр өрісінің кернеулігі сақинаның центрінен $L = R/\operatorname{tg} \alpha = R/\sqrt{2} = 7,1$ см қашықтықта орналасқан A нүктесінде өзінің максимал мәніне жетеді.

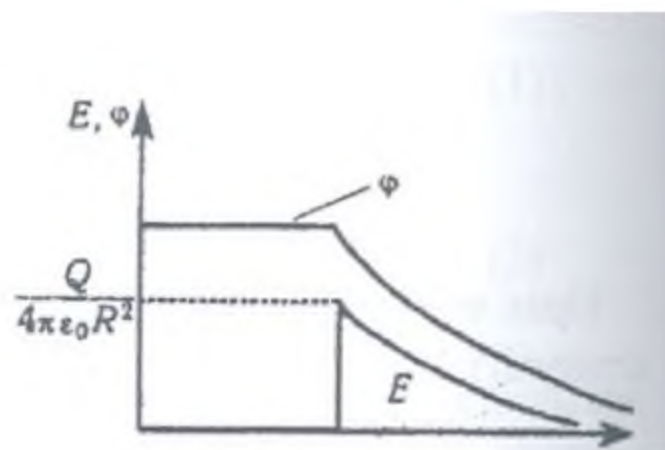
9.44. 1,3 есе.

9.45. 162 суретті қараңыз.

$$\begin{aligned} dE &= \frac{dq}{4\pi\epsilon_0(r^2 + x^2)} = \frac{\sigma \cdot 2\pi r dr}{4\pi\epsilon_0(r^2 + x^2)}, \\ E &= \int dE \cos \alpha = \int dE \frac{x}{\sqrt{r^2 + x^2}} = \frac{\sigma \cdot 2\pi x}{4\pi\epsilon_0} \int_0^R \frac{r dr}{(r^2 + x^2)^{3/2}} = \\ &= \frac{\sigma \cdot x}{4\pi\epsilon_0} \int_0^R \frac{dr^2}{(r^2 + x^2)^{3/2}} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \left[1 - \frac{x}{R\sqrt{1 + x^2/R^2}} \right], \\ \Delta\varphi &= - \int_0^x E dx = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \left[-x + \frac{1}{R} \int_0^x \frac{x dx}{\sqrt{1 + \left(\frac{x}{R}\right)^2}} \right] = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \left[-x + \sqrt{1 + \left(\frac{x}{R}\right)^2} \right]. \end{aligned}$$



162-сурет



163-сурет

9.46. 9.45 есептен

а) Егер $R \gg x$ болса, $1 - \frac{x}{R\sqrt{1+x^2/R^2}} \rightarrow 1$, және $E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$, яғни электр өрісі шексіз зарядталған жазықтықтан туындайды.

б) Егер $x \gg R$ болса, $1 - \frac{x}{R\sqrt{1+x^2/R^2}} \rightarrow 1 - \left[1 - \frac{1}{2} \frac{R^2}{x^2} + \dots \right] \approx \frac{1}{2} \frac{R^2}{x^2}$, және $E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \frac{R^2}{x^2} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 x^2}$, яғни электр өрісі нүктелік зарядтан туындайды.

9.47. 9.45 есептің шешімінен дискілер аралығындағы \vec{E} электр өрісі үшін формуланы табу керек.

9.48. Остроградский-Гаусс теоремасын пайдаланып есептің шешімін оңай табуға болады (163 суретті қараңыз):

$$E = 0, 0 \leq r < R; E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}, r \geq R; \varphi = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R}, 0 \leq r < R; \varphi = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r}, r \geq R.$$

$$9.49. \vec{E} = \frac{\rho}{3\epsilon_0} \vec{r}, 0 \leq r < R; \vec{E} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \frac{\vec{r}}{|\vec{r}|}, r \geq R; Q = \frac{4}{3}\pi R^3 \rho,$$

ρ – электр зарядының тығыздығы;

$$\varphi = \frac{\rho}{2\epsilon_0} \left(R^2 - \frac{r^2}{3} \right), 0 \leq r \leq R; \varphi = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{r} \right), r \geq R;$$

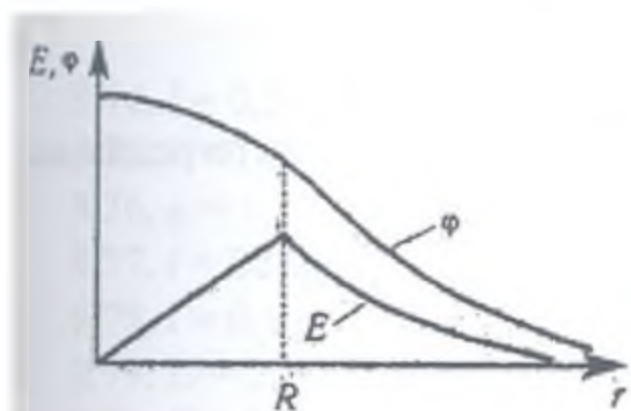
$$\varphi_0 = \frac{\rho R^2}{2\epsilon_0}; E(R) = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R^2} \text{ (164 суретті қараңыз).}$$

$$9.50. F = \frac{q\sigma}{2\epsilon_0}; E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}.$$

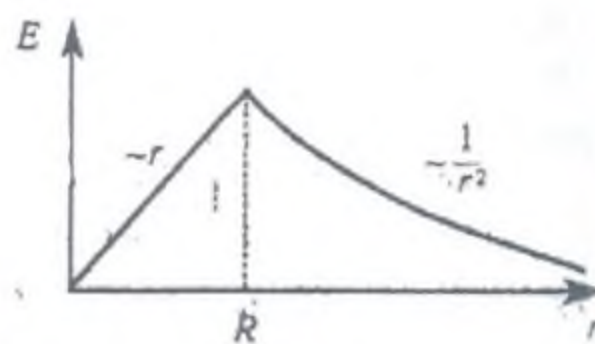
$$9.51. E = \frac{\rho r}{2\epsilon_0}, 0 \leq r \leq R; E = \frac{\rho R^2}{2\epsilon_0 r}, r \geq R;$$

$$\varphi = \frac{\rho}{4\epsilon_0} (R^2 - r^2), 0 < r < R; \varphi = \frac{\rho R^2}{2\epsilon_0} \ln \frac{R}{r}, R < r$$

(165 суретті қараңыз).



164-сурет



165-сурет

9.52. Кубтың бір жағына әрекет ететін күш $F = \sigma \int E_n dS$, мұндағы $\int E_n dS$ – қалған бес жақтың туғызған өріс кернеулігі векторының кубтың берілген бір жағы арқылы өтетін ағыны. Тұйық бет ретінде берілген кубтан сәл үлкен куб саламыз. Сонда кубтың барлық алты жағы салынған кубтың барлық алты бетінен өтетін өрістің кернеулік векторының ағынын береді $\Phi = q/\varepsilon_0 = 6\sigma l^2/\varepsilon_0$, ал бір жақ арқылы мына ағынды береді $\Phi' = \sigma l^2/\varepsilon_0$. Бірақ

$$\Phi' = \int_{\text{бес жақтан}} E_n dS + \sigma l^2/2\varepsilon_0, \quad \text{бір жақтан}$$

$$\text{демек} \quad \int E_n dS = \frac{\sigma l^2}{2\varepsilon_0}.$$

Ендеше, $F = \sigma^2 l^2/2\varepsilon_0$. Тетраэдр үшін $F = \sqrt{3} \sigma^2 l^2/8\varepsilon_0$.

9.53. Нұсқау: қуысты ойша тығыздықтары әртүрлі таңбалы болатын $+\rho$ және $-\rho$ зарядтарымен толтыру керек. Сонда қуыстағы өрісті тепе-тең қарама-қарсы зарядталған екі шардың өрістерінің суперпозициясы ретінде қарастыруға болады.

$$\vec{E} = \frac{\rho}{3\varepsilon_0} \vec{a}.$$

9.54. $\frac{mv^2}{2} = \frac{qq_0}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon r}$; $r = 6$ см.

9.55. $r = 5,1 \cdot 10^{-10}$ м.

9.56. $A = 1,2$ мкДж.

9.57. а) $\varphi = 11,3$ В; б) $\varphi = 30$ В.

9.58. $A = 113$ мкДж.

9.59. $v_1 = 16,7$ см/с.

9.60. $dA = qdU$, бірақ $dU = -E dr = r dr/2\pi\varepsilon_0\varepsilon r$, интеграциялап, мынаны табамыз:

$$A = - \int_{r_1}^{r_2} \frac{q\tau}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon r} = \frac{q\tau}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon r} \ln \frac{r_1}{r_2},$$

осыдан

$$\tau = \frac{2\pi\varepsilon_0\varepsilon A}{q \ln(r_1/r_2)} = 0,6 \text{ мкКл/м}.$$

9.61. $\tau = 3,7$ мкКл/м.

9.62. $v = 2,97 \cdot 10^7$ м/с.

9.63. $\sigma = 2A\varepsilon_0\varepsilon/q\Delta r = 6,6$ мкКл/м².

9.64. $d = 4,8$ см.

9.65. $\varphi_1 = \varphi(R_2 - R_1)/R_2$; $\varphi_2 = \varphi_1 R_1/R_2$.

9.66. $E = \frac{\sigma}{4\varepsilon\varepsilon_0}$; $\varphi = \frac{\sigma R}{2\varepsilon\varepsilon_0}$.

$$9.67. \varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} p \cdot \cos \theta / r^2; \quad E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} (p/r^3) \sqrt{1 + 3\cos^2 \theta}.$$

$$9.68. F = 2,1 \cdot 10^{-16} \text{ Н}.$$

$$9.69. v_{\max} = \frac{q}{\sqrt{4\pi\epsilon_0 m l}} - \sqrt{kgl}, \quad \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 l^2} > kmg \text{ болғанда.}$$

9.70. Нұсқау: жылдамдық t уақыт кезеңінде барлық зарядтар бір түзу сызықтың бойында болғанда жылдамдық ең үлкен шамаға жетеді:

$$v_1 = \frac{2q}{\sqrt{4\pi\epsilon_0 6ml}}; \quad v_2 = \frac{q}{\sqrt{4\pi\epsilon_0 6ml}};$$

9.71. Екі электрон үшін сақтау заңдарын жазып мынаны аламыз: $\alpha = \pi/2$.

$$9.72. v = \frac{q}{\sqrt{8\pi\epsilon_0 m d}}.$$

9.73. Нұсқау: айналық шағылысу әдісін қолдану керек (9.28 есепті қараңыз).

$$F = \frac{2\sqrt{2} - 1}{32\pi\epsilon_0 d^2} q^2.$$

$$9.74. l = 0,5mgd/qE = 2 \text{ см}; \quad t = d/2v_2 = 1 \text{ с}.$$

$$9.75. r = 10^{-6} \text{ м}; \quad q = 7,3 \cdot 10^{-18} \text{ Кл}.$$

$$9.76. q = 1,73 \text{ нКл}.$$

$$9.77. l = 22 \text{ мкм}.$$

$$9.78. l = 0,5 \text{ см}.$$

$$9.79. U = 2,8 \text{ В}; \quad E = 530 \text{ В/м}; \quad \sigma = 4,7 \text{ нКл/м}^2.$$

$$9.80. E = 5,7 \text{ В/м}; \quad v = 10^6 \text{ м/с}; \quad A = 4,5 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}; \quad U = 2,8 \text{ В}.$$

$$9.81. F = 9,6 \cdot 10^{-14} \text{ Н}; \quad \alpha = 1,05 \cdot 10^{17} \text{ м/с}^2; \quad v = 3,24 \cdot 10^7 \text{ м/с}; \quad \sigma = 5,3 \text{ мКл/м}^2.$$

$$9.82. v_0 \leq \sqrt{|e| E / m d};$$

$$\text{электрон үшін } v_0 = 3,64 \cdot 10^7 \text{ м/с};$$

$$\alpha\text{-бөлшек үшін } v_0 = 6 \cdot 10^5 \text{ м/с}.$$

$$9.83. a_\tau = 15,7 \cdot 10^{14} \text{ м/с}^2; \quad a_n = 8 \cdot 10^{14} \text{ м/с}^2; \quad a_\tau = 17,6 \cdot 10^{14} \text{ м/с}^2.$$

$$9.85. U = \frac{2U_0 y d}{l(x + l/2)} = 28 \text{ В}.$$

$$9.86. y = 1 \text{ см}.$$

$$9.87. C = 710 \text{ мкФ}; \quad \Delta\varphi = 1400 \text{ В}.$$

$$9.88. m = 2,5 \cdot 10^{-20} \text{ кг}.$$

$$9.89. \varphi = n^{2/3} q / (4\pi\epsilon_0 \epsilon r) = 3,6 \text{ кВ}.$$

$$9.90. r = 2,1 \text{ см}.$$

$$9.91. \varphi = E_0 R; \quad \varphi_{\max} = 1,5 \text{ МВ}.$$

$$9.92. C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d},$$

S – конденсатор пластиналарының ауданы, d – пластиналардың арақашықтығы.

$$9.93. C = 2\pi\varepsilon\varepsilon_0 l / \ln(R_2/R_1).$$

$$9.94. C = 4\pi\varepsilon_0\varepsilon \frac{R_1 R_2}{R_1 - R_2}.$$

$$9.95. C = 5,9 \text{ нФ}.$$

$$9.96. C_1 = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_1 S}{d} = 17,7 \text{ пФ}; \sigma_1 = q/S = CU/S = 531 \text{ нКл/м}^2.$$

$$C_2 = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_2 S}{d} = 46 \text{ пФ}; \sigma_2 = \sigma_1.$$

$$9.97. C_1 = 17,7 \text{ пФ}; \sigma_1 = 531 \text{ нКл/м}^2; C_2 = 46 \text{ пФ}; \sigma_2 = 1,38 \text{ мКл/м}^2;$$

$$9.98. C_1 = 214 \text{ пФ/м}.$$

$$9.99. dA = -qEdx, \text{ мұндағы}$$

$$E = \frac{U}{x \ln(R/r)} -$$

– цилиндрлік конденсатордағы өріс (9.93 есепті қараңыз)

$$A = - \int_{l_1}^{l_2} \frac{qUdx}{x \ln(R/r)} = \frac{qU \ln(l_1/l_2)}{\ln(R/r)} = \frac{mv^2}{2};$$

$$v = \sqrt{\frac{2qU \ln(l_1/l_2)}{m \ln(R/r)}} = 1,46 \cdot 10^7 \text{ м/с}.$$

9.100. Бірінші қабаттағы потенциалдың түсуі:

$$U_1 = - \int_{r+d_1}^r E dx = \frac{U_0 \ln((r+d_1)/r)}{\ln(R/r)},$$

ал екінші қабатта

$$U_2 = \frac{U_0 \ln(R/(r+d_1))}{\ln(R/r)}.$$

Бұдан

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{\ln((r+d_1)/r)}{\ln(R/(r+d_1))} = 1,35.$$

$$9.101. C = 0,96 \text{ пФ}.$$

$$9.102. \text{ а) } \varphi = 300 \text{ В}; \text{ б) } \varphi = 75 \text{ В}.$$

$$9.103. C = 1,17 \text{ нФ}; R_0 = 2,1 \text{ м}.$$

$$9.104. \quad v = \sqrt{\frac{2qUrR(x_1 - x_2)}{m(R - r)x_1x_2}} = 1,54 \cdot 10^7 \text{ м/с}.$$

$$9.105. \quad C = 0,33 \text{ мкФ}.$$

$$9.106. \quad C_1/C_2 = 3.$$

$$9.107. \quad q_1 = q_2 = 8 \text{ мкКл}; \quad U_1 = 4 \text{ В}; \quad U_2 = 2 \text{ В}.$$

$$9.109. \quad W = 0,1 \text{ Дж}.$$

$$9.111. \quad U = (\sqrt{4\alpha U_0 + 1} - 1)/2\alpha = 12 \text{ В}.$$

$$9.112. \quad \text{а) } C' = \frac{4}{3} C; \quad \text{б) } C' = \frac{7}{5} C; \quad \text{в) } C' = 3C;$$

$$9.113. \quad q_1 = q_4 = U \frac{C}{3}; \quad q_2 = q_3 = q_5 = q_6 = U \frac{C}{6}.$$

9.114. Зарядтардың сақталу заңы бойынша мынаны аламыз:

$$q_1 - q_2 = q'_1 - q'_2, \quad q_2 - q_3 = q'_2 - q'_3.$$

Осы тұйықталған тізбек бойымен зарядтардың орынауыстыру жұмысы нольге тең (өріс потенциалды болғандықтан), яғни:

$$0 = \frac{q'_1}{C} + \frac{q'_2}{C} + \frac{q'_3}{C}.$$

Сондықтан

$$q'_1 = \frac{2q_1 - q_2 - q_3}{3}, \quad q'_2 = \frac{2q_2 - q_3 - q_1}{3}, \quad q'_3 = \frac{2q_3 - q_1 - q_2}{3}.$$

9.116. Нұсқау: тұйықталған контур бойымен зарядтардың орынауыстыруында электростатикалық өрісінің жұмысы нольге тең екендігін ескеру керек. $C' = 2C$.

$$9.117. \quad R = 7 \text{ мм}; \quad q = 7 \text{ нКл}; \quad C = 1,55 \text{ пФ}; \quad W = 15,8 \text{ мкДж}.$$

$$9.118. \quad \text{а) } W_1 = 50 \text{ мкДж}; \quad \text{б) } W'_1 = W'_2 = 12,5 \text{ мкДж}, \quad A = 25 \text{ мкДж};$$

$$\text{в) } W'_1 = W'_3 = 3,125 \text{ мкДж}, \quad A = 6,25 \text{ мкДж}.$$

$$9.119. \quad q = 17,7 \text{ мкКл}; \quad E = 333 \text{ кВ/м}; \quad W_0 = 2,94 \text{ Дж/м}^3.$$

$$9.120. \quad p = 26,5 \text{ Па}.$$

$$9.121. \quad \text{а) } E = 56 \text{ кВ/м}; \quad \text{б) } d = 5 \text{ мм}; \quad \text{в) } v = 10^7 \text{ м/с}; \quad W = 695 \text{ нДж}; \quad \text{д) } C = 1,77 \text{ пФ}; \quad \text{е) } F = 139 \text{ мкН}.$$

$$9.122. \quad E = 60 \text{ кВ/м}; \quad W_1 = 20 \text{ мкДж}; \quad W_2 = 8 \text{ мкДж}.$$

$$9.123. \quad E_1 = E_2 = 150 \text{ кВ/м}; \quad W_1 = 20 \text{ мкДж}; \quad W_2 = 50 \text{ мкДж}$$

$$9.124. \quad \varepsilon = 4,5.$$

$$9.125. \quad \text{а) } W_0 = \sigma^2 R^4 / [2\varepsilon_0 \varepsilon (R + x)^4] = 97 \text{ мДж/м}^3;$$

$$\text{б) } W_0 = \sigma^2 R^4 / (8\varepsilon_0 \varepsilon) = 1,97 \text{ мДж/м}^3;$$

$$\text{в) } W_0 = r^2 / (8\pi \varepsilon_0 \varepsilon x^2) = 50 \text{ мДж/м}^3;$$

9.126. σ_0 – диэлектрик жоқ кездегі пластиналардағы зарядтың беттік тығыздығы, ал σ_d – диэлектрик бар кездегі пластиналардағы зарядтың беттік тығыздығы болсын. σ_6 – диэлектриктегі байланысқан зарядтардың беттік тығыздығы. Соңғы екеуінің бірлескен әрекетін

беттік тығыздығы $\sigma = \sigma_d - \sigma_6$ болатын диэлектриктің шекарасындағы «эффективті» зарядтың әрекеті ретінде қарастыруға болады.

σ_0 , σ_d және σ өздеріне сәйкес өрістердің кернеулігіне байланысты екені анық:

диэлектриктің жоқ кезінде $E_1 = \sigma_0/\varepsilon_0 = U_1/d$;

диэлектрик бар кезде $E_2 = \sigma_d/\varepsilon_0\varepsilon = \sigma_0/\varepsilon_0 = U_2/d$.

$$\sigma_6 = \varepsilon_0\varepsilon E_2 - \varepsilon_0 E_2 = \varepsilon_0(\varepsilon - 1) E_2 = \varepsilon_0(\varepsilon - 1) U_2/d.$$

а) Ток көзінен айырғанға дейінгі кернеу: $U_1 = U_2 = U$,

$$\sigma_6 = \varepsilon_0(\varepsilon - 1) U/d = 17,7 \text{ мкКл/м}^2.$$

Конденсаторды диэлектрикпен толтырған кездегі зарядтың беттік тығыздығының өзгеруі $\sigma_d - \sigma_0 = \varepsilon_0\varepsilon E_2 - \varepsilon_0 E_1$. Берілген жағдайда $E_2 = E_1 = U/d$ болатындықтан:

$$\sigma_d - \sigma_0 = \sigma_6 = \varepsilon_0(\varepsilon - 1)U/d = 17,7 \text{ мкКл/м}^2.$$

б) Конденсаторды ток көзінен айырғаннан кейін $U_2 = \varepsilon_1 U_1/\varepsilon_2$ және

$$\sigma_6 = \varepsilon_0(\varepsilon - 1)U_2/d = \varepsilon_0(\varepsilon - 1)\varepsilon_1 U_1/\varepsilon_2 d = 2,53 \text{ мкКл/м}^2.$$

9.127. $\sigma_6 = 4\pi\varepsilon_0\kappa E = 4\pi\varepsilon_0\kappa U/d = 7,1 \text{ мкКл/м}^2$;

$$\sigma_d = \varepsilon_0\varepsilon U/d = 14 \text{ мкКл/м}^2.$$

9.128. а) $E = 300 \text{ кВ/м}$; б) $\sigma_d = 15,9 \text{ мкКл/м}^2$; в) $\sigma_6 = 13,3 \text{ мкКл/м}^2$.

9.129. а) $E = 752 \text{ кВ/м}$; $D = \varepsilon_0\varepsilon E = 13,3 \text{ мкКл/м}^2$; б) $\sigma_6 = 6,7 \text{ мкКл/м}^2$;

в) $\sigma_d = 13,3 \text{ мкКл/м}^2$; г) $W_0 = 5 \text{ Дж/м}^3$; д) $\kappa = \varepsilon - 1$.

9.130. а) $A = 19,7 \text{ мкДж}$; б) $A = 98 \text{ мкДж}$.

$$9.131. \vec{P} = \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon} \vec{D}.$$

$$9.132. E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0\varepsilon} = \frac{E_0}{\varepsilon}; D = \varepsilon_0\varepsilon E = \sigma; \Delta\varphi = \frac{\sigma \cdot d}{\varepsilon_0\varepsilon}.$$

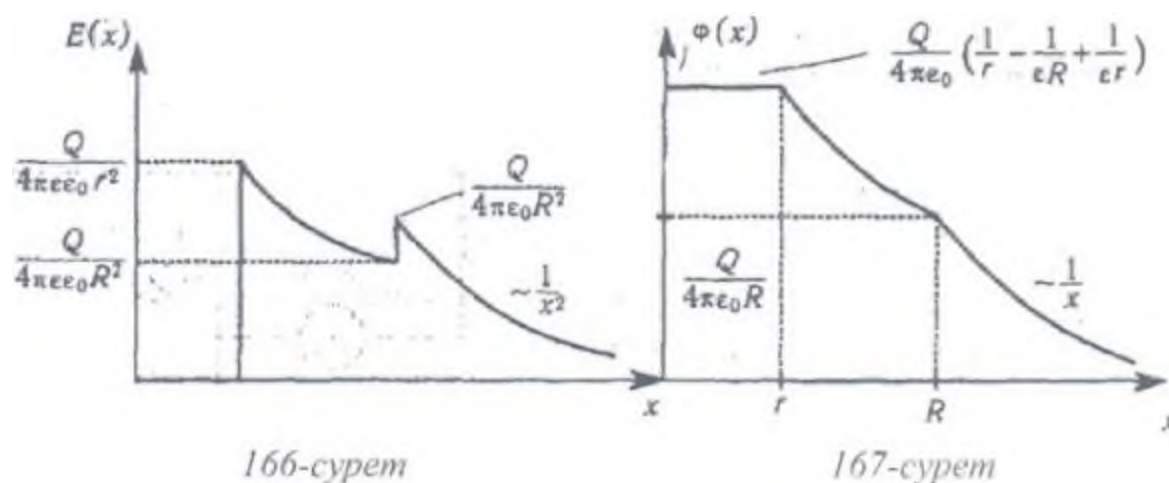
9.133. а) $E = 50 \text{ В/м}$, $D = 0,885 \text{ нКл/м}^2$; б) $P = 0,44 \text{ нКл/м}^2$; в) $\sigma' = \pm 0,44 \text{ нКл/м}^2$.

$$9.134. \sigma_{\text{ішкі}} = -\frac{(\varepsilon - 1)Q}{4\pi\varepsilon r^2}; \sigma_{\text{сыртқы}} = \frac{(\varepsilon - 1)Q}{4\pi\varepsilon R^2},$$

(166-167 суреттерді қараңыз)

$$9.135. p = \frac{(\varepsilon - 1)Q}{32\pi^2\varepsilon_0\varepsilon} \left(\frac{1}{r^4} - \frac{1}{R^4} \right).$$

$$9.136. W = \frac{q^2}{2C} \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon}.$$



166-сурет

167-сурет

§ 10. Электр тогы

$$10.1. q = \int_{t_1}^{t_2} I dt = \int_{t_1}^{t_2} (4 + 2t) dt = 48 \text{ Кл}; I_0 = 12 \text{ А.}$$

$$10.2. \text{ а) } R = 70 \text{ Ом};$$

$$\text{ б) } R_1 = 87,5 \text{ Ом}; R_2 = 116,7 \text{ Ом}; R_3 = 175 \text{ Ом}; R_4 = 350 \text{ Ом};$$

10.3. $R_1 = R_0(1 + \alpha t_1)$, мұндағы $R_0 - t_0 = 0^\circ\text{C}$ температурасындағы қылдың кедергісі, осыдан $R_0 = R_1/(1 + \alpha t_1) = 32,8 \text{ Ом}$. $R_2 = U/I = 364 \text{ Ом}$, және $R_2 = R_0(1 + \alpha t_2)$ болғандықтан, $t_2 = (R_2 - R_0)/R_0\alpha = 2200^\circ\text{C}$.

$$10.4. t_0 = 70^\circ\text{C}.$$

$$10.5. U_2 = 0,125 \text{ В}; R = 7,5 \text{ Ом}.$$

$$10.6. \eta = 25\%.$$

$$10.7. U_2 = 2,7 \text{ В}; r = 0,9 \text{ Ом}.$$

$$10.8. x = U/I = n/(1 + n); \text{ а) } x = 9,1\%; \text{ б) } x = 50\%; \text{ в) } x = 91\%.$$

$$10.9. \eta = 80\%.$$

10.10. Элементтерді тізбектеп қосқанда $I_1 = 2/(2r + R)$, ал параллель қосқанда $I_2 = \mathcal{E}/(0,5r + R)$.

а) $I_1 = 5 \text{ А}$, $I_2 = 5,7 \text{ А}$, б) $I_1 = 0,24 \text{ А}$, $I_1 = 0,124 \text{ А}$. Сонымен, R кедергісінің шамасы аз болған жағдайда элементтерді параллель түрде, ал осы шама көп болған жағдайда тізбектеп қосқан ыңғайлы.

$$10.11. I_1 = 0,6 \text{ А}; I_2 = 0,4 \text{ А}; I = I_1 + I_2 = I.$$

10.12. Тізбектегі ток күші $I = 2\mathcal{E}/(R + r_1 + r_2) = 1,33 \text{ А}$. Бірінші элементтің қысқыштарындағы потенциалдар айырымы $U_1 = \mathcal{E} - Ir_1 = 0,66 \text{ В}$; екінші элементтің қысқыштарындағы потенциалдар айырымы $U_2 = \mathcal{E} - Ir_2 = 0$. Оқушыларға жалпы түрде R , r_1 және r_2 кедергілерінің қандай қатынасында екі элементтің біреуіндегі қысқыштарындағы потенциалдар айырымы нольге тең болатындығын зерттеу ұсынылады.

$$10.13. I = 2 \text{ А}, U_2 = 2 \text{ В}.$$

$$10.14. U = 80 \text{ В}.$$

$$10.15. \text{ а) } I = 0,22 \text{ А}, U_2 = 110 \text{ В}; \quad \text{ б) } I = 0,142 \text{ А}, U_2 = 53,2 \text{ В};$$

$$\text{ в) } I = 0,57 \text{ А}, U_2 = 110 \text{ В}; \quad \text{ г) } I = 0,089 \text{ А}, U_2 = 35,6 \text{ В}.$$

$$10.16. I = 40 \text{ А}.$$

10.17. Амперметрге параллель $R = 0,02 \text{ Ом}$ кедергіні қосу керек, амперметрдің шкаласының бөлінуі $0,1 \text{ А/бөл-тен } 1 \text{ А/бөл-ке}$ өзгереді.

