

REAKSI INTI DALAM ANALISA UMUR BATUAN



DISUSUN OLEH

Drs. ASRUL, M. A

~~Drs. LETMI DWIRIDAL~~

MILIK PERPUSTAKAAN IKIP PADANG	
TANGGAL	5 - 10 - 95
NO. DAFTAR	11
KETERANGAN	KK1
NO. DAFTAR	1677 / h / 95 - 1112
NO. DAFTAR	530 asr 01

JURUSAN PENDIDIKAN FISIKA

FAKULTAS PENDIDIKAN MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

INSTITUT KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN PADANG

1995

MILIK UPT PERPUSTAKAAN  
IKIP PADANG

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah S.W.T., atas petunjuk dan kekuatan yang diberikan-Nya, tulisan ini dapat disusun sebagai salah satu sumber bacaan bagi Dosen dan Mahasiswa dalam memahami problema yang berkaitan dengan reaksi inti.

Adapun tulisan ini diberi judul "Reaksi Inti dalam Analisa Umur Batuan" yang membahas permasalahan : reaksi inti, kebolehjadian reaksi inti, ketakpastian energi, penggunaan mekanika kuantum dalam menjelaskan peluruhan sinar  $\alpha$ , dan analisa umur batuan.

Dalam menyelesaikan tulisan ini penulis banyak mendapatkan bimbingan dan saran dari berbagai pihak, maka dalam kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya.

Penulis menyadari bahwa tulisan ini belum mencapai bentuk kesempurnaan, untuk itu kritik dan saran-saran dari berbagai pihak sangat diharapkan, untuk kesempurnaan isi buku ini.

Padang, Januari 1995

Penulis

## DAFTAR ISI

	hal
Kata Pengantar .....	ii
Daftar Isi .....	iii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
A. Aspek-aspek Empiris dan Teoritis .....	1
B. Kegunaan Reaksi Inti .....	4
1. Dari Segi Eksperimen .....	4
1. Dari Segi Teori .....	5
<b>BAB II KEBOLEHJADIAN REAKSI INTI</b>	
A. Kebolehjadian Reaksi Inti .....	8
B. Ketakpastian Energi .....	11
1. Ketakpastian Elektron .....	11
2. Ketakpastian Proton .....	13
C. Alasan Elektron tak Terdapat dalam Inti .....	14
1. Ukuran Nuklir .....	14
2. Spin Nuklir .....	15
3. Momen Magnetik .....	16
4. Interaksi Nuklir Elektron .....	16
D. Energi Ikat Inti .....	17
<b>BAB III PENGGUNAAN MEKANIKA KUANTUM DALAM MENJELASKAN PELURUHAN SINAR <math>\alpha</math></b>	
A. Kinematika Peluruhan Sinar $\alpha$ .....	21
B. Spektrum Energi Partikel $\alpha$ .....	23
C. Teori Kuantum Peluruhan $\alpha$ .....	25

D. Teori Gamow Gurnei dan Kondou .....	30
E. Model Partikel $\alpha$ .....	32
<b>BAB IV AKSELERATOR</b>	
A. Akselerator Tegangan Tinggi .....	36
1. Akselerator Cockroft - Walton .....	36
2. Akselerator Van - De Graff .....	39
B. Akselerator Tegangan Rendah .....	41
C. Akselerator Linier .....	42
D. Akselerator Orbit .....	44
1. Betatron .....	44
2. Siklotron .....	46
<b>BAB V PENGGUNAAN INTI RADIOAKTIF</b>	
A. Penentuan Umur Batuan .....	50
1. Hukum Superposisi .....	50
2. Metode Fosil .....	51
3. Prinsip Hubungan Saling	
Memotong .....	52
4. Metode Radiometri .....	54
B. Tinjauan Radioaktivitas .....	55
C. Radioaktivitas dalam Geologi .....	58
1. Penerapan Radioaktivitas Untuk	
Penentuan Umur Batuan .....	58
2. Radiometri pada Batuan Sedimen .....	62
D. Penentuan Umur Mutlak Batuan Sedimen	
dengan Metode Rubidium Stronsium .....	70
1. Geokimia Rubidium dan Stronsium .....	70

2. Keberadaan Isotop Rubidium dan Stronsium .....	72
3. Evolusi Glaukonit .....	74
4. Tahap Persiapan Analisa .....	78
5. Radiometri Batuan dengan Metode Rubidium dan Stronsium .....	83
6. Permasalahan Metode Rubidium dan Stronsium pada Glaukonit .....	86
E. Analisa Umur Air Tanah .....	88
F. Radiokarbon Dating .....	93
1. Penentuan Kandungan Radiokarbon di dalam Air Tanah .....	93
2. Metodologi .....	94

DAFTAR PUSTAKA

# BAB I

## PENDAHULUAN

### A. ASPEK-ASPEK EMPIRIS DAN TEORITIS

Inti merupakan zarah mikroskopik dengan ukuran jari-jari ( $r$ ) mendekati  $10 \text{ fm}$  ( $10^{-12} \text{ m}$ ) yang mengharuskan menelaah mekanikanya dengan pendekatan Mekanika Kuantum yang ciri-cirinya menyimpang dari Mekanika Klasik menurut Newton/ Lagrange/Hamilton.

Ditinjau dari pendekatan klasik ada beberapa para-meter yang berkaitan dengan inti, yakni:

- 1).  $Z$  = nomor atom atau cacah proton yang dapat ditentukan dengan hamburan Rutherford zarah  $\alpha$  atau elektron, spektroskopi sinar-X, spektroskopi massa.
- 2).  $A$  = nomor massa atau cacah nukleon (proton dan neutron) dalam inti

$$A = Z + N$$

- 3).  $M$  = massa inti  $\sim Z m_p + N m_N - E_B$  (dalam MeV)

$$< Z m_p + N m_N$$

$$m_p = \text{massa proton,}$$

$$m_N = \text{massa netron}$$

$$E_B = \text{tenaga ikat inti } > 0$$

Dari hubungan point (1), berdasarkan nilai  $M$ ,  $Z$ ,  $m_p$  dan  $m_N$  dapat ditentukan nilai  $N$  dan  $E_B$  dan juga nomor massa, yakni;

$$A = Z + N \quad (1 - 1)$$

- 5). Tingkat tenaga inti  $E < 0$  (karena inti merupakan sistem terikat), ( $E = -E_b$ ) mulai dari tingkatan dasar  $E_0$  (bond level) sampai tingkatan-tingkatan tereksitasi. yang dapat ditentukan dengan spektroskopi nuklir.
- 6). Momen magnet, momen kuadropol listrik.
- 7). Momentum sudut orbit,

$$\vec{L} = \sum_{i=1} \vec{r}_i \times \vec{p}_i$$

(dijumlahkan meliputi nukleon)

Sedangkan bila ditinjau dengan pendekatan Mekanika Kwantum ada beberapa parameter mengenai inti, yakni:

- 1). Spin inti - merupakan momentum sudut total inti dalam kerangka rehat yang ditentukan dengan percobaan.
- 2). Paritas inti - dan diperlukannya fungsi gelombang ( $f.g$ ) untuk deskripsi keadaan inti. Paritas menentukan perubahan tanda  $f.g$  apabila vektor letak nukleon  $r_i \rightarrow Fc$ .
- 3). Umur inti bagi inti radioaktif  $T_{1/2}$  (half) atau  $\tau$  (mean life). Gejala radioaktivitas yang terjadi secara spontan hanya dapat dijelaskan secara kuantitatif sebagai alih keadaan inti awal ke inti akhir dengan menggunakan dinamika Mekanika Kuantum

→ (rad,  $\beta$ ,  $\gamma$ ). Teori usikan (perturbasi) yang gayut waktu dan Teori Penerobosan Tanggul Potensial (Radioaktivitas). Demikian juga gejala Reaksi nuklir.

Selanjutnya juga ada beberapa ciri khusus Mekanika Kuantum, yaitu:

- 1). Tidak semua observabel (parameter gerak) sistem dapat diukur serempak atau dihadirkan bersama dengan pasti. ( $\Delta$  observabel = ketakpastian = 0).
- 2). Observabel-observabel yang dapat dihadirkan secara serempak bersama-sama akan mencirikan keadaan kuantum sistem yang disajikan sebagai fungsi gelombang dengan nilai pasti observabel tersebut sebagai parameter  $\psi_{a_1, a_2}$

- 3). Observabel diwakili oleh suatu operator yang bekerja pada fungsi gelombang. Dua observabel yang tak dapat dihadirkan serempak tak komutatif

$$\hat{\sigma}_1 \hat{\sigma}_2 = \hat{\sigma}_2 \hat{\sigma}_1 \quad (1 - 2)$$

Sedangkan dua observabel yang dapat dihadirkan serentak dengan pasti ( $\Delta\sigma_1 = \Delta\sigma_2 = 0$ ). → komutatif

$$\hat{\sigma}_1 \hat{\sigma}_2 = \hat{\sigma}_2 \hat{\sigma}_1 \quad (1 - 3)$$

- 4). Metode kuantum yang memungkinkan pengukuran pasti suatu observabel beroperasi  $\hat{A} \rightarrow \psi_a$  memenuhi



persamaan eigenvalue :

$$\hat{A} \psi_a = a \psi_a \quad (1 - 4)$$

$\psi_a$  = eigenstate dari  $\hat{A}$ .

5). Spektrum nilai { a } dapat bersifat kontinu atau diskret.

Diskret : bila  $\hat{A}$  memuat unsur-unsur yang tak komutatif misalnya :

$$\hat{A} \longrightarrow \hat{L}^2 = \hat{L}_x^2 + \hat{L}_y^2 + \hat{L}_z^2$$

dengan

$$\hat{L}_x \hat{L}_y = \hat{L}_y \hat{L}_x$$

Kontinu : bila unsur-unsur yang terkandung dalam  $\hat{A}$  komutatif, misalnya :

$$\hat{A} \longrightarrow r = \hat{x} \hat{i} + \hat{y} \hat{j} + \hat{z} \hat{k}$$

dengan

$$\hat{x} \hat{i} = \hat{y} \hat{j}$$

dan

$$\hat{x} \hat{i} = \hat{z} \hat{k}, \quad \hat{i}, \hat{j} \text{ dan } \hat{k} \text{ adalah vektor satuan.}$$

## B. KEGUNAAN REAKSI INTI

1. Dari segi eksperimen

Dasar : - pengukuran kinematis  
- pengukuran  $\frac{dr}{d\omega}$  dan  $r$

- pengukuran polarisasi
- pengukuran spektroskopi radiasi

a). Menentukan parameter = A (distribusi muatan listrik, massa, paritas, momen multipole listrik

dan magnet).

