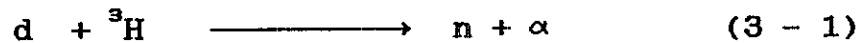


BAB III

METODE PARTIKEL ASSOSIASI

III.1. Kestimbangan Massa Dan Energi Dalam Reaksi D-T

Reaksi penghasil neutron dapat dinyatakan dengan



dimana ${}^3\text{H}$ inti target, d partikel datang, n inti hasil reaksi, dan α partikel hasil reaksi. Dengan menganggap inti target dalam keadaan diam sehingga energi kinetiknya nol. Dimana energi total partikel adalah jumlah energi diam dan energi kinetiknya. Sehingga energi total reaksi inti dapat dinyatakan sebagai

$$(E_d + m_d c^2) + M_{{}^3\text{H}} c^2 = (E_n + M_n c^2) + (E_\alpha + m_\alpha c^2) \quad (3 - 2)$$

Pada persamaan (3 - 2), m_d , $M_{{}^3\text{H}}$, m_α , dan M_n menyatakan massa partikel datang, massa inti target, massa partikel hasil, dan massa inti hasil; E menyatakan energi kinetik. Nilai Q yang merupakan perbedaan energi kinetik hasil reaksi dan partikel datang,

$$Q = E_n + E_\alpha - E_d \quad (3 - 3)$$

Ruas kanan persamaan (3 - 3) dapat dinyatakan dalam massa melalui hubungan persamaan (3 - 2),

$$E_n + E_\alpha - E_d = (M_{H^3} + m_d - M_n - m_\alpha)C^2 \quad (3 - 4)$$

Dari persamaan (3 - 3) dan (3 - 4),

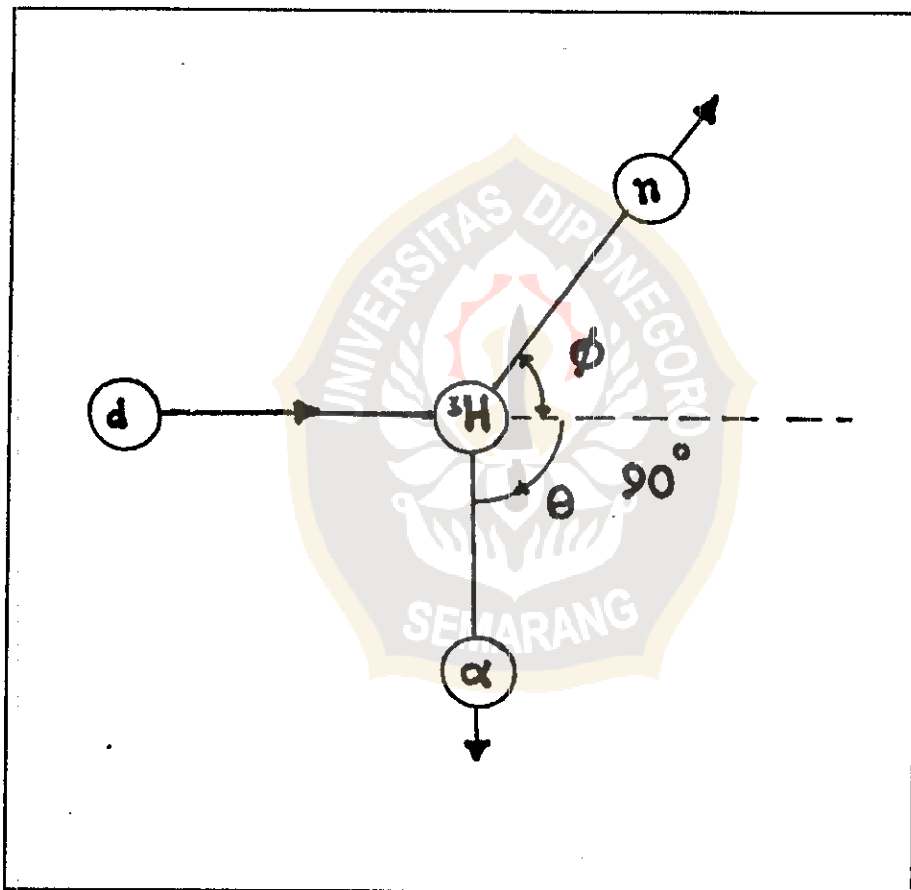
$$Q = E_n + E_\alpha - E_d = (M_{H^3} + m_d - M_n - m_\alpha)C^2 \quad (3 - 5)$$

Q - value , dapat ditentukan dari perbedaan energi atau dari perbedaan massa dalam persamaan (3 - 5).