10.18. Вольтметрге тізбектеп $R = 3 \text{ кОм}$ кедергіні қосу керек, вольтметрдің шкаласының бөлінуі $0,2 \text{ В/бөл-тен } 0,5 \text{ В/бөл-ке}$ өзгереді.

10.19. $R = 300 \text{ Ом}$; $l = 21,2 \text{ м}$.

10.20. 168-суретті қараңыз.

$$I_1 = I_2 = 0,365 \text{ А}, I_3 = 0,73 \text{ А}.$$

10.21. $\Delta U = 6,8 \text{ В}$.

10.22. $\Delta P = 212 \text{ Вт}$.

10.23. $S = 78 \text{ мм}^2$.

10.24. а) $Q_1/Q_2 = 0,17$; б) $U_1/U_2 = 0,17$.

10.25. $Q_{\tau} = 18 \text{ Дж/с}$.

10.26. $P_0 = 2,4 \text{ кВт}$; $P = 2,3 \text{ кВт}$; $\eta = 96\%$.

10.27. $\mathcal{E} = 4 \text{ В}$; $r = 1 \text{ Ом}$.

10.29. $\mathcal{E} = 6 \text{ В}$; $r = 1 \text{ Ом}$.

10.30. $I = 1 \text{ А}$.

10.31. а) $Q_{\tau 1} = 6,37 \text{ Дж/с}$, $Q_{\tau 2} = 3,82 \text{ Дж/с}$;

б) $Q_{\tau 1} = 16,2 \text{ Дж/с}$, $Q_{\tau 2} = 27,2 \text{ Дж/с}$.

10.32. $V = 2,9 \text{ л}$.

10.33. $P = 1,2 \text{ кВт}$; $R = 12 \text{ Ом}$.

10.34. а) $\tau = 45 \text{ мин}$; б) $\tau = 10 \text{ мин}$.

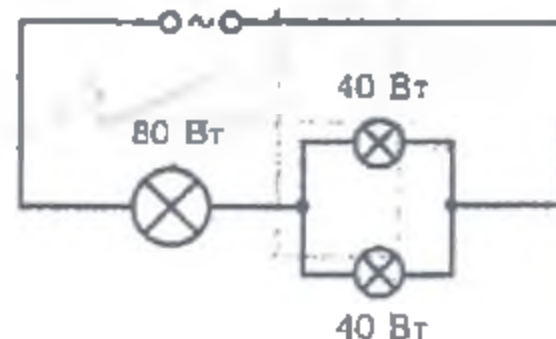
10.35. $\eta = 80\%$.

10.36. $t = 49 \text{ мин}$.

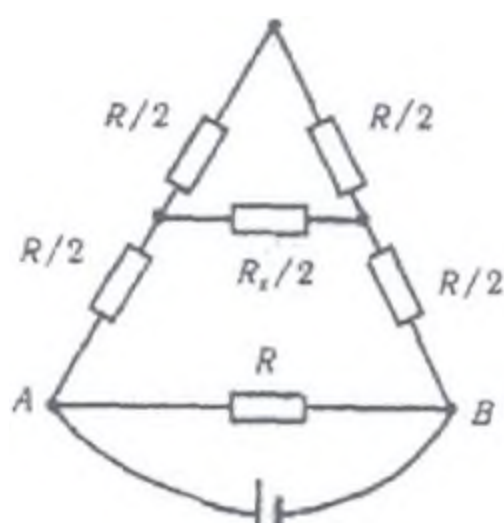
10.37. $R = 33 \text{ Ом}$.

10.38. $R_2/R_1 = 3/5$.

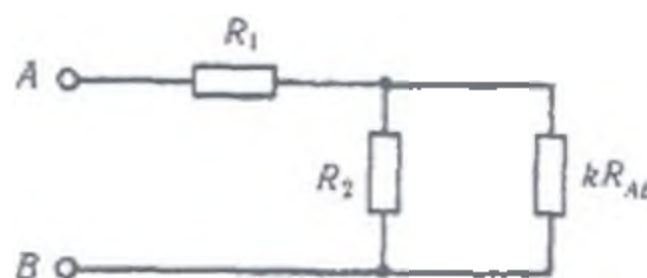
10.39. $R' = R/2$; $\Delta I_{\max} = -U/R$; $I = 2U/R$; AB қырын алып тастау керек.



168-сурет



169-сурет



170-сурет

10.40. Симметрия тұрғысынан берілген сұлбаны эквивалентті сұлбамен алмастыру керек (169-сурет). Содан әрі мынаны оңай аламыз:

$$R_x = R(\sqrt{7} - 1)/\sqrt{3}.$$

10.41. Шексіз тізбектің эквивалентті сұлбасы (сұлбаның симметриялығы тұрғысынан) 170-суретте көрсетілгендей болады. Осы сұлбаның эквивалентті кедергісі:

$$R_{AB} = \left(R_2 - k(R_1 + R_2) + \sqrt{[R_2 - k(R_1 + R_2)]^2 + 4kR_1R_2} \right) / 2k.$$

10.42. $R' = \frac{5}{6}R.$

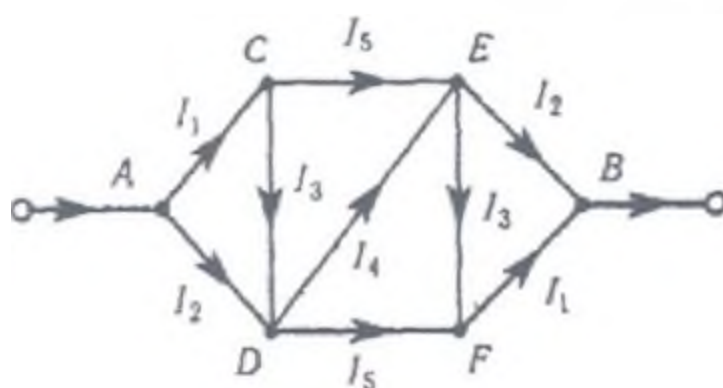
10.43. $R' = \frac{7}{5}R$ — A және B нүктелерінің маңындағы бұтақтардың симметриялығын пайдалану керек.

10.44. Алынған сұлбаны (171-сурет) жеңілдетуге болмайды, себебі ол симметриялы емес. Сондықтан Кирхгоф ережелерін қолдану кажет:

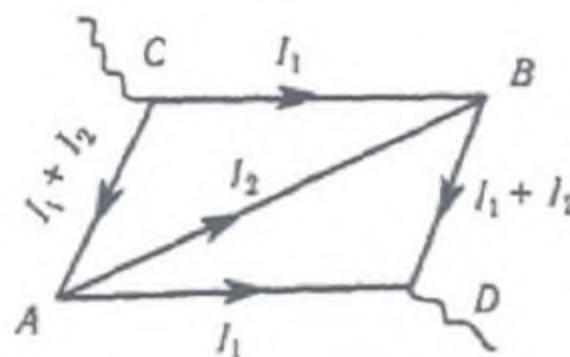
$$\begin{cases} I_1 = I_3 + I_5 \\ I_2 + I_3 = I_4 + I_5 \\ (I_2 + I_5 + I_1)R = U \quad U - AB\text{-дағы кернеу.} \\ (I_3 + I_4)R = I_5R \\ (I_1 + I_3)R = I_2R \end{cases}$$

$R_{AB} = U/(I_1 + I_2)$ екендігін ескеру керек. Осы тендеулер жүйесін шешіп, I_1 арқылы белгіленген I_2 , I_3 , I_4 және I_5 ток күштерінің мәндерін табуға болады, сондай-ақ $U/I_1 = 3R$. Содан кейін

$$R_{AB} = \frac{5}{11} \frac{U}{I_1} = \frac{15}{11} R.$$



171-сурет



172-сурет

10.45. $R_{CD} = \frac{U}{2I_1 + I_2},$ U — CD -дағы кернеу (172-сурет);

$$\begin{cases} U = I_1 R_2 + (I_1 + I_2) R_1 \\ (I_1 + I_2) R_1 + I_2 \sqrt{R_1^2 + R_2^2 - 2R_1 R_2 \cos \varphi} = I_1 R_2. \end{cases}$$

Осы тендеулер жүйесін шешіп және шешімін бастапқы тендеуге қойып, мынаны аламыз:

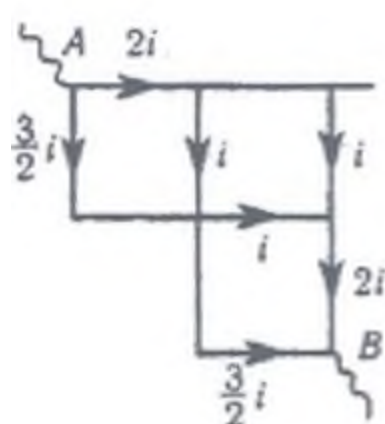
$$R_{CD} = \frac{2R_1R_2 + (R_1 + R_2)\sqrt{R_1^2 + R_2^2 - 2R_1R_2\cos\varphi}}{R_1 + R_2 + 2\sqrt{R_1^2 + R_2^2 - 2R_1R_2\cos\varphi}},$$

Осылайша R_{AB} үшін:

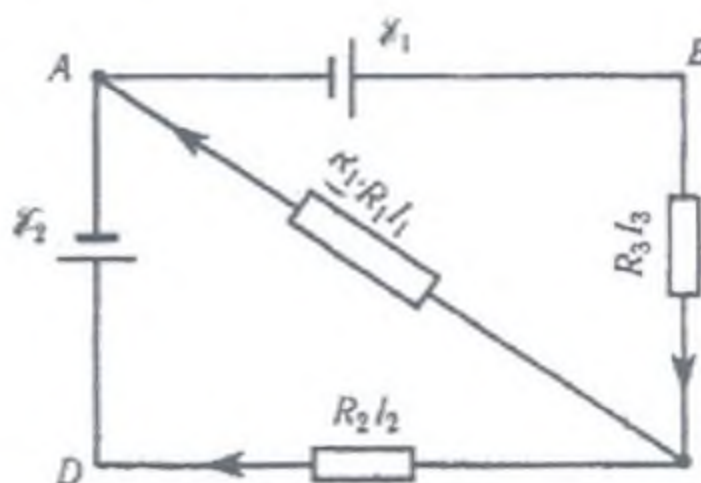
$$R_{AB} = \frac{(R_1 + R_2)\sqrt{R_1^2 + R_2^2 - 2R_1R_2\cos\varphi}}{R_1 + R_2 + 2\sqrt{R_1^2 + R_2^2 - 2R_1R_2\cos\varphi}}$$

10.46. Сұлбаның симметриялығы тұрғысынан әр қабырғадағы ток күшін табамыз – 173-суретті қараңыз.

$$I_{AB} = \frac{7}{2}i, \quad R_{AB} = \frac{12}{7}r.$$



173-сурет



174-сурет

10.47. $R_{AB} = \frac{13}{7}r$; $R_{CD} = \frac{5}{7}r$.

10.48. $q = \frac{\varepsilon R}{R + r} C$.

10.49. $q = 3,3 \text{ мкКл}$; $U = 0,33 \text{ В}$.

10.50. $q_1 = q_2 = q_3 = 55 \text{ мкКл}$.

10.51. Егер $\varepsilon_1 r_2 > \varepsilon_2 (R + r_1)$, болса, тізбектегі ток ұлғаяды.

10.52. $I_1 = \varepsilon/R_1$; $I_2 = \varepsilon/(R_1 + R_2)$.

10.53. $I_1 = I_2 = 26,7 \text{ мА}$; $I_3 = I_4 = 4 \text{ мА}$.

10.54. Берілген тармақталған тізбек үшін Кирхгоф заңын қолданамыз. Әуелі 174 суретте стрелка арқылы токтардың бағытын белгілейміз. Ток біздің қойған стрелкалар бағытымен ағады деп есептейміз. C түйіні үшін Кирхгофтың бірінші заңы бойынша

$$I_3 = I_1 + I_2. \quad (1)$$

(A түйіні үшін де осыған ұқсас теңдеу аламыз). Кирхгофтың екінші заңы бойынша ABC және ACD контурлары үшін:

$$I_3 R_3 + I_1 R_1 = \varepsilon_1, \quad (2)$$

$$I_1 R_1 - I_2 R_2 = \mathcal{E}_2. \quad (3)$$

(ACD контурының немесе ABC контурының орнына $ABCD$ контурын алуға болады).

Үш белгісізді (I_1, I_2, I_3) табу үшін үш теңдеуді аламыз. Кирхгоф заңын пайдаланып теңдеуді шешкен кезде теңдеулерге (1-3 сияқты) сандық мәндерін қойып есептеген ыңғайлы:

$$I_3 = I_1 + I_2, \quad 10I_3 + 45I_1 = 2,1, \quad 45I_1 - 10I_2 = 1,9.$$

Осы теңделерді шешу арқылы мыналарды табамыз: $I_1 = 0,04$ А, $I_2 = -0,01$ А және $I_3 = 0,03$ А. I_2 тогының теріс мәні осы токтың бағытын біздің дұрыс алмағанымызды көрсетеді. Негізінде осы I_2 тогының бағыты теңдеуді құрған кездегідей емес, керісінше D -дан C -ға бағытталады.

10.55. $U = 1,28$ В.

10.56. $R = 0,66$ Ом; $I_2 = 0,5$ А; $I = 1,5$ А.

10.57. $R = 0,75$ Ом; $I_2 = 2$ А; $I = 4$ А.

10.58. $I = 1,5$ А.

10.59. $I = 4$ А.

10.60. $R_1 = 20$ Ом.

10.61. $I = 0,45$ мА.

10.62. $I = 1$ мА.

10.63. $I_1 = 385$ мА; $I_2 = 77$ мА; $I_3 = 308$ мА.

10.64. $I_1 = 0,3$ А; $I_2 = 0,5$ А; $I_3 = 0,8$ А; $R_3 = 7,5$ Ом.

10.65. $\mathcal{E}_2 = 30$ В; $\mathcal{E}_3 = 45$ В.

10.66. $I = 9$ А.

10.67. $\mathcal{E}_1 = 24$ В; $\mathcal{E}_2 = 12$ В; $I_2 = 1,2$ А; $I_3 = 0,3$ А.

10.68. $I_1 = 2,28$ А; $I_2 = 0,56$ А; $I = 1,72$ А.

10.69. 3 есе.

10.70. $U = 100$ В.

10.71. $\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2 = 200$ В.

10.72. $I = 75$ мА.

10.73. а) $U_1 = 120$ В; $U_2 = 80$ В; б) $U_1 = U_2 = 100$ В.

10.74. Конденсатордағы кернеу өзгермейтін және U_y -ға тең болатын қалыптасқан режимді қарастырамыз. Кілтті 1-ге тұйықтаған жағдайда аздаған Δt уақыт интервалында конденсатордың заряды мынадай мәнге өзгереді:

$$\Delta t(\mathcal{E}_1 - U_y)/R_1.$$

Кілтті 2-ге тұйықтаған жағдайда заряд мынадай мәнге өзгереді:

$$\Delta t(\mathcal{E}_2 - U_y)/R_2.$$

Зарядтың бір цикл ішіндегі жалпы өзгеруі нольге тең болу керек:

$$\frac{\mathcal{E}_1 - U_y}{R_1} + \frac{\mathcal{E}_2 - U_y}{R_2} = 0.$$

Бұдан

$$U_y = \frac{\varepsilon_2 R_1 + \varepsilon_1 R_2}{R_1 + R_2}; \quad q_y = CU_y = C \frac{\varepsilon_2 R_1 + \varepsilon_1 R_2}{R_1 + R_2}.$$

10.75. $U_1 = \varepsilon R_2 C_2 / [(r + R_2)(C_1 + C_2)]; \quad U_2 = \varepsilon R_2 C_1 / [(r + R_2)(C_1 + C_2)];$

10.76. $Q = \frac{\varepsilon^2 C_1 C_2}{2(C_1 + C_2)}.$

10.77. $Q = (I_0 R)^2 C_1 C_2 / [2(C_1 + C_2)].$

10.78. Энергияның сақталу заңын және резисторлардың параллель жалғасуының шарттарын пайдаланып, мынаны аламыз:

$$Q = \frac{CUR_1}{2(R_1 + R_2)} (2\varepsilon - U).$$

10.79. $W_1 = \frac{CU^2}{4} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}; \quad W_2 = \frac{CU^2}{4} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}.$

10.80. $U_1 = \frac{C_2}{C_1 + C_2} (\varepsilon_1 + \varepsilon_2) = 17,5 \text{ кВ}, \quad U_2 = \frac{C_1}{C_1 + C_2} (\varepsilon_1 + \varepsilon_2) = 7,5 \text{ кВ}.$

10.82. $N_2 = [N_1 I_2 - r I_1 I_2 (I_2 - I_1)] / I_1 = 11 \text{ Вт}.$

10.83. $\varepsilon = (\sqrt{R_1} + \sqrt{R_2}) \sqrt{N}.$

10.84. $\eta = N/N_0 = 1 - N_0 r^2.$

10.85. $\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} = \frac{R_2 + r}{R_1 + r} \sqrt{\frac{N_2}{N_1}} = 10.$

10.86. $U = 26 \sqrt{Nr} / 5 = 14 \text{ кВ}.$

10.87. $U_2/U_1 = \sqrt{\frac{\eta_2}{\eta_1}}; \quad U_2/U_1 = \sqrt{\frac{\eta_2}{\eta_1} \cdot \frac{1 - \eta_2}{1 - \eta_1}}.$

10.88. $T = T_0 + R_0 I^2 / (k - I^2 R_0 \alpha), \quad k > I_0^2 R_0 \alpha.$

$k < I_0^2 R_0 \alpha$ болғанда T температурасы шексіз ұлғаяды.

10.89. $\tau = 10 \text{ мин}; \quad d = 4,6 \text{ мкм}.$

10.90. $j = 56 \text{ А/м}^2.$

10.91. $K = 1,04 \cdot 10^{-5} \text{ кг/Кл}.$

10.92. Амперметр 0,04 А-ден аз шаманы көрсетеді.

10.93. $m_2 = 53 \text{ мг}.$

10.94. $\tau = 149r; \quad W = 53,7 \text{ ГДж}.$

10.95. $W = 1,8 \text{ кДж}.$

10.96. Электролиз кезінде массасы m затты бөліп шығару үшін қажет болатын энергия мөлшері:

$$W = IUt = mUZF/A, \quad (1)$$

мұндағы: F – Фарадей тұрақтысы, A – молярлық масса, Z – валенттік және U – қолданылған потенциалдар айырымы. $\nu = 2$ моль судан массасы $m = 4$ г сутегін алу үшін $5,75 \cdot 10^5$ Дж энергия қажет. Сонымен бізде $m = 4$ г және $W = 5,75 \cdot 10^5$ Дж. Осы сандық мәндерін (1) формулаға қойып, $U = 1,5$ В аламыз.

10.97. Әлсіз ерітінділерде $\alpha \approx 1$, яғни молекулалар диссоциацияланған. Демек, эквивалентті өткізгіштік $\Lambda_\infty = F(u_+ + u_-)$. $F = 96/5 \cdot 10^3$ Кл/моль, $u_+ = 3,26 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ және $u_- = 0,64 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ мынаны аламыз $\Lambda_\infty = 37,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/(\text{Ом} \cdot \text{моль})$.

10.98. $q_+ = 100$ Кл; $q_- = 20$ Кл.

10.99. а) $\alpha = 94\%$; б) $\eta = 0,1$ моль/л; в) $u_+ + u_- = 1,35 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$.

10.100. $R = 180$ кОм.

10.101. $R = 520$ кОм.

10.102. $\Lambda = 3,9 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/(\text{Ом} \cdot \text{моль})$.

10.103. $\alpha = 92\%$.

10.104. $\gamma = 10^{-12} \text{ м}^3/\text{с}$.

10.105. $j = 0,24 \text{ мкА}/\text{м}^2$; $I_+/I = 0,01\%$.

10.106. $I_k = 0,1 \text{ мкА}$.

10.107. Камераның бірлік көлеміндегі әрбір таңбадағы иондардың мүмкін болатын ең жоғары саны олардың азаюы рекомбинациялау кезінде болған жағдайда ғана алынады. Осы жағдайда $N = \gamma n^2$ және $n = \sqrt{N/\gamma} = 3,2 \cdot 10^{13} \text{ м}^{-3}$.

10.108. $R = 3/4 \cdot 10^{14} \text{ Ом}$.

10.109. $I = 3,3 \text{ мА}$; $I/I_k = 3,3\%$.

10.110. Атомның ионизациялану потенциалы деп атоммен соқтығысқанда оны иондау үшін қажет болатын электронның жүрген жолындағы потенциалдар айырымын айтады. Сондықтан электронға қажет болатын жылдамдық мына теңдеуден алынады: $mv^2/2 = eU$ немесе $v = \sqrt{2eU/m} = 2,2 \cdot 10^6 \text{ м/с}$.

10.111. $T = 8 \cdot 10^4 \text{ К}$.

10.112. $A = 39,2 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$.

10.113. $v_1 = 8,3 \cdot 10^5 \text{ м/с}$; $v_2 = 1,4 \cdot 10^6 \text{ м/с}$.

10.114. Вольфрамның T_1 және T_2 температураларындағы меншікті термоэлектрондық эмиссиясы:

$$j_1 = BT_1^2 \exp\left(-\frac{A}{kT_1}\right), \quad j_2 = BT_2^2 \exp\left(-\frac{A}{kT_2}\right).$$

Екінші теңдеуді бірінші теңдеуге бөліп мынаны аламыз:

$$\frac{j_2}{j_1} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^2 \exp\left\{-\frac{A}{k}\left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right)\right\} = 2,6.$$

10.115. $j_2/j_1 = 1,1 \cdot 10^4$.

10.116. $T_1 = 2500$ К температурасындағы таза вольфрамның және T_2 температурасындағы ториланған вольфрамның меншікті эмиссиясы:

$$j_1 = B_1 T_1^2 \exp\left(-\frac{A_1}{kT_1}\right) = 2,84 \cdot 10^3 \text{ А/м}^2.$$

$$j_2 = B_2 T_2^2 \exp\left(-\frac{A_2}{kT_2}\right).$$

Шарт бойынша $j_1 = j_2$, яғни

$$B_2 T_2^2 \exp\left(-\frac{A_2}{kT_2}\right) = 2,84 \cdot 10^3 \text{ А/м}^2 \quad (1)$$

Осы (1) теңдеуді екі түрлі әдіспен шешуге болады (графикалық және біртіндеп жуықтау тәсілімен). Соңында осы теңдеудің шешімі мынаған тең болады: $T_2 \approx 1760$ К.

§ 11. Электромагнетизм

11.2. Био-Савар заңын қолданамыз:

$$B = \frac{\mu_0 \mu I}{2\pi r}.$$

11.3. $H = 50$ А/м.

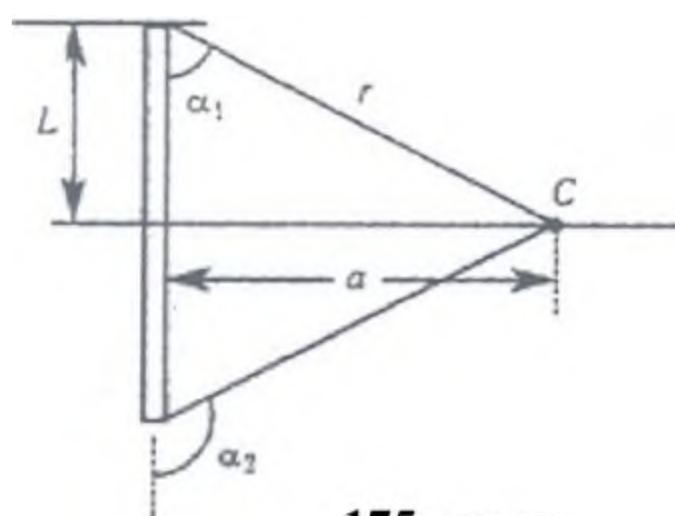
11.4. $H_1 = 120$ А/м; $H_2 = 159$ А/м; $H_3 = 135$ А/м.

11.5. A және B нүктелерінің аралығында және A нүктесінен $a = 3,3$ см қашықтықта.

11.6. $H_1 = 8$ А/м; $H_2 = 55,8$ А/м.

11.7. $H_1 = 35,6$ А/м; $H_2 = 57,4$ А/м.

11.8. $H = 50$ А/м. Магнит өрісінің кернеулігі екі сым арқылы өтетін жазықтыққа перпендикуляр бағытталады.



175-сурет

11.9. C нүктесіндегі магниттік өрістің кернеулігі мынаған тең болады (175-сурет):

$$H = - \int_{\alpha_2}^{\alpha_1} \frac{I \sin \alpha}{4\pi r^2} \cdot \frac{a d\alpha}{\sin^2 \alpha},$$

және $r = a/\sin \alpha$.

Яғни

$$H = - \frac{I}{4\pi a} \int_{\alpha_2}^{\alpha_1} \sin \alpha d\alpha = - \frac{I}{4\pi a} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2) = 31,8 \text{ А/м},$$

мұндағы $\alpha_2 = 180^\circ - 60^\circ = 120^\circ$.

11.10. $H = 56,5 \text{ А/м}$.

11.17. $H = 177 \text{ А/м}$.

11.11. $H = 77,3 \text{ А/м}$.

11.18. $H = 56,5 \text{ А/м}$.

11.12. $U = \pi \rho l^3 / SH = 0,12 \text{ В}$.

11.19. $U_2 = 4U_1$.

11.13. $H = 12,7 \text{ А/м}$.

11.20. $L = 0,2 \text{ м}$.

11.14. $H = 25,7 \text{ А/м}$.

11.21. $R = 8 \text{ см}$.

11.15. а) $H = 12,2 \text{ А/м}$; б) $H = 0$.

11.24. $B = 5,5 \text{ мкТл}$.

11.25. $I_1 L_1 = I_2 L_2$ және $B_0 = 0$ екендігін ескеру керек.

11.26. $B = \mu_0 (I/2r) \operatorname{tg} (\pi/n)/(\pi/n)$. $n \rightarrow 0$ болған кезде $B = \frac{\mu_0 I}{2r}$ — өріс дөңгелек токтың центрінде болады.

11.27. $H = \frac{1}{2} [\vec{j} \times \vec{r}]$, $r \leq R$ үшін, және $H = \frac{1}{2} (R^2/r^2) [\vec{j} \times \vec{r}]$, $r \geq R$ үшін.

Циркуляция туралы теореманы қолдану керек.

11.28. Қуыстың ішіндегі өріс біртекті және кернеулігі мынадай:

$$H = \frac{1}{2} [\vec{j} \times \vec{a}].$$

11.29. $H = 6,67 \text{ кА/м}$.

11.30. $IN = 200 \text{ А} \cdot \text{в}$; $U = 2,7 \text{ В}$.

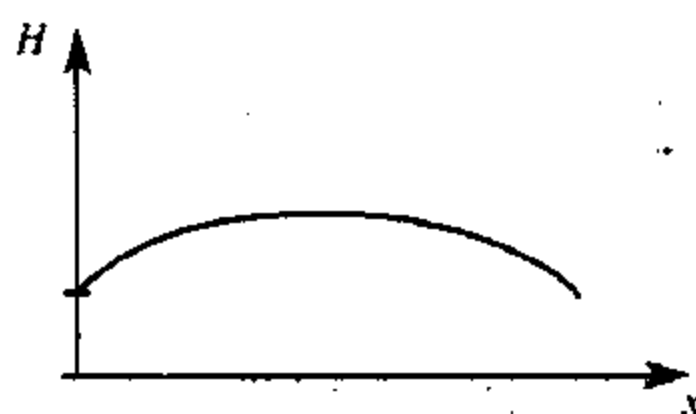
11.31. 176-суретте $H = f(x)$ тәуелділігінің сипаты көрсетілген.

11.32. $n = 100 \text{ с}^{-1}$.

11.33. $\Phi = 113 \text{ мкВб}$.

11.34. $\Phi = 157 \text{ мВб}$.

11.35. $\Phi = 1,6 \cdot 10^{-4} \cos(4\pi t + \alpha) \text{ Вб}$, мұндағы α — уақыттың бастапқы кезіндегі кәсекшеге түсірілген нормаль мен магниттік өрістің бағытының аралығындағы бұрыш, $\Phi_{\max} = 160 \text{ Вб}$.