- b). Menentukan tingkatan-tingkatan tenaga B dan pembuatan decay sehemanya.
- c). Penyelidikan pelanggaran terhadap hukum-hukum kekekalan yaitu seberapa kuat (kekekalan massa, muatan, momen sudut, momen linear, massa dan energi).
- d). Produksi partikel tenaga tinggi untuk penyelidikan lanjut  $\rightarrow$  inti baru (unsur baru).

## 2. Dari segi teori

Dasar: - Perhitungan fungsi-fungsi gelombang menurut M.K. untuk berbagai macam "nuclear force"  
 - Perhitungan berbagai arservabel nuklir dengan menggunakan fungsi gelombang yang telah didapatkan di atas terutama yang berhubungan dengan hasil-hasil reaksi inti (tampang lintang, polarisasi, korelasi sudut, form factors, tingkat tenaga dan lain-lain.

- a). Macam-macam nuclear force yang acceptable.
- b). Macam-macam nuclear mode yang acceptable.
- c). Metode Pendekatan teoritis yang mungkin.
- d). Macam-macam hukum kekekalan dan simetri yang berlaku.
- e). Meramalkan proses-proses tertentu yang belum pernah terjadi dan teramati.

f). Mengembangkan teori banyak partikel (many body).

\* Sumber-sumber Partikel Projektil: apabila  $\alpha$  berupa neutron ( $n$ ) dengan tenaga Kinetik  $K_n$ .

$K_n < 1 \text{ KeV} \rightarrow$  neutron termal: dari kolom reaktor

$K_n = 1 \text{ KeV} - 120 \text{ KeV}$  ; menunjukkan variasi  $\sigma_n$

hasil reaksi endoergik  ${}^7\text{Li} (p,n) {}^7\text{Be}$

dengan  $K_p > K_{\text{ambang}} (p) = 1,881 \text{ MeV}$

(arah ke depan  $\rightarrow 120 \text{ KeV}$ ).

$K_n = 120 \text{ KeV} - 600 \text{ KeV}$  : reaksi serupa dengan

$K_p > K_{\text{ambang}}$

$(0,6 - 4) \text{ MeV}$  : reaksi  ${}^3\text{H} (p,n) {}^3\text{He}$

$K_{\text{ambang}} = 1,019 \text{ MeV}$

$(4 - 9) \text{ MeV}$  : reaksi eksoergik  ${}^2\text{H} (d,n) {}^3\text{He}$

$Q = 3,265 \text{ MeV}$ , dapat juga di-

peroleh pada reaksi;  ${}^9\text{Be}(\alpha,n){}^{12}\text{C}$ ,

${}^{12}\text{C}(\alpha,n){}^{16}\text{O}$ ;  ${}^{14}\text{N}(\alpha,n){}^{15}\text{O}$  tetapi

yield rendl.

$(12 - 27) \text{ MeV}$  : reaksi eksoergik  ${}^3\text{H}(d,n){}^4\text{He}$  dan

${}^3\text{H}(t,n){}^4\text{He}$  dengan  $Q = 17,578 \text{ MeV}$

dalam generator elektrostatik,

misalnya Coekraft-Walton

$(K_n \sim 14 \text{ MeV})$

Sasaran yang diperlukan untuk generasi  $n$  di atas :

Li = dengan jalan menguapkan Li dalam hampa dan

seterusnya diembunkan pada lempeng walfram

atau tantalum.

d,t = dalam bentuk gas cell dengan jalan diadsorbsi-kan pada lapisan-lapisan zirconium atau metal lain.

- \* a. berupa zarah bermuatan  $\rightarrow \alpha$  dari zat radioaktif  $-\alpha$ , dapat juga berupa;  $e^-$ , p, d, t dan inti-inti ringan yang dapat diperoleh dari Accelerator.

## BAB II

### KEBOLEHJADIAN REAKSI INTI

#### A. KEBOLEHJADIAN REAKSI INTI

Kebolehjadian reaksi berlangsungnya suatu reaksi inti digambarkan (dinyatakan) dalam suatu besaran yang dinamakan "Cross Section" ( $\sigma$ )

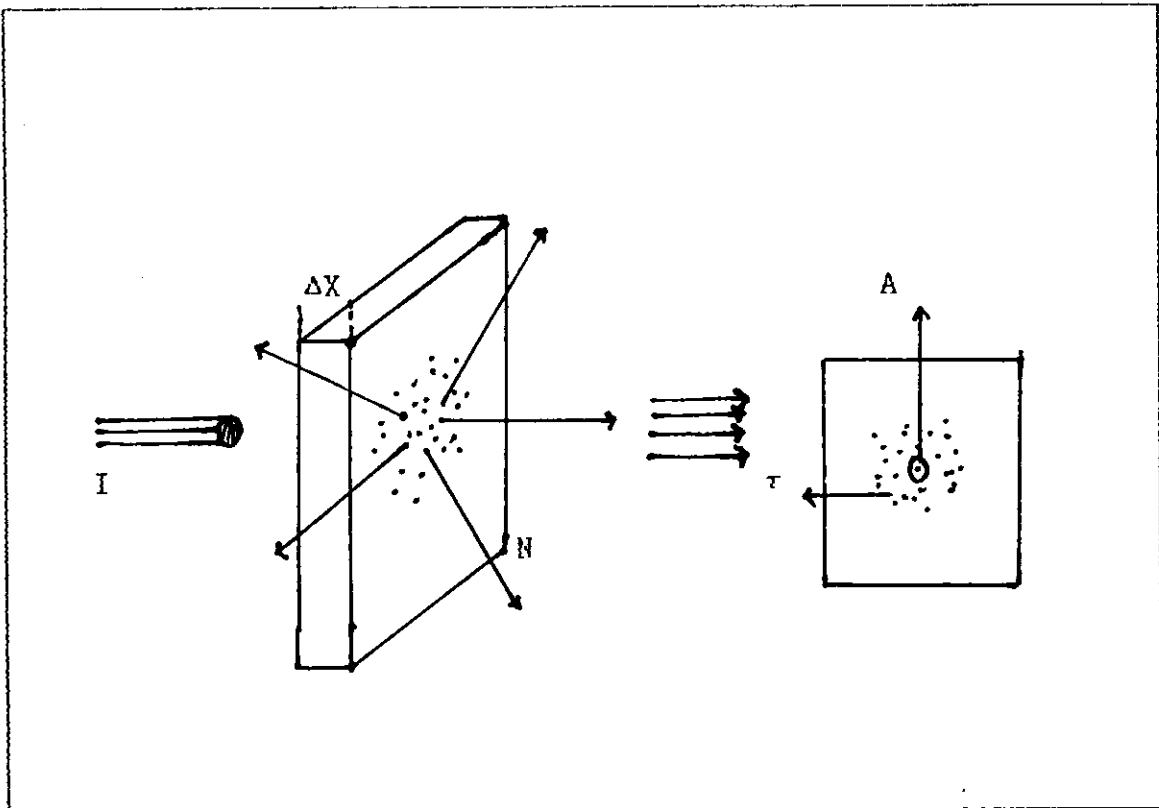
definisi: ukuran kebolehjadian reaksi per target nucleus, ia merupakan luasan fiktif dan tidak harus ada hubungan dengan luas penampang  $\pi R^2$  dari inti target.

Dapat juga dikatakan kebolehjadian reaksi inti dengan perbandingan  $N/I$  ;

$N$  = partikel hasil ;

$I$  = beam partikel proyektil persatuan waktu yang terdistribusi secara merata meliputi luasan  $A$ .

Sehingga bila reaksi inti menghasilkan  $N$  buah partikel per detik, dapat dibayangkan bahwa untuk setiap inti target terdapat suatu luasan  $\sigma$  ( $\perp$  arah beam). Sedemikian sehingga apabila pusat proyektil menumbuk target dalam daerah  $\sigma$ , terjadi "reaksi inti". Apabila pusat proyektil diluar  $\sigma$ , maka tak terjadi reaksi inti.



Gambar 2.1. Proses kebolehdjadian reaksi inti.

Besaran  $N/I$  tergantung pada kerapatan target dan tebal target  $\Delta x$ , sedang  $\tau$  berkaitan dengan setiap inti. Maka kebolehdjadian setiap proyektil menghasilkan reaksi  $N/I$  dan sama dengan total cross-section untuk semua target dalam daerah  $A$  (dilihat dari arah beam), dibagi dengan  $A$

Apabila  $n$  target/unit vol =  $n A \Delta x$  inti dalam jangkauan setiap proyektil, setiap target  $\rightarrow \tau$

$$\frac{N}{I} = \frac{n A \Delta x \tau}{A}$$

$$\tau = \frac{N}{(I/A)(n A \Delta x)} \quad (2 - 1)$$

$\tau$  = merupakan jumlah partikel hasil per satuan waktu, per unit luas beam (flux) datang dan per unit inti target. Satuan  $\tau = \text{cm}^2$  atau born

$$(1 \text{ b} = 10^{-24} \text{ cm}^3)$$

Pada perhitungan teoritis  $\Delta x$  dipilih sehingga  $n A \Delta x = 1$  sehingga flux dapat ditulis :

$$\frac{I}{A} = n_a v_a \quad (2 - 2)$$

$n_a$  = jumlah proyektil per unit volume

$v_a$  = kecepatan relatif proyektil terhadap target

Disamping itu partikel hasil  $N$  dapat ditulis :

$$N = n \tau \Delta x I \text{ (slab, tipis)} \longrightarrow \text{beam tetap}$$

Bila slab tebal  $\longrightarrow$  beam berkurang dengan tebal  $dx$ , maka

$$dN = - dI$$

$$= n \tau \Delta x I$$

$$I_t = I_0 e^{-n\tau t} \quad (2 - 3)$$

keterangan

$t$  = tebal slab.

