

## BAB 5 PELURUHAN ALFA

Peluruhan Alfa ( $\alpha$ ) adalah sebuah proses di mana inti induk (parent) meluruh (disintegrasi) menjadi inti anak (daughter) dan partikel alfa. Partikel alfa adalah inti helium. Peluruhan alfa dapat ditulis dalam persamaan :



Karena inti anak  ${}^{A-4}_{Z-2} Y$  memiliki nomor atom yang berbeda dengan nomor atom inti induk  ${}^A_Z X$  berarti secara kimia inti anak juga berbeda dengan inti induk.

### 5.1. Energetika Peluruhan Alfa

Dalam peluruhan alfa berlaku Hukum Kekekalan Energi dan Hukum Kekekalan Momentum. Energi sistem sebelum dan sesudah peluruhan adalah

$$E_i = E_f \quad (5.2)$$

$$M_p c^2 = M_d c^2 + K_d + m_\alpha c^2 + K_\alpha \quad (5.3)$$

Energi disintegrasi, Q dalam peluruhan alfa ini adalah

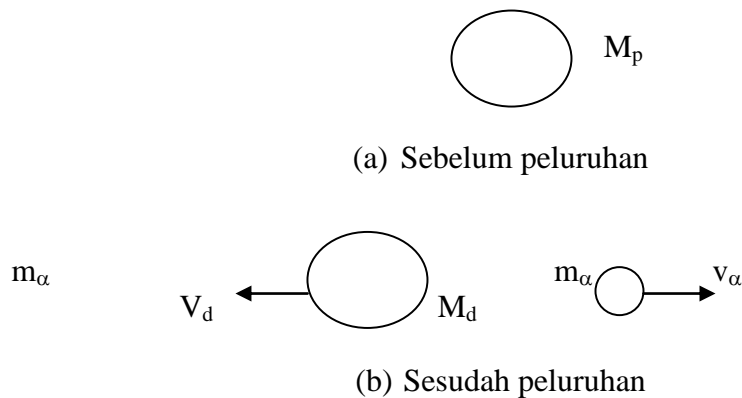
$$Q = K_d + K_\alpha = (M_p - M_d - m_\alpha) c^2 \quad (5.4)$$

#### 5.1.1 Syarat Untuk Peluruhan Spontan

Untuk peluruhan yang spontan, nilai Q haruslah positif. Karena itu dapat diambil kesimpulan bahwa peluruhan alfa hanya akan terjadi bilamana massa diam dari inti induk lebih besar dari jumlah massa diam inti anak ditambah dengan massa partikel alfa. Inti-inti semacam ini bila dilihat dari charta peluruhan nuklir, hanya terdapat pada daerah nomor massa tinggi, sekitar  $\geq 200$ .

Biasanya dalam praktek nilai Q tidak dinyatakan dalam massa inti, tetapi didalam massa atom. Jika dinyatakan dalam massa atom nilai Q adalah

$$Q = [M(A,Z) - M(A-4,Z-2) - m(4,2)] c^2 \quad (5.5)$$



Gambar 5.1 (a) Inti induk dalam keadaan diam sebelum peluruhan. (b) Inti anak dan partikel alfa dipancarkan dalam arah yang berlawanan agar momentum liniernya kekal.

### 5.1.2 Energi Kinetik Partikel Alfa

Energi kinetik partikel alfa  $K_\alpha$  dapat ditentukan dengan menggunakan hukum kekekalan momentum dan hukum kekekalan energi,

$$m_\alpha v_\alpha = M_d V_d \quad (5.6)$$

$$Q = K_d + K_\alpha = \frac{1}{2} M_d V_d^2 + \frac{1}{2} m_\alpha v_\alpha^2 \quad (5.7)$$

dengan menggunakan hukum kekekalan momentum dan mengeliminasi  $V_d$  diperoleh

$$Q = K_\alpha \left( \frac{m_\alpha}{M_d} + 1 \right) \quad (5.8)$$

Dari persamaan ini akan diperoleh

$$K_\alpha = \frac{Q}{1 + (m_\alpha / M_d)} \quad (5.9)$$

Persamaan di atas dapat juga ditulis sebagai

$$K_\alpha = \frac{A-4}{A} |Q| \quad (5.10)$$

dimana A adalah nomor massa inti induk.