176-сурет

$$11.51. I_{\max} = \left(\frac{F_{\text{ш}}}{\mu \cdot nR} \right)^{1/2}.$$

$$11.52. A = \int_{d_1}^{d_2} F dx = \int_{d_1}^{d_2} \frac{\mu_0 \mu I_1 I_2 l}{2\pi x} dx = \frac{\mu_0 \mu I_1 I_2 l}{2\pi} \ln \frac{d_2}{d_1}.$$

Өткізгіш сымның ұзындық бірлігіндегі жұмыс

$$A_l = \frac{A}{l} = \frac{\mu_0 \mu I_1 I_2}{2\pi} \ln \frac{d_2}{d_1} = 83 \text{ мкДж/м}.$$

$$11.53. I_1 = I_2 = 20 \text{ А}.$$

$$11.54. M_1 = 3,53 \cdot 10^{-4} \text{ Н·м}; M_2 = 4,5 \cdot 10^{-4} \text{ Н·м}.$$

$$11.55. M_1 = 2,4 \cdot 10^{-9} \text{ Н·м}; M_2 = 1,2 \cdot 10^{-9} \text{ Н·м}.$$

11.56. Магниттік стрелкаға мынадай айналдырушы момент әрекет етеді: $M = pB \sin \alpha$, мұндағы p – стрелканың магниттік моменті, $B = I\mu_0\mu/2\pi a$ – ток күшінің магниттік өрісінің индукциясы. Айналдырушы M моменті жіпті $\varphi = 2lM/\pi Gr^4$ бұрышқа бұрады, мұндағы: l – жіптің ұзындығы, r – жіптің радиусы және G – жіптің материалының ығысуының модулі болады. $\sin \alpha = 1$ болғандықтан, $M = pB = pI\mu_0\mu/2\pi a$. Сонда

$$\varphi = \mu_0\mu I l p / \alpha \pi^2 G r^4 = 0,52 \text{ рад немесе } \varphi = 30^\circ.$$

$$11.57. G = 50 \text{ ГПа}.$$

$$11.58. A = 0,5 \text{ мДж}.$$

$$11.59. A = 0,2 \text{ Дж}; P = 20 \text{ мВт}.$$

11.60. а) ab радиусына (125-сурет) $F = BIR$ күш әрекет етеді. Дискінің бір айналым кезіндегі жұмысы $A = BIS$, мұндағы S – радиустың бір айналымы арқылы жүретін ауданы, яғни дискінің ауданы. Осындай қозғалтқыштың қуаты $P = A/t = nB\pi R^2 = 23,6 \text{ мВт}$; б) Диск сағат тілінің бағытына қарама-қарсы бағытта айналады; в) Радиусы dx элементке $dF = BI dx$ күші және айналдырғыш $dM = x dF = BI dx$ момент әрекет етеді, мұндағы x – dx элементінің айналу осінен арақашықтығы. Жалпы дисктің өзіне мынадай айналдырушы момент әрекет етеді:

$$M = \int_0^R BIx dx = \frac{BIR^2}{2} = 12,5 \cdot 10^{-4} \text{ Н·м}.$$

$$11.61. \Phi = 1 \text{ Вб}.$$

11.62. $R = 9 \text{ см}$. $T = 2\pi R/v$, жәнеде $R = mv/eB$. Сондықтан $T = 2\pi m/eB$, демек, период электронның жылдамдығына байланысты емес. Сандық мәндерін қойп мынаны табамыз: $T = 30 \text{ нс}$, $M = 1,5 \cdot 10^{-24} \text{ кг·м}^2/\text{с}$.

11.63. $F = 4 \cdot 10^{-16}$ Н.

11.64. $F = 4,7 \cdot 10^{-12}$ Н.

11.65. Барлық жұмыс уақытында $a_r = 0$, $a_n = \text{const} = 7 \cdot 10^{15}$ м/с².

11.66. $W = 17,3$ МэВ.

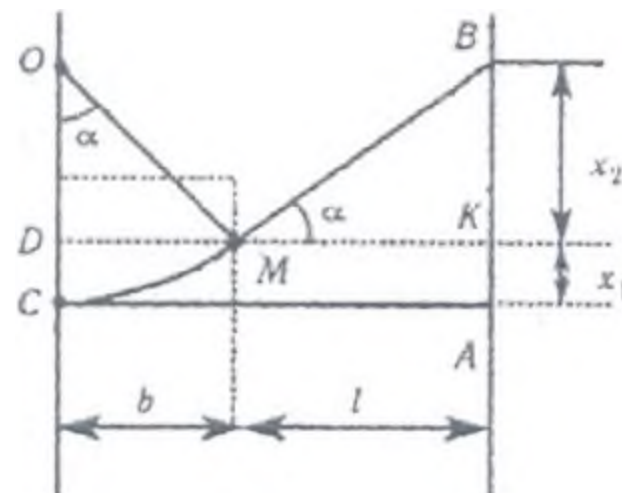
11.67. $R_1/R_2 = \sqrt{m_1/m_2} = \sqrt{1840} = 42,9$.

11.68. $q = 3,2 \cdot 10^{-19}$ Кл.

11.69. $q/m = 4,8 \cdot 10^7$ Кл/кг.

Электрон үшін $q/m = 1,76 \cdot 10^{11}$ Кл/кг; протон үшін $q/m = 9,6 \cdot 10^7$ Кл/кг; α -бөлшек үшін $q/m = 4,8 \cdot 10^7$ Кл/кг.

11.70. Электронның жалпы ығысуы $x = x_1 + x_2$, мұндағы x_1 – электронның магниттік өрістегі ығысуы (177-сурет). Электрон магниттік өрісте шеңбер бойымен $R = mv/(eB)$ радиусымен қозғалады.



177-сурет

x_1 ығысуын мына қатынас $x_1 = DC = OC - OD$ арқылы табуға болады. Бірақ $OC = R$ және $OD = \sqrt{OM^2 - DM^2} = \sqrt{R^2 - b^2}$. x_2 ығысуын $x_2/l = DM/DO$ пропорциясынан табуға болады, бұдан $x_2 = bl/\sqrt{R^2 - b^2}$. Сонда жалпы ығысу

$$x = R - \sqrt{R^2 - b^2} + bl\sqrt{R^2 - b^2}.$$

$$R = \frac{mv}{eB} = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2Um}{e}}.$$

Сандық мәндерін қойып $R = 4$ см және $x = 4,9$ см екендігін табамыз.

11.71. а) $a_n = 0$, $a = a_r = eE/m = 1,76 \cdot 10^{14}$ м/с²;

б) $a_r = 0$, $a = a_n = \sqrt{(evB/m)^2 - (eE/m)^2} = 2,5 \cdot 10^{14}$ м/с².

11.72. $v = 2 \cdot 10^6$ м/с; $R = 2,3$ см.

11.73. Электрон магнит өрісіне $v = \sqrt{2eU/m}$ жылдамдығымен ұшып кіреді. v жылдамдығын екі құрастырушы жылдамдықтарға жіктейік: өрістің бойымен бағытталған v_r және өріске перпендикуляр бағытталған v_n құрастырушыларына. B индукциясына перпендикуляр болатын электронның траекториясының проекциясы винттік

траекторияның бастапқы радиусына тең шеңбер түрінде болады және мына формуламен анықталады:

$$R = mv_n/(eB) = m(v \sin \alpha)/(eB).$$

Электронның айналу периоды $T = 2\pi R/v \sin \alpha = 2\pi m/(eB)$ болатындықтан, оның винттік траекториясының қадамы

$$h = v_r T = 2\pi m(v \cos \alpha)/(eB).$$

Сандық мәндерін қойып, $R = 1$ см және $h = 11$ см болатынын анықтаймыз.

11.74. $R = 5$ мм; $h = 3,6$ см.

11.75. $h = 3,94$ см.

11.76. $n = IB/U_{ea} = 8,1 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$; $v = j/ne = I/Sne = 0,31$ мм/с.

11.77. $U = 2,7$ мкВ.

11.78. $U = \frac{IB}{nea}$.

11.79. $u = 0,65 \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$.

11.80. $\mathcal{E} = -d\Phi/dt = -Bl \, dx/dt = -Blv = -0,15 \text{ В}$.

11.81. $\mathcal{E}_0 = 78,5 \text{ В}$. 11.82. $\mathcal{E} = 165 \text{ мВ}$.

11.83. Біліктің әр айналым сайын кесіп өтетін магниттік ағыны $\Phi = BS = B\pi l^2$. Егер n – стерженнің айналу жиілігі болса, онда

$$\mathcal{E} = B\pi l^2 \omega / 2\pi = Bl^2 \omega / 2,$$

мұндағы ω – айналудың бұрыштық жылдамдығы. Сандық мәндерін қойып мынаны аламыз: $\mathcal{E} = 0,5 \text{ В}$.

11.84. $\mathcal{E}_{\text{орт}} = 1 \text{ В}$.

11.91. $L_1 = 0,9 \text{ мГн}$; $L_2 = 0,36 \text{ Гн}$

11.85. $\mathcal{E}_{\text{max}} = 0,09 \text{ В}$.

11.92. $L = 55 \text{ мкГн}$.

11.86. $n = 6,4 \text{ с}^{-1}$.

11.93. $L = 0,71 \text{ мГн}$; $\Phi = 3,55$

11.87. а) $U = 2 \text{ нВ}$; б) $U = 33 \text{ мВ}$.

мкВб.

11.88. $\mathcal{E}_{\text{орт}} = 18 \text{ В}$.

11.94. $N = 380$.

11.89. $\mathcal{E}_{\text{орт}} = 5,1 \text{ В}$.

11.95. $\mu = 1400$.

11.90. $\mathcal{E}_{\text{орт}} = 1,57 \text{ В}$.

11.96. $I = 1 \text{ А}$.

11.97. $N = 500$.

11.98. $\mu = 1400$; $I = 1,6 \text{ А}$.

11.99. а) $L = 9,0 \text{ Гн}$; б) $L = 9,0 \text{ Гн}$; в) $L = 9,0 \text{ Гн}$;

11.100. Мыналарды қарастырамыз:

$$L_1 = \mu_0 \mu n_1^2 l S, \quad L_2 = \mu_0 \mu n_2^2 l S. \quad (1)$$

Ортақ өзектері бар шарықтардың өзара индуктивтілігі

$$L_1 = \mu_0 \mu n_1^2 l S. \quad (2)$$

(1) және (2) теңдеулерді өзара көбейту арқылы мынаны табамыз:

$$L_1 L_2 = (\mu_0 \mu l S)^2 n_1^2 n_2^2.$$

Бұдан

$$n_1 n_2 = \sqrt{L_1 L_2} / (\mu_0 \mu l S) \quad (3)$$

Осы (3) теңдеуді (2) теңдеуге қойып мынаны табамыз: $L_{12} = \sqrt{L_1 L_2}$.
 $\mathcal{E}_{12} = -L_{12} dI_1/dt$ болғандықтан, екінші шарықтағы орташа ток

$$I_2 = \frac{L_{12}}{R} \frac{\Delta I_1}{\Delta t} = \frac{\sqrt{R_1 R_2}}{R} \cdot \frac{\Delta I_1}{\Delta t} = 0,2 \text{ A}.$$

11.101. Кәсекшеде индукцияланатын электр тогының мөлшері

$$q = -\frac{1}{R} \int_{\Phi_1}^{\Phi_2} d\Phi = -\frac{1}{R} (\Phi_1 - \Phi_2), \quad (1)$$

мұндағы Φ_1 – бірінші жағдайдағы кәсекше арқылы өтетін магнит ағыны және Φ_2 – екінші жағдайдағы кәсекшеарқылы өтетін магнит ағыны. Бізде $\Phi_2 = 0$; сонымен бірге

$$R = \rho l / s = \rho 4a / s = \rho 4\sqrt{S} / s,$$

мұндағы a – кәсекшенің қабырғасы. $\Phi_1 = BS$ болғандықтан

$$q = BS \sqrt{S} / (4\rho) = 74 \text{ мКл}.$$

11.102. $q = \text{мКл}.$

11.105. $t = 126 \text{ мс}.$

11.103. $q = 0,25 \text{ мКл}.$

11.106. $t = 0,25 \text{ мс}.$

11.104. $\mu = 1200.$

11.107. 1,5 есе.

11.108. $t = 10 \text{ мс}.$

11.110. а) $\Phi = B_0 S \sin \omega t = 2,5 \cdot 10^{-5} \sin(100\pi t) \text{ Вб}, \Phi_{\max} = 25 \text{ мкВб};$

б) $\mathcal{E} = -7,85 \cdot 10^{-3} \cos(100\pi t) \text{ В}, \mathcal{E}_{\max} = 7,85 \text{ мВ};$

в) $I = -2,3 \cos(100\pi t) \text{ А}, I_{\max} = 2,3 \text{ А}.$

11.111. $Q = RL\mathcal{E}^2/[2R_0^2(R + R_0)] = 6 \text{ мкДж}.$

11.112. $\mathcal{E}_2 = -L_{12} dI/dt = -L_{12} I_0 \omega \cos \omega t = -15,7 \cos(100\pi t) \text{ В};$
 $\mathcal{E}_{2 \max} = 15,7 \text{ В}.$

11.113. $Q = RL\mathcal{E}^2/[2R_0^2(R + R_0)] = 6 \text{ мкДж}.$ **11.114.** 1,5 есе.

11.115. Магниттік өрістің тек осьтік құраушысы ғана өзгереді. Сыртқы өрістің аймағында ол $1/2 B_0$ -ге тең, ал ішік өрістің аймағында – $1/2 B_0 \cos \alpha$ -ға тең болады.

11.116. $I = I_0 - \left(\frac{\pi R^2}{L} \right) B_0 \cos \alpha.$

11.117. $v_{\min} = B \sqrt{SL/(\mu_0 m)}.$

11.118. $B = 2\pi m_e \omega / e$, m_e , e – электронның массасы және заряды.

11.119. $x = 2\pi m_e v / (eB)$; $\Delta y = \pi m_e v (\delta \alpha)^3 / (2eB).$

$$11.120. \Phi_B = 0, \quad \Phi = \left(SB_0 / \mu_0 \right) \left(\frac{1}{\mu_2} - \frac{1}{\mu_1} \right).$$

$$11.121. \text{ а) } \vec{H} = \frac{3}{\mu_0} \frac{\vec{B}_0}{2 + \mu}; \quad \text{ б) } \vec{B} = \frac{3\mu}{2 + \mu} \vec{B}_0; \quad \text{ в) } \vec{B} \simeq 3\vec{B}_0.$$

11.122. а) сағат тіліне қарсы бағытта;

$$\text{ б) } q = \frac{\pi a^2 B}{R}.$$

$$11.124. W = (U^2 - U_1^2 - U_2^2) / (2R).$$

$$11.126. \text{ Жоқ, болмайды, себебі } P_{\max} = U^2 / (4R) = 180 \text{ Вт} < P.$$

11.127. Шунттық қозғалтқыш:

$$\eta = \frac{0,5}{1 + 2R_1/R_2}.$$

Сериестік қозғалтқыш: $\eta = 0,5$.

$$11.128. n_{1 \max} = 15 \text{ с}^{-1}, \quad n_{2 \max} = 30 \text{ с}^{-1}.$$

$$11.129. n = \frac{U}{kB}, \text{ мндаы } k - \text{ пропорционалды коэффициенті, } \varepsilon i = knB.$$

$$11.130. W = \varepsilon I \left(1 - \frac{I}{I_0} \right) t = 8 \text{ Вт}.$$

$$11.131. \eta = \frac{\varepsilon - IR}{\varepsilon} = 1 - \frac{I}{I_0} = 0,4.$$

IV Т А Р А У

ТЕРБЕЛІСТЕР ЖӘНЕ ТОЛҚЫНДАР

§ 12. Гармониялық тербелмелі қозғалыс және толқындар

$$12.1. x = 50 \sin \left(\frac{\pi}{2} t + \frac{\pi}{4} \right) \text{ мм}; \quad x_1 = 35,2 \text{ мм}; \quad x_2 = 0.$$

$$12.2. \text{ а) } x = 5 \sin \frac{\pi}{4} t \text{ см}; \quad \text{ б) } x = 5 \sin \left(\frac{\pi}{4} t + \frac{\pi}{2} \right) \text{ см};$$

$$\text{ в) } x = 5 \sin \left(\frac{\pi}{4} t + \pi \right) \text{ см};$$

$$\text{ г) } x = 5 \sin \left(\frac{\pi}{4} t + \frac{3\pi}{2} \right) \text{ см}; \quad \text{ д) } x = 5 \sin \frac{\pi}{4} t \text{ см}.$$

12.3. 178-суретті қараңыз.

$$12.4. \varphi_0 = \pi/12. \quad 12.5. t = T/6.$$

$$12.6. v_{\max} = 7,85 \text{ см/с}; \quad a_{\max} = 12,3 \text{ см/с}^2.$$

$$12.7. v_{\max} = \frac{2\pi}{T} A = 9,4 \text{ см/с}; a_{\max} = 0,29 \text{ см/с}^2.$$

$$12.8. T = 4 \text{ с}; v_{\max} = 3,14 \text{ см/с}; a_{\max} = 4,93 \text{ см/с}^2.$$

$$12.9. \text{ а) } 1,6 \text{ с}, 0,62 \text{ Гц};$$

$$\text{ б) } 2,1 \text{ м}, -4,7 \text{ м/с}; \text{ в) } 9,1 \text{ м/с}, 9,6 \text{ м/с}^2.$$

$$12.10. x(t) = \frac{3}{\pi} \cos 2\pi t.$$

$$12.11. \text{ а) } 2,17 \text{ см}; \text{ б) } 50 \text{ см/с}.$$

$$12.12. v = 13,6 \text{ см/с}.$$

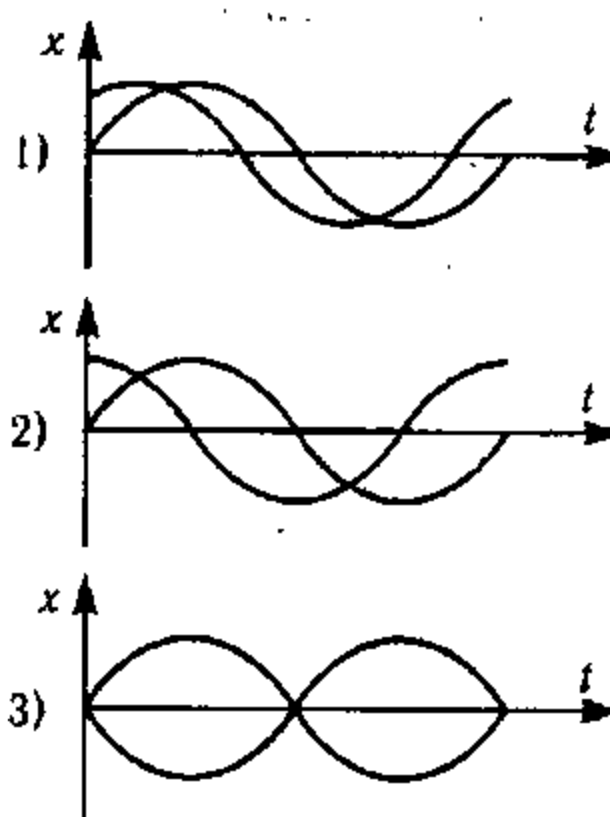
$$12.13. x = 5 \sin(\pi t + \pi/6) \text{ см}.$$

$$12.14. f = \frac{\omega}{2\pi} = 0,74 \text{ Гц}; \varphi_0 = 54^\circ;$$

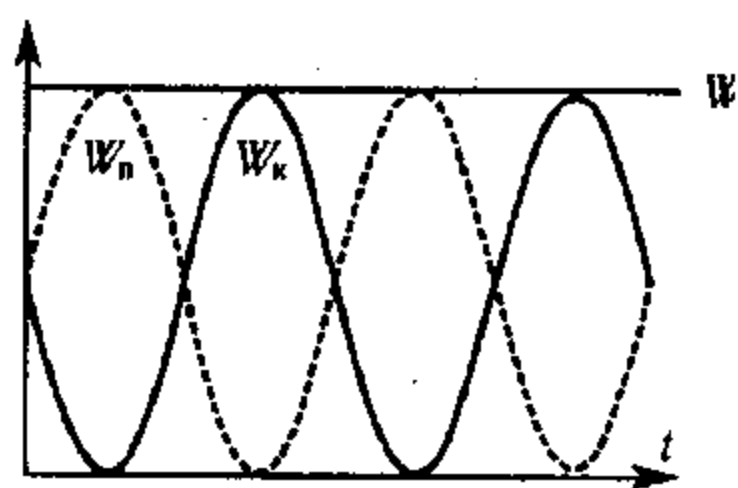
$x = A \cos(\pm \omega t + \varphi_0); y = A \sin(\pm \omega t + \varphi_0);$
 $A = 5,16 \text{ м},$ «+» сағат тілінің бағытымен, ал «-» - сағат тіліне қарама-қарсы бағыттағы қозғалысқа сәйкес.

$$12.15. F_{\max} = 246 \text{ мкН}.$$

$$12.16. F_{\max} = 197 \text{ мкН}.$$



4) екі синусоида бірдей



179-сурет

12.17. 179-суретті қараңыз. Энергия тербелістерінің периоды тербелмелі қозғалыстың өз периодынан екі есе кіші екендігі осы суреттен көрінеді.

$$12.18. \text{ а) } W_k/W_n = 3; \text{ б) } W_k/W_n = 1;$$

$$\text{ а) } W_k/W_n = 1/3.$$

$$12.19. \text{ а) } W_k/W_n = 15; \text{ б) } W_k/W_n = 3;$$

$$\text{ а) } W_k/W_n = 0.$$

$$12.20. x = 0,04 \sin(\pi t + \pi/3) \text{ м}.$$

$$12.21. x = FA^2/2W = 1,5 \text{ см}.$$

12.22. Шарик тербелісінің периоды $T = 2\pi\sqrt{l/g} = 2,8 \text{ с}$. Шариктің тепе-теңдік жағдайдан аздаған ауытқуының тербеліс амплитудасы $A = l \sin \alpha = 2 \cdot 0,0698 \text{ м} \approx 0,14 \text{ м}$. Сонда шариктің қозғалысының теңдеуі (егер уақытты оның тепе-теңдік жағдайынан бастап есептесек) былайша жазылады:

$$x = A \sin \frac{2\pi}{T} t = 0,14 \sin \frac{2\pi}{2,8} t \text{ м}.$$

Шарик тепе-теңдік жағдайынан өтер кезде оның жылдамдығы ең жоғарғы мәнінде болады.

$$v = \frac{0,14 \cdot 2\pi}{2,8} \cos \frac{2\pi}{2,8} t \text{ м/с}$$

болғандықтан

$$v_{\max} = \frac{0,14 \cdot 2\pi}{2,8} \text{ м/с} = 0,31 \text{ м/с}.$$

Осы жылдамдықты біз мына қатынастан да таба аламыз $mgh = mv^2/2$, мұндағы h – шариктің көтерілу биіктігі; бұдан $v = \sqrt{2gh}$. $h = l(1 - \cos \alpha)$ екендігін байқауға болады. Сонда $v = \sqrt{2gl(1 - \cos \alpha)} = 0,31 \text{ м/с}$. Маятник өзінің тепе-теңдік жағдайынан өте көп ауытқыса, оның тербелісі гармониялық бола алмайды.

12.23. $T = 0,78 \text{ с}$.

12.24. $k = 805 \text{ Н/м}$.

12.25. 2 есе азаяды.

12.26. 0,2 кг.

12.27. Мынаны аламыз:

$$T_1 = 2\pi \sqrt{m/k}, \quad \text{немесе} \quad T_1^2 = 4\pi^2 m/k. \quad (1)$$

Массасы Δm жүкті қосқаннан кейін

$$T_1 = 2\pi \sqrt{(m + \Delta m)/k},$$

немесе $T_1^2 = 4\pi^2 (m + \Delta m)/k. \quad (2)$

(1)-ші теңдеуден (2)-ші теңдеуді алып, мынаны табамыз: $T_2^2 - T_1^2 = 4\pi^2 \Delta m/k$. Бірақ, $k = F/\Delta l = \Delta mg/\Delta l$, мұндағы F – серіппенің ұзындығын Δl -ге ұзартатын күш. Сонымен,

$$T_2^2 - T_1^2 = 4\pi^2 \frac{\Delta l}{g}, \quad \text{немесе} \quad \Delta l = \frac{g}{4\pi^2} (T_2^2 - T_1^2) = 2,7 \text{ см}.$$

12.28. $T = 0,93 \text{ с}$.

12.29. 1,3 Гц.

12.30. Жүзіп жүрген ареометрге ауырлық күші (төмен қарай) және Архимед күші (жоғары) әрекет етеді. Сондықтан тепе-теңдік жағдайында $mg = \rho g(V + Sh)$, мұндағы $(V + Sh)$ – ареометрдің сұйық ішіндегі бөлігі. Егер ареометрді x тереңдікке батырсақ, қорытқы итергіш күш

$F = \rho g[V + S(h + x)] - mg = \rho g[V + S(h + x)] - \rho g(V + Sh) = \rho gSx = kx$,
мұндағы $k = \rho gS$. $T = 2\pi \sqrt{m/k}$ болғандықтан

$$T = \frac{4}{d} \sqrt{\frac{m\pi}{\rho g}},$$

бұдан

$$\rho = \frac{16\pi m}{T^2 d^2 g} = 0,89 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3.$$

$$12.31. \alpha = \arccos \frac{a}{a+g}.$$

12.32. а) $a\omega^2 > g$; б) шайбаны жұлып алған кезде таяныш тірек өзінің орташа қалпынан жоғары көтеріледі. $h = g/(2\omega^2) + a^2\omega^2/(2g) = 25 \text{ см.}$

$$12.33. \varphi_m = 4,6^\circ; T = 2 \text{ с.}$$

$$12.34. \text{ а) } \omega = 16,9 \text{ с}^{-1}; \text{ б) } F_{1m} = 60 \text{ Н}, F_{2m} = 24 \text{ Н.}$$

12.35. а) массалар центрі қозғалыссыз;

$$\text{б) } \omega = \sqrt{k/\mu}, \quad \text{мндаы } \mu = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2};$$

$$\text{в) } v_{\max} = a\omega = a\sqrt{k/\mu}.$$

$$12.36. \text{ а) } v_c = \frac{m_1 v_0}{m_1 + m_2}; E_{\text{ілг}} = \frac{m_1^2 v_0^2}{2(m_1 + m_2)},$$

$$\text{б) } E_{\text{тер}} = \frac{\mu v_0^2}{2}, \text{ мндаы } \mu = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2};$$

$$\text{в) } \omega = \sqrt{k/\mu}, x_m = v_0 \sqrt{k/\mu}.$$

$$12.37. T = \frac{4}{3}\pi \sqrt{l/g}.$$

$$12.38. \text{ а) } y(t) = \frac{mg}{k} (\cos \omega t - 1);$$

$$\text{б) } y(t) = \left(\frac{mg}{k} + \Delta l \right) (\cos \omega t - 1), \omega = \sqrt{k/m}.$$

$$12.39. \omega = \sqrt{\frac{g}{l} \cdot \left(1 + \frac{m}{M} \right)}.$$

$$12.40. \omega = \sqrt{\frac{g}{l} (2 \pm \sqrt{2})}.$$

$$12.41. \omega = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{2g}{3R}}.$$

$$12.42. 10,1 \text{ см.}$$

$$12.43. x = 3,7 \sin \left(\frac{\pi}{4} t + \frac{\pi}{8} \right) \text{ см.}$$

$$12.44. A = 4,6 \text{ см}; \varphi = 62^\circ 46'.$$

$$12.45. \varphi_2 - \varphi_1 = 2\pi/3.$$

12.46. $A = 5$ см; $\varphi = 36^\circ 52' \approx 0,2\pi$; $x = 5 \sin(\pi t + \pi/5)$ см.

