Vlnově - částicový dualismus (korpuskulárně vlnový dualismus)

Záření se projevuje ve formě vln (vykazuje např. interferenční jevy), ale v souvislosti s podmínkou kvantování si můžeme záření představit jako soubor elementárních částic, jímž Einstein dává název **fotony**.

Fotony se pohybují rychlostí světla, lze využít vztah pro energii :

$$m_{fotonu} \bullet c^2 = h \bullet f$$

Odtud hmotnost fotonu pohybující se rychlostí světla : $m_{fotonu} = \dfrac{h \bullet f}{c^2}$

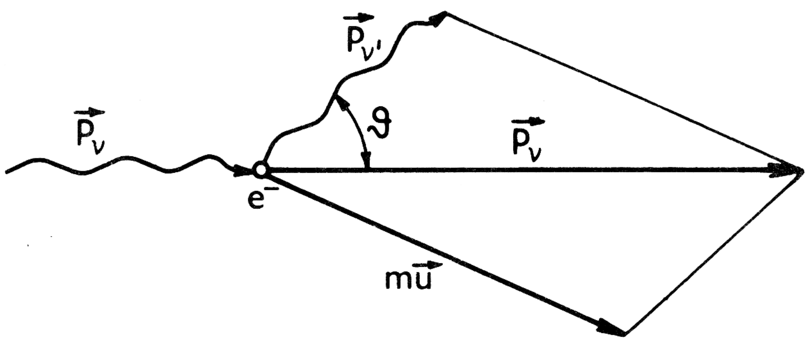
Foton je spjat s rychlostí světla, **jeho klidová hmotnost je nulová**.

Hybnost fotonu : $p_{fotonu} = m \bullet c = \dfrac{h \bullet f}{c} = \dfrac{h}{\lambda}$

4.1.5 Comptonův jev

Při průchodu záření hmotou /např. rentgenového záření/ dochází jednak k absorbci tohoto záření a v případech, kdy absorbce je malá, lze pozorovat rozptyl záření. Při studiu rozptýleného záření pozoroval Compton, že rozptýlené paprsky obsahují kromě původního záření o frekvenci ν také záření o frekvenci ν', při čemž $\nu' < \nu$.

Teoretický popis tohoto jevu podal Compton a je založen na předpokladu, že při rozptylu rentgenového záření dochází ke srážce fotonu se slabě vázanými elektrony rozptylujícího kovu. Schematické znázornění srážky fotonu a volného elektronu je na obr. 4.11.



Obr. 4.11

Vlastní výpočet vychází ze splnění zákona zachování hybnosti při srážce

$$\vec{p}_\nu = \vec{p}_{\nu'} + m.\vec{u} \qquad /4.36/$$

kde $\vec{p}_\nu$ a $\vec{p}_{\nu'}$ představuje hybnost fotonu před a po srážce a $m\vec{u}$ je hybnost elektronu při uvedení z klidu do pohybu rychlostí $\vec{u}$.

a ze zákona zachování energie

$$\varepsilon + m_e c^2 = \varepsilon' + mc^2 \qquad /4.37/$$

kde $\varepsilon = h.\nu$ a $\varepsilon' = h.\nu'$ jsou energie fotonů před a po srážce. Člen $m_e.c^2$ představuje klidovou hodnotu energie elektronu a $m.c^2$ hodnotu energie elektronu po uvedení do pohybu rychlostí $\vec{u}$.

Rovnice /4.36/ a /4.37/ nyní řešíme vzhledem k neznámým veličinám ν' a u. Vektorovou rovnici /4.36/ lze pomocí kosinové věty převést na tvar /viz obr.4.11/.

$$(m.u)^2 = p_\nu^2 + p_{\nu'}^2 - 2p_\nu . p_{\nu'} . \cos\vartheta$$

a s využitím

$$p_\nu = \frac{h.\nu}{c}$$

obdržíme

$$h^2\left(\nu^2 - 2\nu.\nu'\cos\vartheta + \nu'^2\right) = c^2.m^2.u^2. \qquad /4.38/$$

Zákon zachování energie /4.34/ přepíšeme na tvar

$$h(\nu - \nu') + m_e.c^2 = m.c^2$$

a vytvoříme jeho druhou mocninu :

$$h^2(\nu^2 - 2\nu\nu' + \nu'^2) + 2m_e.c^2 h(\nu - \nu') + m_e^2 c^4 = m^2. c^4. \qquad /4.39/$$

Odečtením /4.39/ od /4.38/ obdržíme

$$2h^2\nu\nu'(1-\cos\vartheta) - 2hc^2 m_e(\nu - \nu') = -\left[m^2\left(1-\frac{u^2}{c^2}\right) - m_e^2\right]c^4.$$

Pravá strana této rovnice vzhledem ke vztahu $m = m_e/\sqrt{1-\beta^2}$ je rovna nule a lze ji dělit členem $2h\nu\nu'$, čímž získáme

$$h(1-\cos\vartheta) - c^2 m_e \frac{(\nu - \nu')}{\nu\nu'} = 0,$$

a po úpravě

$$\left(\frac{c}{\nu'} - \frac{c}{\nu}\right) = \frac{h}{m_e c}(1-\cos\vartheta).$$

Zavedením vlnových délek $\lambda = \frac{c}{\nu}$ a $\lambda' = \frac{c}{\nu'}$ obdržíme Comptonův posuv

$$\lambda' - \lambda = \Delta\lambda = \frac{h}{m_e c}(1-\cos\vartheta) = A(1-\cos\vartheta) = 2A\sin^2\frac{\vartheta}{2}. \qquad /4.40/$$

Konstanta A má rozměr vlnové délky, nazývá se Comptonovou vlnovou délkou a její hodnotu lze určit pomocí univerzálních konstant

$$A = \frac{h}{m_e.c} = 2{,}426 \;.\; 10^{-12}\,\mathrm{m}\;, \qquad /4.41/$$

což je ve velmi dobré shodě s výsledky přesných měření, která udávají hodnotu

$$A = (2{,}424 \pm 0{,}004).\; 10^{-12}\,\mathrm{m}.$$

Grafické znázornění vztahu /4.40/ je uvedeno na obr. 4.12.Rovnice /4.40/je rovnicí kardioidy /srdcovky/ v polárních souřadnicích. Zvolíme-li směr dopadajícího svazku za polární osu a sestrojíme-li kardioidu, která ji protíná v počátku a v bodě vzdáleném o 2A proti směru záření, je Comptonův posuv $\Delta\lambda$ dán délkou průvodiče vedeného z počátku ve směru rozptýleného paprsku. Pro úhel rozptylu $\vartheta = \frac{\pi}{2}$ má Comptonův posuv hodnotu $\Delta\lambda_{\pi/2} = A$.

Výklad Camptonova jevu je dalším potvrzením fyzikální představy částicové struktury záření a vlnově-čislicového dualizmu.