

DASAR FISIKA RADIASI

Nofriady Aziz, S.ST, M.Eng

Pelatihan Penyegaran Petugas Iradiator

Direktorat Pengembangan Kompetensi BRIN - 2024

BIODATA

Nama : Nofriady Aziz, S.ST, M.Eng

KKPR IBBN DPFK

Pendidikan :

D4 Teknokimia Nuklir STTN – BATAN

S2 Teknik Kimia UGM

Organisasi :

- 1. Sertifikasi Ahli K3 Umum 2019**
- 2. Sekretaris SATGAS K3 2019**
- 3. KETUA SATGAS K3 2020 – 2022**
- 4. PPR 2020 - sekarang**

Pengalaman:

- 1. BPTC Korea 2022**
- 2. ICTP IAEA INES Italy 2022**
- 3. IAEA INRLS France 2023**
- 4. IAEA SEA Austria 2023**
- 5. IAEA SEDO Austria 2023**



LATAR BELAKANG

**Aplikasi radiasi banyak digunakan di berbagai bidang :
Industri, Kesehatan, Pertanian,
Hidrologi, Pertambangan**

Aplikasi radiasi berdasar pada interaksi radiasi dengan materi

Perlu pemahaman mengenai asal usul radiasi dan interaksinya dengan materi

**Mempunyai
pengetahuan yang
memadai mengenai
radiasi dan interaksinya
dengan materi**

**Mempercepat
pemahaman mata
pelajaran lainnya.**

MANFAAT

TUJUAN PEMBELAJARAN

Indikator Keberhasilan

- menyebutkan jenis peluruhan radioaktif dan sifat radiasi
- menghitung aktivitas radionuklida berdasarkan konsep waktu paro;
- menguraikan proses interaksi radiasi (α , β , γ dan neutron) dengan materi;
- menjelaskan perbedaan sumber radiasi alam dan buatan

Kompetensi Dasar

Setelah mengikuti mata pelajaran ini peserta mampu:

Menjelaskan **pengetahuan dasar radiasi** dengan benar.

POKOK BAHASAN

BAB I. PENDAHULUAN

BAB II. STRUKTUR ATOM DAN INTI ATOM

BAB III. PELURUHAN RADIOAKTIF

BAB IV. INTERAKSI RADIASI DENGAN MATERI

BAB IV. SUMBER RADIASI

Durasi : 2 x 45 menit penyajian dan tanya jawab

1

PENDAHULUAN

PENDAHULUAN

Atom, Nuklir, Radiasi ...???



Persepsi Masyarakat



RADIASI



Radiasi ?



Pancaran **energi** melalui materi atau ruang dalam bentuk panas, **partikel** atau **gelombang elektromagnetik** (cahaya, foton) dari suatu sumber radiasi



SIFAT

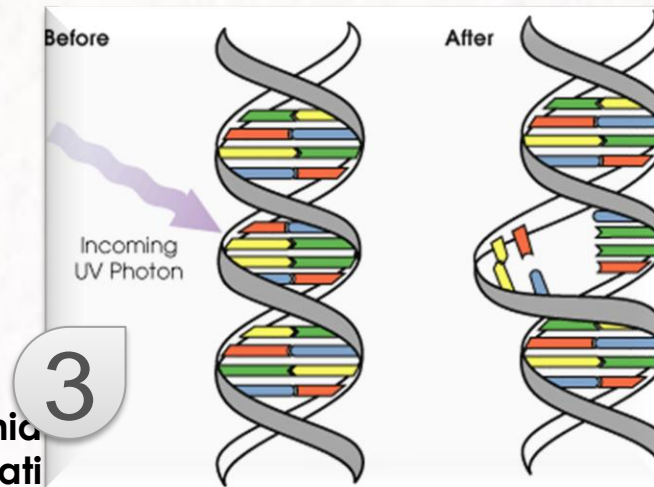
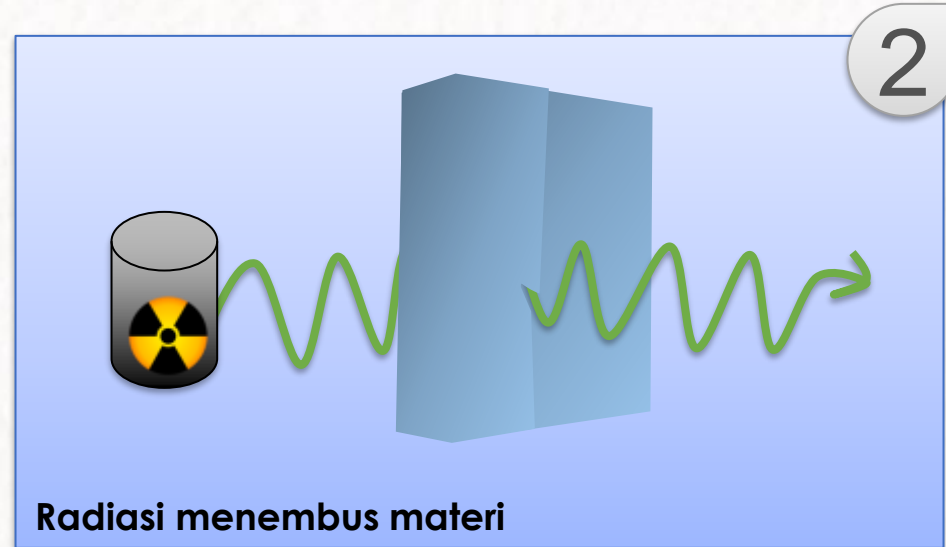


- Tak dapat dideteksi oleh indera manusia
- Dapat berinteraksi dengan bahan/materi

SIFAT RADIASI



Radiasi tidak dapat dideteksi indra manusia



Radiasi dapat merubah sifat fisika dan kimia materi yang dilewati

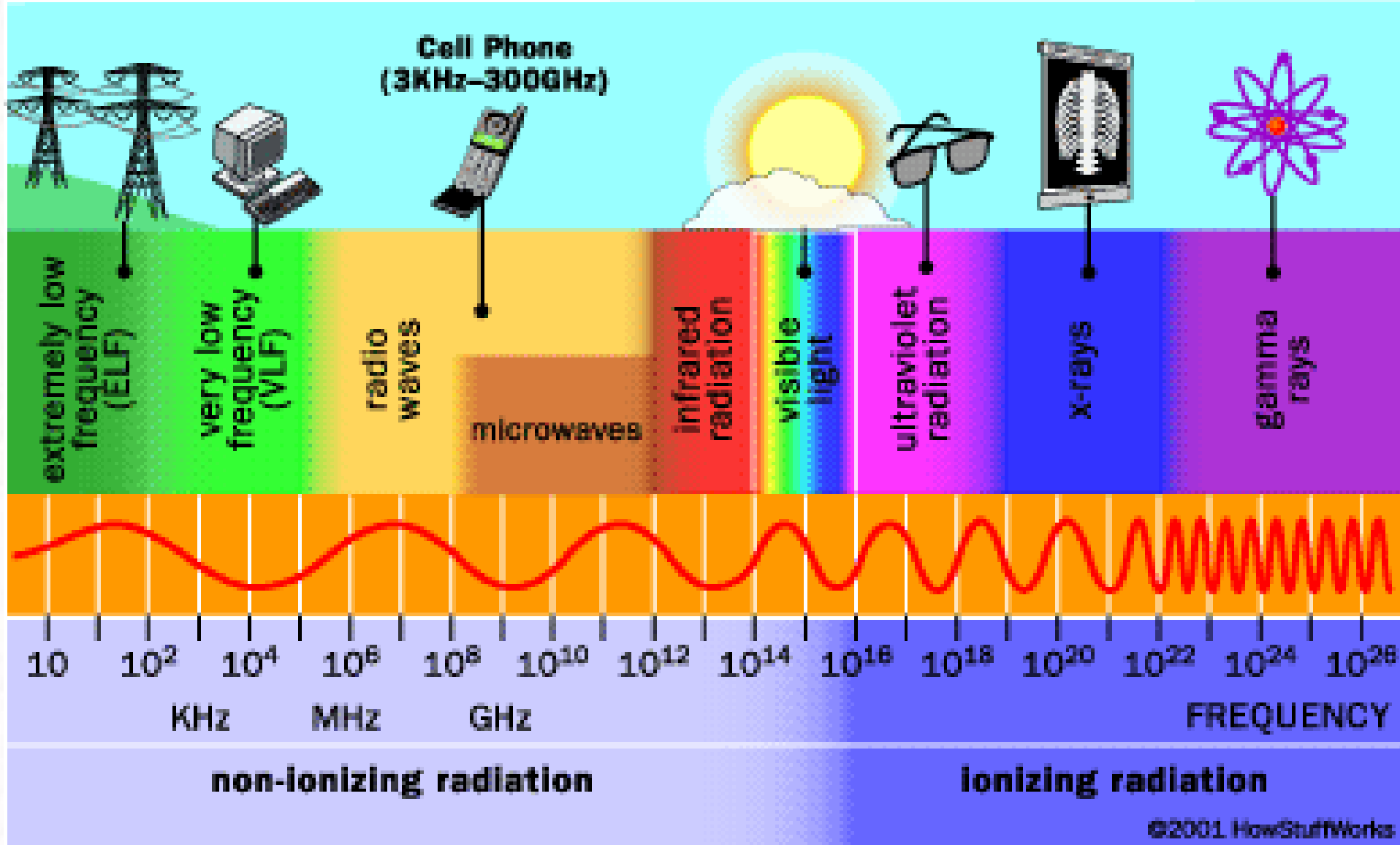
Jenis Radiasi



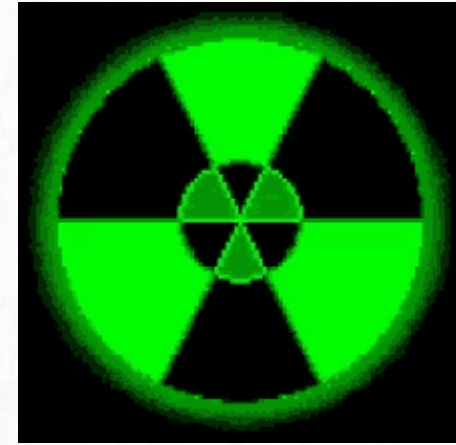
- ♣ **Pengion** (radiasi yang bisa menimbulkan proses **ionisasi**)
 - ✓ Alpha, Beta, Gamma, Sinar-X, Neutron.
- ♣ **Non Pengion** (radiasi yang tidak bisa menimbulkan proses **ionisasi**)
 - ✓ Radiasi TV, Microwave, Arus listrik Teg. Tinggi, Komputer, dll)



Spektrum Elektromagnetik



Radiasi Pengion



Kemampuan mengionisasi media yang dilaluinya disebabkan radiasi tersebut mempunyai energi yang besar

Apakah Berbahaya???



**Radiasi bukan
Pengion**



Radiasi Pengion

Kenapa Bisa terjadi???

**alpha (α),
beta (β)
atau
gamma (γ)**



**Nuklida tidak stabil
(radionuklida)**



Nuklida Stabil

RADIASI, ANY QUESTIONS?



2

STRUKTUR ATOM

STRUKTUR ATOM ...



**Apakah
atom
itu?**

STRUKTUR ATOM ...

Definisi

MATERI

Benda yang tersusun dari molekul yang terdiri atas beberapa atom

ATOM

bagian terkecil dari suatu materi yang masih memiliki sifat dasar materi tersebut

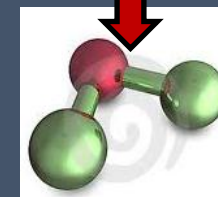
mempunyai ukuran $\pm 10^{-10} \text{m}$ (1 Angstrom)



Materi: Air



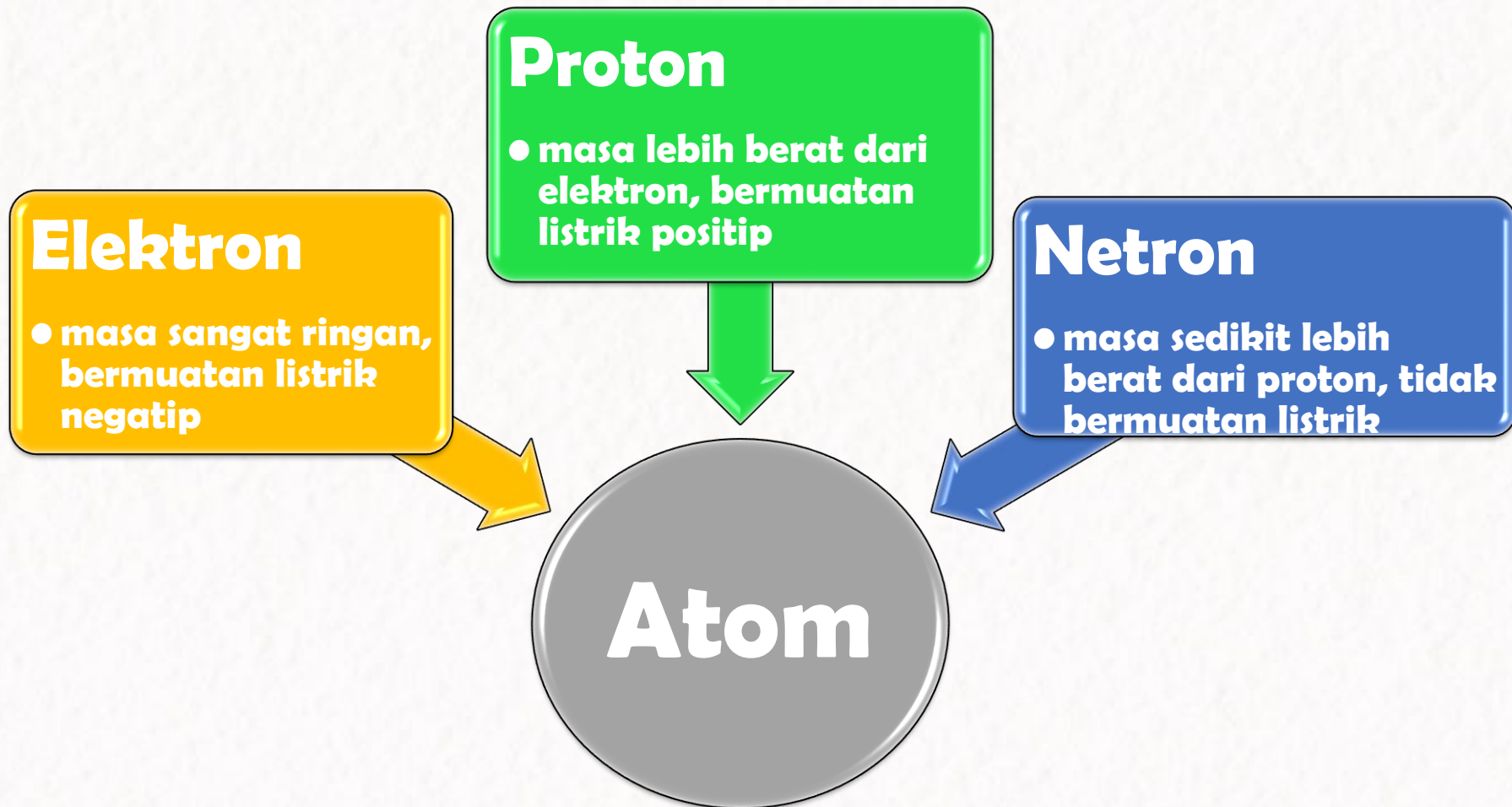
Molekul : H₂O

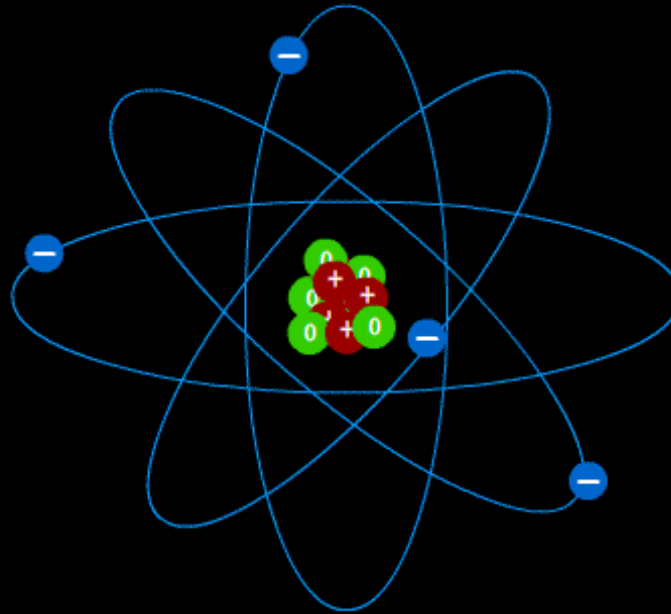


Atom: O & H

STRUKTUR ATOM ...