Untuk mengukur energi kinetik partikel alfa spektrometer partikel alfa. Jika sebuah partikel alfa bergerak dengan kecepatan  $v$  memasuki medan magnet  $B$  tegak lurus, gaya magnet yang bekerja tegak lurus terhadap lintasan partikel alfa akan berperan sebagai gaya sentripetal terhadap partikel sehingga partikel akan bergerak melingkar dengan persamaan

$$qvB = \frac{mv^2}{R} \quad (5.11)$$

dimana  $R$  adalah jari-jari lintasan. Energi kinetik partikel alfa adalah

$$K = \frac{1}{2} \left( \frac{q}{m} BR \right)^2 \quad (5.12)$$

## 5.2 Pengukuran energi

Penentuan secara akurat dari energi partikel alfa sangat penting, karena (1) untuk memperbaiki teori peluruhan alfa, (2) untuk membentuk skema tingkat energi nuklir yang lebih eksak. Banyak teknik yang digunakan untuk mengukur energi partikel alfa. Metoda yang berikut ini kenyataanya dapat digunakan untuk partikel berat proton, deuteron, dan sejenisnya. Metoda tersebut dikategorikan kedalam : (a) defleksi magnetik, (b) hubungan range-energi, (c) analisis tinggi pulsa.

### 5.2.1 Defleksi magnetik

Salah satu metoda yang paling tua dan paling akurat dalam menentukan energi adalah mengukur defleksi lintasan alfa dibawah pengaruh medan magnet. Jika sebuah partikel bergerak dalam bidang yang tegak lurus terhadap arah medan magnet, partikel akan bergerak dalam lintasan berbentuk lingkaran dengan jari-jari  $r$  yang diperoleh melalui persamaan

$$qvB = mv^2 / r \quad (5.13)$$

Dimana  $B$  adalah induksi magnet,  $q$  dan  $m$  adalah masing-masing muatan dan massa partikel. Kecepatan  $v$  diperoleh

$$v = \frac{q}{m} (Br) \quad (5.14)$$

Dan energi kinetik adalah

$$E_K = \frac{1}{2} mv^2$$

$$E_K = \frac{1}{2} m \left( \frac{q}{m} Br \right)^2 \quad (5.15)$$

### 5.2.2 Hubungan range-energi

Range dari partikel alfa dapat diukur dengan menggunakan kamar kabut, pelat emulsi nuklir atau kamar ion. Nilai range tergantung pada energi kinetik awal dari partikel bermuatan dan jenis material yang menyerap partikel alfa. Jika range ini diukur adalah mungkin untuk memperoleh energi partikel alfa dari hubungan range-energi.

### 5.2.3 Analisis tinggi pulsa

Prinsip dari metoda ini didasarkan pada kenyataan bahwa ukuran dari tinggi pulsa yang dihasilkan sebanding dengan energi partikel alfa. Untuk memperoleh tinggi pulsa ini dapat digunakan : (1) kamar ionisasi atau pencacah sebanding, (2) detector zat padat, (3) pencacah sintilasi

## 5.3. Interaksi Zarah Alfa Dengan Materi

Pengukuran range merupakan metoda yang mudah dan akurat untuk menentukan energi dari partikel bermuatan. Sebuah partikel bermuatan yang bergerak di dalam bahan penyerap akan kehilangan energi kinetiknya oleh interaksi elektromagnetik dengan elektron atom dari bahan penyerap. Jika dalam sebuah tumbukan sebuah elektron memperoleh cukup energi, elektron akan keluar dari atom. Jika tidak, elektron akan tetap di dalam atom. dalam keadaan eksitasi. Kedua keadaan ini akan disebut sebagai ionisasi. Nilai energi rata-rata yang diperlukan untuk ionisasi disebut sebagai potensial ionisasi rata-rata dan disimbolkan dengan  $I$ .

Range partikel alfa didefinisikan sebagai jarak tempuh dari sumber sampai posisi dimana energinya nol. Tergantung dari metoda pengukuran nilai dari range akan berbeda sedikit. Karena itu kita akan mendefinisikan 3 jenis range : range ekstrapolasi, rang rata-rata, dan range ionisasi. Nilai range tergantung pada nilai awal energi kinetik partikel bermuatan, dan jenis bahan penyerap. Sebagai penyerap standar diambil udara pada suhu 15<sup>0</sup>C dan tekanan 750 mmHg.

Pengukuran range dan ionisasi partikel alfa sepanjang lintasannya dapat digunakan untuk menghitung energi awal partikel. Kita akan mendefinisikan ionisasi spesifik sebagai jumlah ionisasi per satuan panjang dari berkas alfa.