$n\tau$  = koefisien atenuasi linear

$I_t/I_0$  = transmisi slab.

Contoh : bila  $\tau = 0,1$  b, interaksi pada 1 atmosfer dalam cloud chamber ( $n = 3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ;  $\Delta x = 10 \text{ cm}$ ).

$$\text{Maka } \frac{N}{I} \sim 3 \times 10^{19} \times 0,1 \times 10^{-24} \times 10$$

$$\sim 3 \times 10^{-5} \rightarrow \text{orde besar kebolehjadian}$$

reaksi secara eksperimen.

Pada sampel pada,  $n \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$

## B. KETAKPASTIAN ENERGI

Ketidakpastian energi  $\Delta E$  dapat dikemukakan melalui prinsip ketidakpastian Heisenberg, yakni:

$$\Delta x \Delta p \sim h \quad (2 - 4)$$

dimana :  $\Delta x$  = ketidakpastian posisi partikel dan

$\Delta p$  = ketidakpastian momentum partikel,

Melalui prinsip ketidakpastian Heisenberg ini, maka ketidakpastian energi  $\Delta E$  dari elektron, proton dan neutron dapat dijelaskan di bawah ini.

### 1. Ketidakpastian Elektron

Ketidakpastian posisi elektron secara kasar diambil sama dengan diameter inti. Dari hasil eksperimen diperoleh jari-jari inti berorde  $10^{-12} \sim 10^{-13} \text{ cm}$ . Bila diambil ketidakpastian posisi elektron



$\Delta x = 2 \times 10^{-12}$  cm, maka:

$$\Delta p \sim \frac{h}{\Delta x} = \frac{6,6 \times 10^{-27}}{2 \times 10^{-12}} = 3,3 \times 10^{-15} \text{ erg.dt/cm}$$

Secara relativistik ketakpastian energi elektron dapat dituliskan:

$$\Delta E^2 = \Delta p^2 C^2 + m_0^2 C^4 \quad (2 - 5)$$

$\Delta E$  = ketakpastian energi elektron

$\Delta p$  = ketakpastian momentum

$C$  = kecepatan cahaya

$m_0$  = massa diam elektron

maka nilai :

$$\begin{aligned} \Delta p^2 C^2 &= (3,3 \times 10^{-15})^2 (3 \times 10^{10})^2 \\ &= 9,301 \times 10^{-10} \approx 10^{-8} \text{ erg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_0^2 C^4 &= (9 \times 10^{-28})^2 (3 \times 10^{10})^4 \\ &\approx 6,561 \times 10^{-13} \approx 10^{-12} \text{ erg} \end{aligned}$$

Maka nilai  $10^{-12}$  dapat diabaikan terhadap  $10^{-8}$ ,

bila dijumlahkan maka:

$$\Delta E^2 \approx 10^{-8} \text{ erg}$$

$$\Delta E \approx 10^{-4} \text{ erg}$$

$$= 10^{-4} \text{ erg} \times \frac{1 \text{ eV}}{1,6 \times 10^{-12} \text{ erg}}$$

$$\Delta E \simeq 6,25 \cdot 10^7 \text{ eV} \sim 6 \times 10^7 \text{ eV}$$

$$\Delta E \simeq 60 \text{ MeV}$$

Secara eksperimen diperoleh bahwa elektron yang dipancarkan oleh inti radio aktif tak pernah ditemukan memiliki energi kinetik lebih dari 4 MeV dimana hasil ini jauh lebih kecil dari perhitungan dengan prinsip ketakpastian. Ini menunjukkan bahwa tak mungkin inti terisi oleh elektron bebas.

## 2. Ketakpastian Proton

Untuk ketakpastian posisi proton dalam inti diambil  $\Delta x = 2 \times 10^{-12}$  cm dan  $\Delta p = 3,3 \times 10^{-15}$  erg.det/cm. Maka ketakpastian energi proton dalam inti dapat dinyatakan dengan :

$$\begin{aligned} \Delta E^2 &= \Delta p^2 C^2 + m_0^2 C^2 \\ &= ( 3,3 \times 10^{-15} )^2 ( 3 \times 10^{10} )^2 \\ &\quad + ( 1,67 \times 10^{-24} )^2 ( 3 \times 10^{10} )^2 \\ &= 10^{-8} + 2,3 \times 10^{-6} \end{aligned}$$

untuk masalah ini maka suku pertama bisa diabaikan terhadap suku kedua.

$$\Delta E^2 = 1,5 \times 10^{-3} \text{ erg}$$

$$= \frac{1,5 \times 10^{-3} \text{ erg}}{1,6 \times 10^{-12} \text{ erg/eV}} = 9,4 \times 10^8 \text{ eV} = 940 \text{ MeV}$$

$$\Delta E = 940 \text{ MeV}$$

Nilai ini hanya sedikit lebih besar dari energi diam proton, yaitu:  $1,008 \times 931 = 938 \text{ MeV}$  dan energi kinetik proton di dalam inti juga berorde MeV. Kenyataan ini memungkinkan proton berada dalam inti.

Ketidakpastian Neutron  $\Delta E$  proton dan neutron bisa dikatakan sama, karena sebagian besar sumbangan dari energi diam dan karena massa diam proton dan neutron hampir sama.

## B. ALASAN ELEKTRON TAK TERDAPAT DALAM INTI

Ada beberapa tinjauan yang menjadi alasan mengapa elektron tidak terdapat di dalam inti yang dijelaskan di bawah ini.

### 1. Ukuran Nuklir

Jejari inti yang dijumpai  $\sim 5 \times 10^{-15} \text{ m}$ . Untuk membatasi daerah sekecil itu, menurut prinsip ketidakpastian, partikel harus memiliki momentum sebesar

$$\Delta p > 1,1 \times 10^{-20} \text{ kg m/s.}$$

Ini sesuai dengan ketakpastian energi kinetik elektron sekurang-kurangnya 20 MeV. Namun elektron yang terpancar pada peluruhan  $\beta$  hanya berenergi 2 - 3 MeV. Satu orde besar lebih kecil dari energi yang seharusnya dimiliki jika elektron harus ada dalam inti.

## 2. Spin Nuklir

Proton dan elektron merupakan partikel Fermi dengan spin  $1/2$ , berarti momentum sudutnya  $1/2 \hbar$ . Jadi inti dengan jumlah proton ditambah elektron yang genap harus memiliki spin bilangan bulat, sedangkan inti dengan jumlah proton ditambah elektron yang ganjil harus memiliki spin  $1/2$  bilangan bulat. Ramalan ini tidak benar. Kenyataannya deuteron yang merupakan isotop hidrogen mempunyai nomor atom 1 dan nomor massa 2, harus ditafsirkan timbul dan kehadiran dua buah proton dan sebuah elektron. Bergantung dari orientasi partikel, spin deuteron harus memiliki spin  $1/2$  atau  $3/2$ . Namun spin deuteron menurut pengamatan ialah 1, sesuatu yang tidak cocok dengan hipotesis terdapatnya elektron nuklir.

### 3. Momentum Magnetik

Proton memiliki momen magnetik sekitar 0,15 persen dari momen magnetik elektron, sehingga momen magnetik nuklir harus berorde sama seperti elektron berada dalam inti. Namun, momen magnetik inti yang teramati hampir sama dengan momen magnetik proton bukan dengan momen magnetik elektron. Suatu penyimpangan yang tak dapat dimengerti, jika benar elektron merupakan unsur penyusun inti.

### 4. Interaksi Nuklir Elektron

Telah diamati bahwa gaya yang beraksi antara partikel nuklir menghasilkan energi ikat berorde 8 MeV per partikel. Sukar bagi kita untuk mengerti mengapa jika elektron dapat berinteraksi cukup kuat dengan proton untuk membentuk inti. Dengan kata lain, bagaimana setengah jumlah elektron lainnya? Lebih lanjut lagi, jika elektron terhambur oleh inti, elektron berkelakuan seakan-akan hanya mengalami aksi dari gaya listrik. Sedangkan hamburan nuklir proton cepat menunjukkan penyimpangan dari pengaruh listrik, hal ini hanya dapat diterangkan dengan mengacu pada gaya nuklir yang khas.

## D. ENERGI IKAT INTI

Pada suatu atom, massa inti lebih kecil dari pada jumlah massa nukleon penyusunnya. Selisih kedua massa ini disebut energi ikat inti.

Energi ikat inti dapat dicari dengan rumus :

$$B = [N m_n + Z m({}_1^1\text{H}_0) - m({}_Z^AX_N)] C^2 \quad (2 - 6)$$

dengan satuan  $\mu$ , dimana :

B = energi ikat inti

N = jumlah neutron

A = jumlah proton + neutron

$m_n$  = massa neutron

Z = jumlah proton

$m({}_1^1\text{H}_0)$  = massa atom hidrogen

$m({}_Z^AX_N)$  = massa atom X  $\rightarrow$  yang dicari tenaga ikatnya.

$C^2$  = laju cahaya.

Ekivalen tenaga ( $\text{U}$ )  $C^2 = 931,502 \text{ MeV}$ . Selanjutnya akan dicari tenaga ikat inti untuk beberapa atom.

