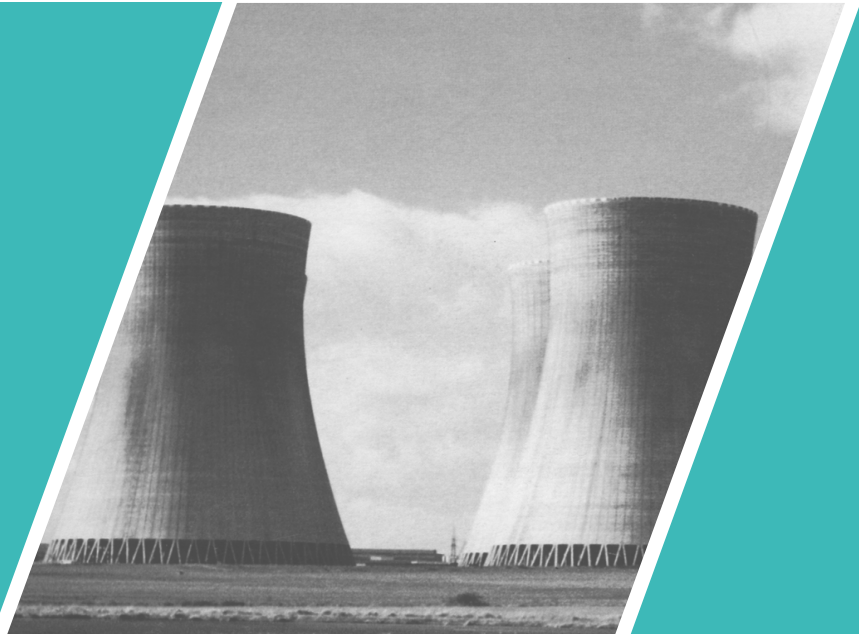


Bab 10



Sumber: *Energy: Technology and Development*, 1995

Pembangunan PLTN merupakan salah satu solusi timbulnya krisis energi yang suatu saat akan dialami penduduk Bumi.

Fisika Inti dan Radioaktivitas

Hasil yang harus Anda capai:

menunjukkan penerapan konsep Fisika inti dan radioaktivitas dalam teknologi dan kehidupan sehari-hari.

Setelah mempelajari bab ini, Anda harus mampu:

- menganalisis karakteristik inti atom dan radioaktivitas;
- mendeskripsikan pemanfaatan radioaktivitas dalam kehidupan sehari-hari dan teknologi untuk kesejahteraan manusia.

Listrik merupakan sesuatu yang sangat penting dalam kehidupan modern sekarang ini. Hampir seluruh aktivitas manusia membutuhkan energi listrik. Listrik diproduksi dari pembangkit-pembangkit tenaga listrik. Di Indonesia pembangkit listrik banyak yang berbahan bakar solar, walaupun ada sebagian kecil yang memanfaatkan air sebagai penggerak turbin. Permasalahan yang timbul adalah solar termasuk sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui sehingga suatu saat pasti akan habis. Jika hal ini terjadi negara kita akan berada dalam krisis energi.

Salah satu solusi yang ditawarkan adalah membangun PLTN (Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir). Apakah Anda tahu bagaimana caranya uranium atau plutonium diubah menjadi energi listrik? Kendala yang dihadapi adalah masih banyak pihak yang menentang keberadaan PLTN. Apakah Anda tahu alasan mereka? Pada bab ini, Anda akan mempelajari tentang inti atom berikut reaksi-reaksi yang terjadi di dalamnya, dampak positif, dan dampak negatif pengembangan energi nuklir.

- A. Inti Atom**
- B. Radioaktivitas**
- C. Reaksi Inti**
- D. Reaktor Nuklir, Bom Nuklir, dan Radioisotop**

Tes Kompetensi Awal

Sebelum mempelajari konsep Fisika Inti dan Radioaktivitas, kerjakanlah soal-soal berikut dalam buku latihan.

1. Apa yang dimaksud dengan nomor atom dan nomor massa?
2. Apa yang dimaksud dengan isotop, isobar, dan isoton? Berikan contoh isotop.
3. Apa yang dimaksud dengan peluruhan?
4. Apa yang dimaksud dengan reaksi fusi dan reaksi fisi?
5. Apa bedanya reaksi nuklir dan reaksi kimia?

A. Inti Atom

Seperti yang sudah Anda pelajari pada Bab 8, atom terdiri atas partikel-partikel elementer, yaitu inti atom dan elektron. Inti atom terdiri atas proton dan neutron. Partikel-partikel elementer ini memiliki massa yang sangat kecil sehingga satuan yang digunakan bukanlah kilogram atau gram melainkan satuan massa atom yang didefinisikan sebagai seperduabelas kali massa satu atom C-12.

$$1 \text{ sma} = \frac{1}{12} \times \text{massa satu atom C-12}$$

$$1 \text{ sma} = 1,6604 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

$$1 \text{ sma} = 931 \text{ MeV}$$

Berdasarkan model atom Bohr, atom terdiri atas inti atom yang bermuatan positif dan elektron yang bermuatan negatif. Elektron bergerak berputar mengelilingi inti. Untuk mengetahui sifat-sifat suatu inti, diperlukan pengetahuan tentang massa suatu atom yang dapat diukur dengan spektrometer massa.

1. Hipotesis Proton Elektron

Massa suatu atom bukanlah merupakan massa inti yang terlihat nyata, melainkan massa atom netral. Massa suatu atom juga mencakup massa elektron yang bergerak mengelilingi inti. Oleh karena satuan massa kilogram terlalu besar untuk ukuran massa suatu atom, secara konvensional ditetapkan satuan massa atom (*atomic mass unit* = amu). $1 \text{ amu} = 1 \text{ sma} = 1,6604 \times 10^{-27} \text{ kg}$. Dari pengukuran terhadap massa suatu atom, ternyata tidak semua unsur memiliki massa yang sama, walaupun jenisnya sama. Unsur-unsur inilah yang disebut *isotop*. Salah satu contoh isotop yang paling sederhana adalah hidrogen. Massa atom hidrogen adalah berturut-turut 1,007825 sma; 2,014102 sma, dan 3,01605 sma yang secara berurutan diberi nama *hidrogen*, *deutrium*, dan *tritium*. Inti tritium disebut triton, inti deuterium disebut deuteron, sedangkan isotop yang paling ringan disebut proton yang memiliki massa atom 1,00727665 sma.

Jika dilihat, inti atom harganya selalu mendekati kelipatan bilangan bulat dari massa atom hidrogen, yakni 1,007825 sma. Dari contoh tersebut, atom deutrium memiliki massa kira-kira 2 kali massa proton (inti hidrogen), sedangkan massa tritium kira-kira 3 kali massa proton. Kenyataan ini pada mulanya melahirkan suatu anggapan bahwa inti atom terdiri dari sejumlah atom hidrogen yang saling mengikat.

Akan tetapi, dari penelitian lebih lanjut ternyata bahwa massa inti selalu lebih besar daripada massa atom hidrogen. Sebagai contoh, atom seng, nomor atomnya 30, namun semua isotopnya bermassa lebih dari dua kali 30 atom hidrogen. Kenyataan ini menyebabkan timbulnya suatu dugaan bahwa elektron mungkin dapat berada di dalam inti dan

menetralkan beberapa buah proton. Inilah yang disebut dengan *hipotesis proton-elektron*. Hipotesis ini juga didukung oleh suatu kenyataan bahwa sinar beta yang dipancarkan oleh suatu inti adalah partikel yang massa dan muatannya sama dengan elektron.

2. Hipotesis Proton-Neutron

Pada 1930, dua orang ahli Fisika dari Jerman bernama **W. Bothe** dan **H. Becker** menemukan suatu gejala yang menjadi titik terang dalam mengungkapkan rahasia inti atom. Melalui percobaannya, kedua ahli ini menembaki keping berilium dengan partikel alfa yang diperoleh dari sampel polonium. Penembakan ini ternyata menghasilkan pancaran radiasi yang dapat menembus bahan-bahan dengan mudah, karena radiasi tidak bermuatan. **Bothe** dan **Becker** menganggap radiasi ini berupa sinar gamma. Namun, terdapat perbedaan antara daya tembus sinar ini dengan daya tembus sinar gamma.

Pada 1932, **James Chadwick** (1891–1974) mengusulkan suatu hipotesis tentang struktur inti atom berdasarkan pada hasil percobaan **W. Bothe** dan **H. Becker**. Menurut **Chadwick**, radiasi yang dipancarkan oleh keping berilium adalah suatu partikel yang tidak bermuatan (netral) yang dinamakan neutron serta mampu menembus bahan-bahan dengan mudah. Neutron memiliki massa yang hampir sama dengan proton dan memerlukan energi sebesar 5,7 MeV untuk dapat mengeluarkan neutron dari keping berilium. Sinar gamma memerlukan energi sebesar 55 MeV untuk menimbulkan efek yang sama dengan neutron.

Hasil eksperimen menunjukkan bahwa neutron bukanlah partikel yang stabil jika berada di luar inti atom. Neutron meluruh secara radioaktif menjadi proton, elektron, dan inti neutron dengan umur rata-rata 15,5 menit. Hasil percobaan menunjukkan massa neutron sebesar 1,0086654 sma atau sama dengan $1,6748 \times 10^{-27}$ kg. Proton dan neutron akhirnya diterima sebagai partikel dasar yang membentuk inti atom. Keduanya disebut nukleon.

3. Partikel Penyusun Inti

Jumlah nukleon yang terdapat di dalam inti suatu atom dilambangkan dengan A dan dinamakan nomor massa. Adapun jumlah proton dilambangkan Z yang berarti nomor atom. Jadi, sebuah inti atom dapat dilambangkan sebagai berikut.



Keterangan:

A = nomor massa (jumlah neutron dan proton)

X = lambang unsur

Z = nomor atom

N = jumlah neutron ($A-Z$)

Contoh 10.1

Tentukan jumlah proton, neutron, dan nomor massa dari atom ${}^12_5 B$.

Jawab:

Diketahui : Atom boron (B) terdiri dari 5 proton (nomor atom 5) dan 12 nomor massa. Jadi, jumlah neutronnya $(12 - 5) = 7$ neutron

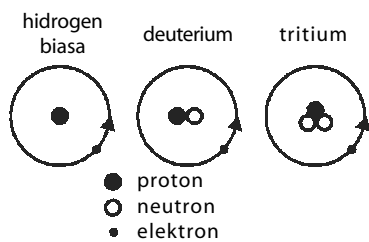


Informasi untuk Anda

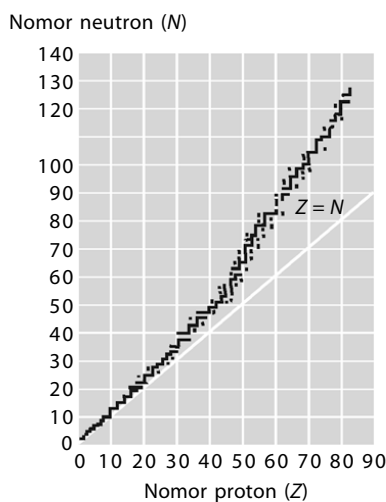
Eksperimen Rutherford menyatakan bahwa inti atom memiliki diameter sekitar 10^{-15} sampai 10^{-14} m. Dari teori kinetik dan khususnya analisis Einstein tentang gerak Brown, diameter atom memiliki ukuran sekitar 10^{-10} m. Itu artinya elektron akan terlihat berjarak sekitar 10.000 sampai 100.000 kali lipat ukuran inti diukur dari inti atom tersebut (jika inti diibaratkan bola *baseball*, atom akan memiliki diameter seukuran kota yang berdiameter beberapa kilometer). Jadi, sebuah atom sebagian besar berupa ruang kosong.

Information for You

Rutherford's experiments suggested that the nucleus must have a radius of about 10^{-5} to 10^{-14} m. From kinetic theory, and especially Einstein's analysis of Brownian movement, the radius of atoms was estimated to be about 10^{-10} m. Thus the electrons would seem to be at a distance from the nucleus of about 10,000 to 100,000 times the radius of the nucleus itself (if the nucleus were the size of a baseball, the atom would have the diameter of a big city several kilometers across). So an atom would be mostly empty space.



Gambar 10.1
Isotop hidrogen



Sumber: *Konsep Fisika Modern*, 1983

Gambar 10.2
Diagram kestabilan inti ($N-Z$)

Pada sebuah atom netral, jumlah elektron-elektron yang mengorbit di sekeliling inti atom sama dengan jumlah nomor massa. Oleh karena itu, muatan pada elektron sama, tetapi berlawanan tanda dengan muatan sebuah proton. Sifat-sifat utama suatu atom ditentukan oleh jumlah elektronnya. Jadi, Z menentukan jenis atomnya. Indeks Z yang dibagian bawah kadang-kadang tidak ditulis, sehingga inti ditulis ${}_{15}^{15}\text{N}$.

Nuklida dapat diklasifikasikan berdasarkan kestabilan dan kepadatannya di alam, serta berdasarkan kesamaan A , Z , dan N . Berdasarkan kestabilannya, nuklida terbagi menjadi nuklida stabil dan radionuklida.

- Nuklida stabil, yaitu nuklida yang memiliki A dan Z tetap, contoh ${}_{6}^{12}\text{C}$.
- Radionuklida, yaitu nuklida yang memiliki A dan Z yang dapat berubah. Nuklida ini tidak stabil dan secara spontan meluruh menjadi nuklida lain. Radionuklida terdiri atas radionuklida atom primer, radionuklida atom sekunder, radionuklida atom tersier, dan radionuklir.

Berdasarkan jumlah A , Z , dan N , nuklida dapat digolongkan menjadi isotop, isoton, isobar, dan isomer.

- Isotop yaitu jumlah nuklida-nuklida yang memiliki Z sama tetapi A berbeda contohnya, ${}_{6}^{12}\text{C}$, ${}_{6}^{13}\text{C}$, ${}_{6}^{14}\text{C}$.
- Isoton yaitu nuklida yang memiliki jumlah neutron sama, tetapi nomor massa berbeda contohnya, ${}_{6}^{12}\text{C}$, ${}_{7}^{14}\text{N}$.
- Isobar yaitu nuklida-nuklida yang memiliki A sama tetapi Z berbeda. Nuklida ini umumnya merupakan nuklida-nuklida cermin.
- Isomer inti yaitu nuklida yang memiliki A dan Z sama serta sifat kimia yang sama tetapi tingkat energinya berbeda. Contoh, ${}^{124}\text{S}_6$ memiliki tiga isomer, yaitu ${}_{6}^{124}\text{Sb}$, ${}_{m1}^{124}\text{Sb}$, ${}_{m2}^{124}\text{Sb}$.

Perhatikan **Gambar 10.1**. Untuk atom hidrogen biasa ditulis ${}^1_1\text{H}$. Di sini, nomor atom dan nomor massa sama karena tidak terdapat neutron. Inti atom yang terdiri atas proton dan neutron dapat menerangkan keadaan isotop.

4. Stabilitas Inti

Stabilitas inti atom bergantung kepada jumlah proton dan jumlah neutron. **Gambar 10.2** memperlihatkan hubungan antara jumlah neutron ($N = A - Z$) terhadap jumlah proton untuk semua nuklida inti atom beserta isotopnya, baik untuk inti stabil maupun inti tak stabil dengan perbandingan $\frac{N}{Z}$.

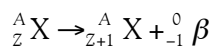
Untuk inti atom yang stabil, berlaku hal-hal berikut.

- Inti-inti atom yang paling ringan memiliki jumlah proton dan neutron yang hampir sama.
- Inti atom yang lebih berat memerlukan lebih banyak neutron daripada proton. Inti atom yang paling berat memiliki jumlah neutron sekitar 51% atau 60% lebih banyak.
- Kebanyakan dari inti atom itu memiliki jumlah proton dan neutron berupa bilangan genap. Contohnya, partikel alfa (dua neutron dan dua proton) membentuk kombinasi yang sangat stabil.

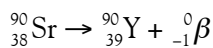
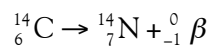
Untuk inti atom yang tidak stabil berlaku hal-hal berikut.

- Desintegrasi, cenderung menghasilkan inti atom baru yang lebih dekat ke garis stabilitas dan terus berlangsung hingga terbentuk inti stabil.
- Inti atom di atas garis kestabilan memiliki kelebihan neutron dan cenderung meluruh dengan memancarkan partikel beta (β).
- Inti yang terletak di sebelah bawah garis stabilitas meluruh sehingga nomor atomnya berkurang. Perbandingan jumlah neutron dan protonnya bertambah besar. Pada inti atom berat ini terjadi dengan memancarkan partikel alfa (α).

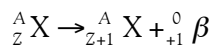
Jadi, jika inti atom di sebelah kiri meluruh memancarkan partikel beta, nomor atom inti bertambah satu dan nomor massa tetap.



Contoh dari penambahan inti atom akibat pemancaran beta adalah



Jika inti sebelah kanan meluruh akan memancarkan positron. Nomor atom inti berkurang satu, sedangkan nomor atom massa tetap.



Proton dan neutron yang membentuk inti atom mengikuti prinsip *eksklusi* (larangan). Di dalam inti atom, untuk setiap tingkat energi yang diperbolehkan hanya dapat ditempati dua proton dengan spin $\frac{1}{2}$ dan $-\frac{1}{2}$, serta dua buah neutron dengan spin $\frac{1}{2}$ dan $-\frac{1}{2}$. Sama halnya dengan tingkat energi atom, tingkat-tingkat energi dalam inti diisi menurut aturan tertentu, agar diperoleh susunan energi minimum. Sebagai contoh diperlihatkan diagram tingkat energi beberapa isotop, di antaranya ${}^{10}_5 B$, ${}^{11}_5 B$, ${}^{12}_5 B$, ${}^{12}_6 C$, dan ${}^{13}_6 C$.

Gambar 10.3 memperlihatkan diagram tingkat energi yang disederhanakan untuk beberapa isotop boron dan karbon. Prinsip eksklusi membatasi jumlah penghuni setiap tingkat pada dua neutron berspin berlawanan dan dua proton berspin berlawanan. Inti mantap memiliki konfigurasi dengan energi minimum.

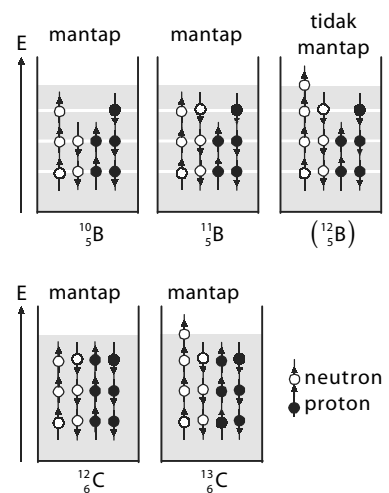
5. Energi Ikat Inti

Pada bagian awal telah dibahas bahwa inti atom terdiri atas proton dan neutron yang disebut sebagai nukleon. Seharusnya, massa suatu inti atom merupakan jumlah massa proton ditambah massa neutron yang ada di dalam inti tersebut. Akan tetapi, dari pengukuran-pengukuran yang dilakukan menunjukkan bahwa massa suatu atom ternyata kurang dari jumlah massa proton dan neutron yang membentuk inti tersebut. Contohnya adalah inti helium.

Inti helium terdiri atas 2 proton dan 2 neutron. Massa helium seharusnya

$$\begin{aligned} \text{massa } 2 \times \text{neutron} &= 2 \times 1,008982 \text{ sma} = 2,017964 \text{ sma} \\ \text{massa } 2 \times \text{proton} &= 2 \times 1,00759 \text{ sma} = 2,015180 \text{ sma} + \end{aligned}$$

$$\text{Jumlah massa } {}^4_2\text{He} = 4,033144 \text{ sma}$$



Sumber: *Konsep Fisika Modern*, 1983

Gambar 10.3
Tingkat energi beberapa isotop

Tabel 10.1
Massa Beberapa Isotop

Nama	Simbol	Massa (sma)
Neutron	${}^1_0\text{n}$	1,008665
Proton	${}^1_1\text{H}$	1,007825
Deuteron	${}^2_1\text{H}$	2,014102
Triton	${}^3_1\text{H}$	3,016049
Helium-3	${}^3_2\text{He}$	3,016049
Helium-4	${}^4_2\text{He}$	4,002602
Alfa	${}^4_2\alpha$	4,0026
Lithium-6	${}^6_3\text{Li}$	6,0151
Lithium-7	${}^7_3\text{Li}$	7,0160
Berillium-8	${}^8_4\text{Be}$	8,0050
Berillium-9	${}^9_4\text{Be}$	9,0121
Boron-10	${}^{10}_5\text{B}$	10,0129
Boron-11	${}^{11}_5\text{B}$	11,0093
Carbon-12	${}^{12}_6\text{C}$	12,0000
Carbon-13	${}^{13}_6\text{C}$	13,0033
Carbon-14	${}^{14}_6\text{C}$	14,0030

Sumber: *Conceptual Physics*, 1998

Tabel 10.2
Massa Proton, Neutron, dan Elektron

Partikel	kg	sma	MeV
proton	$1,6726 \times 10^{-27}$	1,007276	938,28
neutron	$1,6750 \times 10^{-27}$	1,008665	939,57
elektron	$9,1090 \times 10^{-31}$	0,000549	0,511

Sumber: *Physics for Scientist and Engineers*, 2000

Tabel 10.3
Massa Beberapa Isotop

Isotop	Simbol	Massa (sma)
Neutron	n	1,008665
Hidrogen	${}^1_1\text{H}$	1,007825
Deuterium	${}^2_1\text{H}$	2,01410
Tritium	${}^3_1\text{H}$	3,01605
Helium-4	${}^4_2\text{He}$	4,00260
Karbon-12	${}^{12}_6\text{C}$	12,00000
Besi-58	${}^{58}_{26}\text{Fe}$	57,93328
Tembaga-63	${}^{63}_{29}\text{Cu}$	62,92960
Krypton-90	${}^{90}_{36}\text{Kr}$	89,91959
Barium-143	${}^{143}_{56}\text{Ba}$	142,92054
Uranium-235	${}^{235}_{92}\text{U}$	235,04395

Sumber: *Conceptual Physics*, 1998

Dari pengukuran terhadap massa inti helium, ternyata massa inti helium adalah 4,002604 sma. Ini berarti terdapat kekurangan massa sebesar 0,03054 sma. Terjadinya kekurangan massa ini disebabkan oleh nukleon yang membentuk inti, memerlukan energi untuk saling mengikat, sesuai dengan massa dan energi menurut Einstein yaitu $E = mc^2$. Jadi, massa ${}^A_Z\text{X} < (Z \times \text{massa proton} + (A - Z) \text{ massa n} + Z \text{ massa elektron})$. Defek massa pada pembentukan nuklida ${}^A_Z\text{X}$ adalah

$$\Delta m = [Zm_p + (A - Z)m_n + Zm_e - m_{{}^A_Z\text{X}}] \quad (10-2)$$

Massa elektron mendekati nol, sehingga **Persamaan (10-2)** dapat ditulis

$$\Delta m = (Zm_p + (A - Z)m_n) - m_{{}^A_Z\text{X}} \quad (10-3)$$

Energi yang diperoleh dari kekurangan massa tersebut sesuai dengan hubungan massa dan energi menurut persamaan Einstein

$$\Delta E = \Delta mc^2 \quad (10-4)$$

Keterangan:

ΔE = energi ikat inti (joule)

c = kecepatan cahaya (m/s)

Δm = defek massa (kg)

Jika hilangnya massa pada proses pembentukan inti sama dengan 1 sma, besarnya energi yang hilang ekuivalen dengan

$$E_i = (1 \text{ sma}) (1,667 \times 10^{-27} \text{ kg/sma}) (3 \times 10^8)^2 = 931,5 \text{ MeV}$$

Massa sebesar 1 sma ekuivalen dengan energi 931,5 MeV, jadi

$$\Delta E_i = (\Delta m)(931,5) \text{ MeV} \quad (10-5)$$

dan energi ikat pada nuklida ${}^A_Z\text{X}$ adalah

$$\Delta E_i = [Zm_p + (A - Z)m_n + Zm_e - m_{{}^A_Z\text{X}}] 931,5 \text{ MeV/sma} \quad (10-6)$$

Jika $m_H = m_p + m_e$, maka persamaan tersebut dapat ditulis

$$\Delta E_i = [Zm_H + (A - Z)m_n - m_{{}^A_Z\text{X}}] 931,5 \text{ MeV/sma} \quad (10-7)$$

Keterangan:

ΔE_i = energi ikat inti (MeV)

m_n = massa neutron (sma)

m_p = massa proton (sma)

m_e = massa elektron (sma)

Z dan A = nomor atom dan nomor massa

$m_{{}^A_Z\text{X}}$ = massa inti atom

Energi ikat inti belum dapat menggambarkan kestabilan nuklida. Perkiraan tentang kestabilan inti dapat dilakukan dengan memerhatikan harga energi ikat rata-rata per nukleon.

Contoh 10.2

Massa isotop ${}^2_1\text{H}$ adalah 2,014102 sma. Tentukan energi ikat inti ${}^2_1\text{H}$, jika massa atom ${}^1_1\text{H} = 1,007825$ sma dan massa neutron = 1,008665 sma.

Jawab:

Diketahui: $m_1^2\text{H} = 2,014102 \text{ sma}$; $m_1^1\text{H} = 1,007825 \text{ sma}$; $m_n = 1,008665 \text{ sma}$.