Partikel Dasar Sub Atom





UNSUR ATOM

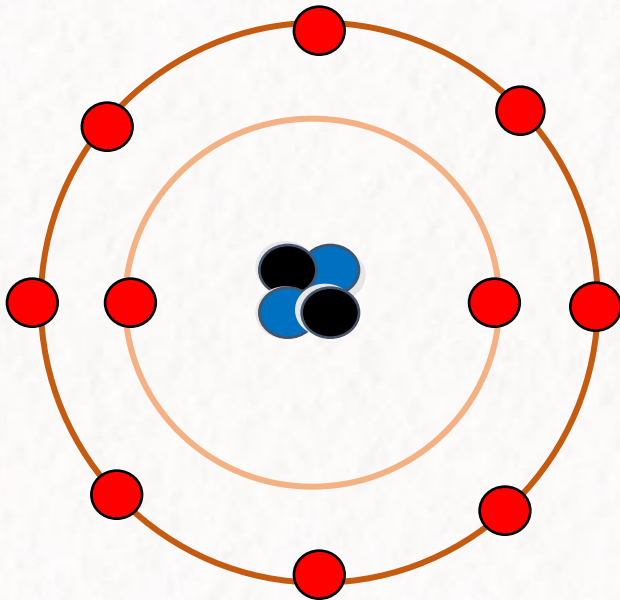
- Elektron
- 0 Neutron
- + Proton

Inti Atom dan Elektron

Partikel	Muatan Listrik		Massa	
	Coulomb	Elementer	Kg	sma
Elektron	$-1,6 \times 10^{-19}$	-1	$9,1 \times 10^{-31}$	0
Proton	$+1,6 \times 10^{-19}$	+1	$1,67 \times 10^{-27}$	1
Neutron	0	0	$1,67 \times 10^{-27}$	1

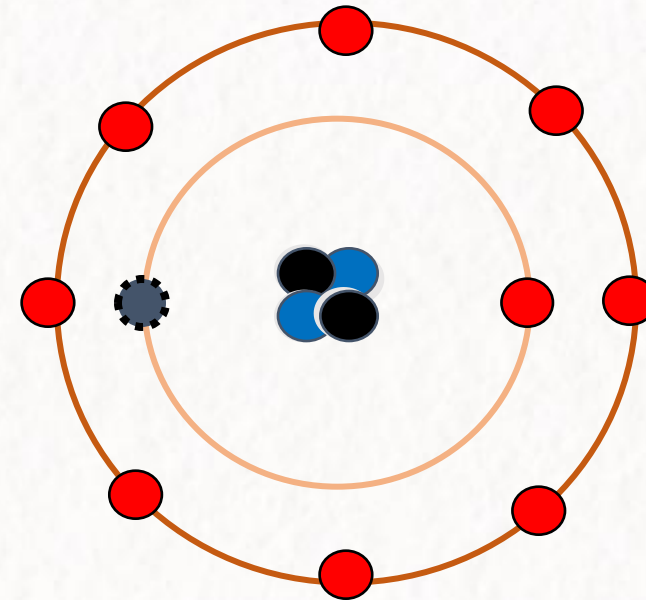
STRUKTUR ATOM ...

Atom Stabil dan Tidak Stabil



Atom Stabil

Setiap lintasan yang lebih dalam **terisi penuh** dengan elektron sesuai dengan **kapasitasnya**



Atom Tidak Stabil

Ada lintasan yang lebih dalam yang **tidak terisi penuh** dengan elektron sesuai dengan **kapasitasnya**

STRUKTUR ATOM ...

Transisi Elektron

Pengertian

Perpindahan elektron dari satu lintasan ke lintasan yang lain

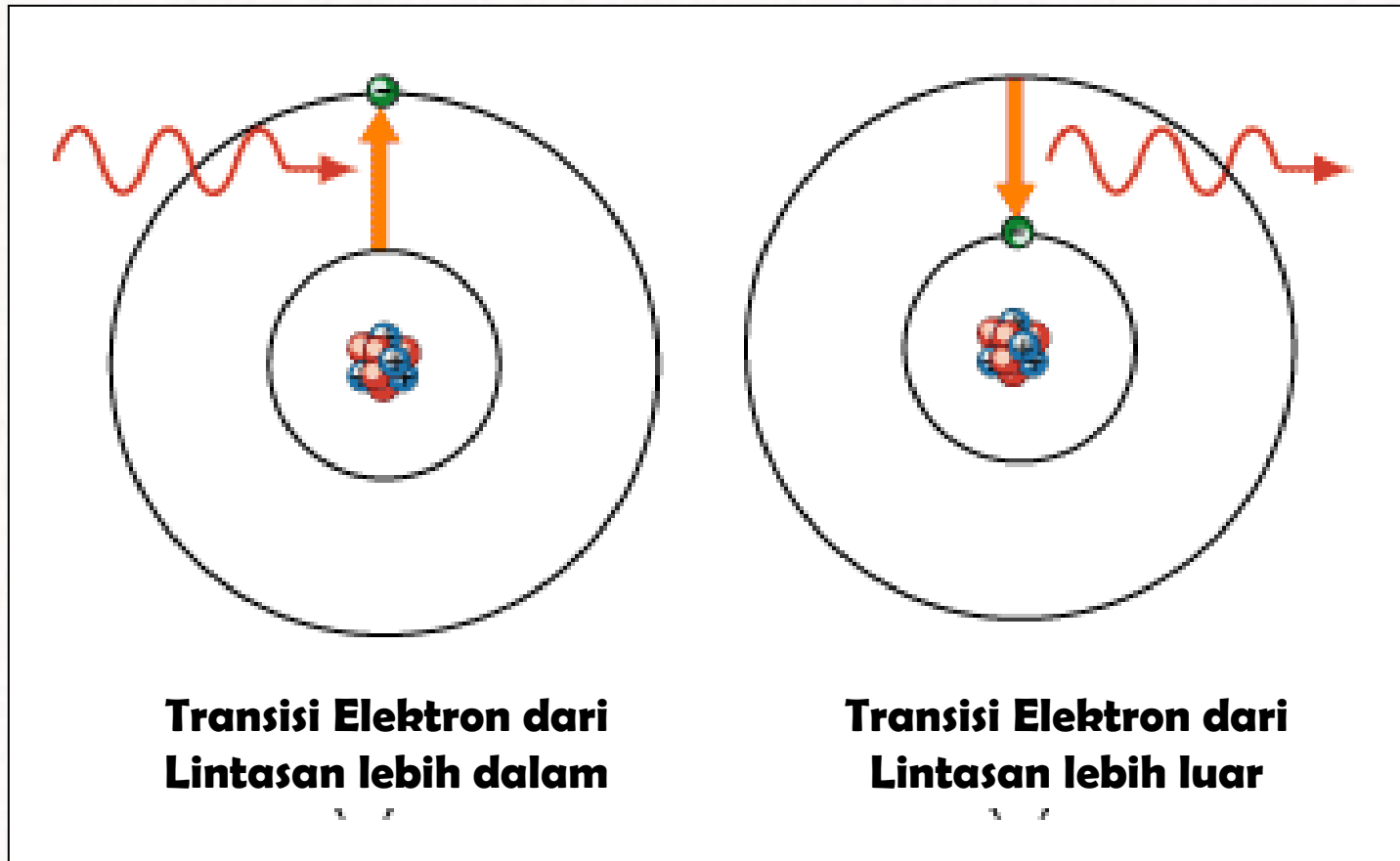
Kondisi

transisi berasal dari lintasan yang lebih luar ke lintasan dalam, akan dipancarkan energi

transisi dari lintasan dalam ke lintasan yang lebih luar dibutuhkan energi,

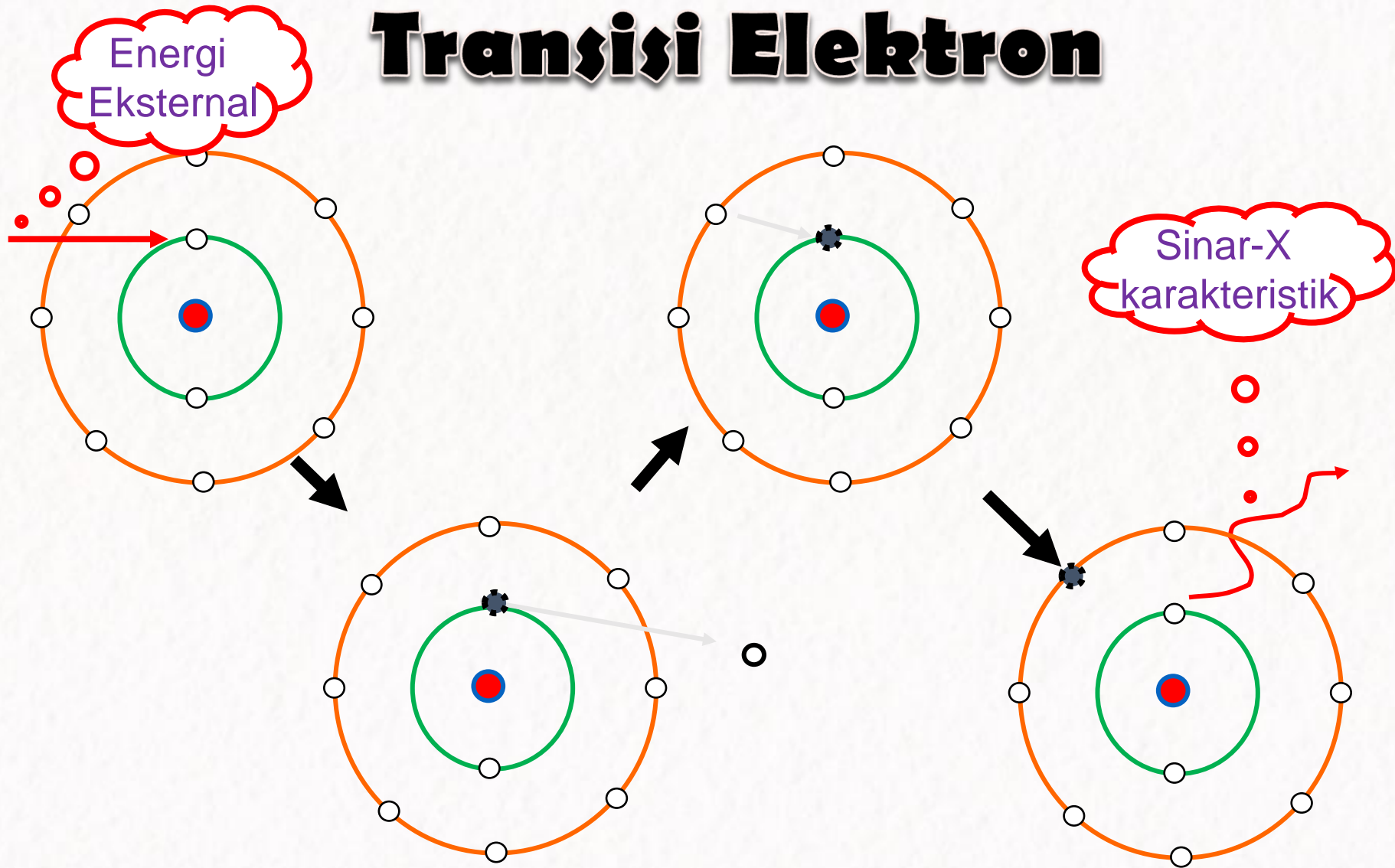
STRUKTUR ATOM ...

Transisi Elektron



STRUKTUR ATOM ...

Transisi Elektron





STRUKTUR ATOM ...

Identifikasi Inti Atom

- **Nuklida = Jenis Inti Atom**
- **Jumlah Nuklida > Jumlah unsur**



A: Nomor massa = Jumlah proton + neutron

Z: Nomor atom = Jumlah proton

N : Nomor massa – Nomor atom = A - Z

STRUKTUR ATOM ...

Penulisan Nuklida



- Jenis Unsur : Helium
- Jumlah proton (Z) = 2
- Jumlah neutron (N) = 2



- Jenis Unsur : Cobalt
- Jumlah proton (Z) = 27
- Jumlah neutron (N) = 32

STRUKTUR ATOM ...

Penamaan Nuklida

Isotop

- ${}_Z\text{X}^A$ atau X^A atau $\text{X}-A$
- Contoh : ${}_{27}\text{Co}^{59}$, ${}_{27}\text{Co}^{60}$
- ${}_1\text{H}^1$, ${}_1\text{H}^2$, ${}_1\text{H}^3$

Isobar

- ${}_Z\text{X}^A$ atau X^A atau $\text{X}-A$
- Contoh ${}_6\text{C}^{14}$ dan ${}_7\text{N}^{14}$

STRUKTUR ATOM ...

Penamaan Nuklida

Isoton

- ${}_Z X^A$ atau X^A atau X-A

- Contoh : ${}_{12}\text{Mg}^{26}$, ${}_{13}\text{Al}^{27}$, ${}_{14}\text{Si}^{28}$

Isomer

- ${}_Z X^{Am}$, ${}_Z X^{A*}$

- Contoh : ${}_{28}\text{Ni}^{60}$ dan ${}_{28}\text{Ni}^{60*}$

STRUKTUR ATOM ...