Jika harga Q positif, energi kinetik hasil reaksi adalah lebih besar dari energi kinetik sebelum reaksi; reaksi ini kemudian disebut eksotermik atau eksoergik. Massa total sebelum reaksi adalah lebih besar dari hasil reaksi. Jika harga Q negatif, reaksi disebut endotermik atau endoergik. Dari persamaan (3 - 5) jelas bahwa analisis reaksi inti dapat memberikan informasi tentang massa inti, energi partikel atau nilai Q.

Pernyataan E_n pada persamaan (3 - 5) menyatakan energi

recoil dari inti hasil reaksi. Energi recoil ini biasanya kecil dan sulit diukur, tetapi dapat dibuktikan dengan menghitung momentum reaksi. Untuk menyederhanakan masalah ini partikel hasil (α) diamati pada sudut 90° dari arah berkas proyektil (d), pada sumbu-X, seperti dalam Gambar 3 - 1.



Gambar 3 - 1 . Konversasi momentum reaksi inti. Partikel hasil ditinjau pada sudut 90° dari arah partikel datang.

Karena momentum setelah tumbukkan harus searah sumbu-X, maka

$$m_d v_d = M_n V_n \cos \phi \quad (3 - 6)$$

$$m_\alpha v_\alpha = M_n V_n \sin \phi \quad (3 - 7)$$

dimana v_d , v_α , dan V_n adalah kecepatan partikel datang, partikel yang terlempar, dan inti recoil inti hasil. Bila kedua persamaan (3 - 6) dan (3 - 7) dikuadratkan dan ditambahkan, hasilnya adalah

$$(m_d v_d)^2 + (m_\alpha v_\alpha)^2 = (M_n V_n)^2$$

Jika $E_d = \frac{1}{2} m_d v_d^2$, $E_\alpha = \frac{1}{2} m_\alpha v_\alpha^2$, $E_n = \frac{1}{2} M_n V_n^2$ maka nilai untuk E_n dan E_α , adalah

$$E_n = \frac{m_d}{M_n} E_d + \frac{m_\alpha}{M_n} E_\alpha \quad (3 - 8)$$

$$E_\alpha = \frac{M_n}{m_\alpha} E_n - \frac{m_d}{m_\alpha} E_d \quad (3 - 9)$$

Pensubstitusian persamaan (3 - 8) ke dalam persamaan (3 - 5) menghasilkan persamaan (3 - 10) dan (3 - 11)

$$Q = E_{\alpha} \left(1 + \frac{m_{\alpha}}{M_n} \right) - E_d \left(1 - \frac{m_d}{M_n} \right) \quad (3 - 10)$$

$$Q = E_n \left(1 + \frac{M_n}{m_{\alpha}} \right) - E_d \left(1 - \frac{m_d}{m_{\alpha}} \right) \quad (3 - 11)$$

Pada kasus yang lebih umum sebuah reaksi dimana partikel hasil diamati pada sudut θ dari arah berkas partikel datang, nilai Q dapat dinyatakan dengan

$$Q = E_{\alpha} \left(1 + \frac{m_{\alpha}}{M_n} \right) - E_d \left(1 - \frac{m_d}{M_n} \right) - \frac{2}{M_n} (E_d E_{\alpha} m_d m_{\alpha})^{1/2} \cos \theta \quad (3 - 12)$$

$$Q = E_n \left(1 + \frac{M_n}{m_{\alpha}} \right) - E_d \left(1 - \frac{m_d}{m_{\alpha}} \right) - \frac{2}{m_{\alpha}} (E_d E_n m_d M_n)^{1/2} \cos \theta \quad (3 - 13)$$

