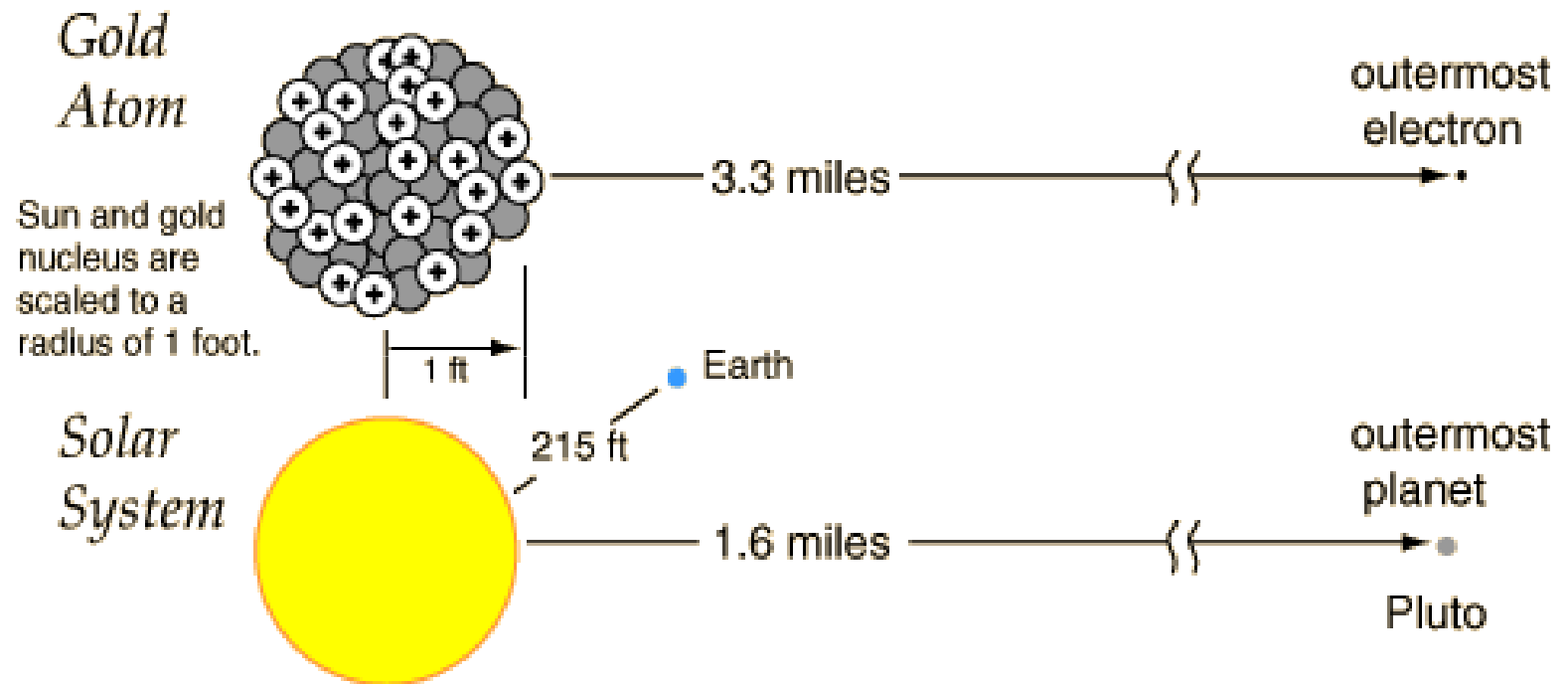


# Bab.9

## Struktur Inti dan Radioaktivitas

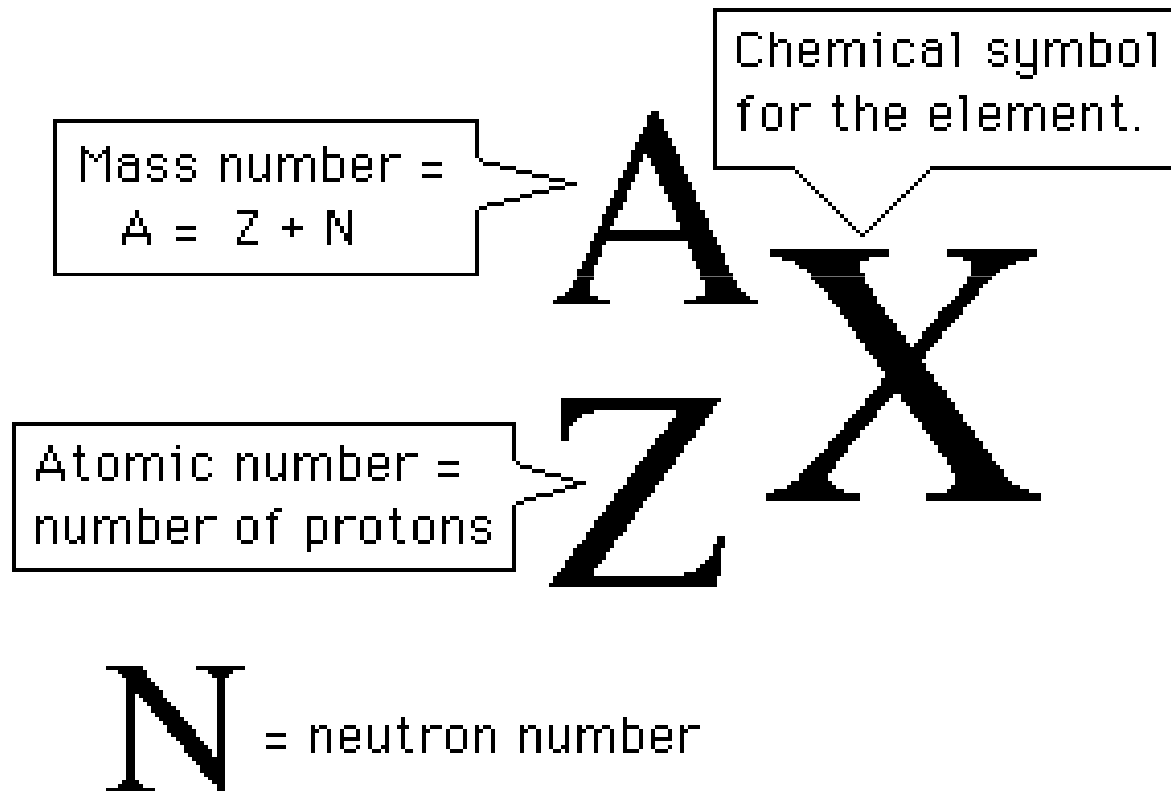
- Nucleus:
  - Sistem dari proton and neutron yang diikat oleh gaya kuat (strong force)
- Jumlah Proton menentukan jenis unsur.
- Isotope memiliki perbedaan # neutron.
  - Isotop Stabil pada umumnya memiliki jumlah proton and neutron yang sama.
  - Isotop yang tidak stabil, akan meluruh (decay)

# Skala Relatif model suatu atom dan tata surya



# Notasi Inti

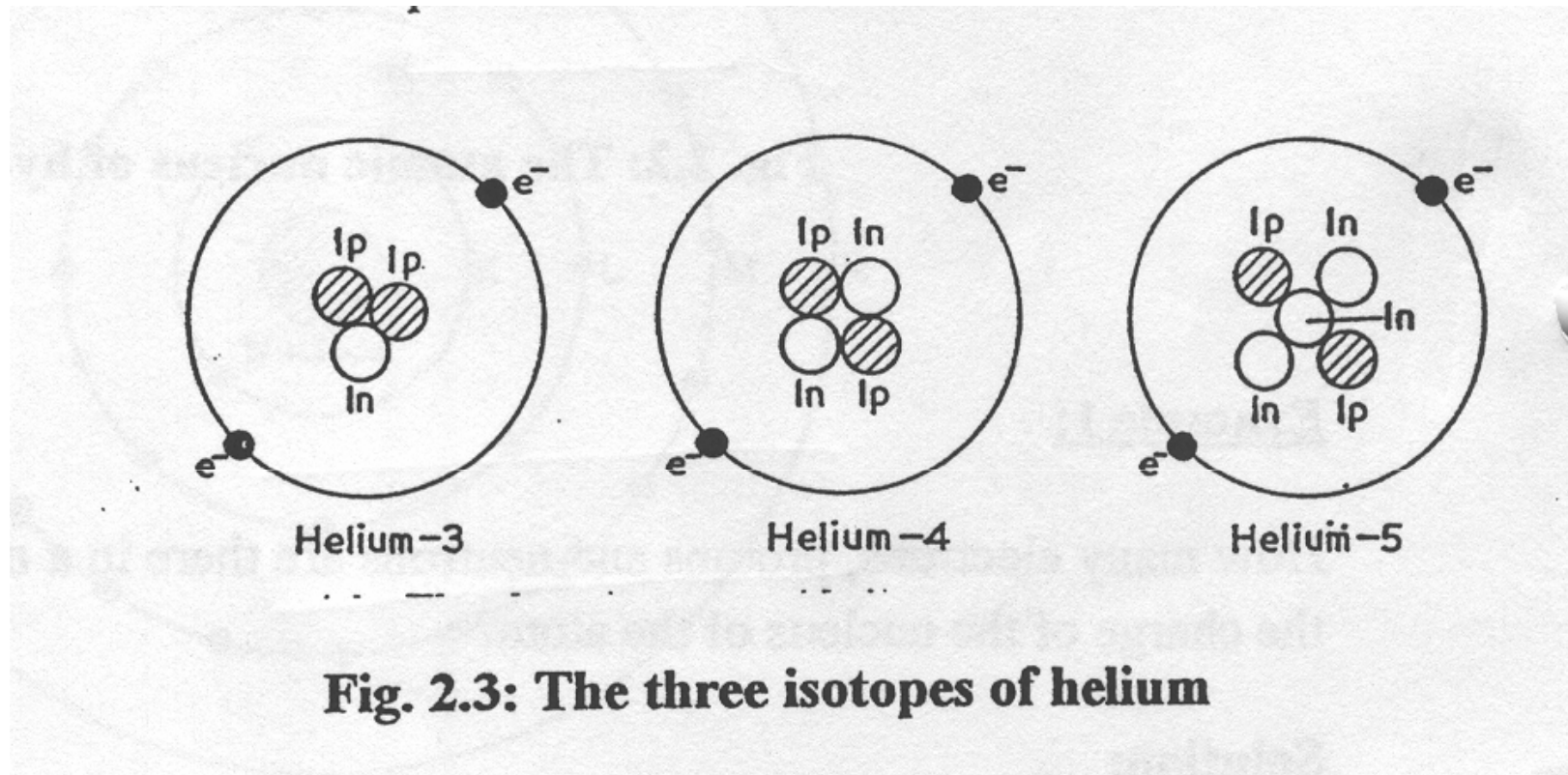
- Notasi inti standar menunjukkan simbol kimia, nomor massa dan nomor atom dari isotope:



# ISOTOP

- Isotop isotop dari suatu unsur memiliki nomor atom yang sama tapi nomor massanya berbeda artinya memiliki jumlah neutron berbeda. Isotop isotop dari suatu unsur memiliki sifat kimia yang sama (identik) namun terdapat perbedaan pada stabilitas intinya.
- Isotop stabil dari unsur unsur ringan, jumlah neutronnya hampir sama dengan jumlah protonnya

# Isotop



Z	Isotope	Mass Number	Atomic Mass of Isotope	Abundance [%]	Atomic Mass of Element
1	H	1	1.0078250321	99.9885	1.00794
		2	2.0141017780	0.0115	
		3	3.0160492675		
2	He	3	3.016029309 7	0.000137	4.002602
		4	4.0026032497	99.999863	
3	Li	6	6.015122 3	7.59	6.941
		7	7.016004 0	92.41	
4	Be	9	9.012182	100	9.012182
5	B	10	10.012937	19.9	10.811
		11	11.0093055	80.1	
6	C	12	12.0000000	98.93	12.0107
		13	13.0033548378	1.07	
		14	14.003241988		
7	N	14	14.003 0740052	99.632	14.0067
		15	15.0001088984	0.368	
8	O	16	15.9949146221	99.757	15.9994
		17	16.99913150	0.038	
		18	17.9991604	0.205	

# Satuan Inti(Nuclear Units)

1 electron volt = 1eV =  $1.6 \times 10^{-19}$  joules

1 MeV =  $10^6$  eV   1 GeV =  $10^9$  eV   1 TeV =  $10^{12}$  eV

# Nuclear Units

- Ukuran inti (dimensi inti) sangat kecil sehingga perlu dibuat satuan khusus:
- Ukuran atom dalam orde Angstrom A
- Ukuran inti dalam orde femtometer, dan dalam konteks inti sering disebut Fermis fm



# Nuclear Units

- Massa inti diukur dalam satuan atomic mass units (amu, u) inti atom carbon-12 didefinisikan memiliki massa tepat 12 amu. Jadi 1 amu sama dengan 1/12 massa inti atom carbon-12. Untuk kepraktisan pemakaian satuan massa dapat dinyatakan dalam satuan energi melalui relasi kesetaraan massa energi  $E = mc^2$ . Massa 1 amu bila dikonversi ialah:

$$1 \text{ u} = 1.66054 \times 10^{-27} \text{ kg} = 931.494 \text{ MeV}$$

# Partikel penyusun atom

Electron  
○

$$m_e = 9.1094 \times 10^{-31} \text{ kg} = 0.000549 \text{ u}$$
$$e = -1.6022 \times 10^{-19} \text{ C} \quad m_e c^2 = 0.511 \text{ MeV}$$

Proton

$$m_p = 1.6726 \times 10^{-27} \text{ kg} = 1836.15 m_e = 1.00728 \text{ u}$$
$$e = 1.6022 \times 10^{-19} \text{ C} \quad m_p c^2 = 938.272 \text{ MeV}$$

Neutron

$$m_n = 1.6749 \times 10^{-27} \text{ kg} = 1838.68 m_e = 1.00867 \text{ u}$$
$$\text{charge} = 0 \quad m_n c^2 = 939.566 \text{ MeV}$$

The atomic mass unit  $u$  is defined as 1/12 of the carbon atomic mass.