12.47. Мынаны аламыз

$$x = A \sin 2\pi\nu_1 t, \quad A = A_0 (1 + \cos 2\pi\nu_2 t).$$

Екінші теңдеуді біріншісіне қойып мынаны табамыз:

$$\begin{aligned} x &= A_0 (1 + \cos 2\pi\nu_2 t) A \sin 2\pi\nu_1 t = A_0 \sin 2\pi\nu_1 t + A_0 \cos 2\pi\nu_2 t \sin 2\pi\nu_1 t = \\ &= A_0 \sin 2\pi\nu_1 t + \frac{A_0}{2} \sin[2\pi(\nu_1 - \nu_2)t] + \frac{A_0}{2} \sin[2\pi(\nu_1 + \nu_2)t]. \end{aligned}$$

Сонымен қарастырылып отырған тербелісті олардың жиіліктері ν_1 , $\nu_1 - \nu_2$ және $\nu_1 + \nu_2$, ал амплитудалары A_0 , $A_0/2$ болатын үш гармониялық тербелістердің қосындыларына жіктеуге болады. Қорытынды тербелістің амплитудасы уақыт өзгерісімен өзгеріп отырады. Осындай тербеліс енді гармониялық тербелістегі қозғалыс емес, модульденген тербеліс деп аталады.

12.48. Бірдей периодты екі өзара перпендикуляр тербелістерді қосудың нәтижесінде қорытынды тербелістің траекториясының теңдеуі мынадай болады:

$$\frac{x^2}{A_1^2} + \frac{y^2}{A_2^2} - \frac{2xy}{A_1 A_2} \cos(\varphi_2 - \varphi_1) = \sin^2(\varphi_2 - \varphi_1). \quad (1)$$

$\varphi_2 - \varphi_1 = 0$ болғандықтан (1) теңдеу мынадай түрде болады:

$$\frac{x^2}{A_1^2} + \frac{y^2}{A_2^2} - \frac{2xy}{A_1 A_2} = 0,$$

немесе

$$\left(\frac{x}{A_1} - \frac{y}{A_2}\right)^2 = 0,$$

бұдан

$$y = \frac{A_2}{A_1} x - \text{тік сызықтың теңдеуі.}$$

Сонымен, қорытынды тербеліс түзу сызық бойымен болады. Сызықтың көлбеулік бұрышы $\operatorname{tg} \alpha = A_2/A_1 = 0,5$ теңдеуімен анықталады, яғни $\alpha = 26^\circ 34'$. Қорытынды тербелістің периоды қосынды тербелістердің периодына тең, ал қорытынды тербелістің амплитудасы $A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2} = 1,2$ см. Демек, қорытынды тербелістің теңдеуі: $s = 11/2 \sin(10\pi t + \pi/3)$ см.

12.49. а) $A = 7$ см; б) $A = 5$ см.

12.50. $x^2/4 + y^2/4 = 1$ – радиусы $R = 2$ м-ге тең шеңбердің теңдеуі.

12.51. Мынаны аламыз:

$$x = \cos \pi t, y = \cos \frac{\pi}{2} t = \sqrt{\frac{1 + \cos \pi t}{2}}, \text{ немесе } 2y^2 - 1 = \cos \pi t.$$

Бұдан $(2y^2 - 1)/x = 1$, немесе $2y^2 - x = 1$ – парабола теңдеуі.

12.52. $x^2/1 + y^2/4 = 1$ – эллипс теңдеуі.

12.53. $A = \frac{A_n T^2}{T_n^2 - T^2} = 4,76 \text{ см.}$

12.54. Өшетін тербелістің теңдеуі

$$x = Ae^{-\delta t} \sin(\omega t + \varphi). \quad (1)$$

Біздің жағдайымызда $\omega = 2\pi/T = \pi/2$, $\varphi = 0$ және $\delta = \kappa/T = 1,6/4 = 0,4 \text{ с}^{-1}$. A амплитудасы мына шарттан табылады: $t = T/4 = 1 \text{ с}$ болғанда $x = 4,5 \text{ см}$. (1) теңдеуден $A = 6,7 \text{ см}$ болатынын табу оңай. Сонымен (1) теңдеу мына түрді қабылдайды:

$$x = 6,7e^{-0,4t} \sin \frac{\pi}{2} t \text{ см.} \quad (2)$$

Тербелістің графигін салу үшін x ығысуының ең үлкен мәндеріне сәйкес келетін t_1, t_2, t_3, \dots , уақыт кезеңдерін табамыз. x -тің ең үлкен мәні мына шарттан табылады: $v = dx/dt = 0$. (1) теңдеуден ($\varphi = 0$ болғанда)

$$v = A\omega e^{-\delta t} \cos \omega t - A\delta \omega e^{-\delta t} \sin \omega t = 0, \quad \text{бұдан} \quad \text{tg} \omega t = \omega/\delta = 2\pi/\kappa. \quad (3)$$

Осы (3) теңдеуден тек кана өшпейтін тербеліс $\kappa = 0$ кезінде ғана $\text{tg} \omega t = \infty$, яғни $2\pi t/T = \pi/2$ немесе $t = T/4$ көрінеді. Біздің жағдайымызда $\text{tg} \omega t = 2\pi/\kappa = 3,925$, яғни $\omega t = 75^\circ 42' \approx 0,421\pi$, бұдан $t = 0,421\pi/\omega = 0,842 \text{ с}$. Сонымен $t_1 = 0,842 \text{ с}$; $t_2 = t_1 + T/2 = 2,842 \text{ с}$; $t_3 = t_1 + T = 4,842 \text{ с}$; $t_4 = t_1 + 3T/2 = 6,842 \text{ с}$ және т.с.с. болғанда $x = x_{\max}$ болады. (2) теңдеуге осы t -нің табылған мәндерін қойып x_1, x_2, x_3, \dots сәйкес мәндерін табу қиын емес.

12.55. 12.54. есептің шешімін қараңыз.

12.56. $v_1 = 7,85 \text{ м/с}$, $v_2 = 2,88 \text{ м/с}$, $v_3 = 1,06 \text{ м/с}$, $v_4 = 0,39 \text{ м/с}$, $v_5 = 0,14 \text{ м/с}$.

12.57. Өшетін тербелістердің өрнектерінен аламыз:

$$A_1 = A_0 \exp\left(-\kappa \frac{t}{T}\right), \quad A_2 = A_0 \exp\left(-\kappa \frac{t+T}{T}\right),$$

бұдан $A_1/A_2 = e^\kappa$. Есептің шарты бойынша $\kappa = 0,2$; осыдан $A_1/A_2 = 1,22$.

12.58. $\delta = 1,83 \text{ с}^{-1}$; $\nu_0 = 2,02 \text{ Гц}$.

12.59. а) $t = 120 \text{ с}$; б) $t = 1,22 \text{ с}$.

12.60. 1,22 есе. **12.61.** 8 есе.

12.62. 21 с-тан кейін.

12.63. а) $\delta = 0,46 \text{ с}^{-1}$; б) $\delta = 10 \text{ с}^{-1}$;

$$в) \delta = \kappa/T = \kappa\omega_0\sqrt{4\pi^2 + \kappa^2} = 7/2 \text{ с}^{-1}.$$

12.64. Өзіндік тербелістердің теңдеуі мына түрде беріледі:

$$x = A_0 e^{-\delta t} \sin \omega_0 t. \quad (1)$$

Есептің шарты бойынша өзіндік және амалсыздан болатын тербелістердің фазаларының ығысуы $-3\pi/4$ -ке тең, яғни

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{2\delta\omega}{\omega_0^2 - \omega^2} = \operatorname{tg}(-3\pi/4) = 1,$$

бұдан

$$\omega_0 = \sqrt{\omega^2 + 2\delta\omega}. \quad (2)$$

Бізде $\omega = 10\pi$ және $\delta = 1,6 \text{ с}^{-1}$. Осы мәндерді (2)-ге қойып, мынаны аламыз $\omega_0 = 10,5\pi$, сонда өзіндік тербелістің теңдеуі мына түрді қабылдайды:

$$x = 7e^{-1,6t} \sin 10,5\pi t \text{ см.}$$

Сыртқы периодтық күштің теңдеуі мынадай:

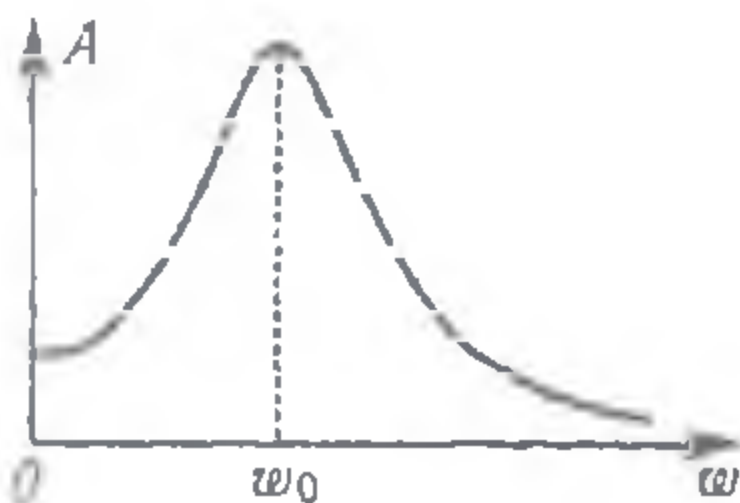
$$F = F_0 \sin \omega t.$$

Сыртқы периодтық күштің ең үлкен мәні

$$F_0 = Am\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\delta^2\omega^2} = 72 \text{ мН},$$

сонда сыртқы периодтық күштің теңдеуі мынадай болады

$$F = 72 \sin 10\pi t \text{ мН.}$$



180-сурет

12.65. 180-суретте мәжбүр тербелістің A амплитудасының сыртқы периодтық күштің ω жиілігіне тәуелділігінің сипаты көрсетілген.

12.66. Егер ойыстағы бірінен кейін бірі тізбектелген екі сокқылаудың аралығы колясканың өзіндік тербелісінің периодына тең болған жағдайда коляска күшті пайқалады. Колясканың өзіндік тербелісінің периоды мына формула арқылы анықталады:

$T = 2\pi\sqrt{m/k}$. Бізде $m = 10/2 = 5 \text{ кг}$ – әрбір рессораға келетін масса, $k = m_0 g/x_0 = (9,8/2) \text{ Н/см} = 490 \text{ Н/м}$, сондықтан $T = 0,63 \text{ с}$. Кезекті екі сокқылаудың арасындағы уақыт мынадай болады: $t = l/v = T$; осыдан $v = l/T = (0,3/0,63) \text{ м/с} = 1,7 \text{ км/сағ}$.

12.67. $\lambda = 3 \text{ мкм}$.

12.68. $c = 350 \text{ м/с}$; $v_{\max} = 0,785 \text{ м/с}$.

12.69. Толқынның теңдеуі мынадай

$$x = 10 \sin \left(\frac{\pi}{2} t - \frac{\pi l}{6 \cdot 10^4} \right) \text{ см.} \quad (1)$$

Сонымен, $x = f(t, l)$, яғни сәуленің бойында жатқан нүктелердің ығысуы t уақыт пен нүктенің тербеліс көзінен l қашықтығына тәуелді. Тербеліс көзінен $l = 600$ м қашықтықта жатқан нүкте үшін (1) теңдеу мынадай түрде болады:

$$x = 10 \sin \left(\frac{\pi}{2} t - \pi \right) \text{ см,}$$

яғни $l = \text{const}$ болғанда біз мынаны аламыз: $x = f(t)$ – сәуленің бойында жатқан белгіленген нүктенің ығысуы уақытқа байланысты өзгереді.

$t = 4$ с болғанда (1) теңдеу мына түрде болады:

$$x = 10 \sin \left(2\pi - \frac{\pi l}{6 \cdot 10^4} \right) \text{ см.}$$

Бұл жағдайда $t = \text{const}$ және $x = f(t)$ – сәуленің бойында жатқан әртүрлі нүктелер берілген уақытта әртүрлі ығысуда болады.

12.70. $x = 0$; $v = 7,85$ см/с; $a = 0$.

12.71. $\Delta\varphi = \pi$ – нүктелер қарама-қарсы фазаларда тербелісте болады.

12.72. $\Delta\varphi = 4\pi$ – нүктелер бірдей фазаларда тербелісте болады.

12.73. $x = 2,5$ см.

12.74. $\lambda = 0,48$ м.

12.75. а) Түйіндердің орналасуы: $x = 3, 9, 15, \dots$ см; шоқтардың орналасуы: $x = 0, 6, 12, 18, \dots$ см. б) Түйіндердің орналасуы: $x = 0, 6, 12, 18, \dots$ см; шоқтардың орналасуы: $x = 3, 9, 15, \dots$ см.

12.76. $\lambda = 2$ м. **12.77.** $T = 1,16$ с. **12.78.** $T = 1,07$ с.

12.79. $l = T \sqrt{gd} / \pi = 0,446$ м. **12.80.** $T = 1,5$ с.

12.81. Математикалық маятниктің шағын тербелісінің периоды

$$T_1 = 2\pi \sqrt{l/g}. \quad (1)$$

Физикалық маятниктің шағын тербелісінің периоды

$$T_2 = 2\pi \sqrt{J/mgl},$$

мұндағы: J – айналу осімен салыстырғандағы шариктің инерция моменті, m – шариктің массасы және l – шариктің массалар центрінен оның ілінген нүктесіне дейінгі қашықтық. Біздің жағдайымызда

$$J = \frac{5}{2} mR^2 + ml^2 = ml^2 \left[1 + \frac{5}{2} \left(\frac{R}{l} \right)^2 \right] = ml^2 x.$$

Осыларды есептей отырып

$$T_2 = 2\pi \sqrt{lx/g}. \quad (2)$$

(1) және (2) теңдеулерден мынаны аламыз: $T_2/T_1 = \sqrt{x}$. Ілінген шарикті математикалық маятник деп есептеген кездегі жіберген қателігіміз:

$$\delta = \frac{T_2 - T_1}{T_1} = \frac{T_2}{T_1} - 1 = \sqrt{x} - 1,$$

бұдан

$$x = \left[1 + \frac{5}{2} \left(\frac{R}{l} \right)^2 \right] = (1 + \delta)^2, \text{ немесе } \frac{R}{l} = \sqrt{\frac{5}{2} [(1 + \delta)^2 - 1]}. \quad (3)$$

Бізде $\Delta \leq 0,01$. (3)-ке қойып мынаны аламыз: $R/l \leq 0,0224$. $R = D/2 = 0,02$ м болғандықтан, шариктің массалар центрінен іліну нүктесіне дейінгі шекті қашықтық $l \geq 0,089$ м, ал жіптің өзінің шекті ұзындығы $L = l - R = 0,069$ м.

12.82. $T_1/T_2 = 1,05$.

§ 13. Акустика

13.1. $\lambda = 0,78$ м.

13.2. $\lambda_1 = 17$ мм-ден $\lambda_2 = 17$ м-ге дейін.

13.3. $c = 5300$ м/с.

13.4. 340 м/с.

13.5. Юнга модулі E сығылу коэффициенті β -мен $\beta = 1/E$ қатынасы арқылы байланысты болғандықтан, $\beta = 1/(\rho c^2) = 7,1 \cdot 10^{-10}$ Па⁻¹.

13.6. $l = 1810$ м.

13.7. $c_1 = 318$ м/с; $c_2 = 330$ м/с; $c_3 = 343$ м/с.

13.8. 1) 6 м; 2) 850 Гц; 3) 5100 мк; 4) $3 \cdot 10^{-11}$ м.

13.9. $c = 315$ м/с.

13.14. $\alpha = 3^\circ 51'$

13.10. $c = 330$ м/с.

13.15. $8,6^\circ$

13.11. $c = 336$ м/с.

13.16. $p_2/p_1 = 1,12$.

13.12. $t = -54^\circ$ С.

13.17. $I_1/I_2 = 1000$.

13.13. $n = c_1/c_2 = 0,067$.

13.18. $\Delta L_p = 30$ Дб; $p_2/p_1 = 3,16$.

13.19. $L_1 = 100$ фон; $p = 2$ Па.

13.20. $D_m = 10^{-11}$ м; $p_m = 2,7 \cdot 10^{-5}$ Па.

13.21. $1,12$.

13.22. а) $l = 8,15$ мм; б) $l = 0,41$ мм.

13.23. Болат білікте тербелістер туғызған кезде оның қысқыштардағы нүктелерінде түйіндер, бос шеттерінде шоктар түзетін тұрғын толқын қалыптасады. Ауа бағанасының тұрғын толқындарында көрші жатқан

шоқтардың аралығындағы қашықтық қоздырылған дыбыс толқыны ұзындығының жартысына тең болады.

$$\lambda_1/\lambda_2 = c_1/c_2. \quad (1)$$

Осы айтылғандардың негізінде ауа бағанасының l_2 ұзындығы мына шарт бойынша табылады:

$$n\lambda_2/2 = l_2. \quad (2)$$

(1)-ші және (2)-ші тендеулерден мынаны аламыз:

$$l_2 = n\lambda_1 c_2 / 2c_1.$$

Сонда а) $\lambda_1 = 2l_1$, $l_2 = 0,392$ м; б) $\lambda_1 = 4l_1$, $l_2 = 0,784$ м.

13.24. $l_1 = 0,715$ м.

13.25. $\nu = 43$ кГц – ультрадыбыстық жиілік.

13.26. а) $\nu' = 666$ Гц; б) $\nu' = 542$ Гц.

13.27. 10 %.

13.31. $\nu_1 = 45$ кГц, $\nu_2 = 46,6$ кГц.

13.28. $\nu' = 5050$ Гц.

$$13.32. u = v \frac{r_0 - r}{r_0 + r}.$$

13.29. 4 есе.

13.33. $F = 7,3$ Н.

$$13.30. \nu_1 = v \frac{c + v}{c - v}.$$

13.34. $\nu_{\max} = 158$ Гц.

13.35. Мынаны аламыз:

$$\nu_1/\nu_2 = \sqrt{F_1/F_2} = \sqrt{15/16}, \quad \nu_6 = \nu_1 - \nu_2 = 8 \text{ Гц}.$$

Осы тендеулерді бірге шешіп, мынаны аламыз: $\nu_2 = 252$ Гц.

13.36. $\nu = 250$ Гц немесе $\nu = 254$ Гц.

$$13.37. v = \sqrt{gh}; \quad t = 2\sqrt{L/g}.$$

13.38. а) Ашық түтікшенің ішінде екі ұштарында шоқтары бар тұрғын дыбыс толқыны пайда болады. Осы жағдайда түтікшенің l ұзына бойында n жартылай толқындар орналасатыны белгілі, мұндағы $n = 1, 2, 3, \dots$, яғни $l = n\lambda/2$ және $\nu = c/\lambda = nc/(2l)$. $n = 1$ болғанда негізгі тонның мынадай жиілігін аламыз: $\nu = c/(2l)$. б) Жабық түтікте бір ұшында түйін, ал екінші ұшында шоғы болатын тұрғын толқын пайда болады. Осы жағдайда $l = n\lambda/4$ және $\nu = c/\lambda = nc/(4l)$. $n = 1$ болғанда негізгі тонның жиілігі $\nu = c/(4l)$.

13.39. $\nu = 261$ Гц; $l = 0,65$ м.

§ 14. Электромагниттік тербелістер және толқындар

14.1. $\lambda = 2500$ м.

14.2. $\lambda_1 = 700$ м-ден $\lambda_2 = 1950$ м-ге дейін.

14.3. $R < 2\sqrt{L/C} = 100$ Ом.

14.4. $\varepsilon = 6$.

14.5. $U = 100 \cos(2\pi \cdot 10^3 t)$ В, $I = -15,7 \sin(2\pi \cdot 10^3 t)$ мА; $U_1 = 70,7$ В, $I_1 = -11,1$ мА;

$$U_2 = 0, I_2 = -15,7 \text{ мА}; U_3 = -100 \text{ В}, I_1 = 0.$$

$$14.6. W_{эл} = 125 \cos^2(2\pi \cdot 10^3 t) \text{ мкДж}, W_{м} = 125 \sin^2(2\pi \cdot 10^3 t) \text{ мкДж}; W = 125 \text{ мкДж}; W_{эл1} = 62,5 \text{ мкДж}, W_{м1} = 62,5 \text{ мкДж}, W_1 = 125 \text{ мкДж}; W_{эл2} = 0, W_{м2} = 125 \text{ мкДж}, W_2 = 125 \text{ мкДж}; W_{эл3} = 125 \text{ мкДж}, W_{м3} = 0, W_3 = 125 \text{ мкДж}.$$

$$14.7. T/8 \text{ уақыттан кейін}; Q_0/\sqrt{2}.$$

$$14.8. T = 5 \text{ мс}; C = 0,63 \text{ мкФ}; U = 25,2 \text{ В}; W_{м} = 0,2 \text{ мДж}; W_{эл} = 0,2 \text{ мДж}.$$

$$14.9. U = U_0 \cos \omega t \text{ және } I = C dU/dt = -CU_0 \omega \sin \omega t; \text{ яғни,}$$

$$W_{м} = \frac{LI^2}{2} = \frac{LC^2 U_0^2 \omega^2}{2} \sin^2 \omega t, W_{эл} = \frac{CU^2}{2} = \frac{CU_0^2}{2} \cos^2 \omega t.$$

Бұдан

$$\frac{W_{м}}{W_{эл}} = LC \omega^2 \frac{\sin^2 \omega t}{\cos^2 \omega t} = LC \omega^2 \operatorname{tg}^2 \omega t.$$

$$t = T/8 \text{ болғанда, } \sin \omega t = \sqrt{2}/2 \text{ және } \cos \omega t = \sqrt{2}/2 \text{ болады. } LC = T^2/4\pi^2 = 1/\omega^2 \text{ болатындықтан}$$

$$\frac{W_{м}}{W_{эл}} = \frac{\sin^2 \omega t}{\cos^2 \omega t} = 1.$$

$$14.10. W = \frac{\lambda I_m^2 t}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{L}{C}} = 0,17 \text{ Дж}.$$

$$14.11. R \text{ кедергісінің шамасын өте аз деп есептеп, } T = 2\pi\sqrt{LC} = 0,2 \text{ мс} \text{ формуласынан тербеліс периодын табамыз.}$$

$$U_1 = U_0 \exp(-\kappa/T), \text{ бұдан } \kappa/T = \ln(U_0/U_1).$$

$$\text{Есептің шарты бойынша } t = 1 \text{ мс, } U_0/U_1 = 3. \text{ Яғни,}$$

$$\kappa = \frac{T \ln(U_0/U_1)}{t} = 0,22.$$

Контурдың кедергісі $R = 11,1 \text{ Ом}$. R -дің осы шамасы $T = 2\pi\sqrt{LC}$ формуласын қолдану шартын қанағаттандыратындығына оңай көз жеткізуге болады.

$$14.12. C = C_0 \left(1 - \frac{t^2}{2LC_0 t}\right).$$

$$14.13. \kappa = 8\rho \sqrt{\pi l C} / (d^2 \sqrt{\mu_0 \mu}) = 0,018.$$

$$14.14. t = T \cdot \ln 100 / (2\kappa) = 6,8 \text{ мс}.$$

$$14.15. R = 1150 \text{ Ом}.$$

$$14.16. \text{ а) } 2,25 \text{ мс; б) } R = 1,38 \cdot 10^3 \text{ Ом}.$$

$$14.17. 2 \cdot 10^4 \text{ орам}.$$

$$14.18. I = 4,6 \text{ мА}; U_{C_1} = 73,4 \text{ В}, U_{C_2} = 146,6 \text{ В}.$$

14.19. 74%, 68%.

14.20. 72,5%, 68,5%.

14.21. 770 В.

14.22. 1,77 А; 16°; 204 Вт.

14.23. а) $Z = \frac{\sqrt{R^2 + 1/(\omega C)^2}}{R}$, $\operatorname{tg} \varphi = 1/R\omega C$;

б) $Z = \frac{R}{\sqrt{R^2 \omega^2 C^2 + 1}}$, $\operatorname{tg} \varphi = -R\omega C$;

в) $Z = \frac{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}{R}$, $\operatorname{tg} \varphi = \omega L/R$;

г) $Z = \frac{R}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}$, $\operatorname{tg} \varphi = -R/\omega L$;

д) $Z = \sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2}$, $\operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega L - 1/\omega C}{R}$.

14.24. а) $Z = 4,38$ кОм; $Z = 2,18$ кОм.

14.25. $I = 1,34$ А; $U_C = 121$ В; $U_R = 134$ В; $U_L = 295$ В.

14.26. $R = 12,3$ Ом.

14.27. $C = 8,5$ мкФ.

14.28. $U_R = 156$ В.

У Т А Р А У ОПТИКА

§ 15. Геометриялық оптика және фотометрия

15.1. а) $2,26 \cdot 10^8$ м/с; а) $2,01 \cdot 10^8$ м/с; а) $2,29 \cdot 10^8$ м/с.

15.2. 3 м.

15.3. $a_2 = 0,12$ м; $y_2 = -8$ мм; бейне жорамал, тік және кішірейген.

15.4. $a_2 = 7,5$ см; $y_2 = -1,5$ мм; бейне жорамал, тік және кішірейген.

15.5. $a_2 = -0,6$ м, $a_2 = -0,3$ м

15.6. 12 см.

15.7. $k = 6$.

15.8. $a_2 = R/2$ – бейне айнаның тоғысында орналасады; $y_2 = 7,5$ см.

15.9. OAM теңқабырғалы үшбұрыштан (62-сурет) мынаны табамыз:
 $OA = R/(2 \cos \alpha)$. Бірақ, $x = AF = OA - OF = OA - R/2$, демек

$$x = \frac{R}{2} \left(\frac{1}{\cos \alpha} - 1 \right).$$

Егер $\alpha = 0$ болса, $\cos \alpha = 1$ және $x = 0$. Сосын $y = FH = x \operatorname{tg} \angle HAF$.
Бірақ $\angle HAF$ – AOM үшбұрышының сыртқы бұрышы ретінде 2α -ға тең, сонда

$$x = \frac{R}{2} \left(\frac{1}{\cos \alpha} - 1 \right) \operatorname{tg} 2\alpha.$$

Егер $\alpha = 0$ болса, $\cos \alpha = 1$, $\operatorname{tg} 2\alpha = 0$ және $y = 0$.

15.10. $x = 1,8$ см; $y = 1,5$ см.

15.11. $h = 8$ см.

15.12. $d = 0,1$ м.

15.13. $l = 5,8$ мм.

15.19. Мынаны аламыз $\sin i / \sin \beta = n_1$. Суды шыныдан айыратын толық ішкі шағылысу мына шарт орындалғанда болады: $\sin \beta = n_1 / n_2$, мұндағы n_2 – судың сыну көрсеткіші. Сонда $\sin i = n_1 \sin \beta = n_1 n_2 / n_1 = n_2 = 1,33$, яғни $\sin i > 1$ – есептің шарты орындалмайды.

15.19. $r = 0,114$ м.

15.21. $\beta_{\text{кр}} = 41^\circ 28'$; $\beta_{\text{ф}} = 40^\circ 49'$

15.22. $n = \sqrt{2} = 1,41$.

15.23. $\delta = 34^\circ 37'$.

15.24. $\gamma = 28^\circ$.

15.29. $\sin \frac{\delta + \gamma}{2} = n \sin \frac{\gamma}{2}$.

Бұл жағдайда сәуленің бастапқы бағытынан ең аз ауытқу болады.

15.30. $\delta_{\text{кр}} = 30^\circ 38'$; $\delta_{\text{ф}} = 33^\circ 27'$.

15.31. $F_1 = 0,146$ м.

15.32. а) $F = 0,188$ м; б) $F = 0,30$ м; в) $F = 0,75$ м; г) $F = -0,188$ м; д) $F = -0,30$ м;

е) $F = -0,75$ м.

15.33. $F_1 / F_2 = 1,4$; сұйықта бірінші линза шашыратушы линза ретінде, ал екінші линза – жинаушы ретінде әрекет етеді.

15.34. $D = 2$ дптр.

15.35. $a_2 = 0,3$ м; $y_2 = 4$ см.

15.37. $a_1 + a_2 = 1$ м.

15.38. $h = \sqrt{ab}$.

15.39. $R = 72$ см; $l = 108$ см.

15.40. $4F$.

15.41. $F_2 = 0,59$ м.

15.42. $a_1 = -90$ см; $a_2 = 180$ см.

15.51. $\vartheta = 7^\circ 45'$.

15.52. Бейненің диаметрі $d = 2F \operatorname{tg} (\alpha/2) = 4,6$ мм. Ауданы $\pi D^2/4$ болатын линзаның бетіне түсетін сәуленің ағымы Күн бейнесінің $\pi d^2/4$ ауданында шоғырланады. Сонда $E_2/E_1 = 4\pi D^2/4\pi d^2 = D^2/d^2 = 383$.

15.53. $r = 1$ м; $h = 0,71$ м.

15.54. $\Phi = 8,34$ лм.

15.14. $\operatorname{tg} i = n$.

15.15. $l = d/n = 10$ см.

15.16. $(n-1) d/n$ -ға.

