



Physicspedia

BANK SOAL • EDISI GURU

Physicspedia

Fisika Itu Asyik!

840 soal asli dari Lv 1 Pemula sampai Lv 6 Olimpiade, lengkap dengan kunci dan pembahasan.



dr. Rachmat Hidayat, M.Sc, PhD

Editor: Abdullah Hanif Hidayat

Didukung oleh Aurumgen Academy

Edisi 1 • 2026 • Versi interaktif: aurumgen.my.id/physicspedia

Tentang bank soal edisi guru

Setiap bab berisi 24 soal yang tersusun seperti tangga: 4 soal untuk setiap level.

Level	Untuk siapa
Lv 1 • Pemula	SD–SMP awal
Lv 2 • Penjelajah	SMP (Fase D)
Lv 3 • Pejuang	SMA • TKA/UTBK
Lv 4 • IGCSE	gaya Cambridge IGCSE
Lv 5 • IB DP	gaya IB Physics
Lv 6 • Olimpiade	gaya OSN/IPhO

Edisi guru memuat kunci jawaban dan pembahasan langkah demi langkah tepat di bawah setiap soal.

Physicspedia • Fisika Itu Asyik! Edisi 1 (2026).

Penulis: **dr. Rachmat Hidayat, M.Sc, PhD**

Editor: **Abdullah Hanif Hidayat**

Didukung oleh Aurumgen Academy.

© 2026 dr. Rachmat Hidayat, M.Sc, PhD. Hak cipta dilindungi undang-undang. Dokumen ini boleh dicetak dan diperbanyak untuk keperluan pembelajaran nonkomersial dengan tetap mencantumkan sumber.

Semua soal dan LKPD adalah karya asli. Label "gaya IGCSE", "gaya IB", dan "gaya olimpiade" menunjukkan tingkat dan format, bukan salinan soal resmi. Disusun selaras dengan Capaian Pembelajaran 2025 (Keputusan Kepala BSKAP No. 046/H/KR/2025) dan pendekatan Pembelajaran Mendalam.

Versi interaktif dengan komik bergerak, Rumus Hidup, Lab Mini, dan latihan berskor: aurumgen.my.id/physicspedia

Daftar isi

BAGIAN A • FONDASI

1	Kenapa Fisika? Membaca Aturan Main Alam	5
2	Besaran, Satuan & Pengukuran	13
3	Vektor & Matematika Secukupnya	20

BAGIAN B • GERAK & GAYA

4	Gerak Lurus	27
5	Gerak Parabola & Gerak Relatif 2D	35
6	Hukum Newton tentang Gerak	42
7	Gesekan & Gerak Melingkar	49
8	Usaha, Energi & Daya	56
9	Momentum, Impuls & Tumbukan	63
10	Rotasi & Keseimbangan Benda Tegar	70
11	Gravitasi & Satelit	77
12	Elastisitas & Getaran Harmonik	85

BAGIAN C • FLUIDA & PANAS

13	Fluida Statis	92
14	Fluida Dinamis	99
15	Suhu, Kalor & Perpindahan Kalor	107
16	Teori Kinetik Gas	114
17	Termodinamika	121

BAGIAN D • GELOMBANG & CAHAYA

18	Gelombang Mekanik	129
19	Bunyi	136
20	Cermin, Lensa & Alat Optik	143

21	Cahaya sebagai Gelombang	150
----	--------------------------------	-----

BAGIAN E • LISTRIK & MAGNET

22	Listrik Statis & Kapasitor	157
23	Listrik Dinamis	164
24	Medan Magnet	171
25	Induksi Elektromagnetik	178
26	Arus Bolak-balik	185
27	Gelombang Elektromagnetik	192

BAGIAN F • FISIKA MODERN

28	Kuantum: Foton & Gelombang Materi	199
29	Model Atom & Spektrum	207
30	Relativitas Khusus	214
31	Inti Atom & Radioaktivitas	221
32	Elektronika & Gerbang Logika	228

BAGIAN G • FISIKA UNTUK INDONESIA & SEMESTA

33	Fisika Bumi & Bencana	236
34	Energi Terbarukan & Perubahan Iklim	243
35	Astrofisika & Alam Semesta	251

Lv 1 • Pemula SD-SMP awal

1. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Arti fisika • 01-1-01

Kata **fisika** berasal dari bahasa Yunani *physis*. Artinya adalah...

- A. angka dan hitungan
- B. alam
- C. mesin dan teknologi
- D. rumus

Kunci: B

Pembahasan: *Physis* berarti alam. Fisika adalah ilmu yang mempelajari aturan main alam: materi, energi, gerak, ruang, dan waktu. Rumus dan hitungan hanyalah alat untuk menuliskan aturan itu.

2. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Metode ilmiah • 01-1-02

Urutan langkah metode ilmiah yang paling tepat adalah...

- A. mengamati → bertanya → berhipotesis → bereksperimen → menyimpulkan
- B. bereksperimen → menyimpulkan → mengamati → bertanya → berhipotesis
- C. berhipotesis → menyimpulkan → bereksperimen → mengamati → bertanya
- D. menyimpulkan → bertanya → mengamati → berhipotesis → bereksperimen

Kunci: A

Pembahasan: Ilmuwan mulai dari **pengamatan**, yang memancing **pertanyaan**. Lalu ia membuat **hipotesis** (tebakan yang bisa diuji), mengujinya dengan **eksperimen**, dan akhirnya **menyimpulkan**. Kesimpulan tidak boleh dibuat sebelum ada data.

3. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Skala • 01-1-03

Manakah yang ukurannya **paling kecil**?

- A. semut rangrang
- B. tebal sehelai rambut
- C. sel darah merah
- D. atom hidrogen

Kunci: D

Pembahasan: Urutan dari besar ke kecil: semut rangrang ($\sim 10^{-2}$ m), tebal rambut ($\sim 10^{-4}$ m), sel darah merah ($\sim 10^{-5}$ m), dan atom hidrogen ($\sim 10^{-10}$ m). Atom puluhan ribu kali lebih kecil daripada sel darah merah!

4. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Gaya dasar • 01-1-04

Gaya yang membuat mangga jatuh dari pohon dan menjaga Bulan tetap mengelilingi Bumi adalah...

- A. gaya gravitasi
- B. gaya gesek
- C. gaya listrik statis
- D. gaya magnet

Kunci: A

Pembahasan: Gravitasi menarik semua benda yang bermassa. Gaya yang sama menarik mangga ke tanah dan menahan Bulan di orbitnya. Gravitasi adalah salah satu dari empat gaya dasar alam.

5. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Waktu cahaya • 01-2-01

Cahaya merambat dengan kecepatan 3×10^8 m/s. Jarak Bumi–Matahari sekitar $1,5 \times 10^{11}$ m. Berapa sekon waktu yang diperlukan cahaya Matahari untuk sampai ke Bumi?

Jawaban: s

Kunci: 500 s

Pembahasan: $t = \frac{d}{c} = \frac{1,5 \times 10^{11}}{3 \times 10^8} = 0,5 \times 10^3 = 500$ s.

Itu sekitar 8 menit 20 detik. Matahari yang kamu lihat adalah Matahari 8 menit yang lalu!

6. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Periode bandul • 01-2-02

Raka mengukur waktu 10 ayunan penuh sebuah bandul: 15 s. Berapa periode bandul itu?

Jawaban: s

Kunci: 1,5 s

Pembahasan: Periode adalah waktu untuk **satu** ayunan penuh (bolak-balik).

$$T = \frac{15 \text{ s}}{10} = 1,5 \text{ s.}$$

7. Lv 2 • Penjelajah • Pilihan ganda • Variabel kontrol • 01-2-03

Sari ingin menyelidiki apakah **panjang tali** memengaruhi periode bandul. Variabel yang harus dibuat **tetap** (variabel kontrol) adalah...

- | | |
|-------------------|------------------------------------|
| A. panjang tali | C. warna benang |
| B. periode bandul | D. massa beban dan sudut simpangan |

Kunci: D

Pembahasan: Panjang tali adalah variabel **bebas** (yang diubah), sedangkan periode adalah variabel **terikat** (yang diukur). Hal lain yang mungkin berpengaruh, yaitu massa beban dan sudut simpangan, harus dibuat **tetap** agar perbandingannya adil. Warna benang tidak berpengaruh pada gerak bandul.

8. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Pangkat sepuluh • 01-2-04

Diameter Bumi sekitar $1,3 \times 10^7$ m, sedangkan tinggi Raka 1,3 m. Berapa kali diameter Bumi dibanding tinggi Raka?

Jawaban: kali

Kunci: 1×10^7 kali

Pembahasan: $\frac{1,3 \times 10^7 \text{ m}}{1,3 \text{ m}} = 10^7 = 10.000.000$ kali.

Bumi sepuluh juta kali lebih besar daripada Raka.

9. Lv 3 • Pejuang • Isian • Tahun cahaya • 01-3-01

Satu tahun cahaya adalah jarak yang ditempuh cahaya dalam satu tahun (365,25 hari). Dengan $c = 3,00 \times 10^8$ m/s, berapa meter satu tahun cahaya? (Tulis misalnya 9,5e15.)

Jawaban: m

Kunci: $9,47 \times 10^{15}$ m

Pembahasan: Satu tahun $= 365,25 \times 24 \times 3600 = 3,156 \times 10^7$ s.

$d = ct = 3,00 \times 10^8 \times 3,156 \times 10^7 \approx 9,47 \times 10^{15}$ m.

Ingat, tahun cahaya adalah satuan **jarak**, bukan waktu!

10. Lv 3 • Pejuang • Isian • Pola bandul • 01-3-02

Bandul bertali 0,50 m berayun dengan periode 1,4 s. Jika talinya diganti menjadi 2,0 m (massa beban dan sudut kecil tetap), berapa periodenya? Gunakan pola $T \propto \sqrt{L}$.

Jawaban: s

Kunci: 2,8 s

Pembahasan: Panjang tali menjadi $2,0/0,50 = 4$ kali.

Karena $T \propto \sqrt{L}$, periode menjadi $\sqrt{4} = 2$ kali.

$T = 2 \times 1,4 = 2,8$ s.

11. Lv 3 • Pejuang • Pilihan ganda • Gaya dasar • 01-3-03

Urutan empat gaya dasar dari yang **paling kuat** ke yang **paling lemah** adalah...

- A. kuat, elektromagnetik, lemah, gravitasi
- B. gravitasi, elektromagnetik, kuat, lemah
- C. elektromagnetik, kuat, gravitasi, lemah
- D. kuat, gravitasi, elektromagnetik, lemah

Kunci: A

Pembahasan: Kekuatan relatif kira-kira: gaya kuat 1, elektromagnetik 10^{-2} , lemah 10^{-13} , dan gravitasi 10^{-39} .

Gravitasi paling lemah, tetapi paling terasa di skala besar karena selalu menarik dan jangkauannya tak terbatas.

Raka mencatat dua percobaan bandul.

	L (m)	m (g)	T (s)
Percobaan 1	0,50	50	1,4
Percobaan 2	1,00	100	2,0

Raka menyimpulkan: "Beban yang lebih berat membuat ayunan lebih lambat." Kesimpulan ini...

- A. benar, karena T naik ketika m naik
- B. tidak sah, karena panjang tali dan massa diubah sekaligus
- C. benar, karena data eksperimen selalu benar
- D. tidak sah, karena seharusnya bandul diayun 100 kali

Kunci: B

Pembahasan: Dua variabel (L dan m) berubah bersamaan, jadi tidak bisa diketahui mana penyebab T bertambah. Faktanya, kenaikan T disebabkan oleh tali yang lebih panjang, sedangkan massa hampir tidak berpengaruh. Eksperimen yang adil hanya mengubah **satu** variabel.

Lv 4 • IGCSE gaya Cambridge IGCSE

Jelaskan bagaimana seorang siswa dapat mengukur periode sebuah bandul sederhana seakurat mungkin dengan stopwatch. [4 poin]

Kunci/rubrik:

1. Ukur waktu untuk **banyak ayunan** (misalnya 20), lalu bagi dengan jumlah ayunan.
2. Pasang **penanda acuan** (*fiducial marker*) di titik terendah ayunan, tempat beban bergerak paling cepat, sebagai titik mulai dan berhenti menghitung.
3. **Ulangi** pengukuran beberapa kali, lalu hitung rata-ratanya.
4. Gunakan **simpangan kecil** (kurang dari $\pm 10^\circ$) dan mulai menghitung dari "nol" saat stopwatch ditekan agar tidak salah hitung ayunan.

Pembahasan: Waktu reaksi manusia ($\pm 0,2$ s) adalah sumber galat terbesar. Dengan mengukur 20 ayunan, galat itu dibagi 20. Titik terendah dipilih karena di sana beban melintas cepat, sehingga saat melintasnya lebih jelas daripada di titik balik.

14. Lv 4 • IGCSE • Isian • Data eksperimen • gaya IGCSE • 01-4-02

Seorang siswa mengukur waktu 10 ayunan sebuah bandul sebanyak tiga kali.

Percobaan	1	2	3
Waktu 10 ayunan (s)	14,2	14,4	14,0

Hitung periode bandul.

Jawaban: s

Kunci: 1,42 s

Pembahasan: Rata-rata waktu 10 ayunan: $(14,2 + 14,4 + 14,0)/3 = 14,2$ s.
Periode: $T = 14,2/10 = 1,42$ s.

15. Lv 4 • IGCSE • Pilihan ganda • Jenis variabel • gaya IGCSE • 01-4-03

Seorang siswa menyelidiki pengaruh panjang tali terhadap periode bandul. Manakah **variabel terikat** (*dependent variable*)?

- A. massa beban
- B. panjang tali
- C. sudut simpangan
- D. periode bandul

Kunci: D

Pembahasan: Variabel terikat adalah besaran yang **diukur** untuk melihat akibat perubahan, yaitu periode. Panjang tali adalah variabel bebas, sedangkan massa dan sudut simpangan adalah variabel kontrol.

16. Lv 4 • IGCSE • Isian • Sinyal satelit • gaya IGCSE • 01-4-04

Sinyal internet dikirim dari stasiun bumi di Jakarta ke satelit SATRIA-1 di orbit geostasioner, sekitar 36.000 km di atas permukaan Bumi, lalu dipancarkan ke sebuah sekolah di Papua. Anggap jarak satelit-sekolah juga 36.000 km. Gelombang radio merambat dengan kecepatan $3,0 \times 10^8$ m/s. Hitung waktu tempuh total sinyal.

Jawaban: s

Kunci: 0,24 s

Pembahasan: Jarak total: $2 \times 36.000 \text{ km} = 7,2 \times 10^7 \text{ m}$.

$$t = \frac{7,2 \times 10^7}{3,0 \times 10^8} = 0,24 \text{ s.}$$

Jeda seperempat detik inilah yang kadang terasa saat panggilan video lewat satelit.