Kestabilan Inti Atom

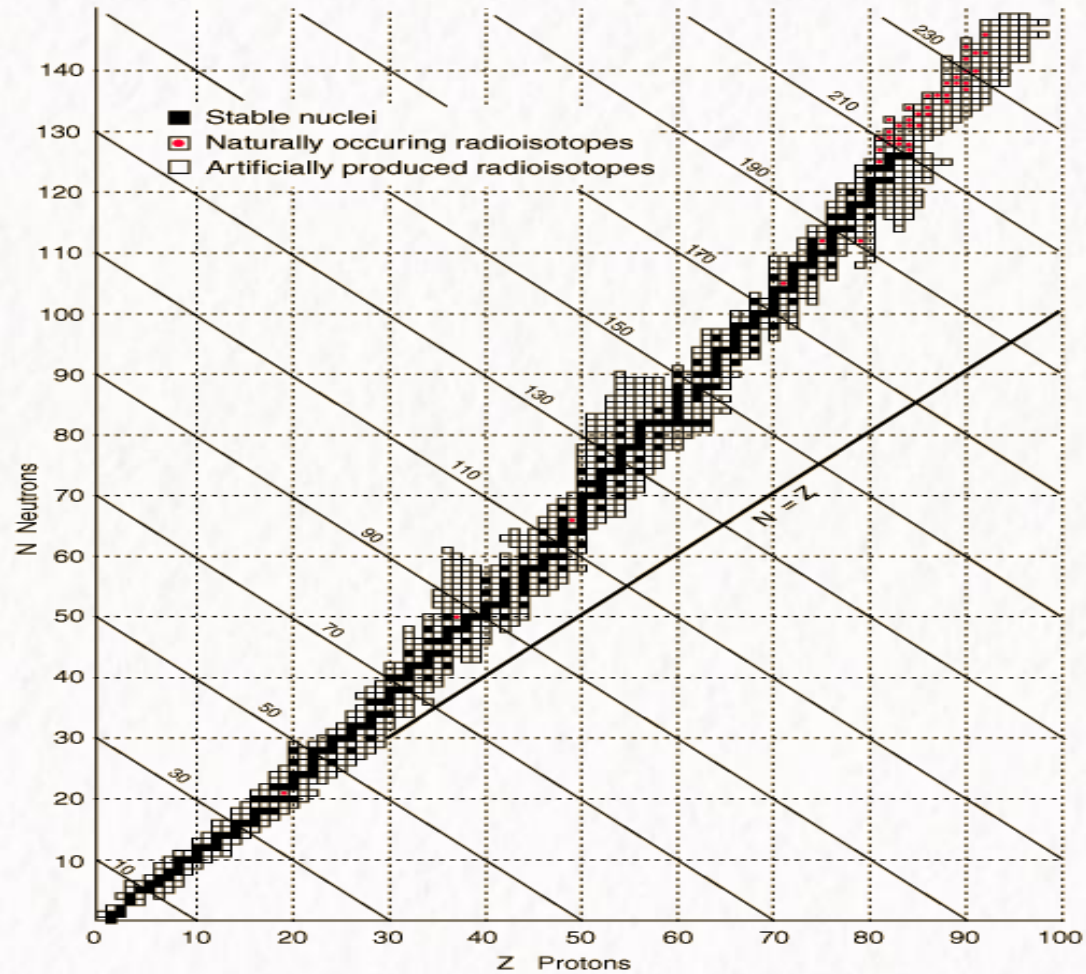
- ditentukan oleh **komposisi jumlah proton dan jumlah neutron**

Secara umum:

- Inti ringan $\rightarrow N = Z$
- Inti berat $\rightarrow N = 1\frac{1}{2} \cdot Z$

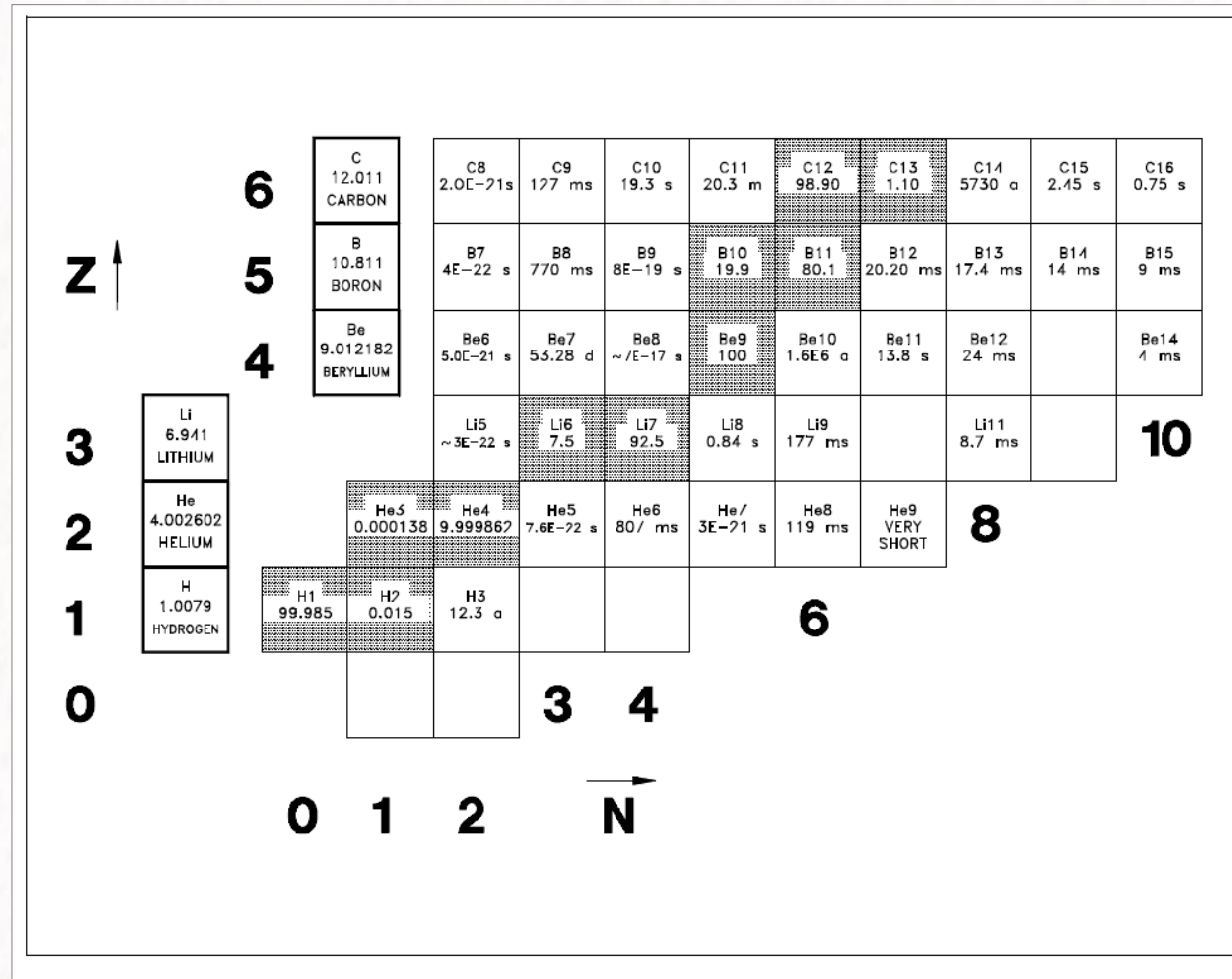
Secara tepat : Lihat tabel nuklida

STRUKTUR ATOM ...



Kurva Kestabilan Inti

STRUKTUR ATOM ...



Kurva Kestabilan Inti



STRUKTUR ATOM ...

Rangkuman

Transisi elektron :

- Perpindahan Elektron dari satu lintasan ke lintasan lainnya
- dari lintasan yang **lebih luar ke lintasan yang lebih dalam** → memancarkan radiasi sinar-X karakteristik.
- dari lintasan yang **lebih dalam ke lintasan yang lebih luar** → membutuhkan energi eksternal

STRUKTUR ATOM ...

Rangkuman

Isotop

- nomor Atom (Z) sama, tetapi Nomor Massa (A) berbeda

Isobar

- jumlah jumlah proton + netron (A) – NO MASSA - sama tetapi jumlah proton – NO ATOM- berbeda

Isoton

- jumlah netron (A) sama, tetapi jumlah proton (Z) – NO ATOM- berbeda

Isomer

- Nomor massa (Z) maupun nomor atom (A) sama tetapi mempunyai tingkat energi berbeda

3

PELURUHAN RADIOAKTIF

PELURUHAN RADIOAKTIF

Definisi

Peluruhan radioaktif

- proses perubahan inti atom yang tidak stabil menjadi stabil.

radioisotop atau *radionuklida*

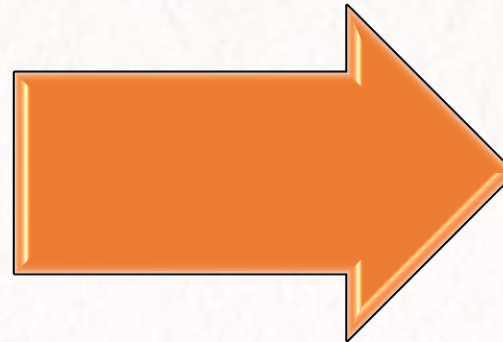
- Inti atom yang meluruh

PELURUHAN RADIOAKTIF

Jenis Peluruhan

radiasi alpha (α),
beta (β) atau
gamma (γ)

**nuklida tidak
stabil
(radionuklida)**



**Nuklida
Stabil**

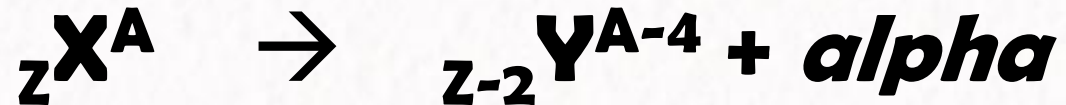
PELURUHAN RADIOAKTIF

Peluruhan Alpha

Terjadi pada inti – inti yang tidak stabil yang relatif berat (nomor atom >80)

Memancarkan partikel alpha (α) yang identik dengan inti helium --> dua proton dan dua neutron

$$\alpha \approx {}_2\text{He}^4$$



PELURUHAN RADIOAKTIF

Peluruhan Beta

terjadi perubahan neutron menjadi proton di dalam inti atom atau proton menjadi neutron.

terjadi pada inti tidak stabil yang relatif ringan.

dipancarkan partikel beta yang mungkin bermuatan negatif (β^-) atau positif (β^+).



PELURUHAN RADIOAKTIF

Peluruhan Beta

- Partikel β^- identik dengan elektron
- partikel β^+ identik dengan elektron yang bermuatan positif (positron).

Contoh :



PELURUHAN RADIOAKTIF

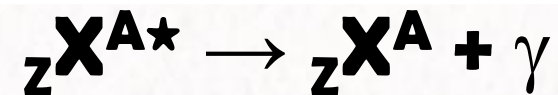
Peluruhan Gamma

terjadi bila energi inti atom tidak berada pada keadaan dasar (*ground state*)

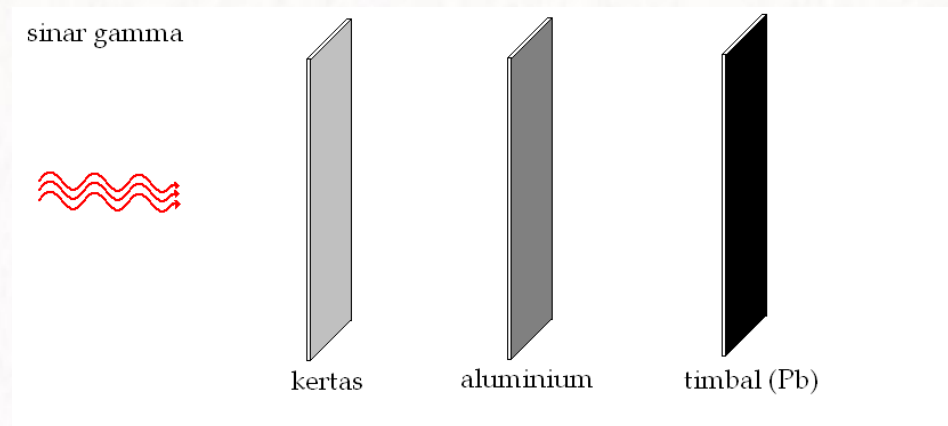
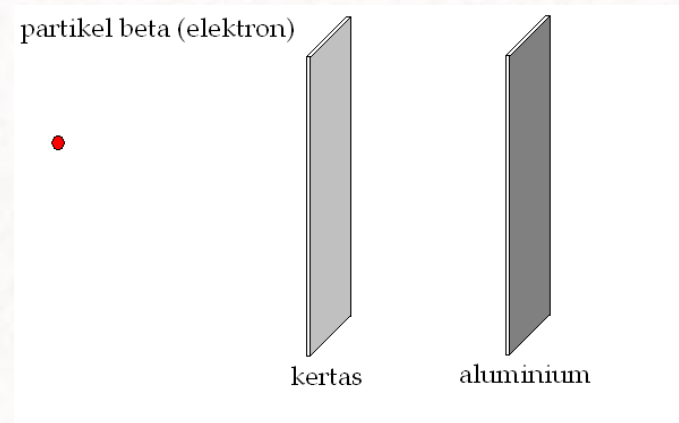
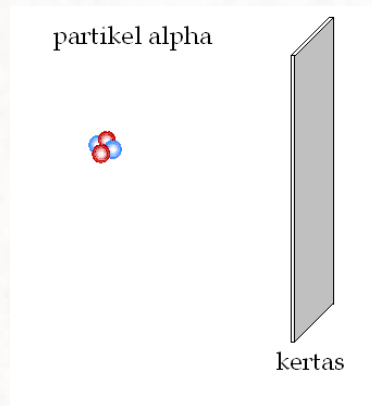
nomor atom maupun nomor massa tidak berubah

memancarkan gelombang elektromagnetik (foton)

mengikuti peluruhan α ataupun β .