Dari persamaan (3 - 12) dan (3 - 13) diperoleh nilai energi alpha E_{α} dan energi neutron E_n sebagai fungsi dari Q , θ , m_d , m_{α} dan M_n

$$E_{\alpha}^{1/2} = [(m_d m_{\alpha} E_d)^{1/2} \cos \theta + \{m_d m_{\alpha} E_d \cos^2 \theta + (M_n + m_{\alpha}) [M_n Q$$

$$+ (M_n - m_d)E_d]^{1/2}] (M_n + m_\alpha)^{-1} \quad (3 - 14)$$

$$E_n^{1/2} = [(m_d M_n E_d)^{1/2} \cos \theta + (m_d M_n E_d \cos^2 \theta + (M_n + m_\alpha)[m_\alpha Q + (m_n - m_d)E_d]^{1/2}] (M_n + m_\alpha)^{-1} \quad (3 - 15)$$

Dari persamaan (3 - 14) dan (3 - 15) tersebut diatas didapatkan Tabel 3 - 1.

Reaksi yang menghasilkan $Q > 0$, mengubah energi ikat inti menjadi energi kinetik dari α dan n . Reaksi yang menghasilkan $Q < 0$ memerlukan masukan energi dalam bentuk energi kinetik d untuk diubah menjadi energi ikat inti.

Pada reaksi endoergik, kita sekurang-kurangnya harus memasok sejumlah energi kinetik tertentu agar terjadi reaksi. Dengan demikian terdapat nilai minimum atau ambangbagi energi kinetik d . Bila energi kinetik ini lebih kecildari pada energi ambang, maka reaksi tidak dapat berlangsung.

Jika M_c dan V_c menyatakan massa dan kecepatan inti gabung, konservasi momentum yang dibutuhkan

$$m_d v_d = M_c v_c, \text{ atau } v_c = \frac{m_d}{M_c} v_d .$$

Tabel 3 - 1. Energi partikel hasil reaksi yang diemisikan oleh reaksi ${}^3\text{H}(d,n){}^4\text{He}$ (Sztaricski T, 1983).

Partikel Hasil Reaksi	Energi Deuteron Penembak (MeV)	Energi Partikel Hasil Reaksi (MeV)		
		0°	90°	180°
n dari reaksi D-T	0,050	14,554	14,068	13,599
	0,100	14,783	14,088	13,432
	0,150	14,960	14,108	13,304
	0,200	15,117	14,128	13,203
	0,250	15,259	14,148	13,117
	0,300	15,390	14,167	13,042
${}^4\text{H}$ dari reaksi D-T	0,050	4,041	3,531	3,086
	0,100	4,261	3,520	2,910
	0,150	4,436	3,551	2,779
	0,200	4,587	3,501	2,672
	0,250	4,723	3,491	2,581
	0,300	4,848	3,481	2,499

Energi kinetik partikel neutron yang diperlukan untuk eksitasi inti gabung adalah

$$\begin{aligned} -Q &= \frac{1}{2} m_d v_d^2 - \frac{1}{2} M_c v_c^2 \\ &= \frac{1}{2} m_d v_d^2 \left(1 - \frac{m_d}{M_c} \right) \end{aligned}$$

Karena $M_c = M_{H^3} + m_d$ dan

$$(-Q) = \frac{1}{2} m_d v_d^2 \left(\frac{M_{H^3}}{M_{H^3} + m_d} \right)$$

maka energi ambang reaksinya adalah

$$E_{th} = \frac{1}{2} m_d v_d^2 \left(\frac{M_{H^3}}{M_{H^3} + m_d} \right) \quad (3 - 16)$$

III.2. Laju Emisi Partikel Alpha Asosiasi Reaksi D-T

Kuat sumber absolut reaksi ${}^3\text{H}(d,n){}^4\text{He}$ dan ${}^2\text{H}(d,n){}^3\text{He}$ dapat diukur dengan ketelitian kurang dari 0,5 % dengan menggunakan metode partikel asosiasi (MPA) yaitu dengan mengamati partikel ${}^4\text{He}$ dan ${}^3\text{He}$ dari reaksi D-T dan D-D, dengan detektor alpha pada sudut ruang yang diberikan.