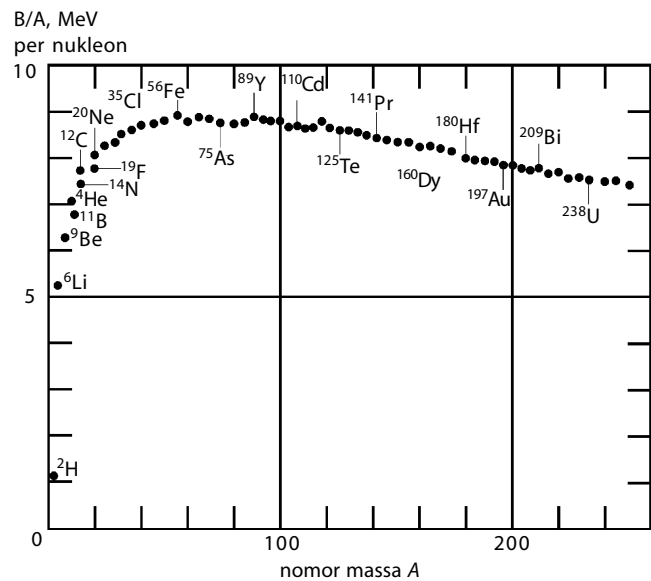
$$\begin{aligned} \Delta E_i &= [Zm_H + (A-Z)m_n - m_1^2\text{H}] 931,5 \text{ MeV/sma} \\ &= [(1)(1,007825) + (2-1)(1,008665) - 2,014102] 931,5 \text{ MeV/sma} \\ &= (0,002388 \text{ sma})(931,5 \text{ MeV/sma}) = 2,22 \text{ MeV} \end{aligned}$$

Jadi, energi ikat per nukleonnya

$$E = \frac{\Delta E_i}{A} = \frac{2,22}{2} \text{ MeV} = 1,11 \text{ MeV}$$

Semakin besar energi ikat rata-rata per nukleon, kestabilannya akan semakin tinggi karena diperlukan energi yang besar untuk membongkarnya. Grafik energi ikat per nukleon terhadap nomor massa berbagai inti dapat Anda perhatikan pada **Gambar 10.4**. Berdasarkan grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa:

- untuk harga A yang kecil, energi ikatnya kecil dan naik cepat sesuai dengan pertambahan A ;
- untuk harga A disekitar 60, energi ikat maksimumnya hampir tidak bertambah, yaitu 8,8 MeV dan turun menjadi 8,4 MeV untuk $A = 110$;
- untuk harga A di atas 140, energi ikatnya turun hingga mencapai 7,6 MeV.



Gambar 10.4
Grafik energi ikat per nukleon terhadap nomor massa berbagai inti.

6. Gaya Inti

Gaya inti bersifat saling menolak pada jangkauan sangat pendek dan saling menarik pada jarak nukleon yang agak jauh. Jika tidak demikian, nukleon dalam inti akan menyatu. Sifat-sifat gaya inti, antara lain:

- gaya inti memiliki prinsip dasar yang berbeda dengan gaya gravitasi maupun gaya coulomb;
- gaya inti tidak bergantung pada muatan listrik sehingga besarnya gaya antara proton-proton atau neutron adalah sama;
- gaya inti bekerja pada jarak yang sangat pendek, yaitu sekitar 10^{-15} m atau 1 fermi;
- gaya inti sangat besar sehingga diperlukan energi sebesar 8 MeV untuk memisahkan dua buah elektron.

Kata Kunci

- isotop
- hipotesis proton-elektron
- hipotesis proton-neutron
- nomor atom
- nomor massa
- nuklida
- defek massa
- energi ikat inti

Tes Kompetensi Subbab A

Kerjakanlah pada buku latihan.

- Jelaskan dengan singkat efek penggabungan nukleon terhadap massa inti atom yang terbentuk.
- Tentukan banyak proton, neutron, dan elektron dalam atom-atom berikut.
 - $^{10}_3\text{Be}$
 - $^{29}_{14}\text{Si}$
 - $^{35}_{17}\text{Cl}$
 - $^{85}_{37}\text{Rb}$
 - $^{239}_{95}\text{Am}$
- Massa inti $^{24}_{12}\text{Mg}$ adalah 23,993 sma. Massa nukleon bebas adalah massa proton 1,007 sma dan massa neutron 1,008 sma. ($1 \text{ sma} = 931,5 \text{ MeV}$)
 - Tentukan susut massanya (defek massa).
 - Tentukan energi ikat intinya.
- Energi ikat $^{20}_{10}\text{Ne}$ adalah 160,64 MeV. Carilah massa atomnya.
 - Manakah inti yang lebih mantap, ^7_3Li atau ^8_3Li ? ^9_4Be atau $^{10}_4\text{Be}$.
- Carilah defek massa, energi ikat inti, dan energi ikat per nukleon untuk atom $^{12}_6\text{C}$.

B. Radioaktivitas

1. Sejarah Penemuan Radioaktif

Gejala radioaktif ini ditemukan oleh **Henry Becquerel** pada 1896 secara tidak sengaja. Ia sedang meneliti sifat *fosforesensi* dan *fluoresensi* pada garam uranium yang disinari dengan sinar-X. Sifat *fosforesensi* adalah berpendarnya suatu zat jika terkena rangsangan cahaya meskipun rangsangan itu dihentikan. Misalnya, pada rambu-rambu lalu lintas yang bersinar jika terkena sorotan lampu.

Garam uranium yang dipergunakan **Becquerel**, diletakkan pada bungkusan plat fosforesensi dan dijemur di bawah sinar Matahari. Ketika plat fosforesensi dicuci atau diproses pada film negatif ternyata terdapat pola hitam sesuai bentuk kristalnya. **Becquerel** menyimpulkan bahwa radiasi yang menghitamkan plat potret bukanlah berasal dari cahaya luar melainkan berasal dari garam itu sendiri. Oleh sebab itu, gejala ini disebut gejala radioaktif atau radioaktivitas.

2. Jenis-Jenis Radioaktif

Dari penemuan **Becquerel**, banyak ilmuwan yang kemudian meneliti tentang sinar radioaktif ini, salah satunya adalah **Ernest Rutherford**. Pada 1903, ia dengan postulatnya menyatakan bahwa radioaktif bukan hanya disebabkan oleh perubahan yang bersifat atomis, melainkan pemancaran radioaktif berlangsung bersamaan dengan perubahan tersebut. **Rutherford** memperlihatkan adanya dua macam radiasi yang keluar dari uranium dengan cara mengukur kuat arus listrik yang timbul oleh adanya ionisasi udara.

Pada 1898, **Marie Curie** dan suaminya **Pierre Curie** menemukan dua unsur radioaktif yang disebut polonium dan radium. Berdasarkan terjadinya sinar radioaktif ini, maka radioaktivitas dapat dibedakan menjadi dua kategori, antara lain:

- radioaktif alamiah, yaitu pemancaran sinar radioaktif yang terjadi secara spontan akibat tidak stabilnya inti atom;
- radioaktif buatan, yaitu pemancaran sinar radioaktif yang berasal dari inti-inti stabil yang diganggu kestabilannya dengan cara-cara tertentu, hingga menjadi inti yang tidak stabil.

Salah satu jenis radiasi yang mudah diserap adalah sinar alfa (α). Radiasi lain yang memiliki daya tembus lebih besar dinamakan sinar beta (β), serta sebuah panjang gelombang yang pendek disebut sinar gamma (γ).

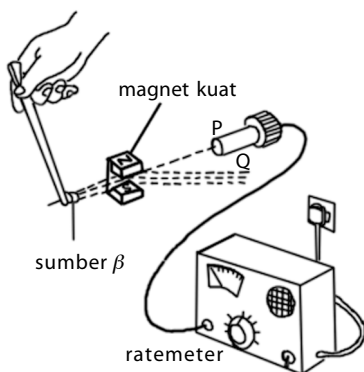
Anda dapat mengetahui karakteristik sinar α , sinar β , dan sinar γ melalui pembiasan radiasi dengan tabung GM (Geiger Muller). Perhatikan **Gambar 10.5**. Ketika sumbu radioaktif ditempatkan pada salah satu ujung medan magnet dan tabung GM pada ujung yang lain, ternyata sinar α dibiaskan ke piringan negatif dan sinar β akan dibiaskan ke piringan positif.

Jadi, dapat disimpulkan bahwa sinar α bermuatan positif (${}^4_2\alpha$ atau ${}^4_2\text{He}$), sinar β bermuatan negatif (${}_{-1}^0\beta$ atau e^-), sedangkan sinar γ netral (${}^0_0\gamma$).

Berikut ini akan dijelaskan pemancaran sinar alfa (α), sinar beta (β), dan sinar gamma (γ).

a. Pemancaran Sinar Alfa (α)

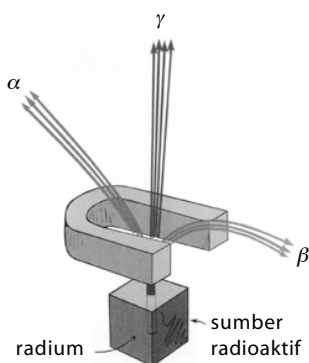
Massa maupun muatan sinar alfa identik dengan inti helium (He). Jika suatu zat radioaktif memancarkan sinar alfa, nomor atom zat itu



Sumber: *Physics for O'Level*, 1990

Gambar 10.5

Pengujian pembiasan sinar β dalam medan magnet.

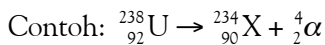
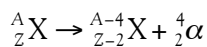


Sumber: *Conceptual Physics*, 1998

Gambar 10.6

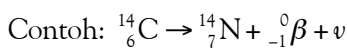
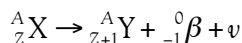
Dalam medan magnet, hanya sinar γ yang tidak dibelokkan.

akan berkurang 2 dari nomor atom induknya dan nomor massanya akan berkurang 4. Secara umum, reaksi pemancaran alfa (α) dapat dituliskan sebagai berikut.



b. Pemancaran Sinar Beta (β)

Muatan dan massa sinar β sama dengan elektron. Hal ini karena sinar beta tidak lain adalah elektron (diberi lambang ${}^0_{-1}\beta$ atau ${}^0_{-1}e$). Sesuai dengan Hukum Kekekalan Nomor Massa dan Nomor Atom, suatu inti induk yang secara spontan memancarkan sinar β akan menghasilkan inti anak yang nomor massanya tetap dan nomor atomnya bertambah satu. Secara umum, reaksi pemancaran β ditulis sebagai berikut.

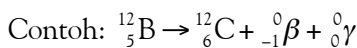
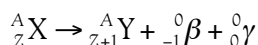


dengan ν adalah neutrino.

c. Pemancaran Sinar Gamma (γ)

Berbeda halnya dengan pemancaran sinar α dan sinar β yang memancarkan partikel bermuatan, pemancaran sinar γ bukanlah berbentuk partikel tetapi gelombang elektromagnetik. Jika pada pemancaran sinar α dan β terjadi perubahan struktur jumlah proton dan neutron, pada pemancaran sinar γ terjadi perubahan susunan partikel-partikel pembentuk inti atom. Sinar γ tidak memiliki massa maupun muatan. Oleh karena itu nuklida tereksitasi yang memancarkan sinar γ tidak mengalami perubahan nomor atom maupun nomor massa.

Pemancaran sinar γ diawali oleh inti induk X yang secara spontan memancarkan sinar β dan membentuk inti baru Y^* yang berada dalam keadaan eksitasi. Selanjutnya, inti baru dalam keadaan eksitasi ini secara spontan memancarkan sinar γ untuk menjadi inti stabil (Y). proses perubahan ini ditunjukkan pada **Gambar 10.7**. Reaksi inti pemancaran sinar γ ini biasanya ditulis sebagai berikut.



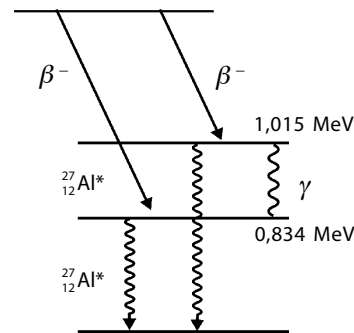
Kesimpulan dari karakteristik sinar radioaktif, yaitu sinar α , sinar β , dan sinar γ ditunjukkan pada **Tabel 10.4**. Daya tembus sinar α , sinar β , dan sinar γ masing-masing ditunjukkan pada **Gambar 10.8**.

Tabel 10.4

Karakteristik Sinar Radioaktif

Jenis Sinar Radioaktif	Reaksi Alamiah	Muatan	Massa	Pembiasan dalam Medan Magnet	Kemampuan Daya Tembus
Alfa (α)	Inti helium	Positif	Besar	Kecil	Kertas tipis Kulit manusia
Beta (β)	Elektron	Negatif	Rendah	Besar	Aluminium (5 mm)
Gamma (γ)	Radiasi elektromagnetik	Tidak bermuatan	Tidak bermassa	Tidak dibiaskan	Timbal tipis

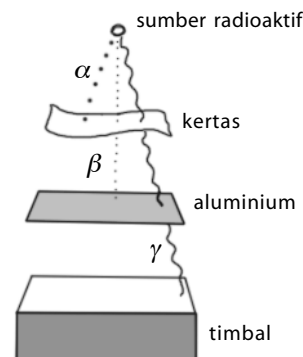
Sumber: Physics for 'O' Level, 1990



Gambar 10.7
Pemancaran β dan γ dalam peluruhan ${}^{27}_{12}\text{Mg}$ dan ${}^{27}_{13}\text{Al}$.

Tugas Anda 10.1

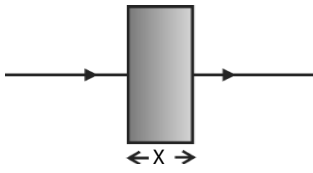
Carilah informasi mengenai pemanfaatan sinar α , β , dan γ .



Sumber: Conceptual Physics, 1998

Gambar 10.8

Daya tembus partikel α , β , dan γ .



Gambar 10.9
Pelemahan intensitas oleh bahan dengan ketebalan X.

3. Pelemahan Intensitas Sinar Radioaktif

Jika sinar radioaktif dilewatkan pada sebuah keping dengan ketebalan x , ternyata intensitas sinar radioaktif sebelum melewati bahan (I_0) lebih besar daripada setelah melewati bahan (I). Pelemahan intensitas ini memenuhi persamaan:

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (10-8)$$

Keterangan:

μ = koefisien pelemahan bahan (1/m);

e = bilangan natural = 2,71828

Seandainya intensitas sinar radioaktif setelah melewati keping tinggal separuh dari intensitas sinar radioaktif semula ($I = \frac{1}{2} I_0$), maka **Persamaan (10-8)** dapat disederhanakan menjadi:

$$\begin{aligned} I &= I_0 e^{-\mu x} \\ \frac{1}{2} I_0 &= I_0 e^{-\mu x} \\ \frac{1}{2} &= e^{-\mu x} \\ \ln 1 - \ln 2 &= -\mu x \\ 0 - 0,693 &= -\mu x \end{aligned}$$

sehingga diperoleh

$$x = \frac{0,693}{\mu} \quad (10-9)$$

Harga x pada **Persamaan (10-9)** disebut *Half Value Layer* (HVL) atau lapisan harga paruh.

Contoh 10.3

Suatu keping memiliki HVL 3 cm. Berapakah besar intensitas sinar radioaktif setelah melewati keping setebal 9 cm?

Jawab:

Diketahui: HVL = 3 cm = 3×10^{-2} m
 x = 9 cm = 9×10^{-2} m

$$\text{HVL} = \frac{0,693}{\mu} \rightarrow \mu = \frac{0,693}{3 \times 10^{-2} \text{ m}} = 23,1 / \text{m}$$

$$I = I_0 e^{-\mu x} \rightarrow \frac{I}{I_0} = 2,71828^{(-23,1 / \text{m})(9 \times 10^{-2} \text{ m})} \rightarrow I = 0,125 I_0$$

Jadi, intensitas sinar radioaktif setelah melalui keping adalah $0,125 I_0$.

4. Peluruhan Radioaktif (Desintegrasi)

Peluruhan terjadi secara spontan dan tidak dapat dikontrol serta dipengaruhi oleh persenyawaan kimia dan fisika seperti pengaruh suhu dan tekanan. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa kemampuan suatu unsur untuk meluruh berbeda-beda. Ada unsur yang dalam waktu singkat semua intinya meluruh, dan ada pula yang meluruh dengan lambat. Contohnya, sejumlah besar inti atom N dari suatu radioisotop yang meluruh memancarkan partikel-partikel α dan β serta diikuti pemancaran γ .



Tokoh

Marie Curie

(1867–1934)



Sumber: Science Encyclopedia, 1998

Marie Curie dilahirkan di Warsawa, Polandia. Nama aslinya adalah **Marie Sklodowska**. Ia belajar Matematika, Fisika, dan Kimia di Paris. **Marie** bersuamikan **Pierre Curie** seorang ahli fisika juga. Mereka bekerja sama dalam meneliti radiasi yang dihasilkan oleh bahan radioaktif dan mereka berhasil menemukan unsur thorium yang bersifat radioaktif. Pada 1898, mereka menemukan dua unsur radioaktif baru, yaitu polonium dan radium. Untuk keberhasilan ini, **Marie** dan **Pierre Curie** serta Henri Becquerel mendapat hadiah Nobel untuk bidang Fisika pada 1903. Pada 1910, **Marie** berhasil memisahkan radium murni dan mempelajari sifat-sifat kimianya. Untuk hasil kerja kerasnya ini, **Marie** kembali mendapatkan hadiah Nobel yang kedua dalam bidang kimia pada 1911. **Marie** meninggal tahun 1934 akibat kanker, yang mungkin disebabkan ia terlalu lama berinteraksi dengan bahan-bahan radioaktif.

Jumlah rata-rata atom (dN) yang akan meluruh dalam waktu dt adalah berbanding lurus dengan jumlah atom N sehingga dapat diberikan dalam persamaan

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \quad (10-10)$$

di mana λ disebut konstanta peluruhan yang merupakan karakteristik dari suatu radioisotop tertentu. Tanda negatif menunjukkan bahwa jumlah atom unsur induk berkurang. Jika **Persamaan (10-10)** diintegrasikan

$$\int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = \int_{t_0}^t -\lambda dt \Rightarrow \ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t$$

diperoleh

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (10-11)$$

Keterangan:

N_0 = jumlah inti radioaktif mula-mula

N = jumlah inti radioaktif yang meluruh pada waktu t

Jumlah yang meluruh per satuan waktu adalah λN disebut juga dengan *Aktivitas (A)* dari suatu zat radioaktif. **Persamaan (10-11)** dapat juga ditulis

$$A = \lambda N = \lambda N_0 e^{-\lambda t} \text{ atau } A = A_0 e^{-\lambda t} \quad (10-12)$$

dengan A_0 = aktivitas radioaktif meluruh pada waktu $t = 0$.

a. Waktu Paruh

Pada waktu aktivitas berubah menjadi setengah aktivitas mula-mula ($\frac{1}{2}A_0$), maka waktu yang diperlukan untuk peluruhan disebut *waktu paruh (half life)* dan disingkat dengan $T_{\frac{1}{2}}$. Jadi, untuk $N(t) = \frac{1}{2}N_0$ **Persamaan (10-11)** menjadi:

$$\frac{1}{2}N_0 = N_0 e^{-\lambda T_{\frac{1}{2}}} \Rightarrow \frac{1}{2} = e^{-\lambda T_{\frac{1}{2}}} \Rightarrow \ln \frac{1}{2} = -\lambda T_{\frac{1}{2}} \Rightarrow \ln 2 = \lambda T_{\frac{1}{2}}$$

sehingga

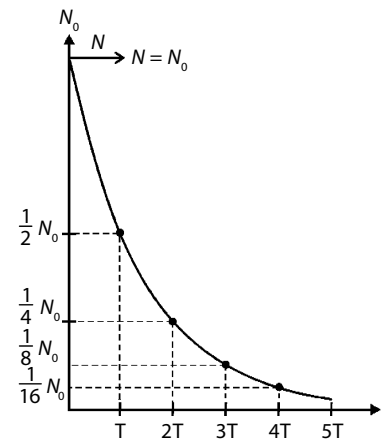
$$T_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda} \quad (10-13)$$

Konstanta peluruhan λ dapat dirumuskan dengan $\lambda = \frac{0,693}{T_{\frac{1}{2}}}$. Hubungan

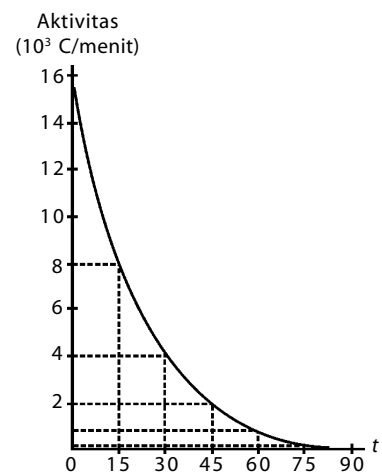
antara aktivitas atau jumlah atom dengan waktu paruh dilukiskan pada **Gambar 10.11**.

Dengan memerhatikan grafik pada **Gambar 10.11** berarti untuk $t = nT$ berlaku

$$N = \left(\frac{1}{2}\right)^n N_0 \text{ dengan } n = \frac{t}{T_{\frac{1}{2}}} \quad (10-14)$$



Gambar 10.10
Peluruhan inti atom



Gambar 10.11
Peluruhan unsur ^{23}Na dengan $T_{\frac{1}{2}} = 15$ jam.

Persamaan (10–14) menunjukkan hubungan antara inti atom yang belum meluruh (inti sisa) N , inti mula-mula N_0 , dan kelipatan waktu paruh. Jika setiap ruas dikalikan λ , akan didapatkan

$$\lambda N = \left(\frac{1}{2}\right)^n N_0 \lambda$$

$$A = \left(\frac{1}{2}\right)^n A_0 \quad (10-15)$$

Keterangan:

A = aktivitas unsur setelah waktu t

A_0 = aktivitas unsur mula-mula

b. Satuan Radioaktivitas

Aktivitas 1 gram ^{226}Ra dinyatakan sebagai satuan radioaktivitas sebesar 1 Curie (Ci). Oleh karena 1 gram ^{226}Ra mengandung $\frac{6,022 \times 10^{23}}{226}$ atom dengan laju peluruhan per detik sama dengan $\lambda = 1,38 \times 10^{-11}$, maka

$$\begin{aligned} 1 \text{ Curie} = 1 \text{ Ci} &= \frac{(1,38 \times 10^{-11})(6,022 \times 10^{23})}{226} \\ &= 3,7 \times 10^{10} \text{ disintegrasi/sekon} \end{aligned}$$

Satuan SI untuk radioaktivitas adalah Becquerel (Bq) yang didefinisikan sebagai aktivitas 1 disintegrasi/sekon. Dengan demikian, $1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq} = 37 \text{ GBq}$.

Contoh 10.4

Hitunglah tetapan peluruhan dari partikel pengion yang memiliki waktu paruh 4 tahun.

Jawab:

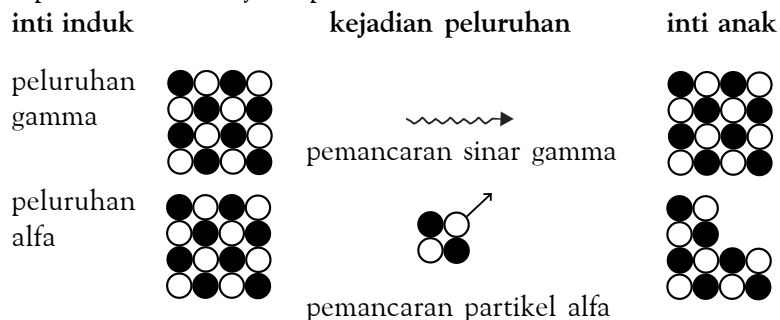
Diketahui: $T_{\frac{1}{2}} = 4$ tahun

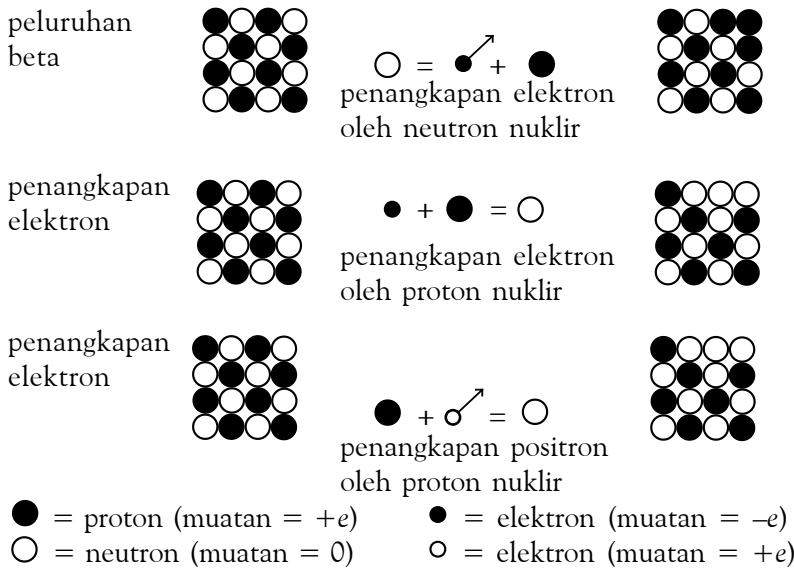
Dengan menggunakan persamaan $T_{\frac{1}{2}} = \frac{0,693}{\lambda}$, diperoleh

$$\lambda = \frac{0,693}{T_{\frac{1}{2}}} = \frac{0,693}{4} = 0,17/\text{tahun}$$

Jadi, tetapan peluruhan adalah 0,17/tahun.

Peluruhan radioaktif merupakan proses yang acak, yaitu inti tersebut meluruh secara tidak berkaitan satu dengan yang lainnya. Berikut ini diperlihatkan lima jenis peluruhan radioaktif.





Gambar 10.12
Lima jenis peluruhan radioaktif

Contoh 10.5

Aktivitas sebuah sumber radioaktif berkurang $\frac{1}{8}$ bagian dari aktivitas awalnya dalam selang waktu 30 jam. Tentukan waktu paruh dan tetapan peluruhannya.

Jawab:

Diketahui: $A = \frac{1}{8} A_0$
 $t = 30$ jam

Untuk menentukan waktu paruh, dapat digunakan persamaan

$$A = \left(\frac{1}{2}\right)^n A_0 \rightarrow \frac{1}{8} = \left(\frac{1}{2}\right)^n$$

$$\left(\frac{1}{2}\right)^3 = \left(\frac{1}{2}\right)^n$$

maka $n = 3$

$$\frac{t}{T_{\frac{1}{2}}} = 3 \rightarrow T_{\frac{1}{2}} = \frac{t}{3} \rightarrow \frac{30}{3} = 10 \text{ jam}$$

Jadi, waktu paruh sumber radioaktif adalah 10 jam.

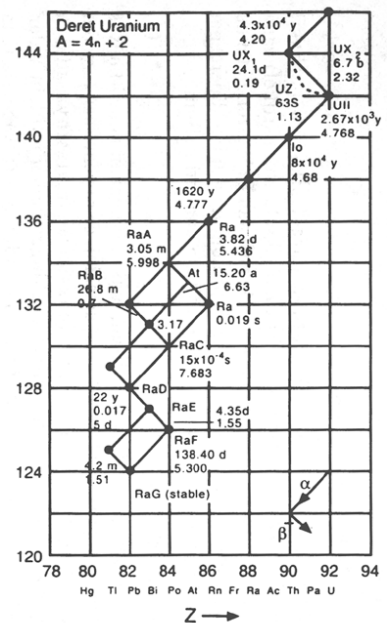
Untuk menentukan tetapan peluruhan, digunakan persamaan

$$\lambda = \frac{0,693}{T_{\frac{1}{2}}} = \frac{0,693}{10} = 0,0693/\text{jam}$$

Jadi, tetapan peluruhannya adalah 0,0693/jam.

