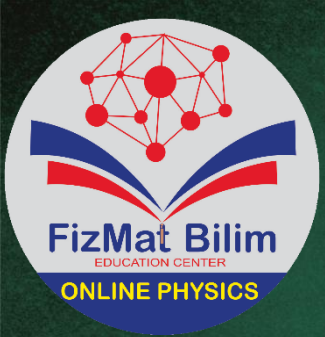






§40 Фотоэффект құбылысы. Эйнштейн теңдеуі.

Кванттық физиканың негізін қалаушы Макс Планк

- Әйгілі неміс физигі – теоретик, кванттық теорияның негізін қалады – микроскопиялық бөлшектердің қозғалысы, әсерлесуі және түрленуі туралы қазіргі теорияны жасаған.



Фотоэлектрлік эффектiнiң ашылуы:

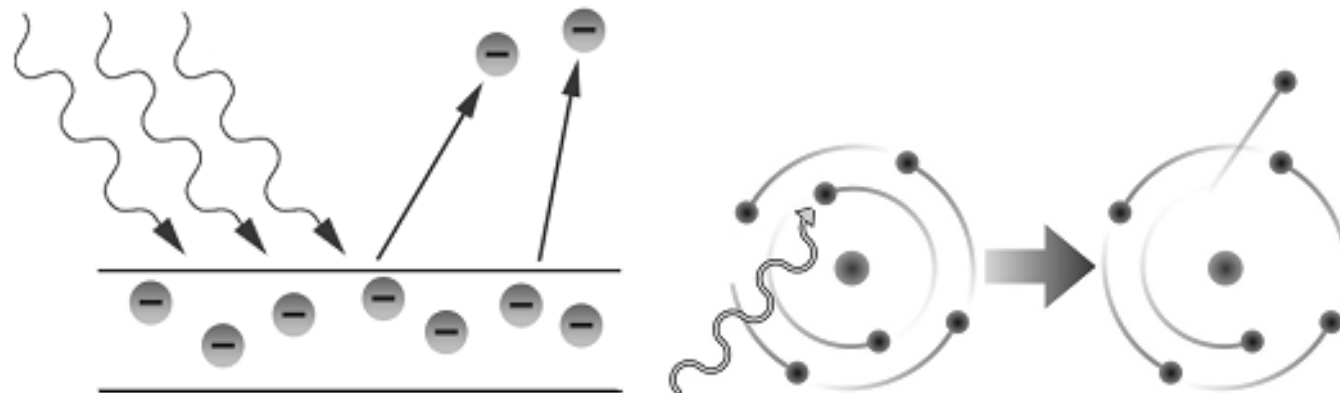
Фотоэлектрлік эффект 1887 жылы неміс физигі Г. Герц ашты және 1888 – 1890 жылдары орыс ғалымы А. Г. Столетов бұл құбылысты тәжірибе жүзінде алғаш зерттеп, заңдылықтарын тағайындады.

Фотоэлектрлік эффект құбылысын зерттеуде неміс ғалымы Ф. Ленард және американ ғалымы Р. Милликен үлкен үлес қосты.



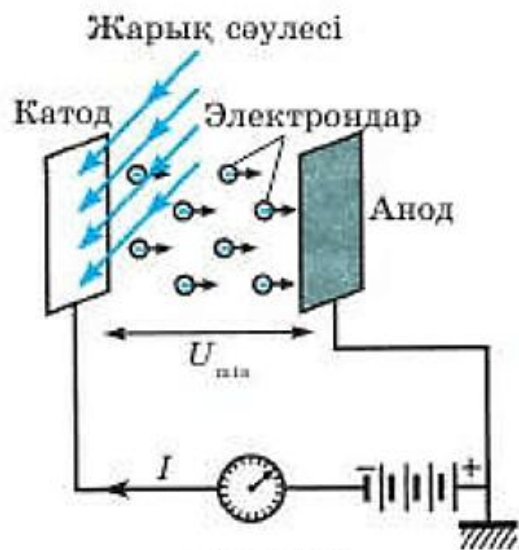
Фотоэффект құбылысы

- Фотоэффект — жарықтың әсерінен кез-келген дененің бетінен электрондардың шығуы. 1887 жылы Генрих Герц ашты. Фотоэлектрондар — фотоэффект нәтижесінде ыршып шыққан электрондар.



