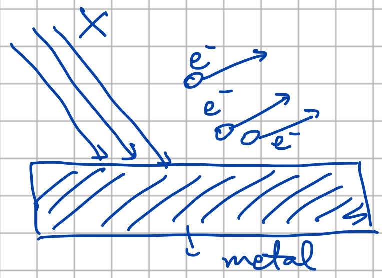
Curs 1

Mecanica cuantică studiază fizica sistemelor nanoscopice, în care dimensionalitatea $d \sim 10^{-9} - 10^{-6}$ m

$d \sim$ nm $\rightarrow$ µm.

Fenomene fizice care au stat la bază Mecanicii cuantice.



Efectul fotoelectric

Legile efectului fotoelectric

1) dacă frecvența radiației incidente este mai mică ca o frecvență de prag, $\nu < \nu_p$ atunci nu se emit electroni

2) indiferent de intensitatea radiației X, efectul fotoelectric are loc instant.

3) Ptr o anumită frecvență $\nu > \nu_p$, numărul de $\bar{e}$ emiși este proporțional cu intensitatea radiației; dar nu depinde de frecvență.

4) Energia cinetică a $\bar{e}$ emiși este proporțională cu frecvența ν, dar nu depinde de intensitate.

Efectul fotoelectric nu poate fi explicat folosind natura ondulatorie a luminii.

1905 - Einstein explică efectul fotoelectric folosind caracterul de corpuscul a luminii.

$E = h\nu$ - energia unui foton (corpusculul de lumina)

W - lucrul mecanic de extracție

$$\boxed{\frac{mv^2}{2} = h\nu - W;} \qquad \nu > \frac{W}{h}$$

h - constanta lui Planck $\quad h = 6,34 \cdot 10^{-34}\ J \cdot s.$

$E_c = \frac{mv^2}{2}$ - energia electronilor emiși

$\nu_p = \frac{W}{h}$ - frecvența de prag

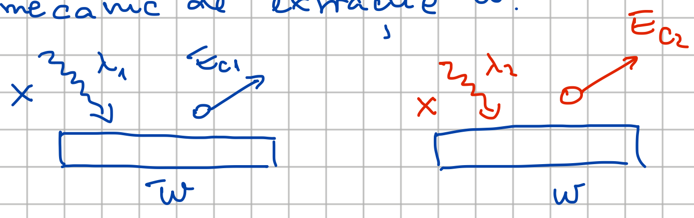
In cazul efectului fotoelectric, lumina are un caracter de corpuscul.

Ex: (det. a const. Planck)

Se consideră un fascicul cu lungimea de undă $\lambda_1 = 280\,nm$ și $\lambda_2 = 490\ nm$, care produc $\bar{e}$ cu energia cinetică maximă de $E_1 = 8{,}57\ eV$ și $E_2 = 6{,}67\ eV$

a) Să se determine h - const. Planck

b) Să se determine lucrul mecanic de extracție W.



$E_c = h\nu - W.$

$\nu = \frac{c}{\lambda}$; $\lambda = c \cdot T \leftarrow$ perioada

$c = 3 \cdot 10^8\ m/s$

$$\begin{cases} E_1 = \frac{h \cdot c}{\lambda_1} - W & (1) \\ E_2 = \frac{hc}{\lambda_2} - W & (2) \end{cases}$$

$\Downarrow$

$W = \frac{hc}{\lambda_1} - E_1$

$$W = \frac{6{,}62 \cdot 10^{-34}\ J \cdot \cancel{s} \cdot 3 \cdot 10^8\ \cancel{m}/\cancel{s}}{280 \cdot 10^{-9}\ \cancel{m}} - 8{,}57 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ J$$

$W = -6{,}619 \cdot 10^{-19}\ J$

$$\boxed{W = -4{,}13\ eV}$$

Scădem (1) - (2)

$$E_1 - E_2 = \frac{hc}{\lambda_1} - \frac{hc}{\lambda_2} = \frac{hc}{\lambda_1 \lambda_2}(\lambda_2 - \lambda_1)$$

$$h = \frac{(E_1 - E_2)}{c} \cdot \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1}$$

