

7-ДӘРІС

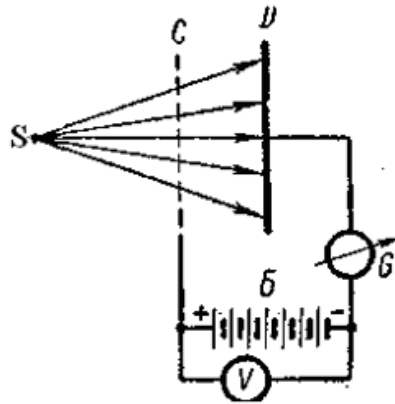


Асқарұлы Қыдыр
PhD., қауымдастырылған профессор

Фотоэффект құбылысы

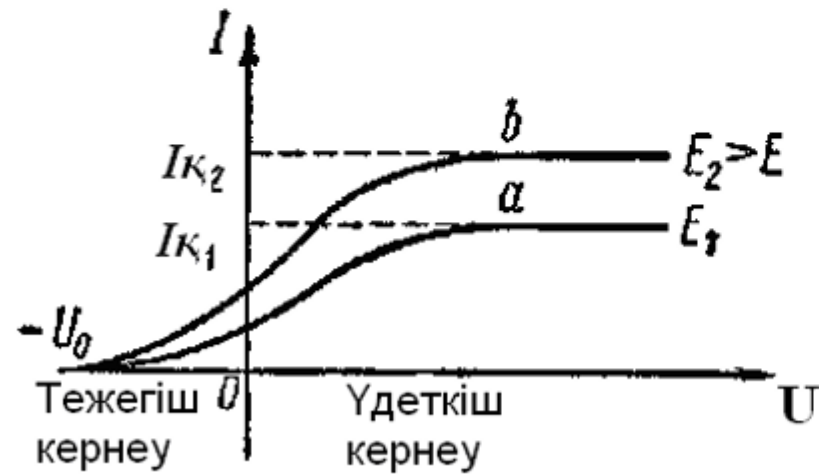
Фотоэффект жарықтың затпен әсерлесу кезінде білінеді. Ішкі фотоэффект – жартылай өткізгіштің ішінде жарықтың әсерінен атомдармен байланысқан электрондар атомнан босап шығып, бірақ өткізгіш бетінен сыртқа шықпайды. Ол жартылай өткізгіштің электрөткізгіштігін арттырады, өйткені жартылай өткізгіш ішінде еркін электрондар саны артады.

Сыртқы фотоэффект деп қатты және сұйық заттардан жарық әсерінен электрондарды бөліп шығаруды айтады. Сыртқы фотоэффект құбылысын тәжірибеі түрінде 1890 жылы А.Г.Столетов зерттеді. Столетов тәжірибесінің сұлбасы 8.5-суретте көрсетілген.



8.5-сурет. Столетов тәжірибесінің сұлбасы.

Жарық S жарық көзінен C мыс тор арқылы өтіп, D цинкті пластинаға түседі. D пластинаны жарықпен жарықтандырғанда тізбекте фототок деп аталатын электр тогы пайда болады. Ал C пластинаны жарықтандырғанда фототок пайда болмайды. Бұдан шығатын қорытынды: жарық әсерінен металл теріс зарядты бөлшектерді – электронды жоғалтады. Фотоэлементтің вольтамперлік сипаттамасын талдау 8.6-суретте көрсетілген.



8.6-сурет. Фотоэлементтің вольт-амперлік сипаттамасы.

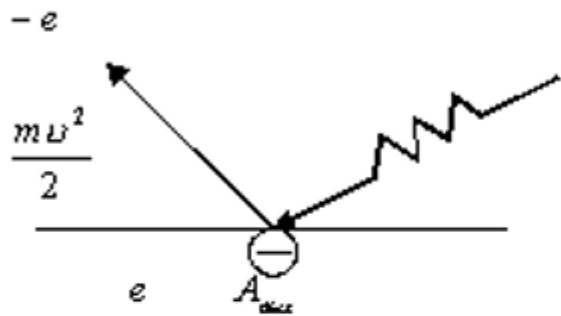
Бұдан С мен Д пластиналардың арасында тіпті аз ғана теріс кернеулер кезінде де аздаған фототок пайда болатындығы өрінеді. Өйткені катодтан бөлініп шыққан электрондардың бастапқы кинетикалық энергиясы нолден өзгеше. Фотоэлектрондардың алғашқы максимум жылдамдығы \mathcal{G}_{\max} тежегіш кернеумен U_0 мына қатыста байланысқан:

$$\frac{m\mathcal{G}_{\max}^2}{2} = eU_0. \quad (8.21)$$

Токтың максимал мәні I_k – қанығу фототогы деп аталады. Бұл ток, жарық әсерінен катодтан бөлініп шыққан барлық электрондардың анодқа толық жетуіне қажет кернеу мәндеріне сәйкес келеді. Столетов зертеулерінің негізінде фотоэффект заңдары тағайындалды:

1. Фотоэффект инерциалды болмайды.
2. Уақыт бірлігі ішінде катодтан ыршып шығатын фотоэлектрондардың мөлшері жарық интенсивтілігіне пропорционал болады және жиілікке тәуелсіз.
3. Фотоэлектрондардың максимал бастапқы жылдамдығы түсетін жарықтың жиілігіне тәуелді, ал интенсивтілікке тәуелсіз.
4. Әрбір зат үшін фотоэффектінің қызыл шегі деп аталатын фотоэффект құбылысы бола алатын жарықтың белгілі кішкене жиілігі болады.

Планктың кванттық гипотезасын дамыта келіп, А.Эйнштейн тендеулер түрінде фотоэффектінің келесі сұлбасын ұсынды. Энергиясы $\varepsilon = h\nu$ болатын фотон, металл бетін атқылап электронмен соқтығысады және толығымен өзінің барлық энергиясын (8.7-сурет) береді.



8.7-сурет. Фотоэффект құбылысының сұлбасы.

Бұл кезде фотон энергиясы металдан электронның шығу жұмысына және оған кинетикалық энергия беруге жұмсалады. Онда фотоэффект үшін энергияның сақталу заңы мына түрде жазылады:

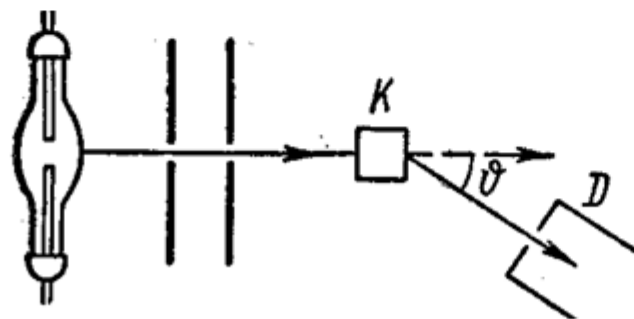
$$h\nu = A_{\text{шығ}} + \frac{m v^2}{2}. \quad (8.22)$$

Соңғы тендеу фотоэффект үшін *Эйнштейн тендеуі* деп аталады.

Комптон эффекті

Жарықтың кванттық қасиеттері 1923 жылы А. Комптон байқаған құбылыста да білінеді. *Комптон эффектісі деп рентген сәулелерінің (рентгендік кванттар) металл атомдарынан шашырауы нәтижесінде, оның толқын ұзындығының өзгеруін айтады.* Спектрдің көрінетін аймағындағы жарық толқыны үшін, фотоэлектрон энергиясынан рентгендік квант энергиясы көп артық болады. Металдағы электронның байланыс энергиясы рентгендік квант үшін аздаған кедергі болып табылады, ол электронды еркін деп есептеуге мүмкіндік береді.

Рентгендік сәулелердің ыдырауы бойынша Комптон тәжірибесінің сұлбасы 8.8-суретте көрсетілген.



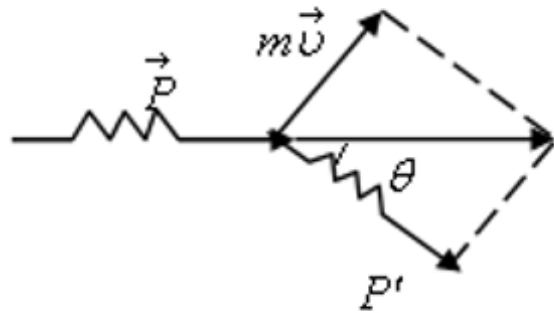
8.8-сурет. Комптон тәжірибесінің сұлбасы.

Монохроматты рентгендік сәулелердің жіңішке шоғы шашырататын К затына түседі және θ бұрышына шашыраған сәулелердің толқын ұзындығын өлшейтін Д рентгендік спектрографқа енеді. Шашыраған сәулелердің λ' толқын ұзындығы, түсетін сәулелердің толқын ұзындығынан λ едәуір үлкен болатынын, сонымен бірге $\Delta\lambda = \lambda' - \lambda$ айырымы тек θ шашырау бұрышына тәуелді екенін комптон тәжірибелері көрсетті:

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = 2\lambda_k \cdot \sin^2\left(\frac{\theta}{2}\right), \quad (8.23)$$

мұндағы λ_k тұрақтысы – *Комптон толқын ұзындығы* деп аталады.