А.Г.Столетовтың фотоэффект құбылысын зерттеуі

Мынандай қорытынды жасайды



Сурет 6.6.
Столетов тәжірибесі

- 1) сәулелену нәтижесінде мырыш бетінен теріс бөлшектер-электрондар босап шығады;
- 2) фотоэффект құбылысы тек жоғары жиіліктегі сәулелену-әсерінен жүзеге асады;
- 3) сәулелену жиілігі артқанда фотоэлектрондардың жылдамдығыда артады;
- 4) зат бетінен бөлінген электрондардың саны сәулелендіргіш қарқындылығына тура пропорционал тәуелді болады

Фотоэффект үшін Эйнштейн формуласы

Эйнштейн эксперимент арқылы **жарық дегеніміз бөлшектер ,яғни фотондар ағыны екенін дәлелдеп берді**

Фотон энергиясы: $E = h \nu$

Ол электрондардың шығу жұмысына және электрондарға кинетикалық энергия беруге жұмсалады.

$$h \nu = A + \frac{m v^2}{2}$$

Эйнштейннің фотоэффектіге арналған теңдеуі.

$$h \nu = A + \frac{mv^2}{2}$$

Мұндағы: $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж*с **Планк тұрақтысы**

ν – **жарық жиілігі**

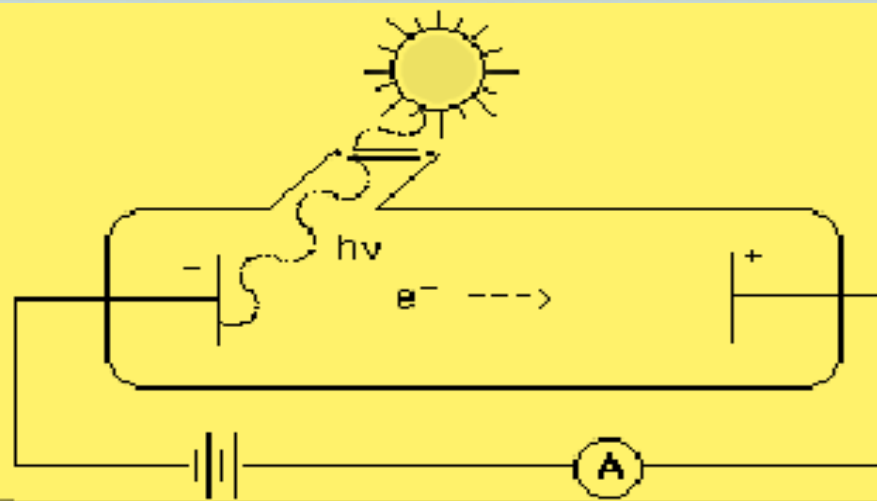
A – **шығу жұмысы**

$mv^2 / 2$ – **кинетикалық энергиясы**



Фотоэффект үшін Эйнштейннің теңдеуі

$$h\nu = A + \frac{1}{2}mv^2$$



A	Электронның металл бетінен шығу жұмысы (Джс)
m	Электронның массасы (кг)
v	Ыршып шыққан электронның жылдамдығы $\left(\frac{m}{c}\right)$



Фотоэффектінің қызыл шекарасы

- Фотоэффект байқалмайтын ең аз шектік жиілікті немесе соған сәйкес келетін толқын ұзындығын фотоэффектінің **қызыл шекарасы** деп атайды.

$$h\nu > A_{\text{ш}}$$

Фотоэффект байқалатын минимал жиілікті *фотоэффектінің қызыл шекарасы* деп атайды

$$\nu_{\min} = \frac{A_{\text{шығу}}}{h}$$

Толқын ұзындығы мен жиілік мына қатынаспен
байланысады:

$$\nu_{\min} = \frac{c}{\lambda_{\max}}$$



Фотоэффектінің қызыл

- Фотоэффектінің қызыл шекарасының мәні белгілі болғанда, шығу жұмысын мына формулалар арқылы анықтауға болады:

$$A_{\text{шығу}} = h\nu_{\text{min}} \quad \text{немесе} \quad A_{\text{шығу}} = \frac{hc}{\lambda_{\text{max}}}$$

$E > A$ - фотоэффект байқалады. $E < A$ - фотоэффект байқалмайды.





