

BAB 7 PELURUHAN GAMMA

Jika sebuah inti meluruh dengan sebuah partikel seperti alfa atau beta, biasanya inti anak yang terbentuk berada dalam keadaan eksitasi. Kemudian inti akan bertransisi dari tingkat energi yang lebih tinggi, E_i , ke tingkat energi yang lebih rendah, E_f dengan melepaskan kelebihan energi sebesar $\Delta E = E_i - E_f$, melalui tiga cara berikut : (1) emisi sinar gamma (γ), (2) konversi internal dan (3) produksi pasangan internal. Dalam hal ini emisi sinar gamma lebih sering terjadi.

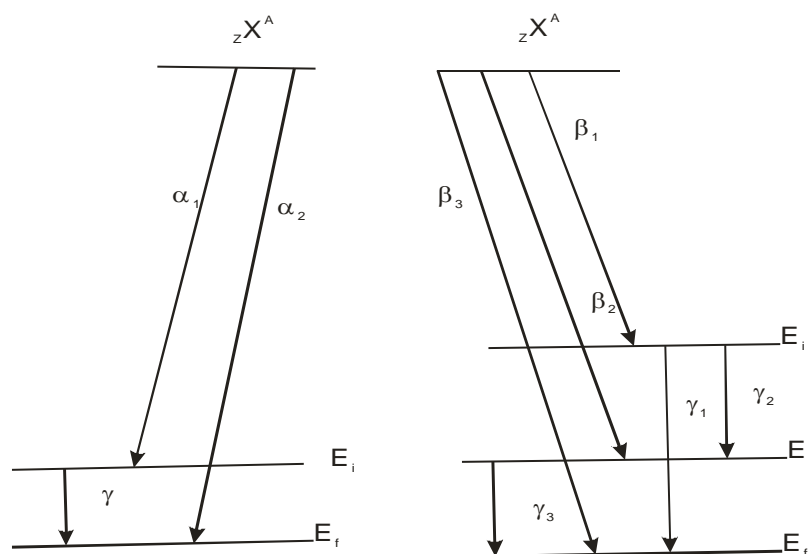
7.1 Energetika peluruhan γ

7.1.1 Emisi sinar gamma (γ)

Energi sinar gamma yang dipancarkan diberikan oleh hubungan,

$$h\nu = \Delta E = E_i - E_f \quad (7.1)$$

Jika E_f adalah tingkat dasar maka tidak ada sinar gamma yang dipancarkan, sedangkan jika tidak, inti akan memancarkan satu foton atau lebih seperti dapat dilihat pada Gambar 7.1



Gambar 7.1 Tingkat energi inti.

Tidak seperti halnya peluruhan alfa dan beta, peluruhan gamma tidak menimbulkan perubahan nomor atom dan nomor massa dari inti.

Jika sinar gamma menembus bahan dengan ketebalan Δx , dengan intensitas awal I , intensitas akan berkurang sebesar ΔI setelah menembus bahan. Perubahan intensitas sebanding dengan

I , Δx dan jenis bahan, μ , yaitu koefisien absorpsi (atenuasi) atau secara matematis ditulis sebagai

$$\Delta I = -\mu I \Delta x \quad (7.2)$$

Atau

$$dI = -\mu I dx \quad (7.3)$$

Persamaan akan menghasilkan

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (7.4)$$

Ketebalan setengah $x_{1/2}$, adalah ketebalan yang diperlukan agar intensitas sinar gamma menjadi setengah harga semula atau

$$I / I_0 = 1/2 = e^{-\mu x_{1/2}} \quad (7.5)$$

sehingga

$$x_{1/2} = \frac{0,693}{\mu} \quad (7.6)$$

Interaksi sinar gamma dengan materi ini meliputi 3 proses (1) efek fotolistrik, (2) efek Compton dan (3) produksi pasangan. Efek fotolistrik terjadi jika energi sinar gamma sebesar 0,01 Mev sampai 0,5 Mev, hamburan Compton terjadi jika energi sinar gamma dari 0,1 Mev sampai 10 Mev dan produksi pasangan (menghasilkan sepasang electron-positron) terjadi jika energi sinar gamma mulai dari 1.02 Mev dan meningkat dengan meningkatnya energi sinar gamma.