Сәулелердің кванттық теориясы, Комптон құбылысын, импульстың және энергияның сақталу заңдарын сақтай отырып, рентгендік кванттардың электрондармен өзара әсерлесу нәтижесі ретінде түсіндіруге мүмкіндік берді. Импульсы $p = h\nu/c$ тең атқылаушы фотон тыныштықтағы электронмен соқтығысады, нәтижесінде электрон $m\vec{v}$ -ға тең импульсқа ие болады, ал фотон импульсы $p' = h\nu'/c$ -ға тең болады.



8.9-сурет. Рентген сәулесінің (фотонының) электронмен соқтығысы.

8.9-суреттен косинустар теоремасын пайдалана отырып, энергияның сақталу заңын мына түрде жазуға болады:

$$(m\nu)^2 = \left(\frac{h\nu}{c}\right)^2 + \left(\frac{h\nu'}{c}\right)^2 - \frac{2h^2\nu\nu'}{c^2} \cdot \cos\theta. \quad (8.24)$$

Рентгендік фотонның шашырауы үшін энергияның сақталу заңын келесі түрде беруге болады:

$$h\nu + m_0c^2 = h\nu' + mc^2, \quad (8.25)$$

мұндағы $E_0 = m_0c^2$ – электронның тыныштық энергиясы.

(8.25) тендеуден электронның шашырағаннан кейінгі энергиясын аламыз:

$$mc^2 = (h\nu - h\nu') - m_0c^2. \quad (8.26)$$

Соңғы тендеудің сол және оң жағын квадраттаймыз:

$$m^2c^4 = h^2\nu^2 + h^2\nu'^2 - 2h^2\nu\nu' + 2hm_0c^2(\nu - \nu') + m_0^2c^4. \quad (8.27)$$

(8.24) тендеудің екі жағын c^2 -қа көбейтеміз:

$$m^2\nu^2c^2 = h^2\nu^2 + h^2\nu'^2 - 2h^2\nu\nu' \cdot \cos\theta. \quad (8.28)$$

(8.27) теңдеуден (8.28) теңдеуді мүшелеп аламыз:

$$m^2 c^2 (c^2 - v^2) = 2hm_0 c^2 (v - v') + m_0^2 c^4 - 2h^2 v v' (1 - \cos \theta), \quad (8.29)$$

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \Rightarrow m^2 = \frac{m_0^2 c^2}{c^2 - v^2} \quad \text{екендігін ескеріп}$$

түрлендіру жүргіземіз:

$$\begin{aligned} m_0^2 c^4 &= 2hm_0 c^2 (v - v') + m_0^2 c^4 - 2h^2 v v' (1 - \cos \theta) \Rightarrow \\ &\Rightarrow m_0 c^2 (v - v') = h v v' \cdot 2 \sin^2 \frac{\theta}{2} \end{aligned}$$

жиіліктен v толқын ұзындығына λ көше отырып, ақырында мынаны аламыз:

$$\begin{aligned} \frac{m_0 c^2 \cdot c(\lambda' - \lambda)}{\lambda \lambda'} &= \frac{2hc^2}{\lambda \lambda} \sin^2 \frac{\theta}{2} \Rightarrow \\ \Rightarrow \Delta \lambda = \lambda' - \lambda &= 2 \frac{h}{m_0 c} \cdot \sin^2 \frac{\theta}{2}. \end{aligned} \quad (8.30)$$

Теориялық түрде алынған соңғы теңдеуді (8.23) Комптон теңдеуімен салыстыра

отырып,

$$|\lambda_{\kappa} = \frac{h}{m_0 c},$$

Планк тұрақтысының h , электрон массасының m_0 және жарық жылдамдығының c сандық мәндерін қойып, Комптон толқын ұзындығының (λ_{κ}) мәнін табамыз: $\lambda_{\kappa} = 2,43 \cdot 10^{-12} \text{ м}$.

Бақылау сұрақтары:

1. Жарықтың кванттық қасиеттері неге негізделген?
2. Толқындық оптикадағы сыртқы фотоэффект заңдарын түсіндірудің мүмкін еместігі неден құралған?

Назарларыңызға рахмет!