

### Пайдаланылған әдебиеттер:

1. Савельев И.В. Курс общей физики. Механика. 5 томдық. Том 1. . – М: Лань, 2011.
2. Трофимова Т.И. Курс физики : учебное пособие для вузов. 18-е изд., стереотип. – М. : Академия, 2010. – 557.
3. Иродов И.Е. Механика. Основные законы. Изд. Бином. 2009.
4. Гершензон Е.М. и др. Курс общей физики. т.т. 1-2. Механика. М.: Академия, 2008.
5. Бондарев Б.В., Калашников Н.П., Спиринов Г.Г. Курс общей физики. Книга 1: Механика. Учебник для бакалавров. Издательство: Юрайт, 2013.

## 17-18 дәрістер

### Инерциялы емес жүйелер

**Дәріс мақсаты:** Инерциялық емес санақ жүйелеріндегі механиканың заңдарын түсіндіру.

#### Жоспары:

1. Инерциялық емес санақ жүйелерін анықтау.
2. Инерциялық емес санақ жүйелеріндегі механика заңдары.
3. Ілгерілемелі қозғалыстағы инерциялық емес жүйедегі инерциялық күштер.
4. Айналмалы қозғалыстағы инерциялық емес санақ жүйелері. Центрден тепкіш күш, Кориолис күші.

Атап көрсетілгендей Ньютон заңдары тек инерциялық санақ жүйелерінде ғана орындалады. Инерциялық санақ жүйелерімен салыстырғанда үдей қозғалатын санақ жүйелері инерциялық емес санақ жүйелері деп аталады. Жалпы айтқанда инерциялық емес санақ жүйелерінде Ньютон заңдары дұрыс емес. Алайда динамика заңдарын олар үшін де қолдануға болады, ол үшін денелердің бір-біріне әсер күштерінен басқа инерция күштері деп аталатын ерекше күштерді енгізу керек.

Егер инерция күштерін ескерсе, Ньютонның екінші заңы кез келген санақ жүйесі үшін дұрыс: Қарастырылып отырған санақ жүйесінде дене массасының үдеуге көбейтіндісі берілген денеге әсер ететін барлық күштердің қосындысына тең (инерция күштерін қосқанда).  $\vec{F}_{ин}$  инерция күштері денелердің бір-біріне әсерінен болатын  $\vec{F}$  күшпен бірге денеге оның инерциялық емес санақ жүйесіндегі  $\vec{a}^1$  үдеу беру керек.

$$m\vec{a}^1 = \vec{F} + \vec{F}_{ин}, \quad (1)$$

$\vec{F} = m\vec{a}$  болғандықтан ( $\vec{a}$  – дененің инерциялық санақ жүйесіндегі үдеуі), онда

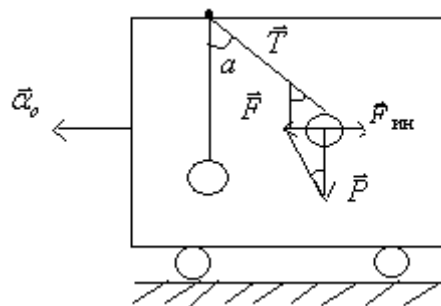
$$m\vec{a}^1 = m\vec{a} + \vec{F}_{ин}.$$

Инерция күштері санақ жүйесінің өлшенетін жүйесіне қатысты үдей қозғалуымен байланысты, сондықтан жалпы жағдайда бұл күштердің білінуінің төмендегі жағдайларын ескеру керек: 1) Санақ жүйесі үдемелі ілгерілемелі қозғалған кездегі инерция күштері; 2) Айналып қозғалатын санақ жүйесінде

тыныш тұрған денеге әсер ететін инерция күштері; 3) Айналып тұрған санақ жүйесіндегі қозғалыстағы денеге әсер ететін инерция күштері.

Осы жағдайларды қарастырайық.

1. Санақ жүйесінің үдемелі ілгерілемелі қозғалысы кезіндегі инерция күштері. Арбашада штативке жіп арқылы массасы  $m$  шарик ілінген болсын. Арбаша тыныш не бірқалыпты түзу сызықты қозғалған жағдайда шарикті ұстап тұрған жіп вертикаль қалыпта болады және  $\vec{P}$  ауырлық күші жіптің  $\vec{T}$  реакция күшімен теңгеріледі.