•  ${}_1^2\text{H}_1 \rightarrow Z = 1, N = 1, m({}_1^2\text{H}_1) = 2,014102 \mu$

$$m({}_1^1\text{H}_1) = 1,007825 \mu$$

$$m N = 1,008665 \mu$$

$$B = [1 \cdot 1,008665 + 1 \cdot 1,007825 - 2,014102] C^2$$

$$= [2,388 \cdot 10^{-3}] C^2 \text{ U}$$

MILIK UPT PERPUSTAKAAN  
IKIP PADANG

$$= [2,388 \cdot 10^{-3}] \cdot 931,502 \text{ MeV}$$

$$= 2,224 \text{ MeV}$$

$$B/A = \frac{2,224 \text{ MeV}}{2} = 1,112 \text{ MeV}$$

$$\bullet \quad {}^4_2\text{He} \alpha \longrightarrow A = 4 ; Z = 2 ; N = 2 ; m \quad {}^4_2\text{He} = 4,002603 \mu$$

$$B = [2 \cdot 1,008665 + 2 \cdot 1,007825 - 4,002603] \cdot 931,502 \text{ MeV}$$

$$= 28,29623625 \text{ MeV}$$

$$B/A = \frac{28,29623625 \text{ MeV}}{4} = 7,074 \text{ MeV/nucleon}$$

$$\bullet \quad {}^6_3\text{Li} \alpha \longrightarrow m \quad {}^6_3\text{Li} = 6,015123 \mu$$

$$B = [3 \cdot 1,008665 + 3 \cdot 1,007825 - 6,015123] \cdot 931,502 \text{ MeV}$$

$$= 31,99429919 \text{ MeV}$$

$$B/A = \frac{31,99429919 \text{ MeV}}{6} = 5,332 \text{ MeV/nucleon}$$

$$\bullet \quad {}^9_4\text{Be} \alpha \longrightarrow m \quad {}^9_4\text{Be} = 9,012183 \mu$$

$$B = [5 \cdot 1,008665 + 4 \cdot 1,007825 - 9,012183] \cdot 931,502 \text{ MeV}$$

$$= 8,16484788 \text{ MeV}$$

$$B/A = \frac{8,16484788 \text{ MeV}}{9} = 6,463 \text{ MeV/nucleon}$$

$$\bullet \quad {}^{11}_5\text{B} \alpha \longrightarrow m \quad {}^{11}_5\text{B} = 11,009305 \mu$$

$$B = [6 \cdot 1,008665 + 5 \cdot 1,007825 - 11,009305] \cdot 931,502 \text{ MeV}$$

$$= 76,20617862 \text{ MeV}$$

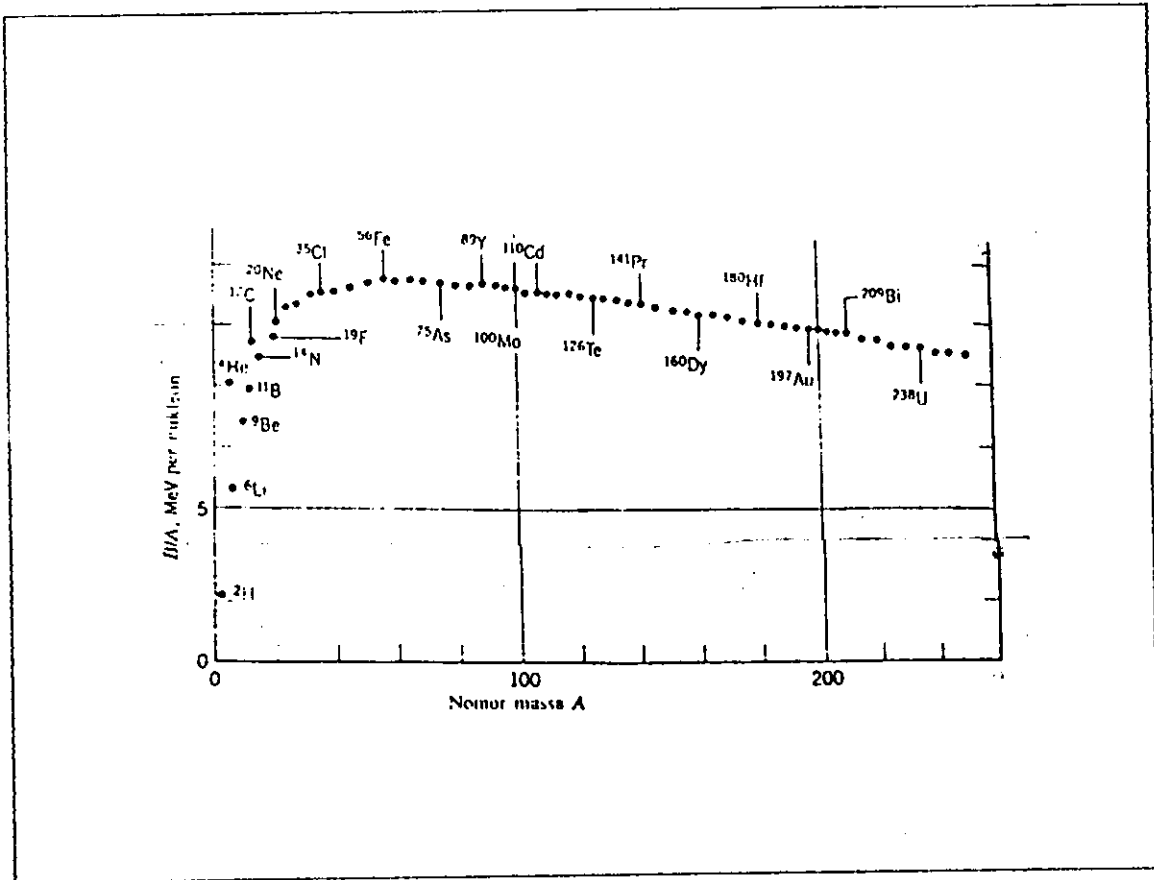
$$B/A = \frac{76,20617862 \text{ MeV}}{11} = 6,928 \text{ MeV/nucleon}$$

11

Energi ikat timbul dari aksi gaya yang mengikat nukleon sehingga terbentuk inti. Serupa dengan energi ionisasi atom yang harus disediakan untuk melepaskan elektron, timbul dari aksi gaya listrik. Energi ikat berkisar antara 2,22 MeV untuk deuteron yang merupakan inti majemuk terkecil sampai 1.640 MeV untuk  ${}_{83}^{209}\text{Bi}$  yang merupakan inti terberat.

Energi ikat pernukleon didapat dengan membagi energi ikat total inti dengan jumlah nukleon dalam inti itu, merupakan kuantitas yang paling menarik dalam energi ikat pernukleon sebagai fungsi nomor massa (A).





Gambar 2.2. Energi ikat per nukleon sebagai fungsi nomor massa.

Dari gambar dapat dilihat bahwa inti bermassa sedang merupakan inti yang paling mantap, karena energi terbesar harus dimasukkan untuk membebaskan masing-masing nukleon. Fakta ini menimbulkan dugaan energi akan terlepas jika inti dapat dipecah menjadi inti lebih ringan atau diserap jika inti ringan bergabung menjadi inti lebih berat.

### BAB III

#### PENGGUNAAN MEKANIKA KUANTUM DALAM MENJELASKAN

#### PELURUHAN SINAR ALPA

##### A. KINEMATIKA PELURUHAN SINAR $\alpha$

Inti yang tak stabil (berat dan menengah) berpeluang memancarkan sinar  $\alpha$  secara spontan desintegrasi  $\alpha$ , sehingga jumlah inti induk berkurang dengan waktu (decay), seperti yang ditunjukkan di bawah ini.

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$

$$N(t) = N_0 e^{-t/\tau} \quad (3 - 1)$$

$$\tau = 1/\lambda$$

$$= t_{1/2}/0,693$$

dimana,

$$\tau = \text{umur rata-rata}$$

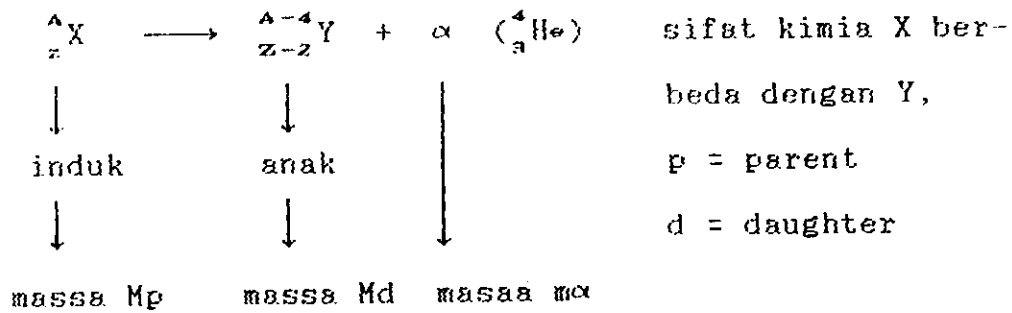
$$N_0 = \text{jumlah inti induk}$$

$$N(t) = \text{jumlah inti setelah peluruhan}$$

$$t = \text{waktu peluruhan}$$

$$t_{1/2} = \text{waktu paroh.}$$

Reaksi peluruhan:



Syarat kekekalan tenaga (dalam kengka rehat inti induk)

$$M_p C^2 = M_d C^2 + m_\alpha C^2 + K_\alpha + K_d \quad (3 - 2)$$

keterangan :

$K_\alpha$  = energi kinetik  $\alpha$

$K_d$  = energi kinetik hasil peluruhan

Kekekalan momentum:

$$\vec{p}_\alpha + \vec{p}_d = \vec{p}_p = 0, \quad \vec{p}_d = -\vec{p}_\alpha$$

Q reaksi didefinisikan sebagai tenaga kinetik total output

$$Q = K_\alpha + K_d = (M_p - M_d - m_\alpha) C^2 \quad (\text{dlm MeV})$$

$$K_\alpha = 1/2 \vec{p}_\alpha^2 / m_\alpha$$

$$K_d = 1/2 \vec{p}_d^2 / M_d$$

Agar peluruhan spontan dapat terjadi :  $Q > 0$ , sehingga

$$K\alpha = \frac{Q}{(1 + m\alpha/md)} \quad (3 - 3)$$

$$M_P C^2 > M_d C^2 + m\alpha C^2 \text{ atau } M_P > M_d + m\alpha$$

$Q$  = tenaga kinetik total output

$K\alpha$  = tenaga kinetik  $\alpha$

$m\alpha$  = massa  $\alpha$

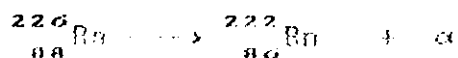
$m_d$  = massa partikel anak

$M_P$  = massa partikel induk

Umumnya inti-inti berat yang berpeluang besar untuk decay  $-\alpha$ .