Фотоэлектрондардың максимал кинетикалық энергиясы

- Фотоэлектрондардың максимал кинетикалық энергиясы (максимал жылдамдығы) түскен жарықтың жиілігіне тәуелді.

$$\frac{m_e \cdot v^2}{2} = e \cdot U$$



Фотоэффектінің қолданылуы

- Фотоэффект құбылысы фотоэлементті ойлап шығаруға байланысты өндірісті автоматтандыруда кеңінен қолданылады

-



Фотоэлемент – түскен жарық әсерінен электр тогы пайда болатын құрылғы



“Дарынды оқушы.”

1. Калий үшін электронның шығу жұмысы 1,92 эВ. Калий үшін фотоэффектінің қызыл шекарасы қандай?

($c = 3 \cdot 10^8$ м/с, $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж*с, $1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж)

A) 1,22 мкм B) 2,03 мкм C) 3,21 мкм D) 0,36 мкм E) 0,65 мкм

2. Толқын ұзындығы 0,3 мкм болған фотонның энергиясын эВ-пен есепте. ($c = 3 \cdot 10^8$ м/с, $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж*с, $1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж)

A) 3,1 эВ. B) 2,5 эВ. C) 6,63 эВ. D) $4,96 \cdot 10^3$ эВ. E) 4,1 эВ

3. Толқын ұзындығы $3 \cdot 10^{-9}$ м сәулеленуге сәйкес фотонның энергиясын тап.
($c = 3 \cdot 10^8$ м/с, $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж*с.)

A) $3,62 \cdot 10^{-17}$ Дж B) $6,62 \cdot 10^{-28}$ Дж C) $5,91 \cdot 10^{-25}$ Дж D) $6,62 \cdot 10^{-17}$ Дж
E) $8,7 \cdot 10^{-25}$ Дж



ЕСЕП ШЫҒАРУ ҮЛГІЛЕРІ

Вольфрам үшін фотоэффектінің қызыл шекарасы 275 нм. Толқын ұзындығы 175 нм жарықтың әсерінен вольфрамнан бөлініп шығатын электрондардың максимал кинетикалық энергиясын анықтаңдар. Планк тұрақтысы $6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж·с, вакуумдағы жарық жылдамдығы $3 \cdot 10^8$ м/с. Жауапты электрон-вольтпен көрсетіндер.

Берілгені:

$$\lambda_{\max} = 275 \text{ нм}$$

$$\lambda = 175 \text{ нм}$$

$$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

$$E_k - ?$$

ХБЖ

$$275 \cdot 10^{-9} \text{ м}$$

$$175 \cdot 10^{-9} \text{ м}$$

Шешуі:

Фотоэффект үшін Эйнштейн формуласын жазамыз:

$$\frac{hc}{\lambda} = \frac{hc}{\lambda_{\max}} + E_k.$$

$$E_k = hc \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_{\max}} \right) = \frac{hc(\lambda_{\max} - \lambda)}{\lambda \cdot \lambda_{\max}}.$$

E_k мәнін табамыз:

$$E_k = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}} (275 - 175) \cdot 10^{-9} \text{ м}}{275 \cdot 175 \cdot 10^{-18}} =$$

$$= 4,13 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 2,58 \text{ эВ}.$$

Жауабы: $E_k = 2,58 \text{ эВ}.$

Есептер шығару

3. Толқын ұзындығы 450 нм –ге тең сәуле шығару әсерінен мырышта фотоэффект пайда бола ма?

Берілгені:

$$\bullet \lambda_1 = 450 \text{ нм} = 4,5 \cdot 10^{-7} \text{ м},$$

$$\bullet A_{\text{ш}} = 4,2 \text{ эВ},$$

$$\bullet h = 4,13 \cdot 10^{-15} \text{ эВ} \cdot \text{с}$$

•

Табу керек: λ_0

Шешуі:

$$A_{\text{ш}} = h\nu_0 = h \cdot c / \lambda_0;$$

$$\lambda_0 = hc / A_{\text{ш}} = 4,136 \cdot 10^{-15} \text{ эВ} \cdot \text{с} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} /$$

$$4,2 \text{ эВ} = 2,95 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 295 \text{ нм}.$$

$\lambda_1 > \lambda_2$, олай болса фотоэффект байқалмайды

4. Жиілігі 1 ПГц жарықпен сәулелендіргенде барий оксидінен жұлып шығарылған электрондардың ең көп кинетикалық энергиясы қандай болады?