17. Lv 5 • IB DP • Isian • Kemiringan grafik • gaya IB • 01-5-01

Untuk bandul sederhana, $T^2 = \frac{4\pi^2}{g} L$. Seorang siswa memplot T^2 terhadap L dan mendapat garis lurus melalui titik asal dengan kemiringan $4,02 \text{ s}^2 \text{ m}^{-1}$. Tentukan g .

Jawaban: m/s^2

Kunci: 9,82 m/s^2

Pembahasan: Kemiringan grafik T^2 - L adalah $\frac{4\pi^2}{g}$.

$$g = \frac{4\pi^2}{4,02} = \frac{39,48}{4,02} \approx 9,82 \text{ m s}^{-2}.$$

Memplot T^2 (bukan T) membuat grafiknya lurus, sehingga g mudah dibaca dari kemiringan.

18. Lv 5 • IB DP • Uraian • Ketidakpastian waktu • gaya IB • 01-5-02

Waktu 20 ayunan sebuah bandul diukur 28,4 s dengan stopwatch tangan. Ketidakpastian akibat waktu reaksi diperkirakan $\pm 0,2 \text{ s}$.

(a) Hitung periode T .

(b) Hitung ketidakpastian absolut dan persentase T .

(c) Jelaskan mengapa mengukur 20 ayunan lebih baik daripada 1 ayunan.

Kunci/rubrik: (a) $T = 28,4/20 = 1,42 \text{ s}$.

(b) $\Delta T = 0,2/20 = 0,01 \text{ s}$, sehingga $T = (1,42 \pm 0,01) \text{ s}$. Persentasenya $0,01/1,42 \approx 0,7\%$.

(c) Ketidakpastian waktu reaksi ($\pm 0,2 \text{ s}$) sama besar untuk 1 maupun 20 ayunan, karena hanya terjadi saat menekan tombol mulai dan berhenti. Setelah dibagi 20, ketidakpastian per ayunan menjadi 20 kali lebih kecil. Untuk 1 ayunan, ketidakpastiannya $\pm 0,2 \text{ s}$ dari 1,4 s, yaitu sekitar 14%.

Pembahasan: Prinsip ini dipakai di mana-mana: ukur banyak sekaligus, lalu bagi. Tebal selembat kertas pun paling baik diukur dengan mengukur tebal 100 lembar sekaligus.

19. Lv 5 • IB DP • Pilihan ganda • Orde besaran • gaya IB • 01-5-03

Jantung manusia berdetak sekitar 70 kali per menit. Orde besaran jumlah detak jantung selama hidup 70 tahun adalah...

A. 10^6

C. 10^{12}

B. 10^9

D. 10^{15}

Kunci: B

Pembahasan: $70 \times 60 \times 24 \times 365 \times 70 \approx 2,6 \times 10^9$. Karena $2,6 < \sqrt{10} \approx 3,16$, orde besarnya 10^9 .

Perkirakan jumlah butir beras yang dimakan seluruh penduduk Indonesia dalam sehari. Gunakan model berikut: penduduk 280 juta orang, setiap orang makan 250 g beras per hari, dan massa sebutir beras 0,020 g. (Tulis misalnya 1,2e12.)

Jawaban: butir

Kunci: $3,5 \times 10^{12}$ butir

Pembahasan: Massa beras total: $2,8 \times 10^8 \times 250 = 7,0 \times 10^{10}$ g.

Jumlah butir: $\frac{7,0 \times 10^{10}}{0,020} = 3,5 \times 10^{12}$ butir.

Ketiga angka model adalah perkiraan, sehingga hasilnya hanya tepat dalam orde besaran. Menuliskan asumsi dengan jelas adalah bagian terpenting sebuah model.

Lv 6 • Olimpiade gaya OSN/IPhO

Kekuatan otot sebanding dengan luas penampangnya ($\propto L^2$), sedangkan berat sebanding dengan volume ($\propto L^3$), dengan L ukuran panjang hewan. Seekor semut sepanjang 5 mm mampu mengangkat beban 50 kali berat badannya. Jika semut itu "diperbesar" menjadi sepanjang 1,5 m dengan bentuk yang sama persis, berapa kali berat badannya sendiri yang dapat ia angkat?

Jawaban: kali

Kunci: 0,1667 kali

Pembahasan: Perbandingan kekuatan terhadap berat $\propto \frac{L^2}{L^3} = \frac{1}{L}$.

Panjangnya naik $1,5/0,005 = 300$ kali, sehingga perbandingan itu turun 300 kali: $50/300 \approx 0,17$.

Semut raksasa hanya mampu mengangkat 17% berat badannya. Artinya ia bahkan tidak kuat menopang tubuhnya sendiri! Inilah alasan semut raksasa di film tidak mungkin ada, dan mengapa gajah butuh kaki yang sangat tebal.

Taksir jumlah atom di tubuh Raka (40 kg) dengan menganggap tubuhnya seluruhnya air (H_2O , massa molar 18 g/mol, tiap molekul berisi 3 atom). Gunakan $N_A = 6,0 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$. (Tulis misalnya 1,0e27.)

Jawaban: atom

Kunci: 4×10^{27} atom

Pembahasan: Jumlah mol air: $n = 40.000 \text{ g} / 18 \text{ g/mol} \approx 2,22 \times 10^3 \text{ mol}$.

Jumlah molekul: $2,22 \times 10^3 \times 6,0 \times 10^{23} \approx 1,33 \times 10^{27}$.

Jumlah atom: $3 \times 1,33 \times 10^{27} \approx 4,0 \times 10^{27}$ atom.

Tubuh sebenarnya juga berisi karbon, nitrogen, kalsium, dan lain-lain, tetapi jawabannya tetap di kisaran 10^{27} – 10^{28} atom.

Sebuah bandul diayun dari simpangan awal 60° , lalu dari simpangan 5° . Dibandingkan dengan ayunan 5° , periode ayunan 60° ...

- A. sama persis, karena bandul selalu isokron
- B. dua kali lebih panjang
- C. lebih pendek sekitar 50%
- D. sedikit lebih panjang, sekitar 7%

Kunci: D

Pembahasan: Persamaan geraknya $\ddot{\theta} = -\frac{g}{L} \sin \theta$. Untuk sudut kecil, $\sin \theta \approx \theta$ sehingga periodenya $T_0 = 2\pi\sqrt{L/g}$. Untuk sudut besar, $\sin \theta < \theta$, jadi gaya pemulihnya lebih lemah daripada model sudut kecil dan bandul butuh waktu lebih lama.

Deret koreksinya $T \approx T_0 \left(1 + \frac{\theta_0^2}{16} + \frac{11\theta_0^4}{3072} \right)$. Untuk $\theta_0 = 1,047$ rad hasilnya $\approx 1,073 T_0$, sekitar 7% lebih panjang.

Diameter proton sekitar $1,7 \times 10^{-15}$ m dan diameter atom hidrogen sekitar $1,1 \times 10^{-10}$ m.

- (a) Jika atom hidrogen diperbesar sehingga protonnya sebesar kelereng berdiameter 1,5 cm, berapa diameter atomnya?
- (b) Berapa persen volume atom yang ditempati proton?
- (c) Jika atom hampir kosong, mengapa tanganmu tidak menembus meja? Jelaskan dengan gaya dasar yang sesuai.

Kunci/rubrik: (a) Faktor perbesaran: $\frac{1,5 \times 10^{-2}}{1,7 \times 10^{-15}} \approx 8,8 \times 10^{12}$. Diameter atom: $1,1 \times 10^{-10} \times 8,8 \times 10^{12} \approx 970$ m, hampir 1 km! Sebuah kelereng di tengah lapangan selebar 1 km.

(b) Perbandingan volume = (perbandingan diameter)³ = $\left(\frac{1,7 \times 10^{-15}}{1,1 \times 10^{-10}} \right)^3 \approx (1,5 \times 10^{-5})^3 \approx 3,7 \times 10^{-15}$, yaitu sekitar 4×10^{-13} persen.

(c) Yang bersentuhan adalah awan elektron atom-atom tangan dan meja. Elektron yang bermuatan negatif saling tolak melalui **gaya elektromagnetik** yang sangat kuat pada jarak dekat (ditambah larangan Pauli dari fisika kuantum, yang melarang dua elektron menempati keadaan yang sama). Gaya tolak inilah yang kita rasakan sebagai gaya normal.

Pembahasan: Soal ini melatih penskalaan: panjang diskalakan linear, volume diskalakan pangkat tiga. Bagian (c) menunjukkan bahwa "sentuhan" dan gaya normal pada dasarnya adalah gaya elektromagnetik.

Lv 1 • Pemula SD-SMP awal

1. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Arti mengukur • 02-1-01

Mengukur adalah...

- A. membandingkan suatu besaran dengan besaran sejenis yang dijadikan satuan
- B. menebak besar sesuatu dengan perasaan
- C. menghitung banyaknya benda
- D. menimbang benda di pasar

Kunci: A

Pembahasan: Mengukur berarti membandingkan sesuatu dengan patokan sejenis yang disepakati, yaitu satuan. Contoh: "meja 120 cm" berarti meja itu sepanjang 120 kali patokan 1 cm.

2. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Besaran pokok • 02-1-02

Manakah yang termasuk **besaran pokok**?

- | | |
|--------------|----------|
| A. kecepatan | C. gaya |
| B. luas | D. massa |

Kunci: D

Pembahasan: Tujuh besaran pokok SI: panjang, massa, waktu, kuat arus listrik, suhu, jumlah zat, dan intensitas cahaya. Kecepatan, luas, dan gaya adalah besaran turunan karena dibentuk dari besaran pokok.

3. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Memilih alat ukur • 02-1-03

Alat yang paling tepat untuk mengukur diameter sehelai kawat tipis (sekitar 0,5 mm) adalah...

- | | |
|-------------------|----------------------|
| A. mistar | C. jangka sorong |
| B. meteran gulung | D. mikrometer sekrup |

Kunci: D

Pembahasan: Mikrometer sekrup punya nilai skala terkecil 0,01 mm, paling teliti di antara pilihan. Mistar dan meteran hanya sampai 1 mm, sedangkan jangka sorong sampai 0,1 mm.

4. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Awalan kilo • 02-1-04

1 km sama dengan...

- | | |
|------------|-------------|
| A. 1.000 m | C. 10 m |
| B. 100 m | D. 10.000 m |

Kunci: A

Pembahasan: Awalan **kilo** berarti seribu (10^3). Jadi 1 km = 1.000 m, sama seperti 1 kg = 1.000 g.

5. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Konversi km/jam • 02-2-01

Sebuah kereta cepat melaju 360 km/jam. Nyatakan kelajuannya dalam m/s.

Jawaban: m/s

Kunci: 100 m/s**Pembahasan:** $360 \frac{\text{km}}{\text{jam}} \times \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} \times \frac{1 \text{ jam}}{3600 \text{ s}} = \frac{360}{3,6} = 100 \text{ m/s}$.

Setiap detik kereta berpindah sepanjang lapangan sepak bola!

6. Lv 2 • Penjelajah • Pilihan ganda • Angka penting • 02-2-02

Hasil pengukuran 0,0250 kg memiliki ... angka penting.

A. 2

C. 4

B. 3

D. 5

Kunci: B**Pembahasan:** Nol di depan (0,0) bukan angka penting. Angka 2, 5, dan nol di ujung belakang desimal adalah angka penting. Jumlahnya 3.

7. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Konversi luas • 02-2-03

Sebuah ubin berukuran 30 cm × 30 cm. Berapa luasnya dalam m²?Jawaban: m²**Kunci: 0,09 m²****Pembahasan:** 30 cm = 0,30 m. $A = 0,30 \times 0,30 = 0,09 \text{ m}^2$.Cek: $30 \times 30 = 900 \text{ cm}^2$, dan karena $1 \text{ m}^2 = 10.000 \text{ cm}^2$, hasilnya $900/10.000 = 0,09 \text{ m}^2$. ✓

8. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Membaca jangka sorong • 02-2-04

Pada sebuah jangka sorong (nst 0,1 mm), garis skala utama tepat sebelum nol nonius menunjukkan 41 mm, dan garis nonius ke-6 berimpit dengan sebuah garis skala utama. Berapa hasil pengukurannya dalam mm?

Jawaban: mm

Kunci: 41,6 mm**Pembahasan:** Hasil = skala utama + (garis nonius yang berimpit × nst) $= 41 + 6 \times 0,1 = 41,6 \text{ mm}$, atau 4,16 cm.

9. Lv 3 • Pejuang • Isian • Membaca mikrometer • 02-3-01

Pada mikrometer sekrup, skala utama menunjukkan 6 mm dan garis setengah milimeter sesudahnya sudah terlihat. Garis selubung ke-23 lurus dengan garis tengah. Berapa hasil pengukurannya dalam mm?

Jawaban: mm

Kunci: 6,73 mm

Pembahasan: Skala utama: 6 mm + 0,5 mm = 6,5 mm.

Skala putar: $23 \times 0,01 = 0,23$ mm.

Hasil: $6,5 + 0,23 = 6,73$ mm.

10. Lv 3 • Pejuang • Pilihan ganda • Homogenitas dimensi • 02-3-02

Dengan v kecepatan, a percepatan, t waktu, dan s jarak, rumus manakah yang **pasti salah** menurut analisis dimensi?

A. $v = at$

C. $v^2 = 2as$

B. $s = vt + \frac{1}{2}at^2$

D. $s = at$

Kunci: D

Pembahasan: Dimensi at adalah $[L][T]^{-2}[T] = [L][T]^{-1}$, yaitu dimensi kecepatan, bukan jarak $[L]$. Jadi $s = at$ tidak homogen dan pasti salah. Tiga rumus lainnya homogen (dan memang benar untuk GLBB).

11. Lv 3 • Pejuang • Isian • Operasi angka penting • 02-3-03

Panjang sebuah pelat 12,6 cm dan lebarnya 3,2 cm. Hitung luasnya sesuai aturan angka penting (dalam cm^2).

Jawaban: cm^2

Kunci: 40 cm^2

Pembahasan: $12,6 \times 3,2 = 40,32 \text{ cm}^2$.

12,6 punya 3 AP dan 3,2 punya 2 AP, jadi hasilnya dibulatkan menjadi 2 AP: **40 cm^2** (atau $4,0 \times 10^1 \text{ cm}^2$).

12. Lv 3 • Pejuang • Isian • Ketidakpastian relatif • 02-3-04

Diameter sebuah kawat diukur $(2,50 \pm 0,01)$ mm. Berapa persen ketidakpastian relatifnya?

Jawaban: %

Kunci: 0,4 %

Pembahasan: $KR = \frac{\Delta x}{x} \times 100\% = \frac{0,01}{2,50} \times 100\% = 0,4\%$.

Ketidakpastian di bawah 1% berarti hasilnya layak ditulis dengan 3 sampai 4 angka penting.

13. Lv 4 • IGCSE • Pilihan ganda • Volume benda tak beraturan • gaya IGCSE • 02-4-01

Seorang siswa ingin menentukan volume sebuah batu kecil yang bentuknya tidak beraturan. Metode yang paling tepat adalah...

