

KEGIATAN PEMBELAJARAN 1

INTI ATOM

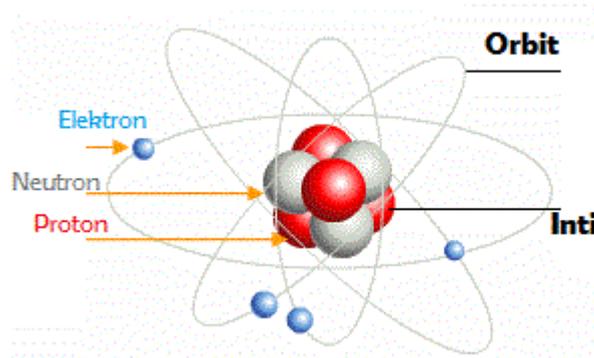
A. Tujuan Pembelajaran

Setelah kegiatan pembelajaran ini diharapkan, siswa dapat:

1. membedakan nuklida dan nukleon;
2. menghitung defek massa dan energi ikat inti;
3. membedakan isotop stabil dan tidak stabil; dan
4. menjelaskan peluruhan sebagai cara mencapai kestabilan inti.

B. Uraian Materi

Selamat jumpa kembali anak-anak. Kali ini kalian akan mendalami alam mikroskopik yang sangat kecil dan sulit untuk diamati, yaitu tentang fisika inti, atau fisika nuklir. Mendiskusikan nuklir tidak hanya pada informasi bahaya dan dampak buruk, tapi mari kita fahami kaidah keilmuan yang bermanfaat bagi peradaban manusia terkait inti atom atau nuklida atau dalam isu populer nuklir.



Gambar 1.1 Ilustrasi Inti Atom Sebagai Pusat Orbit Elektron dalam Atom

Inti atom adalah bagian dalam dari atom yang menjadi pusat orbit dari elektron. Seperti yang kita fahami, bahwa atom itu terdiri dari inti atom di bagian pusat dan dikelilingi oleh elektron yang bergerak mengorbit inti. Uraian berikut ini akan menjelaskan tentang lambang dan nama nuklida, komposisi nuklida, energi ikat inti, isotop, dan kestabilan inti dan peluruhan.

1. Nuklida dan Nukleon

Nuklida adalah istilah penamaan dari inti atom. Inti atom atau Nuklida tersusun atas proton dan neutron yang jaraknya saling berdekatan. Proton adalah partikel penyusun Nuklida yang berpuatan listrik positif, dan neutron adalah partikel penyusun yang tidak bermuatan atau netral.

Selama ini kita mengenal nama dan lambang atom seperti atom Kalium yang ditulis ${}_{19}\text{K}^{39}$ atau ${}^{39}_{19}\text{K}$. Nama atom itu adalah kalium, lambang atau notasi ${}_{19}\text{K}^{39}$ atau ${}^{39}_{19}\text{K}$

memberikan penjelasan terdiri atas 19 proton, 19 elektron dan 20 neutron. Selanjutnya untuk menjelaskan tentang Nuklida maka digunakan pula nama, lambang atau notasi, dan maknanya.

Pada Nuklida makna lambang atau notasi hanya menjelaskan informasi inti atom, tidak melihat di luar inti. Lambang atau notasi Nuklida ditulis sebagai berikut.



X, adalah nama Nuklida
Z, adalah jumlah proton
A, jumlah nukleon (terdiri atas proton dan neutron)

Jumlah proton dapat dinyatakan dengan (n), yaitu:

$$n = A - Z$$

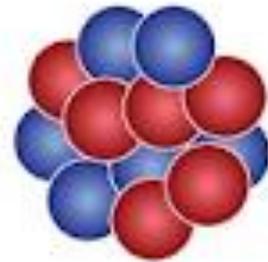
Oleh karena itu pada Nuklida ${}^{39}_{19}K$ menyatakan bahwa nama nuklida adalah Kalium dengan 39 nukleon, terdiri atas 19 proton dan 20 neutron.

Bisakah kamu menuliskan nama nuklida, jumlah nukleon, jumlah proton, dan neutron untuk ${}^{13}_6C$ dan ${}^{23}_{11}Na$? Bagus, Kamu dapat menguraikannya sebagai berikut. ${}^{13}_6C$, adalah nuklida Carbon. Jumlah nukleonnya 13, terdiri atas 6 proton dan 7 neutron. ${}^{23}_{11}Na$, adalah nuklida Natrium. Jumlah nukleonnya 23, terdiri atas 11 proton dan 12 neutron.



2. Defek Massa dan Energi Ikat Inti

Dari mana awal mula Nuklida terbentuk? Tentu dari partikel penyusunnya, yaitu nukleon yang terdiri atas proton dan neutron. Kalau 6 proton dan 6 neutron bergabung, maka akan terbentuk Nuklida dengan 12 nukleon. Ia adalah Nuklida Carbon yang dikenal dengan lambang ${}^{12}_6C$. Ilustrasi 6 nukleon dalam Nuklida Karbon terlihat pada gambar. Perbedaan warna pada gambar tersebut untuk menunjukkan salah satu di antaranya proton atau neutron.



Bagaimana menjelaskan keadaan proton-proton saling berdekatan? Padahal antara muatan positif seharusnya akan terjadi tolak menolak akibat gaya elektrostatis (Gaya Coulomb).

Fisikawan meyakini ada energi besar yang mampu mengikat nukleon dalam inti sehingga mampu menahan gaya tolak elektrostatis. Energi besar yang mengikat nukleon itu dinamakan energi ikat inti. Pertanyaan selanjutnya, dari mana energi itu berasal? Ternyata data menunjukkan bahwa ada perbedaan jumlah massa inti dibanding dengan jumlah keseluruhan massa nukleon. Perbedaan massa itu disebut sebagai massa yang hilang atau defek massa. Selanjutnya massa yang hilang itu berubah menjadi energi ketika nuklida terbentuk dari

nukleon yang bergabung. Ilustrasi berikut dapat menjelaskan berapa massa yang hilang.

