

Қазақстан Республикасының білім және ғылым министрлігі

Д. СЕРІКБАЕВ атындағы ШЫҒЫС ҚАЗАҚСТАН
МЕМЛЕКЕТТІК ТЕХНИКАЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ

А.К. Сулейменова, А.А. Жаксылыкова

**ЭЛЕКТРОНДАРДЫҢ ШЫҒУ ЖҰМЫСЫН АНЫҚТАУ ЖӘНЕ
ЖАРТЫЛАЙ ӨТКІЗГІШ ФОТОЭЛЕМЕНТТІҢ СПЕКТРЛІК
СЕЗІМТАЛДЫҒЫ ҚИСЫҒЫН АЛУ**

Барлық техникалық мамандықтары бойынша білім алатын студенттерге арналған «Физика» пәні бойынша № 3.26 зертханалық жұмысына арналған әдістемелік нұсқаулар

УДК 530

Сулейменова А.К. Электронның шығу жұмысын анықтау және жартылай өткізгіш фотоэлементтің спектрлік сезімталдығы қисығын алу: Барлық техникалық мамандықтары бойынша білім алатын студенттерге арналған «Физика» пәні бойынша № 3.26 зертханалық жұмысына арналған әдістемелік нұсқаулар / А.К. Сулейменова, А.А. Жаксылыкова / ШҚМТУ.- Өскемен, 2011.- 11 б.

Әдістемелік нұсқаулар сыртқы және вентильдік фотоэффекттің қасиеттері туралы қысқаша теориялық мәліметтерден тұрады. Құрылғы және фотоэффектінің әр түрлі қасиеттерін зерттеу әдістемесі сипатталған. Жұмыстың орындалу реті және эксперименттің нәтижелерін өңдеу келтірілген.

«Машина жасау және көлік» факультетінің әдістемелік комиссиясы бекіткен
Хаттама № « » 20 ж.

МАЗМҰНЫ

1 Жұмыстың мақсаты	4
2 Шартты белгілер	4
3 Теориялық мәліметтер	4
4 Керекті құрал-жабдықтар және құрылғы сипаттамасы	7
5 Жұмыстың орындалу реті	8
6 Бақылау сұрақтары	10
Әдебиеттер	11

1 ЖҰМЫСТЫҢ МАҚСАТЫ

Сыртқы фотоэффект үшін Эйнштейн теңдеуін эксперименттік түрде тексеру, Планк тұрақтысын, электрондардың металдан шығу жұмысын анықтау, жартылай өткізгіштік фотоэлементтің спектрлік сезімталдығын зерттеу.

2 ШАРТТЫ БЕЛГІЛЕР

k_λ - берілген толқын ұзындығына арналған түзету коэффициенті;
 i – фототок күші;
 i_ϕ – фототок күшінің фондық мәні;
 Φ – жарық ағыны;
 γ - фотоэлементтің интегралдық сезімталдығы;
 γ_λ - фотоэлементтің спектрлік сезімталдығы;
 R – потенциометр;
 V – вольтметр;
 G – гальванометр;
 F – вакуумдық фотоэлемент.

3 ТЕОРИЯЛЫҚ МӘЛІМЕТТЕР

3.1 Сыртқы фотоэффект қасиеттері

Жарық әсерінен металл бетінен электрондардың ұшып шығу құбылысы сыртқы фотоэффект деп аталады. Фотоэффект заңдылықтары сәуле шығарудың кванттық теориясымен түсіндірілді. Бұл теорияға сәйкес жарық үздіксіз емес, жеке порциялармен – жарық кванттарымен (фотондармен) сәуле шығарады. Квант энергиясы

$$\varepsilon = h\nu = h \frac{c}{\lambda},$$

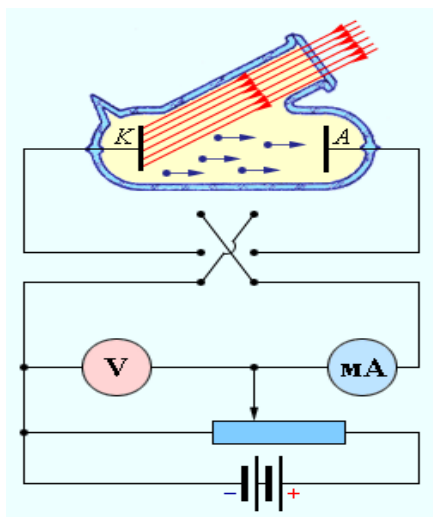
мұндағы h – Планк тұрақтысы; ν және λ - жарық жиілігі және толқын ұзындығы; c – вакуумдегі жарық жылдамдығы.