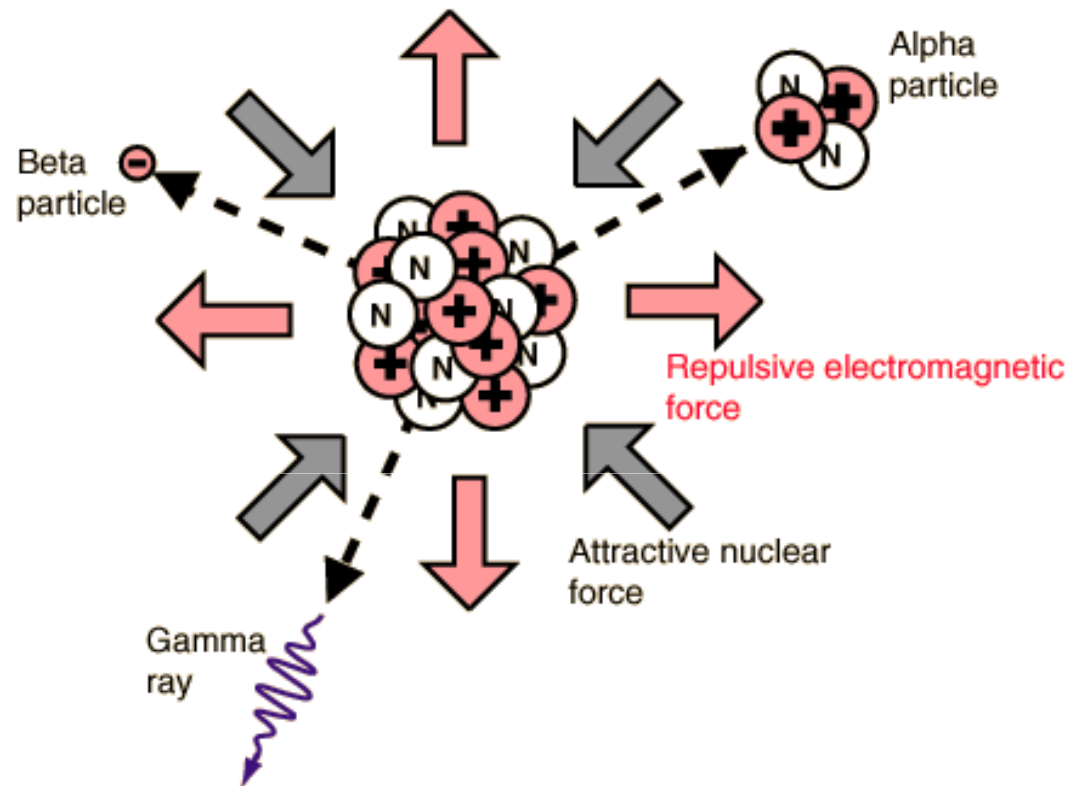
# Partikel penyusun inti atom

muatan dan massa partikel penyusun inti telah diketahui dengan tepat ,namun ukurannya belum diketahui. Informasi terbaik tentang proton and neutron mengindikasikan bahwa mereka terbuat dari partikel penyusunnya. Radius proton dan neutron ialah sekitar

$$1.2 \times 10^{-15} \text{ meter} = 1.2 \text{ fm}$$

elektron merupakan partikel fundamental yaitu bahwa partikel ini tidak dibuat oleh partikel penyusun lainnya(constituent particle).

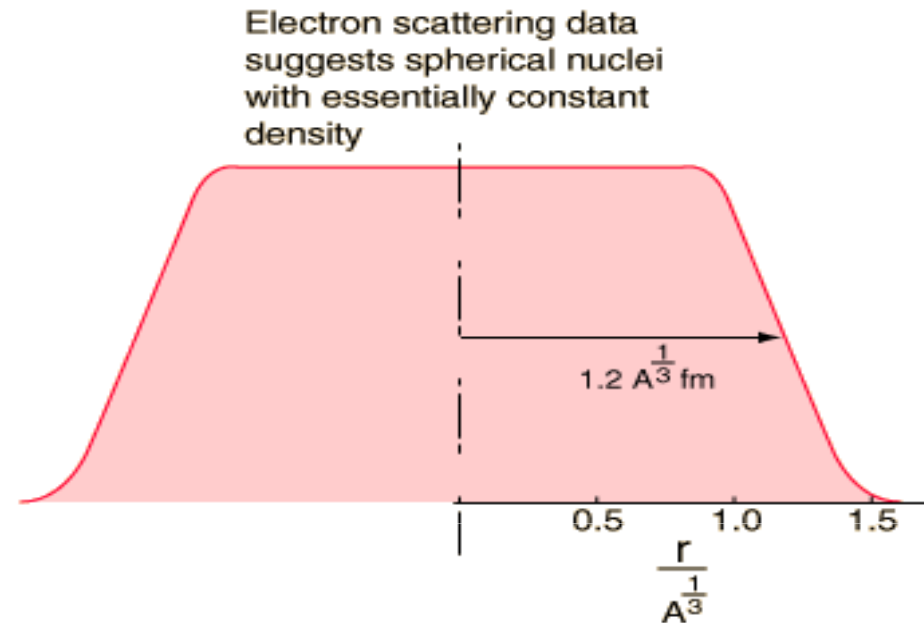
# Gaya Inti



# Nuclear Force(gaya inti)

- Elektron dalam atom hidrogen mengalami gaya tarik ke inti(proton) berupa gaya elektromagnetik yang sangat kuat sedemikian hingga gaya gravitasinya dapat diabaikan. Tetapi dua proton yang sangat berdekatan akan mengalami gaya tolak 100 juta kali lebih besar!! Jadi bagaimanakah proton proton dapat tinggal didalam wadah yang sangat kecil (inti atom)? Hal ini dapat diprediksikan bahwa adanya gaya inti kuat yang menyebabkan proton proton tetap berada dalam inti.

# Kerapatan dan ukuran inti



$$r = r_0 A^{1/3} \text{ where } r_0 = 1.2 \times 10^{-15} \text{ m} = 1.2 \text{ fm}$$

$$\rho_n = 2.3 \times 10^{17} \text{ kg / m}^3$$

# Energi Ikat Inti

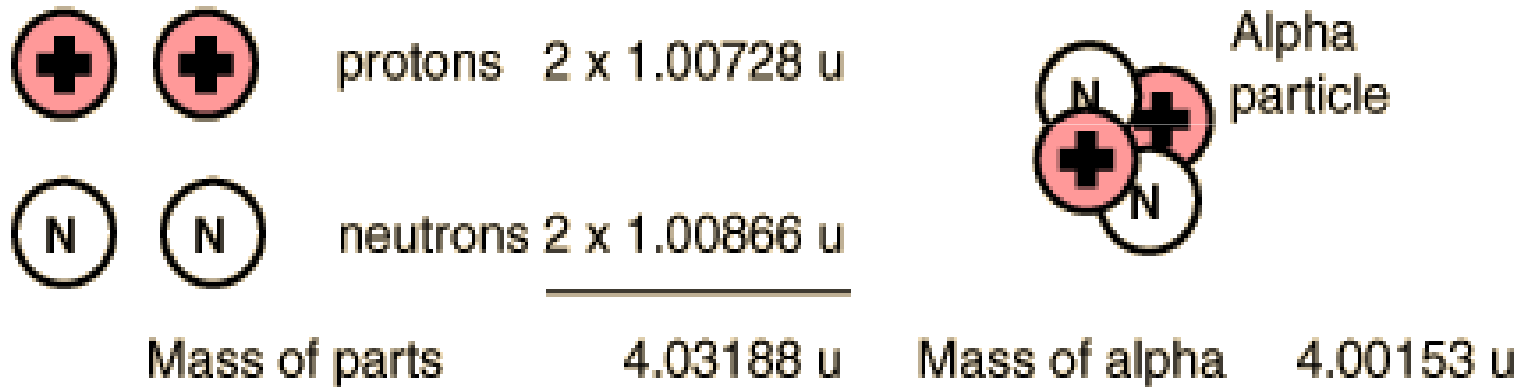
Massa inti selalu lebih kecil dari jumlah massa partikel partikel penyusunnya. Perbedaan massa ini disebut massa defek. Perbedaan massa ini merupakan ukuran dari energi ikat inti yang mengendalikan supaya partikel penyusun inti tetap ada didalam inti meskipun ada gaya tolak menolak diantara proton. Energi ikat ini dapat dihitung dengan menggunakan relasi massa - energi:

$$\text{Energi ikat inti: } BE = \Delta mc^2$$

$$\Delta m = Z \cdot m_p + N \cdot m_n - M(A, Z)$$

# Energi Ikat Inti

- Untuk partikel alpha  $\Delta m = 0.0304$  u yang memberikan energi ikat sebesar 28.3 MeV



$$1 \text{ u} = 1.66054 \times 10^{-27} \text{ kg} = 931.494 \text{ MeV}/c^2$$

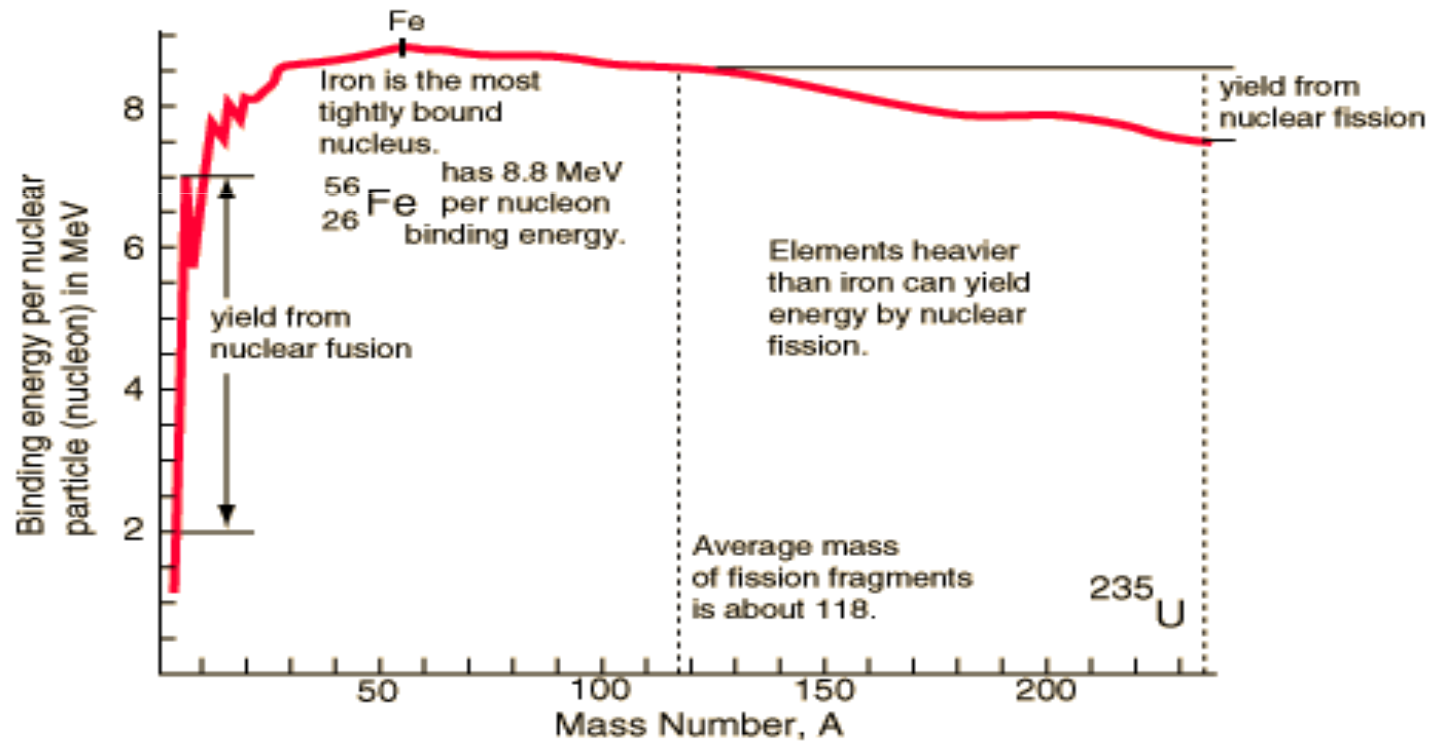


# Energi Ikat Inti

- Energi ikat nukleon besarnya dalam rentang jutaan eV dibandingkan dengan energi elektronik atom yaitu sekitar puluhan eV.
- Transisi atom akan memancarkan photon dengan energi beberapa eV, Sementara transisi inti dapat memancarkan sinar gama dengan energi kuantum dalam rentang MeV

