

MATA KULIAH : FISIKA DASAR II  
KODE MK : EL-122  
Dosen : Dr. Budi Mulyanti, MSi

### **Pertemuan ke-16**

#### **CAKUPAN MATERI**

1. INTI ATOM
2. BILANGAN ATOM DAN BILANGAN MASSA
3. *MASS DEFECT*
4. RADIOAKTIVITAS
5. WAKTU PARUH
6. DERET RADIOAKTIF
7. SIFAT-SIFAT RADIASI

#### **SUMBER-SUMBER:**

1. Frederick Bueche & David L. Wallach, Technical Physics, 1994, New York, John Wiley & Sons, Inc
2. Tipler, Fisika Untuk sains dan Teknik (terjemah oleh Bambang Soegijono), Jakarta, Penerbit Erlangga, 1991
3. Gancoli Douglas C, Fisika 2 (terjemah), 2001, Penerbit Erlangga, Edisi 5.
4. Sears & Zemansky, Fisika Untuk Universitas 3 (Optika & Fisika Modern), 1991, Jakarta-New York, Yayasan Dana Buku Indonesia
5. Frederick J. Bueche, Seri Buku Schaum Fisika, 1989, Jakarta, Penerbit Erlangga
6. Halliday & Resnick, Fisika 2, 1990, Jakarta, Penerbit Erlangga
7. Sutrisno, Seri Fisika Dasar (Fisika Modern), 1989, Bandung, Penerbit ITB

# BAB VII

## FISIKA NUKLIR

### 7.1 INTI ATOM

Atom pada umumnya memiliki diameter dalam orde  $10^{-10}$  m. sedangkan diameter inti atom  $\sim 10^{-15}$  m. Inti atom berisi proton dan neutron (disebut nukleon). Neutron tidak memiliki muatan, namun massa neutron  $\approx$  massa proton.

Inti atom terikat oleh gaya inti yang sangat kuat dan bersifat tarik menarik antara nukleon-nukleon. Namun bekerja pada jangkauan yang pendek.

Jari-Jari inti atom :

$$R = (1,2 \times 10^{-15})A^{1/3} \text{ m}$$

Rapat massa inti :

$$\rho_{inti} = \frac{m}{V} = \frac{A(1,67 \times 10^{-27})}{\frac{4}{3}\pi(1,27 \times 10^{-15})\left(A^{1/3}\right)^3} = 2,3 \times 10^{17} \text{ kg/m}^3$$

### 7.2 BILANGAN ATOM DAN BILANGAN MASSA

Cara yang paling umum digunakan untuk mengatur elemen-elemen (atom) adalah berdasarkan jumlah proton ( $z$ ) dalam inti. Bilangan atom  $z$  menyatakan jumlah proton dalam inti. Sehingga muatan dalam inti tersebut adalah sebesar  $+Ze$ .

Massa atom dinyatakan dalam unit massa atom ( $u$ ), yaitu:

$$u = 1,6605 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

Misal :  $m_p \approx 1,01 u$

$$m_p \approx 1,01 u$$

$$m_e \approx 0,00055 u$$

dengan demikian massa atom  $\approx$  massa inti atom

#### Isotop

Inti yang memiliki jumlah proton yang sama namun jumlah neutron yang berbeda disebut isotop.

$$\begin{matrix} A \\ Z \end{matrix} X \qquad Z = \text{jumlah proton}$$

$$A - Z = \text{jumlah neutron}$$

Misalkan inti atom cobalt -27



### 7.3. MASS DEFECT

Semua inti atom memiliki massa yang sedikit lebih kecil dari pada nukleon-nukleon yang menyusunnya secara terpisah. Perbedaan ini disebut 'mass defect'.