Металл бетін жарықтандыру кезінде зат электроны $h\nu$ -ге тең энергия порциясын жұтады. Егер осы энергия электронның металдан шығу A жұмысына тең немесе одан үлкен болса, онда электрон металл бетінен ұшып шығады және фотоэффект орындалады. Егер $h\nu > A$ болса, онда электрон алынған энергияның бір бөлігін шығу жұмысына шығындайды, ал қалған бөлігі кинетикалық энергия түрінде қалады. Егер электрон металл бетінде емес, қандай да бір тереңдікте босатылса, онда E' энергиясының қандай да бір бөлігі заттағы кездейсоқ соқтығысулар салдарынан жоғалып кетуі мүмкін. Егер электрон жазықтық беті қабатынан ұшып шықса және $E' = 0$ болса, онда электронның кинетикалық энергиясы максимал болады және бұл жағдайда осы процесті сипаттайтын энергияның сақталу заңы келесі түрде болады:

$$h\nu = A + \frac{1}{2}m\nu_{\max}^2 \quad (1)$$

Мұнда m – фотоэлектрон массасы, A – электрондардың металдан шығу жұмысы. Шығу жұмысы металлдың табиғатына және оның беткі күйіне (ылғал, май, балшық іздері) тәуелді болады. (1) теңдеу фотоэффект үшін Эйнштейн теңдеуі деп аталады.

Жарық ағынын фотоэлементтің K катодына бағыттаймыз (сурет 1).



Сурет 1

Катодтан ұшып шыққан электрондар кинетикалық энергияның әсерінен A анодқа жетеді де, фотоэлемент және гальванометрден құралған тұйық тізбекте ток туғызады. Егер анодты – теріс, ал катодты оң көз полюсіне жалғап, анод пен катод арасында электр өрісін туғызсақ, онда фотоэлектрондар осындай өріс тарапынан тежеледі. U_3 потенциалдар айырмасының қандай да бір мәнінде ең жылдам электрондар анодқа жете алмайды, тізбектегі ток тоқтайды. Бұл жағдайда келесі шарт орындалады:

$$\frac{m\nu_{\max}^2}{2} = eU_3, \quad (2)$$

мұндағы e – электрон заряды.

U_3 шамасы потенциалдың тежеуіш айырмасы деп аталады. (2) өрнекті (1) теңдеуге қойып, алатынымыз

$$h\nu = A + eU_3, \quad (3)$$

(3) формуладан шығатыны, U_3 тек жарық жиілігіне ғана сызықты тәуелді.

3.2 Вентильдік фотоэффект қасиеттері.

Вентильдік фотоэффект, немесе тежеуіш қабаттағы фотоэффект, фотоэффект салдарынан өткізгіштіктері әр түрлі болатын екі жартылай өткізгіш (немесе металл және n -типті жартылай өткізгіш) шекарасында электрқозғаушы күштің тууынан пайда болады. Өткізгіштіктері әр түрлі (p -өткізгіштік және n -өткізгіштік) болатын екі жартылай өткізгіш немесе жартылай өткізгіш және металлдың жанасуы кезінде байланыс орнында «тежеуіш» қабат пайда болады, ол осындай жүйенің біржақты өткізгіштігімен шартталады.

Байланыс облысын жарықпен жарықтандыру кезінде ішкі фотоэффектінің салдарынан еркін ток тасушылар саны өседі. Бұл байланыс облысындағы ток тасушыларының тепе-тең таралуының бұзылуына және тепе-теңдікпен салыстырғандағы потенциалдардың байланыс айырмасының өзгеруіне, яғни

фотоэлектрқозғаушы күштің (фото-э.қ.к-нің) пайда болуына әкеледі. Фото-э.қ.к.-іне $h\nu$ фотондар ағыны әсері арқылы қолдау көрсетіледі. Осылайша, байланыс орнын жарықпен сәулелендіру кезінде ток көзі қызметін атқаратын элемент пайда болады.