Kebanyakan inti tereksitasi memiliki usia paroh yang pendek terhadap peluruhan gamma, tetapi beberapa tetap tereksitasi selama beberapa jam. Inti tereksitasi yang berumur panjang disebut *isomer* dari inti yang sama dalam keadaan dasar. Inti tereksitasi ${}_{38}^{87}\text{Sr}^*$ memiliki umur paroh 2,8 jam sehingga bisa disebut isomer dari ${}_{38}^{87}\text{Sr}$.

7.1.2 Konversi internal

Dalam spectrum sinar beta yang kontinyu ditemukan adanya spectrum garis. Elektron yang monoenergetik ini disebut electron konversi dan proses yang menghasilkan electron tersebut disebut konversi internal. Konversi internal berlangsung dua tahap. Tahap pertama sinar gamma dipancarkan, tahap kedua sinar gamma berinteraksi dengan electron orbital, yang kemudian terpancar dengan energi kinetic

$$K_e = E_\gamma - I_B \quad (7.7)$$

Dimana I_B adalah energi ikat electron.

Persamaan 7.7 menunjukkan bahwa proses konversi internal memiliki nilai ambang yang sama dengan energi ikat elektron dalam kulit tertentu, sebagai suatu hasil, elektron konversi harus diberi tanda yang sesuai dengan kulit elektronik dari mana elektron itu berasal : kulit K,L,M, dan seterusnya, yang bersesuaian dengan bilangan kuantum utama, $n = 1,2,3,\dots$. Lebih lanjut, bilamana kita mengamati dengan daya resolusi yang lebih tinggi, kita dapat melihat substruktur yang sesuai dengan elektron individual dalam kulit. Misalnya, pada kulit L ($n = 2$) kulit memiliki orbit $2s_{1/2}$, $2p_{1/2}$ dan $2p_{3/2}$, elektron yang berasal dari kulit ini disebut masing-masingnya sebagai elektron konversi L_I , L_{II} , dan L_{III} .

Proses konversi berikutnya, atom yang ditinggalkan elektron akan kekurangan satu elektron dalam kulit. Kekosongan ini akan diisi dengan cepat oleh elektron yang berasal dari kulit yang lebih tinggi, dan karena itu kita akan mengamati emisi sinar X karakteristik. Sesuai dengan alasan ini maka ketika kita mempelajari emisi γ dari suatu bahan radioaktif, biasanya kita akan menemukan adanya sinar X pada ujung spektrum yang lebih rendah energinya.

Sebagai suatu ilustrasi untuk menghitung energi elektron, kita ambil peluruhan β dari ^{203}Hg menjadi ^{203}Tl , yang diikuti oleh pemancaran suatu sinar γ tunggal dengan energi 279,190 keV. Untuk menghitung energi elektron konversi, kita harus mencari energi ikat elektron pada inti anak Tl karena dari atom tersebut emisi elektron terjadi.

Untuk Tl, kita memperoleh energi ikat sebagai berikut

$$B(K) = 85,529 \text{ keV}$$

$$B(L_I) = 15,347 \text{ keV}$$

$$B(L_{II}) = 14,698 \text{ keV}$$

$$B(L_{III}) = 12,657 \text{ keV}$$

$$B(M_I) = 3,704 \text{ keV}$$

dan seterusnya melalui kulit M, N, dan O. Oleh karena itu kita berharap untuk menemukan elektron konversi dipancarkan dengan energi berikut

