

# **Modul -3**

## **FISIKA INTI DAN RADIOAKTIVITAS**

**Disusun Sebagai Materi Pelatihan Guru-Guru  
SMA/MA Provinsi Nangro Aceh Darussalam**

**Disusun oleh:**

**Dr. Agus Setiawan, M.Si  
Dr. Dadi Rusdiana, M.Si  
Dr. Ida Hamidah, M.Si  
Dra. Ida Kaniawati, M.Si  
Dra. Setiya Utari, M.Si  
Selly Feranie, S.Pd, M.Si  
Endi Suhendi, S.Si, M.Si**



**Jurusan Pendidikan Fisika  
Fakultas Pendidikan Matematika dan IPA  
Universitas Pendidikan Indonesia  
Juli 2007**

## FISIKA INTI DAN RADIOAKTIVITAS

### 1. Fisika Inti

#### 1.1 Pendahuluan

Sifat utama (kecuali massa) dari atom, molekul dan zat padat semuanya dapat dirunut dari kelakuan elektron atom, bukan pada kelakuan intinya. Akan tetapi inti sendiri tidak bisa dipandang kurang penting dalam skema besar dari benda. Misalnya keberadaan berbagai unsur timbul karena kemampuan inti untuk memiliki muatan listrik multi rangkap, dan informasi tentang kemampuan ini merupakan persoalan sentral dalam fisika. Lebih lanjut lagi, energi yang memberi kekuatan untuk berlangsungnya evolusi semesta yang berkesinambungan semuanya dapat dirunut pada reaksi nuklir dan transformasi nuklir. Dan juga, energi nuklir mempunyai penerapan penting pada pemakaian di bumi.

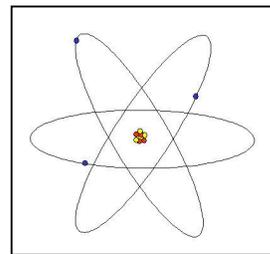
#### 1.2 Sejarah Fisika Inti

- Tahun 1896, lahirnya fisika inti dimana Becquerel menemukan radioaktivitas dalam uranium.
- Rutherford menunjukkan tiga tipe radiasi, yaitu alfa (Inti He), beta (electron) dan gama (foton berenergi tinggi).
- Tahun 1911, Rutherford, Geiger dan Marsden melakukan eksperimen hamburan dan memperoleh informasi tentang muatan inti serta *gaya nuklir* yang merupakan gaya jenis baru.
- Tahun 1919, Rutherford dan coworkers mengamati reaksi inti pertama kali
- Tahun 1932, Cockcroft dan Walton pertama kali menggunakan pemercepat proton untuk menghasilkan reaksi inti.
- Tahun 1932, Chadwick menemukan neutron.
- Tahun 1933, Curies menemukan radioaktif buatan.
- Tahun 1938, Hahn dan Strassman menemukan fisi nuklir.
- Tahun 1942, Fermi membuat reaktor fisi inti yang pertama yang dapat dikontrol.

#### 1.3 Inti Atom

Model atom yang paling sukses selama ini adalah model atom Bohr. Asumsi yang digunakan Bohr dalam model atom hidrogennya adalah:

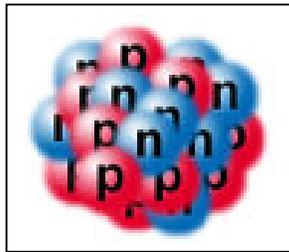
1. Elektron bergerak mengelilingi inti dibawah pengaruh gaya Coulomb.
2. Hanya orbit elektron tertentu yang stabil (energi elektron tetap).
3. Radiasi diemisikan oleh atom ketika elektron berpindah dari keadaan yang energinya lebih tinggi ke keadaan yang energinya lebih rendah.



Gambar 1  
Model atom Bohr

Inti atom bermuatan positif yang terdiri atas proton, tetapi apakah hanya ada proton dalam Inti? Berikut dijelaskan penemuan neutron dalam inti. Pada tahun 1930, W Bothe dan Becker menembaki berilium dengan partikel alfa, ternyata ada pancaran radiasi netral yang bisa memukul keluar proton dengan energi 5.7 MeV. Identifikasi pertama kali tentang radiasi netral tersebut

mengarah kepada sinar gama, tetapi energi sinar gama sebesar  $\sim 55$  MeV. Jadi tidak mungkin sinar gama. Lalu sebenarnya apa radiasi netral itu? Tahun 1932, Chadwick menyatakan bahwa pancaran radiasi netral tersebut sama dengan pancaran partikel netral yang disebut neutron yang massanya hampir sama dengan massa proton. Ditemukanlah partikel penyusun inti lain selain proton, yaitu neutron yang memiliki sifat : meluruh jika diluar inti,  $\tau$  (waktu hidup) = 15,5 menit,  $m_n = 1,0086654$  u =  $1,6748 \cdot 10^{-27}$  kg, berspin  $\frac{1}{2}$  dan bermuatan netral.