4. Deret Radioaktif

Dalam pemancaran sinar radioaktif, inti yang terjadi tidak langsung menjadi inti stabil dan masih dapat memancarkan sinar radioaktif. Hal ini berlangsung secara terus-menerus sehingga diperoleh inti yang stabil. Misalnya, peluruhan $^{238}_{92}\text{U}$ akan meluruh menjadi inti atom $^{234}_{90}\text{Th}$ dan berakhir pada inti atom $^{206}_{82}\text{Pb}$ yang stabil. Oleh karena dimulai dari uranium, deret ini disebut deret uranium.



Sumber: Konsep Fisika Modern, 1983

Gambar 10.13
Deret uranium

Adapun deretan peluruhan α dan β yang berlangsung dari inti induk menjadi inti yang mantap sebagai hasil akhir untuk deret uranium ditunjukkan oleh **Gambar 10.13**.

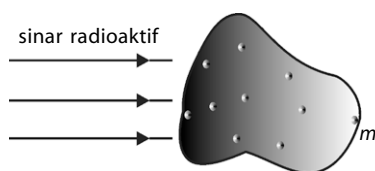
Proses peluruhan radioaktif berantai mengikuti suatu deret radioaktif. Ada empat deret radioaktif seperti tercantum pada **Tabel 10.5**.

Tabel 10.5

Deret Radioaktif

Nomor Massa	Deret	Induk	Umur Paruh Tahun	Produk Mantap Akhir
$4n$	Thorium	${}^{232}_{90}\text{Th}$	$1,39 \times 10^{10}$	${}^{208}_{82}\text{Pb}$
$4n + 1$	Neptunium	${}^{237}_{93}\text{Np}$	$2,25 \times 10^6$	${}^{209}_{83}\text{Bi}$
$4n + 2$	Uranium	${}^{238}_{92}\text{U}$	$4,51 \times 10^9$	${}^{206}_{82}\text{Pb}$
$4n + 3$	Aktinium	${}^{235}_{92}\text{U}$	$7,07 \times 10^8$	${}^{207}_{82}\text{Pb}$

Sumber: Konsep Fisika Modern, 1983



Gambar 10.14
Energi radiasi yang diserap materi bermassa m .

5. Pengertian Dosis Serap

Seperti dijelaskan pada awal bab, bahwa untuk mencapai kestabilannya setiap unsur radioaktif selalu memancarkan sinar radioaktif. Dalam perambatannya, sinar radioaktif tersebut membawa energi. Jika sinar radioaktif ini mengenai suatu materi, energinya akan diserap oleh materi tersebut. Perhatikan **Gambar 10.14**.

Banyaknya energi radiasi pengion yang diserap oleh materi per satuan massa tertentu disebut *dosis serap*. Secara matematis ditulis

$$D = \frac{E}{m} \quad (10-16)$$

Keterangan:

D = dosis serap

m = massa materi penyerap energi

E = energi radiasi

Satuan dosis serap dalam SI adalah gray (Gy).

Dengan $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg} = 100 \text{ rad}$.

Contoh 10.6

Suatu materi yang massanya 100 gram menyerap energi radiasi pengion berupa sinar gamma sebesar 2×10^{-4} Joule. Tentukanlah besar dosis serap materi itu.

Jawab:

Diketahui: $m = 100 \text{ gram} = 0,1 \text{ kg}$

$E = 2 \times 10^{-4} \text{ J}$

Hitung besarnya dosis serap dari suatu materi yang massanya 200 gram, jika materi tersebut menyerap energi radiasi pengion sebesar 4×10^{-4} joule.

$$D = \frac{E}{m} = \frac{2 \times 10^{-4} \text{ J}}{0,1 \text{ kg}} = 2 \times 10^{-3} \text{ J/kg}$$

Jadi, besar dosis serap materi itu adalah 2×10^{-3} joule/kg atau 2×10^{-3} gray.

Kata Kunci

- radioaktivitas
- fluoresensi
- eksitasi
- daya tembus
- peluruhan
- waktu paruh
- aktivitas
- dosis serap

6. Pengukuran Radioaktivitas

Sinar yang dipancarkan oleh unsur radioaktif tidak dapat dirasakan oleh manusia. Untuk itu diperlukan alat yang dapat mengukur dan mendeteksi keaktifan suatu unsur atau untuk mengetahui ada dan tidaknya sinar-sinar radioaktif.

Sinar yang dipancarkan oleh inti unsur radioaktif dapat mengionkan atom dari zat-zat yang dilaluinya. Alat untuk mendeteksi dan mengukur keaktifan suatu unsur dibuat berdasarkan sifat tersebut. Beberapa alat deteksi sinar radioaktif adalah emulsi film potret, pencacah Geiger-Muller, kamar kabut Wilson, dan sintilator.

a. Emulsi Film Potret

Sinar yang dipancarkan oleh unsur radioaktif, mengionkan lapisan emulsi sepanjang lintasan yang dilaluinya di atas permukaan film potret. Jika film potret itu dicuci dan dicetak, lintasan sinar radioaktif dapat dilihat dan diukur.

b. Pencacah Geiger-Muller

Pencacah Geiger-Muller disebut juga pencacah Geiger (*Geiger counter*). Pencacah Geiger adalah alat untuk mengukur keaktifan unsur radioaktif. Pencacah Geiger merupakan alat deteksi sinar radioaktif yang paling banyak digunakan. Alat pencacah Geiger ditunjukkan pada **Gambar 10.15**.

Peralatan ini terdiri atas sebuah tabung silinder terbuat dari logam. Di dalam tabung dipasang sebuah kawat konduktor yang halus. Kawat itu bertindak sebagai katode dan tabung sebagai anode. Tabung itu diisi dengan gas atau campuran gas dengan tekanan rendah (10 cmHg).

Tabung dan kawat diberi beda potensial kira-kira 1.000 volt untuk mempercepat ion dari gas yang terbentuk di dalam tabung. Sinar radioaktif yang masuk melalui jendela tipis pada salah satu ujung tabung akan mengionkan gas yang berada di dalam tabung. Arus listrik yang dihasilkan oleh ion yang terbentuk itu sangat lemah. Akan tetapi, beda tegangan 1.000 volt akan mempercepat ion itu. Ion yang dipercepat itu mengionkan lagi atom-atom gas yang lain sehingga arus listrik yang terjadi cukup besar. Dalam waktu yang singkat arus terputus, tetapi setiap kali partikel radioaktif masuk ke dalam tabung, timbul pulsa arus listrik dalam rangkaian. Pulsa ini diperkuat sehingga dapat dipakai untuk menyalakan rangkaian pencacah elektronik.

c. Kamar Kabut Wilson

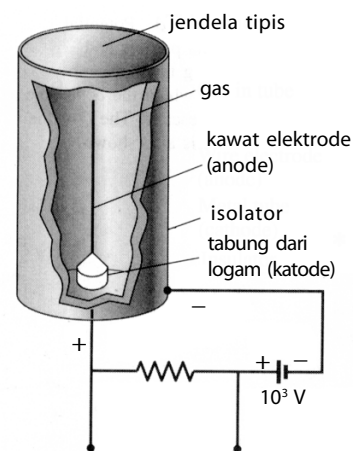
Kamar kabut Wilson adalah alat untuk melihat dan memotret lintasan partikel alfa yang melalui gas. Alat itu terdiri atas silinder tertutup dengan piston berisi udara bercampur uap air jenuh atau nitrogen.

Perhatikan **Gambar 10.17**. Pada dinding bagian dalam diletakkan unsur radioaktif (*R*). Partikel alfa yang dipancarkan oleh unsur itu akan mengionkan molekul-molekul gas di dalam silinder. Sementara itu, piston *P* ditarik keluar sehingga uap jenuh tadi akan mendingin secara tiba-tiba sehingga butir-butir uap air di dalam silinder menjadi jenuh. Ion-ion yang terbentuk sepanjang lintasan partikel alfa menarik butir-butir uap air, dan dapat dilihat atau dipotret jika gas di dalam silinder disorot dengan cahaya lampu.



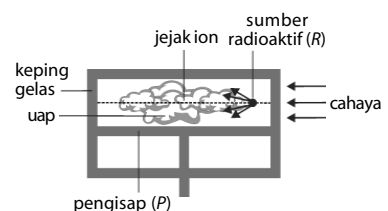
Sumber: *Conceptual Physics*, 1998

Gambar 10.15
Pencacah Geiger-Muller

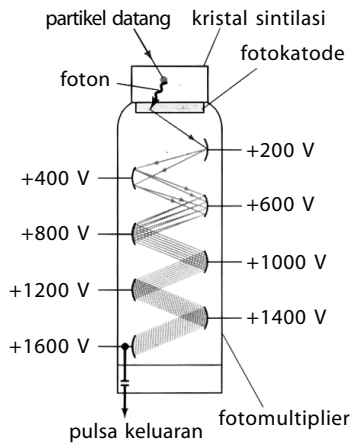


Sumber: *Physics for Scientist and Engineers*, 2000

Gambar 10.16
Bagian-bagian alat
pencacah Geiger-Muller



Gambar 10.17
Kamar kabut Wilson



Sumber: *Physics for Scientist and Engineers*, 2000

Gambar 10.18

Diagram sintilator yang dilengkapi dengan fotomultiplier

d. Sintilator (Detektor Sintilasi)

Prinsip kerja sintilator (*scintillation counter*) berdasarkan fluoresensi zat yang ditimbulkan oleh sinar radioaktif. Sinar radioaktif dijatuhkan ke permukaan layar fluoresensi. Cahaya yang dipancarkan oleh layar fluoresensi dijatuhkan ke atas permukaan logam sehingga permukaan logam tersebut mengeluarkan elektron. Kemudian, elektron tersebut dijatuhkan kembali ke atas permukaan logam kedua. Logam kedua mengeluarkan elektron lebih banyak daripada elektron yang keluar dari permukaan logam pertama.

Keping-keping logam yang dapat melipatgandakan elektron terdapat di dalam sebuah alat yang disebut fotomultiplier (*photomultiplier*). Fotomultiplier adalah alat untuk memperkuat pulsa arus listrik. Arus listrik tersebut berasal dari tembakan sinar radioaktif di atas layar fluoresensi. Pulsa arus listrik kemudian disalurkan ke alat pencatat seperti penguas suara, meter skala, dan lain-lain.

Tes Kompetensi Subbab B

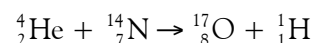
Kerjakanlah pada buku latihan.

- Perhatikan reaksi peluruhan berikut.

$${}_{92}^{235}\text{U} \xrightarrow{\text{A}} {}_{92}^{235}\text{U} \xrightarrow{\text{B}} {}_{91}^{234}\text{Pa}$$
 Tentukan partikel A dan B yang dipancarkan.
- Suatu unsur radioaktif memiliki waktu paruh $\frac{1}{15}$ menit. Hitung konstanta peluruhannya.
 - Jika konstanta peluruhan suatu bahan radioaktif $2,89 \times 10^{-3}$ kejadian/sekon, berapakah waktu paruhnya?
- Waktu paruh dari radon 3,9 hari. Berapa waktu yang diperlukan agar tersisa $\frac{1}{32}$ dari mula-mula?
- Suatu bahan memiliki HVL 9 cm. Jika tebal bahan 5 cm, berapa intensitas sinar radioaktif yang diserap oleh bahan tersebut?
- Sesudah 2 jam, seperenambelas bagian suatu unsur radioaktif masih tersisa. Hitung waktu paruh unsur tersebut.
- Sebuah fosil tulang binatang ditemukan oleh seorang arkeolog. Setelah diteliti, ternyata mengandung sisa karbon-14 sebesar 25% dibandingkan karbon-14 pada tulang binatang yang masih hidup. Jika waktu paruh karbon-14 itu 5.600 tahun, tentukan umur fosil itu.
- Massa unsur ${}_{79}^{200}\text{Au}$ radioaktif yang meluruh adalah 3×10^{-9} kg. Jika aktivitas unsur radioaktif itu $2,18 \times 10^{12}$ Bq, tentukan besar konstanta peluruhannya.

C. Reaksi Inti

Gejala radioaktif adalah aktivitas suatu inti menjadi inti lain. Pancaran sinar α hanya mengurangi nukleon dalam inti dengan dua proton dan dua neutron. Adapun pancaran sinar β hanya mengubah satu neutron dalam inti menjadi proton. Orang pertama yang mengamati reaksi inti adalah **Ernest Rutherford**. Pada 1919, **Rutherford** mempelajari gejala tumbukan antar partikel α dengan atom-atom gas nitrogen (N_2) dan menimbulkan suatu reaksi yang disebutnya reaksi inti. Hasil reaksi inti ditulis dengan



Perhatikan bahwa jumlah nomor atom dan jumlah nomor massa ruas kiri sama dengan jumlah nomor atom dan nomor massa ruas kanan.

Jumlah nomor atom sebelum reaksi $2 + 7 = 9$

Jumlah nomor atom sesudah reaksi $8 + 1 = 9$

Jumlah nomor massa sebelum reaksi $4 + 14 = 18$

Jumlah nomor massa sesudah reaksi $17 + 1 = 18$



Enrico Fermi (1901–1954)



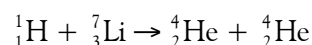
Sumber: Science Encyclopedia, 1998

Fermi adalah seorang fisikawan kelahiran Itali. Setelah tahun 1939, ia pergi ke Amerika Serikat untuk bekerja dan hidup disana. Ia dikenal karena menggunakan neutron untuk menembak atom yang dapat menghasilkan isotop. **Enrico Fermi** mendapat hadiah Nobel pada 1938. Pada 2 Desember 1942, reaksi rantai nuklir pertama dihasilkan oleh sebuah tim ilmuwan yang dipimpinnya. Percobaan yang sukses ini bertempat di lapangan Squash Universitas Chicago, Amerika Serikat. Reaksi rantai bekerja menyerupai penyalan korek api. Panas yang dihasilkan oleh gesekan pada waktu memantik korek api menyebabkan sebagian atom terbakar dan melepaskan lebih banyak panas sehingga menyebabkan reaksi terus-menerus berlangsung.

Pada setiap reaksi inti selalu berlaku hukum kekekalan berikut ini.

1. Hukum Kekekalan Momentum, yaitu jumlah momentum sebelum dan sesudah tumbukan adalah sama.
2. Hukum Kekekalan Nomor Atom, yaitu jumlah nomor atom sebelum dan sesudah reaksi sama.
3. Hukum Kekekalan Nomor Massa, yaitu jumlah nomor massa sebelum dan sesudah reaksi sama.
4. Hukum Kekekalan Energi Total, yaitu energi total sebelum dan sesudah reaksi sama.

Partikel proton (1_1P) dan neutron (1_0n) juga digunakan untuk mengganggu kestabilan inti agar inti itu terurai atau berdisintegrasi menjadi inti lain. **Cockroft** dan **Walton** pada 1932 melaporkan hasil reaksi inti ini dengan proton yang dipercepat melalui media listrik dengan persamaan reaksi inti:



1. Energi yang Dihasilkan dari Reaksi Inti

Reaksi inti dapat dituliskan dalam suatu persamaan



Keterangan:

X = inti sasaran b = partikel yang dihasilkan
 Y = inti baru yang dihasilkan Q = energi yang dihasilkan
 a = partikel penembak

Harga Q suatu reaksi inti didefinisikan sebagai perbedaan antara energi diam $X + a$ dan energi diam $Y + b$.

$$Q = [(m_x + m_a) - (m_y + m_b)] \times 931,5 \text{ MeV/sma} \quad (10-18)$$

Keterangan:

$Q > 0$ reaksi eksotermik, terdapat energi yang dibebaskan
 $Q < 0$ reaksi endotermik, terdapat energi yang diserap

Contoh 10.7

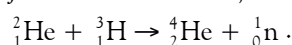
Hitunglah harga Q untuk reaksi $n + {}^{10}_5\text{B} \rightarrow {}^7_3\text{Li} + {}^4_2\text{He}$, jika $m_n = 1,0087$ sma; $m_B = 10,0129$ sma; $m_{Li} = 7,0160$ sma; $m_{He} = 4,0026$ sma.

Jawab:

$$\begin{aligned} Q &= [(m_x + m_a) - (m_y + m_b)] \times 931,5 \text{ MeV/sma} \\ &= [(1,0087 + 10,0129) - (4,0026 + 7,0160)] \text{ sma} \times 931,5 \text{ MeV/sma} \\ &= (0,003 \text{ sma}) (931,5 \text{ MeV/sma}) = 2,794 \text{ MeV} \end{aligned}$$

Contoh 10.8

Jika massa ${}^2_1\text{H} = 2,009$ sma, ${}^3_1\text{H} = 3,016$ sma, ${}^4_2\text{He} = 4,003$ sma, dan ${}^1_0n = 1,009$ sma. Jika $1 \text{ sma} = 931 \text{ MeV}$, hitung energi yang dibebaskan pada reaksi



Jawab:

Energi reaksi sama dengan energi reaktan dikurangi energi produk
 Energi reaktan = $(2,009 + 3,016) 931 \text{ MeV} = 4678,275 \text{ MeV}$
 Energi produk = $(4,003 + 1,009) 931 \text{ MeV} = 4666,172 \text{ MeV}$
 Energi reaksi = $4678,275 - 4666,172 = 12,103 \text{ MeV}$

Kata Kunci

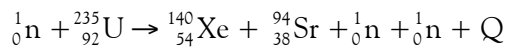
- energi reaksi inti
- reaksi eksotermik
- reaksi endotermik
- reaksi berantai
- reaksi fisi
- reaksi fusi

2. Pembuatan Isotop Radioaktif dari Reaksi Inti

Radioaktif dapat diproduksi melalui suatu reaksi inti, proses pembentukan isotop baru yang radioaktif itu dilakukan dengan penembakan isotop yang stabil dengan suatu partikel. Sebagai contoh, isotop radioaktif $^{197}_{79}\text{Au}$, diperoleh dari penembakan isotop stabil $^{196}_{79}\text{Au}$ oleh neutron dengan reaksi $^1_0\text{n} + ^{196}_{79}\text{Au} \rightarrow ^{197}_{79}\text{Au}$.

3. Reaksi Berantai

Penembakan neutron pada uranium-235, inti yang terbentuk dari penangkapan neutron tersebut tidak stabil sehingga segera terbelah menjadi inti-inti yang lebih ringan. Hasil pembelahan adalah sebagai berikut.



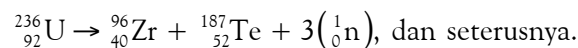
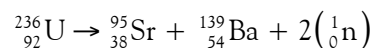
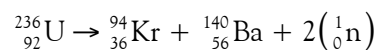
Isotop $^{140}_{54}\text{Xe}$ dan $^{94}_{38}\text{Sr}$ adalah isotop-isotop yang tidak stabil dengan memancarkan sinar β empat kali berturut-turut, isotop $^{140}_{54}\text{Xe}$ akhirnya berubah menjadi $^{140}_{58}\text{Ce}$ yang stabil. Demikian juga $^{94}_{38}\text{Sr}$ menjadi isotop stabil $^{94}_{54}\text{Xe}$ dengan memancarkan sinar β dua kali berturut-turut. Reaksi yang demikian disebut *reaksi berantai*. Q merupakan energi yang dilepaskan dalam bentuk kalor.

Pada reaktor nuklir, neutron cepat dikendalikan sehingga tidak terlalu banyak neutron yang terlibat dalam reaksi inti. Namun dalam bom atom, neutron cepat ini tidak terkendali sehingga terbentuk ledakan yang sangat dahsyat.

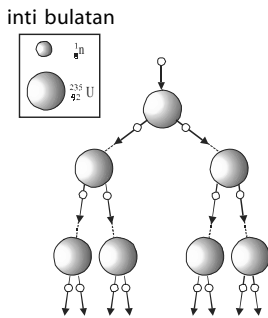
4. Reaksi Fisi

Penemuan reaksi fisi nuklir berawal dari eksperimen interaksi neutron dengan uranium. Tiga kelompok kerja yang berhasil menemukan fisi nuklir adalah **Enrico Fermi**, **Juliet Currie-Savit**, dan **Otta Hahn-Strassman** pada 1939. Mereka mengatakan bahwa penangkapan neutron oleh suatu inti uranium akan memberikan gaya pada energi permukaan sehingga inti akan terbelah dua dengan massa sebanding. Kemungkinan lain inti tereksitasi dan menghasilkan peluruhan gamma. Hal ini disebut *reaksi fisi*. Perhatikan **Gambar 10.20**.

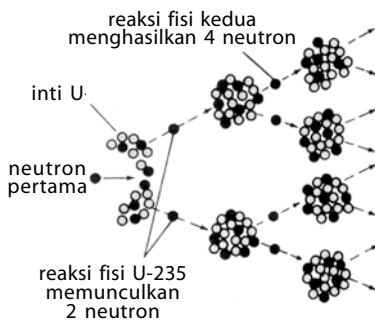
Gambar 10.20 memperlihatkan inti yang terbentuk ($^{236}_{92}\text{U}$) tidak stabil dan segera terbelah menjadi inti-inti lebih ringan yang stabil. Pasangan-pasangan yang terjadi pada fisi $^{236}_{92}\text{U}$ tidak menunjukkan pasangan yang khas, tetapi merupakan satu dari 40 kemungkinan yang terjadi di antaranya.



Pada hampir semua reaksi fisi terjadi pengurangan massa sekitar 8,2 sma, berarti $100\times$ lebih besar daripada massa yang hilang pada semua jenis reaksi peluruhannya, sebagai contoh, fisi ^{235}U dengan neutron lambat menghasilkan inti ^{45}Mo dan ^{139}La . Massa yang hilang dan energi yang dihasilkan dihitung sebagai berikut.

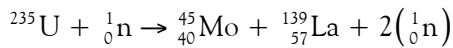


Gambar 10.19
Diagram reaksi berantai



Sumber: *Physics for O'Level*, 1990

Gambar 10.20
Pada reaksi pembelahan inti, jumlah neutron bertambah pada setiap tingkatan.



$$\Delta m = (m_u + m_n) - (m_{\text{Mo}} + m_{\text{La}} + 2m_n)$$

$$\Delta m = (235,0439 + 1,0087) - (94,905 + 138,9061 + 2,0174) = 0,233 \text{ sma.}$$

$$\begin{aligned} \text{Energi fisinya} &= 931 \text{ MeV/sma} (\Delta m) \\ &= (931 \text{ MeV/sma}) (0,233 \text{ sma}) \\ &= 208 \text{ MeV} \end{aligned}$$

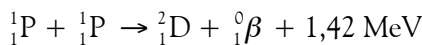
Hasil pembelahan inti uranium menghasilkan neutron yang baru (2 sampai 3 neutron), maka akan dapat terjadi proses fisi berantai. Neutron-neutron hasil pembelahan inti akan mengenai U^{235} yang lain dan menimbulkan reaksi yang sama secara berantai.

5. Reaksi Fusi

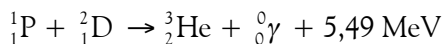
Reaksi fusi adalah penggabungan dua inti ringan menjadi sebuah inti yang lebih berat disertai dengan pelepasan energi. Energi yang dilepaskan lebih besar dibandingkan energi yang diperlukan untuk menggabungkan kedua inti. Energi fusi yang cukup besar diperoleh dari Matahari dan bintang yang merupakan sumber energi di alam semesta ini.

Reaksi fusi mengubah inti hidrogen menjadi inti helium. Gejala ini terjadi dalam kondisi bintang menurut siklus proton-proton, reaksinya adalah sebagai berikut.

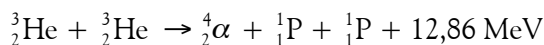
- Pada tahap awal reaksi, proton bergabung dengan proton membentuk deuterium ${}^2_1\text{D}$.



- Deuterium bergabung dengan proton membentuk inti tritium ${}^3_2\text{He}$.

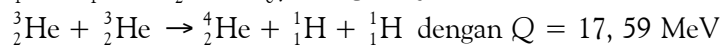
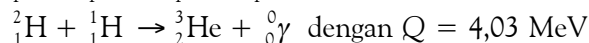
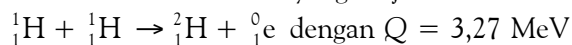


- Inti ${}^3_2\text{He}$ bereaksi menghasilkan ${}^4_2\text{He}$



Reaksi fusi yang terjadi di Matahari adalah reaksi penggabungan hidrogen (${}^1_1\text{H}$) menjadi inti helium (${}^4_2\text{He}$) sambil membebaskan energi yang sangat besar. Reaksi penggabungan inti diperlihatkan pada **Gambar 10.22**.

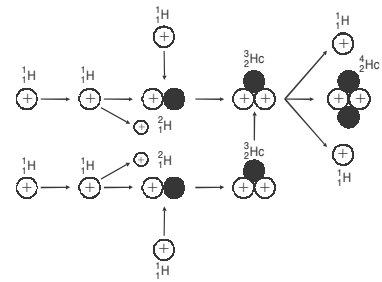
Contoh reaksi fusi yang terjadi di Matahari adalah sebagai berikut.



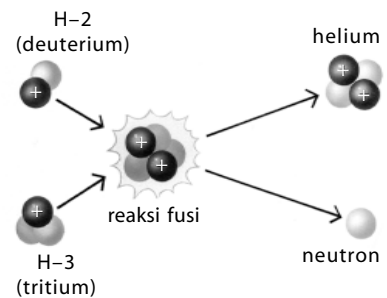
Contoh lain dari reaksi fusi adalah bom hidrogen. Pada mulanya, bom hidrogen dibuat setara dengan ledakan 10 megaton TNT (kira-kira 700 kali energi bom atom pertama). Bahan baku bom hidrogen adalah inti deuterium dan tritium yang kemudian bergabung membentuk inti helium.

Reaksi fusi yang berlangsung spontan hanya terjadi pada suhu dan tekanan yang sangat tinggi. Cara mengendalikan reaksi fusi tersebut sukar dilakukan karena memerlukan suhu sekitar 10^8K . Pada suhu tersebut semua materi akan berbentuk plasma panas sehingga sangat sukar mencapai partikel n yang cukup panas.