Dalam reaksi ${}^3\text{H}(d,n){}^4\text{He}$, sebuah partikel alpha muncul secara simultan dengan neutron. Energi kinetiknya tergantung dari emisi neutron yang teremisikan dan pada energi deuteron $E_d = 0$, energi alpha $E_\alpha = 3,49$ MeV yang berlaku untuk semua arah.

Laju emisi partikel alpha yang terdeteksi pada rentang sudut $\Delta\Omega$ yang dibentuk oleh detektor alpha secara empiris adalah berbanding lurus dengan produksi neutron total (n per detik), sudut ruang, efisiensi instrinsik detektor dan berbanding terbalik dengan faktor geometri bola

$$N_\alpha \approx k \frac{F \Omega \varepsilon(E)_{in}}{4\pi} \quad (3 - 17)$$

atau

$$N_\alpha \approx k \frac{\Omega \varepsilon(E)_{in}}{4\pi} \phi \frac{N_a}{A} \int_{E_T}^{E_{max}} \frac{\sigma(E) dE}{[(1/\rho)(dE/dx)]} \quad (3 - 18)$$

dengan E_T energi ambang reaksi, E_{max} energi partikel datang, ϕ laju partikel datang (deuteron), ρ rapat massa material matriks target, σ tampang lintang reaksi D-T, dE/dx stopping power dan $k = f_a f_c$ faktor koreksi partikel alpha yang mengandung faktor serapan diri alpha diudara dan faktor

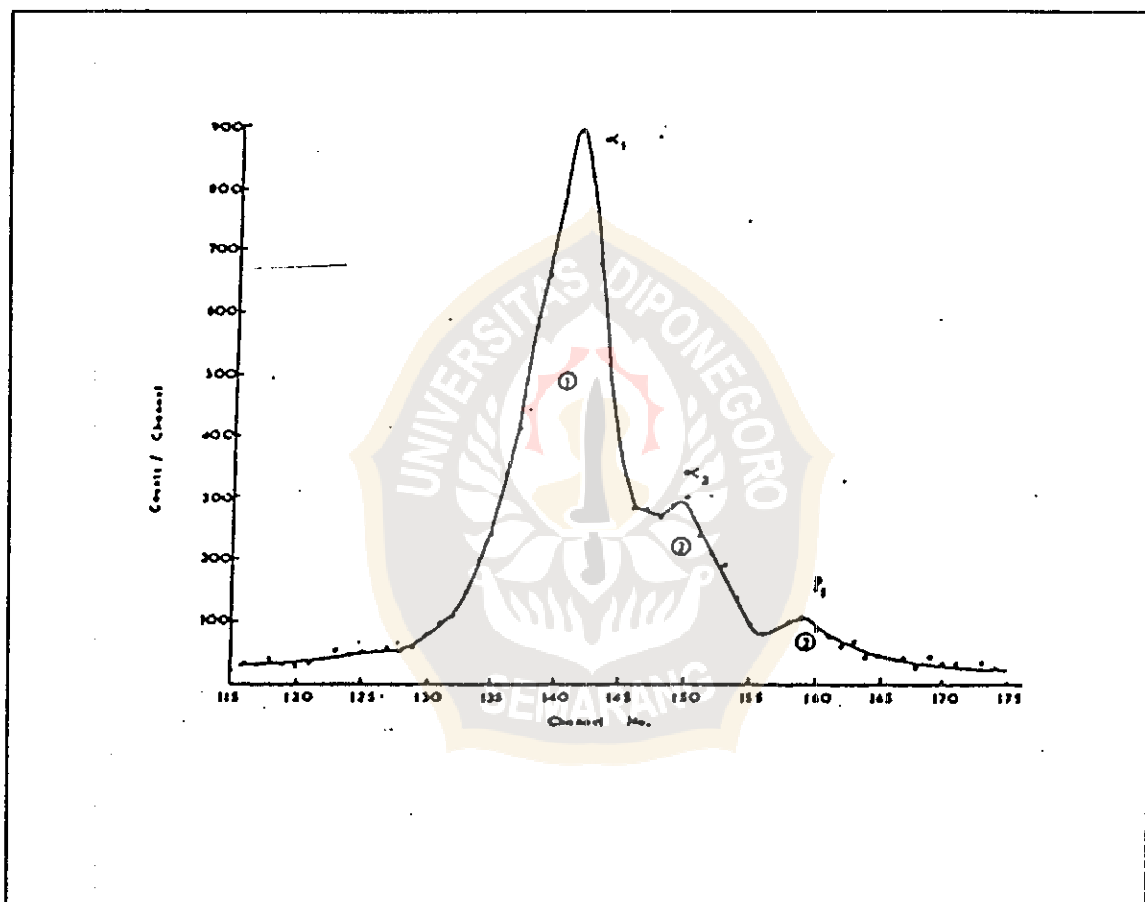
serapan alpha oleh kolimator.