No	Nuklida	Massa proton	Massa neutron	Massa nuklida	Jumlah massa nukleon	Defek massa
1.	${}^2_1\text{H}$	1,0078	1,0087	2,0141	2,0165	0,0024
2.	${}^{12}_6\text{C}$	1,0078	1,0087	12,0000	12,0090	0,0090

Jika dirumuskan maka defek massa dinyatakan dengan rumus:

$$\Delta m = Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n - m_{\text{nuklida}}$$

Δm = massa yang hilang (defek massa)

Z = jumlah proton

m_p = massa proton = 1,0078 sma

A = jumlah nukleon

$A - Z$ = jumlah neutron

m_n = massa neutron = 1,0087 sma

Selanjutnya energi yang hilang saat terbentuk Nuklida itu berubah menjadi energi ikat inti dengan kesetaraan massa dan energi menurut Einstein ($E = \Delta m \cdot c^2$). Dengan konversi satuan energi dalam unit skala inti (M.eV) dari satuan metrik Joule maka besar energi ikat inti dirumuskan sebagai berikut.

$$E = \Delta m \cdot 931 \text{ M.eV} \text{ atau}$$

$$E = (Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n - m_{\text{nuklida}}) \cdot 931 \text{ M.eV}$$

Mari kita hitung berapa besar energi ikat inti dari isotop ${}^{12}_6\text{C}$ dalam tabel di atas.

$$E = 0,0090 \times 931 \text{ M.eV}$$

$$E = 8,379 \text{ M.eV}$$

Coba kamu hitung energi ikat inti untuk ${}^2_1\text{H}$!. Tentu kamu bisa.

$$E = 0,0024 \times 931 \text{ M.eV}$$

$$E = 2,234 \text{ M.eV}$$

Seberapa besarkah energi itu? Bukankah informasi energi nuklir itu besar? Betul sekali. Energi nuklir (baca energi ikat inti/nuklida) itu jika dapat mengubahnya menjadi energi lain misalnya listrik, besar sekali. Coba kamu pikirkan, Carbon dalam istilah sains itu antara lain adalah arang. 12 gram arang (Carbon) atau dinyatakan sebagai 1 mol memiliki $6,02 \times 10^{23}$ inti atom. Dan setiap inti memiliki energi sebesar 8,379 M.eV. Jika $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ Joule}$, maka setiap 12 gram arang menyimpan energi besar sekali. Bisakah kamu menghitungnya?

Ya, senilai 8,379 dikali $1,6 \times 10^{-19} \text{ Joule}$ dikali $6,02 \times 10^{23}$, senilai $80,7 \times 10^{10} \text{ Joule}$. Dengan



energi sebesar itu mampu mengangkat satu kawasan sekolah kamu sampai 100 meter. Itulah sebabnya energi nuklir menjadi harapan energi masa depan, jika kita mampu mendapatkannya. Ini memerlukan kecanggihan ilmu dan teknologi. Bukankah kita dapat berbuat baik kepada sesama dengan kemampuan energi yang besar? Tentu saja, kamu dapat berbagi kebaikan itu dengan mendalami fisika di bidang nuklir, teknologi nuklir, dan sebagainya.

3. Isotop

Beberapa nuklida memiliki nukleon berbeda seperti nuklida karbon, ada $^{12}_6\text{C}$, $^{13}_6\text{C}$, dan $^{14}_6\text{C}$. Penamaan untuk nuklida seperti digunakan istilah isotop. Jadi ada isotop carbon terdiri atas $^{12}_6\text{C}$, $^{13}_6\text{C}$, dan $^{14}_6\text{C}$. Ada pula isotop oksigen $^{16}_8\text{O}$ dan $^{17}_8\text{O}$. Jadi isotop adalah nuklida-nuklida dengan nukelon yang berbeda-beda.

Perbedaan apa yang terjadi pada nuklida tersebut? Nuklida dengan nukelon lebih banyak, memiliki lebih banyak neutron. Dalam ukuran fisik akan berbeda volumenya. Makin banyak nukleon makin besar ukuran nuklida. Hal ini akan melewati jangkauan gaya ikat inti (yang dihasilkan energi ikat inti). Akibatnya akan semakin mudah goyah dan kemungkinan ada sebagian dari proton dan neutron lepas dari ikatan inti. Keadaan ini menjadikan isotop dengan nukelon lebih banyak cenderung bersifat tidak stabil. Sedangkan isotop dengan nukleon relatif sedikit cenderung stabil.



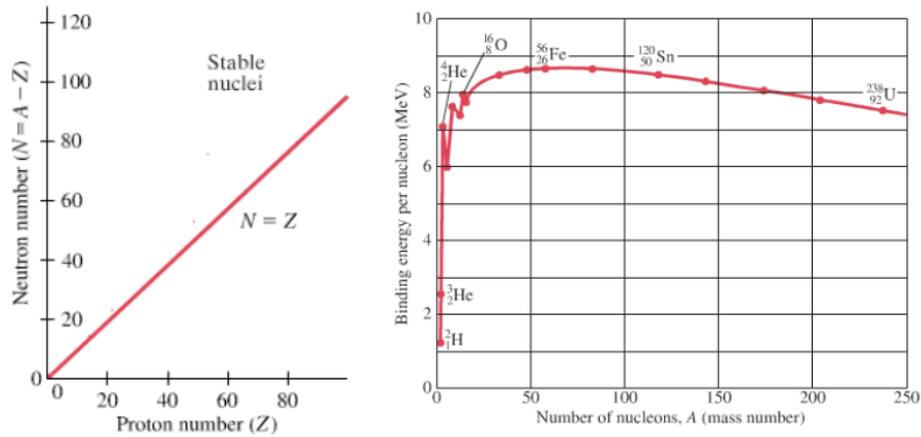
Isotop manakah yang paling stabil dan paling tidak stabil diantara $^{12}_6\text{C}$, $^{13}_6\text{C}$, dan $^{14}_6\text{C}$? Bagaimana dengan isotop oksigen $^{16}_8\text{O}$ dan $^{17}_8\text{O}$? Ya, kamu benar. Isotop $^{12}_6\text{C}$ paling stabil dan isotop $^{14}_6\text{C}$ paling tidak stabil. Begitu pula $^{16}_8\text{O}$ lebih stabil dibanding isotop $^{17}_8\text{O}$.

4. Kestabilan Inti dan Peluruhan

Kalian sudah memahami perbandingan beberapa isotop antara isotop satbil dan tidak stabil. Berikut ini akan dijelaskan teori tnetang kestabilan inti.