( $4n + 2$ )  $\longrightarrow$  deret uranium

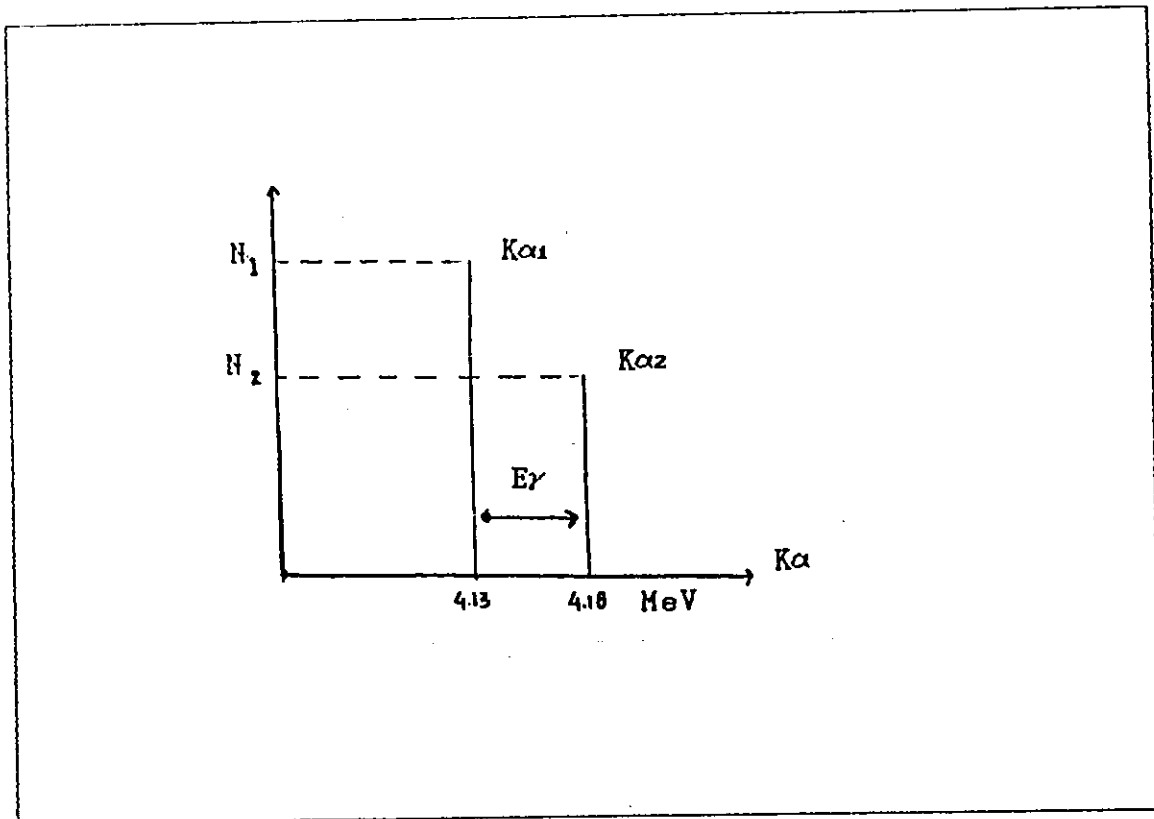


( $4n + 2$ )

Deret lain :  ${}_{93}^{237}\text{Np}$  ( $4n + 1$ ) ;  ${}_{90}^{232}\text{Th}$  ( $4n$ ) ;  ${}_{89}^{227}\text{Ac}$  ( $4n+3$ )

## B. SPEKTRUM ENERGI PARTIKEL $\alpha$

Spektrum partikel  $\alpha$  merupakan spektrum diskret karena  $\alpha$  dipancarkan sendirian atau diikuti  $\gamma$ .



Gambar 3.1. Spektrum zarah  $\alpha$  teremis.

Gambar di atas adalah spektrum  $\alpha$  dari inti  ${}_{92}^{238}\text{U}$  yang bersifat diskret terdiri dari 2 group berenergi kinetik  $K_{\alpha 1}$  dan  $K_{\alpha 2}$  dengan

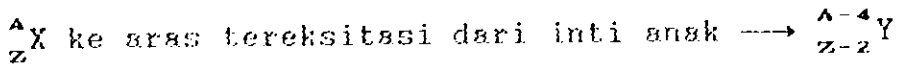
$$K_{\alpha 2} = Q / (1 + m_{\alpha} / M_{\alpha})$$

$$> K_{\alpha 1}$$

dimana,  $K_{\alpha 1}$  = tenaga kinetik partikel  $\alpha$  pertama

$K_{\alpha 2}$  = tenaga kinetik partikel  $\alpha$  kedua

$\alpha$  dipancarkan dari  ${}^A_Z\text{X}$  ke tingkatan dasar inti  ${}^{A-4}_{Z-2}\text{Y}$  (cabang ( $\alpha$ )) (lihat gambar ...), sedang bila  $\alpha$  diikuti pancaran  $\gamma \longrightarrow \alpha$ , maka transisi terjadi antara aras



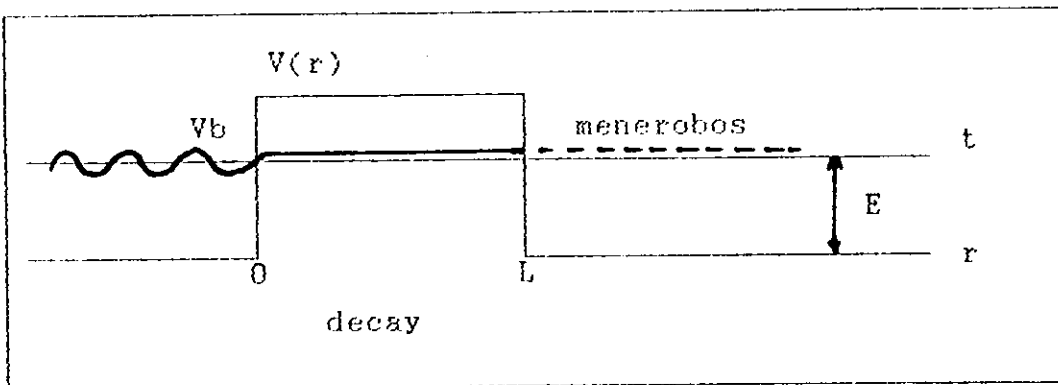
$$K_{\alpha 2} = K_{\alpha 1} + E_{\gamma} \quad (3 - 4)$$

dimana,  $E_{\gamma}$  = energi pancaran  $\gamma$

Umur rerata pererasan dengan pancaran  $\alpha 2 \longrightarrow \tau_2$  tidak sama dengan umur rerata pererasan dengan pancaran  $\alpha 1 \longrightarrow \tau_1$ .

### C. TEORI KUANTUM PELURUHAN $\alpha$

Menurut teori klasik, suatu partikel tak mungkin melewati daerah dengan tenaga potensial  $V$  lebih tinggi dari tenaga totalnya ( $E = K + V$ ) karena  $K = p^2/2m$  akan kecil 0 untuk  $V > E$  ini  $\longrightarrow p$  akan imajiner. Tetapi menurut teori kuantum, hal ini mungkin saja terjadi ( $p$  imajiner berarti fungsi gelombang  $e^{i p x} \longrightarrow e^{-k x}$  - tersusun secara eksponen) melalui efek terobosan (terowongan) asalkan tanggulnya masih berhingga lebar. Misalkan suatu partikel dengan massa  $m$  dan tenaga  $E$  membentur tanggul (barier/ potensial persegi/dimensi tinggi  $V_b$  lebar  $L$ ;  $E < V_b$



Gambar 3. 2. Partikel menembus tanggul potensial

Menurut mekanika kuantum, peluang partikel menembus tanggul potensial ialah :

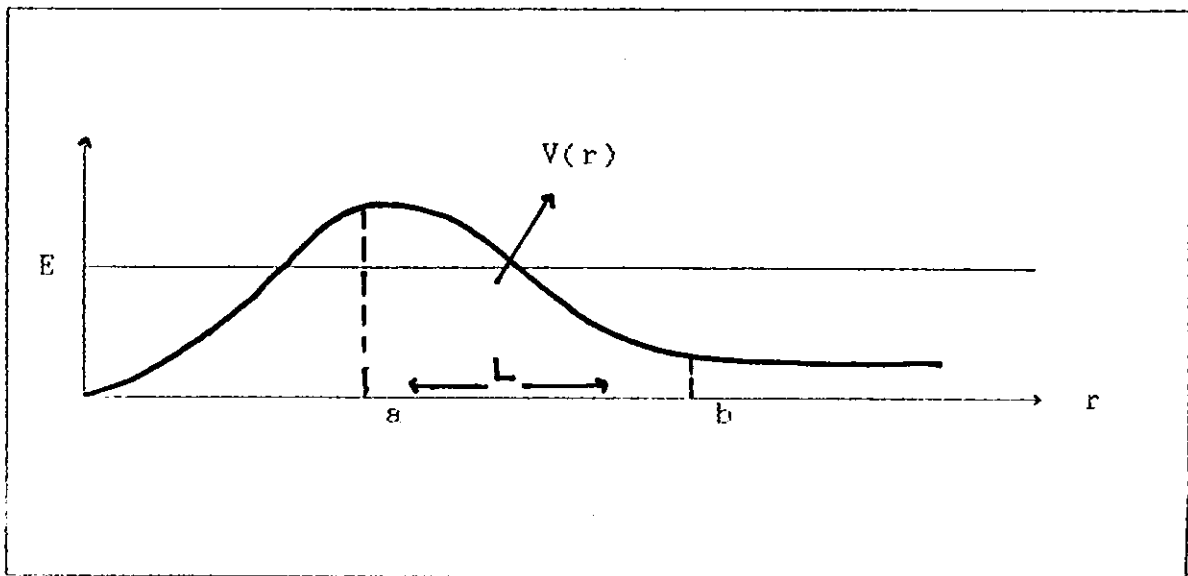
$$P = \left| \frac{t}{i} \right|^2 ; \quad \propto e^{-2KL} \quad (3 - 5)$$