- A. memasukkan batu ke gelas ukur berisi air dan mencatat kenaikan permukaan air
- B. mengukur panjang, lebar, dan tinggi batu dengan mistar
- C. menimbang batu dengan neraca
- D. mengukur keliling batu dengan benang

Kunci: A

Pembahasan: Batu tak beraturan tidak punya panjang-lebar-tinggi yang jelas. Volume air yang dipindahkan (kenaikan permukaan di gelas ukur) sama dengan volume batu. Menimbang memberi massa, bukan volume.

14. Lv 4 • IGCSE • Isian • Mengukur benda tipis • gaya IGCSE • 02-4-02

Seorang siswa menumpuk 200 lembar kertas dan mengukur tebal tumpukan dengan mistar: 2,2 cm. Hitung tebal satu lembar kertas dalam mm.

Jawaban: mm

Kunci: 0,11 mm

Pembahasan: 2,2 cm = 22 mm.

Tebal satu lembar = $22/200 = 0,11$ mm.

Mengukur banyak lembar sekaligus membuat ketidakpastian mistar ($\pm 0,5$ mm) terbagi 200, sehingga hasil per lembar jauh lebih teliti.

15. Lv 4 • IGCSE • Uraian • Jenis galat • gaya IGCSE • 02-4-03

Jelaskan perbedaan galat sistematis (*systematic error*) dan galat acak (*random error*). Beri satu contoh masing-masing dan sebutkan cara mengurangi tiap jenis galat. [4 poin]

Kunci/rubrik:

1. **Galat sistematis** menggeser semua hasil ke arah yang sama (selalu terlalu besar atau selalu terlalu kecil), sehingga merusak **akurasi**.
2. Contoh galat sistematis: kesalahan nol pada mikrometer, atau timbangan yang belum dikalibrasi. Cara mengurangi: kalibrasi alat atau koreksi kesalahan nol.
3. **Galat acak** membuat hasil menyebar tidak teratur di sekitar nilai rata-rata, sehingga merusak **presisi**.
4. Contoh galat acak: waktu reaksi saat menekan stopwatch, atau paralaks yang berubah-ubah. Cara mengurangi: ulangi pengukuran beberapa kali lalu hitung rata-ratanya.

Pembahasan: Kunci penilaian: satu poin untuk definisi galat sistematis, satu poin untuk definisi galat acak, satu poin untuk contoh yang tepat, dan satu poin untuk cara mengurangi masing-masing. Ingat: merata-rata data *tidak* menghapus galat sistematis!

16. Lv 4 • IGCSE • Isian • Menentukan g • gaya IGCSE • 02-4-04

Seorang siswa mengukur waktu 20 ayunan bandul bertali 0,80 m: 36,0 s. Gunakan $T = 2\pi\sqrt{L/g}$ untuk menghitung percepatan gravitasi g .

Jawaban: m/s²

Kunci: 9,75 m/s²

Pembahasan: Periode: $T = 36,0/20 = 1,80$ s.

Susun ulang: $g = \frac{4\pi^2 L}{T^2} = \frac{4\pi^2 \times 0,80}{1,80^2} = \frac{31,6}{3,24} \approx 9,75$ m/s².

Nilai ini dekat dengan 9,8 m/s². Selisihnya bisa berasal dari waktu reaksi atau panjang tali yang diukur kurang tepat.

Lv 5 • IB DP gaya IB Physics

17. Lv 5 • IB DP • Isian • Perambatan ketidakpastian • gaya IB • 02-5-01

Massa sebuah kubus (250 ± 2) g dan panjang sisinya ($5,00 \pm 0,05$) cm. Tentukan ketidakpastian persentase massa jenis kubus itu.

Jawaban: %

Kunci: 3,8 %

Pembahasan: $\rho = \frac{m}{s^3}$, sehingga $\frac{\Delta\rho}{\rho} = \frac{\Delta m}{m} + 3 \frac{\Delta s}{s}$.
 $= \frac{2}{250} + 3 \times \frac{0,05}{5,00} = 0,008 + 0,030 = 0,038$, yaitu 3,8%.

Sumber ketidakpastian terbesar adalah sisi kubus, karena dipangkatkan tiga. Untuk memperbaiki hasil, ukur sisinya dengan jangka sorong.

18. Lv 5 • IB DP • Uraian • Pengukuran berulang • gaya IB • 02-5-02

Waktu jatuh sebuah bola dari ketinggian tetap diukur lima kali: 0,62 s; 0,65 s; 0,60 s; 0,63 s; 0,64 s.

(a) Hitung nilai rata-ratanya.

(b) Taksir ketidakpastian absolutnya dengan setengah rentang data.

(c) Tuliskan hasil akhir dengan angka penting yang tepat, lalu hitung ketidakpastian persentasenya.

Kunci/rubrik: (a) $\bar{t} = \frac{0,62 + 0,65 + 0,60 + 0,63 + 0,64}{5} = \frac{3,14}{5} = 0,628$ s.

(b) $\Delta t = \frac{0,65 - 0,60}{2} = 0,025$ s, dibulatkan menjadi 0,03 s.

(c) $t = (0,63 \pm 0,03)$ s. Ketidakpastian persentase = $0,03/0,63 \times 100\% \approx 5\%$.

Pembahasan: Ketidakpastian biasanya ditulis dengan 1 angka penting, dan nilai terbaik dibulatkan sampai tempat desimal yang sama dengan ketidakpastiannya. Menulis $0,628 \pm 0,03$ tidak konsisten.

19. Lv 5 • IB DP • Pilihan ganda • Menurunkan rumus • gaya IB • 02-5-03

Kecepatan gelombang pada tali v bergantung pada tegangan tali F (dalam N) dan massa per satuan panjang μ (dalam kg/m). Rumus yang konsisten dengan analisis dimensi adalah...

A. $v = F/\mu$

C. $v = \sqrt{F/\mu}$

B. $v = \sqrt{\mu/F}$

D. $v = F\mu$

Kunci: C

Pembahasan: $\frac{F}{\mu} = \frac{[M][L][T]^{-2}}{[M][L]^{-1}} = [L]^2[T]^{-2}$. Akar kuadratnya $[L][T]^{-1}$, yaitu dimensi kecepatan. Jadi $v = \sqrt{F/\mu}$ (dan ternyata konstantanya tepat 1).

Suhu air diukur $(24,5 \pm 0,5)^\circ\text{C}$ sebelum dipanaskan dan $(31,0 \pm 0,5)^\circ\text{C}$ sesudahnya. Berapa persen ketidakpastian kenaikan suhunya?

Jawaban: %

Kunci: 15,4 %

Pembahasan: Kenaikan suhu: $\Delta T = 31,0 - 24,5 = 6,5^\circ\text{C}$.

Ketidakpastian absolut: $0,5 + 0,5 = 1,0^\circ\text{C}$.

Persentase: $1,0/6,5 \times 100\% \approx 15\%$.

Padahal tiap bacaan termometer hanya punya ketidakpastian sekitar 2%! Selisih dua angka yang berdekatan memperbesar ketidakpastian relatif. Karena itu, eksperimen kalor sebaiknya memakai kenaikan suhu yang besar.

Lv 6 • Olimpiade • gaya OSN/IPhO

Debit air Q (volume per waktu) yang mengalir pelan di dalam pipa bergantung pada beda tekanan per satuan panjang $\Delta p/L$ (Pa/m), jari-jari pipa r , dan viskositas η (Pa·s). Gunakan analisis dimensi untuk mencari pangkat r . Jika jari-jari pipa dijadikan 2 kali (yang lain tetap), debitnya menjadi berapa kali?

Jawaban: kali

Kunci: 16 kali

Pembahasan: Dimensi: $[Q] = [L]^3[T]^{-1}$; $[\Delta p/L] = [M][L]^{-2}[T]^{-2}$; $[r] = [L]$; $[\eta] = [M][L]^{-1}[T]^{-1}$.

$[M]: a + c = 0$. $[T]: -2a - c = -1$. Dari keduanya $a = 1$, $c = -1$.

$[L]: -2a + b - c = 3$, sehingga $-2 + b + 1 = 3$ dan $b = 4$.

Jadi $Q \propto r^4$ (hukum Poiseuille: $Q = \frac{\pi r^4}{8\eta} \frac{\Delta p}{L}$). Jari-jari 2 kali membuat debit $2^4 = 16$ kali! Inilah alasan penyempitan sedikit saja pada pembuluh darah sangat berbahaya.

Di laut dalam, kecepatan gelombang tsunami hanya bergantung pada percepatan gravitasi g dan kedalaman laut h . Gunakan analisis dimensi (anggap konstanta tak berdimensinya 1) untuk menentukan rumusnya, lalu hitung kecepatan tsunami di Samudra Hindia sedalam 4.000 m dalam km/jam. Ambil $g = 9,8 \text{ m/s}^2$.

Jawaban: km/jam

Kunci: 713 km/jam

Pembahasan: $[L][T]^{-1} = ([L][T]^{-2})^a [L]^b$. Dari $[T]: -2a = -1$, jadi $a = \frac{1}{2}$. Dari $[L]: a + b = 1$, jadi $b = \frac{1}{2}$.

$v = \sqrt{gh} = \sqrt{9,8 \times 4000} \approx 198 \text{ m/s}$.

Dalam km/jam: $198 \times 3,6 \approx 713 \text{ km/jam}$, secepat pesawat jet. Di perairan dangkal dekat pantai, h kecil sehingga gelombang melambat dan menumpuk menjadi sangat tinggi.

Setetes air yang melayang di stasiun luar angkasa bisa bergetar karena tegangan permukaan σ (satuan N/m). Jika frekuensi getarnya hanya bergantung pada σ , massa jenis air ρ , dan jari-jari tetes r , bentuk yang benar adalah $f \propto \dots$

A. $\sqrt{\frac{\sigma}{\rho r^3}}$

B. $\frac{\sigma}{\rho r}$

C. $\sqrt{\frac{\sigma \rho}{r}}$

D. $\sqrt{\frac{\rho r^3}{\sigma}}$

Kunci: A

Pembahasan: $[\sigma] = [M][T]^{-2}$ dan $[\rho r^3] = [M]$. Jadi $\frac{\sigma}{\rho r^3}$ berdimensi $[T]^{-2}$, dan akarnya $[T]^{-1}$, yaitu frekuensi.

Pilihan terakhir berdimensi waktu (itu periode, bukan frekuensi). Akibat menariknya: tetes yang jari-jarinya 4 kali lebih besar bergetar $4^{3/2} = 8$ kali lebih lambat.

Diameter sebuah kawat diukur lima kali (mm): 2,51; 2,49; 2,50; 2,53; 2,47.

(a) Hitung rata-rata dan simpangan baku sampel $\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}$.

(b) Hitung galat baku rata-rata $\sigma_{\bar{x}} = \sigma / \sqrt{N}$.

(c) Berapa kali pengukuran yang diperlukan agar galat baku rata-rata menjadi setengahnya? Jelaskan.

Kunci/rubrik: (a) $\bar{x} = 12,50/5 = 2,500$ mm. Simpangan: +0,01; -0,01; 0; +0,03; -0,03. Jumlah kuadrat = $0,0001 + 0,0001 + 0 + 0,0009 + 0,0009 = 0,0020$ mm². $\sigma = \sqrt{0,0020/4} = \sqrt{0,0005} \approx 0,022$ mm.

(b) $\sigma_{\bar{x}} = 0,022/\sqrt{5} \approx 0,010$ mm, sehingga $d = (2,50 \pm 0,01)$ mm.

(c) Karena $\sigma_{\bar{x}} \propto 1/\sqrt{N}$, untuk menjadikannya setengah diperlukan N empat kali lipat, yaitu 20 pengukuran. Simpangan baku σ sendiri tidak mengecil, karena ia menggambarkan sebaran tiap pengukuran.

Pembahasan: Hasil $1/\sqrt{N}$ menunjukkan "hukum hasil yang makin berkurang": mengulang pengukuran memang membantu, tetapi makin lama makin sedikit manfaatnya. Ingat juga bahwa pengulangan tidak bisa menghapus galat sistematis.

Lv 1 • Pemula SD-SMP awal

1. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Skalar dan vektor • 03-1-01

Manakah yang termasuk besaran **vektor**?

- | | |
|--------------|----------|
| A. kecepatan | C. massa |
| B. waktu | D. suhu |

Kunci: A

Pembahasan: Kecepatan punya besar *dan* arah (misalnya 40 km/jam ke utara), jadi vektor. Massa, waktu, dan suhu cukup dinyatakan dengan angka dan satuan, jadi skalar.

2. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Jarak dan perpindahan • 03-1-02

Sari berjalan 3 blok ke timur, lalu 4 blok ke utara. Satu blok = 100 m. Besar **perpindahan** Sari adalah...

- | | |
|----------|-----------|
| A. 500 m | C. 100 m |
| B. 700 m | D. 1200 m |

Kunci: A

Pembahasan: Perpindahan adalah garis lurus dari titik awal ke titik akhir: $\sqrt{300^2 + 400^2} = 500$ m. Angka 700 m adalah **jarak tempuh**, bukan perpindahan.

3. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Rentang resultan • 03-1-03

Dua gaya 3 N dan 4 N bekerja pada sebuah kardus. Besar resultan yang **tidak mungkin** adalah...

- | | |
|--------|--------|
| A. 1 N | C. 7 N |
| B. 5 N | D. 8 N |

Kunci: D

Pembahasan: Resultan dua gaya selalu di antara selisih dan jumlahnya: $4 - 3 = 1$ N (berlawanan arah) sampai $4 + 3 = 7$ N (searah). Jadi 8 N tidak mungkin.

4. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Trigonometri • 03-1-04

Pada segitiga siku-siku, $\sin \theta$ sama dengan...

- | | |
|-------------------------------|------------------------------|
| A. sisi samping ÷ sisi miring | C. sisi depan ÷ sisi samping |
| B. sisi miring ÷ sisi depan | D. sisi depan ÷ sisi miring |

Kunci: D

Pembahasan: Ingat **sin-de-mi**: sinus = depan/miring. Kosinus = samping/miring (**ko-sa-mi**), tangen = depan/samping (**tan-de-sa**).

Lv 2 • Penjelajah SMP (Fase D)

5. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Resultan tegak lurus • 03-2-01

Raka menarik kardus dengan gaya 6 N ke timur, sementara Sari menariknya dengan gaya 8 N ke utara. Berapa besar gaya resultannya?

Jawaban: N

Kunci: 10 N

Pembahasan: Kedua gaya tegak lurus, jadi pakai Pythagoras: $R = \sqrt{6^2 + 8^2} = \sqrt{100} = 10$ N. Bukan 14 N!

6. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Komponen vektor • 03-2-02

Tali layangan menarik tangan Raka dengan gaya 20 N membentuk sudut 37° terhadap tanah. Berapa komponen mendatar gaya itu? Gunakan $\cos 37^\circ \approx 0,8$.