Gambar 2  
Inti atom yang tersusun atas proton dan neutron

#### 1.4 Sifat Inti

Semua inti tersusun atas proton dan neutron (pengecualian inti atom hidrogen). *Nomor atom*  $Z$  menyatakan jumlah proton dalam inti, *nomor neutron*  $N$  menyatakan jumlah neutron dalam inti dan *nomor massa*  $A$ , menyatakan jumlah nukleon dalam inti,  $A = Z + N$ . Nukleon adalah nama untuk penyusun inti yaitu proton dan neutron. Notasi yang digunakan adalah  ${}^A_Z X$  dimana  $X$  adalah simbol kimia dari unsur.

Contoh:

Berapakah jumlah proton dan neutron dalam inti  ${}^{27}_{13} Al$  !

Jawab:

Nomor massa  $A = 27$ , nomor atom  $Z = 13$  sehingga jumlah proton yang dimiliki Al adalah 13 buah dan neutron 14 ( $27 - 13$ ).

Elektron mempunyai muatan tunggal negatif,  $-e$  ( $e = 1.60217733 \times 10^{-19}$  C), proton mempunyai muatan tunggal positif,  $+e$ , dan neutron tidak bermuatan sehingga membuatnya sulit dideteksi. Akibatnya muatan dari inti adalah  $Ze$ . Massa suatu unsur dinyatakan dalam *atomic mass units* u,  $1$  u =  $1.660559 \times 10^{-27}$  kg (berdasarkan definisi bahwa massa satu C-12 adalah tepat 12 u). Massa juga dapat dinyatakan dalam  $MeV/c^2$ . Dari  $E_R = m c^2$  maka  $1$  u =  $931.494$   $MeV/c^2$ .

Example:

What is the order of magnitude of the number of protons in your body? Of the number of neutrons? Of the number of electrons? Take your mass approximately equal to 70 kg.

Answer:

An iron nucleus (in hemoglobin) has a few more neutrons than protons, but in a typical water molecule there are eight neutrons and ten protons. So protons

and neutrons are nearly equally numerous in your body, each contributing 35 kg out of a total body mass of 70 kg.

$$N = 35 \text{ kg} \left( \frac{1 \text{ nucleon}}{1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}} \right) \approx 10^{28} \text{ protons}$$

Same amount of neutrons and electrons.

### 1.5 Ukuran, Kerapatan dan Bentuk Inti

Eksperimen hamburan Rutherford merupakan bukti pertama bahwa inti mempunyai ukuran yang berhingga. Dalam eksperimen tersebut, partikel alfa yang datang dibelokkan oleh inti target sesuai dengan hukum Coulomb, asalkan jarak antar keduanya sekitar  $10^{-14}$  m. Untuk jarak yang lebih kecil, ramalan hukum Coulomb tidak berlaku karena inti tidak lagi dapat dipandang sebagai muatan titik oleh partikel alfa.

Setelah eksperimen yang dilakukan oleh Rutherford, berbagai eksperimen telah dilakukan untuk menentukan dimensi inti dengan hamburan partikel, dan ini merupakan teknik yang paling disukai. Elektron dan neutron cepat ideal untuk maksud tersebut, karena elektron berinteraksi dengan inti hanya melalui gaya listrik sedangkan neutron berinteraksi hanya melalui gaya inti yang khas. Jadi, hamburan elektron memberikan informasi tentang distribusi muatan dalam inti dan hamburan neutron memberikan informasi tentang distribusi materi inti. Dalam setiap kasus didapatkan volume sebuah inti berbanding lurus dengan banyaknya nukleon yang dikandungnya, yaitu nomor massa A. Hal ini mensyaratkan bahwa kerapatan nukleon hampir sama dalam bagian dalam inti.