DAYA TEMBUS RADIASI





PELURUHAN RADIOAKTIF

Aktivitas Sumber Radioaktif

Pengertian

Jumlah **peluruhan** yang terjadi dalam **1 detik**

menunjukkan jumlah radionuklida yang **tidak stabil** berubah **menjadi nuklida stabil** dalam **satu detik**

PELURUHAN RADIOAKTIF

Perhitungan Aktivitas

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

A = aktivitas pada saat **t**,

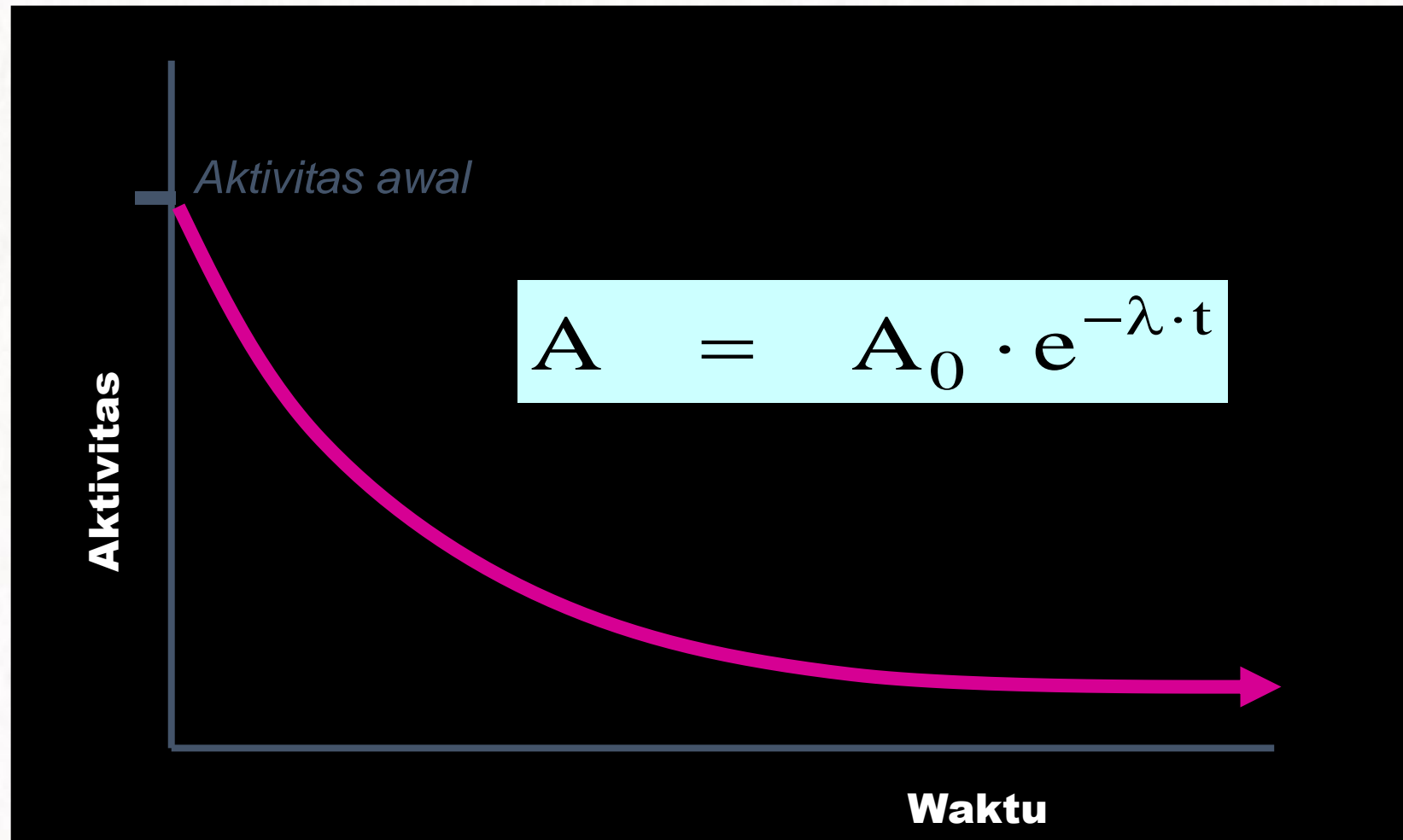
A₀ = aktivitas mula-mula

λ = konstanta peluruhan

t = selang waktu antara saat mula-mula sampai saat ini

PELURUHAN RADIOAKTIF

Aktivitas Radiasi Vs Waktu



PELURUHAN RADIOAKTIF

Satuan Aktivitas Radiasi

- **Currie (Ci)** satuan lama
- **Becquerrel (Bq)** satuan baru (SI)

1 Bq = 1 peluruhan per detik

1 Ci = 3,7 10¹⁰ Bq atau

1 μCi = 3,7 10⁴ Bq = 37.000 Bq

1 mCi = 10⁻³ Ci

1 μCi = 10⁻⁶ Ci

PELURUHAN RADIOAKTIF

Umur Paro

Pengertian

selang waktu yang dibutuhkan agar aktivitas suatu radioaktif menjadi separuhnya

Setiap radionuklida mempunyai umur paro yang **unik dan tetap**

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

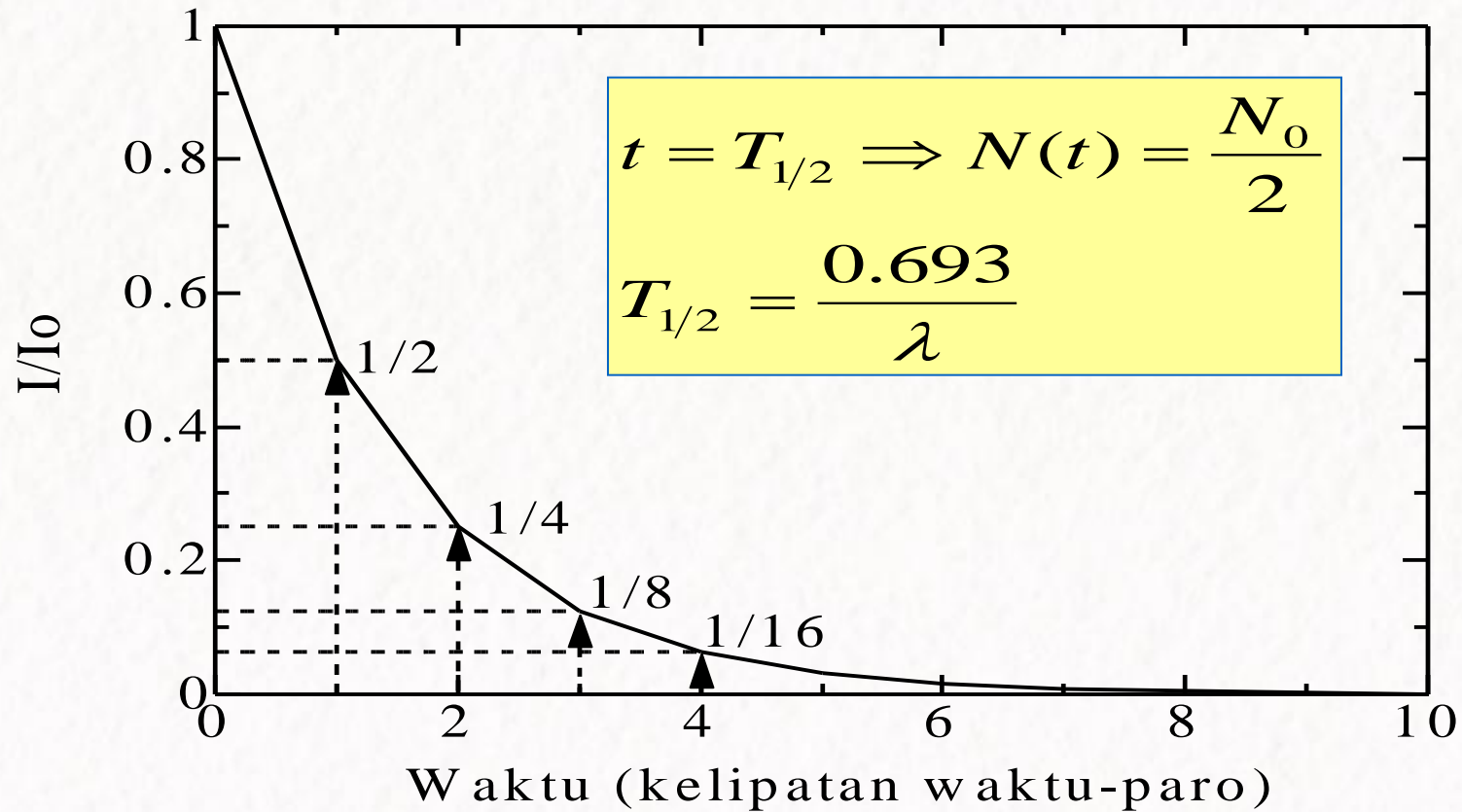
PELURUHAN RADIOAKTIF

Umur Paro

Isotop	Waktu paro ($T_{1/2}$)
Ytterbium 169 (Yb-169)	32 hari
Iridium 192 (Ir-192)	74,3 hari
Selenium 75 (Se-75)	120 hari
Thulium 170 (Tm-170)	130 hari
Cobalt 60 (Co-60),	5,27 tahun
Cesium 137 (Cs-137)	30,1 tahun
Radium 226 (Ra-226)	1620 tahun

PELURUHAN RADIOAKTIF

Kurva Peluruhan Radioaktif



PELURUHAN RADIOAKTIF

Penggunaan Waktu Paro

Selang Waktu	Aktivitas
0	A ₀
1 x T ^{1/2}	0,5 x A ₀
2 x T ^{1/2}	0,25 x A ₀
3 x T ^{1/2}	0,125 x A ₀
4 x T ^{1/2}	0,0625 x A ₀
5 x T ^{1/2}	0,03125 x A ₀
6 x T ^{1/2}	0,0156 x A ₀
	dst

$$\frac{A_2}{A_1} = \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{T}{T_{1/2}}}$$

$$A = \left(\frac{1}{2} \right)^n \cdot A_0$$

$$n = \frac{\text{selang waktu}}{T^{1/2}}$$

PELURUHAN RADIOAKTIF

Contoh Soal

1. Sumber Ir-192 mempunyai aktivitas 100 MBq pada tanggal 1 Januari 2025. Berapa aktivitasnya pada tanggal 28 Mei 2025 jika Ir-192 mempunyai umur paro ($T_{1/2}$) = 74 hari?

Jawab :

$$n = 148/74 = 2$$

$$A = (1/2)^2 \cdot 100 \text{ MBq} = 25 \text{ MBq}$$

Jadi aktivitas Ir-192 pada tanggal 28 Mei 1999 adalah 25 MBq

PELURUHAN RADIOAKTIF

Contoh Soal

2. Suatu bahan radioaktif mempunyai aktivitas 100 MBq pada pukul 08.00 WIB. Sedangkan pada pukul 14.00 WIB aktivitasnya tinggal 25 MBq. Berapa umur paro ($T_{1/2}$) bahan radioaktif tersebut?

Jawab :

$A_0 = 100$ MBq, $A(t) = 25$ MBq, dan waktu $t = 6$ jam.

Setelah 6 jam aktivitasnya tinggal $25 / 100 = 1/4$ kali yang berarti telah mencapai 2 kali $T_{1/2}$.

$\rightarrow 2 \times T_{1/2} = 6$ Jam, maka $T_{1/2} = 3$ jam.

PELURUHAN RADIOAKTIF

Rangkuman

1. Peluruhan radioaktif

- perubahan inti atom yang tidak stabil menjadi inti atom yang stabil.

2. Peluruhan spontan

- peluruhan α , memancarkan 2 neutron dan 2 proton
- Peluruhan β , memancarkan elektron atau positron
- Peluruhan γ , memancarkan gelombang elektromagnetik

3. Umur Paro

- selang waktu yang dibutuhkan agar aktivitas suatu radioaktif menjadi separuhnya



4

INTERAKSI RADIASI DENGAN MATERI

INTERAKSI RADIASI...

INTERAKSI PARTIKEL ALPHA

Karakteristik α

secara fisik maupun elektrik relatif besar

Pada lintasannya mudah mempengaruhi elektron dari atom

mudah diserap, sehingga daya tembusnya terbatas

daya tembus 3,5 Mev alpha 20 mm di udara, 0.03 mm jaringan tubuh

INTERAKSI RADIASI...

INTERAKSI PARTIKEL ALPHA

Ionisasi

- terlepasnya elektron dari orbitnya yang menjadi elektron bebas dan dihasilkan atom bermuatan positif

Eksitasi

- berpindahnya elektron ke kulit yang lebih luar karena adanya energi eksternal

Reaksi inti

- Interaksi antara radiasi α dengan inti menghasilkan inti atom baru

INTERAKSI RADIASI...