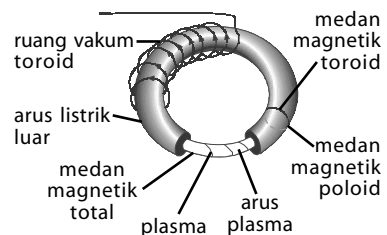
Salah satu usaha yang dilakukan untuk memerangkap plasma reaktif dalam medan magnetik dirancang oleh Rusia yang disebut *tokamak* dengan medan magnetik berbentuk kue donat (torus).



Gambar 10.21
Penggabungan empat inti hidrogen membentuk inti helium disertai pelepasan energi.



Gambar 10.22
Reaksi fusi di Matahari



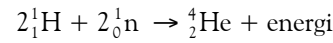
Sumber: *Physics for Scientist and Engineers*, 2000
Gambar 10.23
Tokamak

Contoh 10.9

Hitunglah energi (dalam MeV) yang dibebaskan oleh penggabungan dua proton dan dua neutron untuk membentuk sebuah inti helium. (Diketahui massa ${}^1_1\text{H} = 1,007825$ sma, ${}^4_2\text{He} = 4,002$ sma, ${}^1_0\text{n} = 1,008665$ sma, dan $1 \text{ sma} = 931 \text{ MeV}$)

Jawab:

Persamaan reaksi penggabungan intinya adalah



Energi sebelum reaksi

$$[2(1,007825) + 2(1,008665)] \times 931 \text{ MeV} = 3754,704 \text{ MeV}$$

Energi sesudah reaksi

$$(4,002)(931 \text{ MeV}) = 3725,862 \text{ MeV}$$

Energi reaksi = energi sebelum reaksi – energi sesudah reaksi

$$= 3754,704 - 3725,862 = 28,842 \text{ MeV}$$

Jadi, energi yang dibebaskan sebesar 28,842 MeV.

Tes Kompetensi Subbab C

Kerjakanlah pada buku latihan.

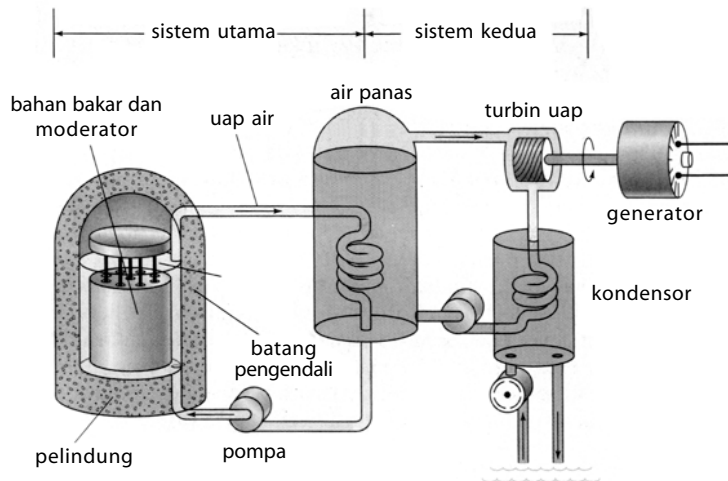
- Tentukan nama partikel X dari reaksi inti berikut ini.
 - ${}^7_3\text{Li} + {}^1_1\text{H} \rightarrow 2X$
 - ${}^{14}_7\text{N} + \alpha \rightarrow X + {}^2_1\text{H}$
 - ${}^{27}_{13}\text{Al} + \alpha \rightarrow {}^{30}_{15}\text{P} + X$
 - ${}^1_1\text{H} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^3_2\text{He} + X$
- Hitung energi yang dibebaskan pada reaksi inti
 ${}^7_4\text{Be} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^1_1\text{H} + {}^7_3\text{Li} + \text{energi}$, jika diketahui massa
 ${}^7_4\text{Be} = 7,01693$ sma, ${}^7_3\text{Li} = 7,0160$ sma, ${}^1_0\text{n} = 1,008665$ sma, dan $1 \text{ sma} = 931 \text{ MeV}$.
- Tentukan energi yang dilepaskan pada reaksi fisi berikut ini.
 ${}^{238}_{92}\text{U} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{83}_{36}\text{Kr} + {}^{137}_{56}\text{Ba} + 4{}^1_0\text{n} + \text{energi}$
Jika diketahui: massa ${}^{238}_{92}\text{U} = 238,0300$ sma, massa
 ${}^1_0\text{n} = 1,008665$ sma, massa ${}^{83}_{36}\text{Kr} = 83,8000$ sma, massa
 ${}^{137}_{56}\text{Ba} = 137,3300$ sma, dan $1 \text{ sma} = 931 \text{ MeV}$.
- Untuk reaksi berikut.
 - ${}^{27}_{13}\text{Al}(\alpha, n)_y^x\text{P}$, tentukan nomor massa x dan y .
 - $X(\alpha, P)_6^{13}\text{C}$, tentukan nuklida x .
 - ${}^{23}_{11}\text{Na}(\alpha, X)_{12}^{26}\text{Mg}$, tentukanlah partikel x .
- Tentukan energi ikat inti ${}^{28}_{14}\text{Si}$, ${}^{12}_6\text{C}$, ${}^{14}_7\text{N}$ yang massanya berturut-turut adalah 27,98578 sma, 12,00388 sma, dan 14,00753 sma.
- Pada reaksi inti neutron dengan tritium menghasilkan sebuah partikel alfa. Berapa banyaknya energi yang dikeluarkan pada reaksi inti tersebut? Tulis persamaan reaksinya. Massa ${}^6_3\text{Li} = 6,01543$ sma dan massa neutron
 ${}^2_1\text{D} = 2,1419$ sma.
- Perhatikan reaksi inti berikut.
 ${}^1_1\text{H} + {}^7_3\text{Li} \rightarrow 2({}^4_2\alpha) + Q$
Hitung energi yang dihasilkan jika diketahui massa
 ${}^1_1\text{H} = 1,008$ sma, ${}^7_3\text{Li} = 7,016$ sma, $2({}^4_2\alpha) = 4,003$ sma dan $1 \text{ sma} = 931,5 \text{ MeV}$
- Jawablah pertanyaan berikut.
 - Bagaimana reaksi fisi dapat dikendalikan? Jelaskan.
 - Apa yang menyebabkan kerusakan untuk mengadakan suatu reaksi fisi?
 - Apa yang dimaksud dengan radiasi dan bagaimana radiasi dapat berbahaya serta bermanfaat bagi manusia?

D. Reaktor Nuklir, Bom Nuklir, dan Radioisotop

1. Reaktor nuklir

Reaktor nuklir adalah tempat terjadinya reaksi berantai yang menyangkut fisi nuklir yang terkendali. Reaktor nuklir merupakan sumber energi sangat efisien. Energi yang dilepaskan dalam bentuk kalor dan dapat diambil dengan mengalirkan zat cair atau gas sebagai pendingin melalui bagian-bagian dalam reaktor itu.

Tabung yang biasa dipakai tingginya 10 m, berdiameter dalam 3 m, dan tebal dindingnya 20 cm. **Gambar 10.24** adalah perancangan dasar reaktor nuklir air-tekan. Air berlaku sebagai moderator dan pendingin untuk teras. Dalam reaktor air didih, uap air dibiarkan terjadi didalam tabung reaktor dan kemudian dipakai untuk menggerakkan turbin. Dalam reaktor air tekan, air yang mengalir melewati teras dipertahankan bertekanan tinggi sekitar 150 atm. Air yang masuk ke dalam tabung bertekanan tinggi memiliki suhu 280 °C dan meninggalkannya pada suhu 320 °C, melalui penukar kalor yang menghasilkan uap sehingga dapat memutar sebuah turbin.



Sumber: *Physics for Scientist and Engineers*, 2000

Bahan bakar reaktor air ringan adalah uranium oksida (UO_2) yang tertutup dalam tabung panjang dan sempit. Reaksi dimulai dengan sebuah neutron yang menumbuk inti sehingga menyebabkan pembelahan inti disertai dengan terlepasnya dua atau tiga neutron. Neutron mengalami perlambatan beberapa MeV menjadi energi termal melalui tumbukan dengan inti moderator, kemudian diteruskan dengan fisi. Selanjutnya, laju reaksi berantai dapat dikontrol menggunakan batang kontrol yang terbuat dari kadmium atau boron yang mudah menyerap neutron. Ketika batang ini dimasukkan lebih dalam ke dalam reaktor, laju reaksinya diredam, uap yang keluar dari turbin didinginkan menjadi air oleh kondensor, dan oleh pompa sekunder dimasukkan kembali ke alat penukar panas.

Reaktor nuklir pertama dibangun oleh **Enrico Fermi** (1901–1954) pada 1942 di Universitas Chicago, Amerika Serikat. Sampai saat ini telah dibangun berbagai jenis dan ukuran reaktor nuklir. Reaktor-reaktor nuklir tersebut memiliki beberapa komponen dasar, di antaranya elemen-elemen bahan bakar, batang kendali, moderator, dan perisai (*shielding*). Elemen



Informasi untuk Anda

Beberapa jenis limbah reaktor nuklir bersifat radioaktif. Limbah ini menghasilkan radiasi nuklir mematikan yang merusak sel-sel hidup. Beberapa jenis limbah radioaktif dapat bertahan ribuan tahun. Oleh karena itu, limbah yang disimpan rapat dalam peti kemas tertutup harus dipendam di bawah tanah. Untuk menangani limbah nuklir maka orang harus menggunakan pakaian seperti terlihat pada gambar berikut.

Information for You

Some kind of the nuclear reactor waste is radioactive material. This waste produce deadly nuclear radiation that damage living cells. Some kind of radioactive waste can last for thousand years. So, nuclear reactor waste placed in shielded box must be buried underground. Overcoming nuclear waste, people must wear suit like you have seen this picture.



Gambar 10.24

Perancangan dasar reaktor Nuklir air-tekan.

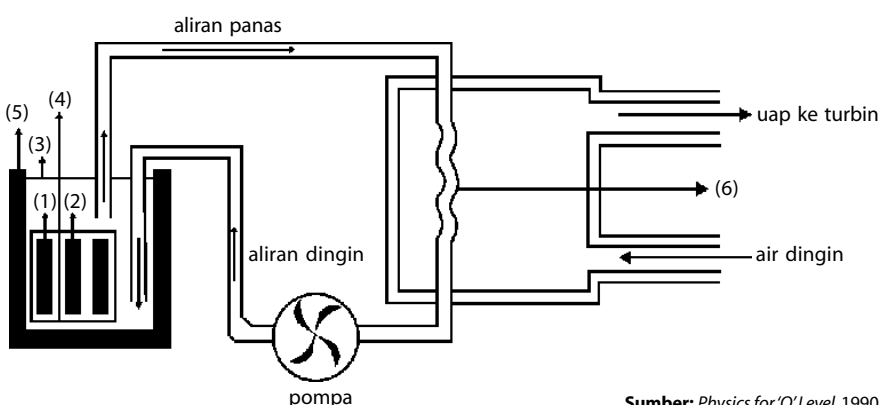


Gambar 10.25

Reaktor nuklir dengan moderator air

bahan bakar dan batang kendali terletak di dalam suatu tempat yang dinamakan teras reaktor. Komponen-komponen tersebut ditunjukkan pada Gambar 10.26.

Gambar 10.26
Komponen-komponen dasar sebuah reaktor atom: (1) teras reaktor; (2) elemen bahan bakar; (3) moderator; (4) batang kendali; (5) *shielding*; (6) pendingin.



Sumber: *Physics for 'O' Level*, 1990

Elemen-elemen bahan bakar reaktor nuklir berbentuk batang-batang tipis. Bahan bakar yang dipakai pada umumnya adalah unsur-unsur yang memiliki sifat dapat bereaksi secara fisi, misalnya ${}^{235}_{92}\text{U}$, ${}^{238}_{92}\text{U}$, dan ${}^{239}_{94}\text{Pu}$.

Moderator berfungsi untuk memperlambat kelajuan neutron-neutron yang dibebaskan selama proses pembelahan inti (fisi) berlangsung. Mengapa laju neutron harus diperlambat? Sebuah inti ${}^{235}_{92}\text{U}$ akan lebih mudah menangkap neutron lambat daripada menangkap neutron cepat. Akan tetapi, neutron-neutron yang dipancarkan selama proses reaksi fisi berlangsung bergerak dengan kelajuan tinggi. Oleh karena itu, diperlukan moderator. Moderator yang paling umum digunakan adalah air berat (D_2O). Salah satu keunggulan moderator air berat adalah dapat berfungsi sebagai pendingin teras reaktor.

Ketika sebuah neutron berenergi tinggi keluar dari sebuah elemen bahan bakar, neutron tersebut memasuki air dan bertumbukan dengan molekul-molekul air. Neutron cepat akan kehilangan sebagian energinya selama menumbuk atom-atom air sehingga laju neutron tersebut menjadi lambat.

Batang kendali berfungsi untuk menyerap kelebihan neutron yang dihasilkan dari reaksi pembelahan inti (fisi) sehingga reaksi fisi berantai yang terjadi di dalam reaktor dapat dikendalikan. Batang kendali biasanya terbuat dari kadmium atau boron.

Batang kendali menjaga agar setiap pembelahan inti hanya menghasilkan satu pembelahan tambahan saja. Jika neutron-neutron dari tiap pembelahan menghasilkan pembelahan tambahan yang lebih besar dari satu pembelahan, batang kendali akan ditekan masuk ke dalam reaktor sehingga kelebihan neutron hasil reaksi diserap oleh batang kendali. Sebaliknya, jika neutron-neutron dari tiap pembelahan, menghasilkan pembelahan tambahan yang lebih kecil dari satu pembelahan, batang kendali sebagian ditarik menjauhi teras reaktor sehingga neutron yang diserap lebih sedikit.

Inti atom hasil pembelahan dapat menghasilkan radiasi. Agar para pekerja di sekitar reaktor dapat bertugas dengan aman dari radiasi ini, dibuat perisai beton untuk menahan radiasi yang dihasilkan selama proses reaksi fisi berlangsung.

Energi yang dihasilkan pada proses reaksi fisi berupa panas. Sistem



Informasi untuk Anda

Sebuah reaktor nuklir tidak dapat meledak seperti bom atom. Akan tetapi, suatu kecelakaan pada pusat tenaga nuklir dapat menimbulkan akibat yang merusak sejumlah besar wilayah sekitarnya. Pada 1986, terjadi kecelakaan nuklir terbesar di pusat tenaga nuklir Chernobyl di Ukraina. Kecelakaan ini melepaskan zat radioaktif ke dalam atmosfer dan mengakibatkan gangguan kesehatan yang hebat pada penduduk di sekitar Chernobyl. Penduduk di Eropa pun mendapatkan dampak yang tidak kecil.

Information for You

A nuclear reactor can not explode like atom bomb. But, an accident in centre of the nuclear power can cause a large destruction. In 1986, the biggest nuclear accident happened in the Chernobyl nuclear power plant, Ukraine. This accident released radioactive material to the atmosphere and caused severe health disorder to civilians near by some European also got the serious effect.



Otto Hann



Sumber: Science Encyclopedia, 1998

Otto Hann lahir di Frankfurt, Jerman. Ia mendapatkan gelar Ph.D dari Universitas Marburg pada 1901. **Hann** mempelajari beberapa unsur radioaktif, termasuk aktinium dan thorium. Pada 1917, ia dan **Lise Meitner** berbagi penghargaan atas penemuan logam radioaktif yang diberi nama protaktinium. Pada 1944, **Hann** mendapatkan hadiah Nobel bidang kimia untuk keberhasilannya dalam penemuan pembelahan inti. Proses pembelahan inti itu disebut fisi nuklir. Para ilmuwan di Amerika Serikat menggunakan hasil penemuan **Hann** ini untuk membuat bom atom pada awal 1940-an. Sejak saat itu penggunaan fisi nuklir untuk tujuan damai pun dikembangkan.

pemindahan panas mutlak diperlukan pada suatu reaktor nuklir. Hal tersebut bertujuan memindahkan panas yang dihasilkan reaksi fisi dari moderator (pendingin primer) ke pendingin sekunder. Pemindahan panas ini sangat penting karena pendingin primer biasanya merupakan suatu rangkaian tertutup. Pendingin dikembalikan lagi ke reaktor setelah panas yang dibawanya dari teras reaktor dipindahkan ke pendingin sekunder.

Berdasarkan kegunaannya, reaktor nuklir dapat dibedakan menjadi

a. Reaktor Daya

Reaktor daya adalah reaktor yang dapat menghasilkan tenaga listrik. Reaktor daya pada umumnya merupakan reaktor komersial. Misalnya, dimanfaatkan untuk PLTN (Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir).

b. Reaktor Produksi Isotop

Reaktor produksi isotop adalah reaktor yang menghasilkan radioisotop yang banyak digunakan dalam bidang kedokteran, industri, biologi, dan farmasi.

c. Reaktor Penelitian

Reaktor penelitian adalah reaktor yang digunakan untuk penelitian di bidang pertanian, peternakan, industri, kedokteran, dan sains.

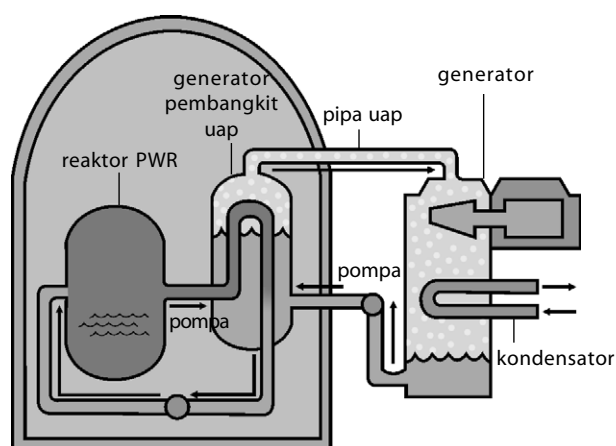
Indonesia memiliki tiga reaktor penelitian dan produksi isotop yang berada di Bandung, Yogyakarta, dan Serpong. Reaktor yang berada di Bandung diberi nama Triga Mark II (*Training, Research, and Isotop Production by General Atomic II*), di Yogyakarta diberi nama reaktor Kartini, sedangkan yang berada di Serpong diberi nama MPR 30 (*Multi Purpose Reactor*) yang memiliki daya 30 Mwatt.

Seperti telah dibahas sebelumnya, salah satu pemanfaatan nuklir adalah untuk PLTN (Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir).

Berdasarkan jenis pendinginnya, ada dua jenis PLTN, yaitu PLTN dengan sistem PWR (*Pressurized Water Reactor*) dan BWR (*Boiling Water Reactor*).

a. PLTN dengan Sistem PWR

Bagan PLTN dengan sistem PWR ditunjukkan pada **Gambar 10.27**. Air yang mengalir melewati teras reaktor dipertahankan agar bertekanan tinggi ($P > 150$ atm). Hal ini bertujuan mencegah terjadinya penguapan air yang bersuhu 300°C . Dalam reaktor dengan sistem PWR, panas yang dihasilkan dari reaksi inti diangkut keluar oleh pendingin primer dengan cara dipompa terus-menerus dan dialirkan menuju generator pembangkit uap sehingga pada pembangkit uap dihasilkan uap bertekanan tinggi. Uap bertekanan tinggi ini digunakan untuk memutar turbin yang dikopel dengan generator listrik hingga dihasilkan energi listrik. Setelah keluar dari turbin, uap didinginkan kembali oleh kondensator hingga menjadi air, kemudian dikembalikan lagi untuk mengangkut panas kembali.



Sumber: Fundamental of Physics, 2001

Gambar 10.27

Bagan PLTN dengan sistem PWR

b. PLTN dengan Sistem BWR

Pada sistem BWR, tekanan air yang mengalir melewati teras reaktor lebih rendah daripada sistem PWR, yaitu sekitar 70 atm. Air ini diuapkan dalam tabung reaktor dan dialirkan untuk memutar turbin sehingga



Tantangan untuk Anda

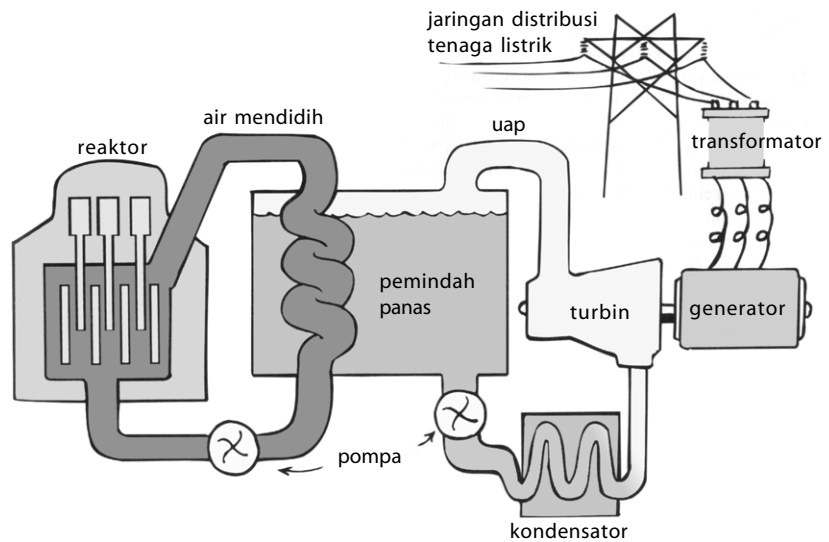
Mengapa molekul dari uranium (U-235) lebih cepat bergerak daripada molekul U-238 pada suhu yang sama?



Gambar 10.28

Bagan PLTN dengan sistem BWR

dihasilkan energi listrik. Uap panas yang masuk ke ruang turbin ini dimasukkan ke dalam kondensator sehingga berubah menjadi air, kemudian dipompa kembali memasuki ruang teras reaktor. Bagian PLTN dengan sistem BWR ditunjukkan pada Gambar 10.28.



Sumber: Conceptual Physics, 1998

Kata Kunci

- reaktor nuklir
- reaktor daya
- reaktor produksi isotop
- reaktor penelitian
- sistem PWR
- sistem BWR

Tugas Anda 10.2

Apakah Anda pernah mendengar tragedi Chernobyl? Chernobyl merupakan pembangkit listrik tenaga nuklir di Ukraina yang mengalami kebocoran. Carilah informasi dari berbagai sumber, mengapa kebocoran ini bisa terjadi?

2. Bom Nuklir

Anda pasti sudah sering mendengar istilah bom atom atau bom nuklir. Bom nuklir merupakan bom yang menggunakan energi dari tenaga nuklir. Bom nuklir terdiri atas dua macam, yaitu bom fisi nuklir dan bom fusi nuklir.

Bom fisi nuklir memanfaatkan energi sangat besar yang dilepaskan sesudah reaksi pembelahan inti. Bahan bakar yang digunakan adalah uranium U-235 atau plutonium Pu-239. Uranium dapat ditemukan di alam, tetapi plutonium hanya dapat diperoleh dari reaksi fisi di teras reaktor nuklir.

Prinsip kerja bom fisi hampir sama dengan PLTN. Bahan bakar berupa U-235 atau Pu-239 membelah menjadi beberapa inti, beberapa neutron, dan sejumlah energi. Agar reaksi pembelahannya tidak terkendali, bahan bakar tersebut harus berada dalam massa kritis yaitu massa minimum yang menyebabkan reaksi tak terkendali. Jika massa bahan bakar dibawah massa kritis, jumlah neutron yang bocor lebih banyak dari neutron yang membelah. Adapun dalam massa kritis, reaksi pembelahan dapat terjadi secara serentak. Artinya, waktu jeda antar reaksi hanya berorde mikrodetik atau milidetik. Akibat reaksi pembelahan yang serentak ini, energi yang dilepaskan dapat terakumulasi.

Ketika terjadi ledakan, sebagian besar energi yang dihasilkan berupa energi kinetik. Selain itu, dihasilkan juga radiasi panas, kilatan cahaya dan emisi radioaktif. Fakta tentang dahsyatnya kekuatan bom fisi nuklir ini terlihat jelas di kota Hiroshima dan Nagasaki, Jepang.

3. Radioisotop

a. Pembuatan Radioisotop

Radioisotop adalah isotop-isotop yang tidak stabil. Isotop yang tidak stabil selalu memancarkan sinar-sinar radioaktif untuk menjadi isotop-isotop stabil. Pada umumnya, radioaktif yang digunakan dalam berbagai

keperluan tidak tersedia di alam karena waktu paruh dari nuklida aktif suatu radioaktif tidak terlalu lama. Oleh karena itu, radioisotop tersebut harus dibuat dari nuklida stabil alamiah dengan reaksi inti. Cara yang banyak dipakai adalah dengan menembak inti stabil dengan partikel neutron. Contoh radioisotop buatan Pusat Penelitian Tenaga Nuklir (PPTN) adalah ^{24}Na , ^{32}P , ^{51}Cr , ^{99}Tc , dan ^{131}I .

b. Penggunaan Radioisotop

Penggunaan radioisotop antara lain sebagai berikut.

1) Dalam bidang pertanian

Di Indonesia, Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) sebagai lembaga penelitian telah melakukan penelitian dalam bidang pertanian dengan teknologi mutasi radiasi. Mutasi radiasi digunakan untuk mendapatkan tanaman dengan varietas baru yang unggul.

2) Dalam bidang industri

Dalam bidang industri, radioisotop digunakan untuk mengukur ketebalan material yang dihasilkan oleh suatu pabrik. Misalnya, radiasi sinar beta digunakan untuk mengatur ketebalan kertas di pabrik kertas dan sinar gamma digunakan untuk mengatur ketebalan baja.

Di Indonesia, radioisotop telah digunakan dalam teknik polimerisasi radiasi. Misalnya, dalam vulkanisasi lateks alam dan pelapisan permukaan kayu.

3) Dalam bidang hidrologi

Dalam bidang hidrologi, radioisotop digunakan untuk mengukur laju aliran atau debit aliran fluida dalam pipa, saluran terbuka, sungai, serta air dalam tanah. Radioisotop dapat juga digunakan untuk mendeteksi kebocoran pipa penyalur yang ditanam di dalam tanah.

4) Dalam bidang kedokteran

Cabang ilmu kedokteran yang memanfaatkan gelombang elektromagnetik pendek, seperti sinar-X disebut radiologi. Radiologi dimanfaatkan untuk menunjang diagnosis penyakit.