Secara sederhana isotop dengan nukleon sedikit berukuran kecil akan lebih stabil karena semua nukleon ada dalm jangkauan gaya ikat inti. Sementara isotop dengan nukleom banyak (nuklida berat) memiliki ukuran besar dengan kemungkinan melampaui jangkauan gaya ikat inti. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa inti ringan (nukleon sedikit) cenderung stabil. Sedangkan inti berat (nukleon banyak) cenderung tidak stabil.

Secara rinci ada penjelasan teori kestabilan dengan visual grafik (Giancolli, *Physics* 2005) sebagai berikut.



Gambar kiri menjelaskan bahwa nuklida yang berada pada garis grafik ($N=Z$) adalah nuklida stabil, gaya ikat inti yang berasal dari energi ikat inti mengikat kuat inti dan melawan gaya tolak elektrostatis. Tafsirannya bahwa untuk nuklida di luar grafik (di atas atau di bawahnya) merupakan nuklida tidak stabil. Dalam hal ini isotop $^{16}_8\text{O}$ stabil karena persis di grafik tersebut, jumlah proton dan netronnya sama yaitu 6. Sementara nuklida $^{17}_8\text{O}$ tidak stabil, ada di atas grafik karena jumlah netron lebih banyak (9) dibanding dengan jumlah proton (8).

Gambar kanan menjelaskan fakta tentang energi ikat per nukleon. Nilai tertinggi ada pada $^{56}_{26}\text{Fe}$ dengan energi ikat per nukleon sekitar 8,8 MeV/nukleon. Nuklida dengan nukleon lebih dari 56 memiliki energi ikat per nukleon semakin menurun. Ini ditafsirkan bahwa nuklida ringan cenderung stabil dengan energi ikat per nukleon relatif besar. Sedangkan nuklida berat dengan jumlah nukleon banyak memiliki energi ikat per nukleon relatif kecil cenderung tidak stabil. Begitulah dua penjelasan terkait kestabilan inti.

Sebagaimana yang sudah difahami sebelumnya, inti tidak stabil cenderung goyah dan beberapa nukleon akan lepas. Peristiwa lepasnya sebagian nukleon dari nuklida tidak stabil disebut sebagai peluruhan (*decay*). Isotop $^{17}_8\text{O}$ akan melepas satu netron untuk menjadi isotop $^{16}_8\text{O}$. Begitu pula isotop $^{14}_6\text{C}$ akan melepas dua netron untuk menjadi $^{12}_6\text{C}$.

C. Rangkuman

Berdasarkan uraian materi di atas, dapat dirangkum sebagai berikut.

1. Nuklida adalah nama untuk inti atom yang terdiri dari proton dan netron. Sedangkan nukleon adalah partikel penyusun nuklida. Lambang nuklida adalah ^A_ZX dengan Z jumlah proton dan A jumlah nukleon.
2. Defek massa adalah massa yang hilang ketika nuklida terbentuk dari nukleonnya. Defek massa ini kemudian berubah menjadi energi ikat inti yang mengikat kuat inti melawan gaya tolak elektrostatis antar proton.
3. Beberapa nuklida memiliki nama yang sama tetapi jumlah nukleon berbeda dinamakan isotop.
4. Isotop dengan nukleon lebih banyak cenderung tidak stabil, isotop dengan jumlah nukleon lebih sedikit cenderung lebih stabil. Isotop tidak stabil akan goyah dan melepas sebagian nukleon untuk mencapai isotop stabil, disebut peristiwa peluruhan.

D. Latihan Soal

Jawablah pertanyaan latihan berikut dengan cermat dan teliti. Coba dulu secara mandiri, jika diperlukan baru melihat kunci dan penyelesaian jawaban

1. Tuliskan dua perbedaan antara nuklida dan nukleon!
2. Tuliskan nama nuklida, jumlah nukelon, jumlah proton, dan jumlah netron untuk nuklida berikut ini.
 - a. ${}^{56}_{26}\text{Fe}$
 - b. ${}^{60}_{28}\text{Ni}$
3. Hitung besar defek massa, energi ikat inti, dan energi ikat per nukleon nuklida berikut ini. ($m_p = 1,0078$ sma, $m_n = 1,0087$ sma, dan C^2 setara dengan 931 M.eV)
 - a. ${}^{14}_7\text{N}$ dengan massa nuklida 14,0030 sma
 - b. ${}^{238}_{92}\text{U}$ dengan massa nuklida 238,0508 sma
4. Mengapa isotop dengan nukleon lebih banyak cenderung tidak stabil dibanding dengan isotop dengan nukleon lebih sedikit?
5. Bagaimana caranya isotop tidak stabil berubah menjadi isotop stabil? Berikan contohnya!

KEGIATAN PEMBELAJARAN 2

RADIOAKTIVITAS

A. Tujuan Pembelajaran

Setelah kegiatan pembelajaran ini diharapkan, siswa dapat:

1. menjelaskan partikel radiasi yang dipancarkan isotop tidak stabil;
2. membandingkan daya ionisasi dari radioisotop;
3. menjelaskan manfaat dan bahaya radioisotop;
4. menjelaskan faktor yang mempengaruhi aktivitas radiasi;
5. menerapkan waktu paruh dalam berbagai masalah; dan
6. menganalisis daya tembus radiasi pada bahan.

B. Uraian Materi

Isotop tidak stabil selalu aktif melakukan perubahan menuju isotop stabil dengan melepas sebagian nukleon yang disebut sebagai peristiwa peluruhan. Ada isotop yang cepat mencapai kestabilan, ada pula yang relatif lambat. Isotop yang cepat disebut memiliki aktivitas lebih tinggi dibandingkan dengan isotop yang lambat. Dalam kegiatan ini, kalian akan mempelajari partikel apa saja yang dilepas (dipancarkan)? Apa saja faktor yang mempengaruhi aktivitas radiasi? Dan apa dampak dan manfaat radioisotop?

1. Partikel Radiasi

Pada saat isotop tidak stabil meluruh, beberapa partikel dilepas dalam beberapa bentuk, antara lain sebagai berikut.