Jawaban: N

Kunci: 16 N

Pembahasan: Komponen mendatar bersebelahan dengan sudut, jadi pakai kosinus: $F_x = F \cos \theta = 20 \times 0,8 = 16$ N.

7. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Besar vektor • 03-2-03

Berapa besar vektor $A = 5\hat{i} - 12\hat{j}$?

Jawaban:

Kunci: 13

Pembahasan: $|A| = \sqrt{A_x^2 + A_y^2} = \sqrt{5^2 + (-12)^2} = \sqrt{169} = 13$. Tanda negatif hilang karena dikuadratkan.

8. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Kemiringan grafik • 03-2-04

Grafik posisi-waktu sebuah sepeda berupa garis lurus dari titik (0 s; 2 m) ke titik (5 s; 17 m). Berapa kecepatan sepeda itu?

Jawaban: m/s

Kunci: 3 m/s

Pembahasan: Kemiringan grafik posisi-waktu adalah kecepatan: $v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{17 - 2}{5 - 0} = 3$ m/s.

Lv 3 • Pejuang SMA • TKA/UTBK

9. Lv 3 • Pejuang • Isian • Hukum kosinus • 03-3-01

Dua gaya 5 N dan 3 N bekerja pada satu titik dan membentuk sudut 60° . Berapa besar resultannya?

Jawaban: N

Kunci: 7 N

Pembahasan: $R = \sqrt{25 + 9 + 2 \cdot 5 \cdot 3 \cdot 0,5} = \sqrt{49} = 7$ N.

Cek kewajaran: 7 N berada di antara 2 N (berlawanan) dan 8 N (searah). ✓

10. Lv 3 • Pejuang • Isian • Perkalian titik • 03-3-02

Sebuah gaya $F = (3\hat{i} + 4\hat{j})$ N memindahkan koper sejauh $s = (5\hat{i} + 2\hat{j})$ m. Berapa usaha yang dilakukan gaya itu?

Jawaban: J

Kunci: 23 J

Pembahasan: $W = F \cdot s = (3)(5) + (4)(2) = 15 + 8 = 23$ J.

Usaha adalah skalar, jadi hasilnya cukup satu angka tanpa arah.

11. Lv 3 • Pejuang • Isian • Turunan • 03-3-03

Posisi sebuah benda dinyatakan oleh $x = 2t^3 - t$ (x dalam meter, t dalam sekon). Berapa kecepatannya pada $t = 2$ s?

Jawaban: m/s

Kunci: 23 m/s

Pembahasan: $v = \frac{dx}{dt} = 6t^2 - 1$.

Pada $t = 2$ s: $v = 6(4) - 1 = 23$ m/s.

12. Lv 3 • Pejuang • Pilihan ganda • Perahu dan arus • 03-3-04

Sebuah perahu bergerak 4 m/s terhadap air, diarahkan tegak lurus tepi sungai yang lebarnya 80 m. Kecepatan arus sungai 3 m/s. Waktu menyeberang dan jarak hanyutnya adalah...

A. 20 s, hanyut 60 m

C. 20 s, tidak hanyut

B. 16 s, hanyut 48 m

D. 26,7 s, hanyut 80 m

Kunci: A

Pembahasan: Gerak menyeberang hanya ditentukan komponen tegak lurus tepi: $t = 80/4 = 20$ s. Selama 20 s itu arus menghanyutkan perahu sejauh $3 \times 20 = 60$ m. Kecepatan resultan $\sqrt{4^2 + 3^2} = 5$ m/s tidak mempercepat penyeberangan; ia hanya membuat lintasannya miring.

Lv 4 • IGCSE gaya Cambridge IGCSE

13. Lv 4 • IGCSE • Pilihan ganda • Daftar besaran • gaya IGCSE • 03-4-01

Daftar manakah yang **hanya** berisi besaran vektor?

A. massa, gaya, waktu

C. kecepatan, gaya, percepatan

B. laju, jarak, energi

D. berat, suhu, kecepatan

Kunci: C

Pembahasan: Kecepatan, gaya, dan percepatan semuanya punya arah. Daftar lain mengandung skalar: massa dan waktu; laju, jarak, dan energi; suhu.

14. Lv 4 • IGCSE • Uraian • Gambar berskala • gaya IGCSE • 03-4-02

Sebuah kotak ditarik dengan gaya 30 N ke timur dan 40 N ke utara. Jelaskan cara menentukan besar dan arah gaya resultan dengan **gambar berskala** (*scale drawing*), lalu sebutkan hasilnya. [4 poin]

Kunci/rubrik:

1. Pilih skala yang sesuai, misalnya 1 cm mewakili 10 N.
2. Gambar panah 3 cm ke kanan (timur). Dari ujung panah itu, gambar panah 4 cm ke atas (utara).
3. Tarik garis resultan dari pangkal panah pertama ke ujung panah kedua, lalu ukur panjangnya dengan mistar: 5 cm, jadi resultannya 50 N.
4. Ukur sudut resultan terhadap arah timur dengan busur derajat: sekitar 53° ke arah utara.

Pembahasan: Kunci penilaian: satu poin untuk skala, satu poin untuk menggambar kepala ke ekor dengan arah yang benar, satu poin untuk mengukur panjang resultan (50 N), dan satu poin untuk arah ($\pm 53^\circ$ dari timur). Cek dengan hitungan: $\sqrt{30^2 + 40^2} = 50$ N dan $\tan \alpha = 40/30$.

15. Lv 4 • IGCSE • Isian • Kecepatan resultan • gaya IGCSE • 03-4-03

Sebuah pesawat terbang ke utara dengan kecepatan 200 m/s terhadap udara, sementara angin bertiup ke timur dengan kecepatan 50 m/s. Hitung besar kecepatan resultan pesawat terhadap tanah.

Jawaban: m/s

Kunci: 206,2 m/s

Pembahasan: Kedua kecepatan tegak lurus: $v = \sqrt{200^2 + 50^2} = \sqrt{42.500} \approx 206$ m/s, sedikit miring ke timur dari arah utara.

16. Lv 4 • IGCSE • Isian • Data jarak-waktu • gaya IGCSE • 03-4-04

Seorang siswa mencatat posisi sebuah trolis.

t (s)	0	2	4	6	8
x (m)	0	5	10	15	20

Grafik x terhadap t berupa garis lurus. Hitung kemiringan grafik itu dan nyatakan apa artinya.

Jawaban: m/s

Kunci: 2,5 m/s

Pembahasan: Kemiringan = $\frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{20 - 0}{8 - 0} = 2,5$ m/s.

Kemiringan grafik posisi-waktu adalah kecepatan trolis. Karena grafiknya lurus, kecepatannya tetap.

Lv 5 • IB DP gaya IB Physics

17. Lv 5 • IB DP • Isian • Komponen di bidang miring • gaya IB • 03-5-01

Sebuah koper bermassa 20 kg diletakkan di bidang miring licin dengan sudut kemiringan 30°. Dengan $g = 9,81$ m/s², hitung komponen berat koper yang sejajar bidang miring.

Jawaban: N

Kunci: 98,1 N

Pembahasan: Berat $w = mg = 20 \times 9,81 = 196,2$ N.

Komponen sejajar bidang: $w \sin 30^\circ = 196,2 \times 0,5 = 98,1$ N. Komponen tegak lurus bidang: $w \cos 30^\circ \approx 170$ N. Perhatikan: di bidang miring, komponen sejajar bidang memakai sin, bukan cos.

18. Lv 5 • IB DP • Uraian • Kecepatan relatif • gaya IB • 03-5-02

Dua motor berangkat bersamaan dari sebuah perempatan. Motor A melaju 20 m/s ke timur, motor B melaju 15 m/s ke utara.

- Tentukan besar dan arah kecepatan B relatif terhadap A, $v_{BA} = v_B - v_A$.
- Berapa jarak antara kedua motor setelah 4 s?
- Jelaskan mengapa kecepatan relatif dihitung dengan pengurangan vektor, bukan penjumlahan.

Kunci/rubrik: (a) $v_{BA} = 15\hat{j} - 20\hat{i} = (-20\hat{i} + 15\hat{j})$ m/s. Besarnya $\sqrt{20^2 + 15^2} = 25$ m/s, arahnya $\tan \alpha = 15/20$, yaitu sekitar 37° ke utara dari arah barat.

(b) Karena keduanya berangkat dari titik yang sama, jaraknya $25 \times 4 = 100$ m (cek: A di 80 m timur, B di 60 m utara, $\sqrt{80^2 + 60^2} = 100$ m).

(c) Kecepatan relatif menjawab "bagaimana B terlihat bergerak oleh pengendara A". Kita harus "mengurangi" gerak pengamat A dari gerak B, sehingga $v_{BA} = v_B - v_A$.

Pembahasan: Dari sudut pandang A, B tampak bergerak mundur ke barat (karena A melaju ke timur) sekaligus ke utara. Pengurangan vektor sama dengan menjumlahkan v_B dengan $-v_A$.

19. Lv 5 • IB DP • Pilihan ganda • Luas di bawah grafik • gaya IB • 03-5-03

Kecepatan sebuah mobil naik beraturan dari 0 sampai 12 m/s dalam 4 s, lalu tetap 12 m/s selama 3 s berikutnya. Berapa perpindahan mobil selama 7 s itu?

- | | |
|---------|---------|
| A. 36 m | C. 84 m |
| B. 60 m | D. 48 m |

Kunci: B

Pembahasan: Perpindahan = luas di bawah grafik $v-t$.

Segitiga: $\frac{1}{2} \times 4 \times 12 = 24$ m. Persegi panjang: $3 \times 12 = 36$ m.

Total $24 + 36 = 60$ m.

20. Lv 5 • IB DP • Isian • Integral • gaya IB • 03-5-04

Kecepatan sebuah benda dinyatakan oleh $v = 3t^2$ (m/s). Berapa perpindahannya dari $t = 0$ sampai $t = 2$ s?

Jawaban: m

Kunci: 8 m

Pembahasan: $\Delta x = \int_0^2 3t^2 dt = [t^3]_0^2 = 8 - 0 = 8$ m.

Cek dengan turunan: $\frac{d}{dt}(t^3) = 3t^2$. ✓

21. Lv 6 • Olimpiade • Isian • Hanyut minimum • gaya olimpiade • 03-6-01

Sebuah perahu dapat bergerak 3 m/s terhadap air dan harus menyeberangi sungai selebar 60 m yang arusnya 5 m/s. Perahu tidak mungkin mendarat tepat di seberang. Jika arah haluan dipilih sebaik mungkin, berapa jarak hanyut **minimum** di sepanjang tepi sungai?

Jawaban: m

Kunci: 80 m

Pembahasan: Misalkan haluan membentuk sudut α terhadap arah hulu. Komponen kecepatan: melintang $3 \sin \alpha$, sepanjang arus $5 - 3 \cos \alpha$.

Hanyut $x(\alpha) = 60 \frac{5 - 3 \cos \alpha}{3 \sin \alpha}$. Syarat $\frac{dx}{d\alpha} = 0$ menghasilkan $\cos \alpha = \frac{3}{5}$, sehingga $\sin \alpha = \frac{4}{5}$.

$$x_{\min} = 60 \times \frac{5 - 1,8}{2,4} = 80 \text{ m. Rumus umumnya } x_{\min} = d \frac{\sqrt{v_a^2 - v_p^2}}{v_p}.$$

Secara geometris, resultan terbaik tegak lurus terhadap vektor kecepatan perahu, sehingga sudutnya terhadap tepi sungai paling besar.

22. Lv 6 • Olimpiade • Isian • Luas dengan perkalian silang • gaya olimpiade • 03-6-02

Tiga pelampung di danau berada di titik P(1, 2), Q(4, 6), dan R(5, 1) (satuan dalam meter). Gunakan perkalian silang untuk menghitung luas segitiga PQR.

Jawaban: m²

Kunci: 9,5 m²

Pembahasan: $PQ = (3, 4)$ dan $PR = (4, -1)$.

$PQ \times PR = (3)(-1) - (4)(4) = -19$ (arah $-\hat{k}$).

Luas $= \frac{1}{2} \times 19 = 9,5 \text{ m}^2$. Tanda negatif hanya menunjukkan urutan titik searah jarum jam.

23. Lv 6 • Olimpiade • Pilihan ganda • Sifat vektor • gaya olimpiade • 03-6-03

Dua vektor A dan B yang keduanya tidak nol memenuhi $|A + B| = |A - B|$. Kesimpulan yang pasti benar adalah...

- A. A dan B sejajar
- B. A dan B saling tegak lurus
- C. $|A| = |B|$
- D. $A = -B$

Kunci: B

Pembahasan: Kuadratkan kedua ruas: $A^2 + B^2 + 2A \cdot B = A^2 + B^2 - 2A \cdot B$, sehingga $A \cdot B = 0$. Karena keduanya tidak nol, sudutnya 90° . Secara geometris: kedua diagonal jajaran genjangnya sama panjang, artinya jajaran genjang itu persegi panjang.

Posisi sebuah benda pada garis lurus adalah $x = t^3 - 6t^2 + 9t$ (meter, t dalam sekon).

- Kapan benda berhenti sesaat?
- Hitung perpindahan dan jarak tempuh dari $t = 0$ sampai $t = 4$ s.
- Berapa percepatan benda saat $t = 2$ s, dan apa artinya?

Kunci/rubrik: (a) $v = \frac{dx}{dt} = 3t^2 - 12t + 9 = 3(t-1)(t-3)$. Benda berhenti sesaat pada $t = 1$ s dan $t = 3$ s.

(b) $x(0) = 0, x(1) = 4, x(3) = 0, x(4) = 4$ m. Perpindahan $= x(4) - x(0) = 4$ m. Jarak tempuh $= |4 - 0| + |0 - 4| + |4 - 0| = 12$ m, karena benda berbalik arah dua kali.

(c) $a = \frac{dv}{dt} = 6t - 12$, sehingga $a(2) = 0$. Pada saat itu kecepatannya paling negatif ($v(2) = -3$ m/s): benda bergerak mundur paling cepat, lalu mulai melambat.

Pembahasan: Soal ini menunjukkan mengapa jarak tempuh harus dihitung per bagian di antara titik-titik balik (saat $v = 0$), sedangkan perpindahan cukup dari posisi akhir dikurangi posisi awal. Secara integral: jarak $= \int |v| dt$, perpindahan $= \int v dt$.

Lv 1 • Pemula SD-SMP awal

1. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Jarak dan perpindahan • 04-1-01

Sari berlari tepat satu putaran penuh di lintasan atletik sepanjang 400 m, lalu berhenti di garis start. Berapa **perpindahan** Sari?

- A. 400 m
B. 200 m
C. 0 m
D. 800 m

Kunci: C

Pembahasan: Perpindahan adalah perubahan posisi dari titik awal ke titik akhir. Sari kembali ke titik start, jadi perpindahannya 0 m. Jaraknya tetap 400 m, karena jarak menghitung seluruh lintasan yang ditempuh.

2. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Satuan percepatan • 04-1-02

Satuan percepatan dalam Sistem Internasional (SI) adalah...

- A. m/s
B. m/s²
C. km/jam
D. newton

Kunci: B

Pembahasan: Percepatan = perubahan kecepatan (m/s) dibagi waktu (s), sehingga satuannya m/s per s = m/s². Satuan m/s dan km/jam adalah satuan kecepatan, sedangkan newton adalah satuan gaya.

3. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • GLB • 04-1-03

Sebuah mobil bergerak di jalan tol yang lurus, dan jarum spidometernya terus menunjuk 80 km/jam. Gerak mobil ini disebut...

- A. gerak lurus beraturan (GLB)
B. gerak lurus berubah beraturan dipercepat
C. gerak lurus berubah beraturan diperlambat
D. gerak jatuh bebas

Kunci: A

Pembahasan: Lintasannya lurus dan kecepatannya tetap (80 km/jam), jadi percepatannya nol. Itulah GLB.

4. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Jatuh bebas • 04-1-04

Di dalam tabung hampa udara, sebuah koin dan sehelai bulu ayam dilepaskan bersamaan dari ketinggian yang sama. Yang tiba di dasar tabung lebih dulu adalah...

- A. koin, karena lebih berat
B. bulu, karena lebih ringan
C. tergantung ukuran bendanya
D. keduanya tiba bersamaan

Kunci: D

Pembahasan: Tanpa udara, tidak ada hambatan udara. Semua benda jatuh dengan percepatan gravitasi g yang sama, sehingga koin dan bulu tiba bersamaan. Di udara terbuka, bulu jatuh lebih pelan karena hambatan udara.

5. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Kelajuan rata-rata • 04-2-01

Seorang pelari cepat menempuh lintasan 100 m dalam waktu 10,2 s. Berapa kelajuan rata-ratanya?

Jawaban: m/s

Kunci: 9,8 m/s**Pembahasan:** Kelajuan rata-rata = jarak / waktu = $100/10,2 \approx 9,80$ m/s, atau sekitar 35 km/jam. Kecepatan puncaknya di tengah lomba lebih besar daripada rata-rata ini, karena pelari mulai dari diam.

6. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Konversi satuan • 04-2-02

Kereta cepat melaju dengan kelajuan 324 km/jam. Berapa kelajuannya dalam m/s?

Jawaban: m/s

Kunci: 90 m/s**Pembahasan:** $1 \text{ km/jam} = \frac{1000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = \frac{1}{3,6} \text{ m/s}$.Jadi $324/3,6 = 90 \text{ m/s}$.

7. Lv 2 • Penjelajah • Isian • GLBB • 04-2-03

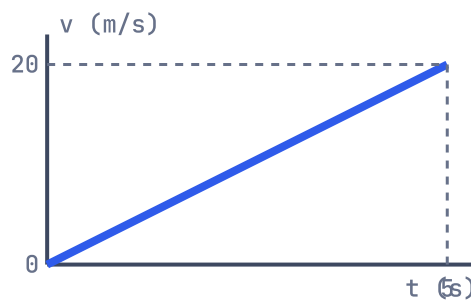
Sebuah angkot mulai bergerak dari keadaan diam dengan percepatan tetap 2 m/s^2 . Berapa kecepatannya setelah 6 s?

Jawaban: m/s

Kunci: 12 m/s**Pembahasan:** $v = v_0 + at = 0 + 2 \times 6 = 12 \text{ m/s}$ (sekitar 43 km/jam).

8. Lv 2 • Penjelajah • Pilihan ganda • Kemiringan grafik v-t • 04-2-04

Grafik kecepatan terhadap waktu sebuah motor ditunjukkan di bawah. Berapa percepatan motor?

A. 4 m/s^2 C. 100 m/s^2 B. 20 m/s^2 D. $0,25 \text{ m/s}^2$ **Kunci: A****Pembahasan:** Percepatan = kemiringan grafik v-t = $\Delta v / \Delta t = (20 - 0) / (5 - 0) = 4 \text{ m/s}^2$. Pilihan 100 m/s^2 adalah hasil mengalikan (itu malah luas persegi panjang), dan $0,25 \text{ m/s}^2$ adalah hasil pembagian yang terbalik.

9. Lv 3 • Pejuang • Isian • Jarak pengereman • 04-3-01

Sebuah mobil melaju 72 km/jam, lalu direm dengan perlambatan tetap 5 m/s^2 sampai berhenti. Berapa jarak pengeremannya? (Abaikan waktu reaksi.)

Jawaban: m

Kunci: 40 m

Pembahasan: $v_0 = 72/3,6 = 20 \text{ m/s}$, $v = 0$, $a = -5 \text{ m/s}^2$.

$$0 = 20^2 + 2(-5)s \Rightarrow s = \frac{400}{10} = 40 \text{ m}.$$

Jika kecepatannya digandakan menjadi 144 km/jam, jarak pengereman menjadi $4 \times 40 = 160 \text{ m}$.

10. Lv 3 • Pejuang • Isian • Gerak vertikal ke atas • 04-3-02

Sebuah bola dilempar lurus ke atas dengan kecepatan awal 15 m/s. Dengan $g = 10 \text{ m/s}^2$ dan hambatan udara diabaikan, berapa tinggi maksimum bola diukur dari titik lempar?

Jawaban: m

Kunci: 11,25 m

Pembahasan: Di puncak $v = 0$. Dari $v^2 = v_0^2 - 2gh$:

$$0 = 15^2 - 2(10)h \Rightarrow h = \frac{225}{20} = 11,25 \text{ m}.$$

Waktu naiknya $v_0/g = 1,5 \text{ s}$.

11. Lv 3 • Pejuang • Isian • Kecepatan relatif • 04-3-03

Dua motor bergerak saling mendekat di jalan lurus. Motor A melaju 40 km/jam ke timur dan motor B melaju 50 km/jam ke barat. Mula-mula keduanya terpisah 30 km. Setelah berapa **menit** keduanya berpapasan?

Jawaban: menit

Kunci: 20 menit

Pembahasan: Kelajuan relatif (saling mendekat) = $40 + 50 = 90 \text{ km/jam}$.

$$t = \frac{30 \text{ km}}{90 \text{ km/jam}} = \frac{1}{3} \text{ jam} = 20 \text{ menit}.$$

12. Lv 3 • Pejuang • Isian • Kejar-kejaran • 04-3-04

Motor A diam di depan lampu merah. Tepat saat lampu hijau menyala, A mulai bergerak dengan percepatan tetap 2 m/s^2 . Pada saat yang sama, motor B lewat di sampingnya dengan kecepatan tetap 10 m/s. Setelah berapa detik A menyusul B?

Jawaban: s

Kunci: 10 s

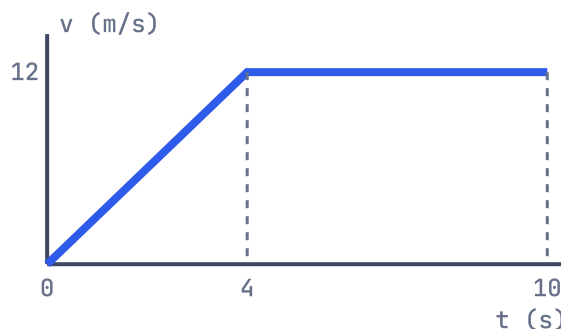
Pembahasan: Posisi A: $x_A = \frac{1}{2}(2)t^2 = t^2$. Posisi B: $x_B = 10t$.

$$t^2 = 10t \Rightarrow t = 10 \text{ s (selain } t = 0).$$

Saat itu keduanya sudah 100 m dari lampu merah, dan kecepatan A sudah 20 m/s, dua kali kecepatan B. Perhatikan: kecepatan keduanya sama pada $t = 5 \text{ s}$, tetapi saat itu A belum menyusul. Justru saat itulah jarak keduanya paling besar (25 m).

13. Lv 4 • IGCSE • Isian • Luas di bawah grafik v-t • gaya IGCSE • 04-4-01

Grafik di bawah menunjukkan kecepatan sebuah sepeda motor selama 10 s pertama. Hitung jarak total yang ditempuh motor dalam 10 s itu.



Jawaban: m

Kunci: 96 m

Pembahasan: Jarak = luas di bawah grafik v-t.

Segitiga (0–4 s): $\frac{1}{2} \times 4 \times 12 = 24$ m.

Persegi panjang (4–10 s): $12 \times 6 = 72$ m.

Total: $24 + 72 = 96$ m.

14. Lv 4 • IGCSE • Pilihan ganda • Data eksperimen • gaya IGCSE • 04-4-02

Seorang siswa mencatat kecepatan sepeda setiap detik.

t (s)	0	1	2	3	4
v (m/s)	2,0	3,5	5,0	6,5	8,0

Nyatakan jenis gerak sepeda dan besar percepatannya.

A. GLB dengan percepatan $1,5 \text{ m/s}^2$

C. GLBB dengan percepatan $2,0 \text{ m/s}^2$

B. GLBB dengan percepatan $1,5 \text{ m/s}^2$

D. GLBB dengan percepatan $8,0 \text{ m/s}^2$

Kunci: B

Pembahasan: Kecepatan bertambah $1,5 \text{ m/s}$ setiap detik secara teratur, jadi gerakanya GLBB dengan $a = \frac{8,0 - 2,0}{4} = 1,5 \text{ m/s}^2$. Bukan GLB, karena kecepatannya berubah. Nilai $2,0 \text{ m/s}^2$ adalah kecepatan awal, bukan percepatan.

15. Lv 4 • IGCSE • Uraian • Jarak henti • gaya IGCSE • 04-4-03

Jarak henti sebuah mobil terdiri atas *jarak berpikir* (*thinking distance*) dan *jarak pengereman* (*braking distance*). Jelaskan pengaruh setiap faktor berikut terhadap jarak henti: (a) pengemudi mengantuk atau memegang HP, (b) jalan basah, (c) kecepatan mobil menjadi dua kali lipat. [4 poin]

Kunci/rubrik:

1. (a) Waktu reaksi pengemudi bertambah. Jarak berpikir = kecepatan $\times$ waktu reaksi, sehingga jarak berpikir (dan jarak henti) bertambah. Jarak pengereman tidak berubah.
2. (b) Gesekan antara ban dan jalan berkurang, sehingga perlambatan maksimum lebih kecil. Jarak pengereman $v^2/2a$ bertambah.
3. (c) Jarak berpikir menjadi 2 kali lipat, karena sebanding dengan v .
4. (c) Jarak pengereman menjadi 4 kali lipat, karena sebanding dengan v^2 . Jadi jarak henti bertambah lebih dari dua kali lipat.

Pembahasan: Kunci penilaian: 1 poin untuk waktu reaksi $\rightarrow$ jarak berpikir, 1 poin untuk gesekan/perlambatan $\rightarrow$ jarak pengereman, 1 poin untuk jarak berpikir $\propto v$, 1 poin untuk jarak pengereman $\propto v^2$.

16. Lv 4 • IGCSE • Isian • Jatuh bebas • gaya IGCSE • 04-4-04

Sebuah batu dijatuhkan dari sebuah jembatan dan menyentuh permukaan sungai 1,8 s kemudian. Hitung tinggi jembatan di atas permukaan sungai. Gunakan $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ dan abaikan hambatan udara.

Jawaban: m

Kunci: 15,9 m

Pembahasan: Batu jatuh bebas dari diam: $h = \frac{1}{2}gt^2 = \frac{1}{2} \times 9,8 \times 1,8^2 = 15,9 \text{ m}$.

Lv 5 • IB DP gaya IB Physics

17. Lv 5 • IB DP • Isian • Kecepatan sesaat • gaya IB • 04-5-01

Posisi sebuah troli pada lintasan lurus dinyatakan oleh $x = 2,0t + 1,5t^2$ (x dalam meter, t dalam sekon). Tentukan kecepatan sesaat troli pada $t = 4,0 \text{ s}$.

Jawaban: m/s

Kunci: 14 m/s

Pembahasan: $v = \frac{dx}{dt} = 2,0 + 3,0t$.

Pada $t = 4,0 \text{ s}$: $v = 2,0 + 12,0 = 14 \text{ m/s}$.

Cara lain: bandingkan dengan $x = v_0t + \frac{1}{2}at^2$, maka $v_0 = 2,0 \text{ m/s}$ dan $a = 3,0 \text{ m/s}^2$, sehingga $v = v_0 + at = 14 \text{ m/s}$.

18. Lv 5 • IB DP • Uraian • Mengukur g dan ketidakpastian • gaya IB • 04-5-02

Untuk mengukur g , sebuah bola dijatuhkan dari ketinggian $h = (1,200 \pm 0,005)$ m. Waktu jatuhnya diukur $t = (0,495 \pm 0,005)$ s.

- Hitung nilai g .
- Tentukan ketidakpastian absolut g , lalu tulis hasilnya dengan jumlah angka penting yang sesuai.
- Jika waktu diukur dengan stopwatch tangan, sebutkan satu sumber galat sistematis dan satu cara memperbaiki eksperimen.

Kunci/rubrik: (a) $g = \frac{2h}{t^2} = \frac{2(1,200)}{0,495^2} = 9,79 \text{ m/s}^2$.

(b) $\frac{\Delta g}{g} = \frac{\Delta h}{h} + 2\frac{\Delta t}{t} = 0,0042 + 2(0,0101) \approx 0,024$ (2,4%). $\Delta g \approx 0,024 \times 9,79 \approx 0,24 \text{ m/s}^2$. Hasil: $g = (9,8 \pm 0,2) \text{ m/s}^2$.

(c) Waktu reaksi saat menekan tombol start dan stop (galat sistematis jika selalu terlambat di salah satu ujung). Perbaikan: gunakan gerbang cahaya (*light gate*) atau sensor bunyi otomatis, atau jatuhkan dari ketinggian yang lebih besar dan ulangi pengukuran lalu buat grafik h terhadap t^2 (kemiringan = $g/2$).

Pembahasan: Untuk perkalian, pembagian, dan pangkat, ketidakpastian relatif dijumlahkan, dan pangkat 2 pada t membuat ketidakpastian relatif t dikalikan 2. Di sini galat waktu mendominasi. Itulah sebabnya pengukuran waktu yang teliti paling penting.

19. Lv 5 • IB DP • Isian • Lemparan dari atap • gaya IB • 04-5-03

Sebuah bola dilempar vertikal ke atas dengan kecepatan $12,0 \text{ m/s}$ dari tepi atap gedung setinggi $25,0 \text{ m}$. Bola lalu jatuh ke tanah di samping gedung. Dengan $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ dan hambatan udara diabaikan, berapa lama bola berada di udara?

Jawaban: s

Kunci: 3,79 s

Pembahasan: $y = v_0 t - \frac{1}{2} g t^2$ dengan $y = -25,0 \text{ m}$:

$$-25,0 = 12,0 t - 4,905 t^2 \Rightarrow 4,905 t^2 - 12,0 t - 25,0 = 0.$$

$$t = \frac{12,0 + \sqrt{12,0^2 + 4(4,905)(25,0)}}{2(4,905)} = \frac{12,0 + 25,2}{9,81} \approx 3,79 \text{ s}.$$

Akar negatif dibuang karena tidak bermakna fisis (waktu sebelum bola dilempar).