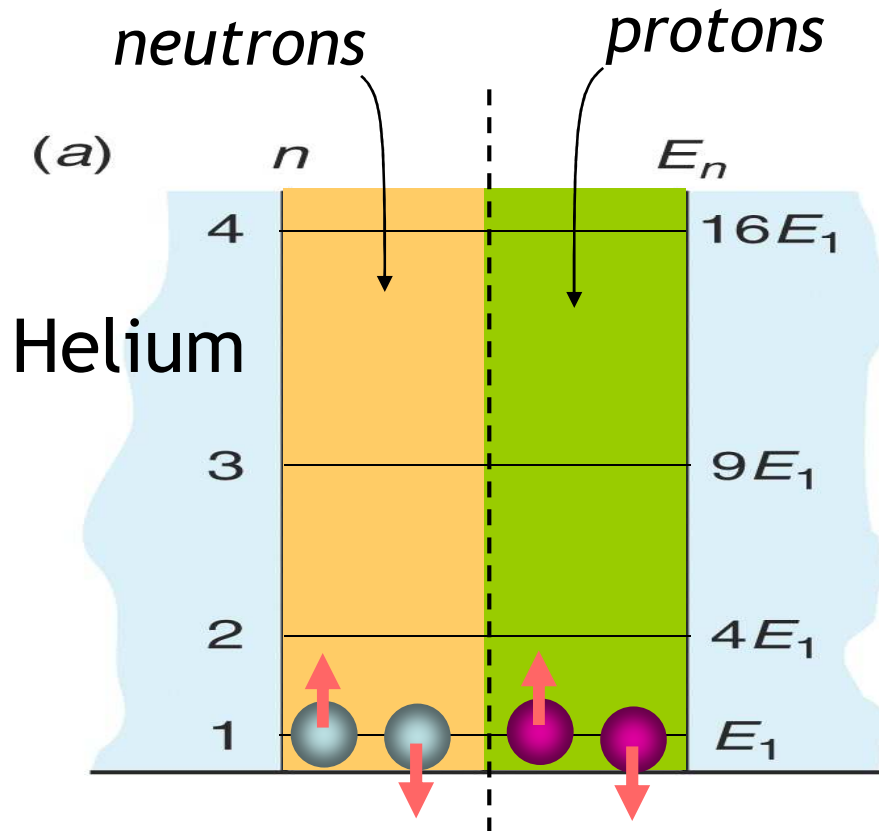
# Kurva Energi Ikat Inti

- Kurva energi ikat inti diperoleh dengan cara membagi energi ikat inti total dengan jumlah nukleon:  $BE/A$



# Populasi Keadaan nukleon

- Keadaan Quantum untuk nukleon dalam nucleus
  - Serupa dengan atom hydrogen :  
Tiap keadaan kuantum diisi oleh satu elektron .
  - Dua keadaan pada tiap energi (spin up & spin down)

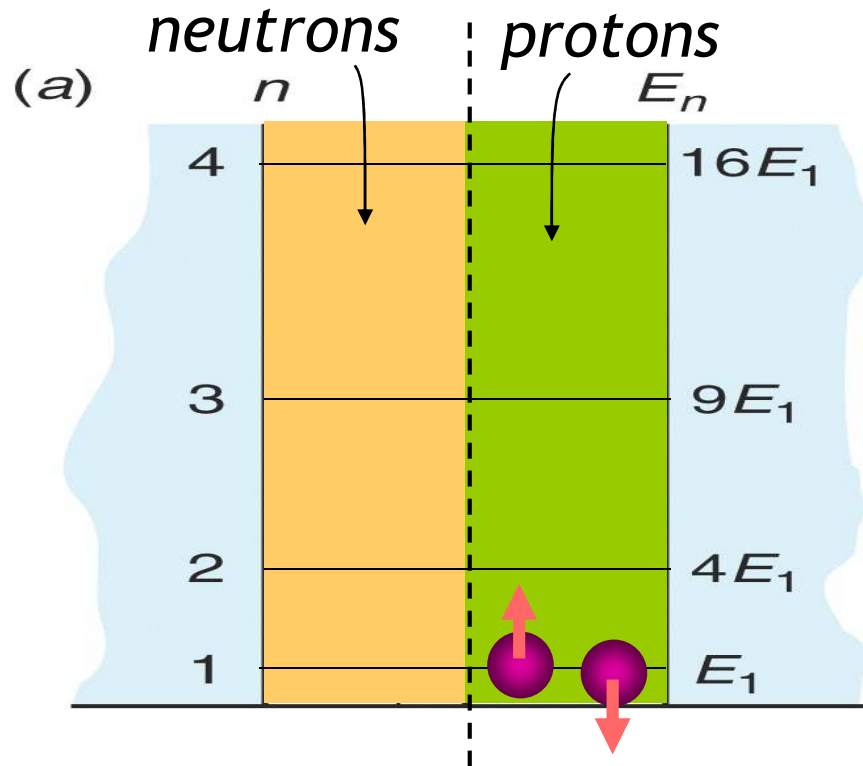


Ini ialah  ${}^4\text{He}$ , dengan  
2 neutron dan  
2 proton  
dalam nucleus

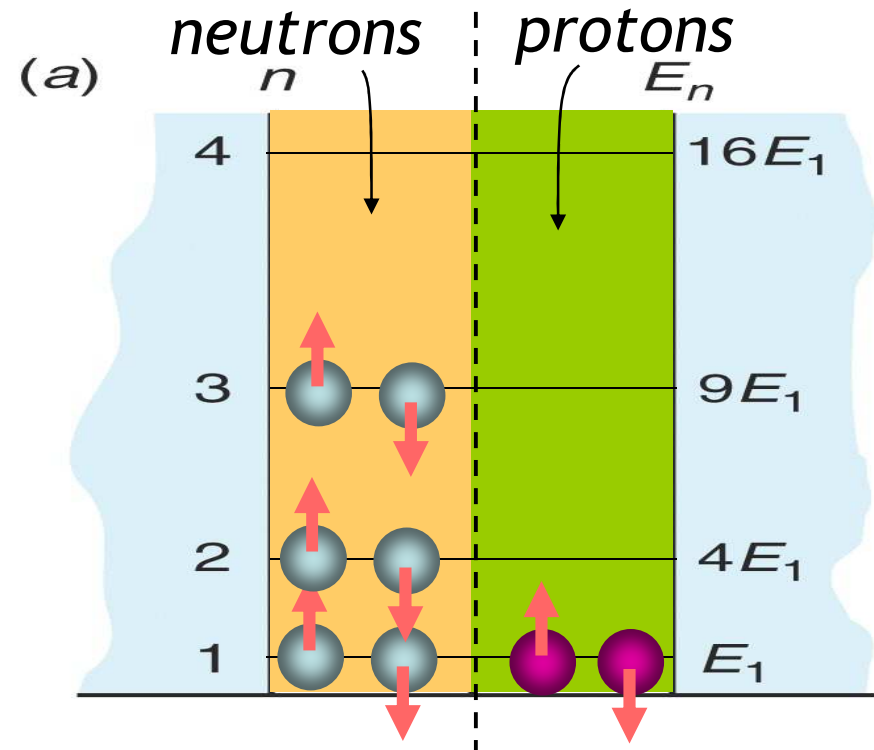
Kemungkinan  
Keadaan energi pada  
keadaan dasar

# Isotop helium(kesetabilan lebih rendah)

proton saling berdekatan.  
Energi tolak Coulomb besar



kebanyakan neutron,  
diperlukan keadaan energi yg  
lebih tinggi.

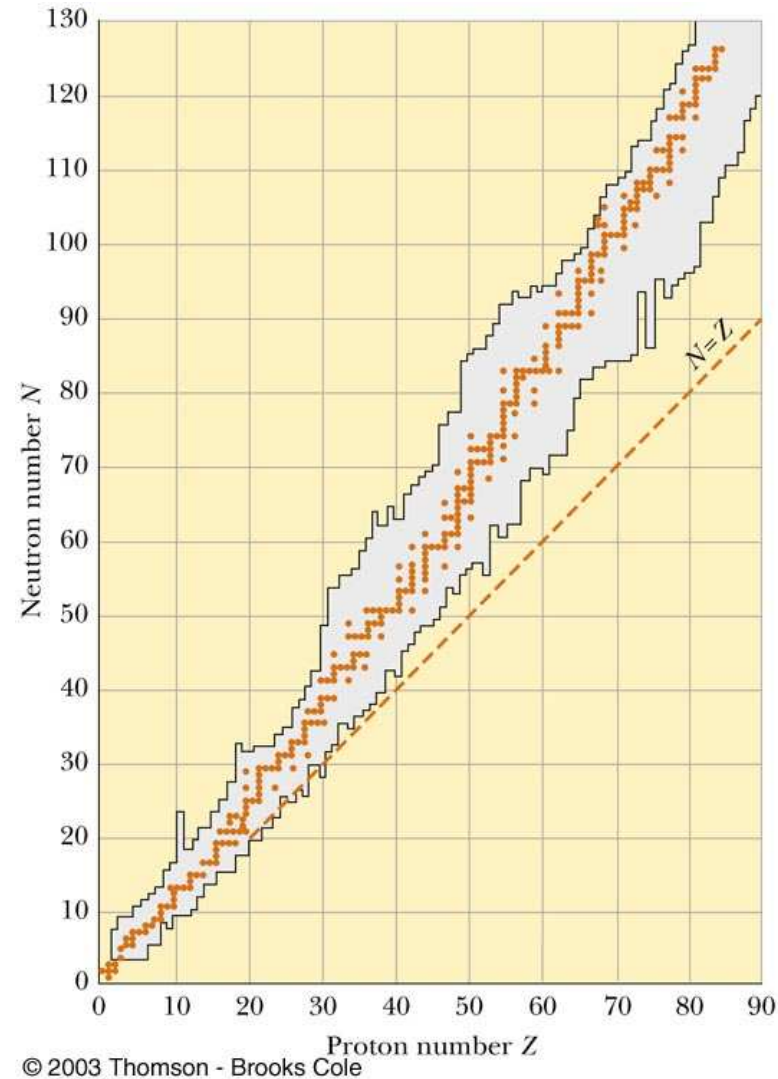


# Radioaktivitas

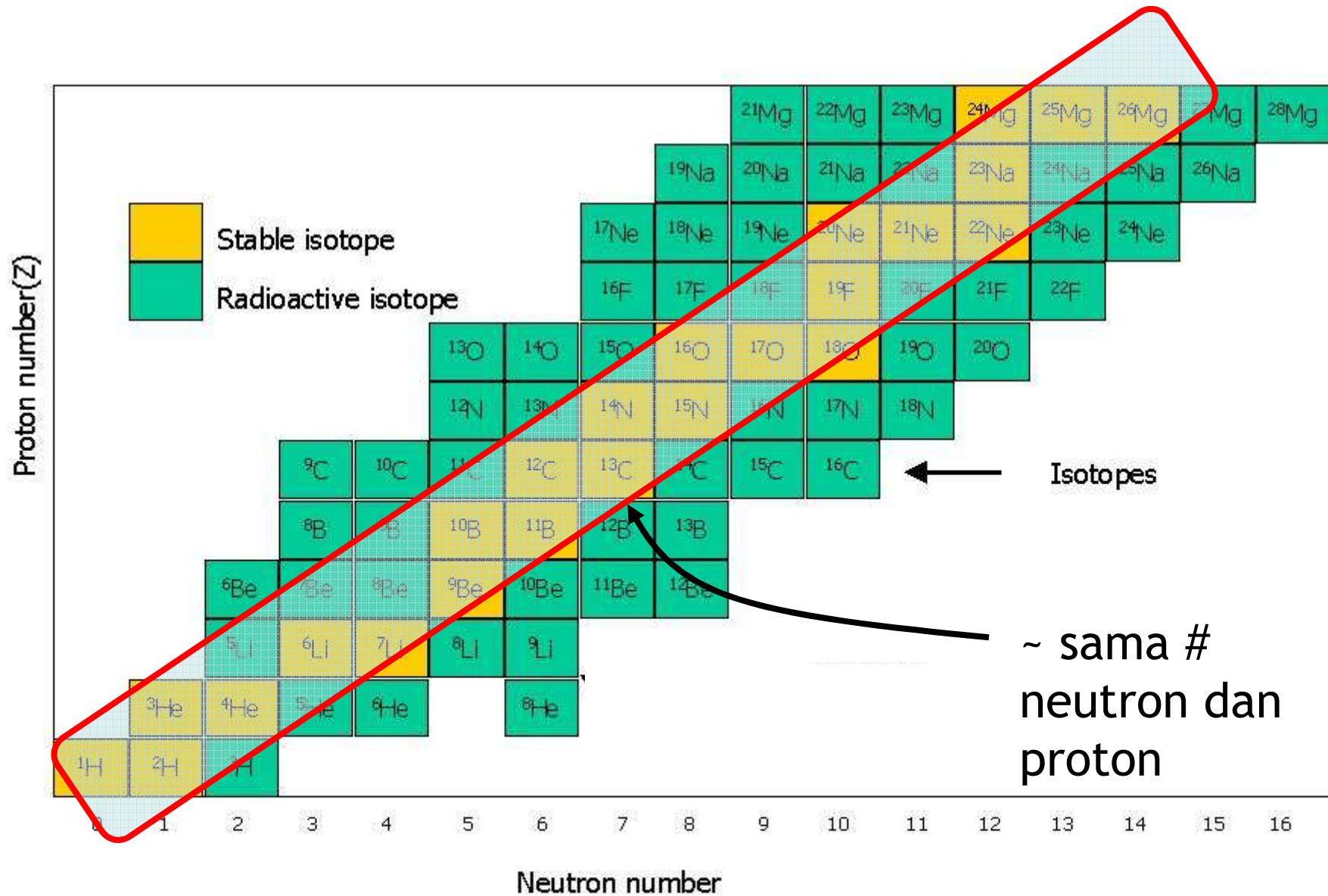
- Sebagian besar inti stabil memiliki jumlah proton dan jumlah neutron yang hampir sama.
- Jika energi total terlalu tinggi, nucleus secara spontan akan mencoba mengubah ke konfigurasi energi yang lebih rendah.
- Inti tersebut tidak stabil, dan dikatakan meluruh (decay).
- Inti yang tidak stabil disebut inti radioaktif, gejala peluruhan spontan disebut radioaktivitas.