#### 5.4. Stopping Power dan Range

Kuantitas lain yang penting yang berkaitan dengan penyerapan partikel bermuatan adalah stopping power, yang didefinisikan sebagai jumlah energi yang hilang per satuan panjang oleh sebuah partikel dalam suatu bahan adalah

$$S(E) = - de/dx = \omega I \quad (5.16)$$

dimana S(E) adalah sebuah fungsi dari energi kinetik, E, dari partikel dan ini berbeda untuk setiap bahan, I adalah ionisasi spesifik rata-rata yang merupakan jumlah pasangan ion yang terbentuk per satuan panjang, dan  $\omega$  adalah energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan sepasang ion. Jika nilai stopping power diketahui maka range rata-rata dapat dihitung

$$R = \int_0^R dx = \int_0^E \left( - \frac{dE}{dx} \right)^{-1} dE = \int \frac{dE}{S(E)} \quad (5.17)$$

Pada pihak lain, jika range rata-rata R dari partikel alfa dalam sebuah medium yang diketahui stopping powernya S(E) diketahui maka energi dapat dihitung

$$E = \int_0^R \omega I dR = \int_0^R \left( - \frac{dE}{dx} \right)^{-1} dR \quad (5.18)$$

Juga mungkin untuk memperoleh stopping power dari suatu bahan, jika diketahui range sebagai fungsi dari energi dalam bahan

$$dR/dE = 1/S(E) \quad (5.18)$$

Pentingnya stopping power terletak pada kenyataan bahwa tidak perlu mengukur stopping power secara eksperimen untuk berbagai bahan, karena dapat dihitung secara teoritis baik secara mekanika klasik maupun secara mekanika kuantum. Energi yang hilang oleh sebuah partikel nonrelativistik per satuan panjang lintasannya adalah

$$S(E) = -dE/dx = (4\pi z^2 e^4 / mv^2) NZ \ln(2mv^2/I) \quad (5.19)$$

dimana  $v$  adalah kecepatan partikel,  $ze$  adalah muatannya, dan  $m$  adalah massa elektron,  $N, Z$ , dan  $I$  masing-masing adalah jumlah atom per satuan volume, nomor atom, dan energi rata-rata ionisasi dari bahan penyerap.

### 5.5. Teori Peluruhan Alfa

Salah satu keberhasilan awal dari mekanika kuantum adalah aplikasinya terhadap teori peluruhan alfa. Prediksi dari teori kuantum berbeda dengan teori klasik. Pada peristiwa hamburan partikel alfa Rutherford partikel alfa yang berenergi 7,68 Mev tidak ada yang dapat menembus potensial barier dari  $U^{238}$ , sementara  $U^{238}$  menghasilkan partikel alfa berenergi 4,20 Mev. Kontradiksi ini dapat dijelaskan dari pandangan mekanika kuantum. Dalam pembahasan efek terobosan seberkas partikel yang berenergi kinetik  $K$  jatuh pada rintangan potensial persegi yang tingginya  $V$  yang lebih besar dari  $K$ . Rasio antara banyaknya partikel yang melewati rintangan dan banyaknya partikel yang datang secara pendekatan besarnya adalah

$$T = e^{-2kL} \quad (5.20)$$

dengan

$$k = \frac{\sqrt{2m(V - K)}}{\hbar} \quad (5.21)$$

dimana  $L$  menyatakan tebal rintangan.

Energi potensial listrik sebuah partikel alfa pada jarak  $x$  dari pusat inti yang bermuatan  $Ze$  adalah

$$V(x) = \frac{2Ze^2}{4\pi\epsilon_0 x} \quad (5.22)$$

Dengan demikian diperoleh

$$k = \frac{\sqrt{2m(V-K)}}{\hbar} = \left(\frac{2m}{\hbar^2}\right)^{1/2} \left(\frac{2Ze^2}{4\pi\epsilon_0 x} - K\right)^{1/2} \quad (5.23)$$

Karena  $V = K$  ketika  $x = R$

$$K = \frac{2Ze^2}{4\pi\epsilon_0 R} \quad (5.24)$$

Sehingga

$$k = \left(\frac{2m}{\hbar^2}\right)^{1/2} \left(\frac{R}{x} - 1\right)^{1/2} \quad (5.25)$$

Jika

$$\ln T = -2kL \quad (5.26)$$

dan dalam bentuk integral

$$\ln T = -2 \int_0^L k(x) dx = -2 \int_{R_0}^R k(x) dx \quad (5.27)$$

maka diperoleh

$$\ln T = -2 \int_{R_0}^R k(x) dx = -2 \left(\frac{2mK}{\hbar^2}\right)^{1/2} \int_{R_0}^R \left(\frac{R}{x} - 1\right)^{1/2} dx \quad (5.28)$$

$$\ln T = -2 \left(\frac{2mK}{\hbar^2}\right)^{1/2} R \left[ \cos^{-1}\left(\frac{R_0}{R}\right)^{1/2} - \left(\frac{R_0}{R}\right)^{1/2} \left(1 - \frac{R_0}{R}\right)^{1/2} \right] \quad (5.29)$$

$$\cos^{-1}\left(\frac{R_0}{R}\right)^{1/2} = \frac{\pi}{2} - \left(\frac{R_0}{R}\right)^{1/2}$$

$$\left(1 - \frac{R_0}{R}\right)^{1/2} = 1$$

sehingga

$$\ln T = -2 \left( \frac{2mK}{\hbar^2} \right)^{1/2} R \left[ \frac{\pi}{2} - 2 \left( \frac{R_0}{R} \right)^{1/2} \right] \quad (5.30)$$