20. Lv 5 • IB DP • Pilihan ganda • Grafik bola memantul • gaya IB • 04-5-04

Sebuah bola dijatuhkan dari ketinggian tertentu, lalu memantul beberapa kali di lantai. Ambil arah ke atas sebagai positif dan abaikan hambatan udara. Bentuk grafik kecepatan terhadap waktu yang benar adalah...

- parabola-parabola yang terbuka ke bawah
- garis-garis mendatar yang bergantian positif dan negatif
- garis-garis lurus yang kemiringannya bergantian $-g$ dan $+g$
- garis-garis lurus sejajar dengan kemiringan $-g$, diselingi lompatan tegak dari nilai negatif ke positif setiap kali memantul

Kunci: D

Pembahasan: Selama di udara (naik maupun turun), percepatan bola selalu $-g$, sehingga grafik v - t berupa garis lurus dengan kemiringan $-g$. Saat memantul, kecepatan berubah dari negatif (ke bawah) menjadi positif (ke atas) dalam waktu yang sangat singkat, sehingga tampak sebagai lompatan hampir tegak. Grafik parabola adalah bentuk grafik *posisi*-waktu, bukan kecepatan-waktu.

21. Lv 6 • Olimpiade • Isian • Detik terakhir jatuh bebas • gaya olimpiade • 04-6-01

Sebuah batu jatuh bebas dari keadaan diam. Selama **satu detik terakhir** sebelum menyentuh tanah, batu menempuh tepat setengah dari tinggi total jatuhnya. Berapa lama batu jatuh secara keseluruhan? (Jawabanmu tidak bergantung pada nilai g .)

Jawaban: s

Kunci: 3,414 s

Pembahasan: Tinggi total $H = \frac{1}{2}gT^2$. Pada saat $T - 1$, batu baru menempuh setengahnya:

$$\frac{1}{2}g(T-1)^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2}gT^2 \Rightarrow (T-1)^2 = \frac{T^2}{2} \Rightarrow T-1 = \frac{T}{\sqrt{2}}.$$

$$T = \frac{1}{1 - 1/\sqrt{2}} = 2 + \sqrt{2} \approx 3,41 \text{ s}.$$

Akar $T - 1 = -T/\sqrt{2}$ memberi $T < 1$ s sehingga dibuang. Dengan $g = 9,8 \text{ m/s}^2$, tingginya $\pm 57 \text{ m}$.

22. Lv 6 • Olimpiade • Isian • Teka-teki kecepatan relatif • gaya olimpiade • 04-6-02

Raka dan Sari berdiri terpisah 200 m di jalan lurus, lalu berjalan saling mendekat dengan kelajuan tetap 1,5 m/s dan 2,5 m/s. Tepat saat mereka mulai berjalan, seekor anak kucing berlari dari Raka menuju Sari dengan kelajuan tetap 6 m/s. Begitu sampai di Sari, kucing langsung berbalik ke Raka, lalu bolak-balik terus sampai Raka dan Sari bertemu. Berapa jarak total yang ditempuh kucing?

Jawaban: m

Kunci: 300 m

Pembahasan: Cara elegan: Raka dan Sari saling mendekat dengan kelajuan relatif $1,5 + 2,5 = 4 \text{ m/s}$, sehingga mereka bertemu setelah $200/4 = 50 \text{ s}$.

Selama 50 s itu kucing terus berlari 6 m/s, jadi jaraknya $6 \times 50 = 300 \text{ m}$.

Menjumlahkan setiap bolak-balik juga memberi 300 m (deret geometri), tetapi jauh lebih panjang. Memilih besaran yang tepat untuk dihitung adalah keterampilan olimpiade yang penting.

23. Lv 6 • Olimpiade • Isian • Jarak vs perpindahan dengan kalkulus • gaya olimpiade • 04-6-03

Kecepatan sebuah partikel yang bergerak lurus adalah $v = 3t^2 - 12t + 9$ (SI). Berapa **jarak** total yang ditempuh partikel dari $t = 0$ sampai $t = 4 \text{ s}$?

Jawaban: m

Kunci: 12 m

Pembahasan: $v = 3(t-1)(t-3)$ bernilai nol pada $t = 1 \text{ s}$ dan $t = 3 \text{ s}$. Posisi (dengan $x_0 = 0$): $x = t^3 - 6t^2 + 9t$. $x(0) = 0$, $x(1) = 4$, $x(3) = 0$, $x(4) = 4 \text{ m}$.

Jarak = $|4 - 0| + |0 - 4| + |4 - 0| = 12 \text{ m}$, sedangkan perpindahannya hanya 4 m. Partikel maju 4 m, mundur 4 m, lalu maju lagi 4 m.

Seorang pengemudi melaju 54 km/jam menuju persimpangan ketika lampu berubah kuning. Lampu kuning menyala 3,0 s sebelum merah. Waktu reaksinya 1,0 s, dan perlambatan maksimum rem 5,0 m/s². Lebar persimpangan (dari garis henti sampai ujung seberang) 15 m. Anggap jika memilih terus, pengemudi tidak menambah kecepatan dan harus sudah keluar dari persimpangan sebelum lampu merah.

- Berapa jarak minimum dari garis henti agar mobil masih sempat berhenti?
- Berapa jarak maksimum dari garis henti agar mobil masih sempat lolos?
- Tunjukkan bahwa ada "zona dilema" ketika pengemudi tidak bisa berhenti maupun lolos dengan aman, lalu usulkan dua cara menghilangkannya.

Kunci/rubrik: $v = 54/3,6 = 15$ m/s.

- Jarak henti $= vt_r + \frac{v^2}{2a} = 15(1,0) + \frac{225}{10} = 37,5$ m. Mobil harus berada minimal 37,5 m dari garis henti.
- Dalam 3,0 s mobil menempuh $15 \times 3,0 = 45$ m. Agar keluar persimpangan: $D + 15 \leq 45$, sehingga $D \leq 30$ m.
- Jika $30 \text{ m} < D < 37,5 \text{ m}$, mobil tidak sempat berhenti dan juga tidak sempat lolos: zona dilema selebar 7,5 m. Cara menghilangkannya: memperpanjang lampu kuning (dengan 3,5 s, jarak lolos menjadi $52,5 - 15 = 37,5$ m sehingga zona dilema hilang), menurunkan batas kecepatan di dekat persimpangan, atau menambah lampu "semua merah" sebelum arah lain hijau.

Pembahasan: Soal ini memadukan GLB (selama reaksi dan saat terus melaju) dengan GLBB (saat mengerem). Perencana lalu lintas sungguh-sungguh menghitung durasi lampu kuning dengan cara seperti ini.

Lv 1 • Pemula SD-SMP awal

1. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Bentuk lintasan • 05-1-01

Jika hambatan udara diabaikan, lintasan bola yang ditendang miring ke atas berbentuk...

- | | |
|-----------------------|-------------|
| A. garis lurus | C. parabola |
| B. setengah lingkaran | D. zig-zag |

Kunci: C

Pembahasan: Gerak mendatar yang tetap (GLB) digabung dengan gerak vertikal yang dipercepat ke bawah (GLBB) menghasilkan lengkungan **parabola**.

2. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Komponen mendatar • 05-1-02

Selama sebuah bola terbang (tanpa hambatan udara), komponen kecepatan **mendatarnya**...

- | | |
|--------------------|--------------------|
| A. tetap | C. terus berkurang |
| B. terus bertambah | D. nol |

Kunci: A

Pembahasan: Tidak ada gaya mendatar yang bekerja pada bola (hanya gaya berat yang arahnya ke bawah), sehingga kecepatan mendatarnya tetap.

3. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Titik tertinggi • 05-1-03

Pada titik tertinggi lintasan parabola, komponen kecepatan **vertikal** bola adalah...

- | | |
|----------------------------------|--------------------------------------|
| A. paling besar | C. sama dengan kecepatan mendatarnya |
| B. sama dengan kecepatan awalnya | D. nol |

Kunci: D

Pembahasan: Di puncak, bola berhenti naik dan akan mulai turun, jadi kecepatan vertikalnya nol. Kecepatan mendatarnya tetap ada, sehingga bola tidak benar-benar diam.

4. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Hujan dan payung • 05-1-04

Hujan turun tegak lurus tanpa angin. Raka berjalan cepat ke depan sambil memegang payung. Agar tubuhnya tidak basah, payung sebaiknya dimiringkan...

- | | |
|----------------|---------------------|
| A. ke belakang | C. tegak lurus saja |
| B. ke depan | D. ke samping kiri |

Kunci: B

Pembahasan: Menurut Raka yang bergerak maju, hujan tampak datang miring dari depan. Karena itu payung harus dicondongkan ke depan.

5. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Menguraikan kecepatan • 05-2-01

Sebuah bola ditendang dengan kecepatan 10 m/s pada sudut 37° terhadap tanah. Gunakan $\sin 37^\circ \approx 0,6$ dan $\cos 37^\circ \approx 0,8$. Berapa komponen kecepatan mendatar?

Jawaban: m/s

Kunci: 8 m/s

Pembahasan: $v_{0x} = v_0 \cos \theta = 10 \times 0,8 = 8$ m/s. Komponen vertikalnya $v_{0y} = 10 \times 0,6 = 6$ m/s.

6. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Jatuh dari meja • 05-2-02

Sebuah kelereng menggelinding keluar dari tepi meja setinggi 0,8 m dengan kecepatan mendatar 2 m/s. Dengan $g = 10 \text{ m/s}^2$, berapa lama kelereng di udara sampai menyentuh lantai?

Jawaban: s

Kunci: 0,4 s

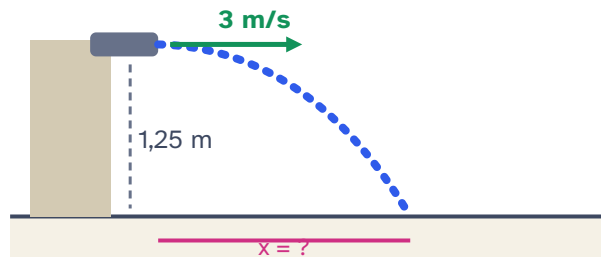
Pembahasan: Kecepatan vertikal awalnya nol, jadi waktu jatuh hanya ditentukan tinggi meja:

$$t = \sqrt{2h/g} = \sqrt{2(0,8)/10} = \sqrt{0,16} = 0,4 \text{ s.}$$

Kecepatan mendatar 2 m/s tidak memengaruhi waktu ini.

7. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Pancaran mendatar • 05-2-03

Air memancar mendatar dari ujung pipa setinggi 1,25 m dengan kecepatan 3 m/s, seperti pada gambar. Dengan $g = 10 \text{ m/s}^2$, berapa jarak mendatar x tempat air menyentuh tanah?



Jawaban: m

Kunci: 1,5 m

Pembahasan: Waktu jatuh: $t = \sqrt{2(1,25)/10} = 0,5$ s.

Jarak mendatar: $x = vt = 3 \times 0,5 = 1,5$ m.

8. Lv 2 • Penjelajah • Pilihan ganda • Sudut kembar • 05-2-04

Sebuah bola dilempar di tanah datar pada sudut 20° . Dengan kelajuan awal yang sama, sudut lain yang menghasilkan jangkauan yang **sama** adalah...

A. 40°

C. 160°

B. 70°

D. 45°

Kunci: B

Pembahasan: Jangkauan $R = v_0^2 \sin 2\theta / g$ bernilai sama untuk θ dan $90^\circ - \theta$, karena $\sin 40^\circ = \sin 140^\circ$. Jadi pasangannya $90^\circ - 20^\circ = 70^\circ$.

9. Lv 3 • Pejuang • Isian • Tinggi maksimum • 05-3-01

Sebuah bola ditendang dengan kecepatan 20 m/s pada sudut 30° terhadap tanah datar. Dengan $g = 10 \text{ m/s}^2$ dan tanpa hambatan udara, berapa tinggi maksimum bola?

Jawaban: m

Kunci: 5 m

Pembahasan: $v_{0y} = 20 \sin 30^\circ = 10 \text{ m/s}$.

Di puncak $v_y = 0$: $H = \frac{v_{0y}^2}{2g} = \frac{100}{20} = 5 \text{ m}$.

10. Lv 3 • Pejuang • Isian • Jangkauan • 05-3-02

Dalam permainan kasti, bola dipukul dari dekat permukaan tanah dengan kecepatan 15 m/s pada sudut 53° ($\sin 53^\circ \approx 0,8$, $\cos 53^\circ \approx 0,6$). Dengan $g = 10 \text{ m/s}^2$ dan tanpa hambatan udara, berapa jauh bola mendarat dari titik pukul?

Jawaban: m

Kunci: 21,6 m

Pembahasan: $v_x = 15(0,6) = 9 \text{ m/s}$ dan $v_{0y} = 15(0,8) = 12 \text{ m/s}$.

Waktu terbang: $T = 2v_{0y}/g = 2,4 \text{ s}$.

Jangkauan: $R = v_x T = 9 \times 2,4 = 21,6 \text{ m}$.

Cek: $R = v_0^2 \sin 2\theta / g = 225 \times 2(0,8)(0,6)/10 = 21,6 \text{ m}$. ✓

11. Lv 3 • Pejuang • Isian • Perahu dan arus • 05-3-03

Perahu ketek melaju 4 m/s terhadap air dan diarahkan tegak lurus tepi sungai selebar 200 m. Kecepatan arus sungai 3 m/s. Seberapa jauh perahu hanyut ke hilir saat tiba di seberang?

Jawaban: m

Kunci: 150 m

Pembahasan: Waktu menyeberang: $t = 200/4 = 50 \text{ s}$.

Selama itu arus menghanyutkan perahu: $x = 3 \times 50 = 150 \text{ m}$ ke hilir.

12. Lv 3 • Pejuang • Isian • Sudut hujan relatif • 05-3-04

Hujan jatuh tegak lurus dengan kecepatan 6 m/s. Sari bersepeda dengan kecepatan 2 m/s. Menurut Sari, hujan datang dengan sudut berapa derajat terhadap arah tegak?

Jawaban: °

Kunci: 18,43 °

Pembahasan: Relatif terhadap Sari, hujan punya komponen 6 m/s ke bawah dan 2 m/s ke belakang.

$\tan \theta = 2/6 = 0,333 \Rightarrow \theta \approx 18,4^\circ$ dari arah tegak, datang dari depan.

13. Lv 4 · IGCSE · Isian · Dilepas dari helikopter · gaya IGCSE · 05-4-01

Sebuah paket dijatuhkan dari helikopter yang terbang mendarat dengan kecepatan 30 m/s pada ketinggian 80 m . Hitung jarak mendatar paket dari titik pelepasannya saat menyentuh tanah. Gunakan $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ dan abaikan hambatan udara.