15.17. $v_1 = 2,02 \cdot 10^8$ м/с.

15.25. $\delta = 6^\circ 2'$.

15.26. $i = 10^\circ 8'$.

15.27. $\gamma = 77^\circ 22'$.

15.28. $i = 4^\circ 47'$.

15.43. $F_{\text{кр}} - F_{\text{ф}} = 3$ см.

15.44. а) $a_2 = 10$ см; б) $a_2 = 5,7$ см.

15.46. а) $k = 12,5$; б) $k = 7,5$.

15.47. $R_1 = R_2 = 25$ мм.

15.48. $k = 4x$.

15.49. $k = 562$.

15.50. $F = 0,112$ м.

15.55. Өлшемдері фотопластинкадан әлдеқайда үлкен сызбаның толық фотосуретін түсірген кезде, оның бейнесі шамамен объективтің ең бас тоғысында болады. Ал оның жеке бөліктерін табиғи өлшемінде көрсететін бейне сызбаны объективтен қос тоғыс аралығына орналастырған кезде пайда болады (фотоплёнкадағы бейне де осы қашықтықта алынады). Осы кезде суреттің ауданы $(2F/F)^2 = 4$ есе өседі. Фотопластинканың жарықталынуы осындай есе азаяды, яғни экспозициялау уақытын 4 есе көбейту керек.

15.56. 5,7 есе. Сонымен, Солтүстік өңірде жатып күнге күйгеннен гөрі тұрып қыздырылған артық.

15.57. 2 есе.

15.58. Бөлме бұрыштарындағы жарықталыну

$$E = \frac{I}{r^2} \cos \alpha. \quad (1)$$

Шамнан бөлменің бұрышына дейінгі қашықтығы r , a мәні (бөлменің квадрат еденінің диагоналының жартысы), квадрат еденнің қабырғасы b және шамның еденнен биіктігі h мына теңдеу арқылы бір-бірімен байланысады

$$a = r \sin \alpha = b\sqrt{2} = h \operatorname{tg} \alpha. \quad (2)$$

Осы (2) теңдеудің негізінде жарықталу үшін мына өрнекті алуға болады:

$$E = \frac{I}{a^2} (\cos \alpha \sin^2 \alpha).$$

E -нің максимумын табу үшін $dE/d\alpha$ туындысын аламыз да, оны нольге теңестіреміз:

$$\frac{dE}{d\alpha} = \frac{I}{a^2} (2\cos^2 \alpha \sin \alpha - \sin^3 \alpha) = 0.$$

Осыдан $\operatorname{tg}^2 \alpha = 2$. Сонда $h = a/\operatorname{tg} \alpha = b/(\sqrt{2}\operatorname{tg} \alpha) = b/2 = 2,5$ м.

15.61. 2,25 есе.

15.62. $E \approx 8 \cdot 10^4$ лк.

15.63. 4 есе.

15.64. а) $B = 1,2 \cdot 10^7$ кД/м²; б) $B = 3 \cdot 10^4$ кД/м².

15.65. 0,5 дптр.

15.66. $E = 2 \cdot 10^3$ лк; $R = 1,5 \cdot 10^3$ лм/м²; $B = 480$ кД/м².

15.67. $l = \sqrt{r^2(\sqrt[3]{4} - 1)} \approx 4$ м.

15.68. $E = 210$ лк.

15.69. $K = 1,61 \cdot 10^{-3}$ Вт/лм; $\eta \approx 2\%$.

§ 16. Толқындық оптика

16.1. Күн дискісінің бір шетін фотоға түсіргенде (сәуле көзі бізге қарай жылжиды)

$$v' = vc/(c - v); \quad (1)$$

Күн дискісінің екінші шетін фотоға түсіргенде (сәуле көзі бізден ары қарай жылжиды)

$$v'' = vc/(c + v); \quad (2)$$

$v = c/\lambda$ екенін ескеріп, (1) және (2) теңдеуден мынаны табамыз: $\Delta\lambda = 2v\lambda/c$; бұдан

$$v = c\Delta\lambda/2\lambda = 2 \text{ км/с.}$$

16.2. $U = mc^2 (\Delta\lambda)^2/q = 2,5 \text{ кВ.}$

16.3. Спектр сызықтарының қысқа толқындарға қарай ығысуы жұлдыздың бізге қарай жақындап келе жатқанын көрсетеді. Оның қозғалысының радиалды жылдамдығы (яғни, Жер мен жұлдызды қосатын сызықтың бойындағы жылдамдық) мына қатынастан анықталады $v = c\Delta\lambda/\lambda = 103 \text{ км/с.}$

$$\mathbf{16.4.} \quad N = \frac{4ab}{a+b} \cdot \frac{(n-1)^2 \alpha^2}{\lambda}.$$

16.5. $y_1 = 1,8 \text{ мм}; y_2 = 3,6 \text{ мм}; y_3 = 5,4 \text{ мм.}$

16.6. $\lambda = 0,5 \text{ мкм.}$

16.7. Шыны пластинканы енгізудің нәтижесінде интерференцияланған сәулелердің арасындағы жүріс айырымы $\Delta = nh - h = h(n - 1)$ шамасына өзгереді. Екінші жағынан, пластинканы енгізудің нәтижесінде k жолақтарға ығысу орын тепті. Демек, пластинка арқылы берілген қосымша жүріс айырымы $k\lambda$ -ға тең. Сонымен $h(n - 1) = k\lambda$, бұдан $h(n - 1) = k\lambda/(n - 1) = 6 \text{ мкм.}$

16.8. $\Delta n \leq 5 \cdot 10^{-5}.$

16.9. $h = 0,13 \text{ мкм.}$

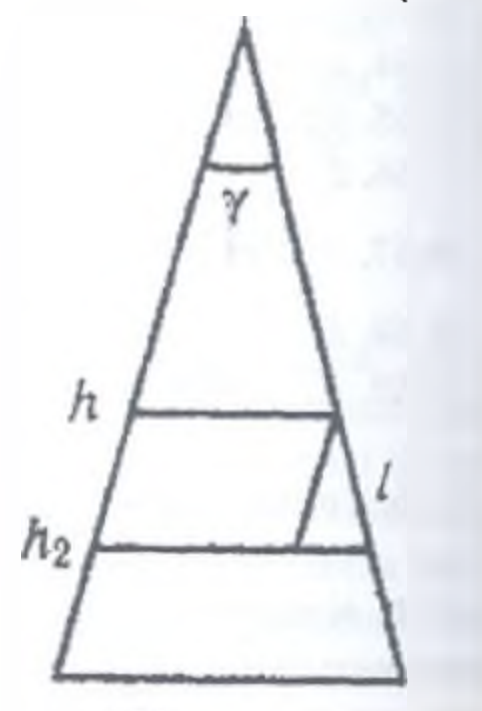
16.10. Көршілес жолақтарға сәйкес келетін жарғақтың қалыңдықтарын h_1 және h_2 арқылы белгілейміз. Сонда $\Delta h = h_2 - h_1 = \lambda/2n$ (181-сурет). Сынаның γ бұрышының аз екендігін ескеріп, $\Delta h = l \operatorname{tg} \gamma$ деп алуға болады, бұдан $\operatorname{tg} \gamma = k\lambda/2nl = 5,13 \cdot 10^{-5}$ және $\gamma = 11''.$

16.11. $l_2 = 1,9 \text{ мм.}$

16.12. $k_0 = 5 \text{ см}^{-1}.$

16.13. $d > \lambda/4n = 100 \text{ нм.}$

16.14. $\lambda = 589 \text{ нм.}$



181-сурет

16.15. $r_k = \sqrt{4R\lambda_k} = 2,8\text{мм}; \quad r_k = \sqrt{3R\lambda_k} = 3,1\text{ мм.}$

Сонымен, біз үшінші қызыл сақинаның төртінші көк сақинаға қарағанда әрірек жатқанын көреміз. Осы жағдай Ньютон сақиналарын ақ жарықта тек ауаның қабатының аз қалыңдығында ғана бақылауға болатынын көрсетеді. Қабаттың үлкен қалыңдығында әртүрлі түстер бірі-бірімен қосылады.

16.16. $\lambda = 675\text{ нм.}$

16.17. $l_2 = 3,66\text{ мм.}$

16.18. $k = 275.$

16.19. Ньютон сақиналарын өтетін жарықта бақылағанда жарықтың максимум шарты мына формуламен анықталады:

$$2hn = k\lambda. \quad (1)$$

Линза мен пластинканың арасындағы қабаттың h қалыңдығы бақыланатын сақинаның сәйкес r_k радиусымен былайша байланысады

$$h = r_k^2/2R. \quad (2)$$

(2)-ші теңдеуді (1)-ге қойып мынаны табамыз: $nr_k^2/R = k\lambda$, бұдан $n = k\lambda R/r_k^2 = 1,33.$

16.20. $h = 1,2\text{ мкм.}$

16.21. $r = \sqrt{R\lambda/n} = 0,63\text{ мм.}$

16.22. $n = 1,56.$

16.23. Айнаның $\lambda/2$ қашықтыққа L орынауыстыруы жүріс айырымының λ -ға өзгеруіне, яғни интерференциялық суреттің бір жолаққа ығысуына сәйкес келеді. Сонымен, $L = k\lambda/2$, мұндағы k – көздің алдынан өткен жолақтардың саны, бұдан $\lambda = 2L/k = 644\text{ нм.}$

16.24. $n - 1 = k\lambda/2 = 3,8 \cdot 10^{-4}$, осыдан $n = 1,00038.$

16.25. Бұл жағдайда Майкельсон интерферометрінен өзгеше, сәуле хлоры бар түтікше арқылы тек бір рет қана өтеді (128 сурет). Сондықтан хлордан және вакуумнан өтетін сәулелердің жүріс айырымы $ln - l = l(n - 1) = k\lambda$ -ға тең, бұдан $n - 1 = k\lambda/l = 7,73 \cdot 10^{-4}$ және $n = 1,000773.$

16.26. $\lambda = 680\text{ нм.}$

16.27. $d = 115\text{ нм.}$

16.28. 0,117-ге дейін; 0,109-ға дейін.

16.29. k -ші аумақтың радиусы – $r_k = \sqrt{kab\lambda/(a+b)}$. Сандық мәндерін орнына қойып табамыз: $r_1 = 0,50\text{ мм}, r_2 = 0,71\text{ мм}, r_3 = 0,86\text{ мм}, r_4 = 1,00\text{ мм}$ және $r_5 = 1,12\text{ мм.}$

16.30. $r_1 = 0,71\text{ мм}, r_2 = 1,0\text{ мм}, r_3 = 1,22\text{ мм}, r_4 = 1,41\text{ мм}, r_5 = 1,58\text{ мм.}$

16.31. $l = 167\text{ м.}$

16.32. Диафрагманың тесігі Френкельдің k аймақтарын өткізеді деп есептейік. Сонда k -ші аймақтың радиусы тесіктің радиусына сәйкес

келеді: $R = r_k = \sqrt{kab\lambda/(a+b)}$. Экранда бақыланатын сақинаның центрінің ең аз жарықталуы екі аймаққа сәйкес келеді ($k = 2$). Сандық мәндерін қойып мынаны аламыз: $R = 1$ мм.

16.33. $l = 0,8$ м.

16.34. $b = \frac{2m + 5/4}{2(n-1)} \cdot \lambda, \quad m = 0, 1, 2, \dots$

16.35. $I \approx 4I_0$.

16.36. $\varphi = 30^\circ$.

16.37. $I_\theta = \frac{I_0}{(m + 1/2)^2 \pi^2}; \quad m = 1 \quad I_\theta = 0,045I_0$.

16.38. $N_0 = 600 \text{ мм}^{-1}$.

16.39. $\lambda_2 = 409,9 \text{ нм}; \quad N_0 = 500 \text{ мм}^{-1}$.

16.40. $\sin\varphi = k_1\lambda_1/d = k_2\lambda_2/d$, немесе $k_1\lambda_1 = k_2\lambda_2$, бұдан $k_2/k_1 = \lambda_1/\lambda_2 = 656,3/410,2 = 1,6$. k_1 және k_2 сандары міндетті түрде бүтін болу керектігінен, $k_1/k_2 = 1,6$ шартына мына мәндер сәйкес келеді: $k_1 = 5$ және $k_2 = 8$. Сонда $d = k_1\lambda_1/\sin\varphi = 5 \text{ мкм}$.

16.41. $\lambda_2 = 660 \text{ нм}$ екінші реттік спектрде.

16.42. $\lambda_2 = 447 \text{ нм}$ – гелий спектрінің көк сызығына сәйкес.

16.43. $\lambda_k = 705 \text{ нм}$.

16.44. $k = 3$.

16.45. $d = 5\lambda$.

16.46. $d(\sin\theta \pm \sin\varphi) = m\lambda$, мұндағы $m = 0, 1, 2, \dots$

16.47. $0,032 \text{ нм-ге}; \quad m = 2$.

16.48. $d = 22 \text{ мкм}$.

16.49. $d = 25,4 \text{ мкм}$.

16.50. $\Delta\lambda = 24 \text{ пм}$.

16.51. $d \sin\varphi = k\lambda$ теңдеуін дифференциялап, мынаны аламыз:

$$d \cos\varphi d\varphi = k d\lambda \text{ немесе } d\varphi/d\lambda = k/d \cos\varphi.$$

Сандық мәндерін қойып мынаны табамыз: $\sin\varphi = 0,236$, бұдан $\varphi = 13^\circ 38'$. Сонда $\cos\varphi = 0,972$ немесе $d\varphi/d\lambda = 4,1 \cdot 10^5 \text{ рад/м}$.

16.52. $d = 5 \text{ мкм}$.

16.53. $D = 81 \text{ мкм/нм}$.

16.54. $l = 0,65 \text{ мм}$.

16.55. $\lambda_2 = 475 \text{ нм}; \quad N_0 = 600 \text{ мм}^{-1}; \quad d\varphi/d\lambda = 2,76 \cdot 10^4 \text{ рад/см}$.

16.56. $m = nd/b$ мұндағы $n = 1, 2, 3, \dots$

16.57. $F = 0,65 \text{ м}$.

16.58. $i_B = 57^\circ 30'$.

16.59. $i_B = 54^\circ 44'$.

16.60. $i_B = 37^\circ$.

16.61. $n = 1,73$.

16.62. $n = 1,63$; $i = 66^\circ 56'$.

16.63. $\lambda_k = 355 \text{ нм}$, $\lambda_6 = 395 \text{ нм}$.

16.64. Табиғи сәуленің қарқындылығын I_0 деп белгілейік. Поляризатор арқылы өткеннен кейін сәуле қарқындылығы $I_1 = 0,5I_0$ болады. Ал анализатор арқылы өткеннен кейінгі $I_2 = I_1 \cos^2 \varphi = 0,5I_0 \cos^2 \varphi$ -ға тең болады. Есептің шарты бойынша $I_2/I_0 = 0,25$; сонда $\cos^2 \varphi = 0,25/0,50 = 1/2$ және $\varphi = 45^\circ$ болады.

16.65. $\varphi = 62^\circ 32'$.

16.66. Түсетін жарықтың шағылу коэффициенті мынадай: $\rho = I/I_0$, мұндағы $I = I_\perp + I_\parallel$, және

$$I_\perp = 0,5I_0 \frac{\sin^2(i - \beta)}{\sin^2(i + \beta)}, \quad I_\parallel = 0,5I_0 \frac{\text{tg}^2(i - \beta)}{\text{tg}^2(i + \beta)}.$$

Біздің жағдайымызда толық поляризация бұрышымен түскенде $\text{tg } i_B = n = 1,54$, яғни $i_B = 57^\circ$. $i_B + \beta = 90^\circ$ болғандықтан сыну бұрышы $\beta = 33^\circ$ және $i_B - \beta = 24^\circ$. Сондықтан

$$I_\perp = 0,5I_0 \frac{\sin^2 24^\circ}{\sin^2 90^\circ} = 0,083I_0, \quad I_\parallel = 0,5I_0 \frac{\text{tg}^2 24^\circ}{\text{tg}^2 90^\circ} = 0.$$

Яғни, шағылған сәуледе, түсу бұрышы толық поляризациялау бұрышына тең болғанда, тербелістер тек түсу жазықтығына перпендикуляр жазықтықта болады. Осы кезде

$$\rho = \frac{I}{I_0} = \frac{I_\perp + I_\parallel}{I_0} = 0,083,$$

яғни, түсетін табиғи сәуленің тек 8,3% ғана шыныдан шағылады. Бұлар тербелістері түсу жазықтығына перпендикуляр болатын сәулелер. Демек, түсу жазықтығына перпендикуляр және екінші ортаға өткен тербелістердің энергиясы бөліну шекарасына түскен сәулелердің жалпы энергиясының 41,7%-ын құрайды, ал түсу жазықтығында жатқан тербелістердің энергиясы 50%-ға тең болады. Екінші ортаға өткен сәулелердің поляризациялану дәрежесі

$$P = \frac{I_\parallel - I_\perp}{I_\parallel + I_\perp} = \frac{0,083}{0,917} = 0,091 = 9,1\%.$$

16.67. $P = \frac{N}{N + 5,76}$, ($N = 1, P = 4,8\%$; $N = 2, P = 25,8\%$; т. с. с).

16.68. $\rho = I/I_0 = 5,06\%$; $P_1 = 83\%$; $P_1 = 4,42\%$.

§ 17. Салыстырмалылық теория элементтері

17.1. Мынаны аламыз:

$$l = l_0 \sqrt{1 - \beta^2}. \quad (1)$$

Есептің шарты бойынша $(l_0 - l)/l_0 = 1 - l/l_0 = 0,25$; бұдан

$$l/l_0 = 0,75, \text{ немесе } l = 0,75l_0. \quad (2)$$

(2)-ші тендеуді (1)-ге қойып, мынаны аламыз: $\sqrt{1 - \beta^2} = 0,75$, немесе $1 - \beta^2 = (0,75)^2 = 0,5625$ және $\beta^2 = 0,4375$. Сонымен, $\beta = v/c = \sqrt{0,4375} = 0,6615$ және $v = \beta c = 0,662 \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} = 1,98 \cdot 10^8 \text{ м/с}$.

17.2. $v = 2/6 \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$.

17.3. $(l_0 - l)/l_0 \leq 68,8\%$.

17.4. 7,1 есе.

17.5. $\Delta\tau = 3,2 \text{ с}$.

17.6. $\Delta m = 8,6 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$.

17.7. 182 суретте электронның m массасы мен e/m қатынасының $\beta = v/c$ мәніне тәуелділігінің сипаты берілген.

17.8. $v = 2,6 \cdot 10^8 \text{ м/с}$.

17.9. Мынаны аламыз:

$$W_k = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} - 1 \right) = c^2 \left(\frac{m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}} - m_0 \right) = c^2 (m - m_0),$$

бұдан

$$W_k/m_0 = c^2 (m - m_0)/m_0.$$

$(m - m_0)/m_0 = k$ деп белгілейміз, сонда $W_k = m_0 c^2 k$. Есептің шарты бойынша $k = 0,05$.

а) $W_k = 25,6 \text{ кэВ}$; б) $W_k = 47 \text{ МэВ}$; в) $W_k = 94 \text{ МэВ}$.

17.10. $U = 1,1 \text{ МВ}$.

17.11. $U = 510 \text{ кВ}$.

17.12. $W_k^0 = 1,4 \cdot 10^{-11} \text{ Дж}$; $W_k^к = 6,9 \cdot 10^{-12} \text{ Дж}$.

17.13. $E_{\text{тол}} = m_0 c^2 + W_k = 3,4 \cdot 10^{-11} \text{ Дж}$.

17.14. $-1,6 \cdot 10^{-16} \text{ кг-ға}$ (яғни азаяды).

17.15. $2,25 \cdot 10^8 \text{ м/с}$.

17.16. $\beta = 0,9$.

17.18. $W_k = 8,2 \cdot 10^{-14} \text{ Дж}$.

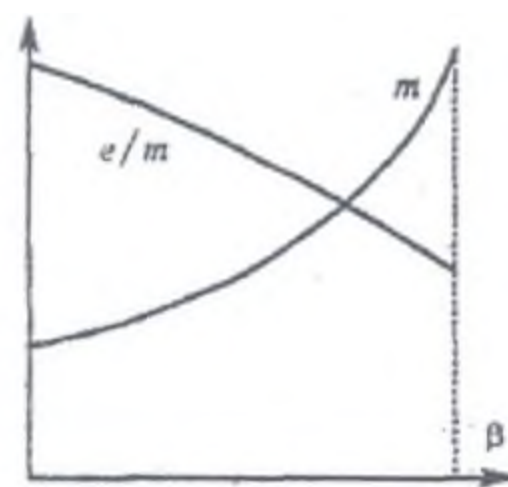
17.19. $\Delta m = 4,6 \cdot 10^{-17} \text{ кг}$.

17.20. $\Delta W = 931 \text{ МэВ}$.

17.21. $\Delta W = 8,2 \cdot 10^{-14} \text{ Дж}$.

17.22. $\Delta m_\mu = 3,2 \cdot 10^{-9} \text{ г/моль}$. Сонымен, реакцияның нәтижесінде 18 г емес, $3,2 \cdot 10^{-9} \text{ г-ға}$ ғана кем су алынады. Бұл шама ең дәл таразының сезімталдығының шегінен тыс жатыр. Басқа химиялық реакциялардағы массаның өзгеруі де осы шекпен дәрежелес. Ядерлық реакция кезінде массаның өзгеруі әлдеқайда көп болады (келесі есепті қараңыз).

17.23. $\Delta m_\mu = 0,217 \text{ г/моль}$.



182-сурет

17.24. $\tau = 7 \cdot 10^{12}$ жыл.

§ 18. Жылулық сәуле шығару

18.1. $T = 1000$ К.

18.2. $N = 3,9 \cdot 10^{26}$ Вт.

18.3. $R_s' = 4,6$ кВт/м².

18.4. $T = 1000$ К.

18.5. $N = 2,22$ кВт; $k = 0,3$.

18.6. $T = 2500$ К.

18.13. а) $\lambda_m = 1$ мкм – инфрақызыл аймақ; б) $\lambda_m = 500$ нм – көзге көрінетін жарықтың аймағы; в) $\lambda_m \approx 300$ пм – рентген сәулелерінің аймағы.

18.14. График бойынша (64 сурет) дененің энергетикалық жарқырауының максимал спектралдық тығыздығына келетін толқын ұзындығы $\lambda_m \approx 1,2$ мкм болатынын табамыз. Сонда Вин заңы бойынша мынаны аламыз: $T = 2400$ К. Шығарылған энергияның көзге көрінетін спектрінің үлесіне келетін пайызы біз қарастырып отырған интервалдың ұштарынан түсірілген ординаталармен киылған $r_\lambda = f(\lambda)$ қисығымен шектелген ауданның бөлігімен анықталады. Көзге көрінетін спектр шамамен 400-ден 750 нм-ге дейін созылады. 129 суретте көрсетілген қисық сызықты миллиметр қағазына түсіріп, берілген температурада көзге көрінетін энергияның үлесіне барлық шығарылған энергияның 3-5% келетіндігін табамыз.

18.15. 3,6 есе.

18.16. $\lambda = 9,3$ мкм.

18.17. 81 есе; $\lambda_1 = 2,9$ мкм-ден $\lambda_2 = 0,97$ мкм-ге дейін; 243 есе.

18.18. $T_2 = C_1 T_1 / (\Delta \lambda T_1 + C_1) = 290$ К.

18.19. $T = 533$ К.

18.20. $T_{\text{эфф}} = \frac{E \lambda^2}{2 c k r \Delta \lambda} \approx 10^{17}$ К.

(c – жарық жылдамдығы, k – Больцман тұрақтысы).

18.21. $t = 1,64$ сағ.

18.22. $S = \frac{4}{3} \sigma T^3 V$; $C_V = 4 \sigma T^3 V$,

мұндағы σ – Стефан-Больцман тұрақтысы.

VI Т А Р А У

АТОМ ЖӘНЕ АТОМ ЯДРОСЫНЫҢ ФИЗИКАСЫ

§ 19. Жарықтың кванттық табиғаты және бөлшектердің толқындық қасиеттері

19.1. а) $m = 3,2 \cdot 10^{-36}$ кг; б) $m = 8,8 \cdot 10^{-32}$ кг; в) $m = 3,2 \cdot 10^{-30}$ кг.

19.2. $E = \frac{2\pi\hbar c}{d(\sin \varphi_2 - \sin \varphi_1)} = 2,07$ эВ.

19.3. $N_1 = 6,2 \cdot 10^{18} \text{ с}^{-1}$; $N_2 = 1,2 \cdot 10^{19} \text{ с}^{-1}$; $N_3 = 1,1 \cdot 10^{19} \text{ с}^{-1}$;
 $N_4 = 5,9 \cdot 10^{18} \text{ с}^{-1}$; $N_5 = 4,6 \cdot 10^{18} \text{ с}^{-1}$; $N_6 = 5,1 \cdot 10^{18} \text{ с}^{-1}$.

19.4. 29%.

19.5. $v = 1,4$ км/с.

19.6. $\varepsilon = 0,51$ МэВ.

19.7. $E = pc/(St) = 150$ Дж/(с·м²).

19.8. $N = \frac{\lambda}{\pi\hbar} \sqrt{\frac{2mkT}{\pi}} \approx 7,6 \cdot 10^3$,

мұндағы m – He атомының массасы, k – Больцман тұрақтысы.

19.9. $\lambda \geq 0,41$ нм.

19.10. $8,3 \cdot 10^4$.

19.11. $h\nu = A + mv^2/2$. Фотозэффект пайда болуы үшін $h\nu > A$, яғни $\nu > A/h$ болуы керек. Бірақ $\nu = c/\lambda$, сондықтан фотозэффект пайда болуы үшін түсетін жарықтың толқын ұзындығы мына $\lambda < hc/A$ теңсіздікті қанағаттандыруы керек. Столетов тәжірибелерінде $\lambda \leq 295$ нм, осыдан мынаны табамыз $A = 4,2$ эВ.

19.12. $\lambda_0 = 517$ нм; $\lambda_0 = 540$ нм; $\lambda_0 = 620$ нм; $\lambda_0 = 660$ нм.

19.13. $\varepsilon = 4,5$ эВ.

19.14. $E_i = 5,4$ эВ.

19.15. $\lambda_0 = \frac{hc}{eU} = 0,041$ нм,

мұндағы e – электронның заряды, h – Планк тұрақтысы.

19.16. $U = 1,75$ В.

19.17. $\lambda = 204$ нм; $\lambda_0 = 234$ нм.

19.18. $p_{\max} = 3,45 \cdot 10^{-25}$ кг·м/с.

19.19. $h = 6,6 \cdot 10^{-34}$ Дж·с.

$$19.20. U = \frac{h\nu - A}{e} + U_0 = 1,5 \text{ В}, \nu = \sqrt{\frac{2}{m}(h\nu - A + eU_0)} \\ = 7,3 \cdot 10^5 \text{ м/с}.$$

$$19.21. \lambda_0 \leq 254 \text{ нм}.$$

19.22. Жарықтың қысымы $P = F/S$, мұндағы F – беттік ауданы S болатын дөңгелекке әрекет ететін жарық қысымының күші. Бірақ, $F = M/l = ka/l$, мұндағы: M – жіптің бұраушы моменті, l – дөңгелектің центрінен айналу осіне дейінгі қашықтық, α – дөңгелектің бұрылу бұрышы. Айнадан b қашықтықта орналасқан шкаладағы жарық ебелегі a мәніне ауытқуы үшін айнаның бұрылу бұрышы мына шартты: $\text{tg } 2\alpha = a/b$, немесе өте кішкене бұрыштар үшін $\text{tg } 2\alpha \approx 2\alpha = a/b$ қанағаттандыруы керек. Сонымен, $\alpha = a/2b$ және $P = ka/(2lbS) = 3,85 \text{ мкПа}$, $E = 770 \text{ Дж/(с·м}^2\text{)}$.

$$19.23. F_1 = 5,9 \cdot 10^8 \text{ Н}; F_1/F_2 = 1,6 \cdot 10^{-14}.$$

$$19.24. I = 1,2 \cdot 10^{21} \text{ с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}; F_1 \Delta \tau = 1,42 \text{ мкН·с/м}^2, F_2 \Delta \tau = 2,13 \text{ мкН·с/м}^2, \\ F_3 \Delta \tau = 2,84 \text{ мкН·с/м}^2.$$

$$19.25. P = \frac{I}{c}(1 + \rho) \cos^2 \theta \approx 2 \cdot 10^{-9} \text{ Н/см}^2 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Па}.$$

$$19.26. P = 10,4 \text{ мкПа}.$$

$$19.27. P_1 = 0,7 \text{ мкПа}; P_2 = 0,35 \text{ мкПа}.$$

$$19.28. I = 2,9 \cdot 10^{21} \text{ с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}.$$

$$19.29. \text{ а) } \Delta \lambda = 2,42 \text{ пм}, \lambda = \lambda_0 + \Delta \lambda = 73,22 \text{ пм}; \text{ б) } \Delta \lambda = 4,8 \text{ пм}, \lambda = 75,6 \text{ пм}.$$

$$19.30. \lambda_0 = 24,2 \text{ пм}.$$

$$19.31. \Delta \lambda = 2,42 \text{ пм}; W_e = hc\Delta\lambda/(\lambda_0\lambda) = 6,6 \text{ кэВ}, p_e = 4,4 \cdot 10^{-23} \text{ кг·м/с}.$$

$$19.32. W = 0,26 \text{ МэВ}; p_e = 9,3 \cdot 10^{-12} \text{ кг·м/с}.$$

$$19.33. W_e = \text{МэВ}.$$

$$19.34. \lambda_1 = 1,23 \text{ нм}; \lambda_2 = 0,123 \text{ нм}.$$

$$19.35. 1836.$$

$$19.36. \text{ а) } \lambda = 730 \text{ пм}; \text{ б) } \lambda = 144 \text{ пм}; \text{ в) } \lambda = 6,6 \cdot 10^{-29} \text{ м, яғни, шариктің толқындық қасиеттерін айқындау мүмкін емес}.$$

$$19.37. \text{ а) } \lambda = 12,2 \text{ пм}; \text{ б) } \lambda = 0,87 \text{ пм}.$$

$$19.38. m = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}.$$

19.39.	$\nu, 10^8 \text{ м/с}$	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8
	$\lambda, \text{ пм}$	2,70	2,25	1,82	1,39	0,925

19.40. $\lambda = 10$ пм.