- a. Neutron dengan lambang 1_0n , tidak bermuatan listrik dan massa 1
- b. Proton dengan lambang 1_1p atau 1_1H , bermuatan listrik positif dan massa 1
- c. Deutron dengan lambang 2_1H , bermuatan listrik positif dan massa 2, terdiri atas 1 proton dan 1 neutron
- d. Tritron dengan lambang 3_1H , bermuatan listrik positif dan massa 3, terdiri atas 1 proton dan 2 neutron
- e. Sinar alpha dengan lambang ${}^4_2\alpha$ atau 4_2He , adalah inti Helium bermuatan listrik positif dan massa 4, terdiri atas 2 proton dan 2 neutron
- f. Sinar beta dengan lambang ${}^{-1}_0\beta$, bermuatan listrik negatif dan massa 0
- g. Positron dengan lambang ${}^1_0\beta$, bermuatan listrik positif dan massa 0
- h. Sinar gamma dengan lambang ${}^0_0\gamma$, adalah gelombang elektromagnetik, tidak bermassa dan tidak bermuatan

Partikel radiasi tersebut memiliki karakter berbeda sesuai dengan ukuran dan muatan listrik. Ukuran akan mempengaruhi daya tembus pada suatu bahan. Makin kecil ukuran akan semakin besar daya tembusnya. Sehingga dapat difahami bahwa sinar gamma merupakan partikel radiasi yang paling besar daya tembusnya.

Muatan listrik akan mempengaruhi kelistrikan bahan yang dilewati atau akan mengionisasi media yang dilewati. Salah satu dampak ionisasi adalah menghasilkan energi dan menimbulkan efek panas seperti terbakar. Tidak heran radiasi dengan

intensitas tinggi menimbulkan luka bakar berbahaya bagi tubuh manusia. Dengan demikian sinar alpha merupakan partikel radiasi paling tinggi daya ionisasinya karena bermuatan listrik positif, +2.

2. Manfaat dan Bahaya Radioisotop

Radioisotop adalah isotop yang memancarkan partikel radiasi. Ada radioisotop alamiah dapat ditemukan di alam, dan ada yang diproduksi untuk dimanfaatkan dalam kehidupan manusia. Radioisotop ini memancarkan partikel radiasi yang diinginkan, namun mungkin juga memancarkan partikel radiasi yang membahayakan.



Berikut ini manfaat dari radioisotop.

No	Radioisotop	Manfaat
1.	Iodium- 131	Mendeteksi ketidaknormalan pada tiroid Mengetahui kecepatan aliran sungai
2.	Iodium -123	Mendeteksi gangguan ginjal dengan cara injeksi
3.	Karbon – 14	Mendeteksi ketidaknormalan diabetes dan anemia Mengukur umur fosil dari pancaran sinar beta
4.	Krom – 51	Untuk scanning limpa
5.	Selenium -75	Untuk scanning pankreas
6.	Teknetium -99	Untuk scanning tulang dan paru-paru, kerusakan jantung Menyelidiki kebocoran saluran bawah laut
7.	Titanium – 201	Mendeteksi kerusakan jantung, digunakan bersamaan Tc- 99
8.	Galium – 67	Untuk scanning getah bening
9.	Xe – 133	Mendeteksi kesehatan paru-paru
10.	Fe -59	Mempelajari pembentukan sel darah merah
11.	Natrium 24	Mendeteksi penyempitan pembuluh darah dan gangguan peredaran darah Mendeteksi kebocoran saluran bawah laut Mengukur kecepatan aliran sungai
12.	Silikon	Sebagai perunut radioisotop pada pengerukan lumpur pelabuhan atau terowongan
13.	Posfor – 32	Mengira jumlah pupuk yang diperlukan Mendeteksi penyakit mata, tumor dan hati
14.	Uranium -235	Bahan bakar reaktor pembangkit listrik
15.	Uranium – 238	Menaksir umur batuan
16.	Cobalt – 60	Mengontrol pertumbuhan beberapa jenis kanker melalui sinar gamma yang dihasilkan
17.	Oksigen – 15	Menganalisis proses fotosintesis
18.	Oksigen – 18	Perunut asal mula molekul air yang terbentuk

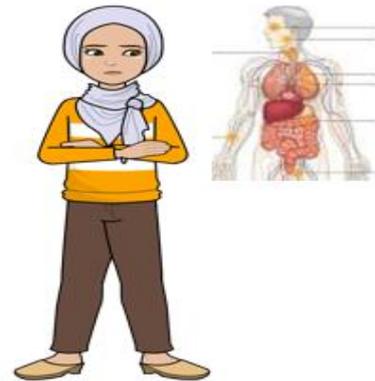
Radiasi nuklir dalam jumlah terlalu tinggi menimbulkan dampak negatif terhadap kesehatan manusia. Kasus kebocoran nuklir yang menyebabkan radiasi tingkat tinggi terjadi di Chernobyl, Ukraina pada 1986 adalah salah satu contohnya. Reaktor nuklir Chernobyl meledak akibat desain reaktor yang buruk dan pengoperasian

oleh staf yang tidak terlatih. Akibatnya, 5% inti nuklir yang berada di dalam reaktor terlepas ke udara dan menewaskan 54 orang.

Seperti dilansir medicalnewstoday.com, dosis radiasi bervariasi, biasanya dinyatakan dengan satuan rad atau Gray. Satu rad sama dengan 0,01 Gray. Radiasi nuklir sebesar 30 rad menimbulkan gejala ringan yang terlihat di dalam darah. Radiasi dengan konsentrasi 30 hingga 200 rad membuat seseorang jatuh sakit. Jika radiasi mencapai 200 hingga 1.000 rad, orang tersebut akan menderita sakit parah. Sementara itu, dosis di atas 1.000 rad berakibat fatal dan menimbulkan kematian.

Menurut atomarchive.com, setidaknya ada tujuh dampak radiasi nuklir dalam dosis tinggi yang membahayakan kesehatan. Berikut rinciannya.