$t$  = amplitudo gelombang yang diteruskan

$i$  = amplitudo gelombang datang

$$K = \frac{1}{\hbar} \sqrt{2m(Vb - E)} \quad (3 - 6)$$

Untuk tanggul bukan kotak, tetapi fungsi  $r$  yang terletak antara  $r = a$  dan  $r = b$



Gambar 3. 3. Tanggul potensial bukan kotak sebagai fungsi  $r$ .

$$\begin{aligned} \text{maka : } P &= P_1 P_2 \dots P_N = e^{-2K_1 L} e^{-2K_2 L} \dots e^{-2K_N L} \\ &= e^{-\gamma} \text{ dengan} \end{aligned}$$

$$\gamma = \frac{2}{h} \int_a^b \sqrt{2m [ V(r) - E ]} dr \quad (3 - 7)$$

Perhitungan :  $I = \int_a^b \sqrt{2m [ V(r) - E ]} dr ;$

$$\gamma = \frac{2}{h} I \quad (3 - 8)$$

pada  $r = b = s \longrightarrow E = V(r) = V(s) = \frac{2 Ze^2}{s}$

$$I = 2 \sqrt{m e^2 Z} \int_R^s \left( \frac{1}{r} - \frac{1}{s} \right)^{1/2} dr$$

yang dapat dihitung dengan substitusi variabel pengintegralan baru  $U$  ;  $\sec^2 U = \frac{s}{r} \longrightarrow r = s/\sec^2 U$

$$r = s \cos^2 U$$

turunan dari persamaan di atas adalah:

$$dr = - 2s \cos U \sin U du$$

$$\left( \frac{1}{r} - \frac{1}{s} \right)^{1/2} = \sqrt{\frac{1}{s}} (\sec^2 U - 1)^{1/2}$$

$$\sqrt{\frac{1}{s}} \operatorname{tg} U$$

Untuk  $r = R \longrightarrow \sqrt{\frac{1}{s}} R = \cos U R \longrightarrow UR = \cos^{-1} \left( \frac{R}{s} \right)^{1/2}$



$$r = s \longrightarrow \sqrt{\frac{s}{s}} = 1 = \cos U_s \longrightarrow U_s = 0$$

$$\text{Jadi } I = 2 \sqrt{\frac{m Z e^2}{s \cos^{-1}}} \int_0^0 \lg U (U - 1/2 \sin 2U) dU$$

$$I = 4 \sqrt{\frac{m Z e^2}{s}} \int_{\cos^{-1}(R/s)^{1/2}}^{\cos^{-1}(R/s)^{1/2}} \sin^2 U du$$

$$= 4 \sqrt{\frac{m Z e^2}{s}} \frac{1}{2} \left[ U - \frac{1}{2} \sin 2U \right]_{U=0}^{U_s = \cos^{-1}(R/s)^{1/2}}$$

$$\sin U \cos U = \sqrt{(1 - \cos^2 U) \cos^2 U}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{R}{s} - \left(\frac{R}{s}\right)^2\right)} \text{ untuk } U = U_s$$

$$I = 2 \sqrt{\frac{m Z e^2}{s}} \left[ \cos^{-1} \left(\frac{R}{s}\right)^{1/2} - \left[\left(\frac{R}{s}\right) - \left(\frac{R}{s}\right)^2\right]^{1/2} \right]$$

$$\text{penggantian } s = b \longrightarrow r = \frac{Z}{h} I$$

$$= 2 \left[ \frac{4 m Z e^2 b}{h^2} \right]^{1/2} \left[ \cos^{-1} \left(\frac{R}{b}\right)^{1/2} - \left[\left(\frac{R}{b}\right) - \left(\frac{R}{b}\right)^2\right]^{1/2} \right] \quad (3 - 9)$$

Untuk energi E rendah atau  $b \gg \longrightarrow \frac{R}{b} \ll 1$  sehingga

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

$$\approx \frac{\pi}{2} - \left(\frac{R}{b}\right)^{1/2}$$

$$r \approx \frac{2}{h} \sqrt{m Z e^2 b} \left[ \frac{\pi}{2} - \left(\frac{R}{b}\right)^{1/2} - \left(\frac{R}{b}\right)^{1/2} \right]$$

$$\approx \frac{2}{h} \frac{\pi}{2} \sqrt{m^2 Z e^2 b} - \frac{4}{h} \sqrt{m Z e^2 R}$$

$$\approx \frac{\pi}{h} \sqrt{2 m} \frac{Z e^2}{E^{1/2}} - \frac{4 e}{h} \sqrt{m Z R}$$

Jadi :  $\ln \lambda = \ln \left[ \frac{V_{in}}{2R} e^{-r} \right]$

$$\ln \lambda = \ln \left[ \frac{V_{in}}{2R} \right] \quad (3 - 10)$$

persamaan ini berlaku untuk 1 dimensi, sedangkan untuk 3 dimensi :

$$\ln \lambda = \ln \frac{V_{in}}{R} + 3 \frac{e}{h} (m Z R)^{1/2} - \frac{2\pi}{h} e^2 \sqrt{2m Z E^{1/2}}$$

pergantungan  $\lambda$  pada  $E^{-1/2}$ , karena  $\lambda = 1/r = \frac{0,693}{T_{1/2}}$ ,

(E dalam MeV). Maka :

$$\log_{10} T_{1/2} = \log_{10} 0,693 - \log_{10} \lambda \quad (3 - 11)$$

$$\log_{10} T_{1/2} = \log_{10} 0,693 - \frac{1}{\ln 10} \left[ \ln \frac{V_{in}}{R} \right]$$

$$- \frac{3,97}{\ln 10} Z^{1/2} R^{1/2} + \frac{3,95}{\ln 10} Z E^{1/2}$$

harga  $\frac{1}{\ln 10} \left[ \ln \frac{v_{in}}{R} \right]$  tidak tergantung pada E

$$\log_{10} T_{1/2} = \frac{A}{E^{1/2}} + B \quad (3 - 12)$$

A  $\longrightarrow$  fungsi Z

B  $\longrightarrow$  fungsi Z dan R

#### D. TEORI GAMOW, GUNEI DAN CONDOU

Misalkan partikel  $\alpha$  telah dibentuk dalam inti terdiri dari 2p dan 2n, maka karena adanya potensial barrier, gerak partikel  $\alpha$  tersebut dibatasi. Kebolehjadian partikel  $\alpha$  menembus barrier perdetik sama dengan jumlah tumbukan  $\alpha$  dengan barrier per detik dikalikan dengan transparansi  $\longrightarrow$  faktor/koeffisien transmisi  $P \sim e^{-\gamma}$  dengan

$$\gamma = \frac{2}{h} \int_0^b \{ 2m [ V(x) - E ] \} dx \quad (3 - 13)$$

Maka konstanta decay :  $\lambda = 1/\tau \approx \frac{v_{in}}{2R} e^{-\gamma}$   
kebolehjadian menerobos perdetik.

$v_{in}$  = kec. partikel  $\alpha$  dalam inti;

R = jari-jari inti

m = massa  $\alpha$  tereduksi

$$m = \frac{m_{\alpha} M_d}{m_{\alpha} + M_d} \quad (3 - 14)$$

karena  $V(r)$  adalah potensial Coulomb, maka :

$$V(r) = \frac{Z Z e^2}{r} = \frac{Z Z e^2}{r}$$

↓  
cgs (gauss) → stat Volt  
(erg)

(Z adalah nomor atom inti anak)

Diperkirakan nilai  $\frac{V_{in}}{Z R} \approx \frac{10^9}{10^{-12}} \approx 10^{-21} \rightarrow \lambda = 1/r$

$$\lambda = 10^{21} e^{-\gamma}$$

dengan :

$$\gamma = 2 \left\{ \frac{4 \pi Z e^2 b}{\hbar} \right\}^{1/2} \left\{ \cos^{-1} \left( \frac{R}{b} \right)^{1/2} - \left( \frac{R}{b} - \frac{R^2}{b^2} \right)^{1/2} \right\}$$

Ternyata nilai  $\tau$  teoritis ini berbeda dengan eksperimen dengan faktor  $\sim 10^3$ , dari itu tidak begitu baik untuk menghitung  $\tau$ , tetapi pengaruh  $\tau$  terhadap R tidak terlalu peka, maka penentuan  $\tau$  secara kasar dapat memberikan R yang cukup teliti. Dengan cara inilah Perlman dan Y. Lantis (1950) menentukan jari-jari inti yang menghasilkan  $R_0 = 1,48 F$ .