19.41. $\lambda = 180$ пм.

§ 20. Бор атомы. Рентген сәулелері

20.1. $r_1 = 53$ пм, $r_2 = 212$ пм, $r_3 = 477$ пм;

$v_1 = 2,19 \cdot 10^6$ м/с, $v_2 = 1,1 \cdot 10^6$ м/с, $v_3 = 7,3 \cdot 10^5$ м/с,

20.2. $W_k = me^4/(8\varepsilon_0^2 h^2 k^2) = 13,6$ эВ; $W_n = -2W_k = -27,2$ эВ;

$W = W_k + W_n = -13,6$ эВ.

20.3. $W_{k1} = 13,6$ эВ; $W_{k2} = 3,40$ эВ; $W_{k3} = 1,51$ эВ; $W_{k1} = 0$.

20.4. $\omega = 4,14 \cdot 10^{16}$ с⁻¹.

20.5. Сутектің барлық сериясындағы спектрлік сызықтарының толқын ұзындықтары мына формуламен анықталады:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right); \quad (1)$$

$k = 1, n = 2, 3, 4, \dots$ болғанда – ультрафиолет аймағындағы Лайман сериясы;

$k = 2, n = 3, 4, 5, \dots$ болғанда – көзге көрінетін аймағындағы Бальмер сериясы;

$k = 3, n = 4, 5, 6, \dots$ болғанда – Пашен сериясы

$k = 4, n = 5, 6, 7, \dots$ болғанда – Бреккет сериясы

$k = 5, n = 6, 7, 8, \dots$ болғанда – Пфунд сериясы

} инфрақызыл аймағында.

Сонымен, спектрдің көзге көрінетін аймағы $k = 2$ және $n = 3, 4, 5, \dots$ мәндеріне сәйкес келеді. Яғни, бұл серияның спектр сызықтарының толқын ұзындығының ең кіші мәні $n = \infty$ кезінде болатыны анық. Сонда (1) тендеуден мынаны аламыз: $1/\lambda_{\min} = R/4$, немесе $\lambda_{\min} = 4/R = 365$ нм (санның үшінші мәнділік шамасына дейін). Ал толқын ұзындығының ең үлкен шамасы $n = 3$ кезіне сәйкес келеді, сонда $\lambda_{\max} = 656$ нм болады.

20.6. $\lambda_{\max} = 121$ нм; $v_{\min} = 1,90 \cdot 10^6$ м/с.

20.7. Атомның иондалу потенциалы U_i мына $eU_i = A_i$ тендеуі бойынша анықталады, мұндағы A_i – электронды қалыпты орбитадан шексіздікке кетіру жұмысы. Сутек атомы үшін

$$A_i = h\nu = hRc \left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right).$$

$k = 1$ және $n = \infty$ болғанда, жұмыс $A_i = hRc$ және иондалу потенциалы $U_i = A_i/e = hRc/e = 13,6$ В болады.

20.8. $U_1 = 10,2$ В.

20.9. Сутек спектрінің барлық серияларының барлық сызықтары сутек атомын иондағанда болады. Бұл электрондардың $W_{\min} = 13,6$ эВ

энергиясында болады (20.7 есептің шешімін қараңыз); $v_{min} = \sqrt{2eU_i/m} = 2,2 \cdot 10^6$ м/с.

20.10. Атомды бірінші қозу күйіне келтіретін энергия $W_1 = 10,2$ эВ (20.8 есептің шешімін қараңыз). Атомды екінші қозу ($k = 1$, $n = 3$) күйіне келтіретін энергия $W_2 = 12,1$ эВ. Сонымен, егер атқылайтын электрондардың энергиясы $10,2 \leq W \leq 12,1$ эВ интервалында жатса, сутек спектрінің тек бір ғана спектралды сызығы болады.

20.11. $n = 3$; $\lambda = 1026 \text{ \AA}$, $\lambda = 1215 \text{ \AA}$, $\lambda = 6570 \text{ \AA}$.

20.12. $97,3 \leq \lambda \leq 102,6$ нм.

20.13. $\Delta W = 2,56$ эВ.

20.14. $97,3 \leq \lambda \leq 102,6$ нм.

20.15. $n = 3$ -тен $k = 2$ -ге дейін.

20.16. $\lambda = 0,33$ нм.

20.17. $r_1 = 26,6$ пм; $v_1 = 4,37 \cdot 10^6$ м/с.

20.18. а) $U_1 = 40,8$ В; б) $U_1 = 91,8$ В.

20.19. а) $U_i = 54$ В; б) $U_i = 122$ В.

20.20. $\lambda = 30,4$ нм.

20.21. $\mu_n = \frac{e\hbar}{2mc} \cdot n$; $\frac{\mu_n}{p_n} = \frac{e}{2mc}$.

20.22. $\lambda = 589$ нм.

20.23. $U = 2,1$ В.

20.24. $\lambda = 254$ нм.

20.25. Ең кіші бұрыш бірінші реттік спектрге сәйкес келеді $\lambda = 2d \sin \varphi$, бұдан $\sin \varphi = \lambda/2d = 0,033$ және $\varphi = 1^\circ 54'$.

20.26. Тас тұздың молярлық көлемі: $V = \mu/\rho$. Осы көлемде $2N_A$ иондар саны бар, мұндағы N_A – Авогадро тұрақтысы. Сонда бір ионға келетін көлем $V_1 = \mu/2\rho N_A$. Демек, иондардың арасындағы d қашықтық (тор тұрақтысы) мына шарттан табылады $V_1 = d^3$, яғни

$$d = \sqrt[3]{V_1} = \sqrt[3]{\mu/(2\rho N_A)} = 281 \text{ пм.}$$

20.27. Рентген түтікшесінің электродтарына берілетін U потенциалдар айырымын өсіргенде бірінші реттегі спектрде спектрлік сызық пайда болады, оның толқын ұзындығы λ мына теңдеуді қанағаттандырады.

$$eU = h\nu = hc/\lambda. \quad (1)$$

Бірақ, Вульф-Брэгг формуласы бойынша

$$\lambda = 2d \sin \varphi \quad (2)$$

(1)-ші және (2)-ші теңдеулерден

$$h = \frac{eU\lambda}{c} = \frac{eU \cdot 2d}{c} \sin \varphi = 6,6 \cdot 10^{34} \text{ Дж} \cdot \text{с}.$$

20.28. $\lambda = 297 \text{ пм}.$

$$20.29. \quad 2\Delta\alpha = \frac{k}{a \sin \alpha'},$$

мұндағы α – тізбектің бағыты мен дифракциондық максимумға бағыттың аралығындағы бұрыш.

20.30. $\lambda = 27 \text{ пм}.$

20.31. $U = 770 \text{ кВ}.$

20.32. K -серияның барлық сызықтары (және барлық қалған сериялардың сызықтары) бір мезгілде электрон атомның K -орбитасынан шығарылған бойда пайда болады. Бұл үшін мына қатынасты қанағаттандыратын U потенциалдар айырымын беру кажет:

$$eU = h\nu = hc/\lambda,$$

мұндағы λ – шексіз алшақтатылған электронның K -орбитаға өтуіне сәйкес толқын ұзындығы, яғни, K -серисының шекарасын анықтайтын толқын ұзындығы. Біздің қарастырып отырған жағдайымызда, λ толқын ұзындығы (XXVI қосымшаны қараңыз): а) 138 пм; б) 48,4 пм; в) 17,8 пм; г) 15,8 пм. Іздеп отырған потенциалдар айырымы мына формула бойынша табылады: $U = hc/e\lambda$. Сандық мәндерін қойып, U потенциалдар айырымы үшін келесі мәндерін аламыз: а) 9 кВ; б) 25,3 кВ; в) 69 кВ; г) 79 кВ.

20.33. Мынаны карастырамыз:

$$\frac{1}{\lambda} = R(Z - b)^2 \left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right). \quad (1)$$

K -сериясының ең үлкен толқын ұзындығы K_α сызығына сәйкес келеді. Жәнеде біз (1) формулаға $b = 1$, $k = 1$, $n = 2$ мәндерін қоюымыз керек. (1)-ші формуланы λ -ның мына мәндерін табамыз: а) 194 пм; б) 155 пм; в) 72 пм; г) 57,4 пм; д) 23,4 пм; е) 22,8 пм; ж) 20,5 пм. Тәжірибе бойынша табылған K_α сызығының λ толқын ұзындығының мәндері мынадай: а) 194 пм; б) 154 пм; в) 71,2 пм; г) 56,3 пм; д) 23,0 пм; е) 21,4 пм; ж) 19 пм.

20.34. Электронның M -қабаттан L -қабатқа көшуі $k = 2$ және $n = 3$ мәндеріне сәйкес болады; вольфрамның Менделеев кестесіндегі реттік

номери $Z = 74$. Осы сандық мәндерді Мозли формуласына қойып $b = 5,5$ екенін табамыз.

20.35. $Z = 40$ (цирконий).

20.36. $N_0/N = \mu D/N_A e = 3,5 \cdot 10^{-10}$.

20.39. $x_{1/2} = 0,5$ мм.

20.37. $N = 1,6 \cdot 10^{14} \text{ с}^{-1} \cdot \text{кг}^{-1}$.

20.40. $2,2 \text{ см}^{-1}$.

20.38. $I_K = 2,7 \cdot 10^{-16} \text{ А}$.

20.41. 3,7 есе.

20.42. Кестені қараңыз; $\lambda = 1,24$ пм.

Зат	Су	Алюминий	Темір	Қорғасын
$\mu, \text{м}^{-1}$	6,7	16	44	77
$\mu_m, 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$	6,7	6,2	5,6	6,8

20.43. $n = \ln 80 / \ln 2 = 6,35$.

§ 21. Радиоактивтік

21.1. dt уақыт ішінде ыдырайтын радиоактивтік заттын атомдарының саны мына формуламен анықталады:

$$dN = -\lambda N dt. \quad (1)$$

Бұл формуланы Δt ең соңғы уақыт аралығы үшін тек мына шарт орындалса ғана қолдануға болады: қолда бар N атомдар саны Δt уақыт аралығында өзгеріссіз қалуға тиіс, яғни Δt уақыт аралығы $T_{1/2}$ жартылай ыдырау периодынан әлдеқайда аз болуы керек. Қарастырып отырған жағдайымызда (XXII қосымшаны қараңыз) полонийдің жартылай ыдырау периоды $T_{1/2} = 138$ күн, сондықтан, $\Delta t = 1$ күн уақытта ыдырайтын полоний атомдарының санын мына формула арқылы анықтауға болады:

$$|\Delta N| = \lambda N \Delta t = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} N \Delta t = 5025 \text{ күн}^{-1}. \quad (2)$$

21.2. Осы есепті шешкен кезде 21,1 есептің шешуіндегі (2) жуықтау формуласын қолдануға болмайды, себебі радонның жартылай ыдырау периоды (XXII қосымшаны қараңыз) $T_{1/2} = 3,82$ күн. $\Delta t = 1$ күн ішінде ыдырайтын радон атомдарының санын табу үшін $N = N_0 e^{-\lambda t}$ формуласын қолдану қажет. Сонда іздеп отырған сан:

$$\Delta N = N_0 - N = N_0 - N_0 e^{-\lambda t} = N_0(1 - e^{-\lambda t}) = 1,67 \cdot 10^5 \text{ күн}^{-1}.$$

Егерде біз ΔN -ді (2) жуықтау формуласы арқылы табатын болсақ, мынаны аламыз: $\Delta N = 1,92 \cdot 10^5 \text{ күн}^{-1}$, яғни 10%-ға қателесеміз. (1) және (2) формулалар арқылы 21.1 есебін шешуді үшінші мәнді цифрға дейін орындасақ, онда бірдей нәтиже алатынымызды айтып, олардың өздері көз жеткізулері керек.

21.3. $a = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$.

21.4. $m = 6,5 \cdot 10^{-9} \text{ кг}$.

21.5. $m = 0,22 \text{ мг}$.

21.6. 2,75 жыл.

21.7. а) $a_m = 7,9 \cdot 10^7 \text{ Бк/кг}$; б) $a_m = 5,7 \cdot 10^{18} \text{ Бк/кг}$.

21.8. $m = 3,5 \cdot 10^{-20} \text{ кг}$.

21.9. 53 қалдық.

21.10. $4 \cdot 10^{12}$.

21.11. Әрбір изотоптың табиғи уранның жалпы радиоактивтігіне қосатын пайыздық үлесі осы табиғи уранның уақыт бірлігіндегі ыдырау санының қатынасымен анықталады. Табиғи уранның массасын m арқылы белгілейміз. Сонда изотоптардың массалары мынаған сәйкес болады: $m_1 = 6 \cdot 10^{-5} m$, $m_2 = 7,1 \cdot 10^{-5} m$ және $m_3 = 99,28 \cdot 10^{-5} m$. Изотоптың уақыт бірлігінде беретін ыдырауларының саны:

$$\Delta N_1 = \frac{\ln 2}{T_1} N_1 \Delta t = \frac{\ln 2 N_A m_1 \Delta t}{T_1 A_1},$$

$$\Delta N_2 = \frac{\ln 2}{T_2} N_2 \Delta t = \frac{\ln 2 N_A m_2 \Delta t}{T_2 A_2}, \quad \Delta N_3 = \frac{\ln 2}{T_3} N_3 \Delta t = \frac{\ln 2 N_A m_3 \Delta t}{T_3 A_3},$$

мұндағы N_A – Авогадро тұрақтысы, T_i – изотоптың жартылай ыдырау периоды (T -ның $1/2$ индексі алынып тасталған), A_i – оның молярлық массасы. Осыдан іздеп отырған қатынас әрбір изотоп үшін мынадай болады:

$$x_i = \frac{\Delta N_i}{\Delta N_1 + \Delta N_2 + \Delta N_3} = \frac{m_i / (A_i T_i)}{m_1 / (A_1 T_1) + m_2 / (A_2 T_2) + m_3 / (A_3 T_3)}.$$

Сандық мәндерін қойып, табиғи уранның барлық радиоактивтілігі $^{238}_{92}\text{U}$ изотопына байланысты болатынына оңай көз жеткіземіз, ал $^{235}_{92}\text{U}$ және $^{234}_{92}\text{U}$ изотоптарының радиоактивтілігі еленбестей өте аз.

21.12. $v = 1,52 \cdot 10^7 \text{ м/с}$. α -бөлшек ұшып шыққан кезде бөлінетін W толық энергия α -бөлшектің W_1 кинетикалық энергиясы мен қалдық ядроның W_2 кинетикалық энергиясының қосындысына тең болады:

$$W = W_1 + W_2. \quad (1)$$

Сонымен қатар бұл жерде импульстің сақталу заңы орын алады. Ыдырауға дейінгі жүйенің импульсы нольге тең болғандықтан, ыдырағаннан кейін

$$m_1 v_1 = m_2 v_2. \quad (2)$$

(2)-ші теңдеуден мынаны алу қиын емес:

$$(m_1 v_1)^2 = \frac{m_1 v_1^2 2m_1}{2} = W_1 2m_1 = (m_2 v_2)^2 = \frac{m_2 v_2^2}{2} 2m_2 = 2m_2 W_2.$$

Сонда (1)-ші теңдеуден мынаны аламыз:

$$W = W_1 + \frac{2m_1 W_1}{2m_2} = W_1 \left(1 + \frac{m_1}{m_2} \right) = W_1 \frac{m_2 + m_1}{m_2} = 4,87 \text{ МэВ}.$$

21.13. а) $Q = 0,12$ кДж; б) $Q = 16$ кДж.

21.14. $Q_\mu = 5,2 \cdot 10^{12}$ Дж/моль.

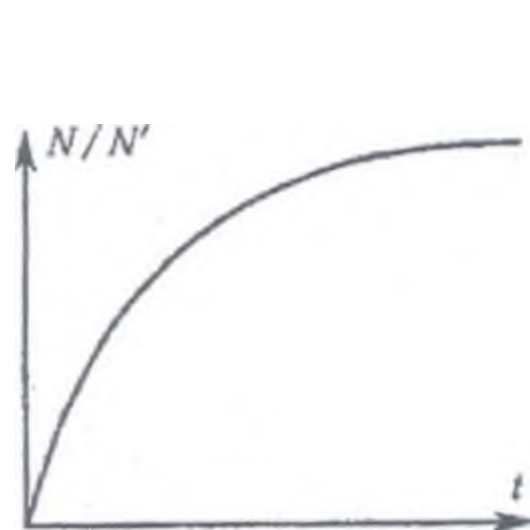
21.15. $a = 2,8 \cdot 10^8$ Бк.

21.16. $N_A = 6 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹.

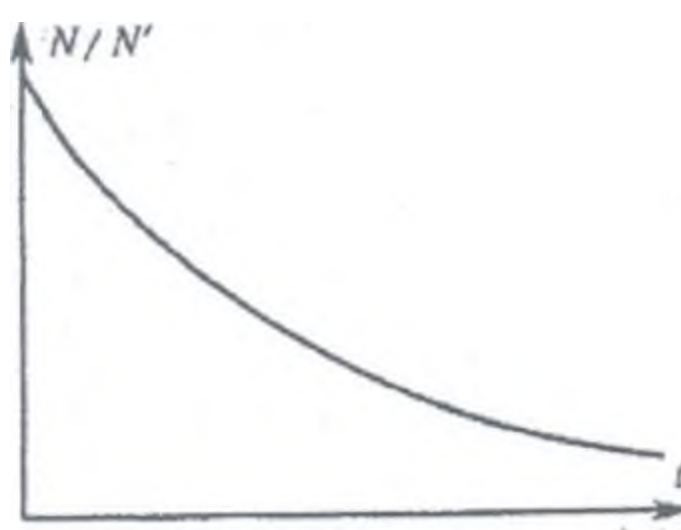
21.17. $18,5 \cdot 10^{10}$ Бк.

21.18. $t = 12,6$ күн. 183-суретте $N/N' = f(t)$ байланысының сипаттамасы берілген.

21.19. 184-суретте $N/N' = f(t)$ тәуелділігінің сипаты берілген. Жартылай ыдырау периоды қисық сызықтың ординатасы 0,5-ке тең болатын нүктесінің абсциссасы ретінде табылады. Біздің жағдайымызда масштаб арқылы сызылған $N/N' = f(t)$ қисықтығынан $T_{1/2} = 3,8$ күн екенін табуға болады.



183-сурет



184-сурет

21.20. $T_{1/2} \approx 4$ сағат.

21.21. $N_2(t) = \frac{N_0 \lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}).$

$$21.22. N_k = N_{yp} \left[1 - \exp \left(-\frac{0,693t}{T_{yp}} \right) \right],$$

$$\frac{m}{A} = \frac{m_{yp}}{A_{yp}} \left[1 - \exp \left(-\frac{0,693t}{T_{yp}} \right) \right],$$

мұндағы A_i – изотоптың молярлық массасы (T_i -нің $\frac{1}{2}$ индексі алынып тасталған). Бұдан $t = 3 \cdot 10^9$ жыл.

$$21.23. N = 2,8 \cdot 10^6.$$

$$21.26. 63,2 \, \%.$$

$$21.24. m = 7 \cdot 10^3 \text{ кг.}$$

$$21.27. a = 1,67 \cdot 10^8 \text{ Бк.}$$

$$21.25. I = 1,1 \cdot 10^{-7} \text{ кД.}$$

$$21.28. a_m = 5,25 \cdot 10^{15} \text{ Бк/кг.}$$

21.29. Араластырғанға дейінгі изотоптың меншікті активтілігі

$$a_{m_1} = \frac{\Delta N}{m_1 \Delta t} = \frac{\lambda N}{m_1} = \frac{\ln 2 N_A m_1}{T A_1 m_1} = \frac{\ln 2 N_A}{T A_1}; \quad (1)$$

араластырғаннан кейінгі

$$a_{m_2} = \frac{\Delta N}{(m_1 + m_2) \Delta t} = \frac{\ln 2 N_A m_1}{T A_1 (m_1 + m_2)}, \quad (2)$$

мұндағы A_1 – радиоактивті изотоптың молярлық массасы (T -нің $\frac{1}{2}$ индексі алынып тасталған). (1) және (2) тендеулерден мынаны аламыз:

$$a_m = \frac{\ln 2 N_A}{T A_1} \left(1 - \frac{m_1}{m_1 + m_2} \right) = \frac{\ln 2 N_A m_2}{T A_1 (m_1 + m_2)} = 4,9 \cdot 10^{17} \text{ Бк/кг.}$$

$$21.30. m_2 = 11 \text{ мг.}$$

$$21.33. {}^{235}_{92}\text{U.}$$

$$21.31. {}^{216}_{84}\text{Po.}$$

$$21.34. {}^4_2\text{He.}$$

$$21.32. {}^{226}_{88}\text{Ra.}$$

$$21.35. {}^{133}_{55}\text{Cs.}$$

21.36. а) $v = 1,92 \cdot 10^7$ м/с; б) $W = 7,83$ МэВ (21.12 есептің шешімін қараңыз);

$$\text{в) } N = 2,26 \cdot 10^5; \quad \text{г) } I_k = 1,33 \cdot 10^{-9} \text{ А.}$$

§ 22. Ядролық реакциялар

22.1. а) 12 протондар және 12 нейтрондар; б) 12 протондар және 13 нейтрондар;

г) 12 протондар және 14 нейтрондар.

22.2. $\Delta m = Z m_{1H} + (A - Z) m_n - m_A$. Бізде (XXVIII қосымшаны қараңыз).

$$\Delta m = (3 \cdot 1,00783 + 4 \cdot 1,00867 - 7,01600) \text{ м.а.б.} = 0,04217 \text{ м.а.б.}$$

1 м.а.б. массасына 931 МэВ энергиясы сәйкес келетін болғандықтан (17.2 есепті қараңыз), ${}^7_3\text{Li}$ ядросының байланыс энергиясы $W = 0,04217 \cdot 931 \text{ МэВ} = 39,3 \text{ МэВ}$ болады. ${}^7_3\text{Li}$ ядросын нуклондарға тарқату үшін осындай энергия жұмсалады.

22.3. $W = 28,3 \text{ МэВ}$.

22.4. $W = 225 \text{ МэВ}$.

22.5. а) $W = 8,5 \text{ МэВ}$; б) $W = 7,7 \text{ МэВ}$.

${}^3_2\text{He}$ ядросы ${}^3_1\text{H}$ ядросына қарағанда тұрақтылау.

22.6. $W_0 = 7,97 \text{ МэВ}$.

22.7. $W = 2,2 \text{ МэВ}$.

22.8. а) $W = 5,6 \text{ МэВ}$; б) $W = 7,5 \text{ МэВ}$; в) $W = 8,35 \text{ МэВ}$; г) $W = 8,55 \text{ МэВ}$; д) $W = 8,75 \text{ МэВ}$;

е) $W = 8,5 \text{ МэВ}$; ж) $W = 7,9 \text{ МэВ}$; з) $W = 7,6 \text{ МэВ}$.

22.9. $Q = c^2 (\Sigma m_1 - \Sigma m_2)$. Бастапқы бөлшектердің массаларының қосындысы мынадай

$$\Sigma m = (7,01600 + 1,00783) \text{ м.а.б.} = 8,02383 \text{ м.а.б.}$$

Пайда болған бөлшектердің массаларының қосындысы

$$\Sigma m = (4,00260 + 4,00260) \text{ м.а.б.} = 8,00520 \text{ м.а.б.}$$

Сонымен, массалар ақауы $\Delta m = 0,01863 \text{ м.а.б.}$. Демек, реакция кезінде мынадай энергия бөлінеді: $Q = 0,01863 \cdot 931 \text{ МэВ} = 17,3 \text{ МэВ}$.

22.10. $Q = 1,18 \text{ МэВ}$.

22.11. а) $Q = 4,04 \text{ МэВ}$; б) $Q = 3,26 \text{ МэВ}$.

22.12. а) $Q = 18,3 \text{ МэВ}$; б) $Q = 22,4 \text{ МэВ}$; в) $Q = 4,02 \text{ МэВ}$.

22.13. $M = 570 \text{ т}$.

22.17. $E = Q/4 = 5,95 \text{ МэВ}$.

22.15. $Q = 1,18 \text{ МэВ}$.

22.18. $\alpha_m = 1,1 \cdot 10^{23} \text{ Бк/кг}$.

22.16. $W = 15 \text{ МВт}$.

22.19. $T_{1/2} = 15 \text{ сағат}$.

22.20. $Q_1 = 5,35 \cdot 10^{22} \text{ МэВ}$; $Q_2 = 3,6 \cdot 10^{29} \text{ МэВ}$. Сонымен, $Q_2/Q_1 = 7 \cdot 10^6$, яғни, осы түрлендіру орындалу үшін энергияны реакция кезінде бөлінетін энергияға қарағанда 7 млн. есе көп шығындау керек.

22.21. $m = 6,015 \text{ м.а.б.}$

22.22. Өткізілген циклдің нәтижесінде сутектің төрт ядросы гелийдің бір ядросына айналады. Өзін химиялық катализатор ретінде көрсететін көміртекті қайтадан қолдануға болады. Осы циклдің нәтижесінде $4,3 \cdot 10^{-12} \text{ Дж}$ энергия босатылатынын табу қиын емес. Екінші жағынан, Күн тұрақтысы мен Жерден Күнге дейінгі қашықтықты біле отырып, Күн бірлік уақытта $Q_{\text{сг}} = 3,8 \cdot 10^{26} \text{ Дж/с}$ энергия шығаратынын табамыз. Егер сутектің төрт атомының түрленуі $4,3 \cdot 10^{-12} \text{ Дж}$ энергия берсе, $Q_{\text{кг}} = 3,8 \cdot 10^{26} \text{ Дж/с}$ энергия шығару үшін уақыт бірлігінде сутектің $m_t = 5,9 \cdot 10^{11} \text{ кг/с}$ массасын шығындау қажет. Күннің массасы $m_{\text{к}} = 2 \cdot 10^{30} \text{ кг}$ болғандықтан, Күн затындағы сутектің қоры: $m = 2 \cdot 10^{30} \cdot 0,35 \text{ кг} = 7 \cdot 10^{29} \text{ кг}$. Демек, сутектің осы қоры $t = 4 \cdot 10^{10}$ жылға жетеді.

22.23. $m = 1,00867$ м.а.б.

22.25. Анықтама бойынша

$$k_1 = N_1/N_2, \quad (1)$$

мұндағы: N_1 – кейбір уақыт аралығында орын тепкен ядролық түрленулер актілерінің саны, N_2 – осы уақыт аралығындағы нысананы атқылайтын бөлшектердің саны. Екінші жағынан, изотоптың активтілігі уақыт бірлігіндегі ыдыраудың ($a_1 = \lambda N_1$) санымен анықталатын болғандықтан

$$k_2 = \lambda \frac{N_1}{N_2} = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \frac{N_1}{N_2}, \quad (2)$$

мұндағы $T_{1/2}$ – пайда болған радиоактивті изотоптың жартылай ыдырау периоды. Сонымен (1) және (2) теңдеулерден мынаны аламыз:

$$k_2 = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} k_1.$$

22.26. $k_1 = 1/500$, яғни уақыт бірлігінде 500 протонның тек біреуі ғана реакция тудырады.