Берілгені:

$$\bullet \nu = 1 \text{ ПГц} = 10^{15} \text{ Гц},$$

•

• Табу керек: E

Шешуі:

$$E = h\nu - A_{\text{ш}} = 4,136 \cdot 10^{-15} \text{ эВ} \cdot \text{с} \cdot$$

$$10^{15} \text{ с} - 1 \text{ эВ} = A_{\text{ш}} = 1 \text{ эВ} = 3,136 \text{ эВ}.$$

Жауабы: E = 3,136 эВ



5. Темірді толқын ұзындығы 20 нм жарықпен сәулелендіргенді фотозлектрондар қандай ең жоғары кинетикалық энергияға ие болады?

Темір үшін фотоэффектінің қызыл шекарасы 288 нм.

Берілгені:

$$\lambda = 200 \text{ нм} = 2 \cdot 10^{-7} \text{ м},$$

$$\lambda_0 = 288 \text{ нм} = 2,88 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

•

•

Табу керек: E

Шешуі:

$$E = h\nu - A_{\text{ш}} = h\nu - h\nu_0 = h(\nu - \nu_0) = hc(1/\lambda - 1/\lambda_0) = hc(\lambda - \lambda_0) / \lambda_0 \lambda$$

$$E = 4,136 \cdot 10^{-15} \text{ эВ} \cdot c \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} (2,88 \cdot 10^{-7} \text{ м} - 2 \cdot 10^{-7} \text{ м}) / 2,88 \cdot 10^{-7} \text{ м} \cdot 2 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 1,9 \text{ эВ}$$

Жауабы: E: 1,9 эВ

6. Фотозлектрондардың ең үлкен жылдамдығы 2 Мм/с болу үшін цезийдің бетіне толқын ұзындығы қандай сәулелерді жіберген жөн?

Берілгені:

$$A_{\text{ш}} = 1,8 \text{ эВ},$$

$$v = 2 \text{ Мм/с} = 2 \cdot 10^6 \text{ м/с}$$

•

Табу керек: λ

•

Шешуі:

$$E = h\nu - A_{\text{ш}} = hc / \lambda - A_{\text{ш}}; \quad E = mv^2 / 2;$$

$$mv^2 / 2 = hc / \lambda - A_{\text{ш}} \quad \lambda = hc / mv^2 / 2 + A_{\text{ш}};$$

$$\lambda = 4,136 \cdot 10^{-15} \text{ эВ} \cdot c \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} /$$

$$9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг} \cdot (2 \cdot 10^6 \text{ м/с})^2 / 2 + 1,8 \text{ эВ} = 9,43 \cdot 10^{-8} \text{ м} = 94,3 \text{ нм}$$

$$+ 1,8 \text{ эВ} = 9,43 \cdot 10^{-8} \text{ м} = 94,3 \text{ нм}$$

Жауабы: $\lambda = 94,3 \text{ нм}$

7. Электромагниттік сәуле шығарудың толқын ұзындығы λ болса:

- 1) ν жиілігін; 2) фотонның E энергиясы (Дж және эВ); 3) фотонның m массасын;
4) фотонның p импульсін табыңдар.

Берілгені:

λ

Шешуі:

1) $\nu = c / \lambda$;

Табу керек: 1) ν

2) E (Дж), E (эВ);

3) m (а. е. м), m (кг);

4) p

2) E (Дж) = $h\nu$ (h , Дж*с); E (эВ) = E (Дж) /
/ $1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж/эВ

3) m (кг) = E (Дж) / c^2 ; m (а. е. м) = m (кг) /
/ $1,66 \cdot 10^{-27}$ кг/а.е.м

4) $p = mc$

8. Егер жапқыш кернеу 1,5 В – қа тең болса, онда K катодтан жұлып шығарылған фотоэлектрондардың ең үлкен кинетикалық энергиясын табыңдар

Берілгені:

$U = 1,5$ В

Табу керек: E

Шешуі:

$E = eU = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 1,5 \text{ В} = 2,4 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 1,5 \text{ эВ}$

Жауабы: $E = 1,5$ эВ

9. Егер фототок жапқыш кернеуі 0,8В болған кезде тоқтасы, онда фотоэлектрондардың ең үлкен жылдамдығы қанша?