Contoh : inti  ${}^4_2\text{He}$

$$\begin{array}{l} \text{Massa} \quad 2 \text{ proton} \quad : 2 \times 1,007276 \text{ u} \\ \quad \quad \quad 2 \text{ neutron} \quad : 2 \times 1,008665 \text{ u} \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} \text{Massa} \quad 2 \text{ proton} \quad : 2 \times 1,007276 \text{ u} \\ \quad \quad \quad 2 \text{ neutron} \quad : 2 \times 1,008665 \text{ u} \end{array}} \right\} \text{Total : } 4,0318824 \text{ u}$$

Namun massa  ${}^4_2\text{He}$  yang terukur : 4,001506 u

Dengan demikian ada kehilangan massa sebesar 0,0304 u. Inti besi memiliki massa defect yang terbesar, dibandingkan dengan inti atom lain.

### Energi Ikat Inti

*Massa defect* adalah ukuran energi yang mengikat nukleon-nukleon bersama.

Hubungan antara massa-energi menurut Einstein adalah:

$$\Delta E = (\Delta m)C^2$$

Untuk inti atom  $\text{He}$  :

$$\Delta E = (0,0304)(1,66 \times 10^{-27})(3 \times 10^8)^2$$

$$\Delta E = 4,5 \times 10^{-12} \text{ J}$$

$$\Delta E = \frac{4,5 \times 10^{-12}}{1,6 \times 10^{-19}}$$

$$\Delta E = 2,8 \times 10^7 \text{ eV}$$

$$\Delta E = 2,8 \text{ MeV}$$

Ini setara dengan energi elektron yang dihasilkan melalui beda tegangan  $28 \times 10^9 \text{ V}$ .

Untuk memisahkan nukleon-nukleon atom inti diperlukan energi, sebaliknya akan dilepaskan energi jika nukleon-nukleon bergabung membentuk inti atom. Energi tersebut disebut sebagai energi ikat inti.

Energi untuk 1 u :

$$E = (1 \times 1,6605 \times 10^{-27})(C^2)$$

$$E = 1,492 \times 10^{-10} \text{ J}$$

$$E = 931 \text{ MeV}$$

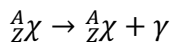
## 7.4 RADIOAKTIVITAS

Semua inti atom dengan  $Z > 83$  bersifat tak stabil, contoh: radium, uranium dan thorium. Reaktor nuklir dapat menghasilkan inti tak stabil. Partikel dengan energi tinggi dari luar angkasa (sinar cosmic) yang menabrak bumi dapat mengubah inti stabil menjadi tak stabil.

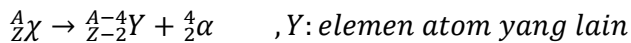
Semua inti yang tak stabil disebut radioaktif; yang pada akhirnya akan berubah dengan mengemisikan  $\alpha$ ,  $\beta$  atau  $\gamma$  secara spontan. Ada 3 reaksi pada inti radioaktif:

1. Emisi sinar  $\gamma$  ( $\lambda$  pendek, sinar  $\chi$ )
2. Emisi partikel  $\alpha$  (inti helium = 2 proton + 2 neutron)
3. Emisi partikel  $\beta$  (elektron)

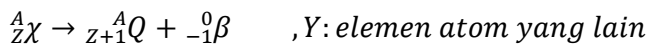
Sinar  $\gamma$  adalah foton, sehingga dapat membawa energi keluar dari inti. Ketika inti mengemisikan sinar  $\gamma$ , maka inti dari keadaan tereksitasi jatuh ke tingkatan energi yang lebih rendah.



Jika inti mengemisikan partikel  $\alpha$ , massa dan muatannya berubah.



Jika inti mengemisikan  $\beta$  :



→ Muatannya berubah, namun massanya tetap

Catatan:

- ❖ Inti tidak mengandung elektron. Seolah-olah neutron adalah proton + elektron, jadi sewaktu emisi  $\beta$ , neutron berubah menjadi proton.
- ❖ Sebetulnya massa elektron  $\neq 0$ .