22.27. $k_1 = 1,2 \cdot 10^{-3}$.

22.28. Радиоактивті зат әзірленген бойда негіз уақыт бірлігінде $a_1 = (\Delta N/\Delta t)_1 = \lambda N_1$ ыдырау санын береді; t уақыт өткен кезде уақыт бірлігіндегі ыдырау саны $a_2 = (\Delta N/\Delta t)_2 = \lambda N_2$, мұндағы $N_2 = N_1 e^{-\lambda t}$. Бұдан, $n = 4000$ α -бөлшектердің ішінен тек біреуі ғана реакция тудыратынын ескеріп, радиоактивті затқа енгізілген радон атомдарының санын анықтаймыз

$$N' = nN_1 = nN_2 e^{\lambda t}.$$

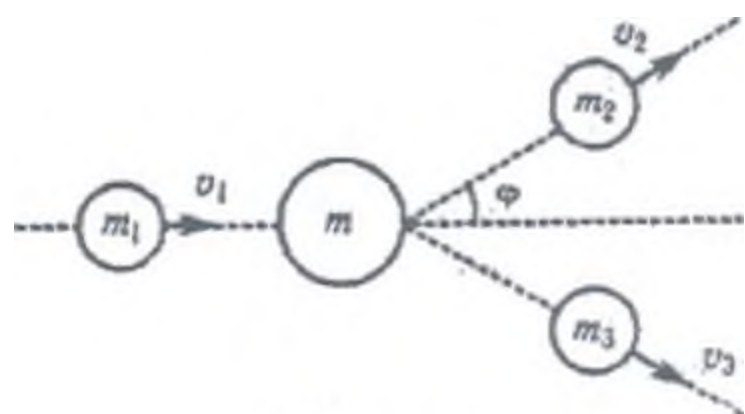
Сонда радонның массасы

$$m = \frac{\mu N'}{N_A} = \frac{\mu}{N_A} n N_2 e^{\lambda t} = \frac{\mu n e^{\lambda t} a_2}{N_A \lambda} = 2,1 \cdot 10^{-9} \text{ кг.}$$

22.29. $a_2 = 9,3 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$.

22.30. $Q = 6,9 \text{ МэВ}$; $k_2 = 5,77 \cdot 10^{-12} \text{ Бк}$.

22.31. m_1 , m_2 және m_3 – атқылайтын α -бөлшектің, протонның және серпімді ядроның (біздің қарастыратын жағдайымызда оттегінің ядросы) массалары, ал W_1 , W_2 және W_3 олардың кинетикалық энергиясы деп белгілейміз. Егер



185-сурет

185-сурет

азот ядросы (m) қозғалыссыз болса, энергияның сақталу заңы былай жазылады:

$$W_1 + Q = W_1 + W_2, \quad (1)$$

мұндағы Q – реакцияның энергиясы. Импульстің сақталу заңы векторлық түрде былай жазылады:

$$p_1 = p_2 + p_3. \quad (2)$$

(2)-ші теңдеуден импульстер үшін мынаны аламыз (185-сурет):

$$p_3^2 = p_1^2 + p_2^2 - 2p_1p_2 \cos \varphi. \quad (3)$$

$$p^2 = (mv)^2 = \frac{mv^2}{2} \cdot 2m = 2mW, \quad (4)$$

болғандықтан, (3) теңдеу мына түрде болады:

$$2m_3W_3 = 2m_1W_1 + 2m_2W_2 - 2 \cos \varphi \sqrt{2m_1W_1 \cdot 2m_2W_2},$$

немесе

$$W_3 = \frac{m_1}{m_3}W_1 + \frac{m_2}{m_3}W_2 - \frac{2 \cos \varphi}{m_3} \sqrt{m_1m_2W_1W_2}. \quad (5)$$

(1)-ші және (5) теңдеулерден W_3 -ті алап тастап, атқылайтын α -бөлшектерді кинетикалық энергиясын протондардың кинетикалық энергиясымен байланыстыратын формуланы аламыз:

$$\begin{aligned} & W_1 \left(\frac{m_3 - m_1}{m_3} \right) + Q \\ & = W_2 \left(\frac{m_2 + m_3}{m_3} \right) - \frac{2 \cos \varphi}{m_3} \sqrt{m_1m_2W_1W_2}. \end{aligned} \quad (6)$$

мұндағы $Q = -1,18$ МэВ. (6)-ны $\cos \varphi$ арқылы шешіп және сандық мәндерін орнына қойып мынаны аламыз:

$$\begin{aligned} \cos \varphi = & \frac{m_2 + m_3}{2} \sqrt{\frac{W_2}{m_1m_2W_1}} - \frac{m_3 - m_1}{2} \sqrt{\frac{W_1}{m_1m_2W_2}} \\ & - \frac{m_3Q}{2\sqrt{m_1m_2W_1W_2}} = 0,849, \end{aligned}$$

немесе $\varphi = 32^\circ$.

22.32. $W_2 = 11,3$ МэВ; $\varphi \approx 90^\circ$.

22.33. $Q = -0,78$ МэВ – реакция энергияның жұтылуымен өтеді; $W = |Q| \times (m_1 + m_2)/m_1 = 1,04$ МэВ, m_1 – тыныштықтағы ядроның массасы, m_2 – атқылаушы бөлшектердің массасы.

22.34.

22.35. $E_\alpha = 11/7|Q| = 4,39$ МэВ, мұндағы Q – реакцияның энергиясы.

22.36. $E = 2,78$ МэВ $< E_{\text{таб}} = 4,4$ МэВ, сондықтан қоздырмайды.

22.37. $Q = 2,8$ МэВ; $v = 9,3 \cdot 10^6$ м/с; $W = 1,8$ МэВ.

22.38. $W_1 = 1$ МэВ.

22.39. $h\nu = 2,2$ МэВ.

22.40. $h\nu = 16,6$ МэВ.

22.41. $W = 2,3 \cdot 10^4$ кВт·сағ.

22.42. $m = 31$ г.

22.43. $Q = 17,6$ МэВ; $W = 11,8 \cdot 10^4$ кВт·сағ.

§ 23. Элементар бөлшектер. Бөлшектердің үдеткіштері

23.1. а) $N = 2,2 \cdot 10^{16}$; б) $N = 1,1 \cdot 10^{16}$.

23.2. $m = 12$ м.а.б. (графит).

23.3. 92%.

23.4. а) $\approx 100\%$; б) 1,9%, яғни, құрамында сутек бар затқа қарағанда (мысалы, парафин) қорғасын қабатында нейтрондар едәуір аз тежеледі.

23.5. Қозғалыссыз протонға ұшып келіп соқтығысатын нейтронның v жылдамдығының бағыты бөлшектер жарыла ұшатын тік бұрыштың биссектрисасы болады. Осы кезде бөлшектердің жылдамдықтары бірдей және $v' = v \sqrt{2}/2$ -ге тең болады. Демек, энергия нейтрон мен протонның арасында орташа алғанда бірдей таралады.

23.6. Әрбір соқтығысқаннан кейін нейтронның кинетикалық энергиясы жартылай азаяды (23.5 есептің шешімін қараңыз). Демек, n соқтығыстан кейін нейтронның энергиясы $W = (1/2)^n W_0$ болады. Бұдан, $n \lg 2 = \lg (W_0/W) = \lg (2 \cdot 10^7)$ және $n = \lg (2 \cdot 10^7) / \lg 2 = 24$.

23.7. $q = 2e = 3,2 \cdot 10^{-19}$ Кл.

23.8. $v = \frac{E}{\mu_0 H \sin \alpha} = 10^6$ м/с.

23.9. $m = 1,23 \cdot 10^{-30}$ кг; $v = 2,02 \cdot 10^8$ м/с; $W = 1,8 \cdot 10^5$ эВ; $e/m = 1,3 \cdot 10^{11}$ Кл/кг; $v' = 2,52 \cdot 10^8$ м/с.

23.10. Есептің шарты бойынша $W/W_0 = 1/\sqrt{1 - \beta^2} = 30$, бұдан $v = 2,998 \cdot 10^8$ м/с. Қозғалыстағы мезонның өмір сүру уақыты зертханалық сағат бойынша мынадай болады: $\tau = \tau_0 / \sqrt{1 - \beta^2} = 30\tau_0$. Осы уақыттың ішінде мезон $l = v\tau = v \cdot 30\tau_0 \approx 18$ км жол жүреді.

23.11. 8 есе.

23.12. $W = 0,51$ МэВ; $\lambda = 2,4$ пм.

23.13. Егер фотон $h\nu$ энергиясымен қос бөлшекке түрленсе, энергияның сақталу заңымен

$$h\nu = 2m_0c^2 + W_1 + W_2,$$

мұндағы: m_0c^2 – әрбір бөлшектің тыныштық жағдайдағы энергиясы, W_1 және W_2 – бөлшектердің пайда болған сәттегі кинетикалық энергиялары. Бізде $m_0c^2 = 0,51$ МэВ, яғни, $2m_0c^2 = 1,02$ МэВ. Сонда $W_1 + W_2 = (2,62 - 1,02)$ МэВ = 1,60 МэВ.

23.14. Лоренц күші $Bqv = mv^2/R$, бұдан $B = mv/qR$. Салыстырмалы теорияға байланысты бөлшектің импульсы $p = mv$ оның W кинетикалық энергиясымен мынадай байланыста болады:

$$p = \frac{1}{c} \sqrt{W(W + 2m_0c^2)},$$

мұндағы m_0 – бөлшектің тыныштық массасы. Бұдан

$$B = \frac{1}{cqR} \sqrt{W(W + 2m_0c^2)}. \quad (1)$$

Осыдан әрбір бөлшектің кинетикалық энергиясының $W = 2,34$ МэВ болатынын көрсету оңай (23.13 шешімін қараңыз). (1)-ге сандық мәндерін қойып, мынаны аламыз: $B = 0,31$ Тл.

23.15. $h\nu = 67,5$ МэВ.

23.16. $h\nu = 940$ МэВ.

23.17. $m_0(\pi) = 273m_0$, мұндағы m_0 – электронның тыныштық массасы; $v = 2,48 \cdot 10^8$ м/с.

23.18. $v = Bq/2\pi m$; $v_1 = 9,7$ МГц, $v_2 = 19,4$ МГц, $v_3 = 9,7$ МГц.

23.19. $W = 2\pi^2 m v^2 R^2$; $W_1 = 13,8$ МэВ, $W_2 = 6,9$ МэВ, $W_3 = 27,6$ МэВ.

23.20. $B = 0,9$ Тл; $W = 4,8$ МэВ.

23.21. а) $B = 1,8$ Тл; $W = 9,6$ МэВ; б) $B = 1,8$ Тл; $W = 19,2$ МэВ.

23.22. Радийдің $m = 1$ г массасы уақыт бірлігіндегі α -бөлшектерінің $n_1 = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ с}^{-1}$ санын бөліп шығарады. $I = 15$ мкА ток α -бөлшектердің $n_1 = 4,7 \cdot 10^{13} \text{ с}^{-1}$ санына сәйкес келеді. Сонымен, берілген циклотрон массасы $m = 1$ г родонмен салыстырғанда мың еседен астам өнімдірек болып табылады.

23.23. $U = R^2 B^2 q / 2m = 12$ МВ.

$$23.24. \quad f = \frac{e}{\pi r} \sqrt{\frac{2W}{m}} = 9 \text{ МГц.}$$

23.25. Дейтондар және α -бөлшектер үшін $B = 1,3$ Тл, протондар үшін $B = 0,65$ Тл. Дейтондар, протондар және α -бөлшектер үшін $v = 3,13 \cdot 10^7$ м/с. Дейтондар үшін $W = 10,2$ МэВ; протондар үшін $W = 5,1$ МэВ; α -бөлшектер үшін $W = 20,4$ МэВ.

Әрбір толық айналымда дуанттар аралығындағы кеңістікті зарядталған бөлшектер екі рет өтеді, яғни, қосымша импульсті де екі рет алады. Сондықтан n айналымда зарядталған бөлшек үдетуші потенциалға эквивалентті $U' = 2nU$ энергиясын алады, мұндағы U – дуанттар

аралығына берілген потенциалдар айырымы. Бұдан $n = U'/2U$.
 Дейтондар мен α -бөлшектер үшін $n = 68$; протондар үшін $n = 34$.

23.26. 14,5 см.

23.27. $m/m_0 = 1,1$; $\beta = v/c = 0,44$, $v = 1,32 \cdot 10^8$ м/с.

23.28. $B = 2\pi m_0 v_0 / q = 2\pi m v / q = 1,62$ Тл.

$$v_0/v = m/m_0 = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} \text{ болғандықтан,}$$

$$W = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} - 1 \right) = \frac{m_0 c^2 (v_0 - v)}{v} = 300 \text{ МэВ.}$$

23.29. а) $T/T_0 = 1,7$; б) $T/T_0 = 1,9$.

ҚОСЫМША

I. СИ жүйесінің негізгі бірліктері

Шамалар	Бірлік	
	Өлшеу бірліктері	Қысқаша белгілер
Ұзындық	метр	м
Масса	килограмм	кг
Уақыт	секунд	с
Электр тогының күші	ампер	А
Термодинамикалық температура	кельвин	К
Жарық күші	кандела	кд
Заттың мөлшері	моль	моль
Жазық бұрыш	радиан	рад
Денелік бұрыш	стерадиан	ср

Қосымшалар

Қосымшалар	Сан мәндері	Қысқаша белгілер	Қосымшалар	Сан мәндері	Қысқаша белгілер
Атто	10^{-18}	а	Дека	10^1	да
Фемто	10^{-15}	ф	Гекто	10^2	г
Пико	10^{-12}	п	Кило	10^3	к
Нано	10^{-9}	н	Мега	10^6	М
Микро	10^{-6}	мк	Гига	10^9	Г
Милли	10^{-3}	м	Тера	10^{12}	т
Санти	10^{-2}	с	Пета	10^{15}	П
Деци	10^{-1}	д	Экса	10^{18}	э

3-кестеде келтірілген қосымшаларды, тек жай атауларға ғана қосып жазуға болады (метр, грамм т.б.). Мысалы, «килограмм» сияқты атауларға қосымшаны қосуға болмайды, себебі оның өзінде «кило» деген қосымшасы бар. Осы айтылғанға байланысты, мысалы, $m = 10^9 \text{ кг} = 10^{12} \text{ г}$ массаның бірлігін «тереграмм» (Тг) деп атау керек болады.

II. Механикалық шамалардың бірліктері

СИ жүйесіндегі туынды бірліктер.

Шама	Бірлік		
	Анықтама	Атау	Белгілеу
Аудан	$S = l^2$	квадрат метр	м^2
Көлем	$V = l^3$	куб метр	м^3
Жылдамдық	$v = \Delta l / \Delta t$	метр секундқа	м/с
Үдеу	$a = \Delta v / \Delta t$	метр квадрат секундқа	м/с^2
Бұрыштық жылдамдық	$\omega = \Delta \varphi / \Delta t$	радиан секундқа	рад/с
Бұрыштық үдеу	$\varepsilon = \Delta \omega / \Delta t$	радиан квадрат секундқа	рад/с^2
Периодтық жиілік	$\nu = T^{-1}$	герц	Гц
Айналу жиілігі	$n = T^{-1}$	минус бірінші дәрежедегі секунд	с^{-1}
Тығыздық	$\rho = m/V$	килограмм куб метрге	кг/м^3
Массалық шығын	$m_t = m/t$	килограмм секундқа	кг/с
Көлемдік шығын	$V_t = V/t$	куб метр секундқа	$\text{м}^3/\text{с}$
Күш	$F = ma$	ньютон	Н
Қысым	$P = F/S$	паскаль	Па
Қаттылық	$k = F/l$	ньютон метрге	Н/м
Импульс	$p = m\Delta v$	килограмм-метр секундқа	$\text{кг}\cdot\text{м/с}$
Күш импульсы	$p = F\Delta t$	ньютон-секунда	Н·с
Күш моменті	$M = Fl$	ньютон-метр	Н·м
Импульс моменті	$L = M\Delta t$	килограмм- метр квадрат секундқа	$\text{кг}\cdot\text{м}^2/\text{с}$
Инерция моменті	$J = mr^2$	килограмм-метр квадрат	$\text{кг}\cdot\text{м}^2$
Жұмыс, энергия	$A = Fl$	джоуль	Дж
Қуат	$N = \Delta A / \Delta t$	ватт	Вт
Динамикалық тұтқырлық	$\eta = \frac{F \Delta l}{S \Delta \vartheta}$	паскаль-секунд	Па·с
Кинематикалық тұтқырлық	$\nu = \eta / \rho$	метр квадрат секундқа	$\text{м}^2/\text{с}$

Жүйеден тыс бірліктер және системаға келтіру коэффициенттері

Шамасы	Өлшеу бірліктері және оның СИ бірліктерімен байланысы
Ұзындық	$1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ м}$ $1 \text{ ас.б.} = (1 \text{ а. е.}) = 1,49598 \cdot 10^{11} \text{ м}$ $1 \text{ жар.жыл} = (1 \text{ св. год}) = 9,4605 \cdot 10^{15} \text{ м}$ $1 \text{ пк} = 3,0857 \cdot 10^{16} \text{ м}$
Масса	$1 \text{ т} = 10^3 \text{ кг}$ $1 \text{ м.а.б.} = (1 \text{ а. е. м.}) = 1,660565 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Уақыт	$1 \text{ мин} = 60 \text{ с}$ $1 \text{ сағ} = 3600 \text{ с}$ $1 \text{ күн} = 86\,400 \text{ с}$
Жазық бұрыш	$1^\circ = (\pi/180) \text{ рад}$ $1' = (\pi/108) \cdot 10^{-2} \text{ рад}$ $1'' = (\pi/648) \cdot 10^{-3} \text{ рад}$ $1 \text{ айн (айналым)} = 2\pi \text{ рад}$
Аудан	$1 \text{ га} = 10^4 \text{ м}^2$
Көлем	$1 \text{ л} = 10^{-3} \text{ м}^3$
Күш	$1 \text{ дин} = 10^{-5} \text{ Н}$ $1 \text{ кг-күш} = 9,81 \text{ Н}$
Қысым	$1 \text{ дин/см}^2 = 0,1 \text{ Па}$ $1 \text{ кг-күш/м}^2 = 9,81 \text{ Па}$ $1 \text{ ат} = 1 \text{ кгкүш/см}^2 = 0,981 \cdot 10^5 \text{ Па}$ $1 \text{ мм сынап бағанасы (Торр)} = 133,0 \text{ Па}$ $1 \text{ атм} = 760 \text{ мм сын. бағ.} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$ $1 \text{ бар} = 10^5 \text{ Па}$
Қаттылық	$1 \text{ дин/см} = 10^{-3} \text{ Н/м}$
Күш импульсы	$1 \text{ дин} \cdot \text{с} = 10^{-5} \text{ Н} \cdot \text{с}$
Күш моменті	$1 \text{ дин} \cdot \text{см} = 10^{-7} \text{ Н} \cdot \text{м}$
Жұмыс; энергия	$1 \text{ эрг} = 10^{-7} \text{ Дж}$ $1 \text{ кгс} \cdot \text{м} = 9,81 \text{ Дж}$ $1 \text{ Вт} \cdot \text{ч} = 3,6 \cdot 10^3 \text{ Дж}$ $1 \text{ эВ} = 1,6021892 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$ $1 \text{ кал} = 4,19 \text{ Дж}$
Қуат	$1 \text{ эрг/с} = 10^{-7} \text{ Вт}$ $1 \text{ ат күші} = 75 \text{ кг-күш} \cdot \text{м/с} = 735,5 \text{ Вт}$
Динамикалық тұтқырлық	$1 \text{ П} = 0,1 \text{ Па} \cdot \text{с}$
Кинематикалық тұтқырлық	$1 \text{ Ст} = 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$

III. Жылулық шамалардың бірліктері

СИ жүйесіндегі туынды бірліктер:

Шама	Бірліктер		
	Анықтама	Атау	Белгілеу
Жылу мөлшері	$Q = A = W$	джоуль	Дж
Жүйенің жылу сыйымдылығы	$C = Q/\Delta T$	джоуль кельвинге	ДжК
Жүйенің энтропиясы	$S = \Delta Q/T$	джоуль кельвинге	Дж/К
Меншікті жылу сыйымдылығы	$c = Q/m\Delta T$	джоуль килограмм-кельвинге	Дж/(кг·К)
Меншікті энтропия	$s = S/m$	джоуль килограмм-кельвинге	Дж/(кг·К)
Фазалық түрленудің меншікті жылуы	$q = Q/m$	джоуль килограммға	Дж/кг
Температуралық градиент	$grad T = \Delta T/\Delta l$	кельвин метрге	К/м
Жылулық ағын	$\Phi = \Delta Q/\Delta t$	ватт	Вт
Жылулық ағынның тығыздығы	$q = \Phi/S$	ватт квадрат метрге	Вт/м ²
Жылу өткізгіштік	$\lambda = \frac{Q}{\Delta t S \Delta T / \Delta l}$	ватт метр-кельвинге	Вт/(м·К)
Температура өткізгіштік	$\alpha = \lambda/c\rho$	метр квадрат секундка	м ² /с
Жылу алмастыру коэффициенті	$\alpha = \Phi/S\Delta T$	ватт квадрат метр-кельвинге	Вт/(м ² ·К)

Жүйеден тыс бірліктер және келтіру бірліктері:

Шама	Бірлік және оның СИ жүйесімен байланысы
Жылу мөлшері	1 кал = 4,19 Дж
Жүйенің жылу сыйымдылығы; жүйенің энтропиясы	1 кал/К = 4,19 Дж/К
Меншікті жылу сыйымдылығы; меншікті энтропия	1 кал/(г·К) = 4,19 · 10 ³ Дж/(кг·К)
Фазалық түрленудің меншікті жылуы	1 кал/г = 4,19 · 10 ³ Дж/кг
Жылу ағыны	1 кал/с = 4,19 Вт
Жылу ағынының тығыздығы	1 кал/(с·см ²) = 4,19 · 10 ⁴ Вт/м ²
Жылуөткізгіштік	1 кал/(с·см·К) = 4,19 · 10 ² Вт/(м·К)

IV. Электр және магниттік шамалардың бірліктері

СИ жүйесіндегі туынды бірліктер:

Шамалар	Бірліктер		
	Анықтама	Атау	Белгілеу
Электр мөлшері (электр заряды)	$q=It$	кулон	Кл
Электр ығысуының ағыны	$N_D = \sum q$	кулон	Кл
Электр зарядының сызықтық тығыздығы	$\tau = q/l$	кулон метрге	Кл/м
Электр зарядының беттік тығыздығы	$\sigma = q/S$	кулон квадрат метрге	Кл/м ²
Электрлік ығысу	$D = \sigma$	кулон квадрат метрге	Кл/м ²
Электр зарядының көлемдік тығыздығы	$\delta = q/V$	кулон куб метрге	Кл/м ³
Потенциалдар айырымы; электр қозғаушы күш	$U = A/q$	вольт	В
Электр өрісінің кернеулігі	$E = U/l$	вольт метрге	В/м
Электрлік кедергі	$R = U/I$	ом	Ом
Электрлік өткізгіш	$G = 1/R$	сименс	См
Меншікті электрлік кедергі	$P = RS/l$	ом-метр	Ом · м
Меншікті электрлік өткізгіш	$\sigma = 1/\rho$	сименс метрге	См/м
Электрлік сыйымдылық	$C = q/U$	фарад	Ф
Токтың тығыздығы	$j = I/S$	ампер квадрат метрге	А/м ²
Магниттік ағын	$ d\Phi = \varepsilon dt$	вебер	Вб
Магниттік индукция	$B = \Phi/S$	тесла	Тл
Индуктивтік	$ L = \frac{\varepsilon}{dI/dt}$	генри	Гн
Магнит өрісінің кернеулігі	$H = I/2\pi r$	ампер метр	А/м
Магниттік момент	$p = IS$	ампер-квадрат метрге	А · м ²

СГС жүйесінің бірліктері және келтіру коэффициенттері:

Шама	Өлшем бірліктері және олардың СИ бірліктерімен байланысы
Ток күші	$1\text{СГС}_I = \frac{10}{c} \text{А} = \frac{1}{3} \cdot 10^{-9} \text{А}$
Электр мөлшері	$1\text{СГС}_q = \frac{10}{c} \text{Кл} = \frac{1}{3} \cdot 10^{-9} \text{Кл}$
Электр ығысуының ағыны	$1\text{СГС}_{N_D} = \frac{10}{4\pi c} \text{Кл} = \frac{1}{4\pi 3} \cdot 10^{-9} \text{Кл}$
Электрлік ығысу	$1\text{СГС}_D = \frac{10}{4\pi c} \text{Кл/м}^2 = \frac{1}{4\pi 3} \cdot 10^{-5} \text{Кл/м}^2$
Электр зарядының беттік тығыздығы	$1\text{СГС}_\sigma = 1\text{СГС}_q / \text{см}^2 = \frac{10^5}{c} \text{Кл/м}^2$ $= \frac{1}{3} \cdot 10^{-5} \text{Кл/м}^2$
Потенциалдар айырымы; электр қозғаушы күші Электр өрісінің кернеулігі	$1\text{СГС}_U = c \cdot 10^{-8} \text{В} = 3 \cdot 10^2 \text{В}$
Электрлік кедергі	$1\text{СГС}_B = c \cdot 10^{-6} \text{В/м} = 3 \cdot 10^4 \text{В/м}$
Меншікті электрлік кедергі	$1\text{СГС}_r = c^2 \cdot 10^{-9} \text{Ом} = 9 \cdot 10^{11} \text{Ом}$
Электрлік сыйымдылық	$1\text{СГС}_\rho = c^2 \cdot 10^{-11} \text{Ом} \cdot \text{м} = 9 \cdot 10^9 \text{Ом} \cdot \text{м}$
Токтың тығыздығы	$1\text{СГС}_c = \frac{1}{c^2} \cdot 10^9 \text{Ф} = \frac{1}{9} \cdot 10^{-11} \text{Ф}$
Магниттік ағын	$1\text{СГС}_j = \frac{10^5}{c} \text{А/м}^2 = \frac{1}{3} \cdot 10^{-5} \text{А/м}^2$
Магниттік индукция	$1\text{СГС}_\Phi = 1\text{Мкс} = 10^{-8} \text{Вб}$
Индуктивтік	$1\text{СГС}_B = 1\text{Гс} = 10^{-4} \text{Тл}$
Магнит өрісінің кернеулігі	$1\text{СГС}_L = 1\text{см} = 10^{-9} \text{Гн}$

Ескерту. Осы кестедегі бос кеңістіктегі (вакуумдағы) жарық жылдамдығының сандық мәні бір секундағы сантиметрмен берілген, яғни $c = 3 \cdot 10^{10} \text{ см/с}$.

V. Акустикалық шамалардың бірліктері

СИ жүйесіндегі туынды бірліктер:

Шама	Бірліктер		
	Анықтама	Атау	Белгілеу
Дыбыстық қысым Дыбыстық энергияның тығыздығы Дыбыстық қуат Дыбыстың қарқындылығы	$P = F/S$ $w = W/V$ $P = W/t$ $I = W/st$	паскаль джоуль куб метрге ватт ватт квадрат метрге	Па Дж/м ³ Вт Вт/м ²

СГС жүйесінің бірліктері және келтіру коэффициенттері:

Шама	Бірлік және оның Си бірліктерімен байланысы
Дыбыстық қысым Дыбыстық энергияның тығыздығы Дыбыстық қуат Дыбыстың қарқындылығы	$1 \text{ дин/см}^2 = 0,1 \text{ Па}$ $1 \text{ эрг/см}^3 = 0,1 \text{ Дж/м}^3$ $1 \text{ эрг/с} = 10^{-7} \text{ Вт}$ $1 \text{ эрг/(с} \cdot \text{см}^2) = 10^{-3}$

Жүйеден тыс бірліктер:

Шама	Бірлік		
	Атау	Белгілеу	Анықтама
Дыбыс қысымының деңгейі	децибел	ДБ	Децибел $-2 \cdot 10^{-5}$ Па-ға тең қысымның шартты табалдырығына жиырма ондық логарифмнің катынасы бірге тең болатын дыбыс қысымының деңгейі.
Дыбыс қаттылығының деңгейі	фон	фон	Фон – жиілігі 10^3 Гц қатты дыбыстың дыбыс қысымының деңгейі 1дБ-ға тең болатын дыбыстың қаттылық деңгейі.

