

13. COMPTONOV EFEKT

1923. godine Compton je još jednim efektom dokazao korpuskularnu prirodu svjetlosti. Pri raspršenju x-zračenja (EM valovi kratke valne duljine oko 10^{-10} m) na elektronima u komadu grafita Compton je opazio da raspršeno zračenje ima 2 komponente:

- prva ima valnu duljinu kao i upadni snop
- druga ima malo veću valnu duljinu

To je COMPTONOV EFEKT.

SLIKA: SHEMA UREĐAJA COMPTONOVOG EKSPERIMENTA – HENČ-BARTOLIĆ, KULIŠIĆ – SL. 8.12. STR. 369

Eksperiment je pokazao da pomak u valnoj duljini $\Delta\lambda$, odn. frekvenciji ne ovisi o valnoj duljini upadne svjetlosti i o vrsti materijala.

Compton je dao točno objašnjenje uzevši u obzir da se radi o fotonima s energijom $E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$ te količinom gibanja $p = \frac{E}{c} = \frac{h\nu}{c}$ i promatrao sudar 2 čestice: fotona i elektrona.

SLIKA: RASPRŠENJE FOTONA NA ELEKTRONU – HENČ-BARTOLIĆ, KULIŠIĆ – SL. 8.14. STR. 370

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \text{ - energija upadnog fotona}$$

$$p = \frac{E}{c} = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda} \text{ - količina gibanja upadnog fotona (iznos)}$$

$$p' = \frac{h}{\lambda'} \text{ - količina gibanja izlaznog fotona (iznos)}$$

$$p' \text{ ima: } \quad \text{- horizontalnu komponentu } p'_h = \frac{h}{\lambda'} \cos \theta$$

$$\quad \text{- vertikalnu komponentu } p'_v = \frac{h}{\lambda'} \sin \theta$$

Početna količina gibanja elektrona p_e je jednaka 0 jer on miruje u tzv. laboratorijskom sustavu.

Količina gibanja elektrona nakon sudara (iznos) je: $p'_e = \gamma mv$, gdje je $\gamma = 1/\sqrt{1-\beta^2} = 1/\sqrt{1-(v/c)^2}$ (iz relativistike).

- p_e' ima:
- horizontalnu komponentu $(p_e')_h = \gamma m v \cos \varphi$
 - vertikalnu komponentu $(p_e')_v = -\gamma m v \sin \varphi$

Iz zakona sačuvanja energije:

$$\frac{hc}{\lambda} + mc^2 = \frac{hc}{\lambda'} + \gamma mc^2$$

$$\gamma mc^2 - \text{ukupna energija elektrona} : \gamma mc^2 = E_k + mc^2$$

$$mc^2 - \text{energija mirovanja elektrona}$$

Zakona sačuvanja količine gibanja pisan po komponentama:

$$\text{- u horizontalnom smjeru: } \frac{h}{\lambda} = \frac{h}{\lambda'} \cos \theta + \gamma m v \cos \varphi$$

$$\text{- u vertikalnom smjeru: } 0 = \frac{h}{\lambda'} \sin \theta - \gamma m v \sin \varphi$$

$$\frac{h}{\lambda} - \frac{h}{\lambda'} \cos \theta = \gamma m v \cos \varphi \quad \rightarrow \quad \frac{h^2}{\lambda^2} - \frac{2h^2 \cos \theta}{\lambda \lambda'} + \frac{h^2}{\lambda'^2} \cos^2 \theta = (\gamma m v)^2 \cos^2 \varphi$$

$$\frac{h}{\lambda'} \sin \theta = \gamma m v \sin \varphi \quad \rightarrow \quad \frac{h^2}{\lambda'^2} \sin^2 \theta = (\gamma m v)^2 \sin^2 \varphi$$

Zbrojimo:

$$\frac{h^2}{\lambda^2} - \frac{2h^2 \cos \theta}{\lambda \lambda'} + \frac{h^2}{\lambda'^2} (\cos^2 \theta + \sin^2 \theta) = (\gamma m v)^2 (\cos^2 \varphi + \sin^2 \varphi)$$

$$\frac{h^2}{\lambda^2} - \frac{2h^2 \cos \theta}{\lambda \lambda'} + \frac{h^2}{\lambda'^2} = (\gamma m v)^2 \quad (1)$$

Iz zakona sačuvanja energije imamo:

$$\frac{hc}{\lambda} - \frac{hc}{\lambda'} + mc^2 = \gamma mc^2 : c \quad \rightarrow \quad \frac{h}{\lambda} - \frac{h}{\lambda'} + mc = \gamma mc$$

$$\frac{h^2}{\lambda^2} + \frac{h^2}{\lambda'^2} - \frac{2h^2}{\lambda \lambda'} + 2mch \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda'} \right) + m^2 c^2 = \gamma^2 m^2 c^2 \quad \text{ili:}$$

$$\frac{h^2}{\lambda^2} + \frac{h^2}{\lambda'^2} - \frac{2h^2}{\lambda \lambda'} + 2mch \frac{\lambda' - \lambda}{\lambda \lambda'} = \gamma^2 m^2 c^2 - m^2 c^2 = \gamma^2 m^2 v^2 \quad (2)$$

$$(2) - (1) \rightarrow \frac{h^2}{\lambda^2} + \frac{h^2}{\lambda'^2} - \frac{2h^2}{\lambda\lambda'} + 2mch \frac{\lambda' - \lambda}{\lambda\lambda'} - \frac{h^2}{\lambda^2} - \frac{h^2}{\lambda'^2} + \frac{2h^2 \cos \theta}{\lambda\lambda'} = 0$$

$$mc(\lambda' - \lambda) = h - h \cos \theta$$

$$\lambda' - \lambda = \Delta\lambda = \frac{h}{mc}(1 - \cos \theta) \quad \text{COMPTONOVA FORMULA}$$

λ - valna duljina upadnog fotona

λ' - valna duljina raspršenog fotona

θ - kut između smjera upadnog i raspršenog fotona

$\lambda_c = \frac{h}{mc}$ - Comptonova valna duljina

$\Delta\lambda$ je relativno mala jer je $\lambda_c = \frac{h}{mc} = 2,42 \cdot 10^{-12} \text{ m}$.

U vidljivoj svjetlosti tako malu promjenu ne možemo opaziti, ali za tvrde x-zrake (manje valne duljine) se $\Delta\lambda$ može izmjeriti.