Jika jejari inti R, volumenya adalah  $\frac{4}{3} \pi R^3$ , sehingga  $R^3$  berbanding lurus dengan A. Hubungan ini biasanya dinyatakan dalam bentuk

$$R = R_0 A^{1/3}$$

dimana  $R_0 = 1.2 \times 10^{-15}$  m.

Contoh:

Cari kerapatan inti  $^{12}_6\text{C}$  !

Jawab

Massa atomik  $^{12}_6\text{C}$  adalah 12,0 u. Dengan mengabaikan massa dan energi ikat enam elektron, kita peroleh kerapatan inti

$$\rho = \frac{m}{\frac{4}{3} \pi R^3} = \frac{12,0 \text{ u} (1,66 \times 10^{-27} \text{ kg / u})}{\frac{4}{3} \pi (2,7 \times 10^{-15} \text{ m})^3} = 2,4 \times 10^{17} \text{ kg / m}^3$$

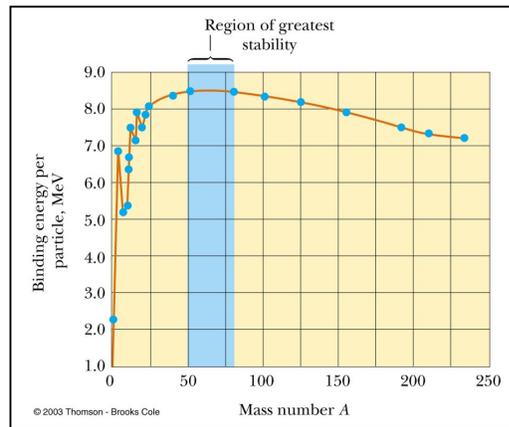
Kita telah menganggap inti berbentuk bola. Bagaimana bentuk inti ditentukan! Jika distribusi muatan dalam inti tidak simetrik bola, inti akan memiliki catur-kutub (kuadrupol) listrik. Momen catur-kutub inti akan berinteraksi dengan elektron orbital sebuah atom dan akibatnya terdapat pergeseran tingkat energi atomik yang akan menimbulkan perpecahan hiperhalus dari garis spektral. Akibatnya kita akan dapatkan penyimpangan dari simetri bola pada inti. Inti seperti itu harus berbentuk bola lonjong atau bola dempak. Untuk

berbagai tujuan biasanya inti dianggap berbentuk bola: namun penyimpangan dari bentuk bola walaupun sangat kecil merupakan informasi yang sangat berharga untuk struktur inti.

### 1.6 Energi Ikat

Energi total dari sistem terikat (inti) adalah lebih kecil dari energi kombinasi penyusun nucleon. Sebagai contoh pada inti deuterium (deuteron)  ${}^2_1\text{H}$ , massanya 2,014102 u, sedangkan penyusunnya adalah sebuah proton dan sebuah neutron. Massa total penyusun adalah massa sebuah proton plus massa sebuah neutron yaitu  $1,007825 \text{ u} + 1,008665 \text{ u} = 2,016490 \text{ u}$ , harga ini 0,002388 u lebih besar dari masa inti deuterium.

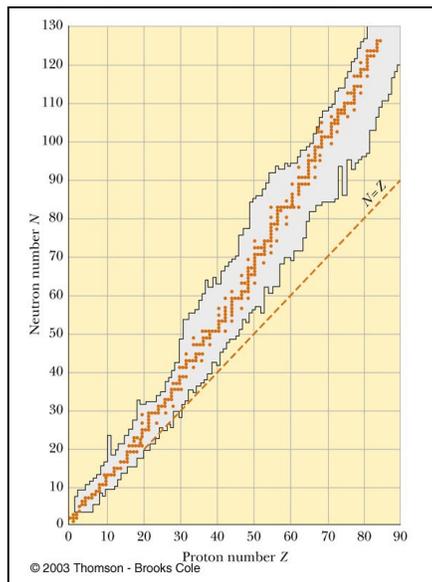
Perbedaan massa ini berhubungan dengan ikatan antara proton dengan neutron untuk membentuk deuteron. Massa 0,002388 u sama dengan  $0,002388 \text{ u} \times 931 \text{ MeV/u} = 2,22 \text{ MeV}$ . Perbedaan energi ini dinamakan energi ikat inti. Dapat juga dinyatakan sebagai sejumlah energi yang diperlukan untuk memecah inti menjadi proton dan neutron. Sebaliknya, jika deuteron terbentuk dari proton dan neutron bebas, maka energi sebesar 2,22 MeV dilepaskan.