III.3. Aplikasi Metode Partikel Asosiasi

Metode partikel asosiasi secara luas telah digunakan untuk menentukan laju emisi neutron absolut (Sztzricski T, 1983). Partikel alpha yang telah diemisikan oleh reaksi ${}^3\text{H}(d,n){}^4\text{He}$ terdeteksi dengan baik pada sudut ruang yang telah ditentukan di sekitar sudut emisi yang telah diberikan oleh berkas deuteron datang. Kesalahan hasil neutron terminimalikan untuk partikel alpha yang membentuk sudut 90° terhadap berkas deuteron datang. Pada geometri ini pelebaran energi neutron sangat rendah (Sztzricski T., 1983). Secara umum detektor sawar muka-Si telah digunakan untuk mendeteksi partikel alpha.

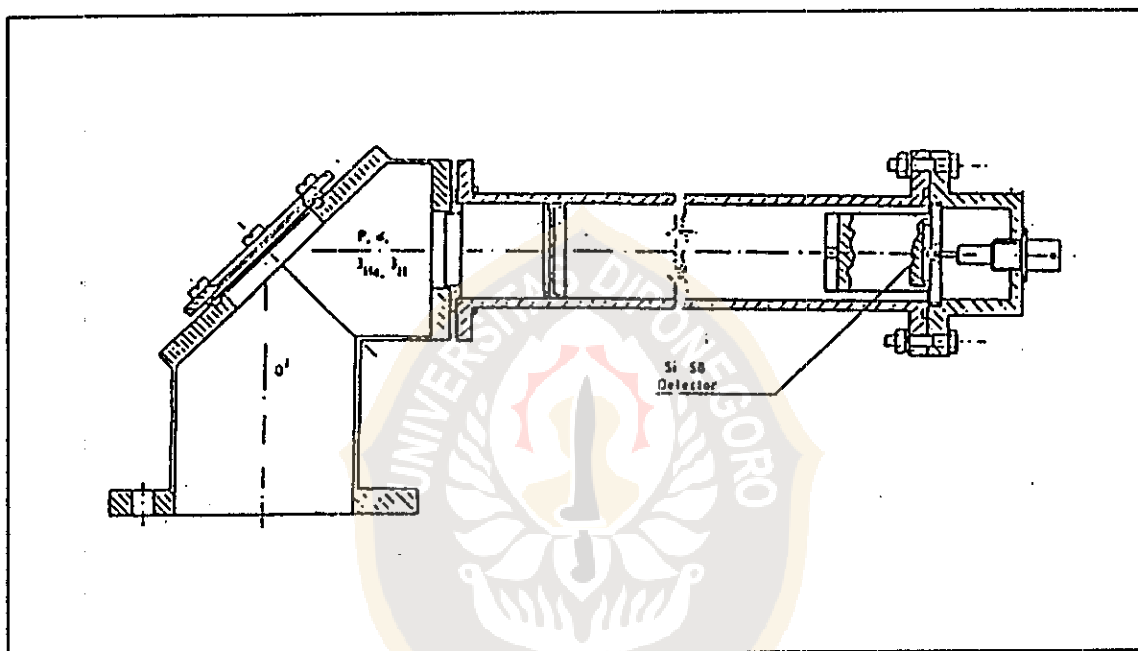
Beberapa detektor sawar muka memiliki resolusi energi yang sangat baik dibandingkan dengan detektor sintilator yang memberikan pengukuran deuteron atau penambahan helium ke dalam target. Tritium bersifat radioaktif, dan akan meluruh menjadi ${}^3\text{He}$ dengan mengemisikan beta. Dalam selang waktu satu tahun 6 % tritium akan berubah menjadi ${}^3\text{He}$ yang menghasilkan background pada detektor partikel alpha asosiasi dari reaksi ${}^3\text{He}(d,p){}^4\text{He}$ (Sztzricski T., 1983). Gambar 3 - 2