## 7.5 WAKTU PARUH

Laju peluruhan radioaktif suatu isotop dinyatakan dengan waktu paruh  $T_{1/2}$ . Yaitu waktu yang diperlukan agar setengah dari bahan radioaktif berubah (meluruh). Peluruhan bahan radioaktif dinyatakan dengan:

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

Dengan demikian:

$$\frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t} \rightarrow e_n \frac{N_0}{N} \lambda t \rightarrow e_n \frac{N_0}{\frac{N_0}{2}} = \lambda T_{1/2} \rightarrow e_n 2 = \lambda T_{1/2}$$

$$\lambda T_{1/2} = 0,693$$

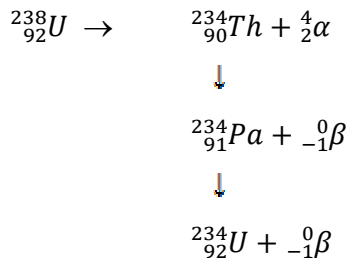
Jika  $\Delta t \ll T_{1/2} \rightarrow$  bahan yang meluruh dalam waktu  $\Delta t$  :

$$\Delta N = \lambda N \Delta t$$

## 7.6 DERET RADIOAKTIF

Hampir semua isotop radioaktif yang ditemukan adalah bagian dari 3 deret isotop radioaktif yang juga menghasilkan isotop radioaktif.

Contoh:



## 7.7 SIFAT-SIFAT RADIASI

### ❖ Partikel $\alpha$

Karena memiliki muatan dan ukuran besar, partikel  $\alpha$  mudah mengionisasi atom-atom yang ditumbuhkannya (jarang menumbuk inti atom). Hampir semua energinya hilang ketika berinteraksi dengan elektron-elektron dalam atom (sekitar 30 eV setiap bertumbukan dengan 1 elektron). Karena partikel  $\alpha$  memiliki energi dalam MeV, maka akan mengionisasi  $10^6$  atom sebelum partikel  $\alpha$  berhenti. Ketika elektron-elektron terlepas dari atom dan molekul, maka akan terjadi kerusakan yang hebat dengan meninggalkan berkas atom terionisasi dan molekul-molekul yang rusak sepanjang berkas (lintasan) tersebut.

Partikel  $\alpha$  menjaral dalam lintasan lurus, dimana panjang lintasan sebanding dengan energinya. Karena partikel  $\alpha$  kehilangan energinya sedikit demi sedikit dalam jutaan tumbukan kecil, lintasannya menjadi lurus. Partikel-partikel dengan energi awal yang sama akan menjaral dengan jarak yang hampir sama sebelum berhenti. Jarak ini disebut jangkauan partikel. Misalnya partikel  $\alpha$  dengan energi 1 MeV memiliki jangkauan 0,5 cm di udara, 0,003 cm dalam daging dan 0,0003 cm dalam Al. Jarak jangkauan tersebut akan bertambah 2x lipat untuk partikel  $\alpha$  dengan energi 2 MeV. Partikel  $\alpha$  mudah dihentikan, sehingga mudah

untuk melindungi diri, namun akan berbahaya jika tertelan. Karena partikel-partikel  $\alpha$  akan terlokalisir dalam badan dan menyebabkan kerusakan serius.

#### ❖ Proton

Proton menjalar dalam medium mirip dengan partikel  $\alpha$ . Namun karena proton memiliki muatan dan massa yang lebih kecil, maka akibat yang ditimbulkan dalam ionisasi juga lebih kecil. Dengan demikian proton memiliki jangkauan yang lebih panjang meskipun energi awal yang dimilikinya sama dengan partikel  $\alpha$ . Misal proton dengan energi  $1\text{ MeV}$  memiliki jangkauan di udara  $10\times$  lipat partikel  $\alpha$  dengan energi  $1\text{ MeV}$ .

#### ❖ Neutron

Karena neutron tidak bermuatan, maka memiliki daya penetrasi yang lebih besar dibanding proton. Meskipun massanya sama. Partikel  $\alpha$  dan proton dapat menimbulkan ionisasi dan mengalami gaya *Coulomb* ketika bertumbukan dengan elektron. Tidak demikian halnya dengan neutron. Neutron dapat berhenti jika bertumbukan dengan inti ringan.