Gambar 3  
Energi ikat per nukleon

### 1.7 Kestabilan Inti

Terdapat gaya tolak elektrostatis yang sangat besar antar sesama proton dalam inti. Gaya ini dapat menyebabkan inti hancur. Akan tetapi faktanya ada inti yang stabil, apa yang bisa menyebabkan inti stabil!



Gambar 4  
Grafik kestabilan inti

Inti tetap stabil karena adanya gaya yang lain, gaya berjangjauan pendek, dinamakan *gaya inti (atau kuat)*. Gaya ini merupakan gaya tarik yang bekerja pada semua partikel inti. Gaya tarik inti lebih kuat dari pada gaya tolak Coulomb pada jarak dekat dalam inti.

Fakta yang lain, tidak setiap gabungan neutron dan proton membentuk inti yang mantap atau stabil. Pada umumnya, inti ringan ( $A < 20$ ) mengandung jumlah neutron dan proton yang hampir sama, sedangkan pada inti berat proporsi neutron bertambah besar. Hal ini terlihat pada gambar 4 yang merupakan plot antara N terhadap Z untuk nuklida stabil. Inti ringan stabil jika  $N = Z$ .

Inti berat sangat stabil ketika  $N > Z$ , karena semakin besar jumlah proton, gaya tolak Coulomb semakin besar akibatnya diperlukan lebih banyak nukleon (neutron) agar inti tetap stabil. Gaya nuklir memiliki jangkauan terbatas, dan sebagai hasilnya interaksi nukleon kuat hanya terjadi antara tetangga terdekatnya. Efek ini dikenal sebagai kejenuhan gaya nuklir. Karena tolakan Coulomb dari proton menjangkau keseluruhan bagian inti, maka terdapat batas kemampuan neutron untuk mencegah terpecahnya inti besar. Batas ini dinyatakan dalam isotop bismut yang merupakan nuklida mantap paling berat. Tidak ada inti stabil ketika  $Z > 83$ , inti akan bertransformasi menjadi inti yang lebih ringan melalui emisi sebuah atau lebih partikel alfa.

### 1.8 Isotop

Inti dari berbagai atom dapat memiliki jumlah proton yang sama, meskipun memiliki jumlah neutron yang bervariasi. *Isotop* adalah sebuah unsur yang memiliki  $Z$  sama tetapi nilai  $N$  dan  $A$  berbeda. Contohnya adalah  ${}^1_6\text{C}$   ${}^{12}_6\text{C}$   ${}^{13}_6\text{C}$  dan  ${}^{14}_6\text{C}$ .

## 2. Radiaktivitas

### 2.1 Pendahuluan

Walaupun gaya yang mengikat nukleon cukup kuat, inti atom bukannya tidak berubah. Banyak inti tak mantap dan berubah komposisinya melalui peluruhan radioaktif. Lagipula semua inti dapat ditransformasi melalui reaksi dengan nukleon atau inti lain yang bertumbukan dengannya. Aspek utama dari radioaktivitas dan reaksi nuklir akan diriview pada bagian berikut.

### 2.2 Sejarah Radioaktivitas

- 1896: Becquerel secara tak sengaja menemukan kristal uranil mengemisikan radiasi pada plat fotoe.
- 1898: Marie and Pierre Curie menemukan polonium ( $Z=84$ ) dan radium ( $Z = 88$ ), Dua unsur baru radioaktif
- 1903: Becquerel and the Curie's menerima Nobel prize fisika dalam hal mempelajari radioaktivitas.
- 1911: Marie Curie menerima Nobel prize (kedua) kimia untuk penemuan polonium dan radium.
- 1938: Hahn (1944 Nobel prize) and Strassmann menemukan fissi inti - Lisa Meitner memerankan peranan penting
- 1938: Enrico Fermi menerima Nobel prize fisika dalam hal memproduksi unsur radioaktif baru melalui irradiation neutron, dan bekerja dengan reaksi inti