# Stabilitas Inti

- Dot (titik titik) adalah isotop alami.
- daerah perluasan (abu abu) ialah isotop yang dibuat di laboratorium.
- Inti stabil terletak sekitar garis  $\sim N=Z$

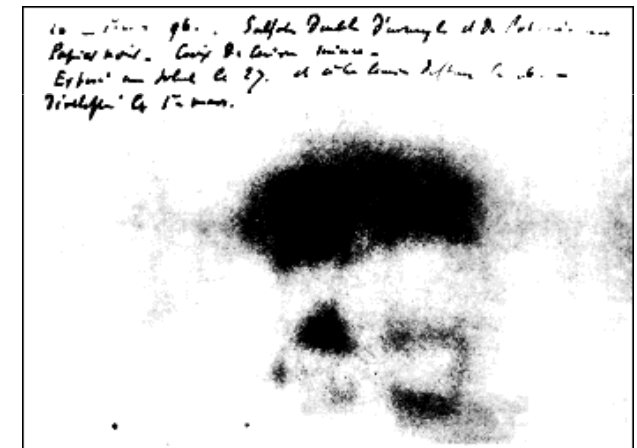
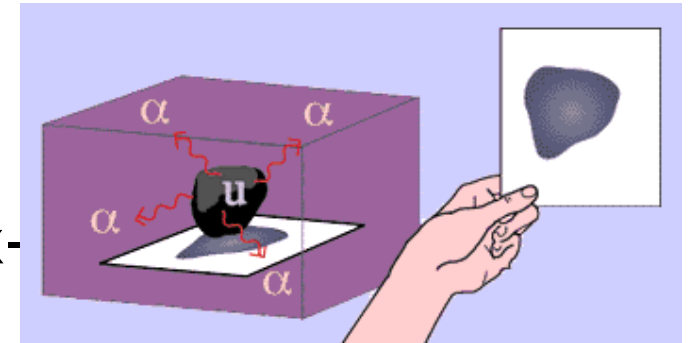


# Inti Radioactive



# Temuan fenomena radioaktivitas

- Ditemukan secara tidak sengaja tahun 1896 oleh Henri Becquerel ketika mau meneliti x-rays (yg ditemukan thn 1895 oleh Roentgen).
- diyakini uranium menyerap energi matahari dan memancarkannya sebagai x-rays.
- Berikutnya dia mengetahui bahwa kesimpulan tersebut salah.
- Akhirnya dapat dibuktikan bahwa radiasi uranium terjadi secara spontan tanpa sumber energi luar.



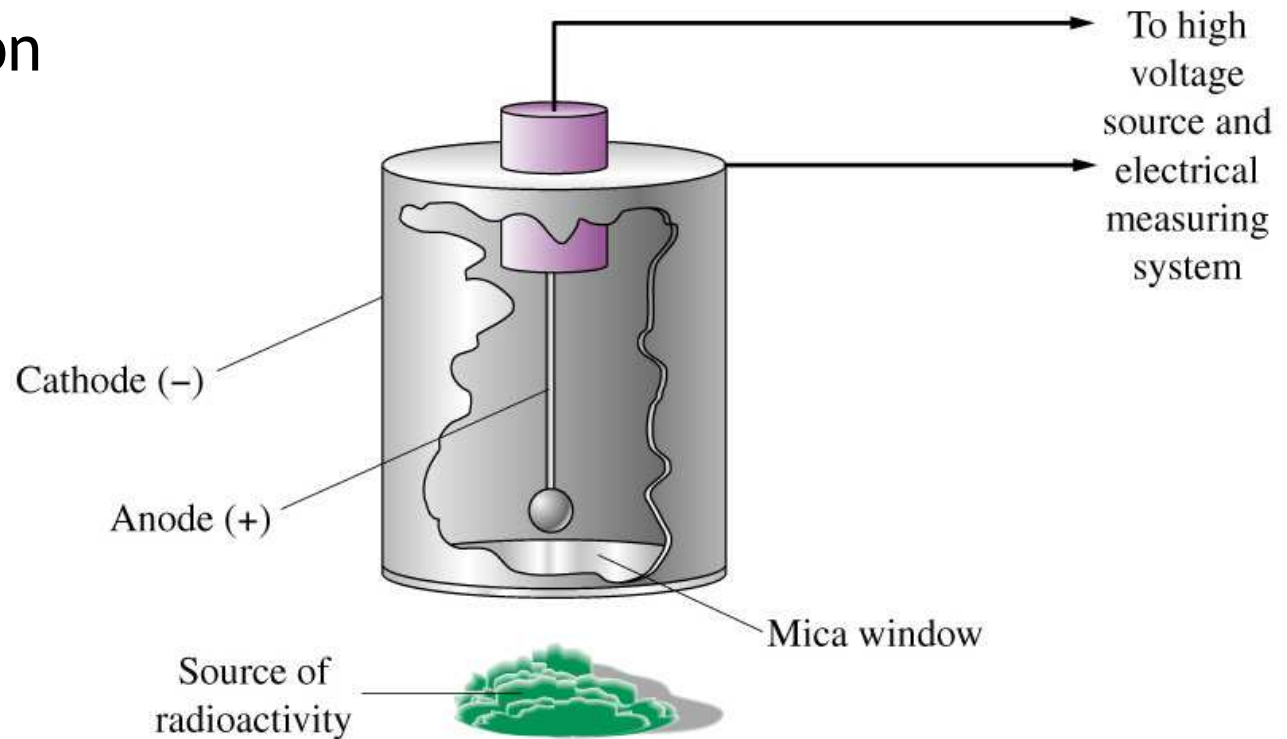


# Deteksi radiasi

- Geiger counter
- Sinar Radiasi mengionisasi atom atom dalam counter

Dihasilkan elektron dan ion positif.

Ion ion ketarik ke anode/cathode, diukur arus yang mengalirnya



# Emisi spontan adalah proses random

- Emisi partikel merupakan proses random
  - memiliki probabilitas untuk terjadinya.
- Untuk setiap detik, terdapat kemungkinan bahwa suatu inti akan meluruh dengan memancarkan partikel.
- Jika kita tunggu cukup lama, seluruh atom atom radioaktif akan meluruh seluruhnya.

# Perbedaan tipe radioaktivitas

Inti tidak stabil meluruh dengan memancarkan suatu bentuk energi,

- Ada tiga tipe peluruhan yang diamati:

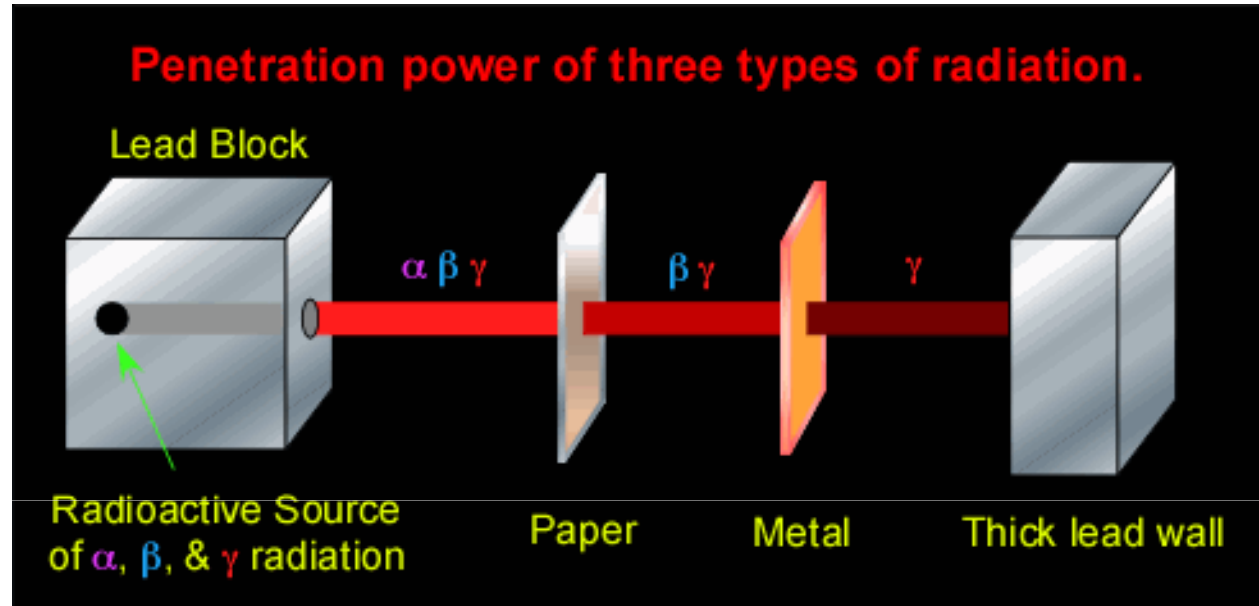
Peluruhan Alpha

Peluruhan Beta

Peluruhan Gamma

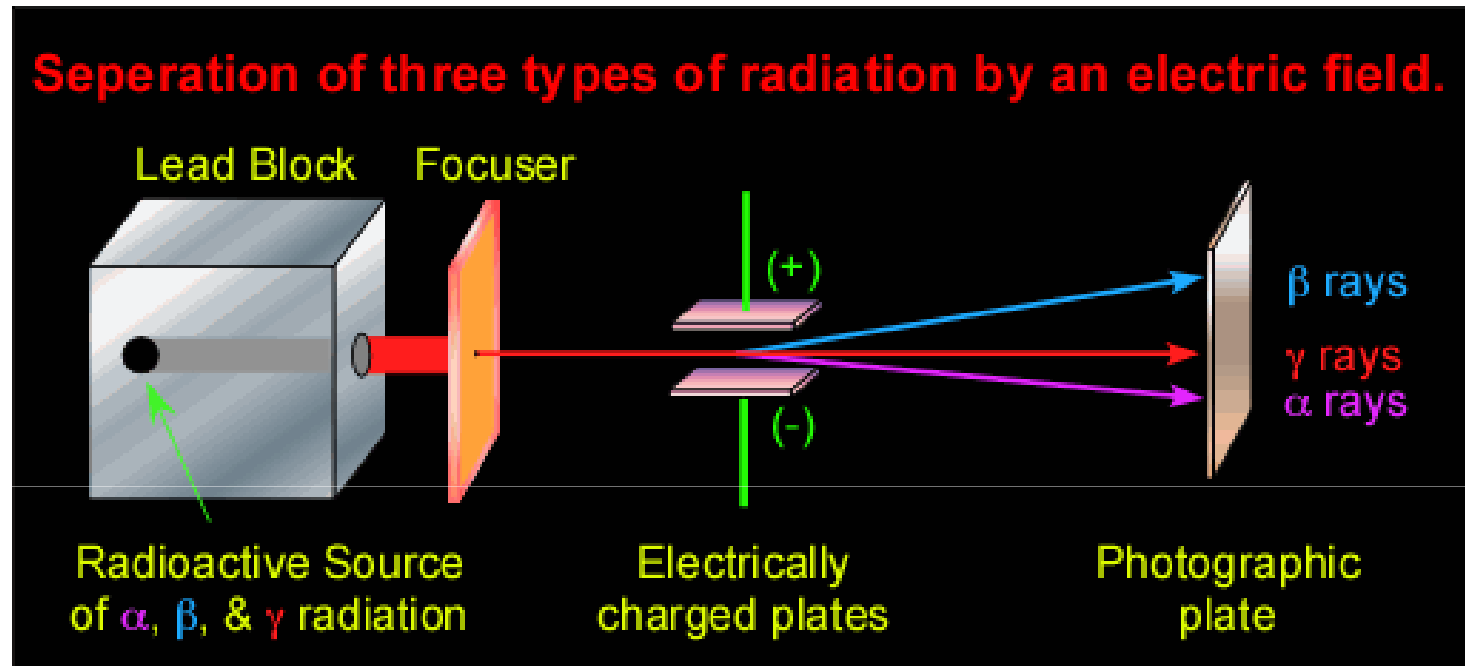
***Ernest Rutherford (1899): "These experiments show that the uranium radiation is complex and that there are present at least two distinct types of radiation - one that is very readily absorbed, which will be termed for convenience the alpha-radiation, and the other of more penetrative character which will be termed the beta-radiation."***

# Daya Penetrasi sinar radiasi



- Radiasi Alpha daya penetrasi sangat lemah
- Radiasi beta daya penetrasi sedang
- Radiasi gama daya penetrasi sangat kuat

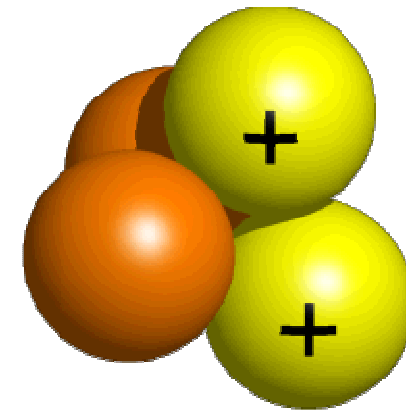
# Apakah radiasi bermuatan?