$$T_e(K) = 279,190 - 85,529 = 193,661 \text{ keV}$$

$$T_e(L_I) = 279,190 - 15,347 = 263,843 \text{ keV}$$

$$T_e(L_{II}) = 279,190 - 14,698 = 264,492 \text{ keV}$$

$$T_e(L_{III}) = 279,190 - 12,657 = 266,533 \text{ keV}$$

$$T_e(M_I) = 279,190 - 3,704 = 275,486 \text{ keV}$$

7.1.3 Produksi pasangan internal

Bilamana sinar gamma memiliki energi lebih besar dari 1,02 Mev, interaksi dengan bahan adalah berupa produksi pasangan. Harga 1.02 ini sama dengan dua kali massa diam electron ($2m_0c^2$). Ternyata jika inti yang tereksitasi memiliki energi $>2m_0c^2$, inti akan melakukan deeksitasi dengan menghasilkan sepasang elektron-positron. Proses ini disebut dengan produksi pasangan internal. Energi total yang tersedia untuk terjadinya transisi ini adalah

$$E_0 = 2m_0c^2 + K_+ + K_- \quad (7.8)$$

di mana K_+ dan K_- adalah energi kinetik dari positron dan elektron masing-masing, dan $2m_0c^2$ adalah jumlah dari energi diam positron dan elektron.

Perhitungan probabilitas internal pasangan-konversi yang memberikan prediksi teoritis, yang bersesuaian dengan eksperimen, menunjukkan hasil sebagai berikut

- (a) Laju pasangan konversi internal meningkat dengan meningkatnya energi, tetapi menurun dengan meningkatnya L, yang merupakan multipolaritas transisi.
- (b) Pasangan konversi Internal hampir independen dari Z, atau menurun sangat lambat dengan meningkatnya Z.
- (c) Dengan peningkatan energi E_0 (≥ 10 MeV) koefisien pasangan konversi internal menjadi tidak peka terhadap L

7.2. Pengukuran Energi Gamma

Tergantung pada energi sinar gamma, kekuatan sumber sinar gamma dan ketepatan yang diperlukan, maka cara pengukuran energi gamma berikut ini dapat digunakan : (1) metoda absorpsi, (2) spectrometer difraksi kristal, (3) spectrometer magnetik, (4) pasangan spectrometer, (5) metoda sintilasi, (6) metoda lainnya. Beberapa metoda ini akan dibahas secara singkat.

7.2.1 Metoda absorpsi

Metoda absorpsi adalah metoda yang paling dini, paling sederhana dan paling cepat untuk menentukan energi sinar γ . Metoda ini berdasarkan pengukuran koefisien absorpsi dari suatu bahan dengan memplot intensitas dengan ketebalan bahan. Dengan mengukur koefisien absorpsi dan dibandingkan dengan nilai teoritis, energi sinar γ dapat diinterpretasi.

7.2.1 Spektrometer Difraksi Kristal

Tidak seperti metoda lainnya, metoda ini memberikan pengukuran langsung terhadap panjang gelombang. Karena sinar gamma adalah gelombang elektromagnetik, maka dengan mengetahui sudut θ , panjang gelombang λ , dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Bragg

$$2d \sin \theta = n \lambda \quad (7.9)$$

dimana d adalah jarak antara dan n adalah order difraksi. Dengan menghitung panjang gelombang energi sinar gamma dapat ditentukan.

PERTANYAAN DAN SOAL-SOAL

1. Mengapa terjadi peluruhan gamma, apakah yang disebut dengan inti yang tereksitasi dan tingkat energi dalam inti.
2. Bilamana terjadi efek fotolistrik, efek Compton dan produksi pasangan, dimanakah terjadinya interaksi ini dan berapakah energi yang harus disediakan oleh sinar gamma agar interaksi ini dapat terjadi.
3. Apakah yang disebut dengan konversi internal dan produksi pasangan internal, apakah bedanya dengan efek fotolistrik dan produksi pasangan.
4. Apakah yang disebut dengan isomer, berikan contohnya.
5. Berapakah energi yang tersedia pada
 - (a) Emisi sinar gamma
 - (b) Konversi internal
 - (c) Produksi pasangan internal
6. Sinar gamma dengan energi yang berbeda dijatuhkan pada timah hitam. Dengan menggunakan suatu _spectrometer magnetik diperoleh salah satu grup elektron yang dipancarkan memiliki nilai B_r sebesar 1020 gauss-cm. Jika energi ikat kulit K dari timah hitam adalah 89,1 keV berapakah energi sinar gamma.