Егер арбашаны  $a_0$  үдеумен ілгерілемелі қозғалысқа келтірсе, жіп вертикальдан кейін қарай  $\vec{F} = \vec{P} + \vec{T}$  қорытқы күш кейін қарай шарикке  $a_0$  үдеу беретіндей  $\alpha$  бұрышқа ауытқи бастайды. Осылайша  $\vec{F}$  қорытқы күш арбашаның  $a_0$  үдеуі жағына қарай бағытталған, шариктің тағайындалған қозғалысы үшін (шарик енді арбашамен бірге  $a_0$  үдеумен қозғалады)

$$\vec{F} = mgtga = ma_0 . \quad \text{Осыдан } tga = \frac{a_0}{g} .$$

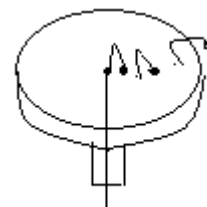
Үдемелі қозғалыстағы арбашамен байланысты санақ жүйесінде шарик тыныш тұр, бұл  $\vec{F}$  күш оған тең және қарама-қарсы бағытталған  $\vec{F}_{ин}$  күшпен теңескен жағдайда ғана мүмкін болады, бұл күш шарикке басқа ешқандай күш әсер етпейтіндіктен, басқа емес инерция күші болады. Осылайша

$$F_{ин} = -ma_0, \quad (2)$$

Инерция күшінің ілгерілемелі қозғалыс кезінде білінуі күнделікті құбылыстарда байқалады. Мысалы, поезд жылдамдық алғанда, поезд жүрісіне ілескен жолаушы инерция күші әсерінен орындықтың арқасына қарай шалқаяды. Поезд тежелгенде керісінше инерция күші қарама-қарсы жаққа бағытталған, пассажир отырғыш арқасынан алыстайды. Әсіресе бұл күштер поезд тоқтағанда білінеді. Инерция күштері космос кораблін ұшырғанда және тежегенде пайда болады.

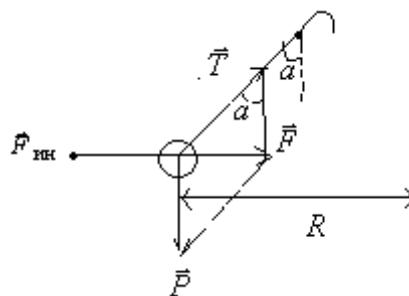
2. Айналып тұрған санақ жүйесінде тыныш тұрған денеге әсер ететін инерция күштері

Диск оның центрі арқылы өтетін вертикаль осьті  $\omega$  бұрыштық жылдамдықпен ( $\omega = const$ ) бірқалыпты айналсын. Дискіде оның айналу осінен әртүрлі қашықтықтарда маятниктер қойылған болсын. (жіптерге массасы  $m$  шариктер ілінген)



Маятниктердің дискімен бірге айналған кезінде шариктер вертикальдан қандай да бір бұрышқа ауытқиды.

Диск тұрған бөлмемен байланысқан инерциялық санақ жүйесінде шарик радиусы  $R$  шеңбер бойымен айналады. (айналып тұрған шарик центрінен айналу осіне дейінгі арақашықтық) Демек оған дискінің айналу осіне перпендикуляр бағытталған  $F = m\omega^2 R$  күш әсер етеді. Ол  $P$  ауырлық күшімен  $\vec{T}$  жіптің керілу күшінің тең әсерлі күші болып табылады:



$\vec{F} = \vec{P} + \vec{T}$  Шарик қозғалысы тағайындалғанда  $F = mgtga = m\omega^2 R$  осыдан  $tga = \omega^2 R / g$ , яғни маятник жіптерінің ауытқуы шарик центрінен айналу осіне дейінгі  $R$  қашықтық неғұрлым үлкен және  $\omega$  бұрыштық жылдамдық үлкен болса, соғұрлым үлкен болады.

Айналып тұрған дискімен салыстырғанда шарик тыныш тұр, бұл  $F$  күш оған тең және қарама-қарсы бағытталған  $F_{ц}$  инерциялық күшпен тең ескен жағдайда мүмкін болады (шарикке ешқандай басқа күштер әсер етпейтіндіктен). Центрден тепкіш инерция күші деп аталатын  $\vec{F}_{ц}$  күші жіптің айналуы осінен горизонталь бойымен бағытталған және

$$F_{ц} = - m\omega^2 R \quad (3)$$

Центрден тепкіш инерция күші әсеріне бұрылатын жерде қозғалыстағы транспорттағы жолаушылар, жоғарғы пилотажды фигураларды орындағанда ұшқыштар сезе алады.

Центрден тепкіш инерция күштері барлық центрден тепкіш механизмдерде пайдаланылады: насостарда, сеператорларда т.б олар үлкен мәндерге жетеді.