VI. Жарық шамаларының бірліктері

Шама	Бірлік		
	Анықтама	Атау	Белгілеу
Жарық ағыны Жарық энергиясы Жарықталу	$d\Phi = I d\omega$ $dW = d\Phi$ $E = d\Phi/dS$	люмен люмен-секунд люкс	лм лм • с лк
Жарқырау Жарықтық	$R = d\Phi/dS$ $B = dI/dS \cos \theta$	люмен квадрат метрге кандела квадрат метрге	лм/м ² кд/м ²
Жарықтандыру мөлшері (экспозициясы)	$dH = E dt$	люкс-секунд	лк • с

VII. Радиоактивтік және иондаушы сәулелердің бірліктері

СИ жүйесіндегі туынды бірліктер:

Шама	Бірлік		
	Анықтама	Атау	Белгілеу
Радиоактивті топтағы изотоптың активтігі	$a = dN/dt$	беккерель	Бк
Сәуле шығарудың қарқындылығы	$J = W/S$	ватт квадрат метрге	Вт/м ²
Сәуле шығарудың жұтылған дозасы	$D_{\text{ж}} = W/m$	грей	Гр
Сәуле шығарудың жұтылған дозасының қуаты	$P_{\text{ж}} = D_{\text{ж}}/t$	грей секундқа	Гр/с
Рентген және гамма- сәуле шығарудың экспозициялық дозасы	$D_{\text{э}} = q/m$	кулон килограммға	Кл/кг
Рентген және гамма- сәуле шығарудың экспозициялық дозасының қуаты	$P_{\text{э}} = D_{\text{э}}/t$	ампер килограммға	А/кг

Жүйеден тыс бірліктер:

Шамалар	Бірлік және оның Си бірліктерімен байланысы
Радиоактивтік көздердегі изотоптың активтігі	$1\text{Ки} = 3,7 \cdot 10^{10}\text{Бк}$
Сәуле шығарудың жұтылынған дозасы	$1\text{рад} = 10^2\text{Гр}$
Рентген және гамма-сәуле шығарудың экспозициялық дозасы	$1\text{Р} = 2,57976 \cdot 10^{-4}\text{ Кл/кг}$

Ескерту: рентген және гамма-сәуле шығару экспозициялық дозасынын кулон бөлінген килограммға бірлігін, сондай-ақ жүйеден тыс бірлік рентгенді де, энергия кванты $5 \cdot 10^{-13}$ Дж-ден (шамамен 3 МэВ-тен) аспайтын сәуле шығарулар үшін қолдануға болады.

VIII. Электромагниттік өрістің рационалданған және рационалданбаған деңгейлерінің арасындағы байланыс

Электромагниттік өрістің рационалданған теңдеуін рационалданбаған теңдеуден мына түрлендірулер арқылы алуға болады:

1) Рационалданбаған теңдеуге кіретін ε диэлектрлік өтімділік $4\pi\varepsilon' = 4\pi\varepsilon_0\varepsilon$ шамасымен алмастырылады, мұндағы ε_0 — электрлік тұрақты, ал ε — салыстырмалы ортаның диэлектрлік өтімділігі.

2) Рационалданбаған теңдеуге кіретін μ магниттік өтімділік

$$\frac{\mu'}{4\pi} = \frac{\mu_0\mu}{4\pi},$$

шамамен алмастырылады, мұндағы: μ_0 — магниттік тұрақты, μ — салыстырмалы ортаның магниттік өтімділігі.

3) Рационалданбаған теңдеуге кіретін $D = eE$ электр индукциясын мына шамамен алмастырады

$$4\pi H = 4\pi \frac{B}{\mu_0\mu}.$$

4) Рационалданбаған теңдеуге кіретін $H=B/\mu$ магнит өрісінің кернеулігі мына шамамен алмастырылады

$$4\pi H = 4\pi \frac{B}{\mu_0\mu}$$

Құрамында ε , μ , D және H шамалары болмайтын барлық теңдеулердің рационалданған түрі де, рационалданбаған түрі де бірдей болады.

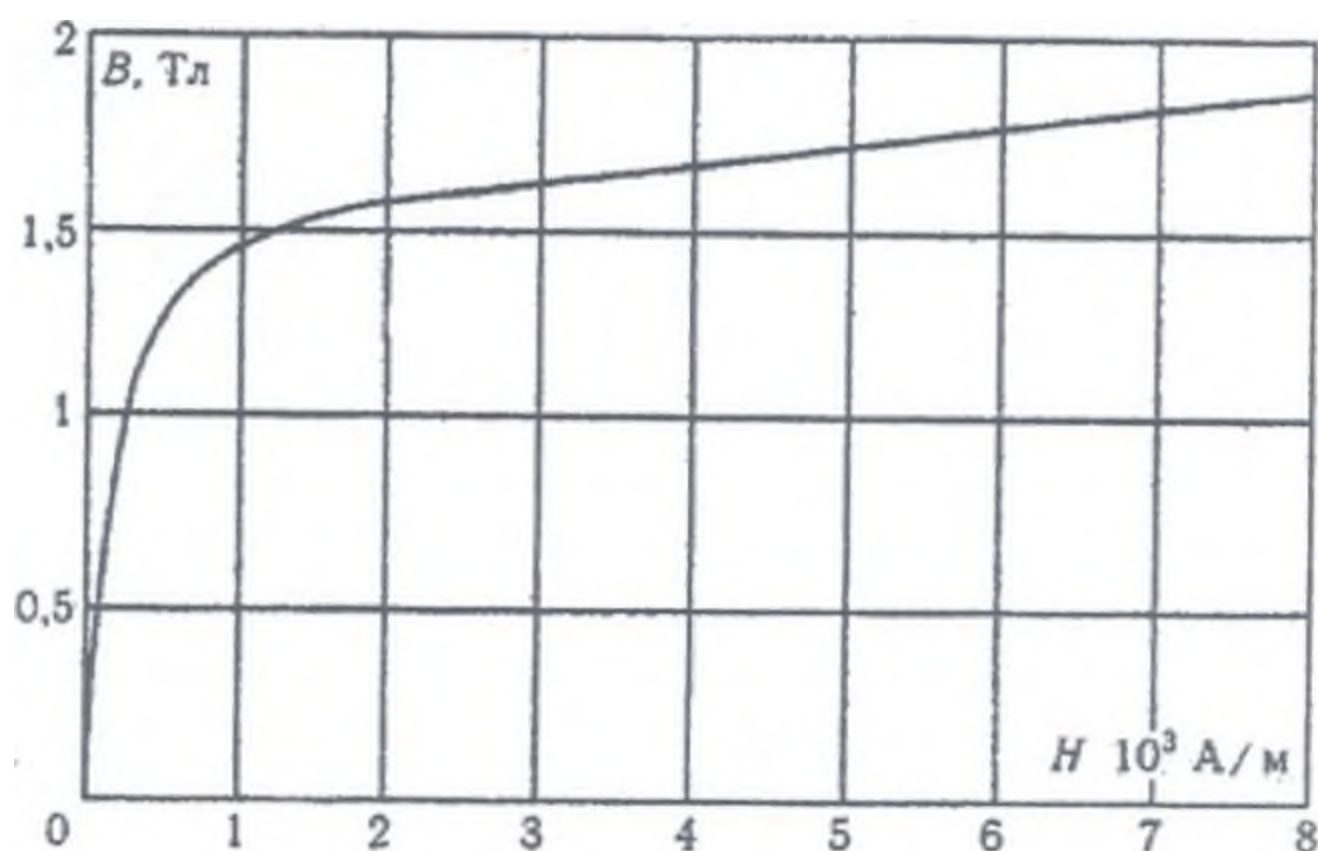
Жоғарыда көрсетілген түрлендірулерді орындай отырып, III тараудың 9 және 11-параграфтарында рационалданған және рационалданбаған түрде берілген ең маңызды теңдеулердің бір-бірімен салыстыру кестесін құру қиын емес.

Жоғарыда көрсетілген түрлендірулерді орындай отырып, оқушыларға осы кестені 9 және 11 параграфтарға кірмеген формулалармен толықтыру ұсынылады. 10 параграфта келтірілген барлық теңделердің рационалданған және рационалданбаған түрлерінің бірдей болатындығына көз жеткізу қиын емес.

	Рационалданбаған түрі (СГС жүйесі)	Рационалданған түрі (СИ жүйесі)
Кулон заңы	$F = \frac{q_1 q_2}{\epsilon r^2}$	$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 \epsilon r^2}$
Электр өрісінің кернеулігі	$E = \frac{F}{q}$	$E = \frac{F}{q}$
Нүктелік заряд өрісінің кернеулігі	$E = \frac{q}{\epsilon r^2}$	$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 \epsilon r^2}$
Гаусс теоремасы	$N_E = \frac{4\pi}{\epsilon} \sum q$	$N_E = \frac{1}{\epsilon_0 \epsilon} \sum q$
	$N_D = 4\pi \sum q$	$N_D = \sum q$
Зарядталған жіптен пайда болған өрістің кернеулігі	$E = \frac{2\tau}{\epsilon r}$	$E = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_0 \epsilon r}$
Зарядталған жазықтықтан пайда болған өрістің кернеулігі	$E = \frac{2\pi\sigma}{\epsilon}$	$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0 \epsilon}$
Жазық конденсатордың өрісі	$E = \frac{4\pi\sigma}{\epsilon}$	$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0 \epsilon}$
	$U = \frac{A}{q}$	$U = \frac{A}{q}$
Потенциалдар айырымы	$U = \frac{A}{\epsilon r}$	$U = \frac{A}{4\pi\epsilon_0 \epsilon r}$
Нүктелік заряд өрісінің потенциалы		$E = -\frac{dU}{dr}$
Өрістің кернеулігі мен потенциалының арасындағы тәуелділік	$E = -\frac{dU}{dr}$	
Сол сияқты біртекті өріс үшін	$E = -\frac{U}{d}$	$E = -\frac{U}{d}$
Өткізгіштің сыйымдылығы, заряды және потенциалының арасындағы тәуелділік	$q = CU$	$q = CU$
Жазық конденсатордың сыйымдылығы	$C = \frac{\epsilon S}{4\pi d}$	$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{4\pi d}$
Сфералық конденсатордың сыйымдылығы	$C = \frac{\epsilon r R}{R - r}$	$C = \frac{4\pi\epsilon_0 \epsilon r R}{R - r}$
Шардың сыйымдылығы	$C = \epsilon r$	$C = 4\pi\epsilon_0 \epsilon r$
Зарядталған өткізгіштің энергиясы	$W = \frac{qU}{2} = \frac{CU^2}{2} = \frac{q^2}{2C}$	$W = \frac{qU}{2} = \frac{CU^2}{2} = \frac{q^2}{2C}$

	Рационалданбаған түрі (СГС жүйесі)	Рационалданған түрі (СИ жүйесі)
Жазық конденсатор өрісінің энергиясы Электр өрісі энергиясының көлемдік тығыздығы Жазық конденсатор пластиналарының тартылу күші Био-Савар-Лаплас заңы	$W = \frac{\varepsilon S U^2}{8\pi d} = \frac{\varepsilon E^2 S d}{8\pi} = \frac{2\pi \sigma^2 S d}{\varepsilon}$ $W_0 = \frac{\varepsilon E^2}{8\pi}$ $F = \frac{\varepsilon E^2 S}{8\pi} = \frac{\varepsilon S U^2}{8\pi d^2} = \frac{2\pi \sigma^2 S}{\varepsilon}$ $dH = \frac{Idl \sin \alpha}{cr^2}$ $H = \frac{2\pi I}{cR}$ $H = \frac{2I}{ca}$ $H = \frac{4\pi In}{c}$ $B = \mu H$ $W_0 = \frac{HB}{8\pi}$ $dF = \frac{BI \sin \alpha dl}{c}$ $F = \frac{Bqv \sin \alpha}{c}$ $F = \frac{2\mu I_1 I_2 l}{c^2 d}$ $L = 4\pi \mu n^2 l S$	$W = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S U^2}{2\pi d} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E^2 S d}{2} = \frac{\sigma^2 S d}{2\varepsilon_0 \varepsilon}$ $W_0 = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E^2}{2}$ $F = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E^2 S}{2} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S U^2}{2d^2} = \frac{\sigma^2 S}{2\varepsilon_0 \varepsilon}$ $dH = \frac{Idl \sin \alpha}{4\pi r^2}$ $H = \frac{I}{2R}$ $H = \frac{I}{2\pi a}$ $H = In$ $B = \mu_0 \mu H$ $W_0 = \frac{HB}{2}$ $dF = BI \sin \alpha dl$ $F = Bqv \sin \alpha$ $F = \frac{\mu_0 \mu I_1 I_2 l}{2\pi d}$ $L = \mu_0 \mu n^2 l S$
Дөңгелек токтың центріндегі магнит өрісінің кернеулігі Түзу токтың магнит өрісінің кернеулігі Соленоидтың ішіндегі магнит өрісінің кернеулігі Магнит өрісінің кернеулігі мен магнит индукциясының арасындағы байланыс Магнит өрісінің энергиясының тығыздығы		
Ампердің күші		
Лоренцтің күші		
Параллель токтардың өзара әрекеттесу күші		
Соленоидтің индуктивтілігі		

IX. Темірдің кейбір сарты үшін берілген B индукциясының H магнит өрісінің кернеулілігіне тәуелділігінің графигі



186-сурет

X. Негізгі физикалық шамалар

Гравитациялық тұрақты	$G = 6,6720 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$
Вакуумдағы жарық жылдамдығы	$c = 2,99792458 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
Магниттік тұрақты	$\mu_0 = 12,5663706144 \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$
Электрлік тұрақты	$\varepsilon_0 = 8,85418782 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$
Планк тұрақтысы	$h = 6,626176 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
Электронның тыныштықтағы массасы	$m_e = 9,109534 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
Протонның тыныштықтағы массасы	$m_p = 1,6726485 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Нейтронның тыныштықтағы массасы	$m_n = 1,6749543 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Протон массасының электрон массасына қатынасы	$m_p / m_e = 1836,152$
Элементарлық заряд	$e = 1,6021892 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Электрон зарядының оның массасына қатынасы	$e / m_e = 1,7588047 \cdot 10^{11} \text{ Кл/кг}$
Массаның атомдық бірлігі	$1 \text{ м.а.б.} = 1,6605655 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Авогадро тұрақтысы	$N_A = 6,022045 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Фарадей тұрақтысы	$F = 96,48456 \cdot 10^3 \text{ Кл/моль}$
Газдың молярлық тұрақтысы	$R = 8,31441 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$
Идеал газдың қалыпты жағдайдағы молярлық көлемі	$V_0 = 22,41383 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 / \text{моль}$
Больцман тұрақтысы	$k = 1,380662 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$

ХІ. Күн жүйесінің планеталары туралы кейбір мәліметтер

	Мерку- рий	Венера	Жер	Марс	Юпитер	Сатурн	Уран	Нептун	Плутон (кіші планета)
Күнге дейінгі орташа қашықтық, млн. км	57,91	108,21	149,59	227,94	778,3	1429,3	2875,03	4504,4	5900
Күнді айналу периоды, жерге қатынасты жыл	0,24	0,62	1,0	1,88	11,86	29,46	84,02	164,8	249,7
Экваториалды диаметрі	4840	12 400	12 742	6780	139 760	115 100	51 000	50 000	–
Жердің көлемімен салыстырғандағы көлемі	0,055	0,92	1,0	0,150	1345	767	73,5	59,5	–
Жердің массасымен салыстырғандағы массасы	0,054	0,81	1,0	0,107	318,4	95,2	14,58	17,26	–
Жердің бетіндегі үдеумен салыстырғандағы еркін түсу үдеуі ($g = 9,80665 \text{ м/с}^2$)	0,38	0,85	1,0	0,38	2,64	1,17	0,92	1,14	–

ХІІ. Астрономиялық тұрақтылар

Жердің радиусы	6,3378164·10 ⁶ м	Айдың радиусы	1,737·10 ⁶ м
Жердің орташа тығыздығы	5,518·10 ³ кг/м ³	Айдың массасы	7,35·10 ²² кг
Жердің массасы	5,976·10 ²⁴ кг	Айға дейінгі орташа қашықтық	3,844·10 ⁸ м
Күннің радиусы	6,9599·10 ⁸ м	Күнге дейінгі орташа қашықтық (астрономиялық бірлік)	1,49598·10 ¹¹ м
Күннің орташа тығыздығы	1,41·10 ³ кг/м ³	Айдың Күнді айналуының периоды	27күн7сағ.43мин
Күннің массасы	1,989·10 ³⁰ кг		

ХІІІ. Атомдар мен молекулалардың диаметрі, нм

Гелий	0,20	Оттек	0,30
Сутек	0,23	Азот	0,30

ХІV. T_K және p_K сындық мәндері

Зат	T_K , К	p_K , МПа	Зат	T_K , К	p_K , МПа
Су буы	647	22,0	Азот	126	3,4
Көмірқышқыл газы	304	7,38	Сутек	33	1,3
Оттек	154	5,07	Гелий	5,2	0,23
Аргон	151	4,87			

ХV. Әртүрлі температурада кеңістікті буландыратын су буының қысымы

$t, ^\circ\text{C}$	$P_K, \text{Па}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P_K, \text{Па}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P_K, \text{Па}$
-5	400	8	1070	40	7335
0	609	9	1145	50	12302
1	656	10	1225	60	19817
2	704	12	1396	70	31122
3	757	14	1596	80	47215
4	811	16	1809	90	69958
5	870	20	2328	100	101080
6	932	25	3165	150	486240
7	1025	30	4229	200	1549890

ХVІ. Әртүрлі температурадағы судың меншікті булану жылуы

$t, ^\circ\text{C}$	0	50	100	200
$r, \text{МДж/кг}$	0 2,49	2,38	2,26	1,94

XVII. Кейбір сұйықтардың қасиеттері (20°C температурада)

Зат	Тығыздығы, 10^3 кг/м^3	Меншікті жылу сыйымдылығы, Дж/(кг • К)	Беттік керілуі, Н/м
Бензол	0,88	1720	0,03
Су	1,00	4190	0,073
Глицерин	1,20	2430	0,064
Кастор майы	0,90	1800	0,035
Керосин	0,80	2140	0,03
Сынап	13,60	138	0,5
Спирт	0,79	2510	0,02

XVIII. Кейбір қатты денелердің қасиеттері

Зат	Тығыздық, 10^3 кг/м^3	Балку темпера- турасы, °C	Меншікті жылу сыйым- дылығы, Дж/(кг•К)	Меншікті балку жылу мөлшері, кДж/кг	Сызықтық ұлғаюдың температура- лық коэффи- циенті, 10^{-5} К^{-1}
Алюминий	2,6	659	896	322	2,3
Темір	7,9	1530	500	272	1,2
Жез	8,4	900	386	-	1,9
Мұз	0,9	0	2100	335	-
Мыс	8,6	1100	395	176	1,6
Қалайы	7,2	232	230	58,6	2,7
Платина	21,4	1770	117	113	0,89
Тығын	0,2	-	2050	-	-
Қорғасын	11,3	327	126	22,6	2,9
Күміс	10,5	960	234	88	1,9
Болат	7,7	1300	460	-	1,06
Мырыш	7,0	420	391	117	2,9

XIX. Кейбір қатты денелердің серпімділігі

Зат	Беріктігінің шегі, МПа	Юнга модулі, ГПа
Алюминий	110	69
Железо	294	196
Медь	245	118
Свинец	20	15,7
Серебро	290	74
Сталь	785	216

XX. Қатты денелердің жылу өткізгіштігі, В т / (м · К)

Алюминий	210	Құрғақ құм	0,325
Киіз	0,046	Тығын	0,050
Темір	58,7	Күміс	460
Балқытылған кварц	1,37	Эбонит	0,174
Мыс	390		

XXI. Диэлектриктердің диэлектрлік өтімділігі

Балауыз	7,8	Парафин	2	Эбонит	2,6
Су	81	Слюда	6	Парафинделген қағаз	2
Керосин	2	Әйнек	6		
Май	5	Фарфор	6		

XXII. Өткізгіштердің меншікті кедергісі (0 ° С), мкОм · м

Алюминий	0,025	Нихром	100
Графит	0,039	Сынап	0,94
Темір	0,087	Қорғасын	0,22
Мыс	0,017	Болат	0,10

XXIII. Электролиттардегі иондардың қозғалғыштығы, $10^{-8} \text{ м}^2 / (\text{В} \cdot \text{с})$

NO_3^-	6,4	Cl^-	6,8
H^+	32,6	Ag^+	5,6
K^+	6,7		

XXIV. Электрондардың металлдардан шығу жұмысы, эВ

W	4,5	Ag	4,74
W + Cs	1,6	Li	2,4
W + Th	2,63	Na	2,3
Pt + Cs	1,40	K	2,0
Pt	5,3	Cs	1,9

XXV. Кейбір заттардың сыну көрсеткіштері

Алмаз	2,42	Күкіртті сутек	1,63
Су	1,33	Скипидар	1,48
Мұз	1,31	Шыны	1,5 — 1,9

XXVI. Антикато́дтың әртүрлі материалдары үшін рентген сәулелерінің К-серияларының шекарасын анықтайтын толқын ұзындығы, пм

Вольфрам	17,8	Платина	15,8
Алтын	15,3	Күміс	48,4
Мыс	138		

XXVII. Сынап доғасының спектрлік сызықтары, нм

253,7	404,7	546,1	612,8
365,0	435,8	577,0	690,8
365,5	523,5	579,1	708,2

XXVIII. Кейбір изотоптардың массасы, м.а.б.

Изотоп	Масса	Изотоп	Масса	Изотоп	Масса
${}^1_1\text{H}$	1,00783	${}^9_4\text{Be}$	9,01218	${}^{30}_{14}\text{Si}$	29,97377
${}^2_1\text{H}$	2,01410	${}^{10}_5\text{B}$	10,01294	${}^{40}_{20}\text{Ca}$	39,96257
${}^3_1\text{H}$	3,01605	${}^{12}_6\text{C}$	12,0	${}^{56}_{27}\text{Co}$	55,93984
${}^3_2\text{He}$	3,01603	${}^{13}_7\text{N}$	13,00574	${}^{63}_{29}\text{Cu}$	62,92960
${}^4_2\text{He}$	4,00260	${}^{13}_7\text{N}$	14,00307	${}^{112}_{48}\text{Cd}$	111,90276
${}^6_3\text{Li}$	6,01512	${}^{17}_8\text{O}$	16,99913	${}^{200}_{80}\text{Hg}$	199,96832
${}^7_3\text{Li}$	7,01600	${}^{23}_{12}\text{Mg}$	22,99413	${}^{235}_{92}\text{U}$	235,04393
${}^7_4\text{Be}$	7,01693	${}^{24}_{12}\text{Mg}$	23,98504	${}^{238}_{92}\text{U}$	258,05353
${}^8_4\text{Be}$	8,00531	${}^{13}_{27}\text{Al}$	26,98154		

XXIX. Кейбір радиоактивті элементтердің жартылай ыдырау периоды

${}^{45}_{20}\text{Ca}$	164 сут	${}^{226}_{88}\text{Ra}$	1590 лет
${}^{90}_{38}\text{Sr}$	28 лет	${}^{235}_{92}\text{U}$	$7,1 \cdot 10^8$ лет
${}^{210}_{84}\text{Po}$	138 сут	${}^{238}_{92}\text{U}$	$4,5 \cdot 10^9$ лет
${}^{222}_{86}\text{Rn}$	3,82 сут		

XXX. Химиялық элементтердің атауы, символдары және атомдық массалары

1	Сутек	H	1,0079	32	Германий	Ge	72,59
2	Гелий	He	4,00260	33	Мышьяк	As	74,9216
3	Литий	Li	6,941	34	Селен	Se	78,96
4	Бериллий	Be	9,01218	35	Бром	Br	79,904
5	Бор	B	10,81	36	Криптон	Kr	83,80
6	Көміртек	C	12,011	37	Рубидий	Rb	85,467
7	Азот	N	14,0067	38	Стронций	Sr	87,62
8	Оттек	O	15,9994	39	Иттрий	Y	88,9059
9	Фтор	F	18,998403	40	Цирконий	Zr	91,22
10	Неон	Ne	20,179	41	Ниобий	Nb	92,9064
11	Натрий	Na	22,98977	42	Молибден	Mo	95,94
12	Магний	Mg	24,305	43	Технеций	Tc	98,9062
13	Алюминий	Al	26,98154	44	Рутений	Ru	101,07
14	Кремний	Si	28,0855	45	Родий	Rh	102,9055
15	Фосфор	P	30,97376	46	Палладий	Pd	106,4
16	Күкірт	S	32,06	47	Күміс	Ag	107,868
17	Хлор	Cl	35,453	48	Кадмий	Cd	112,41
18	Аргон	Ar	39,948	49	Индий	In	114,82
19	Калий	K	39,0983	50	Қалайы	Sn	118,69
20	Кальций	Ca	40,08	51	Сурьма	Sb	121,75
21	Скандий	Sc	44,9559	52	Теллур	Te	127,60
22	Титан	Ti	47,90	53	Иод	I	126,9045
23	Ванадий	V	50,9415	54	Ксенон	Xe	131,30
24	Хром	Cr	51,996	55	Цезий	Cs	132,9054
25	Марганец	Mn	54,9380	56	Барий	Ba	137,33
26	Темір	Fe	55,847	57	Лантан	La	138,9055
27	Кобальт	Co	58,9332	58	Церий	Ce	140,12
28	Никель	Ni	58,71	59	Празеодим	Pr	140,9077
29	Мыс	Cu	63,546	60	Неодим	Nd	144,24
30	Мырыш	Zn	65,38	61	Прометий	Pm	[145]
31	Галлий	Ga	69,735	62	Самарий	Sm	150,4

63	Европий	Eu	151,96	85	Астат	At	[210]
64	Гадолиний	Gd	157,25	86	Радон	Rn	[222]
65	Тербий	Tb	158,9254	87	Франций	Fr	[223]
66	Диспрозий	Dy	162,5	88	Радий	Ra	22,0.254
67	Гольмий	Ho	164,9304	89	Актиний	Ac	[227]
68	Эрбий	Er	167,26	90	Торий	Th	231,0381
69	Тулий	Tm	168,9342	91	Протактиний	Pa	231,0359
70	Иттербий	Yb	173,04	92	Уран	U	238,029
71	Лютеций	Lu	174,967	93	Нептуний	Np	237,0482
72	Гафний	Hf	178,49	94	Плутоний	Pu	[244]
73	Тантал	Ta	180,947	95	Америций	Am	[243]
74	Вольфрам	W	183,85	96	Кюрий	Cm	[247]
75	Рений	Re	186,207	97	Берклий	Bk	[247]
76	Осмий	Os	190,2	98	Калифорний	Cf	[251]
77	Иридий	Ir	192,22	99	Эйнштейний	Es	[254]
78	Платина	Pt	195,09	100	Фермий	Fm	[257]
79	Алтын	Au	196,9665	101	Менделевий	Md	[258]
80	Сынап	Hg	200,59	102	(Нобелий)	(No)	[259]
81	Таллий	Tl	204,37	103	(Лоуренсий)	(Lr)	[260]
82	Қорғасын	Pb	207,2	104	Дубний	Db	261,11
83	Висмут	Bi	208,9804	105	Жолиотий	Jl	262,14
84	Полоний	Po	[209]	107	Резерфордий	Rf	[263]

Валентина Сергеевна Волькеништейн
Физиканың жалпы курсы бойынша оқулық

**ЖОҒАРҒЫ ТЕХНИКАЛЫҚ ОҚУ
ОРЫНДАРЫНЫҢ СТУДЕНТТЕРІНЕ АРНАЛҒАН**

Толықтырылған және қайтадан өңделген 3-ші басылымы.

Қазақша басылым редакторы
Техникалық редакторы
Компьютерлік терім мен беттеу
Корректорлар:

**Башарұлы Р.
Клышбаев А.Т.
Ибрагимова Р.
Джунуспаева А.**

Баспаға 05.06. 2012 ж. Қол қойылды.
Пішімі 60x84 1/16 Есепті б.т. 28.
Таралымы 500 дана.

ЖШС «Нур-Принт» баспаханасында басылды.
Тел: 8(727) 308-25-46, +7 701 600 64 58
e-mail: nur-print@mail.ru
www.nur-print.kz