Dalam dunia kedokteran nuklir, prinsip radiologi dimanfaatkan dengan memakai isotop radioaktif yang disuntikkan ke dalam tubuh. Kemudian, isotop tersebut ditangkap oleh detektor di luar tubuh sehingga diperoleh gambaran yang menunjukkan distribusinya di dalam tubuh. Sebagai contoh, untuk mengetahui letak penyempitan pembuluh darah pada penderita penyakit penyempitan pembuluh darah, digunakan radioisotop natrium. Kemudian, jejak radioaktif tersebut dirunut dengan menggunakan pencacah Geiger. Letak penyempitan pembuluh darah ditunjukkan dengan terhentinya aliran natrium.

Selain digunakan untuk mendiagnosis penyakit, radioisotop juga digunakan untuk terapi radiasi. Terapi radiasi adalah cara pengobatan dengan memakai radiasi. Terapi seperti ini biasanya digunakan dalam pengobatan kanker. Pemberian terapi dapat menyembuhkan, mengurangi gejala, atau mencegah penyebaran kanker, bergantung pada jenis dan stadium kanker.

5) Dalam bidang paleotografi

Selain dalam bidang-bidang yang telah disebutkan di atas, radioisotop juga digunakan untuk menentukan umur batuan, fosil, dan benda-benda purbakala. Penentuan umur memiliki peranan penting antara lain untuk mengetahui umur fosil dari masa ribuan tahun yang lalu. Untuk menentukan umur fosil digunakan radioisotop karbon-14 (C-14) yang biasa disebut radiokarbon.



Informasi untuk Anda



Kedua tangan ini memegang seongkah uranium-235. Isotop dari uranium yang digunakan sebagai bahan dalam reaktor nuklir. Uranium merupakan salah satu logam berat, seongkah kecil uranium ini massanya 4,5 kg dan harganya lebih dari 200.000 dolar. Sebelum memegang uranium, tangan harus dilindungi dengan sarung tangan khusus.

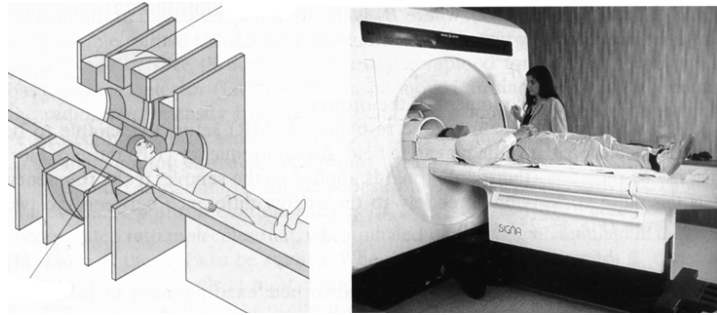
Information for You

This two hand hold a slab of Uranium-235. It is uranium isotope used as material in nuclear reactor. Uranium is one of the heavy metal, that small uranium slab weights 4,5 kg and the price is more than 200.000 dollars. Before holding uranium, hands must be covered by a special handgloves.

Tugas Anda 10.3

Carilah foto-foto tentang kondisi kota dan warga Hiroshima dan Nagasaki setelah pengeboman oleh Amerika Serikat. **Diskusikanlah** bersama teman sekelas Anda tentang dampak negatif bom atom. **Diskusikan** juga apakah ada dampak positif dari bom atom.

Gambar 10.29
Magnetic Resonance Imaging



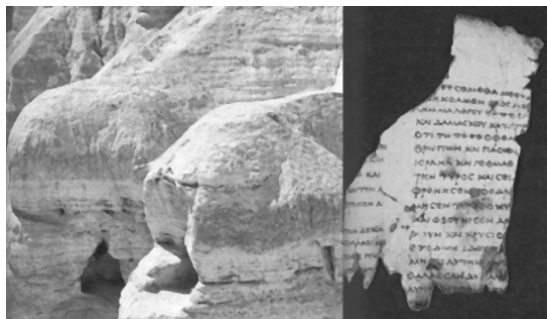
Sumber: *Physics for Scientist and Engineers*, 2000

Isotop karbon alamiah hanya memiliki nomor massa atom 12, tetapi radiokarbon memiliki nomor massa 14. Isotop ini terbentuk di alam pada lapisan atmosfer Bumi bagian atas. Sinar kosmik dari angkasa luar menabrak atom-atom di atmosfer bagian atas. Akibatnya, akan terbebaskan elektron, proton, neutron, dan partikel lain. Jika atom nitrogen menangkap neutron itu, atom nitrogen akan berubah menjadi atom C-14 sambil melepaskan proton. Radiokarbon ini berada di atmosfer sebagai karbon dioksida. Fotosintesis menyebabkan C-14 masuk ke dalam tumbuhan sehingga pada akhirnya seluruh makhluk hidup akan mengandung radiokarbon. Selain terus-menerus terbentuk, C-14 juga akan terus-menerus menghilang karena meluruh.

Dalam makhluk hidup yang sudah mati, kadar radiokarbon akan berkurang terus karena meluruh. Setiap 5.700 tahun atom-atom radiokarbon itu tinggal separuh. Kenyataan ini merupakan dasar penetapan umur fosil yang pertama kali dikembangkan oleh **Willard F. Libby** pada 1949-an.

Contoh penanggalan dengan menggunakan isotop karbon adalah penanggalan usia sebuah gulungan perkamen yang ditemukan di sebuah gua di Laut Mati.

Gambar 10.30
Karbon dapat digunakan untuk menentukan usia sebuah gulungan perkamen yang ditemukan di sebuah gua di Laut Mati.



Sumber: *Fundamental of Physics*, 2001

Mari Mencari Tahu



Tantangan untuk Anda

Apakah radioisotop yang disuntikkan ke dalam tubuh pasien untuk mendiagnosis penyakit, membahayakan pasien itu sendiri?

Pernahkah Anda mendengar atau membaca tentang *Nuclear Non-Proliferation Treaty*? Itu adalah perjanjian tentang pembatasan penyebaran dan pengurangan bom nuklir di dunia. Carilah informasi dari berbagai sumber tentang perjanjian tersebut. Negara mana sajakah yang termasuk negara berkekuatan nuklir? Buatlah tulisan dari informasi yang Anda dapatkan. Kumpulkan tulisan tersebut kepada guru Anda. Tulisan yang paling bagus akan dipresentasikan oleh siswa yang bersangkutan di depan kelas.

Tes Kompetensi Subbab D

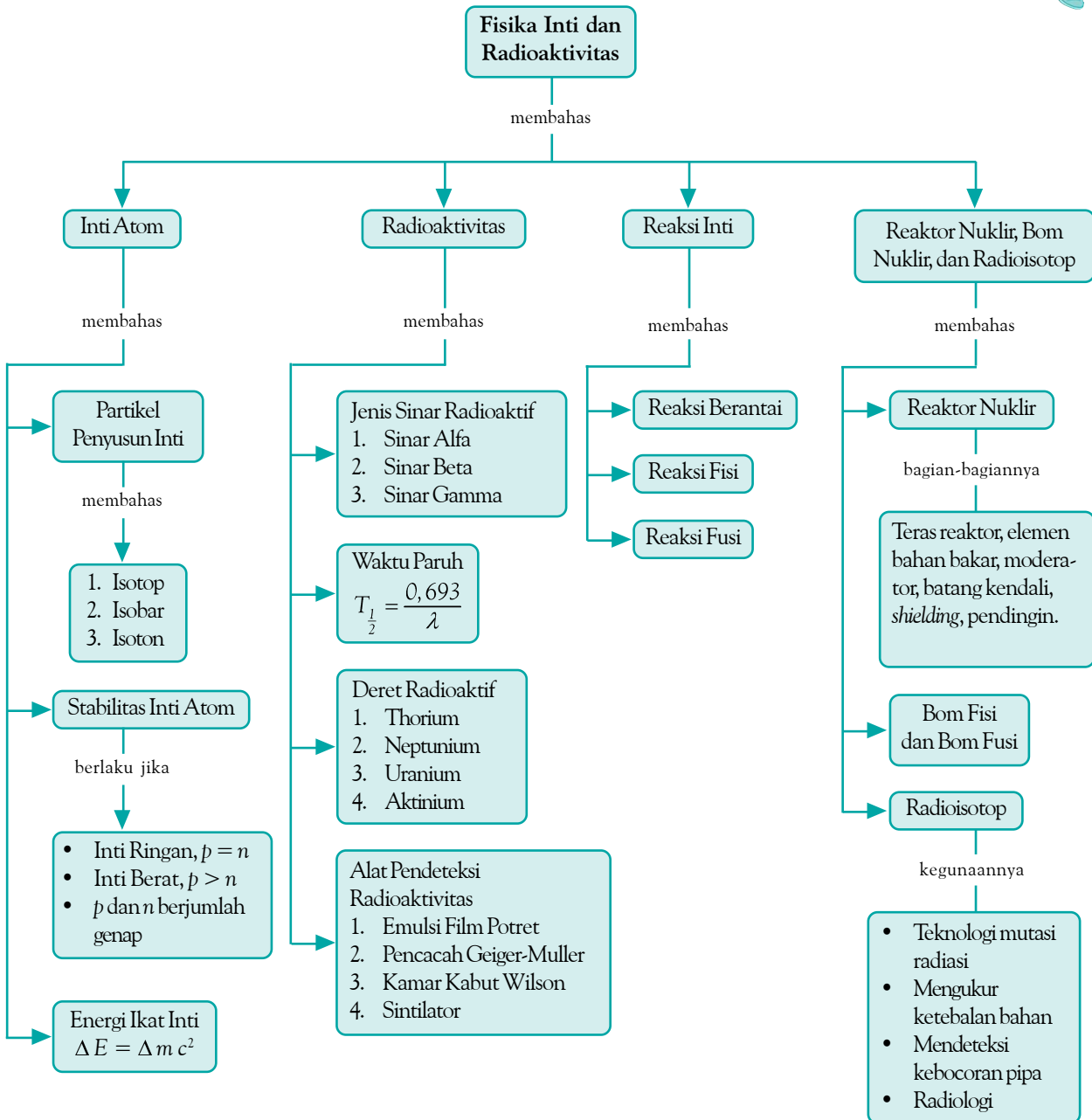
Kerjakanlah pada buku latihan.

1. Sebutkan bagian-bagian utama dari sebuah reaktor nuklir.
2. Jelaskan fungsi dari
 - a. moderator;
 - b. batang kendali;
 - c. perisai.
3. Sebutkan jenis-jenis reaktor berdasarkan kegunaannya.
4. Jelaskan proses perubahan energi pada PLTN dengan sistem PWR sampai dihasilkannya energi listrik.
5. Jelaskan penggunaan radioisotop dalam bidang kedokteran.

Rangkuman

1. Inti atom terdiri atas proton dan neutron. Kedua partikel penyusun inti ini disebut nukleon. Proton bermuatan positif, sedangkan neutron tidak bermuatan listrik.
2. Untuk memberikan spesifikasi terhadap komposisi inti digunakan istilah nuklida yang dinyatakan dengan notasi A_ZX , dengan X = jenis unsur; A = nomor massa; Z = nomor atom; N = jumlah neutron (A–Z).
3. Proses hilangnya sebagian massa neutron menjadi energi ikat inti disebut defek massa. Proses ini terjadi pada pembentukan semua nuklida.
4. Energi ikat inti belum dapat menggambarkan kestabilan nuklida, kestabilan nuklida dipengaruhi oleh energi ikat rata-rata per nukleon.
5. Terdapat tiga macam pemancaran dari unsur radium, yaitu pemancaran alfa, pemancaran beta, dan pemancaran gamma.
6. Waktu penuh $(T_{\frac{1}{2}})$, adalah waktu yang dibutuhkan sejumlah unsur radioaktif untuk meluruh menjadi setengah jumlah semula.
7. Dalam reaksi inti berlaku Hukum Kekekalan Nomor Atom dan Nomor Massa serta Hukum Kekekalan Energi dan Momentum.
8. Reaksi fusi adalah bergabungnya dua inti ringan membentuk sebuah inti lebih berat sambil membebaskan energi sangat besar.
9. Reaksi fisi adalah reaksi pembelahan suatu inti berat ketika ditembaki oleh partikel berenergi tinggi yang keluar dari sinklotron atau ketika menyerap neutron lambat.
10. Reaktor nuklir adalah tempat terjadinya reaksi berantai yang mengangkut fisi nuklir yang terkendali. Komponen dasar reaktor nuklir adalah teras reaktor, elemen bahan bakar, moderator, batang kendali, *shielding*, dan pendingin.
11. Bom nuklir terdiri atas dua macam, yaitu bom fisi nuklir dan bom fusi nuklir. Bom fusi nuklir memanfaatkan energi sangat besar yang dilepaskan sesudah reaksi pembelahan inti. Fakta kedahsyatannya terlihat di kota Hiroshima dan Nagasaki, Jepang.
12. Radioisotop adalah isotop-isotop yang tidak stabil. Radioisotop digunakan dalam teknologi mutasi radiasi, teknik polimerisasi radiasi, teknologi pendeteksi kebocoran, teknologi radiologi, teknologi penentu umur suatu bahan, dan lain-lain.

Peta Konsep



Refleksi

Setelah mempelajari bab ini, tentu Anda telah memahami bagian-bagian penyusunan inti dan bagaimana pengaruh rekayasa penyusunan inti tersebut. Anda juga tentu telah memahami mengenai radioaktivitas dan peluruhan serta perhitungan-perhitungan yang ada di dalamnya. Dari keseluruhan materi yang ada pada bab ini, bagian mana yang menurut

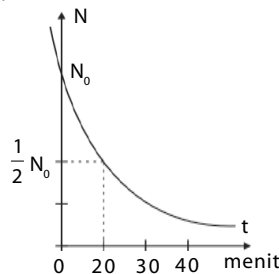
Anda sulit dipahami? Coba Anda diskusikan dengan teman atau guru Fisika Anda.

Banyak sekali manfaat mempelajari Fisika Inti dan Radioaktivitas. Salah satunya adalah dibangunnya PLTN yang hemat bahan bakar. Coba Anda cari manfaat lain mempelajari bab ini. Diskusikan hasilnya bersama teman-teman Anda.

Tes Kompetensi Bab 10

A. Pilihlah salah satu jawaban yang paling benar.

- Sebuah atom ${}_{92}^{238}\text{U}$ memiliki
 - 92 elektron, 92 proton, dan 146 neutron
 - 92 elektron, 146 proton, dan 92 neutron
 - 146 elektron, 92 proton, dan 92 neutron
 - 238 elektron, 146 proton, dan 92 neutron
 - 238 elektron, 238 proton, dan 92 neutron
- Hasil suatu peluruhan inti radioaktif adalah sinar alfa, sinar gamma, dan inti ${}_{86}^{222}\text{Rn}$. Inti induknya adalah
 - ${}_{86}^{224}\text{Po}$
 - ${}_{88}^{226}\text{Ra}$
 - ${}_{88}^{228}\text{Rn}$
 - ${}_{87}^{224}\text{Fr}$
 - ${}_{89}^{226}\text{Ac}$
- Sesudah 2 jam, seperenambelas bagian suatu unsur radioaktif masih bersifat radioaktif. Waktu paruh unsur tersebut adalah
 - 15 menit
 - 30 menit
 - 45 menit
 - 60 menit
 - 120 menit
- Dalam reaksi inti atom tidak berlaku
 - Hukum Kekekalan Energi
 - Hukum Kekekalan Massa Atom
 - Hukum Kekekalan Momentum
 - Hukum Kekekalan Nomor Atom
 - Hukum Kekekalan Energi Kinetik
- ${}_{92}^{238}\text{U}$ meluruh menjadi isotop timbal ${}_{82}^{206}\text{Pb}$ oleh emisi 8 partikel alfa dan oleh emisi elektron sebanyak
 - 6
 - 5
 - 4
 - 3
 - 2
- Dari proses-proses berikut, yang merupakan contoh dari peristiwa fusi adalah
 - pembentukan helium dari hidrogen
 - pembentukan air dari hidrogen dan oksigen
 - pembentukan barium dari kripton dan uranium
 - pembentukan timbal dari radium oleh peluruhan radioaktif
 - pembentukan oksigen dari natrium yang ditembak dengan partikel alfa
- Berdasarkan grafik peluruhan berikut ini, maka jumlah zat radioaktif setelah 1 jam adalah
 - $\frac{1}{4}N_0$
 - $\frac{1}{8}N_0$
 - $\frac{1}{6}N_0$
 - $\frac{1}{32}N_0$
 - $\frac{1}{64}N_0$



- Pada saat peluru ${}_{2}^{4}\alpha$ ditembakkan kepada atom ${}_{7}^{14}\text{N}$ dihasilkan proton dengan reaksi:

$${}_{2}^{4}\alpha + {}_{7}^{14}\text{N} \rightarrow {}_{1}^{1}\text{H} + \text{X}$$

Jumlah proton dan neutron dalam atom X masing-masing adalah

- 7 dan 9
 - 8 dan 7
 - 8 dan 9
 - 9 dan 7
 - 9 dan 9
- Suatu proses fisi ${}_{92}^{235}\text{U}$ mengikuti persamaan

$${}_{0}^{1}\text{n} + {}_{92}^{235}\text{U} \rightarrow \text{Ba} + \text{Kr} + 3{}_{0}^{1}\text{n}$$
 Jika pada proses fisi ini dibebaskan energi 200 MeV, massa neutron = 1,009 sma, massa inti ${}_{92}^{235}\text{U} = 235,04$, dan 1 sma = 931 MeV maka massa inti (Ba + Kr) adalah
 - 231,80 sma
 - 232,80 sma
 - 233,89 sma
 - 234,03 sma
 - 234,89 sma
 - Massa inti ${}_{3}^{7}\text{Li}$ adalah 7,016004 sma. Jika massa proton $[m_p] = 1,007825$ sma, massa neutron $[m_n] = 1,008665$ sma, dan 1 sma = 931 MeV, energi ikat inti ${}_{3}^{7}\text{Li}$ adalah
 - 25 MeV
 - 30 MeV
 - 39 MeV
 - 45 MeV
 - 49 MeV
 - Urutan daya tembus sinar-sinar radioaktif dimulai dari yang paling kuat adalah
 - alfa, beta, dan gamma
 - gamma, alfa, dan beta
 - beta, alfa, dan gamma
 - alfa, gamma, dan beta
 - gamma, beta, dan alfa
 - Aktivitas isotop radioaktif yang baru ditemukan berkurang menjadi 4% dari harga awalnya dalam selang waktu 200 jam. Waktu paruh isotop itu adalah
 - 10,2 jam
 - 34,0 jam
 - 43,0 jam
 - 52,4 jam
 - 68,6 jam
 - Suatu unsur radioaktif meluruh dan tinggal 25% jumlahnya setelah 20 menit. Jika mula-mula massa unsur tersebut 120 gram, setelah setengah jam meluruh massa unsur yang belum meluruh tinggal
 - 60 gram
 - 40 gram
 - 30 gram
 - 15 gram
 - 10 gram

(UMPTN 2001 Rayon B)

- Suatu bahan radioaktif Cesium-137 pada awalnya memiliki laju radiasi foton gamma sebesar $1,5 \times 10^{14}$ partikel tiap detik. Apabila waktu paruh bahan tersebut 30 tahun, laju radiasinya pada 10 tahun berikutnya adalah
 - $1,67 \times 10^{14}$ partikel/detik
 - $1,5 \times 10^{14}$ partikel/detik
 - $1,2 \times 10^{14}$ partikel/detik
 - $0,75 \times 10^{14}$ partikel/detik
 - $0,5 \times 10^{14}$ partikel/detik

15. Dalam waktu 48 hari $\frac{63}{64}$ bagian suatu unsur radioaktif meluruh. Waktu paruh unsur radioaktif tersebut adalah (dalam hari)

- a. 6 d. 32
b. 16 e. 36
c. 24

(UMPTN 1996)

16. Suatu peluruhan inti menghasilkan zarah-zarah dengan massa m_1 dan m_2 yang bergerak saling menjauhi satu sama lain. Jika E adalah energi kinetik total kedua massa, energi kinetik zarah (anggaplah bahwa inti induknya stasioner sebelum meluruh) bernilai

- a. $\frac{m_1}{m_2}E$ d. $\frac{m_2}{(m_1 + m_2)}E$
b. $\frac{E}{(m_1 + m_2)}$ e. $\frac{m_1}{(m_1 + m_2)}E$
c. $\frac{m_2}{m_1}E$

(UM UGM 2004)

17. Suatu partikel pion (meson π^0) dalam keadaan tertentu dapat musnah menghasilkan dua foton identik dengan panjang gelombang λ . Jika massa partikel pion adalah m , h tetapan Planck, dan c kelajuan cahaya dalam vakum, λ dapat dinyatakan dalam m , c , dan h dalam bentuk

- a. $\frac{h}{(2mc)}$ d. $\frac{1}{(2mch)}$
b. $\frac{h}{(mc^2)}$ e. $\frac{h}{(mc)}$
c. $\frac{2h}{(mc)}$

18. Suatu zat dengan nomor atom 84 meluruh secara radioaktif menjadi atom lain dengan nomor atom 83. Radiasi yang menyertai proses ini adalah

- a. hanya partikel alfa
b. hanya partikel beta
c. partikel beta dan sinar gamma
d. partikel alfa dan sinar gamma
e. partikel alfa, partikel beta, dan sinar gamma

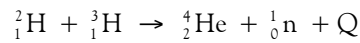
19. Pada proses peluruhan $^{215}_{83}\text{Bi}$ menjadi $^{215}_{84}\text{Po}$ terjadi pelepasan

- a. positron d. proton
b. partikel α e. elektron
c. neutron

B. Jawablah pertanyaan berikut dengan tepat.

1. Bagaimana cara Henri Becquerel mengetahui bahwa sinar yang dipancarkan uranium bukan gejala fosforesensi atau fluoresensi?
2. Apakah yang disebut dengan keaktifan suatu unsur radioaktif?
3. Apa yang dimaksud dengan energi ikat inti?
4. Apa yang membedakan reaksi fisi berantai yang terkendali dengan reaksi fisi berantai yang tak terkendali?

20. Dari reaksi fusi berikut:



Jika massa:

$$^2_1\text{H} = 2,04741 \text{ u}; ^4_2\text{He} = 4,003879 \text{ u};$$

$$^3_1\text{H} = 3,016977 \text{ u}; ^1_0\text{n} = 1,008987 \text{ u};$$

dan $1 \text{ u} = 931 \text{ MeV}$, energi yang dibebaskan pada reaksi inti tersebut adalah

- a. 174,6 MeV d. 0,01746 MeV
b. 17,46 MeV e. 0,001746 MeV
c. 1,746 MeV

21. Reaktor nuklir memiliki beberapa komponen dasar. Berikut ini yang bukan merupakan komponen-komponen dasar sebuah reaktor atom adalah

- a. perisai d. batang kendali
b. moderator e. elemen bahan bakar
c. radioisotop

22. Dari ketiga reaktor: A = reaktor Triga Mark II, B = reaktor Kartini, dan C = reaktor serba guna (MPR 30), yang juga berfungsi sebagai reaktor penelitian (*research reactor*) adalah

- a. A dan B d. A,B, dan C
b. B dan C e. B saja
c. C dan A

23. Fungsi batang kendali pada reaktor nuklir adalah untuk

- a. menurunkan energi neutron
b. menahan radiasi neutron yang dihasilkan
c. memperbesar jumlah neutron
d. menyerap neutron yang berlebihan
e. melepas neutron yang stabil

24. Waktu paruh unsur radon adalah 3,82 hari. Waktu yang diperlukan agar unsur radon tersebut meluruh menjadi $\frac{1}{16}$ dari keadaan semula adalah

- a. $1,32 \times 10^6 \text{ s}$ d. 15,28 hari
b. 13,2 hari e. 152,8 hari
c. $1,32 \times 10^6 \text{ s}$

25. Reaksi inti berikut yang menghasilkan radioisotop dari bahan yang direaksikan adalah

- a. $^{12}_6\text{C} + ^{12}_6\text{C} \rightarrow ^{20}_{10}\text{Ne} + ^4_2\text{He}$
b. $^9_4\text{Be} + ^4_2\text{He} \rightarrow ^{12}_6\text{C} + ^1_0\text{n}$
c. $^{27}_{13}\text{Al} + ^4_2\text{He} \rightarrow ^{30}_{15}\text{P} + ^1_0\text{n}$
d. $^{14}_7\text{N} + ^4_2\text{He} \rightarrow ^{16}_8\text{O} + ^2_1\text{H}$
e. $^{23}_{11}\text{Na} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^{24}_{11}\text{Na}$

5. Reaktor atom jenis MPR 30 dalam selang waktu tertentu menghasilkan energi sejumlah $6 \times 10^4 \text{ kWh}$. Hitunglah berapa jam reaktor tersebut bekerja.

6. Suatu inti $^{235}_{92}\text{U}$ menangkap sebuah atom neutron yang sedang bergerak lambat dan terbelah menjadi inti barium $^{141}_{56}\text{Ba}$ dan krypton $^{92}_{36}\text{Kr}$ sambil memancarkan beberapa buah partikel, tentukan nama partikel yang dipancarkan dan jumlah partikel yang dipancarkan.

Proyek Semester 2



Seperti pada akhir semester ganjil yang lalu, pada akhir semester genap ini juga Anda akan mendapatkan tugas kegiatan semester. Kegiatan semester ini diberikan agar Anda lebih memahami konsep yang telah dipelajari pada Bab 10 tentang Fisika Inti dan Radioaktivitas.

Dalam satu kelas bentuklah tiga kelompok kerja. Tiap kelompok ditugaskan untuk membahas kajian yang berbeda dengan tema umum yang digunakan sama, yaitu tentang Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN).

Kajian khusus untuk tiap kelompok adalah:

1. Sejarah PLTN mulai dari penemuannya sampai dibangunnya PLTN di Indonesia.
2. Jenis-jenis PLTN dan proses reaksi nuklirnya.
3. Keuntungan dan kerugian dibangunnya PLTN.

Informasi untuk tugas ini dapat Anda cari melalui buku referensi, situs internet, dan wawancara ke narasumber (guru atau ahli di bidang tersebut). Kemudian, susunlah informasi yang diperoleh ke dalam bentuk makalah. Presentasikan makalah kelompok Anda di hadapan kelompok lain dan guru Fisika Anda.

Berikut ini informasi yang dapat Anda kembangkan menjadi sebuah makalah.

Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir

PLTN adalah stasiun pembangkit listrik termal di mana panas yang dihasilkan diperoleh dari satu atau lebih reaktor nuklir pembangkit listrik.

Hingga tahun 2005 terdapat 443 PLTN berlisensi di dunia dengan 441 di antaranya beroperasi di 31 negara yang berbeda. Keseluruhan reaktor tersebut menyuplai 17% daya listrik dunia.