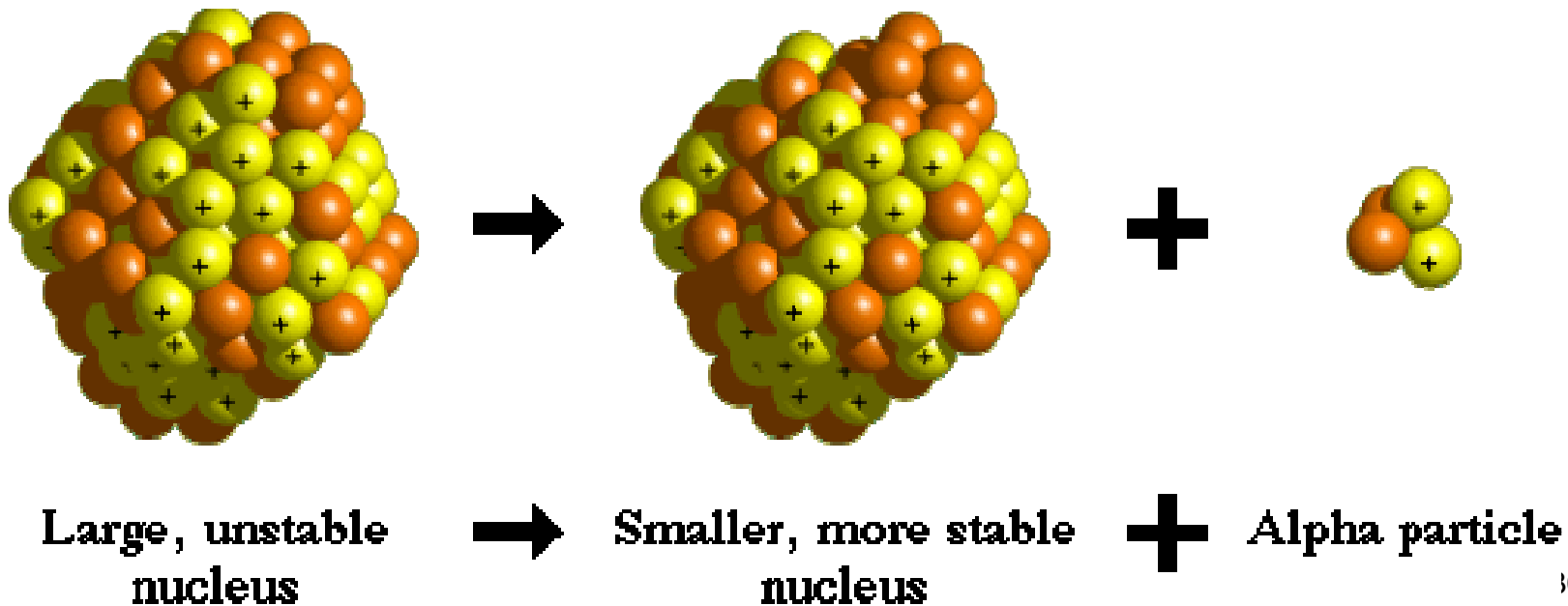
- Radiasi Alpha bermuatan positif
- Radiasi Beta bermuatan negatif
- Radiasi Gama tidak bermuatan

# Radiasi Alpha

- Sekarang diketahui bahwa radiasi alpha adalah inti helium (2 proton, 2 neutron)



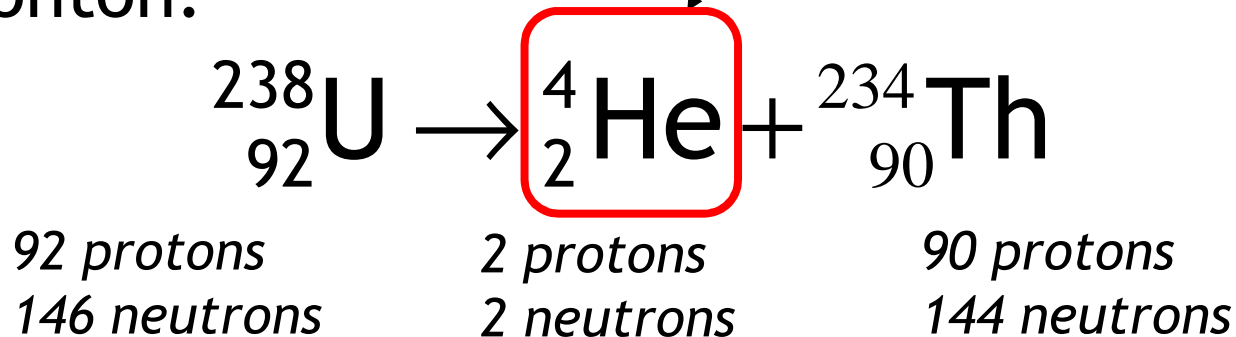
Sebagian dari atom (partikel alpha) pecah dari inti berat dan dikeluarkan



# Unsur baru

- Ketika suatu inti memancarkan partikel alpha, inti akan kehilangan dua neutron dan dua proton.
- Terbentuk unsur yang berbeda atau baru (jumlah proton dalam inti telah berubah).

- Contoh:



*Thorium adalah unsur dengan 90 elektron  
(dan 90 proton dalam inti)*

# Why?

- Mengapa dikeluarkan sebagian kecil dari atom?
  - seluruh nukleon (neutron & proton) tarik menarik dengan short-range strong force
  - Gaya pada Proton yang berjauhan ialah oleh long-range Coulomb force.
  - Inti kecil akan lebih stabil
- Mengapa dikeluarkan partikel alpha dan bukan yang lainnya?
  - Inti Helium lebih stabil daripada inti ringan lainnya
  - Inti Thorium kecil lebih stabil
  - Seluruh keadaan energinya adalah kecil (minimum)



# Latihan

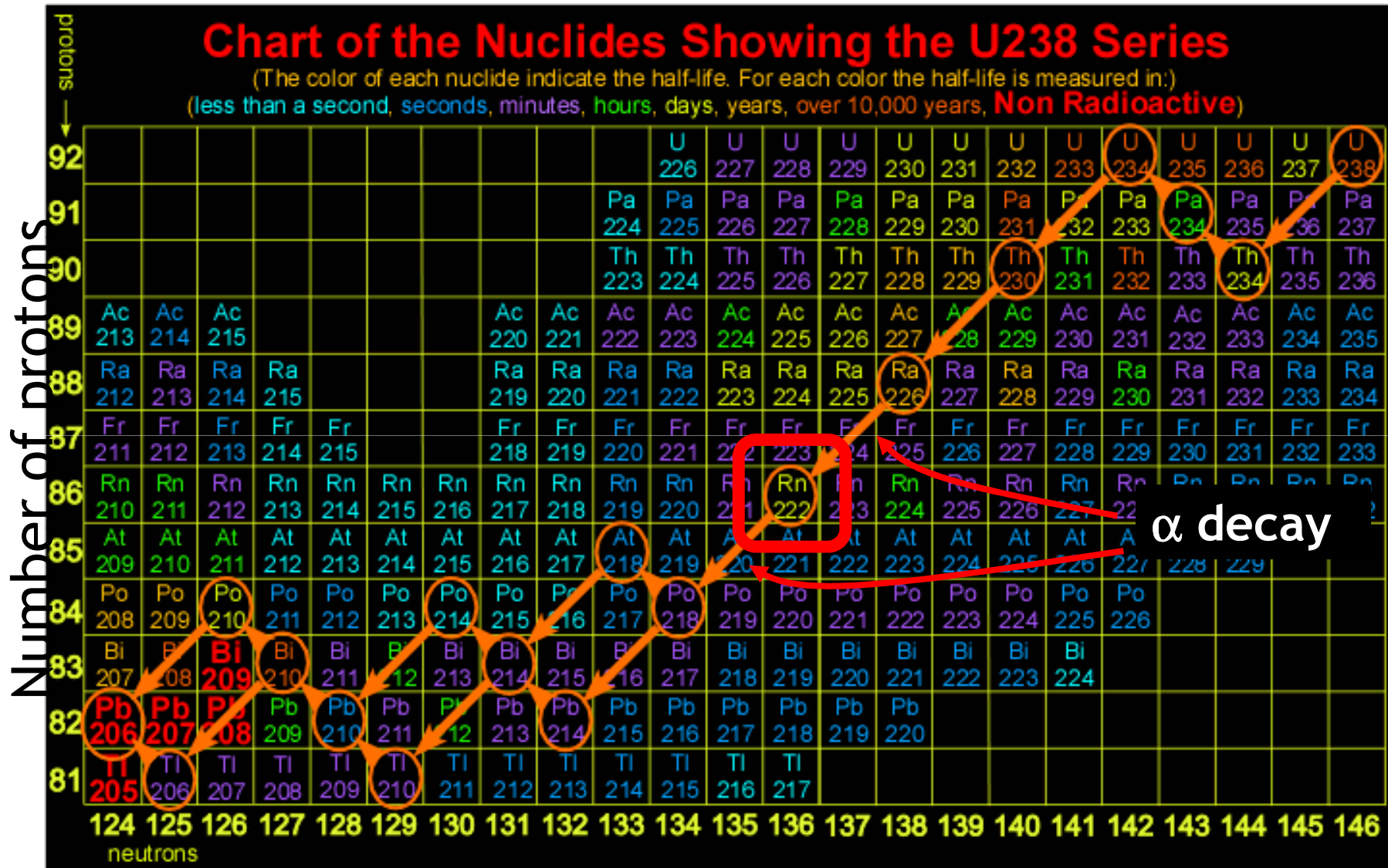
Radium  ${}_{88}^{226}\text{Ra}$  telah diisolasi oleh Marie Curie tahun 1898.

Memiliki waktu paruh(half-life) 1.600 tahun dan meluruh dengan memancarkan partikel alpha

Unsur baru yang dihasilkan ialah

- A. Polonium (84 elektron)
- B. Thorium (90 elektron)
- C. Radon (86 elektron)

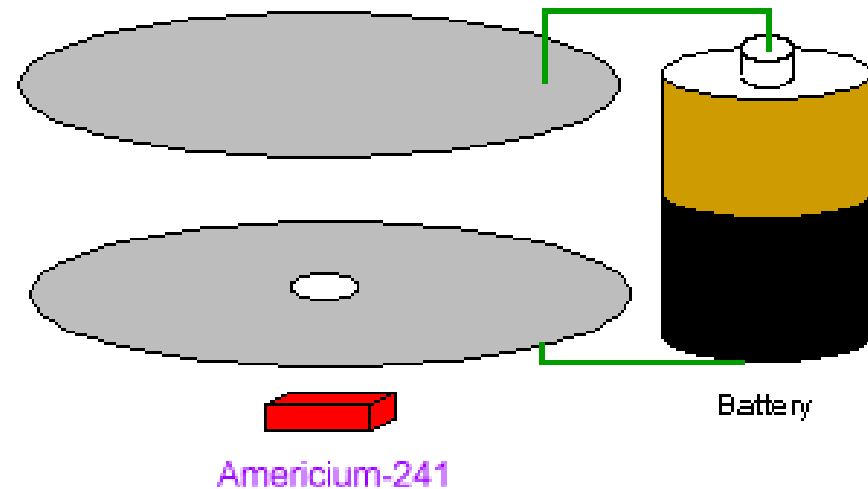
# Deret peluruhan $^{238}\text{U}$



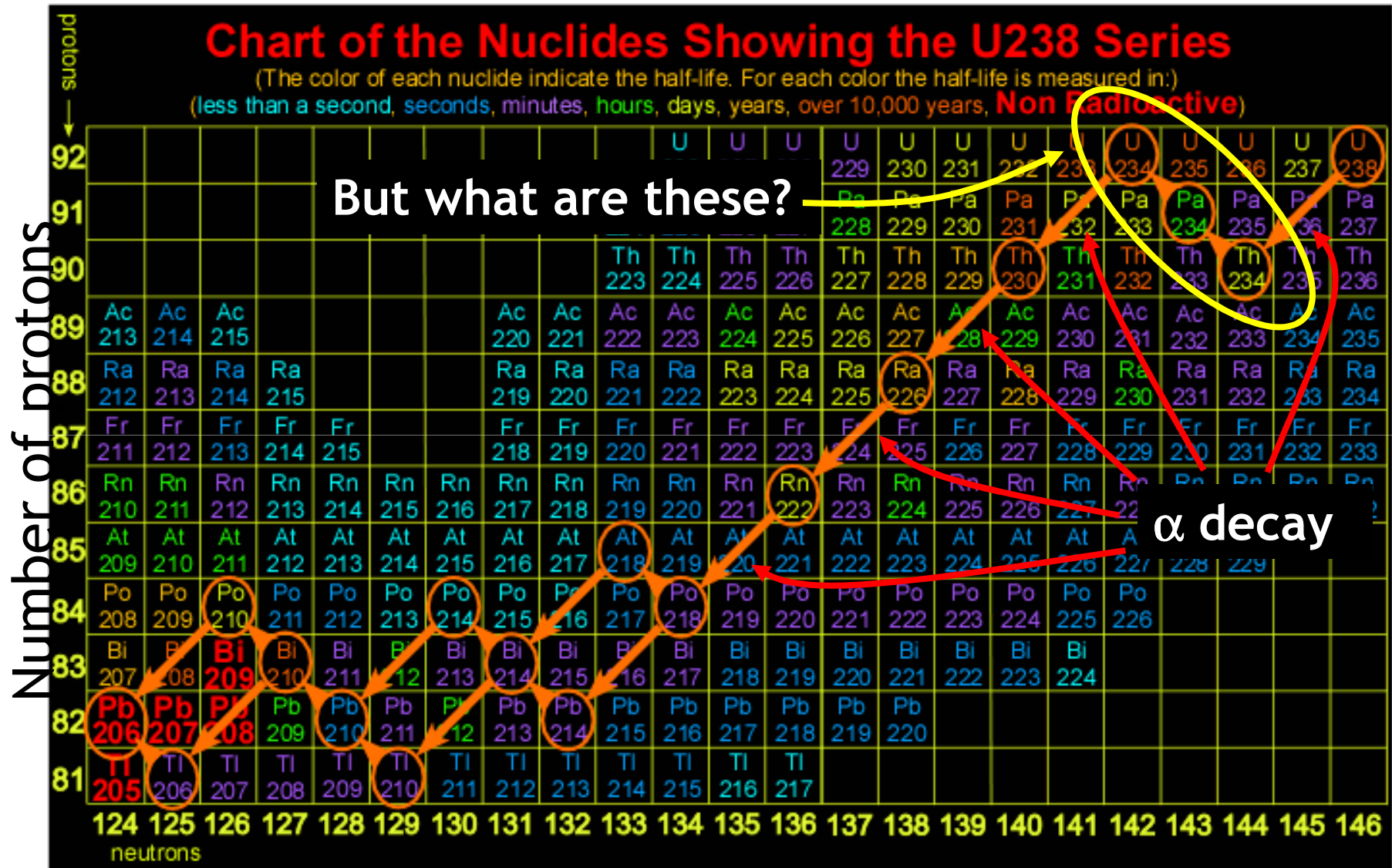
Jumlah neutron

# Aplikasi alpha-decay

- Detektor asap mengandung radioactive americium-241 (half-life 432 tahun)
- $^{241}\text{Am}$  meluruh memancarkan partikel alpha.
- Partikel Alpha dari americium bertumbukan dengan partikel oksigen dan nitrogen di udara dan dihasilkan ion ion bermuatan.
- Beda potensial listrik dipasang diantara elektrodanya untuk mengumpulkan ion ion yang dihasilkan (seperti geiger counter!)
- Ketika asap masuk kedalam alat ini, asap akan menyerap partikel partikel alpha .
- Arus akan menurun dan dideteksi
- oleh alat elektronik