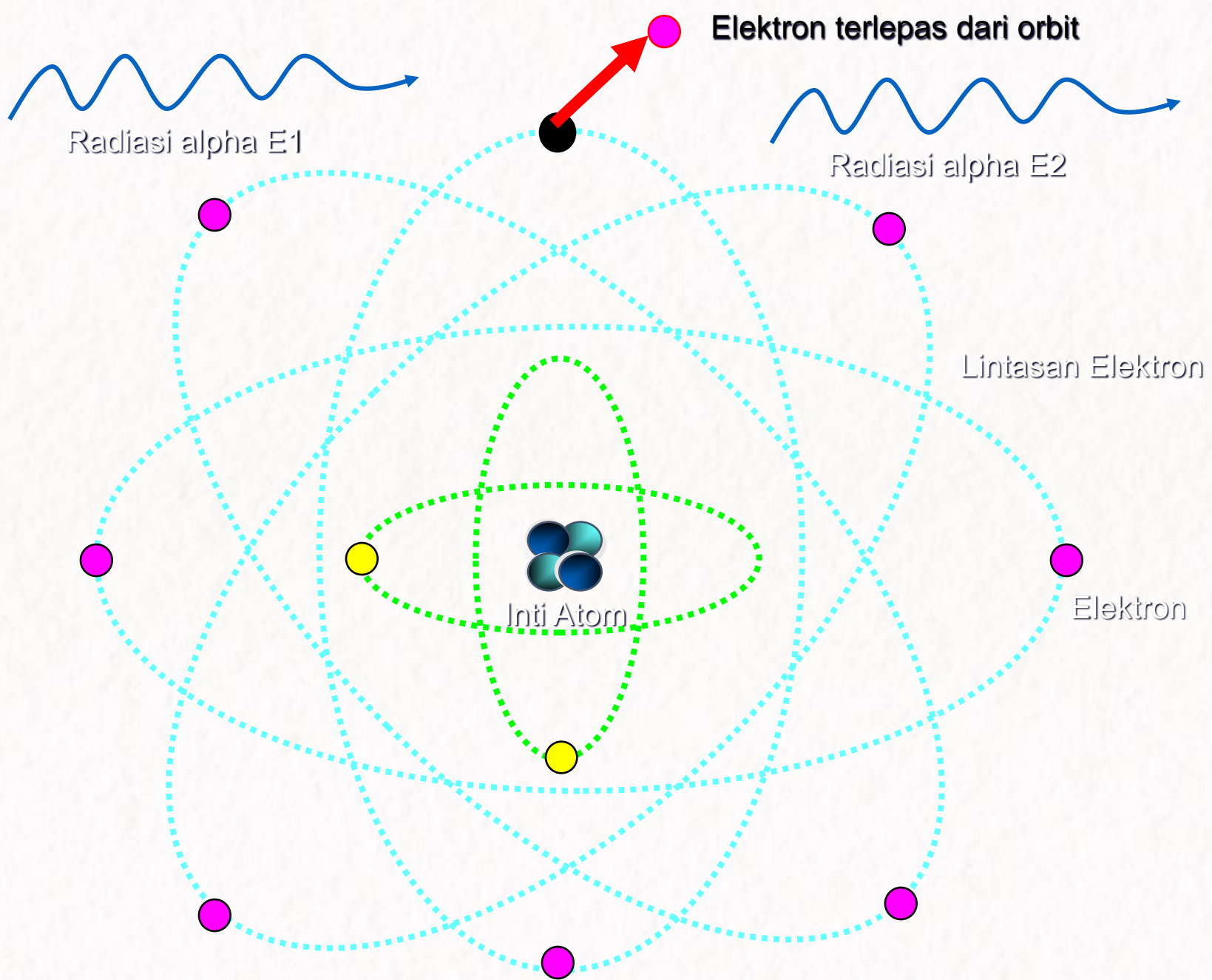
Ionisasi

Pengertian

Terlepasnya elektron dari orbitnya sehingga menjadi ion

Menjadi atom yang tidak netral

Terjadi bila energi yang datang lebih besar dari energi ikat elektron

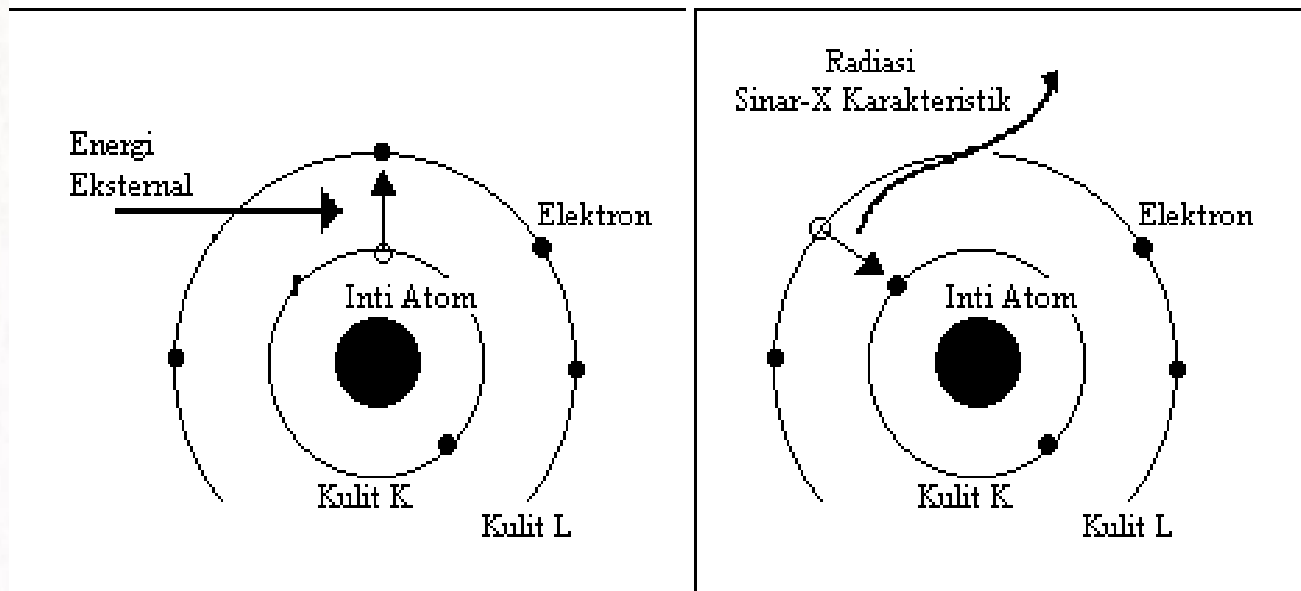


Proses Ionisasi

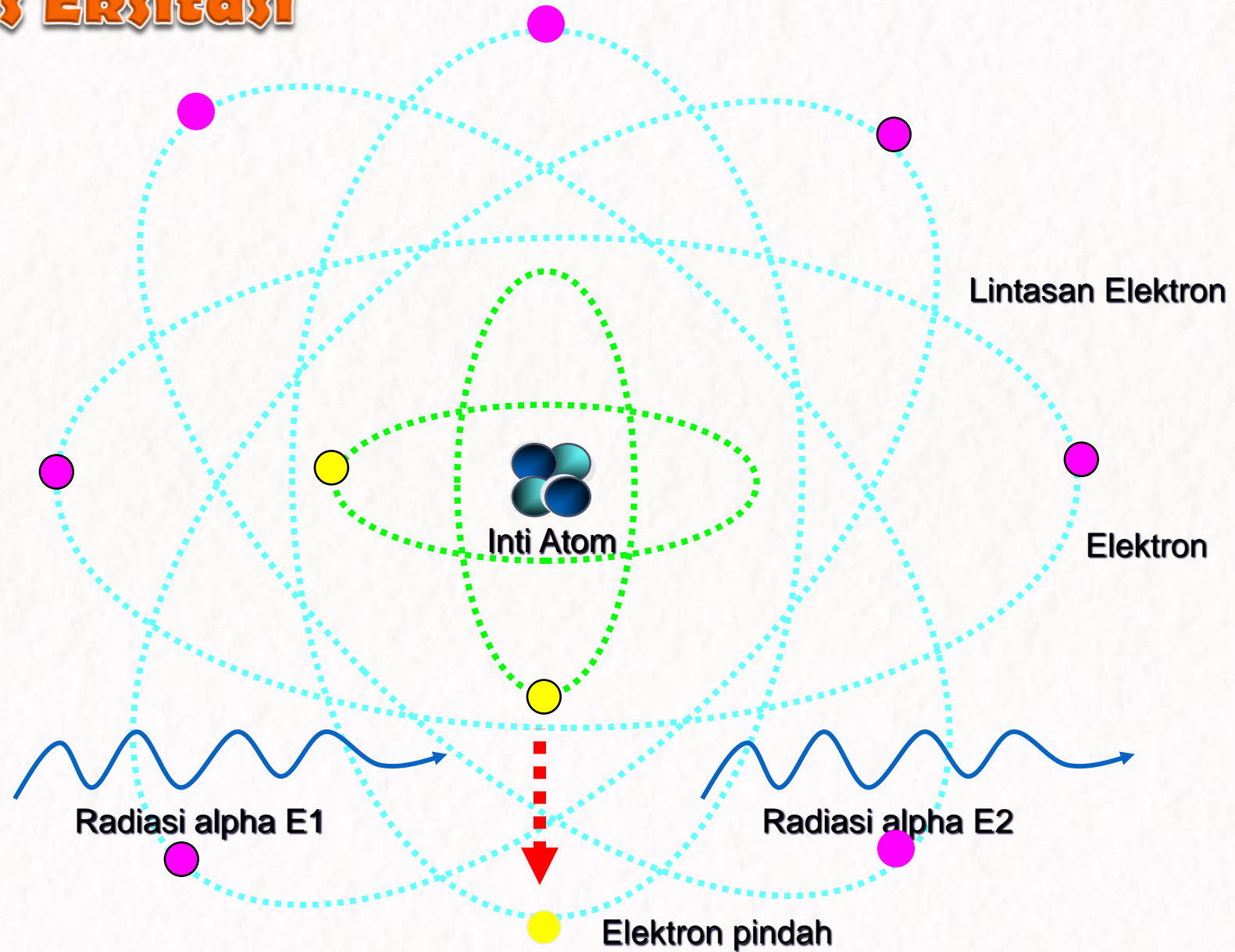
INTERAKSI RADIASI...

Eksitasi

- mirip dengan proses ionisasi, tetapi elektron tidak sampai lepas dari atomnya hanya berpindah ke lintasan yang lebih luar.



Proses Eksitasi



INTERAKSI RADIASI...

Interaksi Partikel Beta

Karakteristik β

Masa dan muatan beta lebih kecil dari α

Kurang diserap oleh materi

Daya tembus lebih jauh dari α

daya tembus 3,5 Mev α 11 m di udara, 15 mm di jaringan tubuh

INTERAKSI RADIASI...

Interaksi Partikel Beta

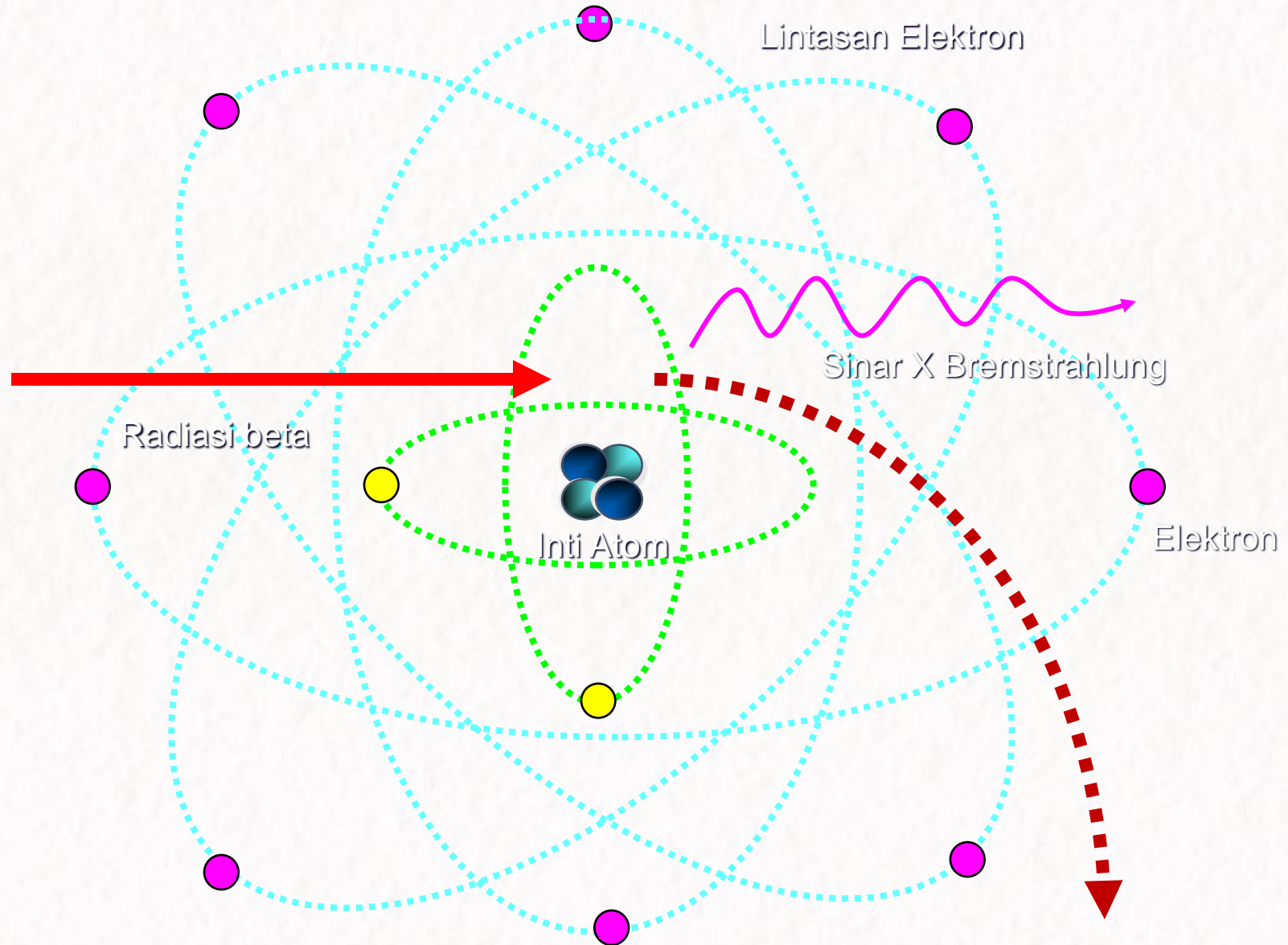
Ionisasi

Eksitasi

Proses Bremstrahlung,

- **pemancaran radiasi gelombang elektromagnetik (sinar-X kontinyu) ketika radiasi β , dibelokkan atau diperlambat oleh inti atom yang bermuatan positif**

Proses Bremstrahlung



INTERAKSI RADIASI...

Proses Bremsstrahlung

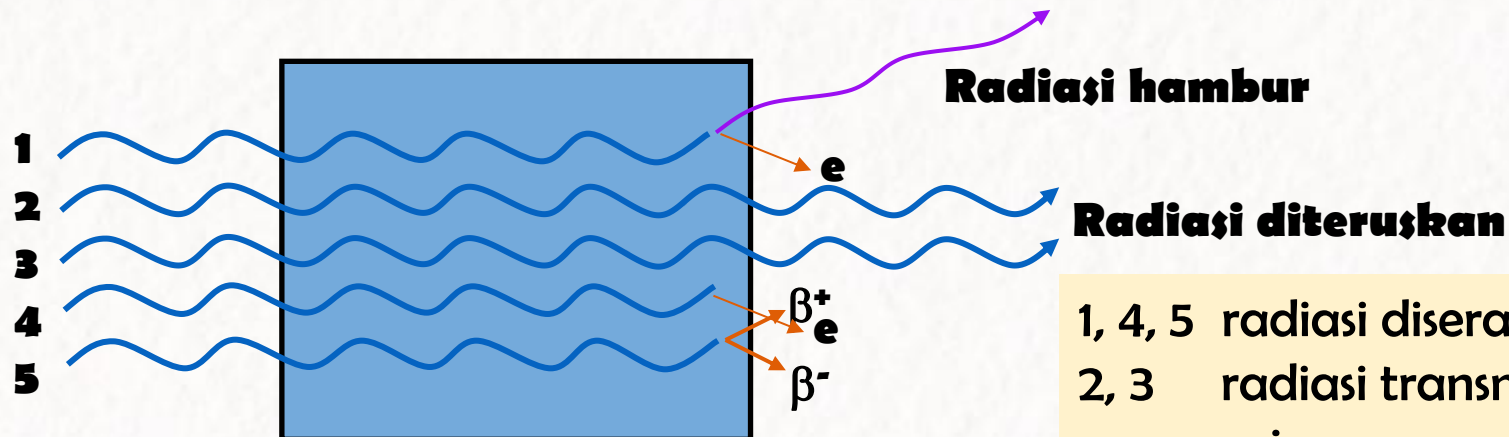
- **Fraksi energi (f) dari sinar-X bremsstrahlung yang dihasilkan**

$$f = 3,5 \times 10^{-4} \cdot Z \cdot E_{maks}$$

- **Energi partikel β yang lebih besar akan menghasilkan radiasi bremsstrahlung yang lebih besar.**
- **Semakin besar nomor atom bahan penyerap (semakin berat) akan menghasilkan radiasi sinar-X yang lebih besar**

INTERAKSI RADIASI...