1. Rambut
Radiasi nuklir sebesar 200 rad atau lebih tinggi akan menyebabkan rambut rontok dengan cepat.
2. Otak
Sel-sel otak akan rusak jika terpapar radiasi nuklir sebesar 5.000 rad atau lebih. Sebagaimana jantung, radiasi nuklir membunuh sel syaraf dan pembuluh darah yang kecil sehingga bisa menimbulkan stroke dan kematian mendadak.
3. Tiroid
Kelenjar tiroid rentan terkena radioaktif iodine. Dalam jumlah yang cukup, radioaktif iodine bisa merusak sebagian atau seluruh kelenjar tiroid. Dampak radioaktif iodine bisa dikurangi dengan mengonsumsi potassium iodide.
4. Aliran darah
Ketika seseorang terkena radiasi nuklir sekitar 100 rad, produksi sel darah putih akan berkurang sehingga orang tersebut akan rentan terkena infeksi. Dampak ini sering disebut sebagai penyakit radiasi ringan (mild radiation sickness). Gejala awalnya mirip dengan flu dan seringkali tidak terlihat kecuali jika dilakukan tes darah.
5. Jantung
Dampak intens radioaktif sebesar 1.000-5.000 rad bisa langsung menyumbat pembuluh darah sehingga terjadi gagal jantung dan bisa berdampak pada kematian.
6. Organ pencernaan
Kerusakan organ pencernaan yang disebabkan oleh radiasi nuklir sebesar 200 rad atau lebih bisa menimbulkan mual, muntah darah, dan diare. Radiasi ini menghancurkan sel-sel di dalam tubuh, termasuk sel darah, organ pencernaan, reproduksi, serta mengancam DNA dan RNA dari sel yang mampu bertahan.
7. Organ reproduksi
Sel-sel organ reproduksi membelah diri dengan cepat sehingga radiasi nuklir sebesar 200 rad pun bisa membahayakan sel-sel ini. Dalam jangka panjang, radiasi bisa menyebabkan seseorang menjadi mandul.



3. Aktivitas Radiasi

Kegiatan peluruhan dengan melepas partikel radiasi memiliki ukuran, seberapa banyak partikel itu meluruh. Ukuran ini dinyatakan dengan aktivitas radiasi. Makin aktivitas, makin cepat kestabilan inti baru tercapai.

Faktor yang mempengaruhi aktivitas radiasi adalah jumlah nuklida dan konstanta peluruhan. Dinyatakan dengan rumus:

$$A = \lambda \cdot N$$

A = aktivitas (kejadian/detik atau Becquerel, Bq)

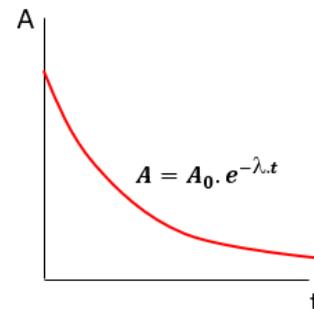
λ = konstanta peluruhan

N = jumlah partikel ($N = \text{mol} \times N_A$ dengan N_A bilangan Avogadro, $6,02 \times 10^{23}$)

Satuan aktivitas yang sering digunakan adalah Curie (Ci), $1 \text{ Ci} = 3,70 \times 10^{10} \text{ Bq}$.

Konstanta peluruhan merupakan angka spesifik dari isotop radioaktif dan berkaitan keaktifan radioisotop meluruh menuju kestabilan inti yang baru.

Aktivitas radioisotop (isotop radioaktif) tidak bersifat tetap dan akan makin melemah selama proses mencapai kestabilan. Melemahnya aktivitas dilukiskan dengan grafik di samping.



A = aktivitas radiasi (kejadian/det atau Bq)

A_0 = aktivitas awal

λ = konstanta peluruhan

t = waktu

Mari kita hitung aktivitas 1 kg Radium-226 yang memiliki konstanta peluruhan $5,1 \times 10^{10} \text{ det}^{-1}$.

$$1 \text{ kg Radium-226} = \frac{1000}{226} = 4,435 \text{ mol}$$

$$\text{Jumlah partikel Radium } N = \text{mol} \times N_A = 4,435 \times 6,02 \times 10^{23} = 2,664 \times 10^{24}$$

$$\text{Aktivitas } A = \lambda \cdot N = 5,1 \times 10^{10} \times 2,664 \times 10^{24} = 1,358 \times 10^{35} \text{ Bq}$$

$$\text{Atau } A = \frac{1,358 \times 10^{35}}{3,7 \times 10^{10}} = 3,670 \times 10^{24} \text{ Ci}$$

4. Waktu Paruh

Karena aktivitas radiasi makin melemah seperti ilustrasi grafik, maka pada suatu saat akan mencapai nilai setengahnya. Waktu yang diperlukan untuk mencapai nilai setengah disebut sebagai waktu paruh atau umur paruh (*half time*).

Dengan menggunakan persamaan $A = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$, maka saat mencapai setengahnya akan menjadi;

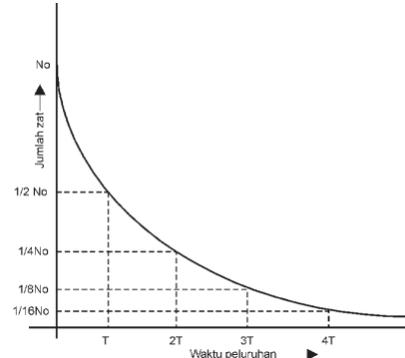
$$\frac{1}{2} A_0 = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot T}, \quad T = \text{waktu paruh.}$$

Dengan menggunakan logaritma natural akan diperoleh:

$$T = \frac{0,693}{\lambda}$$

Selanjutnya grafik melemahnya aktivitas juga dapat menunjukkan waktu paruh melalui analisis data yang ditampilkan, seperti grafik di samping. Dengan demikian dapat dirumuskan bahwa;

$$\frac{A}{A_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{t/T} = \left(\frac{1}{2}\right)^n, \text{ dengan } n = t/T$$



Dengan menyatakan $A = \lambda \cdot N$, maka pengembangan rumus tersebut menjadi:

$$\frac{A}{A_0} = \frac{N}{N_0} = \frac{m}{m_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{t/T} = \left(\frac{1}{2}\right)^n$$

N = jumlah partikel (jumlah nuklida)
 m = massa nuklida atau massa isotop

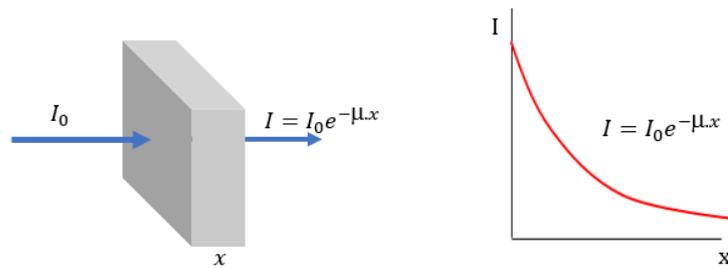
Mari kita gunakan untuk memecahkan masalah dari seorang Arkeolog yang menemukan batuan purba di Gunung Padang Cianjur. Pada fosil yang ditemukan terdapat masih ada tersisa 25% carbon aktif C-14. Jika waktu paruh isotop C-14 5600 tahun, berapa umur fosil itu?