Фототок шамасы жарық ағынына пропорционал:

$$i = \gamma \cdot \Phi, \quad (4)$$

γ пропорционалдық коэффициенті фотоэлементтің интегралдық сезімталдығы деп аталады. Оның сандық мәні 1 люмен жарық ағыны әсерінен пайда болатын фототок шамасына тең.

Егер вентильдік фотоэлемент интенсивтілігі бірдей монохромат жарық ағындарымен жарықтандырылса, онда фототок шамасы түсетін жарықтың толқын ұзындығына тәуелді болады. Сондықтан интегралдық сезімталдығы шамасымен қатар, фотоэлементтің спектрлік сезімталдығы ұғымы енгізіледі. γ_λ спектрлік сезімталдығы фотоэлементке түсетін толқын ұзындығының λ , $\lambda+d\lambda$ интервалында i_λ фототок күшінің Φ_λ жарық энергиясының ағыны шамасына қатынасымен анықталады:

$$\gamma_\lambda = \frac{i_\lambda}{\Phi_\lambda}, \quad (5)$$

Фотоэлементтің спектрлік сезімталдығы толқын ұзындығына $\gamma_\lambda = f(\lambda)$ тәуелділігі фотоэлементтің маңызды сипаттамаларының бірі болып табылады. Егер спектрдің барлық облыстары үшін Φ_λ бірдей (изоэнергетикалық көз) болса, онда, (5) өрнекке сәйкес, $\gamma_\lambda = f(\lambda)$ функциясы $i = f(\lambda)$ сияқты сипаттамаға ие болады.

Практикада толқын ұзындықтары әр түрлі болатын кез келген жарық көздерінің интенсивтілігі әр түрлі болады. Сондықтан, егер фотоэлемент алдына қыздыру шамын орналастырса, мысалы, жарық сүзгіштері көмегімен монохроматты жарық ағындарын ерекшелесе, онда фотоэлементке түсетін жарық интенсивтілігі әр түрлі болады. Демек, фототок тек жарық толқыны ұзындығына ғана емес, сол сияқты оның интенсивтілігіне де тәуелді. Соңғы тәуелділіктен құтылу үшін, кез келген спектрлік интервалдағы нақты көзден интенсивтілігі тұрақты көзге фототок күші бойынша қайта есептеу жүргізу қажет. Ол үшін гальванометр (фототок) көрсеткішін k_λ түзету коэффициентіне көбейту қажет. Бұл коэффициент әр түрлі толқын ұзындығы үшін әр түрлі болады және қыздыру шамының спираль материалына және оның температурасына тәуелді.

Егер $\lambda = 560\text{нм}$ толқын ұзындығына (бұл толқын ұзындығы көздің максимал сезімталдығына сәйкес келеді) сәйкес келетін шамның сәуле шығару энергиясын 1 ретінде қабылданса, онда вольфрамдық спиралі бар шам (жұмыс температурасы $T = 2873\text{ К}$) үшін k_λ түзету коэффициенті 3 кестеде келтірілген мәндерге ие болады.