Interaksi Radiasi Gamma/ Sinar-x Dengan Materi

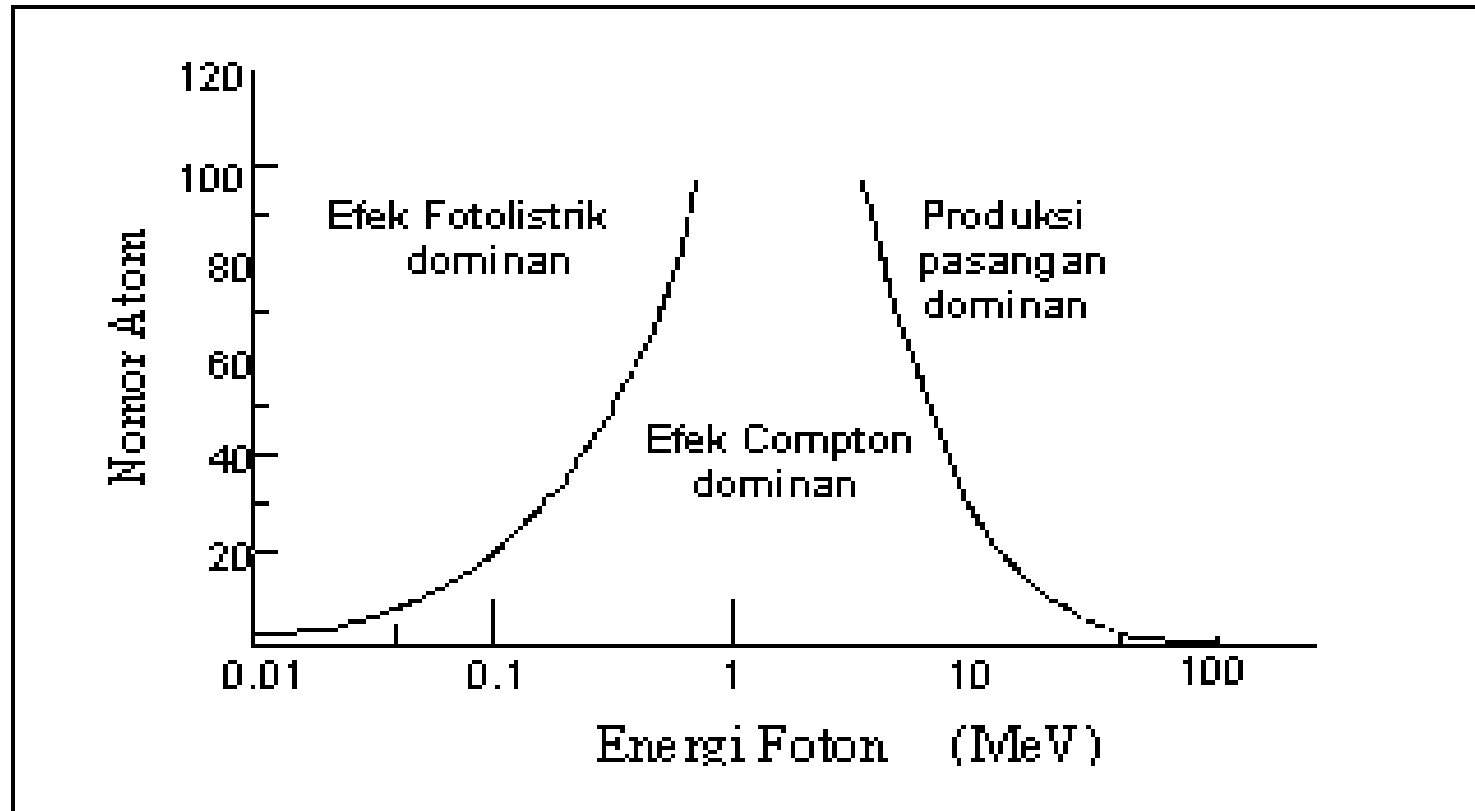


1, 4, 5 radiasi diserap
2, 3 radiasi transmisi, radiasi primer yang tidak mengalami perubahan energi

Interaksi yang terjadi

- Efek fotolistrik
- Hamburan Compton
- Efek produksi pasangan

INTERAKSI RADIASI...



Pengaruh Nomor atom material dan Energi Radiasi pada interaksi Radiasi Gamma/ Sinar-x Dengan Materi

INTERAKSI RADIASI...

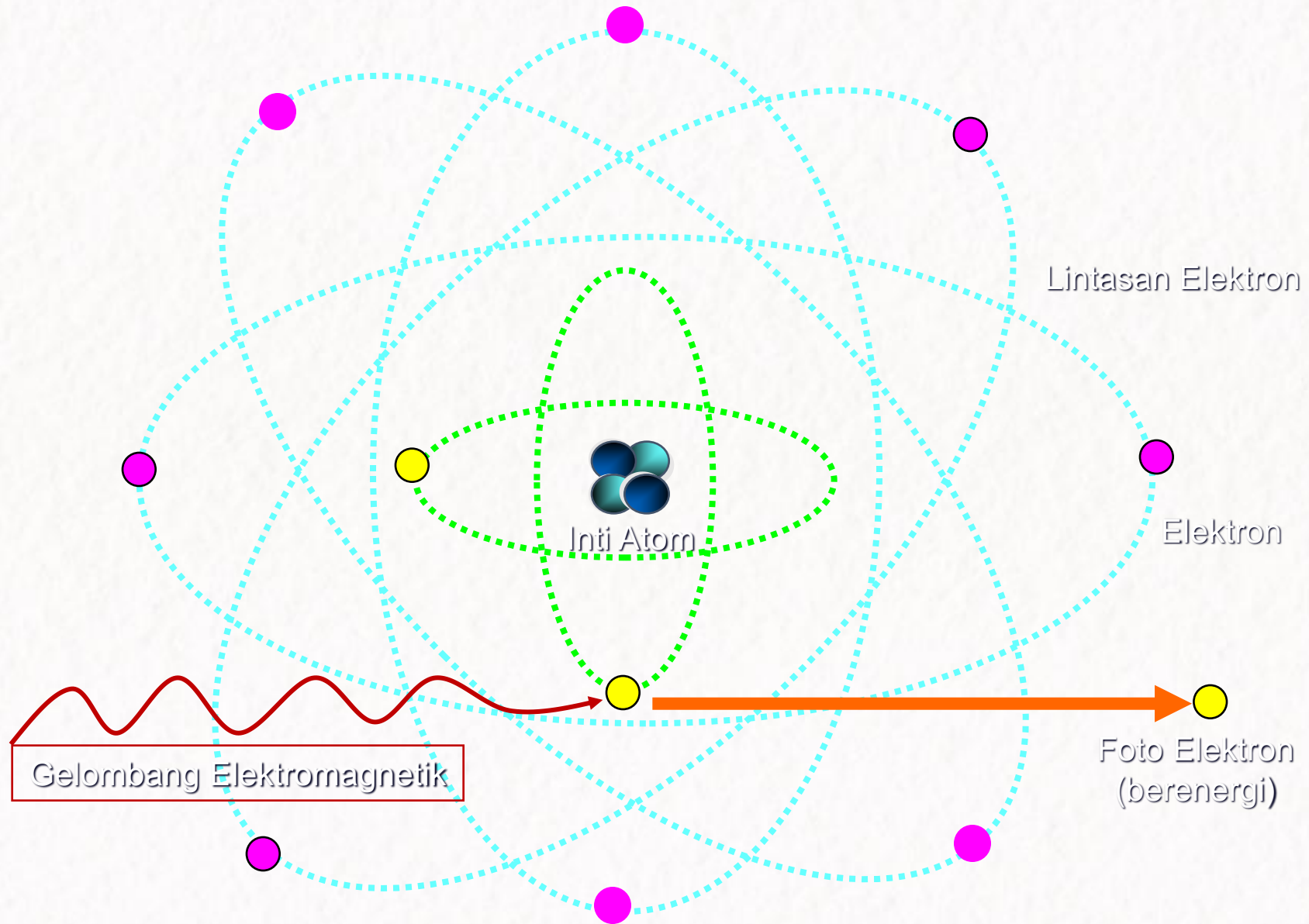
Efek Fotolistrik

terjadi energi foton rendah ($< 100 \text{ keV}$)

energi foton diserap seluruhnya oleh elektron orbit

elektron orbit terlepas dari atom \rightarrow fotoelektron,

mempunyai energi sebesar energi foton yang mengenainya.



Efek Fotolistrik

INTERAKSI RADIASI...

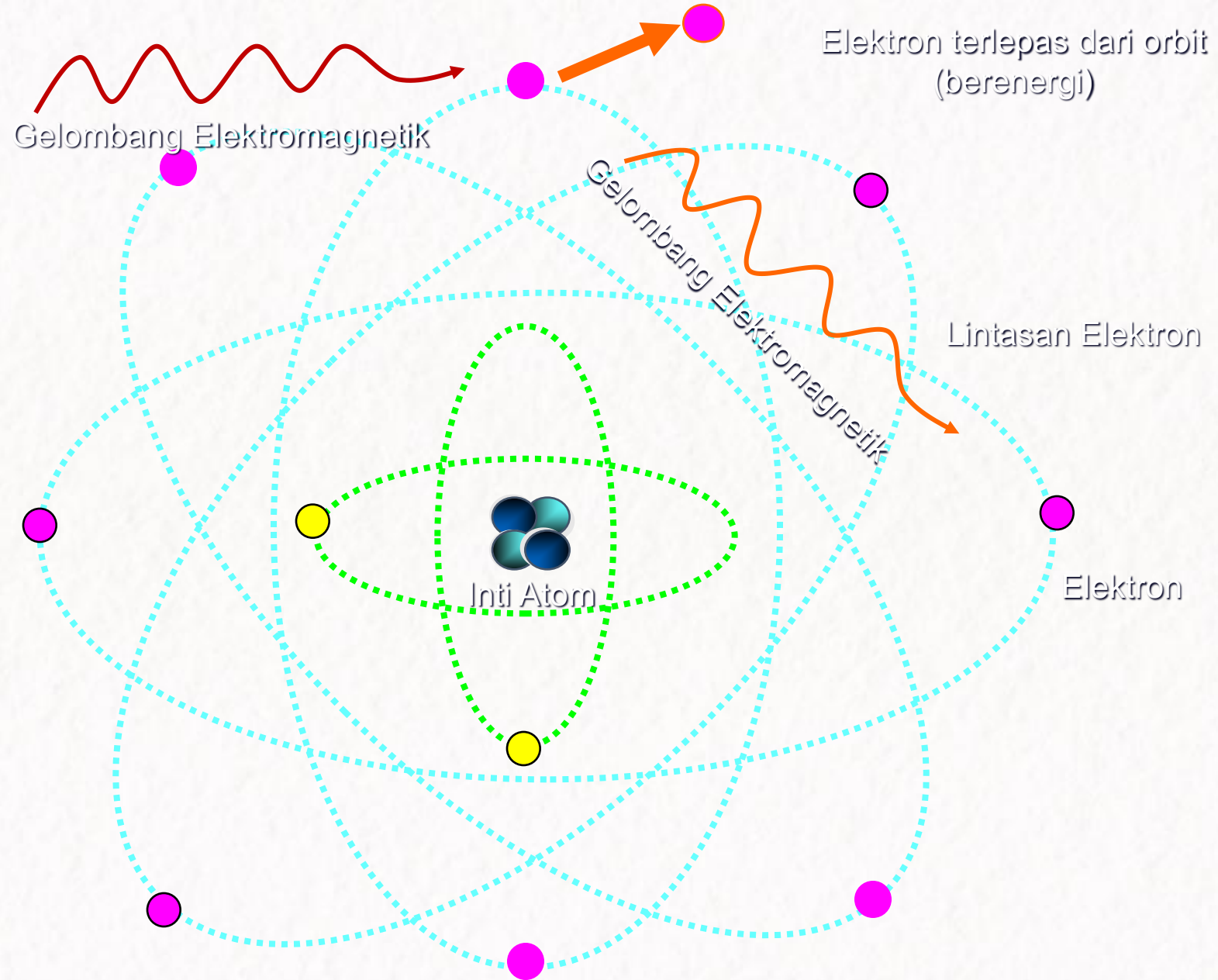
Hamburan Compton

Terjadi pada energi foton sedang ($100 \text{ keV} < E < 1 \text{ MeV}$.)

Energi foton mampu melepaskan elektron di kulit lebih luar

Sebagian energinya diberikan ke elektron

Elektron terlepas dari orbit , foton gamma dengan energi sisanya terhambur



Hamburan Compton

INTERAKSI RADIASI...

Produksi Pasangan

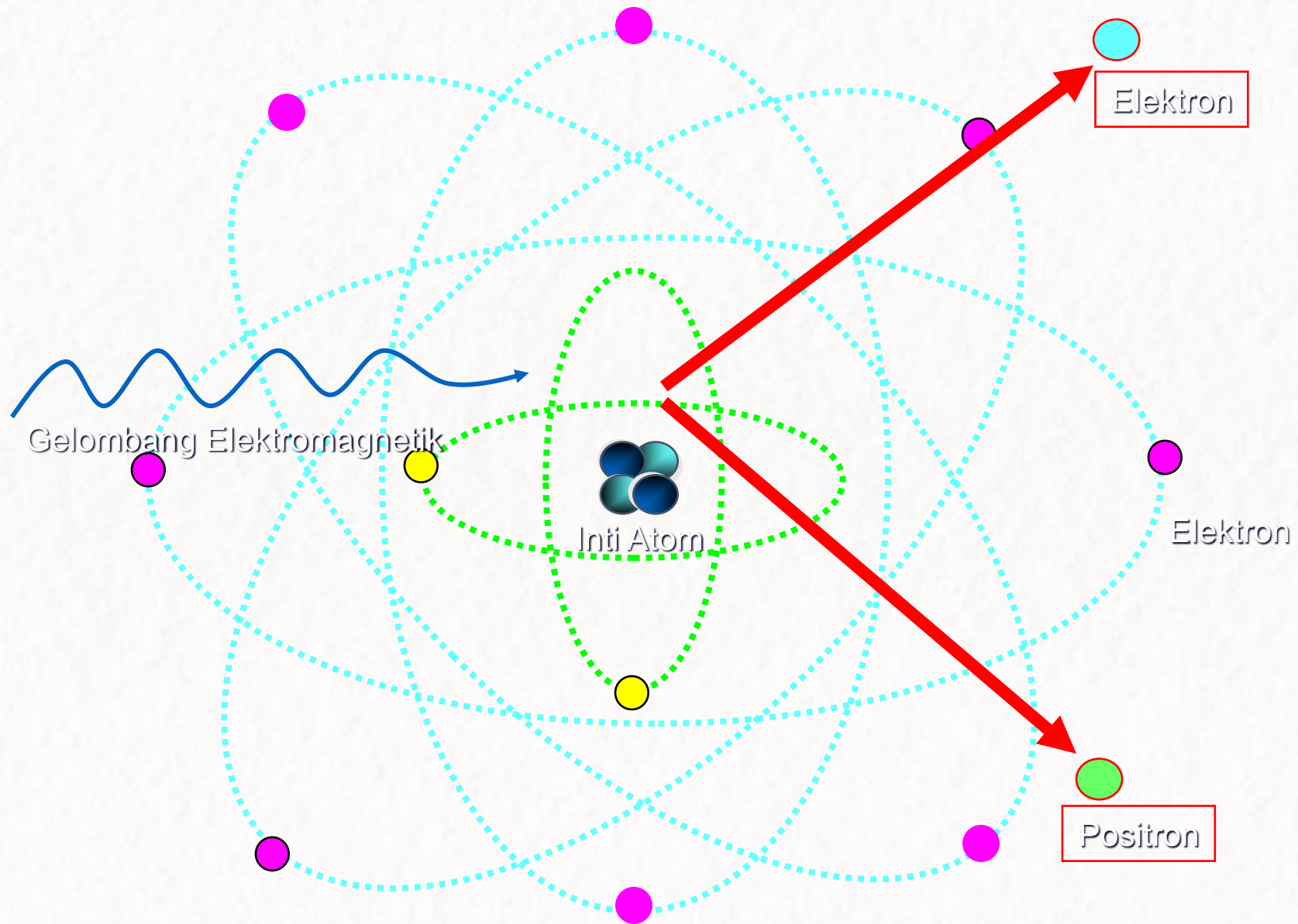
hanya terjadi bila energi foton lebih besar dari 1,02 MeV.