### 2.3 Radioaktivitas; Mengapa!

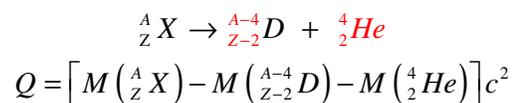
*Radioaktivitas* adalah emisi radiasi secara spontan. Eksperimen menunjukkan bahwa radioaktivitas merupakan hasil peluruhan atau desintegrasi inti yang tidak stabil. Tiga jenis radiasi yang dapat diemisikan, yaitu partikel alfa, partikel beta dan sinar gama. Partikel alfa merupakan inti  ${}^4\text{He}$ . Partikel beta dapat berupa elektron atau positron. Sebuah positron adalah *antipartikel* dari elektron, massanya sama seperti elektron kecuali muatannya  $+e$ . Sinar gama merupakan foton berenergi tinggi. Kemampuan daya tembus partikel-partikel tersebut berbeda beda. Partikel  $\alpha$  tidak dapat melalui kertas, sedangkan beta dan gama mampu. Partikel  $\beta$  tidak dapat melalui aluminium, sedangkan gama mampu dan tidak dapat melalui timah.

Radiasi akan mengionisasi atom dalam sel hidup, akibatnya akan dapat merusak sel dan menyebabkan kanker atau leukaemia. Diluar tubuh,  $\beta$  dan  $\gamma$  lebih berbahaya karena dapat menembus kulit dan masuk ke organ tubuh. Sedangkan di dalam tubuh, radiasi  $\alpha$  **lebih berbahaya** karena tidak punya cukup energi untuk keluar dari tubuh dan memiliki daya ionisasi paling besar untuk merusak sel. Partikel  $\beta$  dan  $\gamma$  kurang berbahaya dibanding  $\alpha$  karena memiliki energi yang cukup untuk keluar dari tubuh.

### 2.4 Proses Radiasi

#### 2.4.1 Peluruhan Alfa

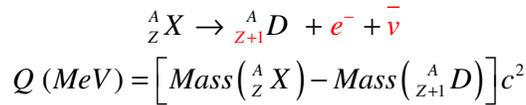
Karena gaya tarik antar nukleon berjangkauan pendek, energi ikat total dalam inti hampir berbanding lurus pada nomor massa, banyaknya nukleon yang dikandungnya. Gaya listrik tolak-menolak antara proton memiliki jangkauan tak terbatas, dan energi total yang dapat menghancurkan inti ini berbanding lurus dengan  $Z^2$ . Inti yang mengandung 210 nukleon atau lebih demikian besarnya sehingga gaya inti berjangkauan pendek yang mengikatnya hampir tidak dapat mengimbangi gaya tolak-menolak protonnya. Peluruhan alfa dapat terjadi pada inti seperti itu sebagai suatu cara untuk memperkuat kestabilannya dengan mereduksi ukuran intinya. Reaksi peluruhan alfa dijelaskan sebagai berikut.



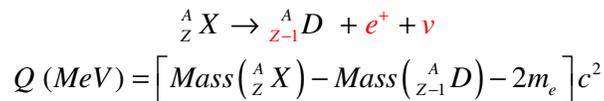
Inti induk meluruh menjadi inti anak plus sebuah partikel alfa.

#### 2.4.2 Peluruhan Beta

Seperti peluruhan alfa, peluruhan beta merupakan suatu cara untuk inti agar dapat merubah komposisinya supaya mencapai kestabilan yang lebih besar. Pada peluruhan  $\beta^-$  (emisi  $e^-$ ), Inti Induk meluruh menjadi inti anak plus elektron dan anti-neutrino. Anti-neutrino adalah partikel ke 3 yang menjelaskan range energi kinetik elektron. Jika atom ( $Z$ ) memiliki massa lebih besar dari pada atom tetangganya ( $Z+1$ ), maka peluruhan  $\beta^-$  mungkin terjadi. Neutron bebas dapat meluruh menjadi sebuah proton dengan waktu paruh  $t_{1/2} = 10.8$  menit dan  $Q = 939.57 - (938.28 + 0.511) = 0.78$  MeV. Reaksi peluruhan  $\beta^-$  dijelaskan sebagai berikut.

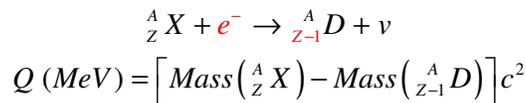


Pada peluruhan  $\beta^-$  (emisi positron), inti Induk meluruh menjadi inti anak plus positron dan neutrino. Proton bebas tidak dapat meluruh menjadi sebuah neutron melalui emisi positron tidak seperti neutron bebas yang dapat meluruh menjadi sebuah proton. Proton terikat dalam inti kadang-kadang dapat mengemisikan sebuah positron karena efek energi ikat inti. Reaksi peluruhan  $\beta^+$  dijelaskan sebagai berikut.