$25\% = \frac{1}{4}$, maka $\frac{1}{4} = \left(\frac{1}{2}\right)^2$, berarti $n = 2$ dan $t = 2T = 2 \times 5600 = 11.200$ tahun. Jadi umur fosil itu diperkirakan 11200 tahun.

5. Daya Tembus

Sinar gamma merupakan sinar radioaktif yang memiliki daya tembus paling besar, karena ukurannya yang sangat kecil dan merupakan gelombang elektromagnetik. Manfaat daya tembus ini digunakan untuk mendeteksi informasi dari tempat yang sulit ditembus dengan alat biasa. Bahkan mampu menembus beton setebal 1 meter.

Ketika menembus bahan yang dilewati, intensitas (kekuatan) sinar gamma akan berkurang seiring jarak tembusnya. Ilustrasi pelemahan intensitas dapat dilihat grafik di bawah.



I = intensitas radiasi
 x = tebal bahan
 μ = koefisien pelemahan.

Tebal yang ditembus untuk mencapai nilai setengah disebut sebagai *Half Value Layer (HVL)*

Dengan menggunakan persamaan $I = I_0 \cdot e^{-\mu \cdot x}$, maka saat mencapai setengahnya akan menjadi;

$$\frac{1}{2} I_0 = I_0 \cdot e^{-\mu \cdot HVL}, \text{ HVL} = \text{Half Value Layer.}$$

Dengan menggunakan logaritma natural akan diperoleh:

$$HVL = \frac{0,693}{\mu}$$

Selanjutnya grafik melemahnya aktivitas juga dapat menunjukkan waktu paruh melalui analisis data yang ditampilkan, seperti grafik di samping. Dengan demikian dapat dirumuskan bahwa;

$$\frac{I}{I_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{x/HVL} = \left(\frac{1}{2}\right)^n, \text{ dengan } n = x/HVL$$

Mari kita gunakan sinar gamma yang mengalami pelemahan intensitas ketika melewati bahan pengalang yang tebalnya 20 cm. Intensitas sinar gamma berkurang 75%, berapa besar HVL? Berapa koefisien pelemahannya?

Hilang 75% berarti intensitas yang tersisa tinggal 25%.

$$25\% = \frac{1}{4}, \text{ maka } \frac{1}{4} = \left(\frac{1}{2}\right)^2, \text{ berarti } n = 2, \text{ HVL} = \frac{x}{2} = \frac{20 \text{ cm}}{2} = 10 \text{ cm}$$

$$\text{Koefisien pelemahan } \mu = \frac{0,693}{10 \text{ cm}} = 0,0693 \text{ cm}^{-1}$$

C. Rangkuman

Dari uraian materi di atas, disimpulkan sebagai berikut.

1. Partikel radiasi yang dipancarkan radioisotop memiliki daya tembus dan daya ionisasi yang berbeda, tergantung pada ukuran, muatan listrik, dan energi yang dimiliki
2. Daya ionisasi sinar alpha terbesar sedangkan sinar gamma terkecil. Daya tembusnya sinar gamma terbesar dan sinar alpha terkecil

3. Radioisotop memiliki banyak manfaat untuk kehidupan di bidang kesehatan, pertanian, industri, dan lainnya. Meski ada bahayanya, kita dapat mengendalikan bahaya tersebut dengan ilmu dan pengetahuan serta kontrol keamanan yang ketat
4. Aktivitas radiasi dipengaruhi oleh jumlah partikel dan konstanta peluruhan. Makin lama aktivitas radiasi akan semakin berkurang
5. Waktu paruh adalah waktu yang diperlukan untuk mencapai aktivitas melemah menjadi setengahnya
6. Daya tembus sinar radioaktif akan berkurang ketika melewati bahan penghalang. Makin tebal menghalang, daya tembus dan intensitasnya akan berkurang.

D. Penugasan Mandiri

Perhatikan ilustrasi berikut ini.

Pemerintah dengan segala sumber daya dan kemampuannya berencana membangun pusat reaktor produksi isotop yang banyak dibutuhkan masyarakat dan industri. Sesuai dengan kelayakan lahan melalui analisis dampak lingkungan (andal) yang ketat diputuskan tempat proyek di kawasan industri yang jauh dari tempat tinggal penduduk. Rencana ini ditolak oleh masyarakat luar yang disinyalir ada ketidakfahaman dari masyarakat. Mereka menolak karena takut akan bahayanya.

Anda adalah siswa terpelajar dari sekolah yang diminta untuk berpartisipasi membantu pemerintah. Buatlah poster, iklan, atau bentuk lain yang pesannya agar masyarakat memahami bahwa rencana itu sangat dibutuhkan karena manfaat yang besar. Sementara bahaya yang ditakutkan dapat dikendalikan dengan keamanan yang ketat.



E. Latihan Soal

Jawablah pertanyaan berikut ini secara mandiri. Jika diperlukan barulah kalian membuka kunci dan pembahasan latihan.

1. Bandingkan antara sinar alpha dan sinar beta! Manakah yang memiliki daya tembus lebih besar? Mana yang daya ionisasinya lebih besar? Mengapa demikian?
2. Jelaskan tiga radioisotop yang bermanfaat di bidang kesehatan dan dua manfaat di bidang pertanian!
3. Hitunglah aktivitas inti atom 10 gram ${}_{92}^{238}\text{U}$ yang mempunyai waktu paruh $T = 7,07 \cdot 10^8 \text{ s}$!
4. Suatu atom radioaktif mula mula mempunyai aktivitas inti 20 Ci. Apabila waktu paruh atom itu 2 jam, hitunglah aktivitas intinya setelah 4 jam kemudian!
5. Dalam waktu 48 hari, $\frac{63}{64}$ bagian suatu unsur radioaktif meluruh. Berapa waktu paruh unsur radioaktif tersebut?
6. Suatu bahan memiliki konstanta pelemahan $0,0231 \text{ cm}^{-1}$. Berapa besar intensitas radiasi yang hilang setelah menembus tebal 120 cm?