Reaktor nuklir yang pertama kali membangkitkan listrik adalah stasiun pembangkit percobaan EBR-I pada 20 Desember 1951, di dekat Arco, Idaho, Amerika Serikat. Pada 27 Juni 1954, PLTN pertama dunia yang menghasilkan listrik untuk jaringan listrik mulai beroperasi di Obninsk, Uni Sovyet. PLTN skala komersil pertama adalah Calder Hall di Inggris yang dibuka pada 17 Oktober 1956.

PLTN dikelompokkan berdasarkan jenis reaktor yang digunakan. Akan tetapi, ada juga PLTN yang menerapkan unit-unit independen dan hal ini bisa menggunakan jenis reaktor yang berbeda.

1. Reaktor Fisi

Reaktor daya fisi membangkitkan panas melalui reaksi fisi nuklir dari isotop uranium dan plutonium. Selanjutnya, reaktor daya fisi dikelompokkan menjadi reaktor termal, reaktor cepat, dan reaktor subkritis.

2. Reaktor Fusi

Fusi nuklir menawarkan kemungkinan pelepasan energi yang besar dengan hanya sedikit limbah radioaktif yang dihasilkan serta dengan tingkat keamanan yang lebih baik. Namun, saat ini masih terdapat kendala-kendala bidang keilmuan, teknik, dan ekonomi yang menghambat penggunaan energi fusi guna pembangkitan listrik.

Keuntungan PLTN dibandingkan dengan pembangkit daya utama lainnya adalah tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca, tidak mencemari udara, sedikit menghasilkan limbah padat, biaya bahan bakar rendah, ketersediaan bahan bakar yang melimpah, dan baterai nuklir. Adapun masalah yang bisa timbul dengan penggunaan PLTN adalah timbulnya risiko kecelakaan nuklir dan limbah nuklir.

Tes Kompetensi Fisika

Semester 2



A. Pilihlah salah satu jawaban yang paling tepat dan kerjakanlah pada buku latihan.

- Kuantitas energi yang terkandung di dalam sinar ultraviolet yang panjang gelombangnya 3.300 \AA . Konstanta Planck $= 6,6 \times 10^{-35} \text{ Js}$ dan kecepatan cahaya $= 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ adalah
 - $2,0 \times 10^{-19} \text{ J}$
 - $3,0 \times 10^{-19} \text{ J}$
 - $3,3 \times 10^{-19} \text{ J}$
 - $6,0 \times 10^{-19} \text{ J}$
 - $6,6 \times 10^{-19} \text{ J}$
- Berikut ini yang fotonya memiliki energi terbesar adalah
 - sinar merah
 - sinar ungu
 - sinar gamma
 - sinar-X
 - gelombang radio
- Panjang gelombang yang harus dimiliki radiasi elektromagnetik jika sebuah foton dalam berkas itu harus memiliki momentum yang sama dengan momentum elektron yang bergerak dengan kecepatan $2 \times 10^5 \text{ m/s}$ adalah
($h = 6,6 \times 10^{-34} \text{ Js}$; $m_e = 9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$)
 - 36,4 mm
 - 3,64 m
 - 0,364 nm
 - 3,64 nm
 - 36,4 nm
- Pernyataan yang benar tentang peristiwa fotolistrik adalah
 - seluruh energi foton diberikan pada elektron dan digunakan sebagai energi kinetik elektron
 - seluruh energi foton diberikan pada elektron dan digunakan untuk melepaskan diri dari logam
 - foton lenyap dan seluruh energinya diberikan pada elektron
 - makin besar intensitas foton, makin besar energi kinetik elektron
 - kecepatan elektron yang lepas dari logam adalah nol jika energi foton lebih kecil dari fungsi kerja logam
- Permukaan logam tertentu memiliki fungsi kerja W joule. Jika konstanta Planck h joule sekon, energi maksimum fotoelektron yang dihasilkan oleh cahaya berfrekuensi ν Hz adalah (dalam J)
 - $W + h\nu$
 - $\frac{W}{h\nu}$
 - $W - h\nu$
 - $\frac{h\nu}{W}$
 - $h\nu - W$
- Sebuah partikel yang memiliki massa m bergerak dengan kecepatan v . Jika tetapan Planck h , panjang gelombang partikel adalah
 - $\frac{m}{h\nu}$
 - $\frac{h\nu}{m}$
 - $\frac{hm}{v}$
 - mhv
 - $\frac{h}{mv}$
- Sebuah benda memiliki suhu sebesar 227°C . Jika konstanta emisivitas benda tersebut $3/5$, intensitas radiasi yang dipancarkan adalah
 - $5.670,3 \text{ Wb/m}^2$
 - $567,03 \text{ Wb/m}^2$
 - $2.126,36 \text{ Wb/m}^2$
 - $212,636 \text{ Wb/m}^2$
 - $21,2636 \text{ Wb/m}^2$
- Salah satu konsep atom menurut Dalton adalah
 - molekul terdiri atas atom-atom
 - massa keseluruhan atom berubah
 - atom tidak bergabung dengan atom lainnya
 - atom tidak dapat membentuk suatu ikatan molekul
 - atom dapat dipecah-pecah lagi
- Percobaan hamburan Rutherford menghasilkan kesimpulan
 - atom adalah bagian terkecil dari unsur
 - elektron adalah bagian atom yang bermuatan listrik negatif
 - atom memiliki massa yang tersebar secara merata
 - massa atom terpusat di suatu titik yang disebut inti
 - elektron mengelilingi inti pada lintasan tertentu
- Salah satu model atom menurut Bohr adalah
 - elektron bergerak dengan lintasan stasioner
 - energi foton yang terpancar berbanding terbalik dengan f
 - tidak memiliki momentum angular
 - atom merupakan bola pejal bermuatan positif
 - atom tidak dapat dipecah-pecah lagi
- Menurut model atom Bohr, elektron bergerak mengelilingi inti hanya pada lintasan tertentu, dan besarnya momentum angular elektron pada lintasan itu adalah
 - berbanding terbalik dengan tetapan Planck
 - berbanding lurus dengan tetapan Planck
 - berbanding terbalik dengan tetapan Rydberg
 - berbanding lurus dengan tetapan Rydberg
 - berbanding terbalik dengan momentum linear

(UMPTN 1997 Rayon A)

12. Persamaan panjang gelombang spektrum atom hidrogen menurut deret Lyman adalah
- $\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right), n = 2, 3, 4, \dots$
 - $\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right), n = 3, 4, 5, \dots$
 - $\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right), n = 4, 5, 6, \dots$
 - $\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right), n = 5, 6, 7, \dots$
 - $\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right), n = 6, 7, 8, \dots$
13. Jika terjadi transisi elektron dalam orbit atom hidrogen, frekuensi terbesar terjadi jika elektron pindah
- dari $n = 2$ ke $n = 1$
 - dari $n = 3$ ke $n = 2$
 - dari $n = 4$ ke $n = 3$
 - dari $n = 4$ ke $n = 2$
 - dari $n = 5$ ke $n = 2$
14. Berdasarkan mode atom Bohr, tetapan Rydberg = $1,097 \times 10^7 / \text{m}$. Jika terjadi transisi elektron dari lintasan $n = 4$ ke lintasan $n = 2$, dipancarkan foton dengan panjang gelombang
- $1,82 \times 10^{-7} \text{ m}$
 - $2,43 \times 10^{-7} \text{ m}$
 - $3,65 \times 10^{-7} \text{ m}$
 - $4,86 \times 10^{-7} \text{ m}$
 - $7,29 \times 10^{-7} \text{ m}$
15. Jika konstanta Rydberg = $1,097 \times 10^7 / \text{m}$, panjang gelombang terbesar dari deret Balmer adalah
- $1,215 \text{ \AA}$
 - $4,050 \text{ \AA}$
 - 5127 \AA
 - $6,563 \text{ \AA}$
 - $8,752 \text{ \AA}$
16. Perbandingan dilatasi waktu untuk sistem yang bergerak pada kecepatan $0,8 c$ dengan sistem yang bergerak pada kecepatan $0,6 c$ adalah
- 3 : 4
 - 4 : 3
 - 9 : 2
 - 9 : 16
 - 16 : 9
17. Jika massa diam elektron adalah $9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$, massa elektron yang berkecepatan setengah laju rambat cahaya adalah
- $2,10 \times 10^{-30}$
 - $2,10 \times 10^{-29}$
 - $1,05 \times 10^{-30}$
 - $1,05 \times 10^{-29}$
 - $1,05 \times 10^{-28}$
18. Menurut pengamat di sebuah planet ada dua pesawat antariksa yang mendekatnya dari arah yang berlawanan, masing-masing adalah pesawat A yang kecepatannya $0,50 c$ dan pesawat B yang kecepatannya $0,40 c$. Menurut pilot pesawat A, besar kecepatan pesawat B adalah
- $0,10 c$
 - $0,25 c$
 - $0,40 c$
 - $0,75 c$
 - $0,90 c$
19. Sebuah roket bergerak dengan kecepatan $0,8 c$. Jika dilihat oleh pengamat yang diam, panjang roket itu akan menyusut sebesar
- 20%
 - 36%
 - 40%
 - 60%
 - 80%
20. Sebuah mobil sedang bergerak dengan kelajuan 60 km/jam . Seorang penumpang mobil melemparkan sebuah batu dengan kelajuan 5 km/jam . Jika arah lemparan terhadap seseorang yang diam di pinggir jalan adalah
- 55 km/jam
 - 60 km/jam
 - 65 km/jam
 - 70 km/jam
 - 75 km/jam
21. Kelajuan sebuah elektron yang memiliki massa 4 kali massa diamnya adalah
- $\frac{1}{2} c \sqrt{15}$
 - $\frac{1}{4} c \sqrt{15}$
 - $\frac{1}{4} c \sqrt{16}$
 - $\frac{1}{2} c \sqrt{16}$
 - $\frac{3}{4} c \sqrt{16}$
22. Sebuah roket waktu diam di Bumi memiliki panjang 100 m , roket tersebut bergerak dengan kecepatan $0,8 c$. Menurut orang di Bumi panjang roket tersebut selama bergerak adalah
- 50 m
 - 60 m
 - 70 m
 - 80 m
 - 90 m
23. Jika laju partikel $0,6 c$, perbandingan massa relativistik partikel itu terhadap massa diamnya adalah
- 239 dan 332
 - 146 dan 239
 - 93 dan 239
 - 93 dan 332
 - 93 dan 146
24. Jumlah proton dan neutron yang ada dalam inti ${}_{93}^{239}\text{Np}$ adalah
- 239 dan 332
 - 146 dan 239
 - 93 dan 239
 - 93 dan 332
 - 93 dan 146
25. Dua buah nuklida dilambangkan sebagai ${}_{8}^{16}\text{A}$ dan ${}_{8}^{16}\text{B}$. Pernyataan yang tidak benar adalah
- tiap nuklida memiliki 8 proton
 - nuklida X memiliki 8 neutron
 - nuklida Y memiliki 9 neutron
 - kedua nuklida merupakan isotop
 - kedua nuklida memiliki sifat kimia yang berbeda

26. Unsur radioaktif adalah
- berasal dari unsur buatan
 - memancarkan gelombang radio
 - unsur yang intinya tidak stabil
 - unsur yang memancarkan sinar-X
 - unsur yang memiliki nomor atom besar

27. Urutan daya ionisasi sinar-sinar radioaktif dari mulai yang paling kuat adalah
- alfa, beta, dan gamma
 - alfa, gamma, dan beta
 - beta, alfa, dan gamma
 - gamma, beta, dan alfa
 - gamma, alfa, dan beta

28. Urutan daya tembus sinar-sinar radioaktif dimulai dari yang paling kuat adalah
- alfa, beta, dan gamma
 - alfa, gamma, dan beta
 - beta, alfa, dan gamma
 - gamma, beta, dan alfa
 - gamma, alfa, dan beta

B. Jawablah pertanyaan berikut dengan tepat.

- Mengapa kotak tertutup rapat yang dilubangi dapat dianggap mendekati benda hitam sempurna?
- Sebuah lampu 100 W dihubungkan ke suplai listrik pada tegangan spesifikasi. Ketika saklar dihubungkan, filamen segera mencapai suatu suhu mutlak konstan sebesar T .
 - Berapakah laju energi hilang dalam bentuk panas oleh filamen pada suhu ini?
 - Jika radiasi dari filamen dianggap 0,80 kali radiasi benda hitam pada suhu yang sama, tentukanlah nilai T . (Luas permukaan filamen = $5,0 \times 10^{-5} \text{ m}^2$)
- Dari persamaan de Broglie diperoleh panjang gelombang sebuah elektron yang sedang bergerak adalah 0,1 nm.
 - Hitunglah kecepatan elektron.
 - Jika energi kinetik elektron digandakan, berapakah panjang gelombang barunya?
- Tentukan jumlah elektron maksimum yang dapat menempati kulit:

a. K;	c. M;
b. L;	d. N.
- Berapakah energi yang diperlukan untuk membebaskan sebuah elektron $n = 1$ (kulit dalam) dari sebuah atom emas ($Z = 79$)?
- Sebuah piring terbang bergerak ke arah x dengan kelajuan 0,8 c terhadap Bumi. Dari piring terbang ditembakkan peluru ke arah x dengan laju 0,6 c . Tentukanlah laju peluru jika diukur oleh pengamat di Bumi berdasarkan
 - relativitas Newton;
 - relativitas Einstein.

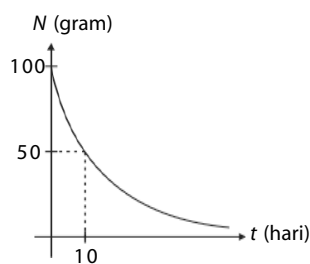
29. Suatu unsur radioaktif waktu paruhnya 100 detik. Jika massa bahan radioaktif itu mula-mula 1 gram, setelah 5 menit massanya tinggal

- $\frac{1}{3}$
- $\frac{1}{4}$
- $\frac{1}{5}$
- $\frac{1}{6}$
- $\frac{1}{8}$

30. Setelah 60 hari, zat radioaktif yang belum berdisintegrasi masih $\frac{1}{8}$ bagian dari jumlah asalnya. Waktu paruh zat radioaktif tersebut adalah ... hari.

- | | |
|-------|-------|
| a. 20 | d. 35 |
| b. 25 | e. 40 |
| c. 30 | |

- Seorang pria bermassa 100 kg di Bumi. Jika ia berada dalam roket yang meluncur 0,6 c , berapakah massa pria tersebut?
- Massa atom $^{16}_8\text{O}$ adalah 15,995 sma; hidrogen 1,0078 sma; dan neutron 1,0087 sma.
 - Hitung massa total partikel pembentuk inti atom.
 - Hitung defek massa ketika partikel tersebut bersatu membentuk sebuah atom oksigen.
 - Hitung energi ikat inti oksigen.
 - Hitung energi ikat rata-rata per nukleon.
- Berapakah energi yang dibebaskan dalam peluruhan spontan $^{234}_{92}\text{U}$ yang menghasilkan sinar α ? (massa $^{234}_{92}\text{U} = 234,04 \text{ sma}$; $^{230}_{90}\text{Th} = 230,03 \text{ sma}$; $\alpha = 4,0026 \text{ sma}$)
- Perhatikan grafik berikut ini.



Tentukan:

- tetapan peluruhan;
- massa zat yang tinggal setelah 30 hari N (dalam gram).

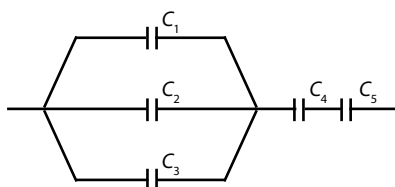
Tes Kompetensi Akhir



A. Pilihlah salah satu jawaban yang paling tepat dan kerjakanlah pada buku latihan.

- Perioda dan frekuensi sebuah gelombang yang merambat dengan kecepatan 2 m/s dan panjang gelombangnya 10 cm adalah
 - 0,02 s dan 50 Hz
 - 0,05 s dan 20 Hz
 - 0,05 s dan 50 Hz
 - 0,02 s dan 20 Hz
 - 0,02 s dan 5 Hz
- Sebuah gelombang berjalan memenuhi persamaan $y = 0,2 \sin 0,5\pi (10t - 0,5x)$ dengan x dan y dalam cm dan t dalam sekon. Frekuensi dan panjang gelombang tersebut adalah
 - 2,5 Hz dan 8 cm
 - 5 Hz dan 8 cm
 - 0,25 Hz dan 80 cm
 - 0,25 Hz dan 8 cm
 - 5 Hz dan 80 cm
- Sebuah kereta api bergerak meninggalkan stasiun Gambir dengan kecepatan 36 km/jam. Jika pengawas kereta api yang ada di stasiun membunyikan pluit dengan frekuensi 1.700 Hz dan kecepatan perambatan bunyi di udara 340 m/s maka frekuensi bunyi pluit yang didengar oleh pengawas yang ada di dalam kereta api adalah
 - 1.752 Hz
 - 1.520 Hz
 - 1.901 Hz
 - 1.650 Hz
 - 1.600 Hz
- Dua buah tali yang sama panjangnya ditarik oleh gaya perenggannya yang sama. Massa tali pertama 4 kali massa tali kedua. Tali pertama digetarkan dengan frekuensi 200 Hz, sedangkan tali kedua digetarkan dengan frekuensi 400 Hz. Jika panjang gelombang pada tali pertama 4 cm maka panjang gelombang pada tali kedua adalah
 - 14 cm
 - 24 cm
 - 4 cm
 - 8 cm
 - 16 cm
- Suatu berkas cahaya monokromatis setelah melalui sepasang celah sempit yang jaraknya 0,3 mm membentuk pola interferensi pada layar yang jaraknya 0,9 m dari celah tali. Jika jarak antara garis gelap kedua ke pusat pola 3 mm maka panjang gelombang cahaya tersebut adalah
 - $1,3 \times 10^{-7}$ m
 - $2,2 \times 10^{-7}$ m
 - $3,3 \times 10^{-7}$ m
 - $6,7 \times 10^{-7}$ m
 - 10×10^{-7} m
- Pada sebuah lapisan tipis terjadi interferensi maksimum ketika disinari oleh cahaya dengan panjang gelombang 4.000 Å. Jika diketahui indeks bias lapisan tipis tersebut 1,2 maka tebal lapisan tipis tersebut adalah
 - 0,12 kg
 - 0,09 kg
 - 0,08 kg
 - 0,04 kg
 - 0,03 kg
- Seberkas sinar monokromatik dengan panjang gelombang 4×10^{-7} m datang tegak lurus pada kisi. Jika spektrum orde kedua membentuk sudut 45° dengan garis normal pada kisi maka jumlah garis setiap cm kisi adalah
 - $\frac{\sqrt{2}}{2} \times 10^5$
 - $\frac{\sqrt{2}}{4} \times 10^5$
 - $\frac{\sqrt{2}}{8} \times 10^5$
 - $\frac{\sqrt{2}}{2} \times 10^4$
 - $\frac{\sqrt{2}}{5} \times 10^4$
- Sudut polarisasi mempunyai tangen yang sama besar dengan indeks bias zat. Pernyataan ini disebut Hukum
 - Snellius
 - Newton
 - Huygen
 - Fresnel
 - Brewster
- Warna bunyi atau timbre yang dihasilkan oleh suatu sumber ditentukan oleh
 - tinggi nada
 - bentuk gelombang
 - amplitudo gelombang
 - frekuensi gelombang
 - nada-nada harmonik
- Berikut adalah pernyataan yang benar mengenai bunyi dan cahaya, *kecuali*
 - keduanya adalah gejala gelombang
 - cahaya adalah gelombang elektromagnetik, sedangkan bunyi adalah gelombang mekanik
 - cahaya adalah gelombang transversal, sedangkan bunyi adalah gelombang longitudinal
 - cahaya dapat terpolarisasi, sedangkan bunyi tidak dapat terpolarisasi
 - cahaya hanya merambat pada ruang hampa, sedangkan bunyi hanya merambat pada medium
- Seutas tali panjang 40 m digetarkan transversal. Laju rambat gelombang transversal pada tali tersebut 50 m/s. Jika gaya tegangan pada tali tersebut 2,5 N maka massa tali adalah
 - 0,12 kg
 - 0,09 kg
 - 0,08 kg
 - 0,04 kg
 - 0,03 kg

12. Jika sebuah pipa organa terbuka ditiup hingga timbul nada atas kedua maka dalam pipa akan terbentuk
- 3 perut dan 3 simpul
 - 3 perut dan 4 simpul
 - 4 perut dan 3 simpul
 - 4 perut dan 4 simpul
 - 4 perut dan 5 simpul
13. Partikel bermassa m dan bermuatan q bergerak dalam medan partikel lain yang diam dan bermuatan Q . Pernyataan yang benar untuk partikel tersebut adalah
- gaya yang mengarah ke pusat muatan Q adalah gaya sentral
 - energi potensialnya tetap
 - energi kinetiknya tetap
 - gaya yang bekerja bukan gaya konservatif
 - gaya Coulomb yang terjadi sebesar $F = \frac{k q Q}{r}$
14. Bola A dan bola B masing-masing bermuatan 10 coulomb dan 30 coulomb. Jarak kedua pusat bola 3 meter. Jika kedua bola terletak di udara maka energi potensial bola adalah
- 9×10^{11} joule
 - 3×10^{11} joule
 - 6×10^{11} joule
 - 9×10^{10} joule
 - 3×10^{10} joule
15. Satuan kuat medan listrik dapat dinyatakan dalam
- newton coulomb
 - joule/newton
 - coulomb/volt
 - volt meter
 - volt/meter
16. Lima kapasitor masing-masing mempunyai kapasitas F disusun seperti pada gambar. Kapasitas kapasitor yang dapat menggantikan rangkaian kapasitor tersebut adalah



- $\frac{1}{5}F$
 - $\frac{3}{7}F$
 - $2\frac{1}{3}F$
 - $2\frac{2}{3}F$
 - $5F$
17. Dua kawat yang sangat panjang dipasang vertikal sejajar dengan jarak d . Kawat pertama dialiri arus sebesar I ke atas. Titik P (dalam bidang kedua kawat itu) terletak di antaranya dan berjarak $\frac{1}{3}d$ dari kawat pertama. Jika induksi magnetik di titik P sama dengan nol, arus yang mengalir dalam kawat kedua adalah

- $\frac{1}{3}$ ke bawah
- $\frac{1}{2}$ ke bawah
- $3I$ ke atas
- $2I$ ke atas
- $2I$ ke bawah

18. Sebuah solenoida yang panjangnya ℓ terdiri atas N lilitan. Solenoida itu dialiri arus listrik I , sehingga membangkitkan induksi magnetik B di suatu titik di tengah solenoida. B ini dapat dinyatakan dengan

- $\frac{\mu_0 N \ell}{2I}$
- $\frac{\mu_0 N I}{2\ell}$
- $\frac{\mu_0 N \ell}{\ell}$
- $\frac{\mu_0 N I}{\ell}$
- $\mu_0 N I \ell$

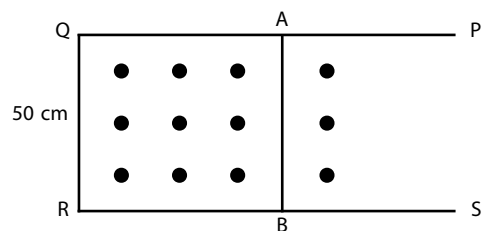
19. Besar gaya yang dialami seutas kawat lurus berarus listrik di dalam suatu medan magnetik yang serba sama tidak bergantung pada

- posisi kawat di dalam medan magnetik
- panjang kawat
- hambatan kawat
- kuat arusnya
- kuat medan magnetiknya

20. Pada dua buah kawat sejajar yang masing-masing dialiri arus listrik yang sama besar, timbul gaya yang besarnya 2×10^{-7} newton. Jarak antara kedua kawat itu 1 meter. Besar arus dalam setiap kawat adalah

- $\frac{1}{8}$ ampere
- $\frac{1}{4}$ ampere
- $\frac{1}{2}$ ampere
- 1 ampere
- 2 ampere

21. Rangkaian kawat PQRS terletak dalam medan magnet yang kuat medannya $0,5$ weber/m², dan arahnya masuk bidang kertas seperti pada gambar berikut.