4 ҚҰРАЛ-ЖАБДЫҚТАР МЕН ҚҰРЫЛҒЫ СИПАТТАМАСЫ

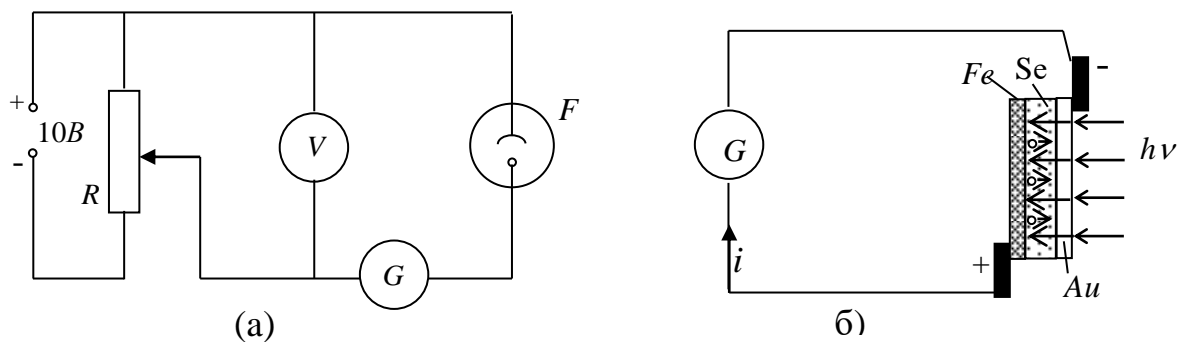
4.1 Керекті құрал-жабдықтар

Бұл жұмыста: СЦВ-3 типті фотоэлемент; 10 В-ке есептелген тұрақты кернеу көзі; потенциометр; вольтметр; гальванометр; вентильдік фотоэлемент; жарық сүзгіштері жиынтығы; шам қолданылады.

4.2 Құрылғы сипаттамасы және өлшеу әдісі

4.2.1 Вакуумдық фотоэлементті зерттеу

Берілген жұмысты орындау үшін бір жинақтамаға (панель) құрастырылған жеке екі электр сұлбаларынан тұратын құрылғы қолданылады. 2 (а) суретте көрсетілген сұлба сыртқы фотоэффектіні зерттеу – электрондардың металдан шығу жұмысын, Планк тұрақтысын анықтау және фотоэффектке арналған Эйнштейн теңдеуін тексеру үшін қызмет атқарады.



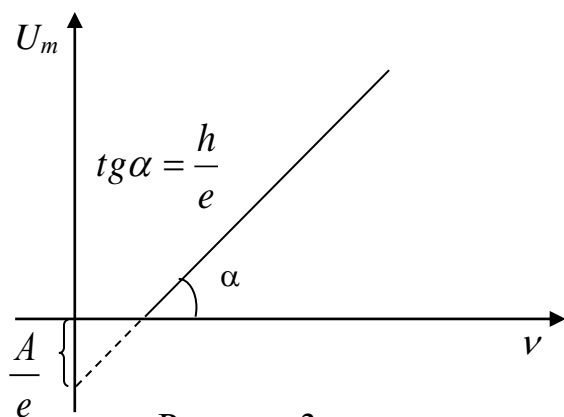
Сурет 2

Электрлік тізбек құрылысы: СЦВ-3 типті (F) вакуумдық фотоэлемент, оған R потенциометрі арқылы реттелетін тұрақты ток беріледі, фотоэлементтегі кернеу V вольтметрі көмегімен өлшенеді (өлшеу шегі 7,5 В), фототок G гальванометр арқылы анықталады. Фотоэлементке кернеу, ондағы туатын өріс катодтан ұшып шыққан электрондар қозғалысын тежейтіндей берілген.

Эйнштейн теңдеуін экспериментті түрде тексеру кезінде тежеуіш кернеу шамасы тек қана жарық жиілігіне сызықты түрде тәуелді болатындығына көз жеткізген жөн. (3) теңдеуден шығатыны:

$$U_3 = \frac{h}{e} \nu - \frac{A}{e}, \quad (6)$$

$U_m = U_m(\nu)$ функциясының графигі 3 суретте көрсетілген. $U_m(\nu)$ түзуінің жиіліктер осіне қатысты көлбеуінің α бұрышы тангенсі бойынша Планк тұрақтысын анықтауға болады:



$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{U_{31} - U_{32}}{\nu_1 - \nu_2} = \frac{h}{e}, \quad (7)$$

осылайша, h -ты анықтауға арналған есептеу формуласына A шығу жұмысы кірмейді, бұл экспериментті өткізуді жеңілдетеді. (7) формуладан шығатыны, шығу жұмысы 3 суреттегі графиктен анықтауға болады: координаталар басынан өтетін түзудің U_m осіндегі кесіндісі A/e –ге тең. Егер электрон зарядын 1 ретінде қабылдаса, онда

шығу жұмысы электрон-вольтпен (эВ) өрнектелетін болады.