Jawaban: _____ m

Kunci: 121,2 m

Pembahasan: Paket membawa kecepatan mendatar helikopter, yaitu 30 m/s , dan kecepatan vertikal awal nol.

Waktu jatuh: $t = \sqrt{2(80)/9,8} \approx 4,04 \text{ s.}$

Jarak mendatar: $x = 30 \times 4,04 \approx 121 \text{ m}$.

14. Lv 4 · IGCSE · Uraian · Gerak saling bebas · gaya IGCSE · 05-4-02

Dari ketinggian yang sama dan pada saat yang sama, bola A dijatuhkan dan bola B dilempar mendatar. Jelaskan mengapa kedua bola menyentuh tanah pada saat yang sama. Abaikan hambatan udara. [3 poin]

Kunci/rubrik:

1. Gerak vertikal dan gerak mendatar saling bebas: kecepatan mendatar B tidak memengaruhi gerak vertikalnya.
2. Kedua bola mulai dengan kecepatan vertikal nol.
3. Kedua bola mendapat percepatan vertikal yang sama, yaitu g (hanya gaya berat yang bekerja), sehingga waktu jatuhnya sama: $t = \sqrt{2h/g}$. B hanya mendarat lebih jauh.

Pembahasan: Kunci penilaian: 1 poin untuk gagasan gerak saling bebas, 1 poin untuk kecepatan vertikal awal nol pada keduanya, 1 poin untuk percepatan vertikal yang sama sehingga waktunya sama.

15. Lv 4 • IGCSE • Pilihan ganda • Data eksperimen sudut • gaya IGCSE • 05-4-03

Sebuah peluncur menembakkan bola dengan kelajuan yang sama pada berbagai sudut. Hasil pengukuran jangkauannya:

Sudut (°)	15	30	45	60	75
Jangkauan (m)	5,1	8,8	10,2	8,9	5,0

Nyatakan sudut yang memberi jangkauan terjauh, dan satu pasangan sudut yang jangkauannya hampir sama.

- A. 60° ; pasangan 15° dan 45°
B. 45° ; pasangan 30° dan 60°
C. 45° ; pasangan 15° dan 30°
D. 75° ; pasangan 30° dan 75°

Kunci: B

Pembahasan: Jangkauan terbesar (10,2 m) terjadi pada 45° . Pasangan sudut yang jumlahnya 90° , yaitu 30° & 60° (8,8 m dan 8,9 m) serta 15° & 75° (5,1 m dan 5,0 m), memberi jangkauan hampir sama. Perbedaan kecil disebabkan galat pengukuran.

16. Lv 4 • IGCSE • Isian • Kelajuan saat mendarat • gaya IGCSE • 05-4-04

Bola tenis dipukul mendatar dengan kecepatan 25 m/s dari ketinggian 2,45 m di atas lapangan. Hitung kelajuan bola tepat sebelum menyentuh lapangan. Gunakan $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ dan abaikan hambatan udara.

Jawaban: m/s

Kunci: 25,94 m/s

Pembahasan: Komponen mendatar tetap: $v_x = 25 \text{ m/s}$.

Komponen vertikal saat mendarat: $v_y = \sqrt{2gh} = \sqrt{2(9,8)(2,45)} = \sqrt{48,0} \approx 6,93 \text{ m/s}$.

Kelajuan: $v = \sqrt{25^2 + 6,93^2} \approx 25,9 \text{ m/s}$.

Lv 5 • IB DP gaya IB Physics

17. Lv 5 • IB DP • Isian • Lemparan dari tebing • gaya IB • 05-5-01

Sebuah batu dilempar dari puncak tebing setinggi 20,0 m dengan kecepatan 15,0 m/s pada sudut $30,0^\circ$ di atas horizontal. Batu mendarat di tanah datar di kaki tebing. Dengan $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ dan tanpa hambatan udara, tentukan jarak mendatar dari kaki tebing ke titik jatuh batu.

Jawaban: m

Kunci: 37,98 m

Pembahasan: $v_{0x} = 15 \cos 30^\circ = 12,99 \text{ m/s}$; $v_{0y} = 15 \sin 30^\circ = 7,50 \text{ m/s}$.

$$-20,0 = 7,50t - 4,905t^2 \Rightarrow t = \frac{7,50 + \sqrt{7,50^2 + 4(4,905)(20,0)}}{9,81} \approx 2,92 \text{ s.}$$

$$x = 12,99 \times 2,92 \approx 38,0 \text{ m.}$$

18. Lv 5 • IB DP • Uraian • Analisis grafik jangkauan • gaya IB • 05-5-02

Sebuah peluncur pegas menembakkan bola kecil dari permukaan lantai dengan kelajuan yang sama pada berbagai sudut θ . Siswa mengukur jangkauan R lalu membuat grafik R terhadap $\sin 2\theta$. Hasilnya garis lurus yang hampir melalui titik asal, dengan kemiringan $(4,1 \pm 0,2) \text{ m}$.

(a) Jelaskan mengapa model tanpa hambatan udara meramalkan garis lurus melalui titik asal, dan apa arti fisis kemiringannya.

(b) Hitung kelajuan luncur v_0 beserta ketidakpastiannya ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$).

(c) Sebutkan dua asumsi model ini. Jika hambatan udara cukup berarti, bagaimana titik data akan menyimpang dari garis?

Kunci/rubrik: (a) Model: $R = \frac{v_0^2}{g} \sin 2\theta$. Ini berbentuk $y = kx$ dengan $y = R$, $x = \sin 2\theta$, sehingga grafiknya lurus melalui titik asal dengan kemiringan $k = v_0^2/g$.

(b) $v_0 = \sqrt{kg} = \sqrt{4,1 \times 9,81} \approx 6,34 \text{ m/s}$. Ketidakpastian relatif: $\frac{\Delta v_0}{v_0} = \frac{1}{2} \frac{\Delta k}{k} = \frac{1}{2} \cdot \frac{0,2}{4,1} \approx 0,024$, sehingga $\Delta v_0 \approx 0,15 \text{ m/s}$. Hasil: $v_0 = (6,3 \pm 0,2) \text{ m/s}$.

(c) Asumsi (dua di antaranya): hambatan udara diabaikan; titik luncur dan titik jatuh sama tinggi; v_0 sama untuk semua sudut; g tetap. Dengan hambatan udara, semua jangkauan lebih kecil sehingga titik-titik berada di bawah garis model. Penurunannya lebih besar untuk sudut yang lebih curam (waktu terbang lebih lama), sehingga sudut θ dan $90^\circ - \theta$ tidak lagi memberi jangkauan yang sama.

Pembahasan: Strategi IB: ubah rumus menjadi bentuk garis lurus (linearisasi), lalu tafsirkan kemiringan dan titik potongnya. Untuk akar kuadrat, ketidakpastian relatif dibagi dua.

19. Lv 5 • IB DP • Isian • Persamaan lintasan • gaya IB • 05-5-03

Lintasan sebuah bola memenuhi persamaan $y = 1,0x - 0,050x^2$ (x dan y dalam meter), dengan titik lempar di titik asal. Jika $g = 10 \text{ m/s}^2$, tentukan kelajuan awal bola.

Jawaban: m/s

Kunci: 14,14 m/s

Pembahasan: Dari koefisien x : $\tan \theta = 1,0 \Rightarrow \theta = 45^\circ$, sehingga $\cos^2 \theta = 0,5$.

Dari koefisien x^2 : $\frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \theta} = 0,050 \Rightarrow \frac{10}{v_0^2} = 0,050 \Rightarrow v_0^2 = 200$.

$v_0 = \sqrt{200} \approx 14,1 \text{ m/s}$. Cek: jangkauannya $v_0^2/g = 20 \text{ m}$, sama dengan akar kedua persamaan lintasan ($x = 1,0/0,050 = 20 \text{ m}$). ✓

20. Lv 5 • IB DP • Pilihan ganda • Grafik komponen vertikal • gaya IB • 05-5-04

Sebuah bola ditendang miring ke atas dan mendarat kembali di tanah datar. Ambil arah ke atas sebagai positif dan abaikan hambatan udara. Grafik komponen kecepatan vertikal v_y terhadap waktu berbentuk...

- A. garis mendatar di atas sumbu waktu
- B. parabola yang terbuka ke bawah
- C. huruf V dengan titik terendah saat bola di puncak
- D. garis lurus menurun yang memotong sumbu waktu tepat saat bola di puncak

Kunci: D

Pembahasan: $v_y = v_{0y} - gt$ adalah fungsi linear dengan kemiringan $-g$. Nilainya positif saat naik, nol tepat di puncak, dan negatif saat turun. Garis mendatar adalah grafik v_x , bukan v_y . Parabola adalah grafik y terhadap t .

Lv 6 • Olimpiade gaya OSN/IPhO

21. Lv 6 • Olimpiade • Isian • Jangkauan maksimum dari ketinggian • gaya olimpiade • 05-6-01

Dari atap setinggi 15 m, Raka melempar bola dengan kelajuan 10 m/s. Ia boleh memilih sudut lempar mana saja. Dengan $g = 10 \text{ m/s}^2$ dan tanpa hambatan udara, berapa jarak mendatar **terjauh** yang bisa dicapai bola di tanah?

Jawaban: m

Kunci: 20 m

Pembahasan: Hasil umum (bisa diturunkan dari persamaan lintasan dengan syarat diskriminan): $R_{\text{maks}} = \frac{v_0}{g} \sqrt{v_0^2 + 2gh}$, dicapai pada sudut $\tan \theta = \frac{v_0}{\sqrt{v_0^2 + 2gh}}$.

$R_{\text{maks}} = \frac{10}{10} \sqrt{100 + 300} = 20 \text{ m}$, dengan $\tan \theta = 10/20$, yaitu $\theta \approx 26,6^\circ$.

Cek: $v_x = 8,94 \text{ m/s}$, $v_{0y} = 4,47 \text{ m/s}$. Dari $-15 = 4,47t - 5t^2$ diperoleh $t = 2,236 \text{ s}$, sehingga $x = 8,94 \times 2,236 = 20,0 \text{ m}$. ✓ Fakta elegan: pada sudut optimum, arah kecepatan awal dan arah kecepatan saat mendarat saling tegak lurus.

22. Lv 6 • Olimpiade • Isian • Parabola di lereng • gaya olimpiade • 05-6-02

Sebuah bola ditembakkan dari kaki bukit ke arah atas lereng yang bersudut 30° terhadap horizontal, dengan kelajuan 20 m/s . Sudut tembakan boleh diatur. Dengan $g = 10 \text{ m/s}^2$, berapa jangkauan maksimum bola diukur sepanjang lereng?

Jawaban: m

Kunci: 26,67 m

Pembahasan: $2 \cos \theta \sin(\theta - \alpha) = \sin(2\theta - \alpha) - \sin \alpha$. Nilai maksimumnya $1 - \sin \alpha$, saat $2\theta - \alpha = 90^\circ$, yaitu $\theta = 45^\circ + \alpha/2 = 60^\circ$.

$$R_{\text{maks}} = \frac{v_0^2(1 - \sin \alpha)}{g \cos^2 \alpha} = \frac{v_0^2(1 - \sin \alpha)}{g(1 - \sin \alpha)(1 + \sin \alpha)} = \frac{v_0^2}{g(1 + \sin \alpha)}.$$

$$R_{\text{maks}} = \frac{400}{10 \times 1,5} \approx 26,7 \text{ m. Untuk } \alpha = 0, \text{ rumus ini kembali menjadi } v_0^2/g. \checkmark$$

23. Lv 6 • Olimpiade • Isian • Hanyut minimum • gaya olimpiade • 05-6-03

Arus sungai selebar 120 m mengalir 5 m/s , sedangkan perahu hanya mampu melaju 3 m/s terhadap air. Perahu tidak mungkin tiba tepat di seberang. Jika haluan diatur sebaik-baiknya, berapa jarak hanyut **minimum** ke hilir?

Jawaban: m

Kunci: 160 m

Pembahasan: Ujung vektor resultan berada pada lingkaran berjari-jari $v_p = 3$ yang berpusat di ujung vektor arus $u = 5$. Resultan paling curam (sudut terbesar terhadap tepi) adalah garis singgung lingkaran itu, sehingga kecepatan perahu tegak lurus resultan.

Sudut resultan terhadap tepi: $\sin \beta = v_p/u = 3/5$, sehingga $\tan \beta = 3/4$.

$$\text{Hanyut} = \frac{d}{\tan \beta} = 120 \times \frac{4}{3} = 160 \text{ m. Bandingkan dengan haluan tegak lurus: hanyutnya } 5 \times 120/3 = 200 \text{ m.}$$

24. Lv 6 • Olimpiade • Uraian • Mangga jatuh dan sandal • gaya olimpiade • 05-6-04

Raka berdiri 12 m (mendatar) dari pohon. Sebuah mangga tergantung $6,0 \text{ m}$ lebih tinggi daripada tangan Raka, dan tangan Raka $1,2 \text{ m}$ di atas tanah. Raka membidik tepat lurus ke mangga dan melempar sandal dengan kelajuan v_0 . Tepat saat sandal lepas, mangga juga lepas dan jatuh bebas. Gunakan $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ dan abaikan hambatan udara.

(a) Buktikan bahwa sandal pasti mengenai mangga, berapa pun v_0 , asalkan sandal tiba sebelum mangga menyentuh tanah.

(b) Tentukan v_0 minimum agar hal itu terjadi.

(c) Jelaskan hasil (a) dengan memakai kerangka acuan yang ikut jatuh bebas.

Kunci/rubrik: (a) Tanpa gravitasi, sandal bergerak lurus sepanjang garis bidikan dan tiba di posisi awal mangga pada $t^* = D/v_0$, dengan D jarak tangan-mangga. Dengan gravitasi, posisi sandal sama dengan posisi tanpa gravitasi dikurangi $\frac{1}{2}gt^{*2}$ ke bawah. Mangga yang jatuh bebas juga berada $\frac{1}{2}gt^{*2}$ di bawah posisi awalnya. Pada t^* , keduanya sama-sama turun $\frac{1}{2}gt^{*2}$ dari titik yang sama, sehingga bertemu.

(b) $D = \sqrt{12^2 + 6,0^2} \approx 13,4 \text{ m}$. Mangga jatuh $7,2 \text{ m}$ sampai tanah dalam $t_{\text{maks}} = \sqrt{2(7,2)/9,8} \approx 1,21 \text{ s}$. Syarat $D/v_0 \leq t_{\text{maks}}$ memberi $v_0 \geq 13,4/1,21 \approx 11,1 \text{ m/s}$.

(c) Dalam kerangka yang ikut jatuh bebas (dipercepat g ke bawah), gravitasi seolah lenyap: mangga diam, dan sandal bergerak lurus beraturan ke arah bidikannya, yaitu tepat ke mangga.

Pembahasan: Ini versi Indonesia dari teka-teki klasik "monyet dan pemburu". Bagian (c) memperkenalkan gagasan mendalam yang kelak dipakai Einstein: di dalam lift yang jatuh bebas, efek gravitasi tidak terasa.