Берілгені:

$$U = 0,8 \text{ В}$$

Табу керек: λ

Шешуі:

$$eU = mv^2 / 2;$$

$$v = \sqrt{2eU / m} = \sqrt{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 0,8 \text{ В} / 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}} = 0,53 \cdot 10^6 \text{ м/с} = 0,53 \text{ Мм/с}.$$

$$\text{Жауабы: } \lambda = 0,53 \text{ Мм/с}.$$

10. Катода цезийден жасалған вакуумді фотоэлементке 2 В жапқыш кернеуі түсірілген. Катодқа түсетін жарықтың толқын ұзындығы қандай болған кезде фоток пайда болады?

Берілгені:

$$U = 2 \text{ В},$$

$$A_{\text{ш}} = 2,9 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

Табу керек: λ

Шешуі.

$$h\nu = A_{\text{ш}} + mv^2 / 2 = A_{\text{ш}} + eU; \quad hc / \lambda = A_{\text{ш}} + eU;$$

$$\lambda = hc / A_{\text{ш}} + eU = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} / 2,9 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} + 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 2 \text{ В} \approx$$

$$= 2,9 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} + 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} \approx 6,1 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

$$\approx 3,3 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 330 \text{ нм}$$

$$\text{Жауабы: } \lambda = 330 \text{ нм}$$

11. Толқын иұзындығы 100 нм ультракүлгін сәулемен вольфрам катодтан жұлып шығарылған электрондар тізбекте ток тудырмауы үшін қандай кернеу беру керек?

Берілгені:

$$\lambda = 100 \text{ нм} = 10^{-7} \text{ м},$$

$$A_{\text{ш}} = 7,2 * 10^{-19} \text{ Дж}$$

Табу керек: U

Шешуі:

$$h\nu = A_{\text{ш}} + mv^2 / 2 = A_{\text{ш}} + eU; \quad hc / \lambda = A_{\text{ш}} + eU$$

$$U = hc / \lambda - A_{\text{ш}} / e = 6,626 * 10^{-34} \text{ Дж} * c * 10^8 \text{ м/с} / \\ / 10^{-7} \text{ м} / - 7,2 * 10^{-19} \text{ Дж} / 1,6 * 10^{-19} \text{ Кл} = 7,9 \text{ В}$$

Жауабы: 7,9 В

11. Келтірілген параметрлердің қайсысы фотоэффект кезіндегі фотоэлектрондардың жылдамдығын анықтайды?

Ж: Жарықтың жиілігі

12. Басқа денелерден оқшауланған металл пластина ультракүлгін сәулелермен жарықтандырылады. Фотоэффектінің әсерінен осы пластинаның заряды таңбасы қандай болады?

Ж: Фотоэффект кезінде электрондар шығарылады, демек, пластинканың заряды оң болады

13. Егер фотонның энергиясы E болса, онда оның жиілігі неге тең болады?

Ж: $\nu = E / h$.

14. Төменде келтірілген құбылыстардың қайсысы жарықтың кванттық теориясының негізінде түсіндіріледі?

- а) интерференция;
- в) дифракция;
- с) фотоэффект;
- д) поляризация;
- е) сыну.

15) Фотоэффект үшін Эйнштейннің формуласын көрсет

Ж: $h\nu = A + mv^2 / 2$.

Үйге тапсырма1

1. Вакуумдағы толқын ұзындығы $0,72$ мкм қызыл жарық фотонының энергиясы неге тең?
2. Натрий үшін фотоэффектінің қызыл шекарасына сәйкес келетін толқын ұзындығы 530 нм. Натрий үшін электронның шығу жұмысын анықтаңдар. Жауаптарыңды эВ-пен көрсетіңдер.
3. Калийді толқын ұзындығы 345 нм сәулелермен жарықтандырғанда оның бетінен ұшып шығатын фотоэлектрондардың максимал кинетикалық энергиясын анықтаңдар. Электрондардың калийден шығу жұмысы $2,26$ эВ.



Үйге тапсырма2

- 209 бетте
- Жаттығу 6.3





Фотоэлектрлік әсерді модельдеу есептері

- Сұрақтарға жауап беру үшін парақты пайдаланып, осы PHET модельдеуін құралына кіріңіздер.

<http://phet.colorado.edu/en/simulation/photoelectric>