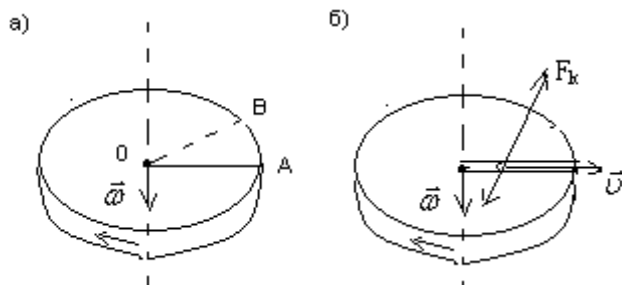
Машиналардың шапшаң айналатын детальдарын жасағанда центрден тепкіш инерция күштерін теңгеретін арнайы шаралар алынады.

(3) формуладан айналып тұрған санақ жүйесінде айналу осінен радиус бағытында денеге әсер ететін центрден тепкіш инерция күштері санақ жүйесінің айналуының  $\omega$  бұрыштық жылдамдығына және  $R$  радиусқа тәуелді екені шығады, бірақ дененің айналыстағы санақ жүйесіне қатысты жылдамдығына тәуелді емес. Демек центрден тепкіш инерция күші айналып тұрған санақ жүйесінде айналу осінен шекті қашықтықта тұрған барлық денелерге олар бұл жүйеде тыныш тұр ма (осы уақытқа дейін ұйғарғанымыздай) әлде оған қатысты қандай да бір жылдамдықпен қозғала ма, оған тәуелсіз әсер етеді.

3. Айналып тұрған санақ жүйесінде қозғалатын денеге әсер ететін инерция күштері.

Массасы  $m$  шарик бірқалыпты айналып тұрған диск радиусы бойымен  $\vartheta^1$  тұрақты жылдамдықпен қозғалсын.

$$(\nu^1 = const, \omega = const) \quad \nu^1 \perp \omega$$



Егер диск айналмаса, радиус бойымен бағытталған шарик радиал түзу бойымен қозғалып А нүктесіне келеді, егер дискіні стрелкамен көрсетілген бағытта айналдырса, шарик ОВ қисық бойымен домалайды және дискіге қатысты  $\mathcal{G}^1$  жылдамдығы бағытын өзгертеді. Бұл шарикке  $v^1$  жылдамдыққа перпендикуляр күш әсер еткенде мүмкін болады.

Шарикті айналып тұрған дискіде радиус бойымен домалауға мәжбүр ету үшін шарик үйкеліссіз бірқалыпты түзу сияқты қозғалатын диск радиусы бойымен қатаң бекітілген стерженьді пайдаланамыз. Шарик ауытқу кезінде стержень оған қайсыбір  $\vec{F}$  күшпен әсер етеді. Дискімен салыстырғанда (айналып тұрған санақ жүйесімен) шарик бірқалыпты түзу сызықты қозғалады, оны  $F$  күштің шарикке түсірілген  $v^1$  жылдамдыққа перпендикуляр  $\vec{F}$  инерция күшімен теңгерілетіндігімен түсіндіруге болады. Бұл күш **кориолистік инерция күші** деп аталады. (Г. Кориолис – француз физигі (1792-1843))

$$F_k = 2m[\mathcal{G}^1 \vec{\omega}], \quad (4)$$

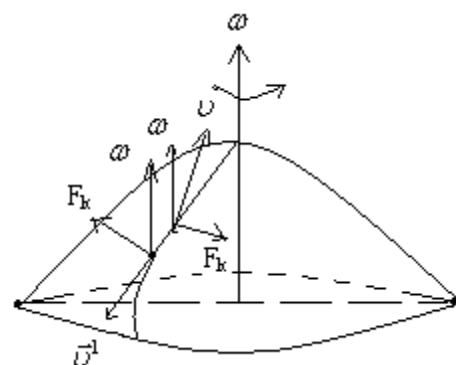
екенін көрсетуге болады.

$\vec{F}_k$  векторы  $v^1$  жылдамдығы және санақ жүйесінің  $\vec{\omega}$  айналу жылдамдығы векторларына перпендикуляр (оң винт ережесіне сәйкес)

Кориолис күші тек айналып тұрған жүйеге қатысты қозғалыстағы денеге ғана әсер етеді (мысалы Жермен салыстырғанда). Сондықтан Жердегі байқалатын көптеген құбылыстар осы күштердің әсерімен түсіндіріледі.

Егер дене солтүстік жарты шарда солтүстікке қарай қозғалса, оған әсер ететін Кориолис күші (4) өрнектен шығатындай қозғалыс бағытымен салыстырғанда оңға қарай бағытталады. Яғни шығысқа қарай бірқатар ауытқиды.