#### ❖ Partikel $\beta$

Partikel  $\beta$  adalah elektron dan karena partikel  $\beta$  memiliki massa yang sangat kecil, maka sulit untuk dihentikan dan mudah membelok. Partikel  $\beta$  dengan energi  $1\text{ MeV}$  memiliki jangkauan  $5\text{ m}$  dalam udara. Momentum yang dimiliki partikel  $\beta$  sangat kecil sehingga mudah membelok dan akibatnya lintasannya tidak linier.

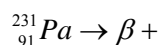
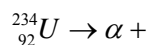
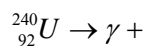
#### ❖ Sinar $\gamma$

Sinar  $\gamma$  tidak memiliki massa dan muatan. Sinar  $\gamma$  akan kehilangan energinya dengan cara berbeda dengan partikel bermuatan. Misalnya untuk photon dengan energi  $1\text{ MeV}$ , akan kehilangan energinya dengan mudah dalam efek fotolistrik yaitu dapat mengusir (mengeluarkan) elektron dalam atom pada saat tumbukan.

Misalnya: sinar  $\chi$  dengan energi  $< 1\text{ keV}$  dapat dihentikan sewaktu bertumbukan dengan kulit, namun jika memiliki energi  $30\text{ keV}$  sinar  $\chi$  dapat menembus lengan manusia. Dengan kata lain sinar  $\gamma$  dengan energi tinggi memiliki daya penetrasi yang sangat tinggi pula.

#### Soal-soal:

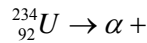
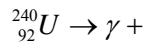
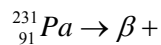
1. Selesaikan reaksi di bawah ini:



2. Diketahui massa neutron adalah 1,008665 u, dan massa hirogen (1proton+1elektron) adalah 1,007825, hitung *mass defect* pada lithium (dalam kg),  ${}^7_3\text{Li}$  yang memiliki massa atom 7,016005 u.

Massa atom cobalt-59 ditemukan di alam sebesar 58.93 u ( $1 \text{ u} = 1.6605 \times 10^{-27} \text{ kg}$ ).

- Berapa kilogramkah massa atom cobalt?
  - Ulangi untuk carbon-12 yang memiliki massa 12 u.
  - Berapa massa inti cobalt dan carbon?
3. Berapakah radius Co dengan jumlah nukleoun: 60? Berapakah rapat massanya?
4. Selesaiakn reaksi di bawah ini:



5. Boron ditemukan di alam dalam 2 isotop, yaitu 80,22 % memiliki massa atom 11,0093 u dan 19,78% memiliki massa atom 10,0129 u. Berapakah massa atom boron dalam susunan berkala? Solusi: 10,812 u
6. Diketahui massa neutron adalah 1,008665 u, dan massa hirogen (1proton+1elektron) adalah 1,007825, hitung *mass defect* pada lithium (dalam kg),  ${}^7_3\text{Li}$  yang memiliki massa atom 7,016005 u. Solusi: 0,042 u.
7. Berapa energi yang diperlukan untuk memisahkan semua nukleon dalam  ${}^{120}_{90}\text{Sn}$  yang memiliki massa atom 119,90220 u? 1020 MeV
8. Suatu bahan radioaktif berkurang setengahnya setelah 27 jam.
- Berapa waktu paruhnya?
  - Berapa waktu yang diperlukan agar bahan tersebut menjadi  $1/8$  x jumlah semua?
  - Bagaimana agar menjadi  $1/3$  jumlah semula?
9. Jelaskan sifat-sifat radiasi :
- Partikel alpha
  - Partikel proton
  - Partikel netron

**Catatan:**  $1 \text{ u} = 1,66 \times 10^{-27} \text{ kg}$ ;  
konstanta Planck ,  $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ Js}$  ;  
muatan proton,  $q = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$  ; dan  $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$