$1\ eV = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ J.$

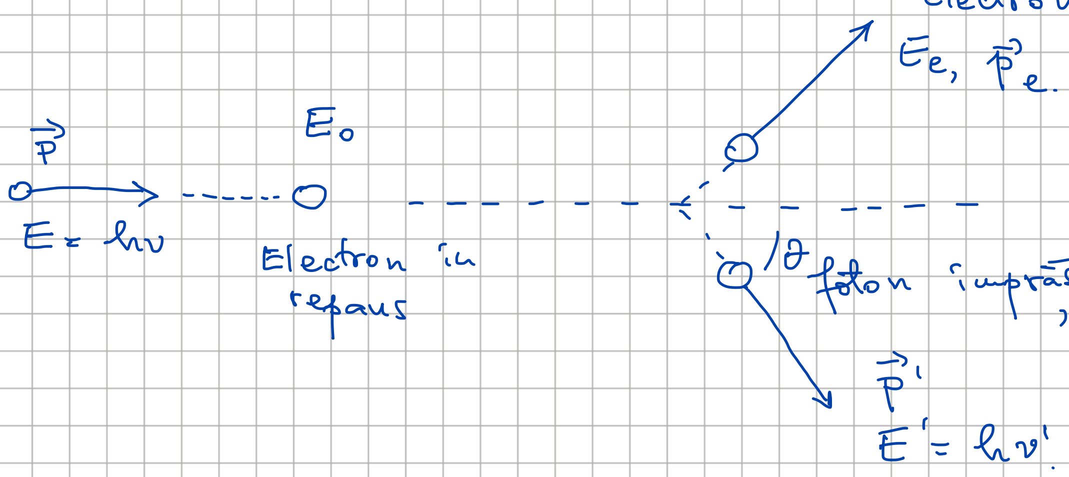
$$h = \frac{(8{,}57 - 6{,}67) \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}}{3 \cdot 10^8} \cdot \frac{280 \cdot \cancel{10^{-9}} \cdot 490 \cdot 10^{-9}}{210 \cdot \cancel{10^{-9}}}\ J \cdot s$$

$$\boxed{h = 6{,}62 \cdot 10^{-34}\ J \cdot s}$$

Efectul Compton (1923 Compton)

- reprezintă împrăștierea fotonilor pe e^- liberi, și constă în modificarea lungimii de undă inițiale. $\nu \to \nu'$.

- efectul Compton se explică folosind caracterul corpuscular a luminii și constă în împrăștierea unui foton pe un e^- în repaus.



experimental se observă că lungimea de undă crește $\Delta\lambda = \lambda' - \lambda > 0$.

- energia totală și impulsul total se conservă.

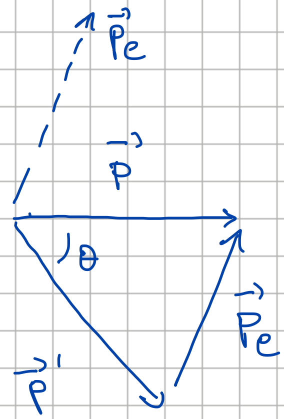
$$\begin{cases} \vec{p} = \vec{p}\,' + \vec{p}_e & \text{- relație vectorială} \\ h\nu + E_0 = E_e + h\nu' \end{cases}$$

$E_0 = m_0 c^2$. m_0 - masa electronului

$m_0 = 9{,}1 \cdot 10^{-31}$ kg

$$E_e = \sqrt{m_0^2 c^4 + p_e^2 c^2}$$

impulsul e^-.



$$\vec{p}_e = \vec{p} - \vec{p}\,''$$

$$p_e^2 = (\bar{p} - \bar{p}')^2$$

$$p_e^2 = p^2 + p'^2 - 2\,p\,p' \cdot \cos\theta$$

ptr foton $m_f = 0$ (masa de repaus a unui foton este 0)

$$E = \sqrt{\underset{0}{m_f^2} c^4 + p^2c^2} = p \cdot c \Rightarrow p = \frac{E}{c} = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

$$p_e^2 = \frac{h^2\nu^2}{c^2} + \frac{h^2\nu'^2}{c^2} - 2\,\frac{h\nu\, h\nu'}{c^2} \cdot \cos\theta$$

$$p_e^2 = \frac{h^2}{c^2}\left(\nu^2 + \nu'^2 - 2\nu\nu'\cos\theta\right)$$

$$E_e = \sqrt{m_0^2c^4 + p_e^2c^2} = h\sqrt{\nu^2 + \nu'^2 - 2\nu\nu'\cos\theta + \left(\frac{m_0c^2}{h}\right)^2}$$

$$h\nu + m_0c^2 = h\sqrt{\nu^2 + \nu'^2 - 2\nu\nu'\cos\theta + \left(\frac{m_0c^2}{h}\right)^2} + h\nu'$$

$$\frac{1}{h} \Big|\; h(\nu - \nu') + m_0c^2 = h\sqrt{\nu^2 + \nu'^2 - 2\nu\nu'\cos\theta + \left(\frac{m_0c^2}{h}\right)^2}$$

$$\left(\nu - \nu' + \frac{m_0c^2}{h}\right)^2 = \nu^2 + \nu'^2 - 2\nu\nu'\cos\theta + \left(\frac{m_0c^2}{h}\right)^2$$

$$\cancel{\nu^2} + \cancel{\nu'^2} + \cancel{\left(\frac{m_0c^2}{h}\right)^2} - 2\nu\nu' + 2\,\frac{m_0c^2}{h}(\nu - \nu') =$$