# Decay sequence of $^{238}\text{U}$



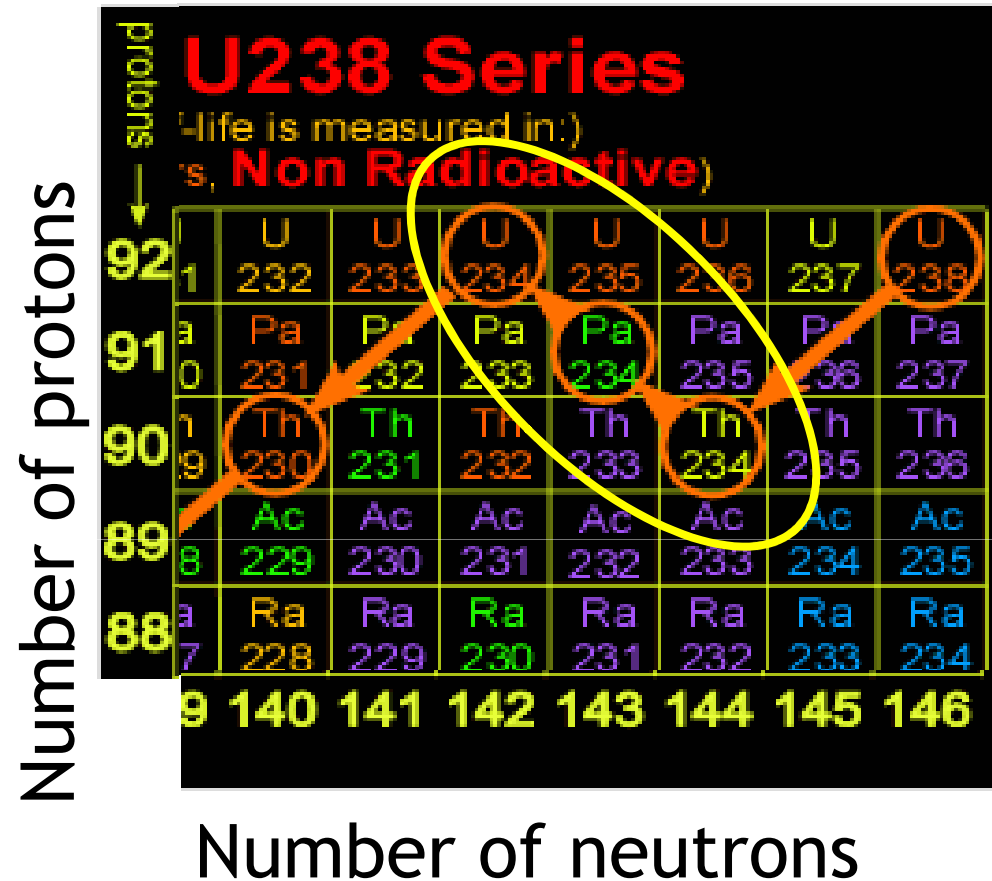
Number of neutrons

# Peluruhan jenis lainnya

jumlah neutron  
berkurang satu

Jumlah proton  
bertambah satu

Bagaimanakah ini dapat  
terjadi?



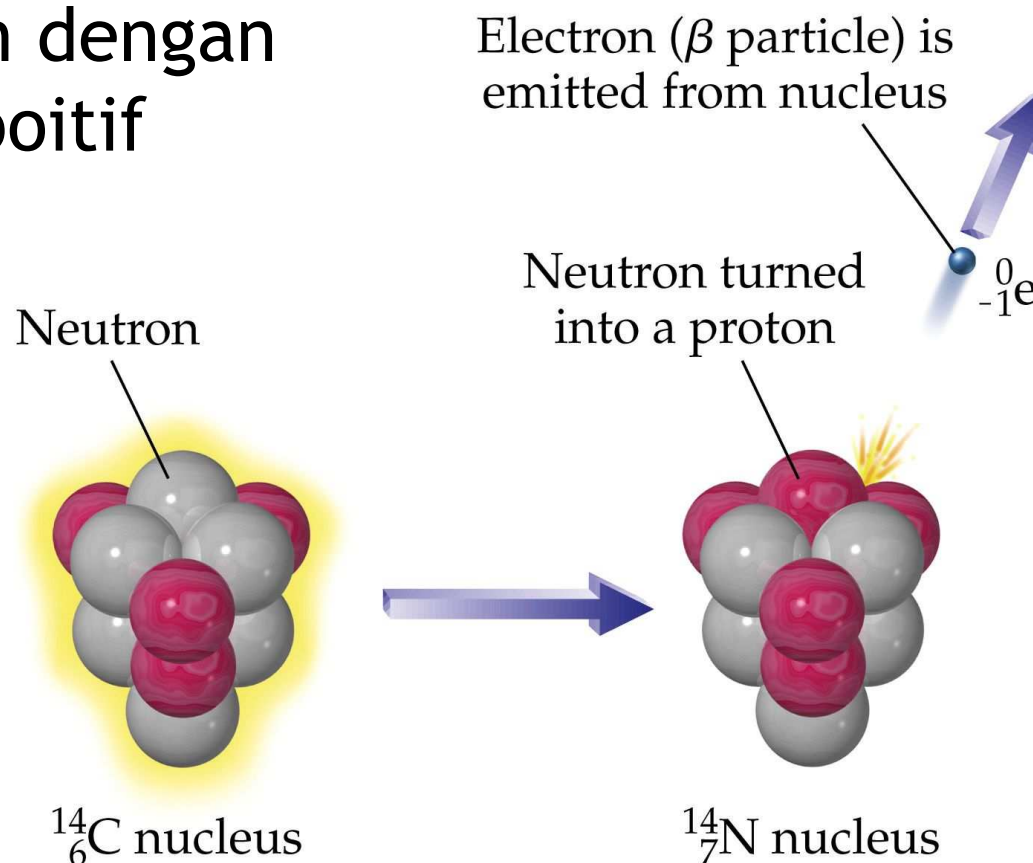
# Peluruhan Beta

- Radiasi Beta ...
  - Sekarang diketahui yaitu suatu elektron.
  - Inti Radioaktif memancarkan elektron
- Bagaimana ini dapat terjadi?
  - Tidak ada elektron dalam inti!
  - Hanya terdapat neutron and proton.
- Partikel tidak kekal!
  - Muatan adalah kekal, energi+massa adalah kekal
  - tetapi partikel dapat muncul dan dapat menghilang atau menjadi berubah

# Beta decay

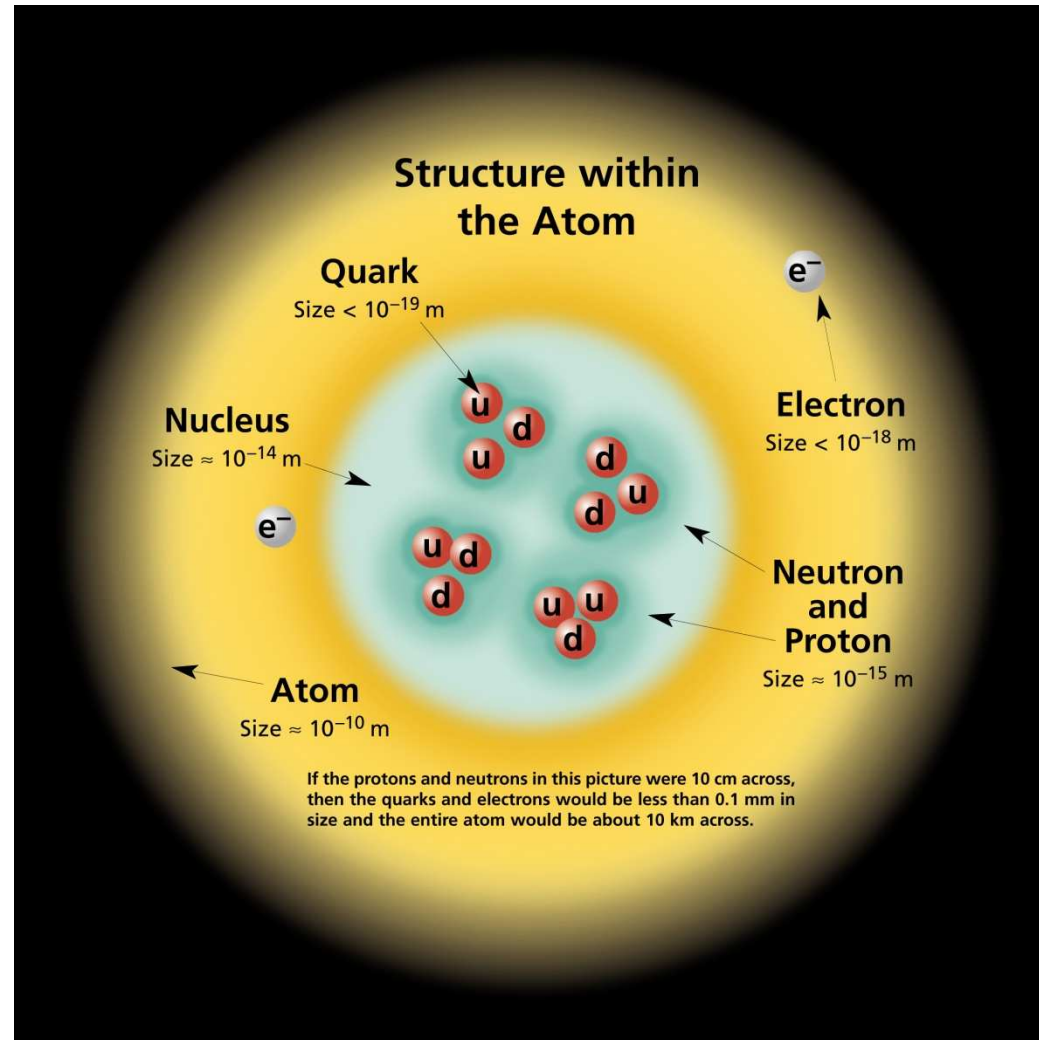
- Nucleus memancarkan elektron (muatan negatif )
- Harus diseimbangkan dengan munculnya muatan positif dalam inti.

*Ini terjadi ketika suatu neutron berubah menjadi suatu proton*



# How can this be?

- Nukleon memiliki struktur internal
- Terbuat dari quark yang tipenya berbeda, up quark(u) dan down quark(d)

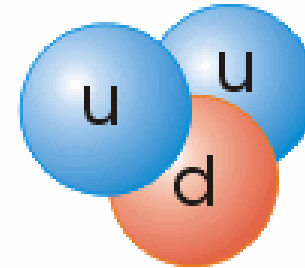




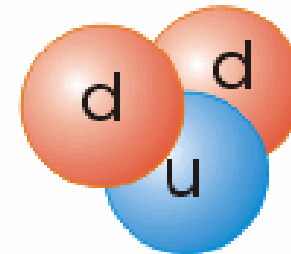
# Struktur Quark dari nukleon

- Proton = up+up+down
- Muatan =  
 $2/3+2/3-1/3 = +1$
  
- Neutron = up+down+down  
muatan =  $2/3-1/3-1/3 = 0$

## The Proton

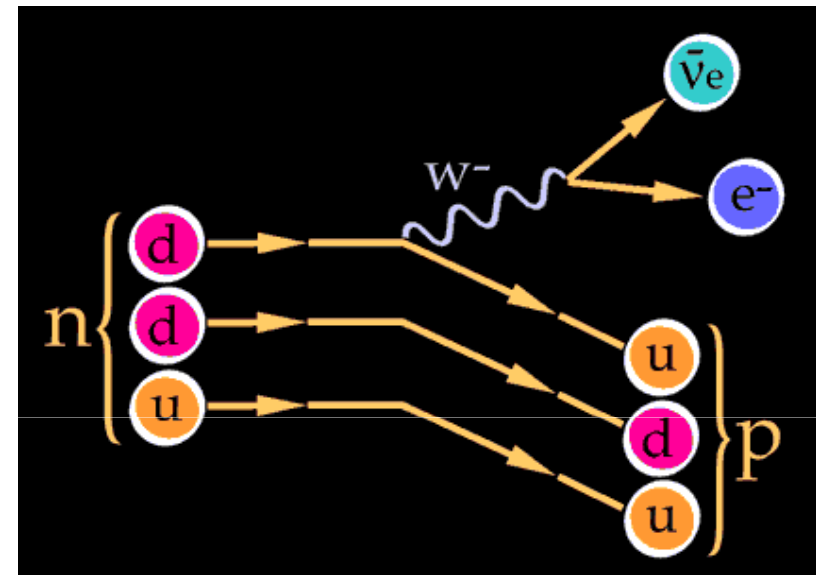


## The Neutron



# Neutron decay

- Satu dari down quark berubah menjadi up quark.
- Kombinasi baru dari quark ini kita identifikasi sebagai proton.

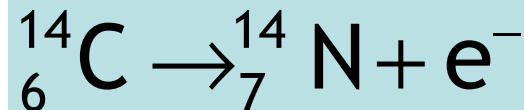


# Contoh peluruhan beta

- $^{14}\text{C}$  (isotop karbon) meluruh dengan memancarkan partikel beta (elektron).
- Carbon memiliki 6 elektron, dan 6 proton.
- $^{14}\text{C}$  memiliki  $(14-6)=8$  neutron.