Bila kawat AB digeser ke kanan dengan kecepatan 4 m/s, gaya gerak listrik induksi yang terjadi adalah

- 1 volt dengan arah dari A ke B
- 1 volt dengan arah dari B ke A
- 4 volt dengan arah dari A ke B
- 4 volt dengan arah dari B ke A
- 10 volt dengan arah dari A ke B

22. Sebuah kumparan (solenoida) mempunyai induktansi 500 mH. Besar ggl induksi diri yang dibangkitkan dalam kumparan itu jika ada perubahan arus listrik dari 100 mA menjadi 40 mA dalam waktu 0,01 detik secara beraturan sama dengan
- 3 mV
 - 300 mV
 - 3 V
 - 30 V
 - 300 V
23. Efisiensi sebuah transformator adalah 60%. Hal ini berarti
- kuat arus pada kumparan primer berbanding kuat arus pada kumparan sekunder 5 : 3
 - tegangan pada kumparan primer berbanding tegangan pada kumparan sekunder 3 : 5
 - jumlah lilitan kumparan primer berbanding jumlah lilitan pada kumparan sekunder 3 : 5
 - daya pada kumparan primer berbanding dengan daya pada kumparan sekunder 5 : 3
 - hambatan pada kumparan primer berbanding hambatan pada kumparan sekunder 3 : 5
24. Jika kapasitor C, induksi L, dan tahanan R dipasang secara seri maka frekuensi resonansi rangkaian dapat diturunkan dengan
- mengecilkan R
 - membesarkan L
 - mengecilkan C
 - membesarkan tegangan pada ujung-ujung rangkaian
 - mengecilkan arus dalam rangkaian
25. Jika tetapan Planck $6,6 \times 10^{-34}$ joule detik, kecepatan cahaya 3×10^8 m/s, dan panjang gelombang cahaya 6.000 \AA maka energi foton cahaya itu adalah
- $0,30 \times 10^{-19}$ joule
 - $0,33 \times 10^{-19}$ joule
 - $3,30 \times 10^{-19}$ joule
 - $3,00 \times 10^{-19}$ joule
 - $33,00 \times 10^{-19}$ joule
26. Dalam peristiwa efek fotolistrik, energi kinetik fotoelektron berbanding
- terbalik dengan amplitudo cahaya yang digunakan
 - lurus dengan frekuensi cahaya yang digunakan
 - terbalik dengan frekuensi cahaya yang digunakan
 - lurus dengan intensitas cahaya yang digunakan
 - terbalik dengan intensitas cahaya yang digunakan
27. Konstanta Planck $h = 6,63 \times 10^{-34}$ Js. Sebuah partikel bermassa $m = 2,21 \times 10^{-30}$ kg bergerak dengan kecepatan $v = 2 \times 10^5$ m/s maka panjang gelombang de Broglie-nya adalah
- $7,3 \times 10^{-60}$ nm
 - $1,7 \times 10^{-3}$ nm
 - 0,67 nm
 - 1,50 nm
 - $6,00 \times 10^{10}$ nm
28. Dari hasil percobaan Compton (efek Compton) didapat bahwa
- cahaya merupakan gelombang elektromagnetik
 - cahaya menyimpang di dalam medan magnetik
 - cahaya menyimpang di dalam medan listrik
 - cahaya mempunyai momentum dan bersifat seperti partikel
 - cahaya mempunyai muatan dan bersifat radioaktif
29. Pernyataan yang menyatakan bahwa "atom tersusun seperti susunan tata surya" merupakan pernyataan yang dikemukakan oleh
- Demokritus
 - Dalton
 - Thomson
 - Rutherford
 - Bohr
30. Jika ${}^{230}_{90}\text{Th}$ memancarkan sinar α maka nomor massa dan nomor atom inti yang dihasilkan adalah
- 228 dan 88
 - 224 dan 90
 - 224 dan 89
 - 226 dan 86
 - 226 dan 88
31. Jika energi total elektron atom H di kulit M adalah $-E$ maka energi total elektron di kulit L adalah
- $-\left(\frac{1}{9}\right)E$
 - $-\left(\frac{1}{3}\right)E$
 - $-\left(\frac{4}{9}\right)E$
 - $-\left(\frac{2}{3}\right)E$
 - $-\left(\frac{9}{4}\right)E$
32. Bila elektron atom hidrogen berpindah dari lintasan $n = 3$ ke lintasan $n = 2$ maka akan dipancarkan foton. Jika konstanta Rudberg = $1,097 \times 10^7/\text{m}$ maka panjang gelombang foton yang dipancarkannya adalah
- $6,6 \times 10^{-6}$ m
 - $6,6 \times 10^{-7}$ m
 - $6,6 \times 10^{-8}$ m
 - $6,6 \times 10^{-9}$ m
 - $6,6 \times 10^{-10}$ m
33. Setiap detik di matahari terjadi perubahan 4×10^9 kg materi menjadi energi radiasi. Bila laju cahaya dalam vakum adalah 3×10^{10} cm/s, daya yang dipancarkan matahari adalah
- $3,6 \times 10^{30}$ watt
 - $4,8 \times 10^{27}$ watt
 - $3,6 \times 10^{26}$ watt
 - $1,2 \times 10^{10}$ watt
 - $5,0 \times 10^{10}$ watt
34. Postulat Einstein yang benar adalah
- massa benda tidak konstan
 - waktu diam dan waktu bergerak tidak sama
 - panjang diam dan panjang bergerak tidak sama
 - kecepatan cahaya dalam vakum yang dipancarkan oleh sumber diam dan sumber bergerak adalah sama
 - semua hukum Fisika adalah tidak sama untuk seluruh kerangka acuan yang lembam
35. Satu gram massa berubah menjadi energi. Energi tersebut digunakan untuk mengangkat air setinggi 1 km. Jika $g = 10 \text{ m/s}^2$, $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$, air yang dapat diangkat adalah sebanyak
- $3 \times 10^5 \text{ m}^3$
 - $9 \times 10^6 \text{ m}^3$
 - $3 \times 10^8 \text{ m}^3$
 - $9 \times 10^9 \text{ m}^3$
 - $3 \times 10^{12} \text{ m}^3$

36. Sebuah roket panjang 100 meter dan berat 20 ton, meninggalkan Bumi dengan kecepatan mendekati kecepatan cahaya. Menurut teori relativitas Einstein dapat dikemukakan oleh orang Bumi bahwa
- massa roket < 20 ton, panjang roket > 100 meter
 - massa roket > 20 ton, panjang roket < 100 meter
 - massa roket < 20 ton, panjang roket < 100 meter
 - massa roket > 20 ton, panjang roket > 100 meter
 - massa dan panjang roket tetap
37. Atom ${}_{91}^{234}\text{Pa}$ mempunyai
- proton = 52, elektron = 91, dan neutron = 91
 - proton = 91, elektron = 52, dan neutron = 91
 - proton = 91, elektron = 91, dan neutron = 143
 - proton = 91, elektron = 91, dan neutron = 52
 - proton = 182, elektron = 91, dan neutron = 52
38. Massa inti ${}^4_2\text{He}$ dan ${}^2_1\text{H}$ masing-masing 4,002603 sma dan 2,014102 sma. Jika 1 sma = 931 MeV maka energi minimum yang diperlukan untuk memecah partikel alpha menjadi dua deuteron adalah
- 4 MeV
 - 14 MeV
 - 24 MeV
 - 34 MeV
 - 44 MeV
39. Jika suatu neutron dalam suatu inti berubah menjadi proton maka inti itu memancarkan
- partikel alpha
 - partikel beta
 - partikel gamma
 - proton
 - deuteron
40. Suatu unsur radioaktif mempunyai waktu paruh 120 detik. Bila massa bahan radioaktif semula 2 gram maka setelah 8 menit bahan yang tertinggal adalah
- $\frac{1}{32}$ gram
 - $\frac{1}{16}$ gram
 - $\frac{1}{8}$ gram
 - $\frac{1}{4}$ gram
 - $\frac{1}{2}$ gram

B. Jawablah pertanyaan berikut dengan tepat.

- Pada percobaan Melde digunakan seutas benang yang panjangnya 2 m dan massanya 10 gram. Jika beban yang digunakan pada percobaan itu 200 gram ($g = 10 \text{ m/s}^2$), tentukanlah kecepatan gelombang transversal pada benang tersebut.
- Dua gelas minum dalamnya sama yaitu 10 cm. Gelas yang satu diisi air ($n = 1,333$) dan di atasnya diisi minyak ($n = 1,473$) hingga penuh. Jika kedua gelas disinari tegak lurus permukaan dari atas dengan sinar monokromatik, jumlah gelombang sinar di dalam kedua gelas sama. Hitunglah tebal lapisan minyak.
- Suatu sumber bunyi titik dengan daya 12,56 watt memancarkan gelombang bunyi berupa gelombang sferis (bola). Intensitas ambang pendengaran sama dengan 10^{-12} W/m^2 . Tentukan taraf intensitas bunyi yang didengar oleh pendengar yang berjarak 100 meter dari sumber.
- Sebuah kapasitor mempunyai kapasitas sebesar 5 mikrofarad. Jika terdapat udara di antara keping-kepingnya dan 30 mikrofarad. Jika di antara keping-kepingnya ditempatkan lembaran porselen, tentukan tetapan dielektrik porselen tersebut.
- Sebuah partikel yang bermuatan $2 \mu\text{C}$ bergerak dalam medan magnet homogen $B = 10^{-4} \text{ T}$. Jika kecepatan partikel tegak lurus dengan medan magnetnya dan lintasan partikel berupa lingkaran berjari-jari 20 cm, tentukan besarnya momentum partikel tersebut.
- Dari rangkaian listrik bolak-balik seperti pada gambar diketahui $R = 8 \Omega$, $X_L = 6 \Omega$, dan $X_C = 12 \Omega$. Jika tegangan generator $G = 150 \text{ V}$, tentukanlah:
 - daya pada rangkaian ($p = 1.800 \text{ watt}$);
 - beda potensial antara a dan d ($V_{ad} = 150 \text{ volt}$).
- Logam yang memiliki energi ambang sebesar 53×10^{-22} joule disinari gelombang elektromagnetik yang mempunyai frekuensi $11 \times 10^{12} \text{ m/s}$ dan kecepatan cahaya di udara $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ dan konstanta Planck $5,6253 \times 10^{-34} \text{ Js}$. Tentukanlah:
 - panjang gelombang elektromagnetik yang menyinari logam;
 - kecepatan elektron yang terlepas dari logam;
 - energi foto elektron yang terlepas dari logam;
 - frekuensi minimum gelombang elektromagnetik agar elektron terlepas dari logam.
- Suatu berkas elektron ditambahkan pada gas hidrogen, dihasilkan pemancaran spektrum yang berasal dari transisi $n = 3$ ke keadaan $n = 2$. Jika energi ikat elektron pada tingkat dasar sama dengan 13,6 eV, tentukanlah energi minimum elektron.
- Dalam reaksi ${}^{14}_7\text{N} + \alpha \rightarrow X + p$ dilepaskan sejumlah energi. Pada persamaan reaksi tersebut, tentukan unsur apakah X.
- Sebuah partikel bergerak dengan laju $v = \frac{1}{2}\sqrt{3}C$ dengan $C =$ kecepatan cahaya. Jika $m_0 =$ energi diam, $m =$ massa bergerak, $E_k =$ energi kinetik, dan $E_0 =$ energi diam. Tentukan:
 - hubungan antara massa diam dan massa bergerak partikel;
 - hubungan antara energi diam dan energi bergerak partikel.

Kunci Jawaban



Bab 1 Gejala Gelombang

Tes Kompetensi Awal

1. Gelombang adalah getaran yang merambat.
3. Jenis gelombang:
 - a. berdasarkan sumbernya: gelombang mekanik dan gelombang elektromagnetik;
 - b. berdasarkan arah simpangan: gelombang transversal dan gelombang longitudinal.

Tes Kompetensi Subbab A

1. Berdasarkan sumbernya, dibedakan menjadi gelombang mekanik dan gelombang elektromagnetik (untuk penjelasan lihat Hal.2). Berdasarkan arah getarnya, dibedakan menjadi gelombang transversal dan gelombang longitudinal (untuk penjelasan, lihat Hal. 3).
3. – Karena energinya makin jauh dari sumber makin berkurang.
– Karena kedalaman laut makin pendek.
5. a. pengurangan energinya adalah $5/8$ J
b. energi gelombangnya menjadi $0,0125$ J atau $\frac{1}{6}$ kali energi awalnya

Tes Kompetensi Subbab B

1. a. $y = 3,136 \sin \frac{\pi}{4} (t - 25)$
b. $A = 0,376$ m
c. letak simpul ke-4 adalah $x = 0,81$ m
letak perut ke-3 adalah $x = 0,54$ m
3. a. $\lambda = 0,1$ m
b. $x = 0,125$ m
5. $y = 0,23$ mm
7. $\lambda = 1,36$ m
 $x = 3,4$ m

Tes Kompetensi Subbab C

1. $\lambda_2 = 1,5$ cm
3. $\theta_2 = 25,66^\circ$
5. a. $f_p = 475,8$ Hz
b. $f_p = 337,8$ Hz
7. a. $f_p = 531,25$ Hz
b. $f_p = 539,68$ Hz
c. $f_p = 478,87$ Hz

Tes Kompetensi Bab 1

A. Pilihan Ganda

- | | | | |
|------|-------|-------|-------|
| 1. d | 9. c | 17. a | 23. c |
| 3. c | 11. b | 19. c | 25. d |
| 5. a | 13. d | 21. c | |
| 7. c | 15. a | | |

B. Soal uraian

1. B dan F
D dan H
3. a. $Y_B = 1$ cm
b. $\varphi = 39$ rad
5. a. $A = -10^{-7}$ cm
b. $\lambda = 10$ m/s
c. $v = 17.000$ cm/s
d. $T = 5,88 \times 10^{-4}$ s
7. a. $\Delta\theta = 0,8$ rad
b. $\lambda_B = 0,951$ cm

9. a. $f_p = 637,6$ Hz
b. $f_p = 636,4$ Hz
c. $f_p = 638,7$ Hz

Bab 2 Gelombang Elektromagnetik

Tes Kompetensi Awal

1. Gelombang elektromagnetik adalah gelombang yang sumbernya berasal dari getaran medan listrik dan medan magnetik.
3. Kecepatan cahaya di ruang hampa adalah 3×10^8 m/s.

Tes Kompetensi Subbab A

1. Interferensi cahaya adalah perpaduan dua gelombang cahaya yang koheren, yaitu frekuensi dan beda fasenya sama.
3. $\lambda = 60 \mu\text{m}$
5. $d = 225 \times 10^{-9}$ m

Tes Kompetensi Subbab B

1. $\theta = 0,6875^\circ = 0,69^\circ$
3. $r = 359,9 \mu\text{m}$
5. $\theta = 0^\circ = 0$ rad

Tes Kompetensi Subbab C

1. $n_2 = 1,43$
3. $Q_1 - Q_2 = 1,33^\circ$

Tes Kompetensi Bab 2

A. Pilihan Ganda

- | | | | |
|------|------|-------|-------|
| 1. b | 5. d | 9. b | 13. c |
| 3. c | 7. d | 11. c | 15. b |

B. Soal uraian

1. $\lambda = 5.000 \text{ \AA}$
3. $\lambda = 2,95 \times 10^{-7}$

Bab 3 Gelombang Bunyi

Tes Kompetensi Awal

1. Gelombang mekanik.
3. Audiosonik adalah rentang frekuensi antara 20 Hz sampai 20.000 Hz, infrasonik adalah rentang frekuensi bunyi dibawah 20 Hz, dan ultrasonik adalah rentang frekuensi diatas 20.000 Hz.
5. Bukan, gelombang yang dipancarkan pemancar radio termasuk gelombang elektromagnetik.

Tes Kompetensi Subbab A

1. Sumber bunyi adalah getaran yang menimbulkan getaran merambat pada medium.
3. Tidak, karena tidak ada medium getarnya.
5. Nada adalah bunyi yang teratur sedangkan desah adalah bunyi yang tidak teratur.

Tes Kompetensi Subbab B

1. $v = 12,85$ m/s
3. $v_2 = 508$ m/s
5. $v_{\text{al}} = 0,5 \times 10^4$ (sama saja)

Tes Kompetensi Subbab C

1. $s = 4.080$ m/s
3. Karena melalui pendengarannya, dia mampu mengetahui benda yang ada dihadapannya.
5. a. frekuensi tetap
b. panjang gelombang tetap
c. cepat rambat gelombang tetap
d. amplitudo membesar

Tes Kompetensi Subbab D

1. Difraksi gelombang bunyi adalah peristiwa pembelokan gelombang bunyi ketika melalui celah atau muka gelombang terhalang sebagian.
3. $f_2 = 307 \text{ Hz}$

Tes Kompetensi Subbab E

1. $F = 25 \text{ N}$
3. $\lambda_2 = 4 \text{ cm}$
5. $f_0 = 560 \text{ Hz}$
7. $\ell = 50 \text{ cm}$

Tes Kompetensi Subbab F

1. $T_{60} = 42,78 \text{ dB}$
3. $T_1 = 86 \text{ dB}$
5. $\frac{63}{64} I_0$

Tes Kompetensi Bab 3

A. Pilihan Ganda

- | | | | |
|------|-------|-------|-------|
| 1. b | 9. a | 17. c | 23. d |
| 3. d | 11. c | 19. e | 25. d |
| 5. b | 13. c | 21. e | |
| 7. d | 15. c | | |

B. Soal uraian

1. $v = 110 \text{ m/s}$
3. $f_{\text{layang-layang}} = 5 \text{ Hz}$
5. a. $f_0 = 250 \text{ Hz}$
b. $f_3 = 1.250 \text{ Hz}$
7. $f_{\text{layang-layang}} = 4 \text{ Hz}$
9. $x = 1,2 \text{ m}$

Bab 4 Medan Listrik, Potensial Listrik, dan Kapasitor

Tes Kompetensi Awal

1. Ya. Setiap benda memiliki muatan listrik. Muatan totalnya ada yang netral dan ada yang tidak netral. Netral bila jumlah muatan positif sama dengan jumlah muatan negatifnya.
3. Kapasitor merupakan komponen elektronika yang berfungsi salahsatunya sebagai penyetabil tegangan (perata tegangan) listrik. Cara kerjanya adalah ketika dihubungkan dengan sumber tegangan maka kapasitor akan menyimpan muatan. Jika tegangan luar tidak ada, kapasitor akan memiliki tegangan yang berasal dari muatan yang tersimpan tadi.

Tes Kompetensi Subbab A

1. $F = 92,16 \times 10^{-9} \text{ N}$
3. a. $F_{\text{total}} = 10,8 \text{ N}$ (ke arah muatan $-12 \mu\text{C}$)
b. Muatan harus disimpan pada jarak $0,2 \text{ m}$ atau $1,4$ ke arah muatan $-6 \mu\text{C}$.
5. a. Jarak kedua partikel harus $\frac{1}{2}$ kali semula.
b. Jarak kedua partikel harus 2 kali semula.
7. a. Besar sudut $\theta = 27^\circ$.
b. Besar tegangan pada tali $T = 0,4 \text{ N}$.

Tes Kompetensi Subbab B

1. a. Elektron akan berhenti setelah $17 \times 10^{-9} \text{ s}$.
b. Jarak yang ditempuh elektron adalah 1 cm .
3. Letak titik yang kuat medan magnetnya nol adalah titik yang berjarak 4 cm dari muatan $(-4q)$
5. a. $\phi = 0$
b. $\phi = 0,2 \text{ Nm}^2/\text{C}$
c. $\phi = 0,1\sqrt{3} \text{ Nm}^2/\text{C}$

Tes Kompetensi Subbab C

1. $E_p = 4,5 \times 10^{-13} \text{ joule}$
3. a. $V_{\text{pusat}} = 36\sqrt{2} \times 10^4 \text{ volt}$
b. $V_{\text{pusat}} = -45\sqrt{2} \times 10^3 \text{ volt}$
5. $s = 0,2 \text{ mm}$

Tes Kompetensi Subbab D

1. a. $C_{\text{total}} = 1,85 \mu\text{F}$
b. $q = 44,3 \times 10^{-6} \text{ C}$
3. a. $C_{\text{total}} = 10,8 \mu\text{F}$
 $q_{\text{total}} = 259,2 \times 10^{-6} \text{ C}$
b. $C_{\text{total}} = 6 \mu\text{F}$
 $q_{\text{total}} = 144 \times 10^{-6} \text{ C}$
c. $C_{\text{total}} = 6 \mu\text{F}$
 $q_{\text{total}} = 144 \times 10^{-6} \text{ C}$
5. a. $C = 5,6 \times 10^{-11} \text{ F}$
b. $q = 134,4 \times 10^{-11} \text{ C}$
c. $W = 1.612,8 \times 10^{-11} \text{ joule}$

Tes Kompetensi Bab 4

A. Pilihan Ganda

- | | | | |
|------|-------|-------|-------|
| 1. b | 7. c | 13. b | 17. a |
| 3. e | 9. b | 15. a | 19. d |
| 5. e | 11. e | | |

B. Soal uraian

1. a. $E_{\text{total}} = 1,42 \times 10^{-7} \text{ N/C}$
b. $F = 5,5 \text{ N}$
3. $k = \frac{C'}{C} = \frac{\mu F}{5\mu F} = 6$
5. $r = 0,2 \times 10^{-10} \text{ m}$
7. $W = 4 \times 10^{-7} \text{ C} \times 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2 \left(\frac{2 \times 10^{-6} \text{ C}}{10^{-2} \text{ m}} + \frac{2 \times 10^{-6} \text{ C}}{5 \times 10^{-3}} \right)$
9. a. $\frac{5}{6} \text{ C}$ c. $5\mu\text{F}$
b. $\frac{3}{2} \text{ C}$ d. μF

Bab 5 Medan Magnetik

Tes Kompetensi Awal

1. Ya.
3. Induktor, transformator.

Tes Kompetensi Subbab A

1. a. masuk bidang buku
b. masuk bidang buku
c. keluar bidang buku
3. Arah medan magnet di titik dan searah sumbu- $(-y)$ dan arah medan magnet di titik B searah sumbu- z .
5. $I = \frac{25}{\pi} \text{ A}$

Tes Kompetensi Subbab B

1. $F = 2 \text{ N}$
3. $v = 4 \times 10^7 \text{ m/s}$
5. a. $F = 0 \text{ N}$
b. $F = 0,336 \times 10^{-15} \text{ N}$ (arahnya searah sumbu- y negatif)
c. $F = 0,336 \times 10^{-15} \text{ N}$ (arahnya searah sumbu- z negatif)

Tes Kompetensi Bab 5

A. Pilihan Ganda

- | | | | |
|------|-------|-------|-------|
| 1. d | 9. e | 17. a | 25. e |
| 3. d | 11. c | 19. d | 27. a |
| 5. e | 13. a | 21. b | 29. e |
| 7. c | 15. a | 23. d | |

B. Soal uraian

1. a. ke dalam
b. ke luar
c. ke bawah
3. $B_p = -1,89 \times 10^{-5} \text{ T}$
5. 5 cm dari P
7. $B = 12 \times 10^{-5} \text{ T}$
9. $B_p = 6,67 \times 10^{-7} \text{ T}$

11. a. $B = 1,6 \times 10^{-6} \text{ T}$
b. $B = 3,14 \times 10^{-5} \text{ T}$
13. a. $B_p = 1,5 \pi \times 10^{-4} \text{ T}$
b. berlawanan arah jarum jam
15. $I = 60,5 \text{ A}$
17. $N = 125$ lilitan
19. $F = \frac{1}{2} \sqrt{3} \text{ N}$

Bab 6 Induksi Elektromagnetik

Tes Kompetensi Awal

1. Oersted menemukan bahwa arus listrik dapat menimbulkan medan magnet dan yang membuktikannya adalah Michael Faraday.
3. Ada dua jenis transformator. Transformator *step-up* untuk menaikkan tegangan dan transformator *step-down* untuk menurunkan tegangan.

Tes Kompetensi Subbab A

1. Besaran yang menyebabkan pergerakan itu adalah arus listrik.
 - a. Jarum diam pada titik setimbang.
 - b. Jarum menyimpang dengan simpangan yang besar.
 - c. Jarum menyimpang ke arah yang berlawanan dengan ketika digerakkan masuk ke dalam kumparan.
3. a. $L = 10 \text{ H}$
b. $\epsilon_m = 0,5 \text{ volt}$
5. $F = 4 \times 10^{-9} \text{ N}$
Arah arus dalam kawat PQ dari Q ke P.

Tes Kompetensi Subbab B

1. a. $V_2 = 1.500 \text{ volt}$
b. $I_1 = 25 \text{ A}$
c. $p_1 = p_2 = 3.000 \text{ watt}$
3. a. $N_1 = 6.600$ lilitan
b. $I_p = 44 \text{ mA}$
c. $P_p = 9,68 \text{ watt}$

Tes Kompetensi Subbab C

1. a. Harga efektif kuat arus dan tegangan bolak-balik adalah harga kuat arus dan tegangan bolak-balik yang setara dengan harga kuat arus dan tegangan searah ketika berubah menjadi energi kalor.
b. Harga maksimum adalah kuat arus dan tegangan bolak-balik adalah harga kuat arus dan tegangan bolak-balik tertinggi yang terbaca pada grafik atau berdasarkan perhitungan.
c. Harga kuat arus dan tegangan rata-rata adalah harga kuat arus dan tegangan bolak-balik ketika diubah menjadi kuat arus dan tegangan searah.
3. a. $Z = 50 \Omega$
b. $X_L = 30 \Omega$
c. $V_{ml} = 60 \text{ volt}$
5. $V = 20 \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right)$
7. a. $I = 34.285,7 \text{ A}$
b. $I = 338.983 \text{ A}$

Tes Kompetensi Bab 6

A. Pilihan Ganda

1. d 11. c
3. d 13. b
5. b 15. c
7. d 17. a
9. b 19. b

B. Soal uraian

1. Jika sebuah kumparan mengalami perubahan jumlah garis-garis gaya magnet (fluks magnetik), pada kawat kumparan timbul arus listrik.
3. a. Prinsip kerja dinamo arus bolak-balik: kumparan yang diletakkan dalam medan magnet berputar sehingga mengalami perubahan garis gaya magnetik. Akibatnya, terjadi ggl induksi dan arus listrik yang dihasilkannya berupa arus bolak-balik.
b. Prinsip kerja dinamo arus searah sama dengan prinsip kerja generator arus bolak-balik. Perbedaannya, pada generator arus searah dipasang komutator untuk mengubah arus bolak-balik dari generator menjadi arus searah.
5. a. $\eta = 21,8\%$
b. $N_p : N_s = 55 : 6$
7. a. $P_p = 88 \text{ W}$
b. $N_s = 120$ lilitan
c. $V_s = 22 \text{ volt}$
 $\eta = 93,18\%$
9. $V_s = 125 \text{ volt}; I_p = 4 \text{ A}; P_s = 10 \text{ kW}$

Tes Kompetensi Fisika Semester 1

A. Pilihan Ganda

- | | | | |
|------|-------|-------|-------|
| 1. e | 11. b | 21. e | 31. a |
| 3. b | 13. b | 23. a | 33. c |
| 5. c | 15. d | 25. c | 35. c |
| 7. d | 17. c | 27. a | |
| 9. b | 19. a | 29. d | |

B. Soal uraian

1. $f_p = 2.193,5 \text{ Hz}$
3. $d = 85,7 \text{ mm}$
5. $N = 157$ lilitan
7. $B = 6,7 \times 10^{-4} \text{ T}$
 - a. $\Phi = 6,7 \times 10^{-6} \text{ Wb}$
 - b. $\Phi = 0$
 - c. $\Phi = 4 \times 10^{-6} \text{ Wb}$
9. $X_L = 3.157,89 \pi$

Bab 7 Radiasi Benda Hitam

Tes Kompetensi Awal

1. Kain berwarna hitam, karena hitam menyerap semua cahaya yang datang sehingga lebih banyak kalor yang diterima dibandingkan warna putih yang memantulkan semua cahaya yang datang.
3. Ya, pada setiap saat benda memancarkan radiasi, artinya, mengeluarkan energi.
5. Efek fotolistrik adalah gejala terlepasnya elektron atom suatu logam ketika disinari oleh cahaya dengan frekuensi tertentu. Tokohnya adalah Hertz dan Albert Einstein. Efek Compton adalah gejala berkurangnya frekuensi (energi foton) ketika bertumbukan dengan elektron, tokohnya adalah Arthur H. Compton.