Ketika foton “sampai” ke dekat inti atom maka foton tersebut akan lenyap dan berubah menjadi sepasang elektron-positron.

Positron adalah partikel yang identik dengan elektron tetapi bermuatan positif

$$E_{e^+} + E_{e^-} = h\nu_i - 1.02 \text{ MeV}$$

- E_{e^+} = energi kinetik positron
- E_{e^-} = energi kinetik elektron.



Produksi Pasangan

INTERAKSI RADIASI...

Interaksi Radiasi Neutron

Interaksi Radiasi Neutron

Tumbukan Elastik

Tumbukan tidak Elastik

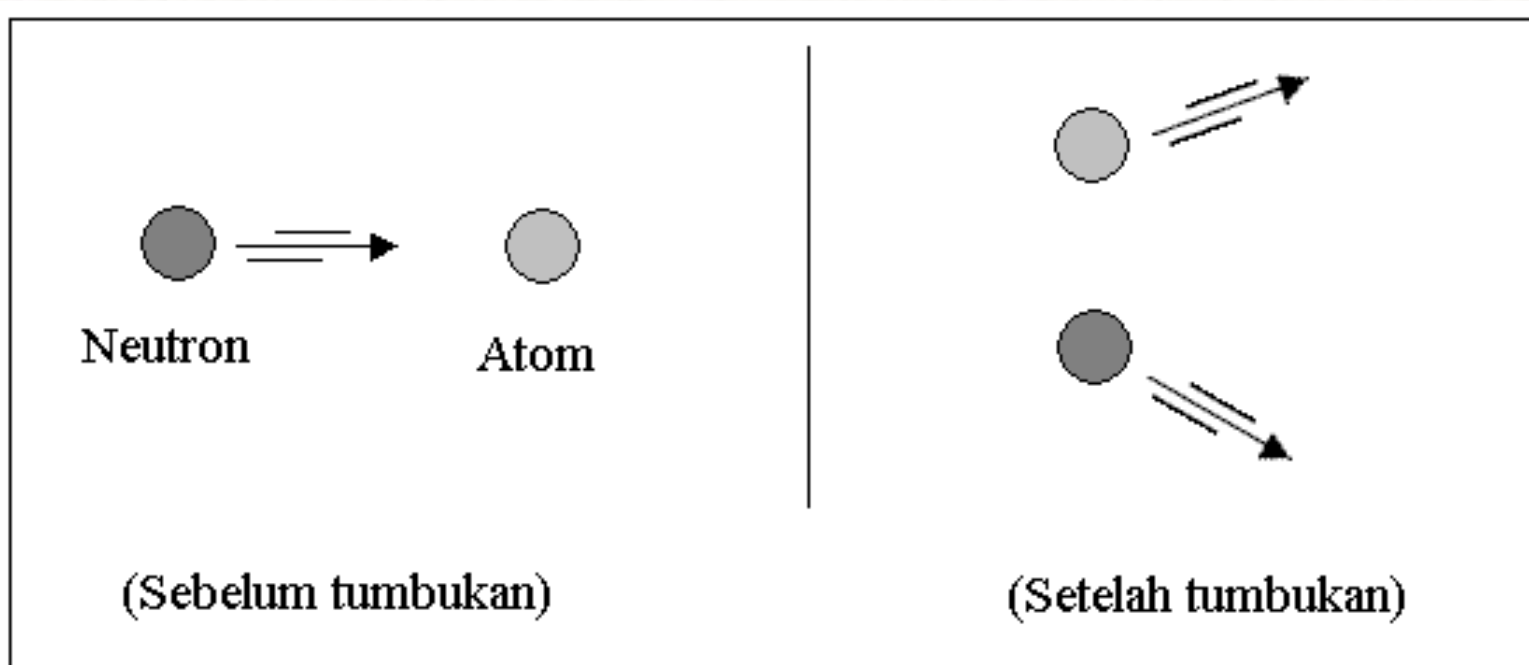
Reaksi Inti

Reaksi Fisi

INTERAKSI RADIASI...

Interaksi Radiasi Neutron

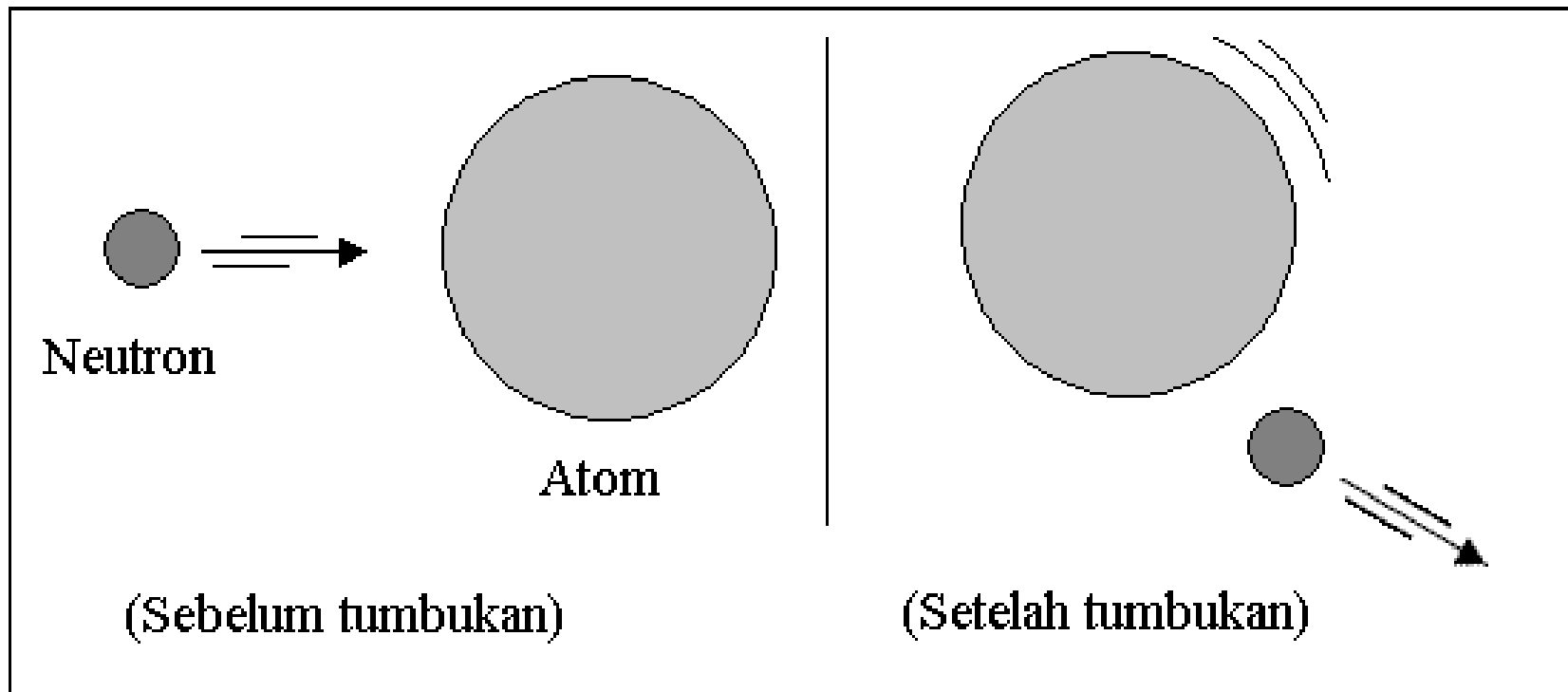
Tumbukan Elastis



INTERAKSI RADIASI...

Interaksi Radiasi Neutron

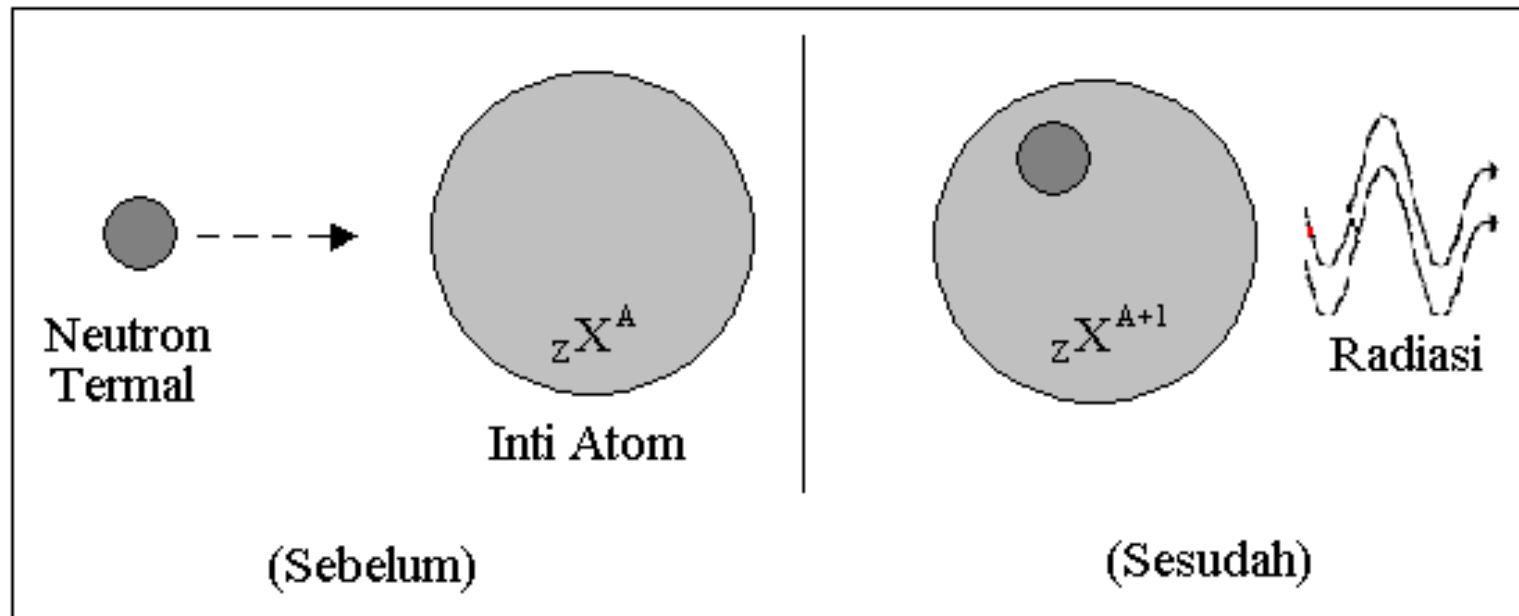
Tumbukan Tak Elastis



INTERAKSI RADIASI...

Interaksi Radiasi Neutron

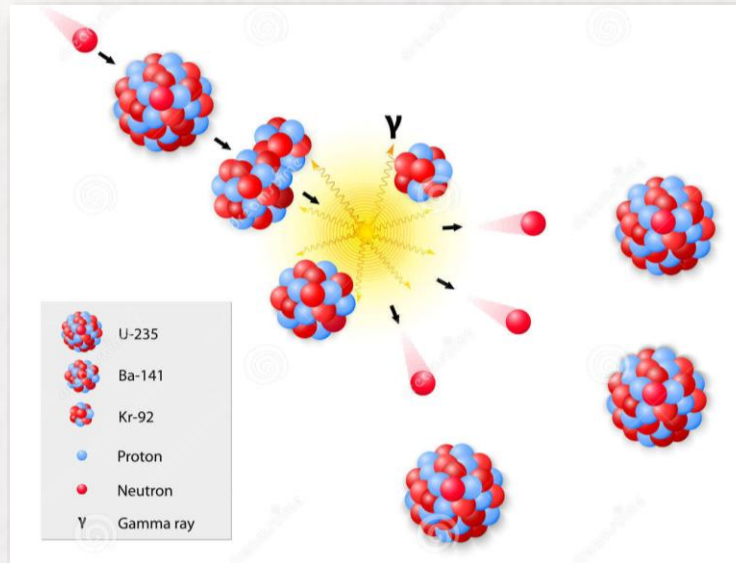
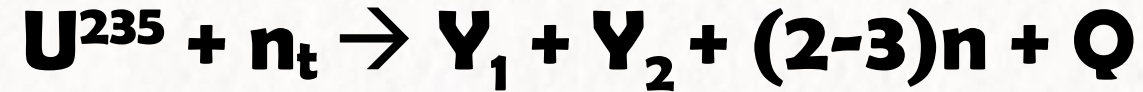
Reaksi Inti



INTERAKSI RADIASI...