$$= \cancel{\nu^2} + \cancel{\nu'^2} - 2\nu\nu'\cos\theta + \cancel{\left(\frac{m_0c^2}{h}\right)^2}$$

$$\cancel{2}\,\frac{m_0c^2}{h}(\nu - \nu') = \cancel{2}\,\nu\nu'(1 - \cos\theta) \quad \Big|: \nu \cdot \nu'$$

$$\frac{m_0c^2}{h} \cdot \left(\frac{1}{\nu'} - \frac{1}{\nu}\right) = (1 - \cos\theta) \qquad \lambda = \frac{c}{\nu}$$

$$\frac{m_0 c}{h}\cdot\left(\underbrace{\frac{c}{\nu'}}_{\lambda'} - \underbrace{\frac{c}{\nu}}_{\lambda}\right) = (1-\cos\theta) = 2\sin^2\frac{\theta}{2}$$

$$\lambda' - \lambda = \boxed{\Delta\lambda = 2\cdot\frac{h}{m_0 c}\sin^2\frac{\theta}{2}}$$

$$\hbar = \frac{h}{2\pi}$$

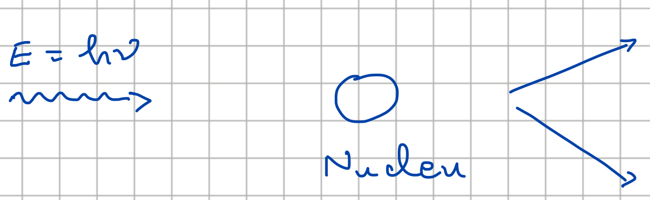
Dacă introducem $\lambda_c = \dfrac{\hbar}{m_0 c}$ = lungimea de undă Compton

$$\boxed{\Delta\lambda = 4\pi\,\lambda_c\cdot\sin^2\frac{\theta}{2}}$$

← modificarea lungimii de undă a fotonului incident în efectul Compton.

<u>Producerea de perechi</u>

- pune în evidență caracterul corpuscular a luminii.



e^- - electron

e^+ - pozitron (antiparticula electronului)

dacă E_N - energia nucleului rămâne nemodificată =>

$$h\nu = \underbrace{E_{e^-} + E_{e^+}}_{\text{energii repaus}} + \underbrace{E_{c^-} + E_{c^+}}_{\text{energii cinetice}}$$

$$E_{e^-} = E_{e^+} = m_0 c^2 = 9{,}1\cdot10^{-31}\,\text{Kg}\cdot 64\cdot10^{16}\,\frac{m}{s^2} = \underline{\underline{0.511\ \text{MeV}}}.$$

$$h\nu = 2m_0c^2 + \underset{>0}{E_{c^-}} + \underset{>0}{E_{c^+}}$$

Producerea de perechi are loc doar dacă

$h\nu \geq 2m_0c^2 \geq 1.02$ MeV. (poate fi asociată cu o frecvență de prag, minimă pentru producerea de perechi)

Putem considera că lumina are un <u>caracter dual</u>:

* în anumite experimente se manifestă caracterul corpuscular
  - ef. fotoelectric, Compton, producerea de perechi.
* în alte experimente se manifestă caracterul de undă
  - interferența (disp. Young), difracția,
  - electrodinamica

<u>Ipoteza de Broglie</u>

- lumina are un caracter dual, dar și alte particule pot avea un caracter de undă (ex. electronul)

O undă este descrisă de ν, λ, $\omega = 2\pi\nu$ (pulsația)

O particulă este descrisă de E, $\vec{p}$.

$$E = h\nu = \hbar\omega = \left(\frac{h}{2\pi}\right)(2\pi\nu)$$

particula asociată

$$\lambda = \frac{h}{p} \quad \text{sau} \quad \text{vectorul de undă} \quad \vec{k} = \frac{\vec{p}}{\hbar}$$

unda

	Undă	Corpuscul	
	ν, ω, λ, $\vec{k}$, T	$\vec{p}$, $\vec{E}$	
Energie:	$\hbar\omega$, $h\nu$	E	ν - frecvența
impuls:	$\hbar\vec{k}$	$\vec{p}$	T - perioada
	$\nu = \frac{1}{T}$		λ - lungimea de undă
	$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu$		c - viteza luminii
	$\lambda = c \cdot T = \frac{c}{\nu}$		k - vectorul de undă (nr. de undă)
	$\lambda = \frac{2\pi}{k}$		
	$k = \frac{2\pi}{\lambda}$		ω - pulsația

Exp. Davisson - Germer - pune în evidență caracterul de undă a unui fascicul de $\bar{e}$.

Δx - nedeterminarea (abaterea) în poziție

Δp_x - nedeterminea în impuls.

Ptr mișcare 3D : $\Delta y \cdot \Delta p_y \geq \frac{\hbar}{2}$, $\Delta z \cdot \Delta p_z \geq \frac{\hbar}{2}$