Dari persamaan

$$R = \frac{2Ze^2}{4\pi\epsilon_0 K} \quad (5.31)$$

Sehingga

$$\ln T = \frac{4e}{\hbar} \left( \frac{m}{\pi\epsilon_0} \right)^{1/2} Z^{1/2} R_0 - \frac{e^2}{\hbar\epsilon_0} \left( \frac{m}{2} \right)^{1/2} ZK^{-1/2} \quad (5.32)$$

Dengan memasukkan berbagai besaran dan konstanta diperoleh

$$\ln T = 2,97^{1/2} Z^{1/2} R_0 - 3,95ZK^{-1/2} \quad (5.33)$$

Dari konstanta peluruhan alfa diperoleh

$$\lambda = \nu T = \frac{\nu}{2R_0} T \quad (5.34)$$

Dengan mengambil logaritma alamiah dari kedua ruas dan mensubstitusikan peluang transmisi T didapatkan

$$\ln \lambda = \ln \left( \frac{\nu}{2R_0} \right) + 2,97Z^{1/2} R_0^{1/2} - 3,95ZK^{-1/2} \quad (5.35)$$

Dari hubungan logaritma alamiah dengan logaritma biasa

$$\ln A = \frac{\log_{10} A}{\log_{10} e} = \frac{\log_{10} A}{0,4343}$$

Diperoleh



$$\begin{aligned}\log_{10} \lambda &= \log_{10} \left( \frac{v}{2R_0} \right) + 0,4343 \left( 2,97Z^{1/2} R_0^{1/2} - 3,95ZK^{-1/2} \right) \\ &= \log_{10} \left( \frac{v}{2R_0} \right) + 1,29R_0^{1/2} - 1,72ZK^{-1/2}\end{aligned}\quad (5.36)$$

Plot  $\log_{10} \lambda$  terhadap  $ZK^{-1/2}$  merupakan garis lurus. Kurva ini cocok dengan data eksperimen yang mempunyai tangent atau kemiringan sebesar -1,72. Kemiringan ini juga dapat digunakan untuk menghitung jari-jari nuklir  $R_0$  yang juga sama dengan yang diperoleh dengan menggunakan hamburan nuklir. Hal kedua yang juga penting yang diperoleh dari teori peluruhan alfa ialah adanya peluang dari partikel yang memiliki energi kinetik  $K$  yang lebih kecil dari potensial penghalang  $V$  hal mana tidak mungkin terjadi pada mekanika klasik yang hanya memiliki peluang nol.

## PERTANYAAN DAN SOAL-SOAL

1. Hitunglah kecepatan dan energi kinetik dari inti anak yang dihasilkan dari peluruhan  $U^{238}$ .
2. Hitunglah radius kelengkungan dari partikel alfa yang berenergi 5 Mev dalam kamar kabut yang memiliki induksi magnetik 12.000 gauss.
3. Radionuklida  ${}_{92}^{232}U$  meluruh dengan memancarkan alfa menjadi  ${}_{90}^{228}Th$ .
  - (a) Cari energi yang dilepaskan dalam peluruhan tersebut.
  - (b) Apakah  ${}_{92}^{232}U$  mungkin meluruh menjadi  ${}_{92}^{231}U$  dengan memancarkan neutron
  - (c) Apakah  ${}_{92}^{232}U$  mungkin meluruh menjadi  ${}_{91}^{231}Pa$  dengan memancarkan proton
4. Massa atomik  ${}_{88}^{226}Ra$  adalah 226,02536 u dan energi yang dilepaskan ketika terjadi peluruhan alfa adalah 4,87 Mev.
  - (a) Identifikasi nuklida anak dan cari massa atomiknya.
  - (b) Cari energi partikel alfa dan energi rekoil inti anak
5. Hitunglah medan magnetik relatif yang diperlukan untuk menghasilkan jari-jari yang sama untuk elektron, proton dan partikel alfa yang memiliki energi yang sama yaitu 2 Mev.