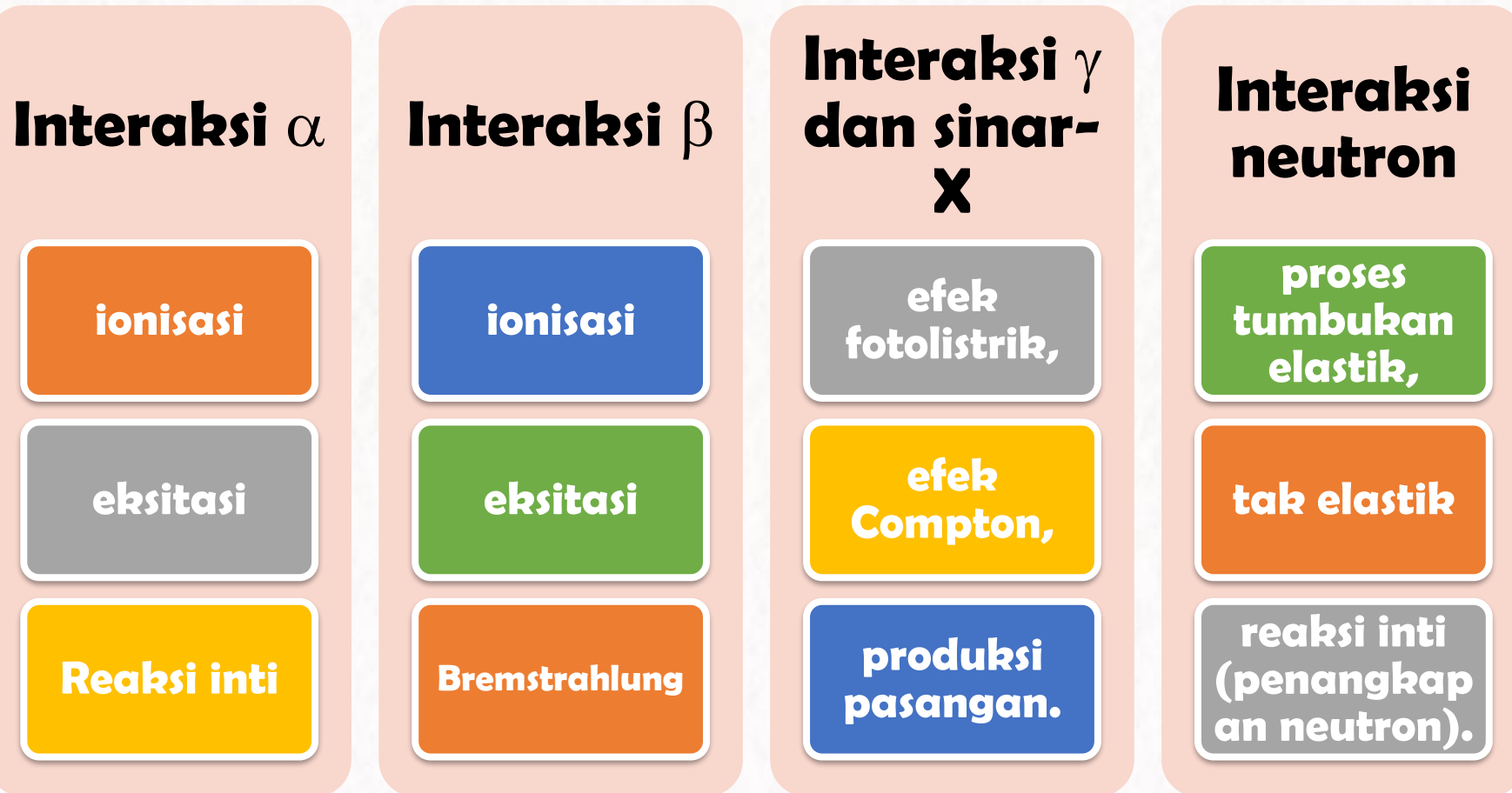
INTERAKSI RADIASI NEUTRON

Reaksi Fisi



INTERAKSI RADIASI...

Rangkuman





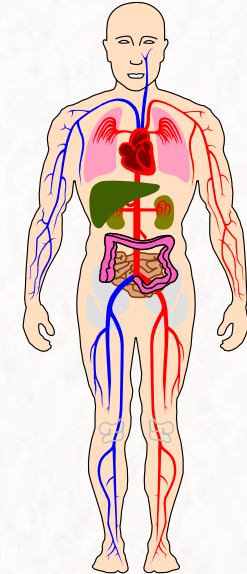
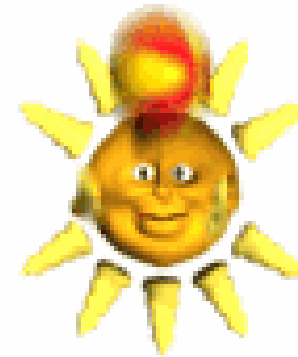
5

SUMBER RADIASI

SUMBER RADIASI

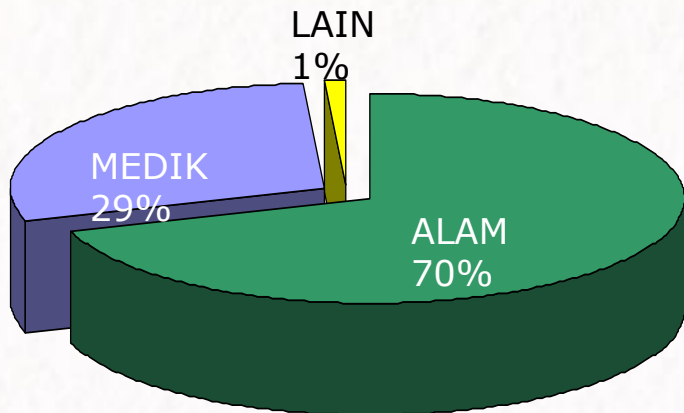
1. SUMBER RADIASI ALAM

- Sinar Kosmik (Benda Langit)
- Batuan (U^{238} , C^{14} dan K^{40})
- Dalam Tubuh (C^{14} dan K^{40})



2. SUMBER RADIASI BUATAN

- Zat Radioaktif Buatan (Co^{60} , Cs^{137} , I^{131} , Ir^{192} , Cr^{51} , P^{32} , dll)
- Mesin Sumber Radiasi (Mesin Sinar-X, Akselerator, Reaktor Nuklir, Iradiator)



SUMBER RADIASI

Sumber Radiasi Buatan



linear accelerator

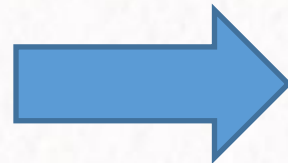


Cyclotron terbesar di dunia (CERN di Swiss)
(Panjang 26 km)

cyclotron

SUMBER RADIASI

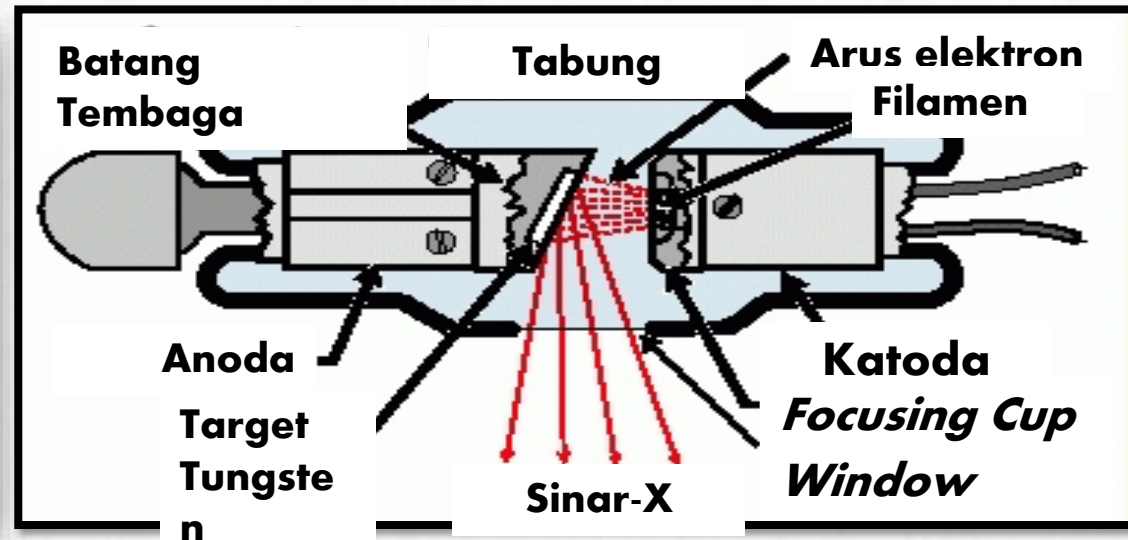
Sumber Radiasi Buatan Pembangkit Sinar-X



SUMBER RADIASI

Sumber Radiasi Buatan

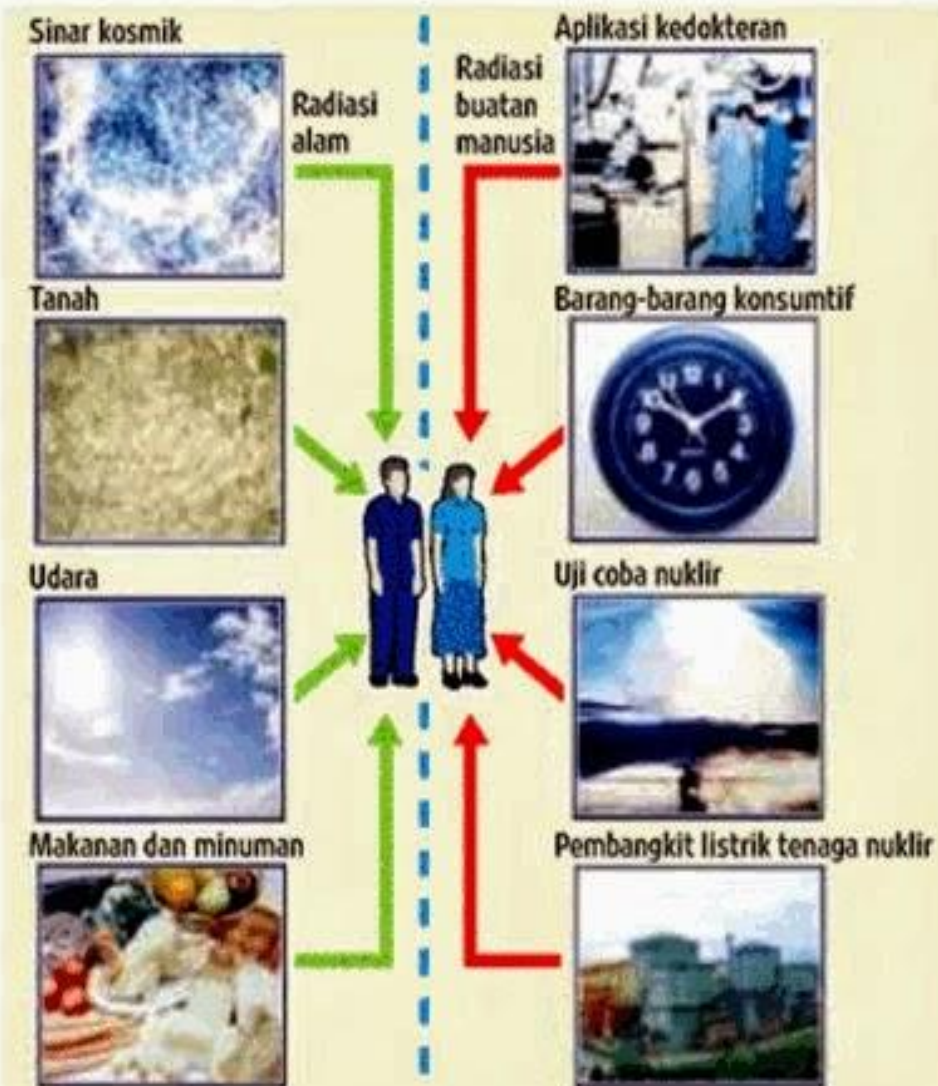
Pembangkit Sinar-X



Tabung Sinar-X

RADIASI DI SEKITAR KITA

Sumber-sumber Radiasi di Sekitar Kita



Sumber: http://www.hko.gov.hk/education/cyber_esh_hall/eng/exhibit06_intro_eng.htm



Sumber: <http://www.global-peace.co.jp/en/cfile/cfileimage/ca-26-2-0.jpg>



SUMBER RADIASI

Rangkuman

Sumber radiasi :

sumber radiasi alam dan sumber radiasi buatan.

Sumber radiasi alam:

radiasi kosmik, terestrial dan internal.

Sumber radiasi buatan :

radionuklida, pesawat sinar-X dan akselerator.

PELURUHAN RADIOAKTIF

Sifat Peluruhan Alpha

a. **Daya ionisasi** lebih besar dari daya ionisasi partikel Beta maupun sinar gamma.

b. **Jarak jangkauan (tembus)** nya sangat pendek,

c. **Dibelokkan** jika melewati medan magnet/ medan listrik.

d. **Kecepatan** bervariasi antara $1/100$ hingga $1/10$ kecepatan cahaya.

PELURUHAN RADIOAKTIF

Sifat Radiasi Beta

- a. Daya ionisasinya di udara $1/100$ kali dari partikel alpha.
- b. Jarak jangkauannya lebih jauh daripada partikel alpha, bbrp cm di udara
- c. Kecepatan berkisar antara $1/100$ hingga $99/100$ kecepatan cahaya.
- d. Karena sangat ringan, maka mudah sekali dihamburkan jika melewati medium.
- e. dibelokkan jika melewati medan magnet atau listrik.
- f. Energi rata-ratanya $1/3$ energi maksimum

PELURUHAN RADIOAKTIF

Sifat Radiasi Gamma

- a. **panjang gelombang antara 0,005 Å hingga 0,5 Å.**
- b. **Daya ionisasinya di dalam medium sangat kecil sehingga daya tembusnya sangat besar bila dibandingkan dengan daya tembus partikel α atau β .**
- c. **Karena tidak bermuatan, sinar γ tidak dibelokkan oleh medan listrik maupun medan magnet**
- d. **Spektrum energinya diskrit**

CONTOH SOAL

1. Yang BUKAN termasuk radiasi pengion adalah:

- a. Alfa**
- b. Beta**
- c. UV**
- d. Neutron**

CONTOH SOAL

2. Zat radioaktif $_{26}\text{Fe}^{57}$ dan $_{27}\text{Co}^{57}$ dinamakan:

- a. Isotop
- b. Isoton
- c. Isobar
- d. isodose

CONTOH SOAL

- 3. Yang dimaksud dengan waktu paro (*half life*) adalah:**
- a. waktu yang diperlukan agar aktivitas zat radioaktif bertambah separo dari nilai aktivitas mula-mula**
 - b. waktu yang diperlukan aktivitas zat radioaktif bertambah menjadi dua kalinya**
 - c. waktu yang diperlukan aktivitas zat radioaktif berkurang menjadi separo dari nilai aktivitas mula-mula**
 - d. waktu yang diperlukan untuk menurunkan aktivitas radiasi**

CONTOH SOAL

4. Yang BUKAN interaksi radiasi gamma dengan materi adalah:

- a. Fotolistrik**
- b. Reaksi Inti**
- c. Hamburan Compton**
- d. Produksi Pasangan**

CONTOH SOAL

5. Salah satu contoh sumber radiasi alam adalah:

- a. Cs-137**
- b. Ir-192**
- c. U-238**
- d. Co-60**



Terima Kasih



B.J. Habibie Building
Jl. M.H. Thamrin 8, Jakarta 10340, Indonesia



www.brin.go.id



Brin Indonesia



@brin_indonesia



@brin.indonesia



Bridging Sciences
Empowering Talents

@dpk brin