KEGIATAN PEMBELAJARAN 3

REAKSI INTI

A. Tujuan Pembelajaran

Setelah kegiatan pembelajaran ini diharapkan, siswa dapat:

1. menerapkan prinsip reaksi peluruhan;
2. membedakan reaksi fisi dan fusi;
3. menghitung energi reaksi; dan
4. membedakan deret radioaktif.

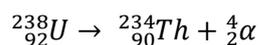
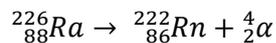
B. Uraian Materi

Reaksi inti tidak diartikan dalam pandangan yang sama seperti reaksi kimia karena adanya ikatan ion, kovalen, atau lainnya kemudian membentuk larutan, atau endapan atau lainnya. Reaksi inti merupakan cara untuk melihat proses perubahan yang terjadi pada inti (nuklida) berubah dari nuklida satu ke nuklida lainnya. Perubahan itu karena peristiwa peluruhan, penggabungan, atau pecah akibat benturan. Reaksi inti ditulis mirip dengan reaksi kimia dan menggunakan prinsip yang sama dalam penghitungan.

1. Reaksi Peluruhan

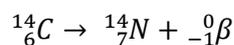
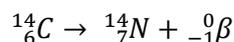
Reaksi peluruhan menggambarkan berubahnya nuklida menjadi nuklida baru dengan memancarkan partikel radiasi. Persamaan reaksi peluruhan mudah dikenali dari bentuk perubahan nuklida seperti contoh berikut ini.

- a. Peluruhan alpha



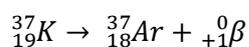
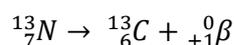
Pada peluruhan alpha melepas dua proton dan dua neutron sekaligus.

- b. Peluruhan beta



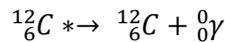
Pada peluruhan beta terjadi perubahan neutron menjadi proton

- c. Peluruhan beta positif



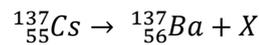
Pada peluruhan beta positif terjadi perubahan proton menjadi neutron

d. Peluruhan sinar gamma



Pada peluruhan gamma tidak ada proton atau neutron yang berubah. Biasanya peluruhan gamma bersamaan dengan peluruhan lainnya

Mari mencoba menggunakan persamaan reaksi peluruhan untuk masalah di bawah ini.

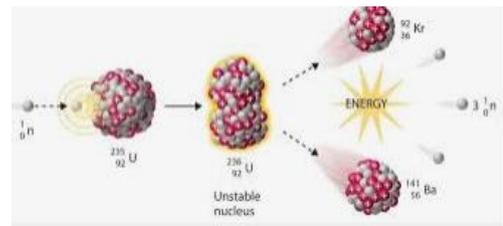


Apakah partikel X? Apa nama reaksi peluruhan ini? Bagaimana perubahan komposisi nukleon yang terjadi?

Mulailah dengan mencermati persamaan reaksi. Dengan menggunakan kesamaan jumlah, maka akan diperoleh partikel ${}^0_{-1}X$, maka x adalah sinar beta. Raksinya dinamakan reaksi peluruhan beta. Perubahan yang terjadi adalah kehilangan satu proton dan penambahan satu neutron. Artinya ada proton yang berubah menjadi neutron.

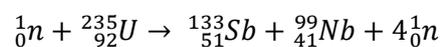
2. Reaksi Fisi

Fisi nuklir adalah peristiwa pembelahan nuklida besar menjadi dua nuklida yang lebih kecil. Dari reaksi fisi akan dihasilkan energi yang besar dan partikel radiasi serta produksi radioisotop lain yang akan digunakan manfaatnya. Fisi nuklir secara terkendali terjadi dalam reaktor. Sedangkan fisi nuklir tak terkendali terjadi pada bom nuklir.

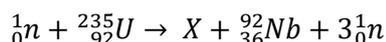


Untuk membelah nuklida biasanya digunakan peluru neutron. Neutron dipilih karena tidak bermuatan listrik sehingga mampu menerobos masuk ke dalam inti tanpa hambatan elektrostatis oleh elektron di luar inti. Oleh karena itu bentuk reaksi fisi dicirikan adanya neutron di sisi kiri persamaan reaksi.

Berikut contoh reaksi fisi nuklir.



Mari mencoba melengkapi reaksi berikut fisi berikut ini.



Berapakah jumlah proton, jumlah nukleon dan jumlah neutron nuklida X?

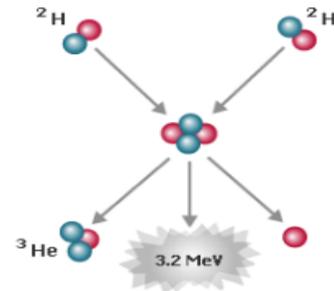
Jumlah proton diperoleh dari $92 - 36 = 56$

Jumlah nukleon diperoleh dari $(235 + 1) - (92 + 3.1) = 236 - 95 = 141$

Jumlah neutron = $141 - 56 = 85$

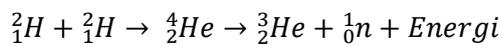
3. Reaksi Fusi

Reaksi fusi atau fusi nuklir adalah penggabungan dua nuklida ringan bergabung menjadi nuklida lebih besar. Dalam fusi nuklir dihasilkan energi sangat besar. Fusi nuklir selalu terjadi setiap saat di Matahari, dimana neutron dan proton membentuk inti hidrogen dan Helium



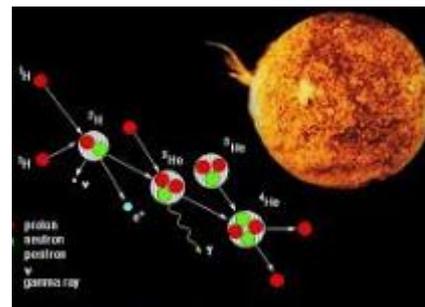
Ilustrasi gambar disamping adalah contoh fusi nuklir dimana dua deutron (${}^2_1\text{H}$) bergabung membentuk Helium (${}^4_2\text{He}$). Untuk selanjutnya Helium membentuk isotop baru dengan melepas neutron.