Sekarang terdapat unsur baru (proton lebih satu)

Unsur dengan 7 proton dalam intinya ialah Nitrogen



*Beta decay*

*jumlah dari nukleon tetap, tetapi satu dari neutron berubah menjadi proton satu proton tambahan -> unsur berbeda!*

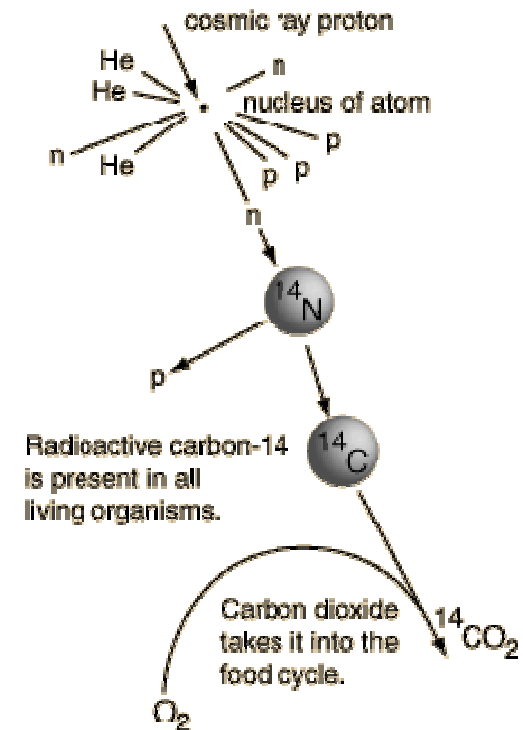
# Radioaktif Carbon

- $^{14}\text{C}$  secara alami terdapat di atmosfer sebagai hasil **transmutasi dari  $^{14}\text{N}$** .

Proton sinar kosmik menembak inti dari atom gas di atmosfer. Dihasilkan neutron neutron.

Neutron mendorong proton keluar dari inti  $^{14}\text{N}$  .

$^{14}\text{N}$  menjadi  $^{14}\text{C}$  setelah kehilangan neutron



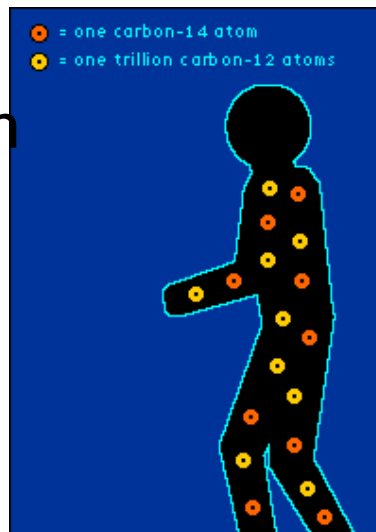
- $^{14}\text{C}$  adalah radioaktif dengan half-life 5.730 tahun
- Perbandingan Carbon dan isotop carbon 14 selalu seimbang diatmosfir

rasio  $\frac{^{14}\text{C}}{^{12}\text{C}} = 1.3 \times 10^{-12}$

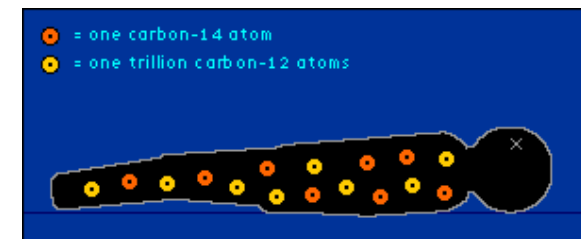
# $^{14}\text{C}$ terhadap $^{12}\text{C}$

- $^{14}\text{C}$  memiliki half-life ~5730 tahun, secara kontinyu meluruh kembali menjadi  $^{14}\text{N}$ .
- Keadaan ajeg dicapai di atmosfer dengan ratio  $^{14}\text{C}:^{12}\text{C} \sim 1:1$  triliun (1 bagian dalam  $10^{12}$ )

Sepanjang organisme hidup, terjadi pertukaran dengan C dengan atmosfer, ratio tetap tidak berubah.



Setelah meninggal, tidak ada pertukaran dengan atmosfer. Rasio mulai berubah ketika  $^{14}\text{C}$  meluruh



# Latihan Carbon-dating

rasio  $^{14}\text{C}:^{12}\text{C}$  dalam fosil tulang ditemukan  $1/8$  dari rasionya dalam tulang binatang yang masih hidup.

Jika half-life dari  $^{14}\text{C}$  ialah 5.730 tahun.

Berapakah umur dari fosil tersebut?

A. 7.640 tahun

A. 17.200 tahun

B. 22.900 tahun

C. 45.800 tahun

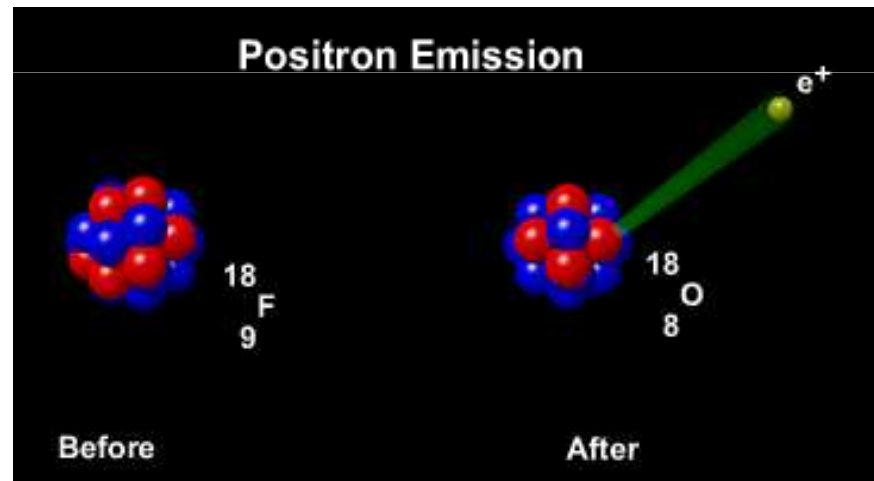
Jadi ratio telah mengalami reduksi dengan faktor 8, tiga kali half-lives telah lewat.

$3 \times 5.730 \text{ tahun} = 17.190 \text{ tahun}$

## Peluruhan carbon lainnya

Stable Isotopes							
99%			1%				
${}^9_6\text{C}$	${}^{10}_6\text{C}$	${}^{11}_6\text{C}$	${}^{12}_6\text{C}$	${}^{13}_6\text{C}$	${}^{14}_6\text{C}$	${}^{15}_6\text{C}$	${}^{16}_6\text{C}$
.13	19	20.6			5730	2.25	.74
sec.	sec.	min.			years	sec.	sec.

- Isotope dari carbon yang ringan diamati memancarkan partikel seperti elektron, tetapi muatannya positif!

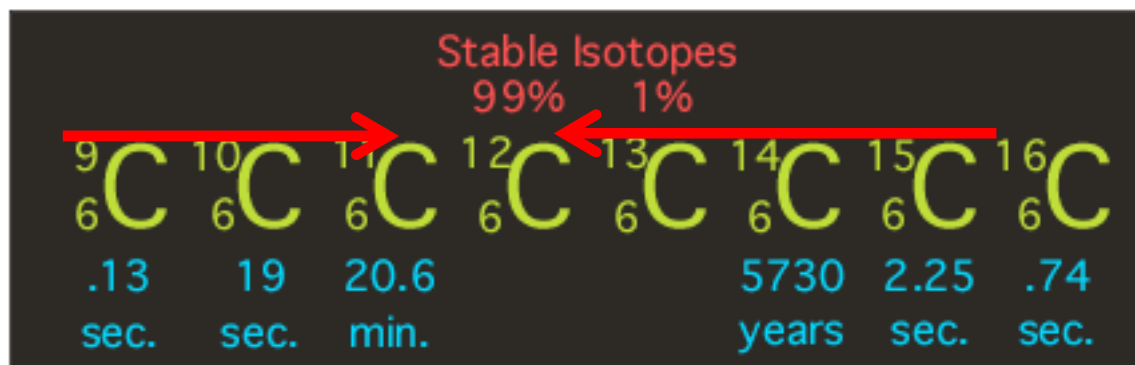
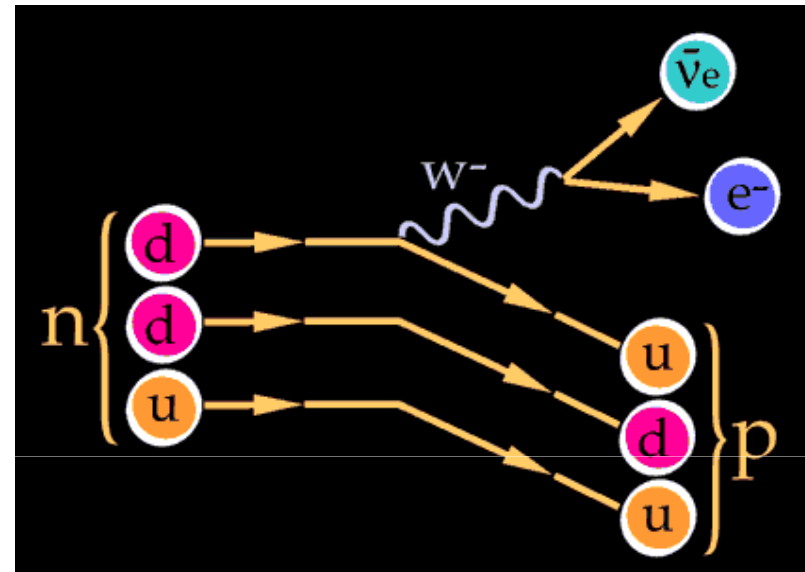


- Itu adalah antipartikel dari elektron.
- disebut positron.



# What is going on?

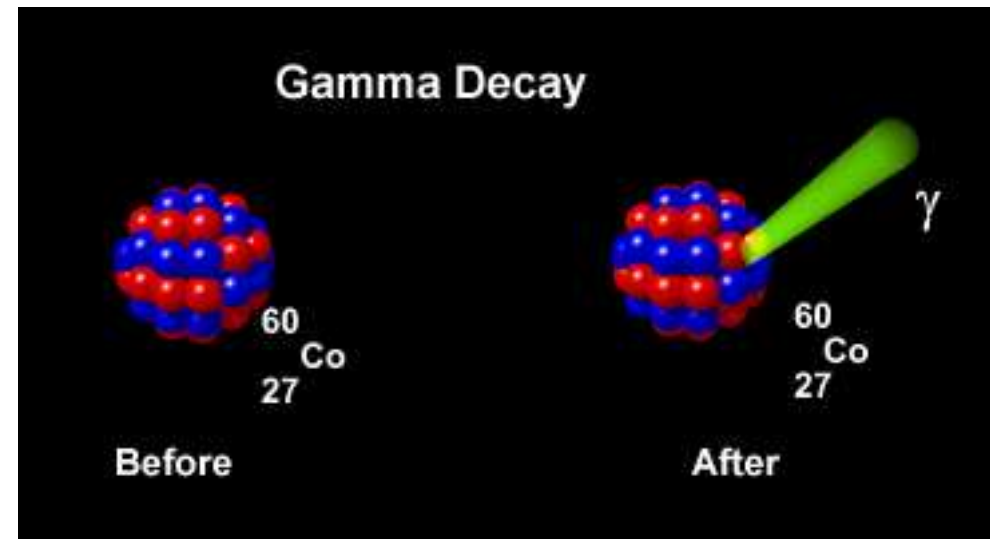
- $^{14}\text{C}$  memiliki neutron lebih banyak dibandingkan bentuk yang lebih stabil  $^{12}\text{C}$ .
  - Maka akan meluruh memancarkan elektron, mengubah neutron menjadi proton.
- isotopes carbon lainnya memiliki lebih sedikit neutron
  - Akan meluruh memancarkan positron, mengubah proton menjadi neutron.



# Gamma decay

- Proton dan neutron dalam inti dapat berada dalam keadaan eksitasi
  - Seperti pada atom hidrogen, atom dapat berada pada keadaan eksitasi
  - Hidrogen memancarkan photon ketika bertransisi ke keadaan energi yang lebih rendah.

Nucleus juga memancarkan photon ketika bertransisi ke ground state  
Dipancarkan radiasi gamma  
Tetapi energinya lebih besar, jauh lebih tinggi dari energi photon.



# Decay Rates(Laju Peluruhan)

Jika suatu inti tak stabil memiliki probabilitas 50% meluruh(decaying) pada detik pertama, maka probabilitas yang sama 50% meluruh pada detik kedua, dan seterusnya.