Tes Kompetensi Subbab A

1. $A = 391,76 \text{ m}^2$
3. $T = 1,24 \times 10^3 \text{ K}$
5. $I = 1,688 \text{ W/m}^2$
7. $P = 0,0147 \text{ watt}$

Tes Kompetensi Subbab B

1. a. $\lambda = 6,875 \times 10^{-7} \text{ m}$
b. $E_k = 0,95 \text{ eV}$
c. $V_0 = 0,95 \text{ volt}$

- $\lambda' = 0,724 \times 10^{-10} \text{ m}$
- $\lambda = 0,36 \times 10^{-9} \text{ m}$
 - $\lambda = 1,98 \times 10^{-13} \text{ m}$
 - $\lambda = 8,25 \times 10^{-40} \text{ m}$
- de Broglie menggagas bahwa partikel elektron yang bergerak dapat memiliki sifat gelombang yang dicirikan oleh panjang gelombang.
- $\lambda = 0,33 \times 10^{-19} \text{ m}$

A. Pilihan Ganda

- | | | | |
|------|-------|-------|-------|
| 1. c | 9. c | 17. c | 23. e |
| 3. c | 11. b | 19. d | 25. c |
| 5. d | 13. b | 21. c | |
| 7. c | 15. d | | |

B. Soal uraian

- $f_2 = 1,24 \times 10^{15} \text{ Hz}$
- $v = 4,4 \times 10^6 \text{ joule}$
- $P = 29,17 \text{ watt}$
- $v_2 = \sqrt{\frac{h4f - W}{m}}$
- Seperti eksperimen yang telah dilakukan oleh Davisson-Germer, berkas elektron dijatuhkan pada kristal tunggal nikel. Ternyata, pada sudut jatuh tertentu didapat titik maksimum. Ini menunjukkan bahwa berkas elektron tersebut menunjukkan pola interferensi.

Bab 8 Fisika Atom

Tes Kompetensi Awal

- Elektron berada di kulit atom; Proton berada di inti atom; Neutron berada di inti atom.
- Kulit K mampu menampung 2 elektron; Kulit L mampu menampung 8 elektron; Kulit M mampu menampung 18 elektron; Kulit N mampu menampung 32 elektron; dan seterusnya.

Tes Kompetensi Subbab A

- Ada dua alasan yang mendasari kesimpulan Thomson, yaitu:
 - Konsep dasar yang menyatakan bahwa atom itu netral;
 - Untuk atom teringan, hidrogen. Ternyata, nilai e/m jauh lebih kecil dari massa atomnya.
- Terpanjang adalah $\lambda = 6,56 \times 10^{-7} \text{ m}$
Terpendek adalah $\lambda = 3,65 \times 10^{-7} \text{ m}$
- $n = 1,1 \times 10^{-3}$
- $v = 5,45 \times 10^5 \text{ m/s}$
 - $E_k = 1,35 \times 10^{-19} \text{ joule}$
 - $E_p = 2,72 \times 10^{-19} \text{ joule}$
 - $E_T = 4,07 \times 10^{-19} \text{ joule}$
- $f = 2,46 \times 10^{15} \text{ Hz}$

Tes Kompetensi Subbab B

- Untuk kulit M, $n = 3$ maka jumlah elektron yang diperbolehkan adalah $2n^2 = 2(3)^2 = 18$.
Untuk kulit N, $n = 4$ maka jumlah elektron yang diperbolehkan adalah $2n^2 = 2(4)^2 = 32$.
- Bilangan kuantum utama adalah bilangan kuantum yang menyatakan besar energi total dalam kulit atom. Bilangan kuantum orbital adalah bilangan kuantum yang menyatakan besarnya momentum sudut elektron yang berotasi terhadap poros inti atom. Bilangan kuantum spin adalah bilangan kuantum yang menyatakan arah perputaran elektron terhadap sumbu yang dapat menimbulkan momen magnetik.
- Karena menurut larangan Pauli, tidak boleh ada elektron yang memiliki empat bilangan kuantum yang sama. Jika ada elektron ketiga dalam suatu orbital maka bilangan kuantum elektron pertama dan ketiga akan sama.

- Spektrum absorpsi adalah spektrum yang terjadi karena penyerapan panjang gelombang tertentu dari suatu cahaya. Spektrum emisi adalah spektrum yang dihasilkan oleh pancaran gelombang elektromagnetik.
- Dalam suatu golongan dari atas ke bawah, energi ionisasi atom semakin menurun, sedangkan dalam suatu periode dari kiri ke kanan, energi ionisasi semakin meningkat.

A. Pilihan Ganda

- | | | | |
|------|-------|-------|-------|
| 1. e | 9. b | 17. d | 23. b |
| 3. a | 11. d | 19. d | 25. a |
| 5. d | 13. b | 21. a | |
| 7. c | 15. d | | |

B. Soal Uraian

- Metode atom Rutherford:
 - Atom terdiri atas inti atom yang bermuatan positif. Inti atom mengandung hampir seluruh massa atom dan dikelilingi oleh elektron-elektron bermuatan negatif, seperti model tata surya.
 - Selama mengelilingi inti, gaya sentripetal pada elektron dibentuk oleh gaya tarik elektrostatik (gaya Coulomb).
- panjang gelombang terpendek deret Lyman:
 $\lambda = 9,12 \times 10^{-8} \text{ m}$
 - Panjang gelombang terpendek deret Paschen:
 $\lambda = 9,2 \times 10^{-8} \text{ m}$
 - Panjang gelombang terpendek deret Pfund:
 $\lambda = 2,279 \times 10^{-8} \text{ m}$
- $\Delta E = 2,04 \times 10^{-18} \text{ joule m/s}$
 $\lambda = 9,75 \times 10^{-8} \text{ m}$
 $f = 0,3 \times 10^{16} \text{ Hz}$
- $E_2 = -3,4 \text{ eV}$
 $E_3 = -1,51 \text{ eV}$
 $E_h = E_2 - E_3 = 1,89 \text{ eV}$
- Konfigurasi elektronnya adalah $1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^6, 4s^1$.
 - Karena konfigurasi elektron tidak stabil, untuk mencapai kestabilan atom kalium cenderung bereaksi dengan atom lain atau membentuk ion K^+ dengan cara melepaskan 1 elektronnya.

Bab 9 Teori Relativitas Khusus

Tes Kompetensi Awal

- Gerak relatif adalah gerak yang ditinjau dari kerangka acuan tertentu. Pada kasus tadi, jika ditinjau dari kerangka acuan pohon yang diam maka Andalah yang bergerak.
- Tidak mungkin. Di alam ini kecepatan tertinggi adalah kecepatan cahaya, yaitu $3 \times 10^8 \text{ m/s}$.

Tes Kompetensi Subbab A

- Manusia dahulu berpandangan bahwa gelombang cahaya merambat melalui suatu medium. Pada awal abad ke-19, para ahli berhipotesis bahwa medium tersebut adalah eter yang tersebar sampai ruang luar angkasa.
- Prinsip relativitas Galileo dikenal sebagai prinsip relativitas klasik karena hanya berkaitan dengan hukum-hukum gerak Newton. Gerak dan persamaan gerak suatu benda sama dalam semua kerangka acuan inersial.
- Metode yang dilakukan dalam percobaan Morley-Michelson adalah dengan cara menghitung waktu yang diperlukan untuk mencapai jarak yang sama jika arah cahaya searah dengan arah gerak eter dan jika cahaya tegak lurus dengan arah eter. Kesimpulan dari percobaan itu, ternyata waktu yang diperlukan sama saja. Artinya, kecepatan cahaya itu tetap dan eter tidak ada.

Tes Kompetensi Subbab B

- $v = 0,75c$
- a. $v = 0,8c$
b. $v = 0,988c$
c. $v = 0,9c$
d. $v = 0,988c$
- a. 2 m
b. $L = 1,2$ m
- Umur A 38,3 tahun dan umur B 33 tahun.

A. Pilihan Ganda

- | | | | |
|------|-------|-------|-------|
| 1. c | 9. a | 17. d | 23. e |
| 3. c | 11. d | 19. b | 25. c |
| 5. b | 13. a | 21. c | |
| 7. e | 15. c | | |

B. Soal Uraian

- $V_p = 0,56c$
- $v = 2 \times 10^8 \text{ m/s} = \frac{2}{3}c$
 $P = 3,57c$
- $$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{10}{\sqrt{1 - \frac{(0,98c)^2}{c^2}}}$$

Bab 10 Fisika Inti dan Radioaktivitas

Tes Kompetensi Awal

- Nomor atom adalah nilai yang menunjukkan jumlah proton atau elektron dalam atom netral, sedangkan nomor massa adalah nilai yang menunjukkan jumlah proton dan neutron dalam inti atom.
- Peluruhan adalah proses perubahan suatu inti atau menjadi inti atom baru.
- Reaksi nuklir merupakan reaksi yang melibatkan komponen inti atom sehingga menghasilkan inti baru, sedangkan reaksi kimia adalah reaksi yang hanya melibatkan elektron yang ada pada kulit atom dan tidak menghasilkan inti atom baru.

Tes Kompetensi Subbab A

- Efeknya, massa inti atom yang terbentuk lebih ringan dari massa total nukleon pembentuknya ini diakibatkan sebagian massa nukleon berubah menjadi energi untuk membentuk inti.
- a. $\Delta m = 0,187 \text{ sma}$
b. $\Delta E = 174,1905 \text{ MeV}$
- a. $\Delta m = 0,09 \text{ sma}$
b. $\Delta E = 83,835 \text{ MeV}$
c. $E = 6,98625 \text{ MeV}$

Tes Kompetensi Subbab B

- Partikel A adalah gamma.
Partikel B adalah proton.
- $t = 10,5$ hari
- $T_{\frac{1}{2}} = 0,75$ jam
- $\lambda = 2,4 \times 10^{-4}$

Tes Kompetensi Subbab C

- a. alfa
b. oksigen
c. neutron
d. gamma
- Energi fisinya adalah 12916,69866/MeV
- Energi ikat Si adalah 208,74882 MeV.
Energi ikat C adalah 80,17772 MeV.
Energi ikat N adalah 90,74457 MeV.
- Energinya adalah 3745,5615 MeV.

Tes Kompetensi Subbab D

- Teras, elemen bakar, moderator, batang kendali, *shielding*, dan pendingin.
- Reaktor daya, reaktor produksi isotop, dan reaktor penelitian.
- Dalam bidang kedokteran, radioisotop dilakukan dengan cara menyuntikkan isotop radioaktif ke dalam tubuh. isotop tersebut kemudian ditangkap oleh detektor di luar tubuh sehingga diperoleh gambaran yang menunjukkan distribusinya dalam tubuh.

A. Pilihan Ganda

- | | | | |
|------|-------|-------|-------|
| 1. a | 9. b | 17. c | 23. e |
| 3. c | 11. e | 19. e | 25. c |
| 5. a | 13. d | 21. d | |
| 7. b | 15. a | | |

B. Soal Uraian

- Dengan memasukkan uranium ke dalam kotak timah tertutup dan menyimpannya sehingga uranium tidak menerima cahaya dari luar. Ternyata, uranium tetap menunjukkan gejala radiasi.
- Energi ikat inti adalah energi yang dimiliki inti untuk mengikat nuklida penyusunnya. Energi ikat ini berasal dari massa nuklida yang hilang ketika bergabung membentuk inti.
- Jumlah energi dikali waktu (L) = $6 \times 10^4 \text{ kWh}$
Daya yang dihasilkan (P) = $30 \text{ MW} = 3 \times 10^4 \text{ kW}$
 $t = 2$ jam

Tes Kompetensi Fisika Semester 2

A. Pilihan Ganda

- | | | | |
|------|-------|-------|-------|
| 1. d | 9. d | 17. c | 25. e |
| 3. d | 11. b | 19. c | 27. a |
| 5. e | 13. a | 21. b | 29. e |
| 7. c | 15. d | 23. c | |

B. Soal Uraian

- Karena berkas cahaya yang memasuki lubang pada kotak hampir diserap sempurna melalui beberapa kali pemantulan pada dinding-dinding kotak. Dengan demikian, berkas cahaya yang masuk ke lubang hampir tidak keluar lagi (terperangkap) karena energinya habis diserap.
- a. $7,3 \times 10^6 \text{ m/s}$
b. $5\sqrt{2} \times 10^{-2} \text{ nm}$
- -84.900 eV
- 125 kg
- 6,8894 MeV

Tes Kompetensi Akhir

A. Pilihan Ganda

- | | | | |
|------|-------|-------|-------|
| 1. b | 11. d | 21. b | 31. e |
| 3. d | 13. a | 23. d | 33. a |
| 5. d | 15. e | 25. c | 35. b |
| 7. c | 17. d | 27. d | 37. c |
| 9. e | 19. c | 29. d | 39. b |

B. Soal Uraian

- $v = 20 \text{ m/s}$
- 80 dB
- $P = 4 \times 10^{-9} \text{ Ns}$
- a. $\lambda = 27 \times 10^{-6} \text{ m}$
b. $v_c = 6,65 \times 10^4 \text{ m/s}$
c. $19,98 \times 10^{-22} \text{ joule}$
d. $7,99 \times 10^{12} \text{ Hz}$
- 1,9 eV

Apendiks



Simbol-Symbol Matematika

=	: sama dengan	Δx	: perubahan x
\neq	: tidak sama dengan	$ x $: nilai absolut x
\approx	: hampir sama dengan	$n!$: $n(n-1)(n-2) \dots 1$
\sim	: dalam orde	Σ	: jumlah
\propto	: sebanding dengan	lim	: limit
$>$: lebih besar dari	$\Delta t \rightarrow 0$: Δt mendekati nol
\gg	: lebih besar sama dengan	$\frac{dx}{dt}$: turunan x terhadap t
$<$: lebih kecil	$\frac{\partial x}{\partial t}$: turunan parsial x terhadap t
\ll	: lebih kecil sama dengan	\int	: integral
\lll	: jauh lebih kecil dari		

Rumus Trigonometri

$$\begin{aligned} \sin^2 \theta + \cos^2 \theta &= 1 \\ \sec^2 \theta - \tan^2 \theta &= 1 \\ \csc^2 \theta - \cot^2 \theta &= 1 \\ \sin 2\theta &= 2 \sin \theta \cos \theta \\ \cos 2\theta &= \cos^2 \theta - \sin^2 \theta \\ &= 2 \cos^2 \theta - 1 \\ &= 1 - 2 \sin^2 \theta \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tan 2\theta &= \frac{2 \tan \theta}{1 - \tan^2 \theta} \\ \sin \frac{1}{2} \theta &= \sqrt{\frac{1 - \cos \theta}{2}} \cos \frac{1}{2} \theta \\ &= \sqrt{\frac{1 + \cos \theta}{2}} \tan \frac{1}{2} \theta \\ &= \sqrt{\frac{1 - \cos \theta}{1 + \cos \theta}} \end{aligned}$$

Turunan Fungsi-Fungsi Tertentu

$$\begin{aligned} \frac{dC}{dt} &= 0 \text{ dengan } C \text{ adalah konstanta} \\ \frac{d(t^n)}{dt} &= nt^{n-1} \\ \frac{d}{dt} \sin \omega t &= \omega \cos \omega t \\ \frac{d}{dt} \cos \omega t &= -\omega \sin \omega t \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \tan \omega t &= \omega \sec^2 \omega t \\ \frac{d}{dt} e^{bt} &= be^{bt} \\ \frac{d}{dt} \ln bt &= \frac{1}{t} \end{aligned}$$

Rumus-Rumus Integrasi

$$\begin{aligned} \int A dt &= At \\ \int A t dt &= \frac{1}{2} A t^2 \\ \int A t^n dt &= A \frac{t^{n+1}}{n+1} \quad n \neq -1 \\ \int A t^{-1} dt &= A \ln t \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \int e^{bt} dt &= \frac{1}{b} e^{bt} A t \\ \int \cos \omega t dt &= \frac{1}{\omega} \sin \omega t \\ \int \sin \omega t dt &= -\frac{1}{\omega} \cos \omega t \end{aligned}$$

Satuan-Satuan Dasar

Panjang	Meter (m) adalah jarak yang ditempuh oleh cahaya di ruang vakum dalam waktu $1/299.792.458$ sekon	Arus	Ampere (A) adalah arus pada dua kawat panjang paralel yang terpisah sejauh 1 meter dan menimbulkan gaya magnetik per satuan panjang sebesar 2×10^{-7} N/m
Waktu	Sekon (s) adalah waktu yang diperlukan untuk $9.192.631.770$ siklus pada radiasi yang berhubungan dengan transisi antara dua tingkat hiperfin dengan keadaan dasar pada atom ^{133}Cs	Temperatur	Kelvin (K) adalah $1/273.16$ dari temperatur termodinamika pada <i>triple point air</i>
Massa	Kilogram (kg) adalah massa pada Standar Internasional untuk bobot dan ukuran yang disimpan di Sevres, Prancis	Intensitas cahaya	Candela (cd) adalah intensitas cahaya dalam arah tegak lurus permukaan benda hitam seluas $1/600.000$ m pada temperatur beku platinum dengan tekanan 1 atm

Satuan-Satuan Turunan

Gaya	newton (N)	$1 \text{ N} = 1 \text{ kg m/s}^2$	Hambatan listrik	ohm (Ω)	$1 \Omega = 1 \text{ V/A}$
Kerja, Energi	joule (J)	$1 \text{ J} = 1 \text{ N/m}$	Kapasitas listrik	farad (F)	$1 \text{ F} = 1 \text{ C/V}$
Daya	watt (W)	$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$	Medan magnet	tesla (T)	$1 \text{ T} = 1 \text{ N/Am}$
Frekuensi	hertz (Hz)	$1 \text{ Hz} = 1/\text{s}$	Fluks magnet	weber (Wb)	$1 \text{ Wb} = 1 \text{ T/m}^2$
Muatan listrik	coulomb (C)	$1 \text{ C} = 1 \text{ A/s}$	Induktansi	henry (H)	$1 \text{ H} = 1 \text{ J/A}^2$
Potensial listrik	volt (V)	$1 \text{ V} = 1 \text{ J/C}$			

Data Terrestrial

Percepatan gravitasi g	$9,80665 \text{ m/s}^2$	Tekanan	$101,325 \text{ kPa}$
Massa bumi M_B	$5,98 \times 10^{24} \text{ kg}$		$1,00 \text{ atm}$
Jari-jari bumi, R_B , rata-rata	$6,37 \times 10^6 \text{ m}$ 3960 mil	Massa molar udara	$28,97 \text{ g/mol}$
Kecepatan lepas $\sqrt{2R_B g}$	$1,12 \times 10^4 \text{ m/s}$	Massa jenis udara (STP), ρ_{udara}	$1,293 \text{ kg/m}^3$
Konstanta matahari*	$1,35 \text{ KW/m}^2$	Kecepatan suara (STP)	331 m/s
Suhu dan tekanan standar (STP):		Kalor didih air (0°C , 1 atm)	$333,5 \text{ kJ/kg}$
Temperatur	$273,15 \text{ K}$	Kalor penguapan air (100°C , 1 atm)	$2,257 \text{ MJ/kg}$

* Daya rata-rata yang terjadi pada 1 m^2 di luar atmosfer bumi pada jarak rata-rata antara bumi dan matahari.

Data Astronomi

Bumi		Bulan	
Jarak ke bulan*	$3,844 \times 10^8 \text{ m}$ $2,389 \times 10^5 \text{ mil}$	Massa	$7,35 \times 10^{22} \text{ kg}$
Jarak ke matahari, rata-rata*	$1,496 \times 10^{11} \text{ m}$ $1,00 \text{ AU}$	Jari-jari	$1,738 \times 10^6 \text{ m}$
Kecepatan orbit, rata-rata	$2,98 \times 10^4 \text{ m/s}$	Periode	$27,32 \text{ hari}$
Matahari		Percepatan gravitasi pada permukaan	$1,62 \text{ m/s}^2$
Massa	$7,35 \times 10^{22} \text{ kg}$		
Jari-jari	$1,738 \times 10^6 \text{ m}$		

* pusat ke pusat

Konstanta Fisika

Konstanta gravitasi	G	$6,672 \times 10^{-11} \text{ N m}^2/\text{kg}^2$	Permitivitas ruang hampa	ϵ_0	$8,854 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$
Kecepatan cahaya	c	$2,998 \times 10^8 \text{ m/s}$	Permeabilitas ruang hampa	μ_0	$4 \times 10^{-7} \text{ N/A}^2$
Muatan elektron	e	$1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$	Konstanta Planck	h	$6,626 \times 10^{-34} \text{ Js}$
Konstanta Avogadro	N_A	$6,002 \times 10^{23} \text{ partikel/mol}$		\hbar	$1,055 \times 10^{-34} \text{ Js}$
Konstanta gas	R	$8,314 \times 10^{-11} \text{ J/mol K}$	Massa elektron	m_e	$9,109 \times 10^{-31} \text{ kg}$
Konstanta Boltzmann	k	$1,381 \times 10^{-23} \text{ J/K}$	Massa proton	m_p	$1,672 \times 10^{-27} \text{ kg}$
Unit massa terpadu	u	$1,661 \times 10^{-24} \text{ g}$	Massa neutron	m_n	$1,675 \times 10^{-27} \text{ kg}$
Konstanta Coulomb	k	$8,988 \times 10^9 \text{ N m}^2/\text{C}^2$			

Faktor-Faktor Konversi

Panjang

$1 \text{ km} = 0,6215 \text{ mil}$
 $1 \text{ mil} = 1,609 \text{ km}$
 $1 \text{ m} = 1,0396 \text{ yd} = 3,281 \text{ ft} = 39,37 \text{ inci}$
 $1 \text{ inci} = 2,54 \text{ cm}$
 $1 \text{ ft} = 12 \text{ inci} = 30,48 \text{ cm}$
 $1 \text{ yd} = 3 \text{ ft} = 91,44 \text{ cm}$
 $1 \text{ tahun cahaya} = 1 \text{ c tahun} = 9,461 \times 10^{15} \text{ m}$
 $1 \text{ \AA} = 0,1 \text{ nm}$

Luas

$1 \text{ m}^2 = 10^4 \text{ cm}^2$
 $1 \text{ km}^2 = 0,3851 \text{ mil}^2 = 247,1 \text{ ha}$
 $1 \text{ inci}^2 = 6,5416 \text{ cm}^2$
 $1 \text{ ft}^2 = 9,29 \times 10^{-2} \text{ m}^2$
 $1 \text{ m}^2 = 10,76 \text{ ft}^2$
 $1 \text{ ha} = 43,560 \text{ ft}^2$
 $1 \text{ mil}^2 = 640 \text{ ha}^2 = 590 \text{ km}^2$

Volume

$1 \text{ m}^3 = 10^6 \text{ cm}^3$
 $1 \text{ L} = 1.000 \text{ cm}^3 = 10^{-3} \text{ m}^3$
 $1 \text{ gal} = 3,786 \text{ L}$
 $1 \text{ gal} = 4 \text{ qt} = 8 \text{ pt} = 128 \text{ oz} = 231 \text{ inci}^3$
 $1 \text{ inci}^3 = 16,39 \text{ cm}^3$
 $1 \text{ ft}^3 = 1.728 \text{ inci}^3 = 28,32 \text{ L} = 2,832 \times 10^4 \text{ cm}^3$

Waktu

$1 \text{ jam} = 60 \text{ menit} = 3,6 \text{ ks}$
 $1 \text{ hari} = 24 \text{ jam} = 1.440 \text{ menit} = 86,4 \text{ ks}$
 $1 \text{ tahun} = 365,24 \text{ hari} = 31,56 \text{ Ms}$

Kecepatan

$1 \text{ km/jam} = 0,2778 \text{ m/s} = 0,6215 \text{ mil/jam}$
 $1 \text{ mil/jam} = 0,4470 \text{ m/s} = 1,609 \text{ km/jam}$
 $1 \text{ mil/jam} = 1,467 \text{ ft/s}$

Sudut dan Kecepatan Sudut

$1 \text{ rad} = 180^\circ$
 $1 \text{ rad} = 57,30^\circ$
 $1^\circ = 1,745 \times 10^{-2} \text{ rad}$
 $1 \text{ rev/menit} = 0,1047 \text{ rad/s}$
 $1 \text{ rad/s} = 9,549 \text{ rev/menit}$

Massa

$1 \text{ kg} = 1.000 \text{ g}$
 $1 \text{ ton} = 1.000 \text{ kg} = 1 \text{ Mg}$
 $1 \text{ u} = 1,6606 \times 10^{-27} \text{ kg}$
 $1 \text{ kg} = 6,022 \times 10^{23} \text{ u}$
 $1 \text{ slug} = 14,59 \text{ kg}$
 $1 \text{ kg} = 6,852 \times 10^{-2} \text{ slug}$
 $1 \text{ u} = 931,50 \text{ MeV}/c^2$

Massa Jenis

$1 \text{ g/cm}^3 = 10.000 \text{ kg/m}^3 = 1 \text{ kg/L}$
 $(1 \text{ g/cm}^3)g = 62,4 \text{ lb/ft}^3$

Gaya

$1 \text{ N} = 0,2248 \text{ lb} = 10^5 \text{ dyne}$
 $1 \text{ lb} = 4,4482 \text{ N}$
 $(1 \text{ kg})g = 2,2046 \text{ lb}$

Tekanan

$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$
 $1 \text{ atm} = 101,325 \text{ kPa} = 1,01325 \text{ bar}$
 $1 \text{ atm} = 14,7 \text{ lb/inci}^2 = 760 \text{ mmHg}$
 $1 \text{ torr} = 1 \text{ mmHg} = 133,32 \text{ Pa}$
 $1 \text{ bar} = 100 \text{ kPa}$

Energi

$1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$
 $1 \text{ kal} = 4,184 \text{ J}$
 $1 \text{ Latm} = 101,325 \text{ J} = 24,217 \text{ kal}$
 $1 \text{ Btu} = 778 \text{ ft lb} = 252 \text{ kal} = 1054,35 \text{ J}$
 $1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$
 $1 \text{ u } c^2 = 931,50 \text{ MeV}$
 $1 \text{ erg} = 10^{-7} \text{ J}$

Daya

$1 \text{ daya kuda} = 550 \text{ ft lb/s} = 745,7 \text{ W}$
 $1 \text{ Btu/menit} = 17,58 \text{ W}$
 $1 \text{ W} = 1,341 \times 10^{-3} \text{ daya kuda} = 0,7376 \text{ ft lb/s}$

Medan Magnet

$1 \text{ G} = 10^{-4} \text{ T}$
 $1 \text{ T} = 10^4 \text{ G}$

Konduktivitas Termal

$1 \text{ W/m K} = 6,938 \text{ Btu inci/jam ft}^2 \text{ }^\circ\text{F}$
 $1 \text{ Btu inci/jam ft}^2 \text{ }^\circ\text{F} = 0,1441 \text{ W/mK}$