Шығу жұмысын басқа да әдіспен анықтауға болады. Планк тұрақтысын берілген (кестелік мәні) деп есептесек, Эйнштейн теңдеуінен (3) өрнек түрінде алуға болады:

$$A = h\nu - eU_3, \quad (8)$$

немесе:

$$A = h \frac{c}{\lambda} - eU_3, \quad (9)$$

4.2.2 Вентильдік фотоэлементті зерттеу

Вентильдік фотоэлементтің спектрлік сезімталдығын зерттеу 5.1(б) суретте көрсетілген сұлба көмегімен жүзеге асады. Селендік фотоэлемент электрондық өткізгіштікті (n -типті өткізгіштік) селен (Se) қабатымен жабылған темір (Fe) пластинадан тұрады. Селен үстіне (Au) алтын немесе басқа металлдың жартылай мөлдір қабаты жалатылған. Алтын мен селен арасындағы шекарада тежеуіш қабат пайда болады. Селен жарық сүзгіштері арқылы жарықпен жарықталынады. Сонымен қатар, селеннен ұшып шығатын электрондар жарық кванттары түрінде тежеуіш қабат арқылы алтынға өтеді. Селен оң зарядталады, байланыс электроды – темір – оң, ал екінші электрод – алтын – теріс заряд алады. Нәтижесінде G гальванометр тізбектегі Se -нен Au -ға дейінгі ток жүруін көрсетеді.

Электрондар байланыс қабаты арқылы тек бір бағытта ғана – селеннен алтынға қарай жүреді, ал қайтар жол жабық, сондықтан қабатты тежеуіш қабат деп атайды.

5 ЖҰМЫСТЫҢ ОРЫНДАЛУ РЕТІ

5.1 Қолданылатын өлшеу құралдары туралы техникалық мәліметтерді 1-кестеге енгізу.

Кесте 1.

Құрал	Құрал тегі	Өлшеу шегі	Бөлік құны	Дәлдік класы	Құрал қателігі
Вольтметр					
Гальванометр					

5.2 Сыртқы фотоэффектіні зерттеу.

5.2.1 Жарық сүзгішті шамды іске қосу және вакуумдық фотоэлементті жарықтандыру (қоректендіру көзі іске қосылмаған). Гальванометр тілі 1-2 бөлікке ауытқиды.

5.2.2 Қоректендіру көзін іске қосу және реостаттың қозғалтқышын ақырын қозғалту арқылы гальванометрдің тілі қайтадан нөлге келетіндей кернеу беру. Тәжірибені 3 рет қайталау. U_m өлшеу нәтижелерін 2 кестеге жазып алу. Тежеуіш кернеудің $\langle U_m \rangle$ орташа мәнін анықтау.

5.2.3 2 кестеде көрсетілген барлық жарық сүзгіштерімен 5.2.1 және 5.2.2 пункттерге сәйкес бақылауларды орындау.

5.2.4 Өлшеу нәтижелері бойынша ν -дің әр мәні үшін вертикаль ось бойынша $\langle U_m \rangle$ мәндерін белгілеп, $U_m = U_m(\nu)$ тәуелділік графигін тұрғызу. Эйнштейн теңдеуін эксперименттік түрде тексеру нәтижелері туралы қорытынды жасау.

Кесте 2.

Жарық сүзгіштерінің түстері	λ , нм	ν , (с ⁻¹)	U_m , (В)			$\langle U_m \rangle$ (В)	А (эВ)	$\langle A \rangle$ (эВ)
			1	2	3			
Қызыл-сары	670							
Сары	640							
Жасыл	530							
Көк	400							
Күлгін	380							

5.2.5 (7) формулаға сәйкес, жиіліктер осіне қатысты $U_m(\nu)$ түзуінің көлбеулігі бұрышының тангенсі бойынша Планк тұрақтысын электрон-вольт түрінде анықтау. Алынған нәтижені кестелік мәнімен салыстыру.