#### Kelemahan-kelemahan teori Gamow

Beberapa kelemahan teori Gamow adalah :

- Kebolehjadian pembentukan partikel  $\alpha$  dalam inti tak diperhitungkan setelah diperhitungkan ternyata  $\frac{v_{in}}{Z R} \sim 10^{15}$
- Kemungkinan pemancaran partikel  $\alpha$  dengan  $l = 0$  tidak diperhitungkan. Untuk  $l = 0$ , disamping potensial

coulomb harus ditambahkan potensial sentrifugal sebesar  $V_s = \frac{l(l+1)}{2R}$  (3 - 15)

Perbandingan antara potensial barrier ini adalah :

$$\frac{\text{sentrifugal barrier}}{\text{Coulomb barrier}} \approx 0,002 l(l+1)$$

#### E. MODEL PARTIKEL $\alpha$

Inti dianggap terdiri dari partikel  $\alpha$  yang bergerak dalam inti satu terhadap yang lainnya

$$V_{\text{coul}} = \frac{2Z e^2}{r} \quad (r > R) \quad (3 - 16)$$

$$F_{\text{coul}} = -\frac{dV}{dr} > 0 \quad \rightarrow \text{total menolak}$$

$$V_{\text{nucl}} = \begin{cases} -V & (r < R) \\ 0 & (r > R) \end{cases} \quad \text{squar well}$$

$$F_{\text{nucl}} = -\frac{dV}{dr} < 0 \quad \rightarrow \text{tarik menarik}$$

squar well  $\rightarrow$  diganti dengan potensial asc.

harmonis :

$$-V_0 + 1/2 k r^2 \quad (r < R).$$

Selain itu gerakan  $\alpha$  dapat dilukiskan oleh gerak gelombang dengan  $\lambda$  (panjang gelombang dari De Broglie):

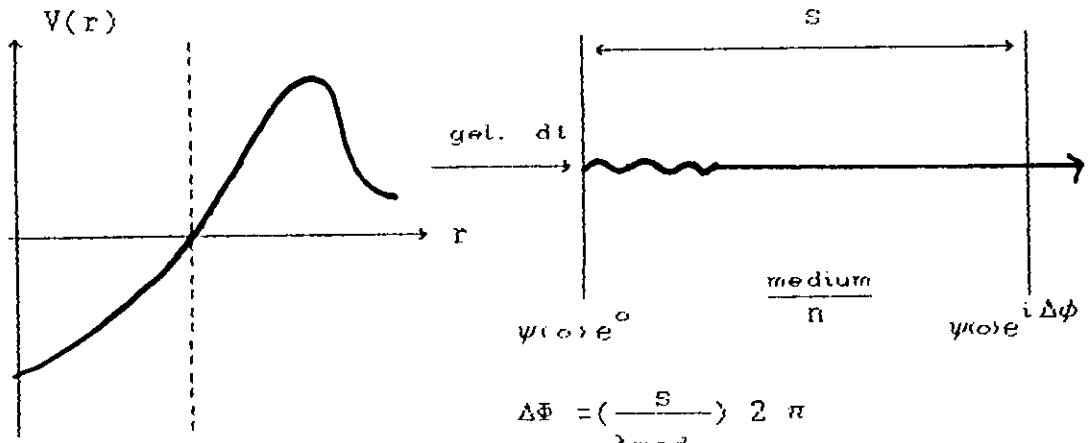
$$\lambda = \frac{h}{p} \quad (3 - 17)$$

keterangan :

$\lambda$  = panjang gelombang de Broglie

$h$  = konstanta Planck

$p$  = momentum partikel



$V < 0$        $V > 0$   
 $T > 0$        $T < 0$   
 $E = T+V$      $E = T+V$   
 $T = E-V$      $E < V, T < 0$   
 $E > V \rightarrow T > 0$   
 $E < V \rightarrow T < 0$

$$\Delta\Phi = \left(\frac{s}{\lambda_{med}}\right) 2\pi$$

$$\lambda_{med} = \frac{\lambda_{hampa}}{n}$$

$$2\pi/\lambda_{med} = k_{med}$$

indeks bias  $n$  erat hubungannya dengan panjang gelombang ( $\lambda$ ) dan tenaga.

$n = \text{konstant} \rightarrow \psi(s) = \psi(0) e^{ik_{med} s}$

$(n) \rightarrow$  berhubungan dengan  $V(r)$  yang konstan.

Bila  $n$  konstan  $\rightarrow p = h k$

De Broglie  $\rightarrow k = p/h$

$$\psi(s) = \psi(0) e^{i \int_0^s k(r) dr} \tag{3 - 18}$$

kenyataan  $V(r)$  tak konstan  $\rightarrow n$  juga tak konstan  $\rightarrow$

$k$  s diganti dengan  $\int_0^s k(r) dr$

$$\text{atau : } \psi(s) = \psi(0) e^{i/\hbar \int_0^s p(r) dr} \quad (3 - 19)$$

Gamow mengambil

$$E_{\text{tot}} = \frac{p^2}{2m} + V(r)$$

$$p^2 = 2m(E - V)$$

$$p = \sqrt{2m(E - V)}$$

Bila  $E < V \longrightarrow p$  imajiner (redaman)

$E > V \longrightarrow p$  riil (gelombang)

$$\psi(s) = \psi(0) e^{-\frac{1}{\hbar} \int_0^s \sqrt{2m(V-E)} dr} \quad (3 - 20)$$

$$\left| \psi(s) \right|^2 = \left| \psi(0) \right|^2 e^{-\frac{2}{\hbar} \int_0^s \sqrt{2m(V-E)} dr}$$

$\lambda$	$\frac{v_{in}}{2R}$	
↓	↓	↓
l=0	tumbukan perdetik	kebolehjadian menerobos per tumbukan

Untuk persamaan di atas massanya merupakan massa tereksitasi

$$m = \frac{m\alpha M_{\text{anak}}}{M\alpha + M_{\text{anak}}}$$

$$\lambda = \frac{v_{in}}{2R} e^{-2i} \quad (3 - 21)$$

Bila  $l = 0$ , maka  $V_{\text{tot}} = V_{\text{nuc}} + V_{\text{centrifugal}} \left( \approx \frac{l^2}{2m R} \right)$   
 (penyelesaiannya lebih kompleks)

Cara Gamow hanya berlaku dengan pengandaian bahwa  $\alpha$  terpancar tanpa momentum sudut orbit ( $l = 0$ ) dan keluar dari inti ke segala arah secara radial.



## BAB IV

### AKSELERATOR

Pesawat akselerator yang pertama kali dibuat bertenaga 100 sampai dengan 200 KeV, untuk menghasilkan sinar X. Dalam usaha untuk membuat akselerator dengan tenaga cukup besar, pada tahun 1932 Cocroft dan Walton berhasil menciptakan akselerator 400 KeV. Sesudah itu perkembangan tipe dan tenaga akselerator berkembang pesat.

Berdasarkan prinsip kerjanya, maka akselerator dapat digolongkan sebagai berikut:

1. Akselerator tegangan tinggi
2. Akselerator tegangan rendah
3. Akselerator linier
4. Akselerator orbit

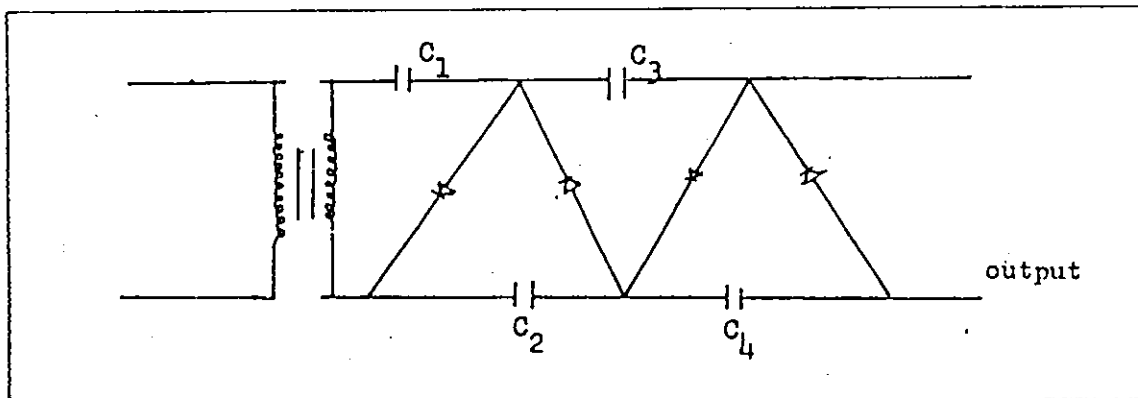
#### A. AKSELERATOR TEGANGAN TINGGI

Pada akselerator tegangan tinggi partikel bermuatan dipercepat melalui beda tegangan  $V$  sehingga memperoleh tenaga  $eV$ , dimana  $e$  adalah muatan partikel. Beberapa jenis akselerator tegangan tinggi diberikandi bawah ini

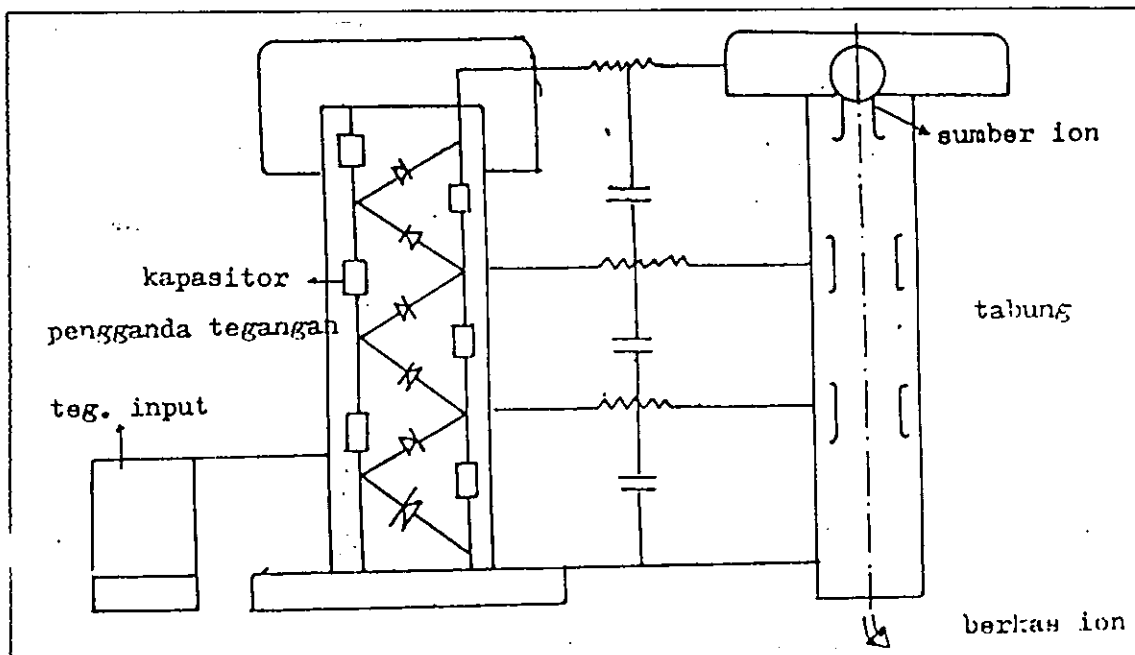
##### 1. Akselerator Cockroft-Walton

Pada akselerator Cockroft-Walton ion-ion dalam tabung yang berasal dari sumber ion dipercepat oleh suatu unit pengganda tegangan (voltage multiplier). Sebagai pengganda tegangan ialah suatu untai yang terdiri

dari beberapa kapasitor dan dioda yang dihubungkan secara seri. Untuk sumber daya (input voltage) digunakan generator pulsa : low voltage multivibrator. Gambar untai voltage multiplier dan skema generator Cockroft-Walton dapat dilihat pada gambar 4.1. dan gambar 4.2 berikut:



Gambar 4.1 Untai Pengganda tegangan



Gambar 4.2 Skema Generator Cockroft - Walton

Untuk  $n$  tingkat atau  $2n$  kapasitor, besarnya tegangan maksimum yang dapat dicapai adalah:

$$V_{\max} = n \cdot E - \Delta V \quad (4 - 1)$$

$$\Delta V = \frac{i}{12} f C \left( n^3 + \frac{9}{4} n^2 + 0,5 n \right) \quad (4 - 2)$$

keterangan :

$E$  = Tegangan puncak yang diberikan pada input voltage multiplier (tegangan output generator pulsa)

$i$  = arus yang mengalir pada beban

$f$  = frekuensi generator pulsa

$n$  = banyaknya tingkat (stage),

1 stage = 1 penyearah

Untuk mencapai  $V_{\max}$  diperlukan  $n_{\max}$  yaitu :

$$\frac{d V_{\max}}{d n} = 0 \quad (4 - 3)$$

yang kemudian diperoleh :

$$n_{\max} = E f C / i \quad (4 - 4)$$

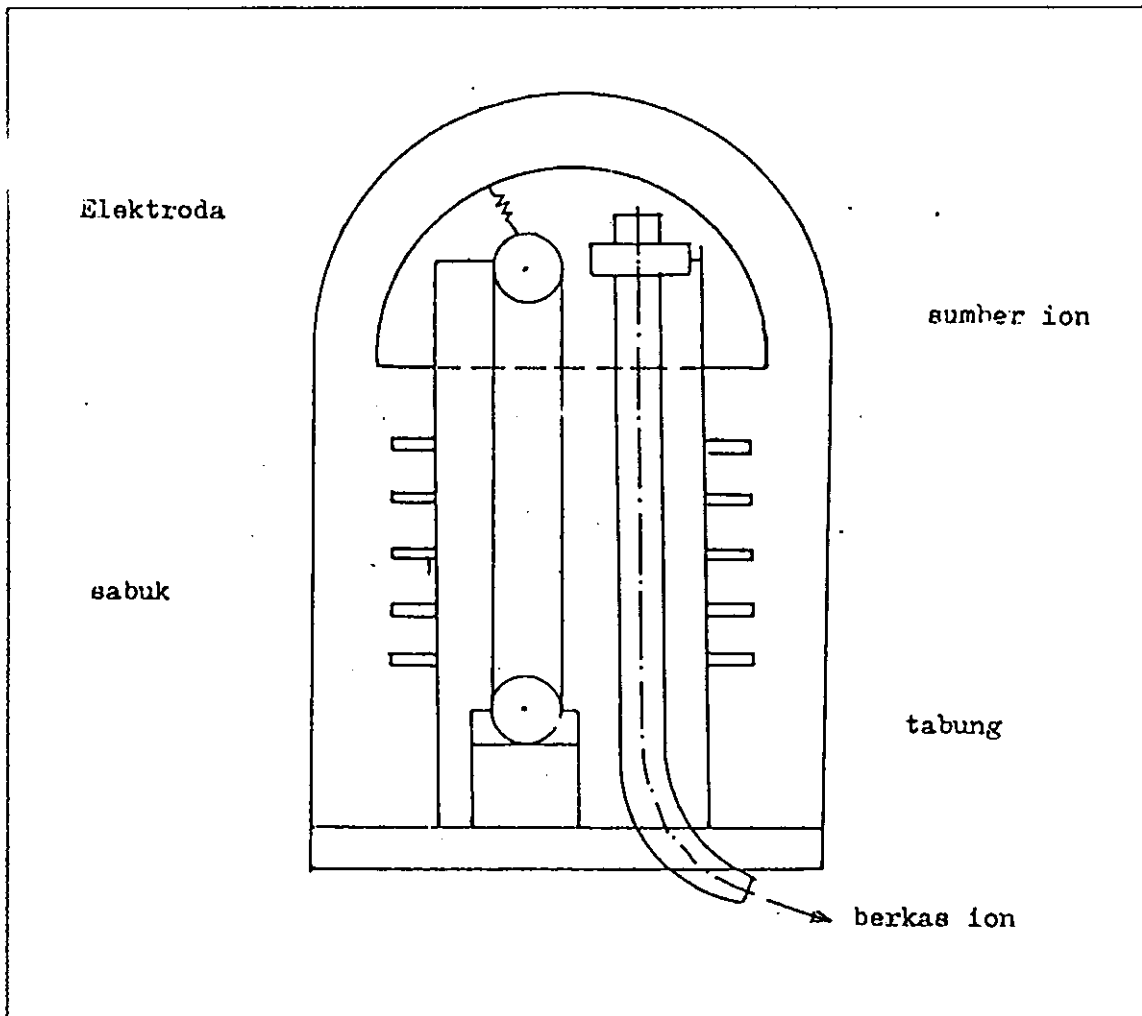
Jadi tegangan keluaran akan lebih besar bila harga  $fC$  makin besar. Karena untuk  $C$  besar akan menjadikan dimensi kapasitor besar, maka lebih menguntungkan jika dibuat frekuensi cukup tinggi.

Generator Cockroft - Walton ini dapat menghasilkan tegangan di atas 400 KV. DC, dengan arus 10 mA pada 1 atmosfer

## 2. Akselerator Van - De Graff

Pada akselerator van De Graff digunakan generator Van De Graff, yang termasuk tegangan elektrostatik, yang pembangkitan tegangannya melalui pemberian / penyimpanan muatan listrik pada suatu elektroda, dilakukan dengan sabuk berputar yang telah termuati oleh sistem penyemprot muatan. Sebagai penarik muatan pada sabuk digunakan sumber tegangan yang besarnya beberapa puluh ribu volt yang ditempatkan dekat pemercik muatan. Sabuk digerakkan oleh motor dan muatan terangkut untuk disimpan dalam elektroda. Tegangan elektroda akan naik terus menerus hingga batas tegangan maksimum yang dibatasi oleh tegangan dadal (break down voltage). Tegangan maksimum akan dapat lebih tinggi bila generator di dalam tangki yang diisi got tahan lucutan, misalnya gas nitrogen,  $BF_6$ . Di dalam elektroda terdapat sumber ion yang memperoleh tenaga dari suatu dinamo yang digerakkan oleh motor. Ion-ion dipercepat dalam suatu tabung hampa sepanjang tabung dibangun bidang-bidang ekvipotensial untuk membangun medan listrik homogen, sehingga berkas zarah dapat diarahkan pada sasaran.

Konstruksi generator Van-De Graf dapat dilihat pada gambar 4.3. berikut ini :



Gambar 4.3 Generator Van-de Graff

Pada akselerator Van De Graff berkas ion mempunyai energi sangat homogen, dan tenaga partikel yang dihasilkan sangat tinggi, maka generator ini mempunyai ketepatan yang tinggi untuk pengukuran tingkat-tingkat tenaga inti, dan penting untuk penelitian dalam bidang fisika inti. Bila digunakan untuk mempercepat elektron, akselerator ini dapat

dipakai untuk menghasilkan sinar X dan dapat pula digunakan untuk iradiasi elektron.

## B. AKSELERATOR TEGANGAN RENDAH

Akselerator tegangan rendah mempunyai tenaga 10 hingga 500 KeV, digunakan untuk mempercepat partikel bermuatan, ion-ion maupun elektron. beberapa jenis akselerator tegangan rendah yang banyak digunakan seperti Generator Netron

Pada masa ini generator netron menggunakan tegangan 100 sampai 400 KV dengan arus 1 sampai 30 mA. Adapun prinsip kerja dari generator netron adalah sebagai berikut :

Gas deuterium dialirkan ke dalam sumber ion untuk dionisasi Ion yang timbul akan ditolak oleh medan listrik dan diarahkan ke dalam tabung akselerator yang hampa. Ion-ion dipercepat dan diarahkan ke sasaran untuk menghasilkan neutron bertenaga tinggi.

Generator netron biasanya menggunakan sumber ion tipe Radio Frekuensi (RF) atau penning. Keuntungan RF adalah besarnya monoatomic ratio, sedangkan untuk penning arus yang diperoleh lebih besar. Untuk sumber tegangan tinggi digunakan Cockroft-Walton Generator, sedangkan untuk kehampaan tekanan sampai  $10^{-6}$  mmHg, dapat digunakan pompa difusi atau pompa ion. Bila kevakuman tidak cukup, berkas ion yang dipercepat akan

mengalami hamburan.

Produksi neutron ditentukan oleh konstruksi target yang biasanya digunakan target tetap, sedangkan untuk membuat flux neutron yang konstan dalam radiasi yang cukup lama, digunakan rotary target.

### C. AKSELERATOR LINIER

Dalam akselerator linier, berkas ion / partikel dipercepat dalam tabung-tabung lurus oleh osilasi medan listrik. Tabung-tabung dirangkai seri dan pada masing-masing tabung diberi tegangan berfrekuensi tinggi sedemikian sehingga potensial setiap tabung berlawanan tanda dengan potensial tabung yang berdekatan.

Partikel akan keluar masuk dari suatu tabung ke tabung lain melalui beda tegangan resonan dengan medan listrik frekuensi tinggi, sehingga partikel akan memperoleh tenaga yang besarnya jauh lebih besar daripada beda tegangan maksimum pada alat. Garis besar arah partikel dan gerakan dalam tabung akselerator linier dapat dilihat pada gambar 4.4 berikut: