

MODUL IV

FISIKA MODERN

EFEK COMPTON

Tujuan instruksional umum

Agar mahasiswa dapat memahami tentang Efek Compton

Tujuan instruksional khusus:

- Dapat menerangkan tentang momentum foton
- Dapat menerangkan efek panjang gelombang compton
 - Dapat menerangkan tentang efek Compton

Buku rujukan :

Fisika modern Halliday-Resnick

Johanes Surya Olimpiade Fisika

4.1 Foton dan elektron berlaku sebagai bola billiard

Menurut teori kuantum cahaya, foton berlaku sebagai partikel, hanya tidak mempunyai massa diam. Jika hal itu benar kita harus bisa menganalisa tumbukan antara foton dengan elektron misalnya cara yang sama seperti tumbukan billiard dianalisis dalam mekanika pendahuluan.

Gambar 4.1 menunjukkan bagaimana tumbukan serupa itu digambarkan dengan foton sinar-x menumbuk elektron dan kemudian mengalami hamburan dari arah semula sedangkan elektronnya menerima impuls dan mulai bergerak. Dan tumbukan foton dapat dipandang sebagai partikel yang kehilangan sejumlah energi yang besarnya sama dengan energi kinetik K yang diterima oleh elektron, walaupun sebenarnya kita mengamati dua foton berbeda. Jika semula mempunyai frekuensi f maka foton hambur mempunyai frekuensi yang lebih rendah f' sehingga

Kehilangan energi foton = Energi yang diterima elektron

Dari pembahasan sebelumnya bahwa momentum partikel tak bermassa berkaitan dengan energi menurut rumus

$$E = pc \dots \dots \dots (4.1)$$

Karena energi foton hf momentum ialah:

Momentum foton

$$p = \frac{E}{c} = \frac{hf}{c} \dots \dots \dots (4.2)$$

momentum tidak seperti energi merupakan kuantitas vektor yang mempunyai arah dan besaran, dan dalam tumbukan momentum harus kekal dalam masing-masing sumbu dan dari kedua sumbu saling tegak lurus. (bila lebih dari dua benda bertumbukan tentu saja

momentum harus kekal pada masing-masing sumbu dari ketiga sumbu saling tegak lurus). Arah yang dipilih di sini ialah arah semula dan satu lagi tegak lurus pada bidang yang mengandung elektron dan foton hambur. gambar 4.1

Gambar 4.1 a. Penghamburan foton oleh elektron disebut efek Compton. Energi dan momentum adalah kekal dalam keadaan seperti itu dan foton hambur kehilangan energi (panjang gelombang hasilnya lebih panjang) dibanding foton datang (b) Diagram vektor momentum dan komponen momentum semula ialah foton hambur serta elektron hamburnya.

hf/c , momentum foton hambur ialah hf'/c dan momentum elektron awal sektor akhir ialah berurutan 0 dan p dalam arah foton semula

Momentum awal = momentum akhir

$$\frac{hf}{c} + 0 = \frac{hf'}{c} \cos \phi + p \cos \theta \dots\dots\dots(4.3)$$

dan tegak lurus pada arah ini

Momentum awal = momentum akhir

$$0 = \frac{hf'}{c} \sin \phi - p \sin \theta \dots\dots\dots(4.4)$$

sudut ϕ menyatakan sudut antara arah mula-mula dan arah foton hambur, dan ν ialah sudut antara arah foton mula dan elektron yang tertumbuk. Dari persamaan-persamaan diatas kita sekarang mendapta rumus yang menghubungkan beda panjang gelombang

antara foton mula dan foton hambur dengan sudut ϕ antara masing-masing, kedua besaran itu merupakan kuantitas yang diukur.

Langka awalnya dengan mengalikan kedua persamaan itu dengan c maka:

$$pc \cos \theta = hf - hf' \cos \phi$$

$$pc \sin \theta = hf' \sin \phi$$

dengan mengkuadratkan persamaan ini dan menambahkannya sudut dapat dieliminasi tinggi

$$p^2 c^2 = (hf)^2 - 2(hf)(hf') \cos \phi + (hf')^2 \dots\dots\dots(4.5)$$

Kemudian kita samakan kedua rumus untuk energi total partikel

$$E = K + m_0 c^2$$

$$E = \sqrt{m_0^2 c^4 + p^2 c^2}$$

sehingga

$$(K + m_0 c^2)^2 = m_0^2 c^4 + p^2 c^2$$

$$p^2 c^2 = K^2 + 2m_0 c^2 K$$

karena $K = hf - hf'$

kita dapatkan

$$p^2 c^2 = (hf)^2 - 2(hf)(hf') + (hf')^2 + 2m_0 c^2 (hf - hf') \dots\dots\dots(4.6)$$

substitusikan harga $p^2 c^2$ didalam persamaan maka kita mendapatkan

$$\frac{2m_0 c^2}{h} (hf - hf') = 2(hf)(hf')(1 - \cos \phi) \dots\dots\dots(4.7)$$

Hubungan ini lebih sederhana jika dinyatakan dalam panjang gelombang sebagai pengganti frekuensi bagi persamaan di atas dengan $2h^2 c^2$,

$$\frac{m_0 c}{h} \left(\frac{f}{c} - \frac{f'}{c} \right) = 2(hf)(hf')(1 - \cos\phi)$$

dan karena $\frac{f}{c} = \frac{1}{\lambda}$ dan $\frac{f'}{c} = \frac{1}{\lambda'}$

$$\frac{f}{c} = \frac{1}{\lambda} \quad \text{dan} \quad \frac{f'}{c} = \frac{1}{\lambda'}$$

efek compton

$$\lambda - \lambda' = \frac{h}{m_0 c} (1 - \cos\phi) \dots\dots\dots(4.8)$$

persamaan (4.8) diturunkan oleh Arthur H.compton pada awal tahun 1920 dan gejala yang diperikannya yang pertama kali diamatinya, dikenal sebagai efek Compton. Gejala ini menunjukkan bukti kuat teori kuantum radiasi.

Persamaan(4.8) memberikan perubahan panjang gelombang yang diharapkan terjadi untuk foton yang terhambur dengan sudut ϕ oleh partikel yang bermassa diam m_0 dan perbedaan ini tidak bergantung dari panjang gelombang foton datang λ kuantitas

Panjang gelombang Compton

$$\lambda_c = \frac{h}{m_0 c} \dots\dots\dots(4.9)$$

disebut panjang gelombang Compton dari partikel penghabur untuk elektron

$$\lambda_c = 2,2426 \times 10^{-12} m \text{ dengan } 2,426 \text{ pm} (1 \text{ pm} = 1 \text{ picometer} = 10^{-12} \text{ m}) \text{ dalam}$$

λ_c persamaan (4.8) menjadi

Efek Compton

$$\lambda' - \lambda = \lambda_c (1 - \cos\phi) \dots\dots\dots(4.10)$$

dari persamaan(4.10) diatas kita lihat bahwa perubahan panjang gelombang terbesar yang dapat terjadi pada $\phi=180^\circ$ ketika itu perubahan panjang gelombang menjadi dua kali

panjang gelombang Compton λ_c . Karena panjang gelombang Compton untuk elektron ialah $\lambda_c = 2,246$ pm, dan lebih kecil lagi untuk partikel yang lain karena massanya lebih besar, maka perubahan panjang gelombang maksimum dalam efek Compton adalah 4,852 pm. Perubahan sebesar itu atau lebih kecil lagi hanya bisa teramati untuk sinar-x karena pergeseran panjang gelombang cahaya tampak kurang dari 0.01 persen dari panjang gelombang awal sedangkan untuk sinar-x dengan $\lambda = 0,1$ nm, besaran itu menjadi beberapa persen.

Soal Sinar-x yang panjang gelombangnya 10 pm dihamburkan oleh suatu sasaran

- Cari panjang gelombang sinar-x yang dihamburkan 45°
- Cari panjang gelombang maksimum yang ada dalam sinar-x yang terhambur
- Cari energi kinetik maksimum elektron yang terhentak (elektron recoil)

Jawaban:

$$\lambda' - \lambda = \lambda_c (1 - \cos \phi) \text{ sehingga}$$

$$\begin{aligned} \lambda' &= \lambda + \lambda_c (1 - \cos 45^\circ) \\ &= 10 \text{ pm} + 0,293 \lambda_c \\ &= 10,7 \text{ pm} \end{aligned}$$

- b. $\lambda' - \lambda_{\text{maksimum}}$ bila $(1 - \cos \phi) = 2$ sehingga

$$\lambda' = \lambda + 2\lambda_c = 10 \text{ pm} + 4,9 \text{ pm} = 14,9 \text{ pm}$$

- c. Energi kinetik hentak yang maksimum sama dengan beda antara energi foton datang dan energi foton terhambur sehingga

$$K_{\text{maks}} = h(f - f') = hc \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda'} \right)$$

dengan

λ' diberikan dalam b. jadi

$$\begin{aligned}K_{maks} &= \frac{(6,626 \times 10^{-34} \text{ j.s})(3 \times 10^8 \text{ m/s})}{10^{-12} \text{ m/pm}} \left(\frac{1}{10 \text{ pm}} - \frac{1}{14,9 \text{ pm}} \right) \\ &= 6,54 \times 10^{-15} \text{ j} \\ &= 40,8 \text{ keV}\end{aligned}$$

Demonstrasi eksperimental efek Compton dapat dilakukan secara langsung. Seperti dalam gambar Seberkas sinar-x dengan panjang gelombang tunggal yang diketahui diarahkan pada target (sasaran), dan panjang gelombang sinar-x hambur juga ditentukan untuk berbagai sudut ϕ . Hasilnya ditunjukkan pada gambar 4.3 hasil ini menunjukkan pergeseran panjang gelombang seperti diramalkan pada persamaan (4.8) tetapi pada masing-masing sudut sinar-x hambur termasuk juga sinar-x dengan panjang gelombang awal. Hal ini tidak terlalu sukar untuk dimengerti . dalam penurunan persamaan (4.8) dianggap bahwa partikel hambur dapat bergerak bebas suatu anggapan yang nalar karena banyak elektron dalam materi terikat lemah