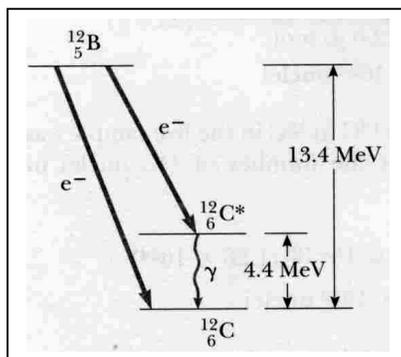
### 2.4.3 Penangkapan Elektron

Inti induk menangkap elektron dari orbitalnya sendiri dan mengubah sebuah proton inti menjadi sebuah neutron. Jika atom (Z) memiliki massa yang lebih besar dari tetangganya, maka penangkapan elektron memungkinkan terjadi. Jika perbedaan massa antara atom (Z) dan tetangganya (Z-1) lebih besar dari  $2m_e$ , maka peluruhan positron juga mungkin terjadi. Reaksi penangkapan elektron dijelaskan sebagai berikut.



### 2.4.4 Peluruhan Gama

Sebuah inti dapat berada dalam keadaan ikat yang energinya lebih tinggi dari keadaan dasar, mirip seperti pada atom. Inti tereksitasi kembali ke keadaan dasar dengan memancarkan foton yang energinya bersesuaian dengan perbedaan energi antara berbagai keadaan awal dan keadaan akhir dalam transisi yang bersangkutan.



Foton yang dipancarkan oleh inti daerah energinya berbeda-beda hingga mencapai beberapa MeV dan secara tradisional disebut sinar gamma. Emisi sinar gamma biasanya mengikuti peluruhan beta atau alfa (lihat gambar 5). Waktu hidup rata-ratanya sangat singkat yaitu sekitar  $10^{-10}$  s.

Gambar 5  
Pemancaran beta dan gama yang berturutan

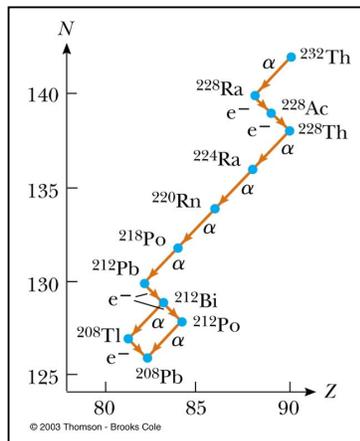
### 2.5 Radioaktif Alam

Tiga deret inti radioaktif terjadi secara alami. Dimulai dengan isotop radioaktif (U, Th) dan berakhir pada isotop Pb. Deret keempat dimulai dengan sebuah unsur yang tidak ditemukan di alam ( $^{237}\text{Np}$ ). Isotop radioaktif lain yang meluruh secara alami  $^{14}\text{C}$ ,  $^{40}\text{K}$

Tabel 1  
Radioaktif alam

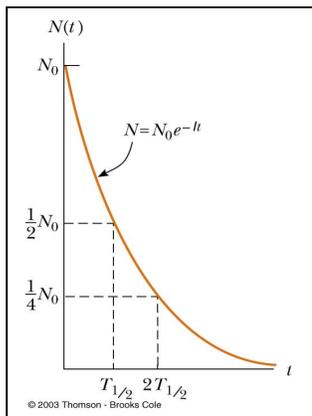
| Series             | Starting Isotope       | Half-Life (years)     | Stable End Product     |
|--------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|
| Uranium            | $^{238}_{92}\text{U}$  | $4.47 \times 10^9$    | $^{206}_{82}\text{Pb}$ |
| Actinium (natural) | $^{235}_{92}\text{U}$  | $7.04 \times 10^8$    | $^{207}_{82}\text{Pb}$ |
| Thorium            | $^{232}_{90}\text{Th}$ | $1.41 \times 10^{10}$ | $^{208}_{82}\text{Pb}$ |
| Neptunium          | $^{237}_{93}\text{Np}$ | $2.14 \times 10^6$    | $^{209}_{83}\text{Bi}$ |

Contoh deret peluruhan  $^{232}\text{Th}$ :  
Deret dimulai dari  $^{232}\text{Th}$ . Prosesnya melalui peluruhan alfa dan beta. Berakhir pada isotop stabil  $^{208}\text{Pb}$ .