Persamaan reaksi dapat ditulis sebagai berikut



4. Energi Reaksi

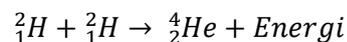
Reaksi nuklir (peluruhan, fisi, dan fusi) selalu menyertakan energi. Energi reaksi dihitung dengan kesetaraan perubahan massa antara massa semula dengan massa sesudah kejadian. Jika ada selisih positif, maka reaksi menghasilkan energi, sedangkan selisihnya negatif, maka reaksi nuklir memerlukan energi.



$$E = \Delta m \cdot 931 \text{ M.eV}$$

$$\Delta m = \Sigma m_{\text{sebelum}} - \Sigma m_{\text{sesudah}}$$

Mari kita hitung energi fusi nuklir deutron yang bergabung menjadi Helium dengan persamaan reaksi berikut ini



Jika massa deutron 2,003 dan massa Helium 4,001, maka

$$\Delta m = \Sigma m_{\text{sebelum}} - \Sigma m_{\text{sesudah}} = (2,003 + 2,003) - 4,001 = 0,005$$

$$E = \Delta m \cdot 931 \text{ M.eV} = 0,005 \times 931 = 4,665 \text{ M.eV}$$

Karena selisih Δm positif, maka reaksi fusi tersebut menghasilkan energi

5. Deret radioaktif

Suatu unsur radioaktif (isotop radioaktif) selalu meluruh sehingga terbentuk unsur yang baru. Unsur yang terbentuk masih juga bersifat radioaktif sehingga akan meluruh, demikian terus akan terjadi sehingga akhirnya akan diperoleh hasil akhir terbentuk inti atom yang stabil/mantap. Dari hasil inti-inti yang

terbentuk yang bersifat radioaktif sampai diperoleh inti atom yang stabil/mantap, ternyata serangkaian inti-inti atom yang terjadi memiliki nomor massa yang membentuk suatu deret.

Karena dalam peluruhan radioaktif hanya pemancaran sinar alpha yang menyebabkan terjadinya perubahan nomor massa inti, maka unsur radioaktif dalam peluruhannya dapat digolongkan dalam 4 macam deret yaitu deret Thorium ($4n$), deret Neptonium ($4n + 1$), deret Uranium ($4n + 2$) dan deret Aktinium ($4n + 3$). Di mana dari keempat deret tersebut tiga merupakan deret radioaktif alami dan satu deret merupakan deret radioaktif buatan, yaitu deret Neptonium.

Data lengkap deret radioaktif disajikan di bawah ini.

Nomor Massa	Nama Deret	Inti Induk	Waktu Paruh dalam Tahun	Produk Inti Akhir Stabil
$4n$	Thorium	${}_{93}\text{Th}^{232}$	$1,39 \times 10^9$	${}_{82}\text{Pb}^{208}$
$4n + 1$	Neptonium	${}_{93}\text{Np}^{232}$	$2,25 \times 10^6$	${}_{83}\text{Bi}^{209}$
$4n + 2$	Uranium	${}_{93}\text{U}^{232}$	$4,51 \times 10^9$	${}_{82}\text{Pb}^{206}$
$4n + 3$	Aktinium	${}_{93}\text{U}^{232}$	$7,07 \times 10^8$	${}_{82}\text{Pb}^{207}$

C. Rangkuman

Dari uraian materi di atas, dapat dibuat rangkuman sebagai berikut

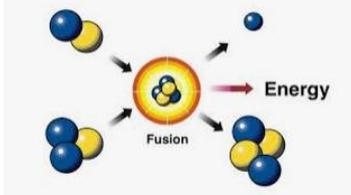
1. Reaksi peluruhan merupakan cara untuk menunjukkan perubahan nuklida menjadi nuklida baru dengan melepas partikel radiasi.
2. Reaksi fisi adalah pembelahan nuklida berat menjadi dua nuklida lebih ringan dengan produksi energi artikel partikel radiasi.
3. Reaksi fusi adalah penggabungan dua nuklida ringan menjadi nuklida lebih berat dengan produksi energi. Reaksi fusi terjadi setiap saat di matahari
4. Energi reaksi sebanding dengan perubahan massa sebelum dengan sesudah dengan menggunakan nilai kesetaraan massa dan energi.
5. Deret radioaktif mendeskripsikan jejak peluruhan isoop radiaktif dalam berbagai jalan. Empat deret radioaktif yang dikenal adalah deret Thorium, Neptonium, Uranium, dan Aktinium

D. Latihan Soal

1. Apa yang dimaksud dengan reaksi inti? Apakah sama pengertian reaksi inti seperti reaksi kimia? Jelaskan
2. Perubahan apa yang terjadi ketika sebuah nuklida meluruh melepaskan sinar beta dan sinar alpha pada waktu yang sama?
3. Perhatikan reaksi fisi berikut ini

$${}_0^1n + {}_{92}^{235}\text{U} \rightarrow {}_{54}^{140}\text{Xe} + {}_{38}^{94}\text{Sr} + X$$
 Apa nama partikel X?

4. Jelaskan ilustrasi fusi nuklir berikut ini! Kemudian tuliskan persamaan reaksi



5. Perhatikan reaksi fusi berikut ini

$${}_1^2\text{H} + {}_1^3\text{H} \rightarrow {}_0^1n + X$$
 Apa nama nuklida X?
6. Hitunglah energi yang timbul pada reaksi inti di bawah ini.

$${}_{92}^{235}\text{U} + {}_0^1n \rightarrow {}_{56}^{141}\text{Ba} + {}_{36}^{92}\text{Kr} + 3{}_0^1n$$
 Bila diketahui massa Uranium = 235,0457 sma, massa barium = 140,9177 sma, massa Krypton = 91,8854 sma, dan massa = netron 1,0087 sma, dan 1 sma setara 931,5 MeV
7. Jelaskan dua deret radioaktif dan tuliskan dua perbedaan pada deret tersebut.