memperlihatkan spektrum partikel asosiasi disekitar puncak alpha untuk target tritium yang sudah tua pada penembakan deuteron berenergi 400 keV. Puncak 1, 2 berhubungan dengan partikel alpha dari reaksi ^3H dan ^3He .



Gambar 3 - 2. Efek distribusi reaksi $^3\text{He}(d,p)^4\text{He}$ dan $^2\text{H}(d,p)^3\text{H}$ pada spektrum partikel asosiasi.

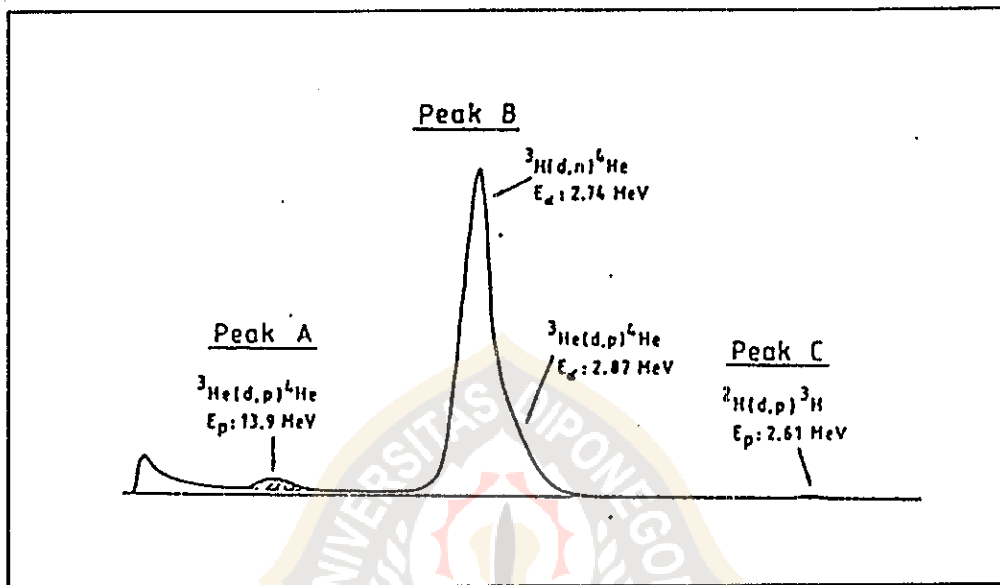
Berdasarkan pada kepala target partikel asosiasi, neutron yang dihasilkan dan terkontaminasinya spektrum neutron dari reaksi D-T dapat ditentukan dengan mengamati spektrum partikel bermuatan. Pengukuran spektrum partikel



Gambar 3 - 3 . Bagian kepala target partikel asosiasi.

bermuatan dengan detektor semikonduktor sawar muka dapat memberikan informasi kondisi target tritium dan background neutron. Ciri spektrum metode partikel asosiasi diperlihatkan secara berurutan puncak partikel alpha dan

proton dari reaksi ${}^3\text{H}(d,n){}^4\text{He}$, ${}^3\text{He}(d,p){}^4\text{He}$ dan ${}^2\text{H}(d,p){}^3\text{H}$,
 ${}^3\text{He}(d,p){}^4\text{He}$ (Sztaricski T., 1983).



Gambar 3 - 4 . Tipe distribusi tinggi pulsa dari partikel bermuatan yang dideteksi dengan detektor sawar muka.