**Konstanta peluruhan:**

$$\lambda \equiv \frac{\text{decay probability during } dt}{dt} = \text{const}$$

Jika suatu sample mengandung  $N$  inti tak stabil, laju peluruhan tiap satuan waktu ialah:

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N$$

**Aktivitas sample :**

$$\frac{\text{number of decays in } N \text{ nuclei during } dt}{dt} = N\lambda$$

$$\int_{N_0}^{N(t)} \frac{dN}{N} = -\lambda \int_0^t dt \Rightarrow \ln \frac{N(t)}{N_0} = -\lambda t \Rightarrow N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$

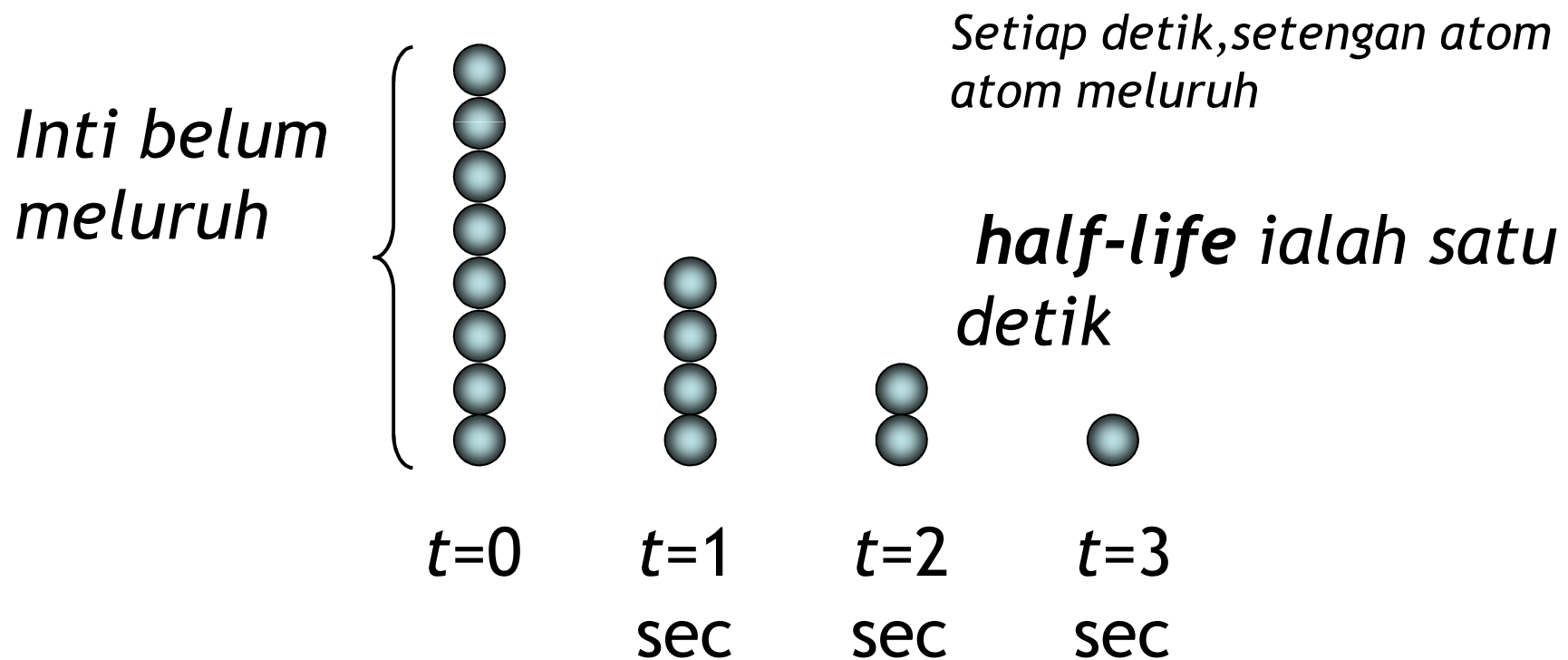
satuan aktivitas ialah **Becquerel** :  $1Bq = 1\text{decay} / s$

**Half-life** (selang waktu peluruhan sehingga setengah jumlah inti sampel meluruh :

$$\frac{1}{2} = \frac{N(t_{1/2})}{N_0} = e^{-\lambda t_{1/2}} \quad t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

# half-life radioaktif

- Contoh dari peluruhan random .
- Mulai dengan 8.000 inti radioaktif identik
- Misal probabilitas peluruhan dalam satu detik ialah 50%.



# Latihan

Sekeping material radioaktif aktivitas mula mulanya diketahui 1.000 decays/sec.

Tiag jam kemudian, aktivitasnya diukur tinggal 125 decays / second.

half-life material tersebut ialah

A. 1/2 jam

A. 1 jam

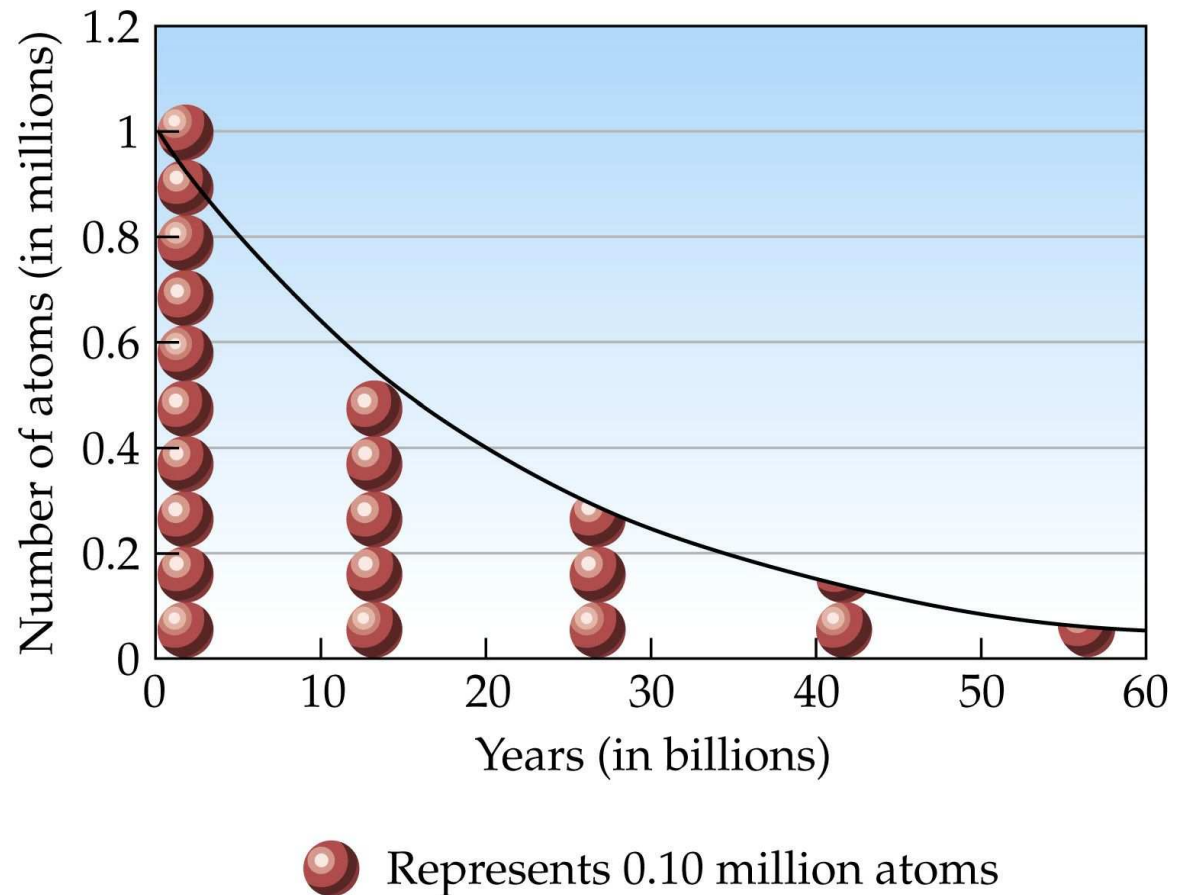
B. 3 jam

C. 8 jam

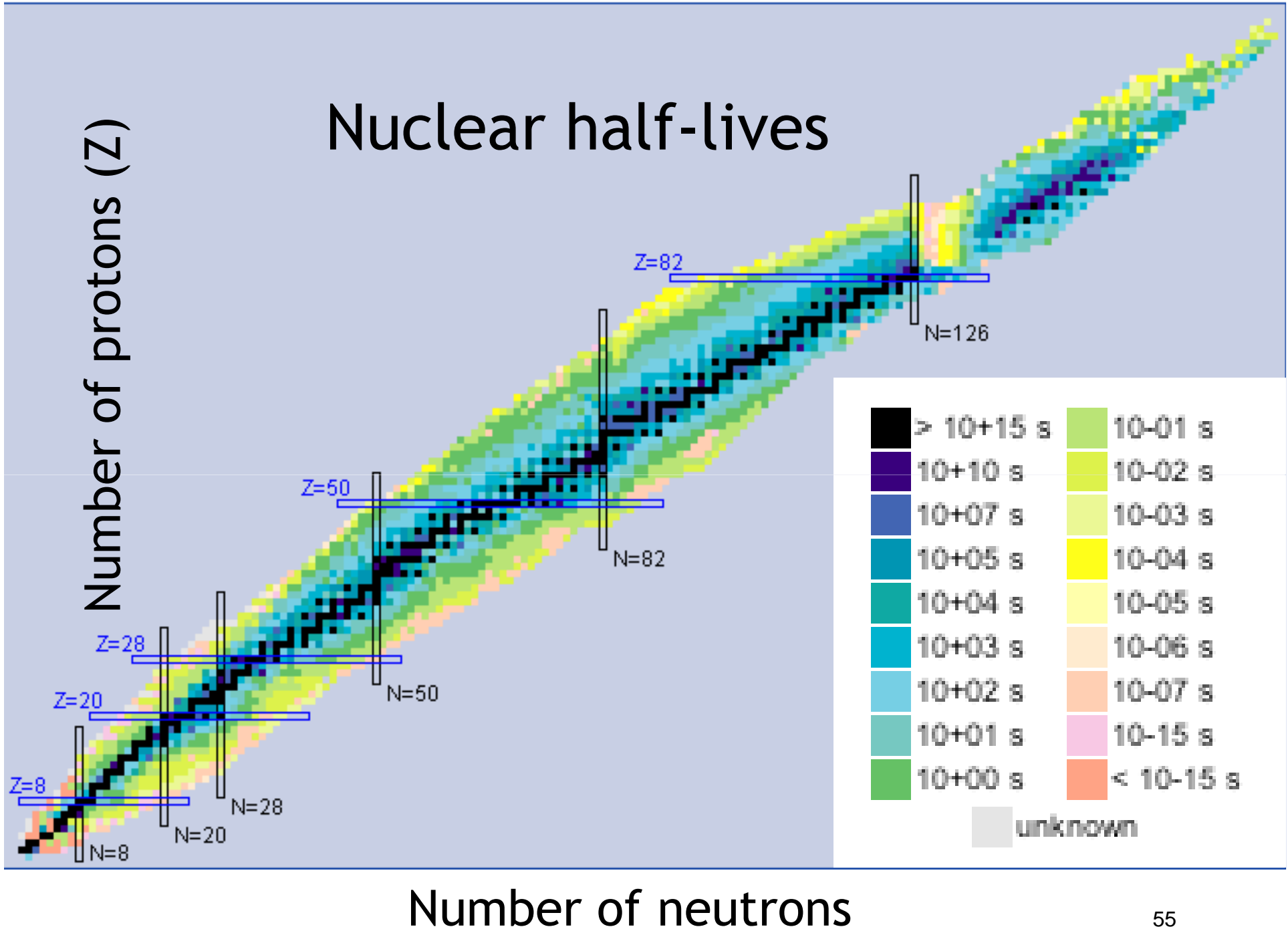
setelah 1 half life, aktivitas menjadi 500 Bq.  
setelah 2 half life, aktivitas menjadi 250 Bq  
setelah 3 half life, aktivitasnya menjadi 125 Bq(decays/sec).

# Contoh lainnya

- $^{232}\text{Th}$  memiliki half-life 14 milyar tahun
- Sample awalnya mengandung 1 juta atom  $^{232}\text{Th}$
- setiap 14 milyar tahun, jumlah inti  $^{232}\text{Th}$  berkurang dengan faktor dua.



# Nuclear half-lives



# Problem:

Suatu sample mengandung 4.5g dari  ${}^3_1\text{H}$  (tritium), yang meluruh memancarkan  $\beta^-$  hingga menjadi  ${}^3_2\text{He}$  dengan half-life 12.26 thn. (a) berapakah aktivitas dari sample? (b) berapakah waktu yang diperlukan agar atom tritium menurun dengan faktor sejuta?

pertama, kita hitung  $N$ . Jumlah inti atom tritium dalam 4,5 gr sample ialah (berat atom tritium ialah 3g/mol.)

$$N = N_A \frac{m[g]}{A[g]} \approx 9 \times 10^{23} \text{ nuclei}$$

$$\text{Konst. peluruhan: } \lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} = \frac{0.69}{12.26 \text{ y} \cdot (3.16 \times 10^7 \text{ s / y})} = 1.8 \times 10^{-9} \text{ s}^{-1}$$

$$\text{Aktivitas sample: } \lambda N = (1.8 \times 10^{-9} \text{ s}^{-1})(9 \times 10^{23} \text{ nuclei}) = 1.6 \times 10^{15} \text{ decays / s} = 1.6 \times 10^{15} \text{ Bq}$$

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \Rightarrow t = \frac{\ln(N_0 / N(t))}{\lambda} = \frac{\ln(10^6)}{(1.8 \times 10^{-9} \text{ s}^{-1})(3.16 \times 10^7 \text{ s / y})} = 240 \text{ y}$$





## Perhitungan Aktivitas

$$Activity = \lambda N$$

- Satuan lainnya dpm (disintegrations per minute),  
contoh:  $^{14}\text{C}$  aktivitasnya = 13.56 dpm / gram C

$$A = A_0 e^{-\lambda t}$$

- karena aktivitas berbanding lurus dengan jumlah N,  
maka A dapat diganti dengan N dalam persamaan

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

### Contoh:

Berapa banyak disintegrasi  $^{14}\text{C}$  telah terjadi dalam 1g sample kayu yang berumur 200 thn?

$T=200$  tahun

$t_{1/2} = 5730$  thn jadi  $\lambda = 0.693/5730$  thn =  $1.209e^{-4}$  thn $^{-1}$

$N_0=A_0/\lambda$  jadi  $N_0=(13.56\text{dpm} \cdot 60\text{m/hr} \cdot 24\text{hr/day} \cdot 365\text{days/y}) / 1.209e^{-4} = 5.90e^{10}$  atom

$N(^{14}\text{C})=N(^{14}\text{C})_0 \cdot e^{-(1.209e^{-4}/y) \cdot 200y} = 5.76e^{10}$  atom

# peluruhan =  $N_0-N = 2.4e^9$  peluruhan