Gambar 6  
Peluruhan  $^{232}\text{Th}$

### 2.6 Kurva Peluruhan



Gambar 7  
Kurva peluruhan

Kurva peluruhan memenuhi persamaan

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

Waktu paruh juga merupakan parameter yang penting. Waktu paruh didefinisikan sebagai waktu yang dibutuhkan inti sehingga jumlahnya menjadi separuhnya

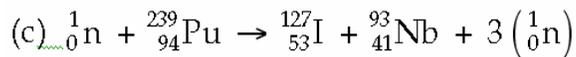
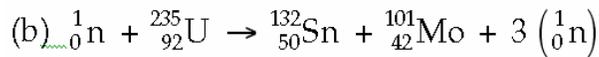
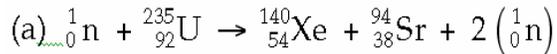
$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda}$$

## 2.7 Reaksi Inti

Struktur inti dapat berubah oleh penembakan dengan partikel yang energetik. Perubahannya dinamakan *reaksi inti*. Sama seperti peluruhan inti, nomor atom dan nomor massa harus sama di kedua ruas persamaan.

Example:

Which of the following are possible reactions?



Answer

(a) and (b). Reactions (a) and (b) both conserve total charge and total mass number as required. Reaction (c) violates conservation of mass number with the sum of the mass numbers being 240 before reaction and being only 223 after reaction.

Energi juga harus kekal dalam reaksi inti. Energi yang dibutuhkan untuk menyeimbangkan sebuah reaksi inti dinamakan nilai  $Q$  dari reaksi. Pada reaksi *exothermic*, terjadi pengurangan massa dalam reaksi, terjadi pelepasan energi dan nilai  $Q$  positif. Sedangkan pada reaksi *endothermic*, terjadi peningkatan massa dalam reaksi, energi dibutuhkan, dalam bentuk energi kinetik partikel penumbuk dan nilai  $Q$  negatif. Agar momentum dan energi kekal, partikel penumbuk harus memiliki energi kinetik minimum, dinamakan energi ambang

$$KE_{\min} = \left(1 + \frac{m}{M}\right)|Q|$$

$m$  : massa partikel penumbuk

$M$  : Massa partikel target

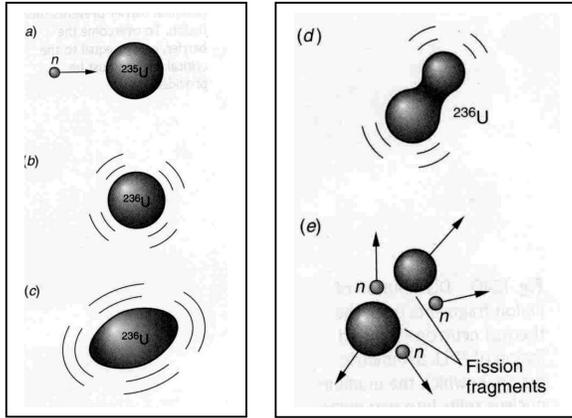
Jika energi partikel penumbuk kurang dari ini, reaksi tidak dapat terjadi.

## 2.8 Fisi Inti

Jenis lain dari gejala reaksi nuklir yang dapat dianalisis dengan model tetesan cairan adalah fisi inti. Dalam gejala ini, sebuah inti berat ( $A > 200$ ) membelah menjadi dua buah inti yang lebih ringan. Jika tetesan cairan cukup tereksitasi, tetesan tersebut dapat berosilasi dengan berbagai cara, tetesan tersebut berturut-turut menjadi bola lonjong, bulat, dampak, bulat, lonjong lagi dan seterusnya. Gaya pemulih dari tegangan permukaan selalu mengembalikannya menjadi bola bulat, namun kelembaman cairan yang bergerak menyebabkan cairan tersebut melampaui kebulatannya dan bergerak ke ekstrim yang berlawanan dari distorsi.

Inti bisa dipandang menunjukkan terdapatnya tegangan permukaan, sehingga dapat bervibrasi seperti setetes cairan dalam keadaan tereksitasi, inti juga dipengaruhi gaya pembelah yang ditimbulkan oleh gaya elektrostatik tolak

menolak dari protonnya. Jika sebuah inti terdistorsi dari bentuk bulat, gaya pemulih berjangkauan pendek dari tegangan permukaan harus mengatasi gaya tolak berjangkauan panjang dan juga kelembaman dari materi nuklir. Jika derajat distorsinya kecil, tegangan permukaan cukup memadai untuk melakukan kedua hal tersebut, dan inti bervibrasi bolak-balik sampai akhirnya kehilangan energi eksitasi melalui peluruhan gama.