Егер дене оңтүстікке қарай қозғалса, Кориолис күші қозғалыс бағытына қарағанда оңға қарай әсер етеді, яғни дене батысқа қарай ауытқиды. Сондықтан солтүстік жарты шарда өзеннің оң жақ жағалауының анағұрлым күшті шайылуы байқалады, теміржолдың оң жақтағы рельстері сол жақтағыға қарағанда тез тозады. Аналогиялы түрде оңтүстік жарты шарда Кориолис күші (денелерге әсер ететін) қозғалыс бағытына қатысты солға қарай бағытталаатынын көрсетуге болады.



Кориолис күші әсерінен Жер бетіне құлайтын денелер шығысқа бұрылады. (60° ендікте бұл ауытқу 100м биіктіктен құлағанда 1см-ді құрайды). Кезінде Жердің айналуының дәлелі болған. Фуко маятнигінің қалпы Кориолис күшімен байланысты. Егер бұл күш болмаса, Жер бетіне жақын жерде тербеліп тұрған маятниктің тербелу жазықтығы өзгермей қалған болар еді. (Жерге қатысты) Кориолис күшінің әсері тербеліс жазықтығының вертикаль бағытты айналуына әкеледі. (1) формуладағы  $F_{ин}$  – тың мазмұнын аша отырып, инерциялық емес санақ жүйесі үшін динамиканың негізгі заңын аламыз:

$m\vec{a}^1 = \vec{F} + \vec{F}_u + \vec{F}_c + \vec{F}_k$ , мұндағы инерция күштері 2-4 формулаларымен берілген. Инерция күштерінің денелердің өзара әсерінен туындамайтынына, санақ жүйесінің үдемелі қозғалысынан болатынына тағы бір назар аударайық. Сондықтан олар Ньютонның үшінші заңына бағынбайды, өйткені қандай да бір денеге инерция күші әсер етсе, онда берілген денеге түсірілетін қарсы әсер күші болмайды. Механиканың негізгі екі қағидасына сәйкес, яғни үдеудің күштің әсерінен болатыны, ал күш әр уақытта денелердің өзара әсерінен болатындығы бір мезгілде орындалмайды.

Инерциялық емес санақ жүйесінде тұрған кез келген денелер үшін инерция күштері сыртқы болып есептеледі, демек бұл жерде тұйықталған жүйелер жоқ. Бұл инерциялық емес санақ жүйелерінде импульстың, энергияның, импульс моментінің сақталмайтынын білдіреді. Осылайша инерция күштері тек инерциялық емес санақ жүйелерінде әсер етеді. Инерциялық санақ жүйелерінде мұндай күштер болмайды.

### **Бақылау сұрақтары:**

1. Қандай санақ жүйелері инерциялық емес деп аталады?
2. Инерция күштерін қарастыру қашан және неліктен қарастыру қажет?
3. Инерция күштерінің пайда болу жағдайларын түсіндіріңіздер.
4. Инерция күштері дегеніміз не?
5. Инерция күштерінің инерциялық емес жүйелерде әсер ететін күштерден айырмашылығы неде?
6. Центрден тепкіш инерция күші мен кориолис күші қалай бағытталған? Олар қай уақытта білінеді?
7. Эйнштейннің эквиваленттік принципін тұжырымдаңыздар.
8. Егер оқиғалар  $K$  жүйесінде және бір мезгілде орындалатын болса,  $K^1$  жүйесінде де бір мезгілде, бірақ әртүрлі орында тұрса ше? Жауапты негіздеу керек.
9. Денелер өлшемдері және оқиғалар ұзақтығы үшін арнайы салыстырмалылық теориясынан шығатын салдар қандай? Жауапты түсіндіру керек.
10. Жылдамдықтарды қосудың релятивистік заңының мәнісі неде? Оның Эйнштейн постулаттарымен сәйкес келетінін қалай түсіндіруге болады?

### **Пайдаланылған әдебиеттер:**

1. Савельев И.В. Курс общей физики. Механика. 5 томдық. Том 1. . – М: Лань, 2011.
2. Трофимова Т.И. Курс физики: учебное пособие для вузов. 18-е изд., стереотип. – М. : Академия, 2010. – 557.
3. Иродов И.Е. Механика. Основные законы. Изд. Бином. 2009.
4. Гершензон Е.М. и др. Курс общей физики. т.т. 1-2. Механика. М.: Академия, 2008.
5. Бондарев Б.В., Калашников Н.П., Спиринов Г.Г. Курс общей физики. Книга 1: Механика. Учебник для бакалавров. Издательство: Юрайт, 2013.