5.2.6 $U_m = U_m(\nu)$ эксперименттік тәуелділік графигінен электрон-вольт түрінде шығу жұмысын анықтау (сур.3 қара).

5.2.7 Әр түрлі жарық сүзгіштері үшін $\langle U_m \rangle$ -ің эксперименттік мәндерін және h –ң кестелік мәнін формулаға қою арқылы әр жарық сүзгіші үшін (8) немесе (9) формула бойынша шығу жұмысын анықтау. Алынған A мәндерінен шығу жұмысының $\langle A \rangle$ орташа мәнін анықтау.

5.2.8 λ мәндерінің біреуі үшін абсолюттік жүйелік ΔA және салыстырмалы ε қателіктерді есептеу. Жауапты $A = \langle A \rangle \pm \Delta A$ түрінде жазу.

5.2.9 Есептелген A мәнін графиктің көмегімен алынған нәтижемен салыстыру (п.5.2.6). Қорытынды жасау.

5.3 Вентильдік фотоэффектіні зерттеу.

5.3.1 Қоректендіру көзін өшіру.

5.3.2 Селендік фотоэлементті гальванометрге жалғау.

5.3.3 Жарық сүзгіштерін алмастыра отырып, әр түрлі толқын ұзындықтағы жарықпен фотоэлементті жарықтандыру. i_λ фототогыне пропорционал болатын n гальванометр көрсеткіштерін 3 кестеге енгізу.

5.3.4 Спектрдің әр түрлі облыстарындағы шамның сәуле шығару интенсивтіліктерінің айырмашылығына түзету енгізу. Ол үшін n гальванометр көрсеткіштерін сәйкес келетін k_λ түзету коэффициенттеріне көбейту.

5.3.5 Абцисса осіне λ толқын ұзындығын, ал ордината осіне $k_\lambda n$ көбейтіндісін белгілеп, фотоэлементтің спектрлік сезімталдығы қисығын тұрғызу.

5.4 Есепті /5/, /6/ МЖОС талаптарына сай рәсімдеу.

Кесте 3.

Жарық сүзгіштерінің түстері	λ , нм	k_λ	n	$k_\lambda n$
Қызыл	720	1,19		
Қызыл-сары	670	1,09		
Сары	640	1,06		
Жасыл	530	0,981		
Көк	400	0,922		
Күлгін	380	0,918		

Бастапқы мәліметтер

$$h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с} = 4,1 \cdot 10^{-15} \text{ эВ}\cdot\text{с}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

λ , k_λ мәндері 2 және 3 кестелерінде келтірілген.

6 БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

6.1 Фотоэффект дегеніміз не? Фотоэффекттің түрлері. Берілген жұмыста фотоэффектінің қандай түрлері зерттелді?

6.2 Фотоэффект заңдары, оларды Эйнштейн теориясы көмегімен түсіндіру.

6.3 Берілген жұмыста фотоэффектінің қандай заңдарының әсері байқалады?

6.4 Селендік фотоэлемент жұмысын түсіндіру.

6.5 Фотоэффектінің қолданылуы.

ӘДЕБИЕТТЕР

- 1 Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Высш. школа 2003, с.292-298.
- 2 Детлаф А.А. , Яворский Б.М. Курс физики. – М.: Высш. школа 1989, с.400-408.
- 3 Савельев И.В. Курс общей физики. – М.: Наука, 1989, т.3, с.9-27.
- 4 Гольдин Л.Л. и др. Руководство к лабораторным занятиям по физике. – М.: Наука, 1973, С.431-433.
- 5 Кортнев А.В. и др. Практикум по физике. – М.: Высш. школа, 1963, С.411-413, 415-418.
- 6 СТ СЭВ 1052-78. Метрология. Единицы физических величин. Стандарт СЭВ, 1980.
- 7 Кузнецов В.П. Методические указания по лабораторному практикуму по общей физике (обработка результатов наблюдений). А-Ата Минвуз Каз. ССР, 1983
- 8 ГОСТ 2.105-95 ЕСКД. Общие требования к текстовым документам.
- 9 ГОСТ 2.106-96 ЕСКД. Текстовые документы.