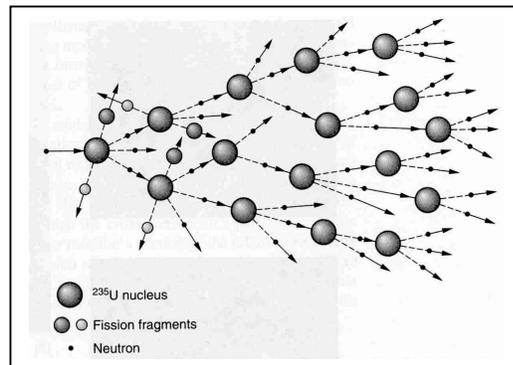


Gambar 8  
Fisi inti

Jika derajat distorsinya cukup besar, tegangan permukaan tidak cukup mengembalikan kelompok proton yang terpisah cukup jauh, dan inti terbelah menjadi dua bagian. Sebuah inti berat mengalami fisi jika inti itu mendapatkan energi eksitasi yang cukup (5 MeV atau lebih), sehingga beresilasi hebat. Beberapa inti, misal  $^{235}_{92}\text{U}$  cukup tereksitasi hanya dengan menyerap neutron tambahan, sehingga terbelah menjadi dua.

## 2.9 Fisi Berantai

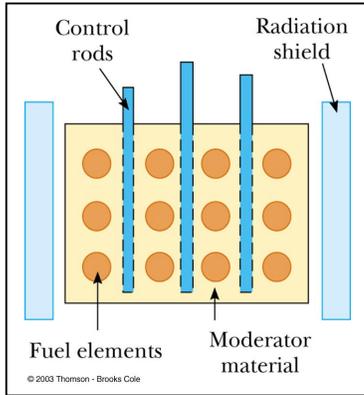
Fisi berantai dapat terjadi dengan menggunakan neutron *dari* suatu proses fisi untuk menginisiasi proses fisi selanjutnya. Pada tahun 1942 Fermi membuat reaktor fisi inti yang pertama yang dapat dikontrol. Untuk bom nuklir, memerlukan lebih dari satu neutron dari peristiwa fisi pertama yang menyebabkan peristiwa kedua (1 g U dapat melepaskan energi sama dengan sekitar 20000 ton TNT). Untuk pembangkit daya nuklir, memerlukan satu neutron yang menyebabkan peristiwa kedua.



Gambar 9  
Fisi Berantai

## 2.10 Reaktor Nuklir

Sebuah *reaktor nuklir* adalah sebuah sistem yang didisain untuk terjadinya reaksi berantai yang terkendali. *Konstanta reproduksi K*, didefinisikan sebagai jumlah rata-rata neutron dari tiap peristiwa fisi yang akan menyebabkan peristiwa fisi lain. Nilai maksimum K dari uranium fisi adalah 2.5. Dalam kenyataan, K lebih kecil dari nilai ini. Reaksi yang terkendali memiliki nilai  $K=1$ . Berikut disain sederhana dari reaktor nuklir.



Elemen bahan bakar terdiri atas uranium. *Material moderator* (air dan grafit) digunakan untuk memperlambat neutron. *Batang kendali* digunakan untuk mengabsorpsi neutron. Ketika  $K = 1$ , reaktor dikatakan *kritis* artinya reaksi berantai terkendali. Ketika  $K < 1$ , reaktor dikatakan *subkritis* artinya reaksi berhenti. Dan ketika  $K > 1$ , reaktor dikatakan *superkritis*, terjadi reaksi yang berjalan sendiri

Gambar 10  
Disain dasar reaktor

### SOAL LATIHAN

1. Apakah yang menyebabkan kestabilan inti!
2. Apakah yang menyebabkan kemantapan ukuran inti!
3. Hitunglah energi ikat  ${}_{20}^{40}\text{Ca}$  !
4. Apa penyebab terjadinya peluruhan alfa, beta dan gama!
5. Jelaskan bagaimana fisi inti dapat terjadi
6. Hitung energi maksimum elektron yang terpancar dalam peluruhan beta  ${}_{5}^{12}\text{B}$  !
7. Jelaskan proses yang terjadi dalam sebuah reaktor nuklir!