Lv 1 • Pemula SD-SMP awal

1. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Pengertian gaya • 06-1-01

Dalam fisika, **gaya** adalah...

- | | |
|---------------------------|--------------------------------------|
| A. kecepatan sebuah benda | C. energi yang tersimpan dalam benda |
| B. berat benda saja | D. tarikan atau dorongan pada benda |

Kunci: D

Pembahasan: Gaya adalah tarikan atau dorongan yang dapat mengubah kecepatan, arah gerak, atau bentuk benda. Berat hanyalah *salah satu* jenis gaya, bukan satu-satunya.

2. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Kelembaman • 06-1-02

Saat bus berhenti mendadak, penumpang yang berdiri terdorong ke depan. Peristiwa ini paling tepat dijelaskan oleh...

- | | |
|--------------------------------|-------------------------------|
| A. Hukum I Newton (kelembaman) | C. tekanan udara di dalam bus |
| B. gaya magnet bus | D. gaya listrik statis |

Kunci: A

Pembahasan: Tubuh penumpang cenderung mempertahankan geraknya (kelembaman, Hukum I Newton). Bus melambat, tetapi tubuh masih melaju, sehingga terasa terdorong ke depan.

3. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Satuan gaya • 06-1-03

Satuan gaya dalam Sistem Internasional (SI) adalah...

- | | |
|----------|-------------|
| A. joule | C. newton |
| B. watt | D. kilogram |

Kunci: C

Pembahasan: Satuan gaya adalah newton (N), untuk menghormati Isaac Newton. $1\text{ N} = 1\text{ kg m/s}^2$. Joule adalah satuan energi, watt satuan daya, dan kilogram satuan massa.

4. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Hukum III • 06-1-04

Ketika kamu mendorong dinding, dinding mendorong tanganmu kembali dengan gaya yang sama besar. Ini adalah contoh Hukum Newton yang ke...

- | | |
|-------|--------|
| A. I | C. III |
| B. II | D. IV |

Kunci: C

Pembahasan: Hukum III Newton (aksi-reaksi): gaya selalu berpasangan, sama besar, berlawanan arah, dan bekerja pada dua benda yang berbeda (tangan dan dinding).

5. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Hukum II • 06-2-01

Sebuah gerobak bakso bermassa 40 kg didorong dengan gaya total 100 N. Berapa percepatan gerobak?

Jawaban: m/s²

Kunci: 2,5 m/s²

Pembahasan: $a = \frac{\Sigma F}{m} = \frac{100 \text{ N}}{40 \text{ kg}} = 2,5 \text{ m/s}^2$.

6. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Berat • 06-2-02

Massa Sari 45 kg. Berapa beratnya di Bumi jika $g = 10 \text{ m/s}^2$?

Jawaban: N

Kunci: 450 N

Pembahasan: Berat adalah gaya gravitasi: $w = mg = 45 \times 10 = 450 \text{ N}$. Ingat, massanya tetap 45 kg. Yang bernilai 450 N adalah beratnya.

7. Lv 2 • Penjelajah • Pilihan ganda • Gaya total • 06-2-03

Dua gaya bekerja pada sebuah kotak: 30 N ke kanan dan 12 N ke kiri. Gaya total pada kotak adalah...

- | | |
|------------------|-------------------|
| A. 42 N ke kanan | C. 18 N ke kiri |
| B. 18 N ke kanan | D. 360 N ke kanan |

Kunci: B

Pembahasan: Gaya yang berlawanan arah dikurangkan: $30 - 12 = 18 \text{ N}$, searah gaya yang lebih besar, yaitu ke kanan.

8. Lv 2 • Penjelajah • Pilihan ganda • Massa vs berat • 06-2-04

Massa sebuah batu di Bumi adalah 6 kg. Jika batu dibawa ke Bulan (percepatan gravitasi Bulan $\pm 1/6$ gravitasi Bumi), maka...

- A. massanya menjadi 1 kg dan beratnya tetap
- B. massanya tetap 6 kg dan beratnya menjadi $\pm 1/6$ berat di Bumi
- C. massa dan beratnya sama-sama menjadi $1/6$
- D. massa dan beratnya tidak berubah

Kunci: B

Pembahasan: Massa adalah banyaknya materi, jadi tidak bergantung tempat. Berat $w = mg$ bergantung pada g , sehingga di Bulan berat batu tinggal $\pm 1/6$ berat di Bumi.

9. Lv 3 • Pejuang • Isian • Hukum II + gesekan • 06-3-01

Balok 5 kg di lantai datar ditarik gaya mendatar 40 N. Koefisien gesek kinetis 0,3 dan $g = 10 \text{ m/s}^2$. Berapa percepatan balok?

Jawaban: m/s^2

Kunci: 5 m/s^2

Pembahasan: $N = mg = 50 \text{ N}$, sehingga $f_k = 0,3 \times 50 = 15 \text{ N}$.

$\Sigma F = 40 - 15 = 25 \text{ N}$.

$a = 25/5 = 5 \text{ m/s}^2$.

10. Lv 3 • Pejuang • Isian • Lift • 06-3-02

Raka (50 kg) berdiri di atas timbangan di dalam lift yang bergerak ke atas dengan percepatan 2 m/s^2 . Dengan $g = 10 \text{ m/s}^2$, berapa gaya yang ditunjukkan timbangan (dalam newton)?

Jawaban: N

Kunci: 600 N

Pembahasan: Ambil arah atas positif. Gaya pada Raka: N ke atas dan mg ke bawah.

$N - mg = ma \Rightarrow N = m(g + a) = 50(10 + 2) = 600 \text{ N}$.

11. Lv 3 • Pejuang • Isian • Katrol • 06-3-03

Balok A (3 kg) di atas meja licin dihubungkan dengan tali melalui katrol licin ke balok B (2 kg) yang tergantung. Dengan $g = 10 \text{ m/s}^2$, berapa tegangan tali?

Jawaban: N

Kunci: 12 N

Pembahasan: Percepatan sistem: $a = \frac{m_B g}{m_A + m_B} = \frac{20}{5} = 4 \text{ m/s}^2$.

Pada balok A hanya tegangan tali yang mendatar: $T = m_A a = 3 \times 4 = 12 \text{ N}$.

12. Lv 3 • Pejuang • Pilihan ganda • Hukum I • 06-3-04

Sebuah mobil melaju dengan kecepatan tetap 60 km/jam di jalan lurus. Pernyataan yang benar adalah...

- A. gaya dorong mesin lebih besar daripada gaya hambat
- B. gaya total pada mobil sama dengan nol
- C. tidak ada gaya yang bekerja pada mobil
- D. gaya total searah dengan arah gerak mobil

Kunci: B

Pembahasan: Kecepatan tetap berarti percepatan nol, sehingga $\Sigma F = 0$ (Hukum I). Gaya-gaya tetap ada (dorongan mesin, hambatan, berat, normal), tetapi saling meniadakan.

13. Lv 4 • IGCSE • Isian • Gaya resultan • gaya IGCSE • 06-4-01

Sebuah mobil bermassa 1.200 kg dipercepat dari keadaan diam hingga 15 m/s dalam 6,0 s. Hitung gaya resultan (*resultant force*) pada mobil.

Jawaban: N

Kunci: 3.000 N

Pembahasan: Percepatan: $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{15 - 0}{6,0} = 2,5 \text{ m/s}^2$.

Gaya resultan: $F = ma = 1200 \times 2,5 = 3000 \text{ N}$.

14. Lv 4 • IGCSE • Pilihan ganda • Data eksperimen • gaya IGCSE • 06-4-02

Seorang siswa menarik troli dengan beberapa gaya berbeda dan mengukur percepatannya.

F (N)	2,0	4,0	6,0	8,0
a (m/s²)	0,50	1,00	1,50	2,00

Berapa massa troli?

A. 0,25 kg

C. 4,0 kg

B. 2,0 kg

D. 8,0 kg

Kunci: C

Pembahasan: Grafik F terhadap a berupa garis lurus melalui titik asal dengan kemiringan $F/a = 2,0/0,50 = 4,0$ kg. Kemiringan itulah massa troli, karena $F = ma$.

15. Lv 4 • IGCSE • Uraian • Keselamatan • gaya IGCSE • 06-4-03

Jelaskan, dengan menggunakan hukum-hukum Newton, mengapa sabuk pengaman dan kantong udara (*airbag*) mengurangi cedera saat mobil bertabrakan. [4 poin]

Kunci/rubrik:

1. Saat mobil berhenti mendadak, tubuh penumpang cenderung terus bergerak maju (kelembaman, Hukum I).
2. Sabuk pengaman memberi gaya pada tubuh sehingga tubuh ikut melambat bersama mobil, tidak membentur dasbor atau kaca.
3. Sabuk yang sedikit meregang dan airbag yang mengempis memperpanjang waktu perlambatan.
4. Waktu lebih lama berarti perlambatan lebih kecil. Dari $F = ma$ (atau $F = \Delta p / \Delta t$), gaya pada tubuh menjadi lebih kecil sehingga cedera berkurang.

Pembahasan: Kunci penilaian: satu poin untuk kelembaman, satu poin untuk gaya penahan dari sabuk, satu poin untuk waktu tumbukan yang lebih lama, dan satu poin untuk gaya yang lebih kecil melalui $F = ma$ atau $F = \Delta p / \Delta t$.

16. Lv 4 • IGCSE • Isian • Gaya dorong roket • gaya IGCSE • 06-4-04

Roket air mainan bermassa 0,50 kg mendapat gaya dorong (*thrust*) 12 N ke atas saat diluncurkan. Dengan $g = 9,8 \text{ m/s}^2$, hitung percepatan awal roket.

Jawaban: m/s^2

Kunci: 14,2 m/s^2

Pembahasan: Berat: $w = 0,50 \times 9,8 = 4,9 \text{ N}$.

Gaya resultan ke atas: $12 - 4,9 = 7,1 \text{ N}$.

$a = 7,1/0,50 = 14,2 \text{ m/s}^2$.

Lv 5 • IB DP gaya IB Physics

17. Lv 5 • IB DP • Isian • Tarikan bersudut • gaya IB • 06-5-01

Sebuah kotak 8,0 kg ditarik di lantai datar dengan tali yang membentuk sudut 30° di atas horizontal. Tegangan tali 50 N, koefisien gesek kinetis 0,25, dan $g = 9,81 \text{ m/s}^2$. Tentukan percepatan kotak.

Jawaban: m/s^2

Kunci: 3,74 m/s^2

Pembahasan: Komponen tarikan: mendatar $50 \cos 30^\circ = 43,3 \text{ N}$ dan vertikal $50 \sin 30^\circ = 25,0 \text{ N}$.

Gaya normal: $N = mg - 25,0 = 78,5 - 25,0 = 53,5 \text{ N}$.

Gesekan: $f = 0,25 \times 53,5 = 13,4 \text{ N}$.

$a = \frac{43,3 - 13,4}{8,0} \approx 3,74 \text{ m/s}^2$.

18. Lv 5 • IB DP • Pilihan ganda • Impuls dari grafik • gaya IB • 06-5-02

Gaya resultan pada benda bermassa m berubah terhadap waktu membentuk segitiga: naik dari 0 ke puncak F_0 lalu turun lagi ke 0, dengan lama total T . Jika benda mula-mula diam, kecepatan akhirnya adalah...

- A. $F_0 T/m$ C. $2F_0 T/m$
B. $F_0 T/(2m)$ D. $F_0/(mT)$

Kunci: B

Pembahasan: Perubahan momentum sama dengan luas di bawah grafik F - t : $\Delta p = \frac{1}{2} F_0 T$. Karena benda mula-mula diam, $v = \Delta p/m = F_0 T/(2m)$.

19. Lv 5 • IB DP • Uraian • Ketidakpastian • gaya IB • 06-5-03

Dalam eksperimen, troli ditarik oleh beban yang tergantung. Hasil pengukuran: gaya $F = (2,0 \pm 0,1) \text{ N}$ dan percepatan $a = (0,50 \pm 0,02) \text{ m/s}^2$.

- (a) Hitung massa sistem.
(b) Hitung ketidakpastian absolut massa.
(c) Sebutkan satu galat sistematis yang mungkin terjadi dan pengaruhnya pada massa yang dihitung.

Kunci/rubrik: (a) $m = F/a = 2,0/0,50 = 4,0 \text{ kg}$.

(b) Ketidakpastian relatif dijumlahkan: $0,1/2,0 = 5\%$ dan $0,02/0,50 = 4\%$, total 9%. $\Delta m = 0,09 \times 4,0 \approx 0,4 \text{ kg}$, sehingga $m = (4,0 \pm 0,4) \text{ kg}$.

(c) Gesekan pada roda tidak dikompensasi (landasan tidak dimiringkan sedikit). Akibatnya percepatan terukur lebih kecil, sehingga massa hasil hitungan lebih besar dari nilai sebenarnya.

Pembahasan: Untuk pembagian atau perkalian, ketidakpastian relatif (persen) dijumlahkan. Galat sistematis menggeser semua hasil ke satu arah, sedangkan galat acak membuat hasil tersebar.

Sebuah lift beserta penumpangnya bermassa 600 kg. Lift bergerak **ke bawah** dan melambat dengan perlambatan $1,5 \text{ m/s}^2$ sebelum berhenti. Dengan $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, berapa tegangan kabel lift?

Jawaban: N

Kunci: 6.786 N

Pembahasan: Percepatan mengarah ke atas sebesar $1,5 \text{ m/s}^2$ (melawan arah gerak). Ambil arah atas positif: $T - mg = ma$.

$$T = m(g + a) = 600(9,81 + 1,5) = 6786 \text{ N} \approx 6,8 \text{ kN}.$$

Lv 6 • Olimpiade gaya OSN/IPhO

Mesin Atwood terdiri atas massa 3 kg dan 5 kg yang tergantung pada tali ringan melalui katrol licin. Katrol tergantung di langit-langit lift yang dipercepat ke atas 2 m/s^2 . Dengan $g = 10 \text{ m/s}^2$, berapa tegangan tali?

Jawaban: N

Kunci: 45 N

Pembahasan: Di kerangka lift, setiap benda merasakan gravitasi efektif $g' = g + a = 12 \text{ m/s}^2$.

$$\text{Untuk mesin Atwood: } T = \frac{2m_1m_2g'}{m_1 + m_2} = \frac{2 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 12}{8} = 45 \text{ N}.$$

Balok kecil bermassa m diletakkan di atas baji bermassa $M = 4m$ dengan sudut kemiringan 30° . Semua permukaan licin, dan baji bebas bergeser di lantai. Berapa besar percepatan baji, dinyatakan dalam satuan g ? (Contoh: jika jawabanmu $0,5g$, tulis $0,5$.)

Jawaban: $\times g$

Kunci: 0,1019 $\times g$

Pembahasan: Di kerangka baji (percepatan A ke kiri), balok merasakan gaya semu mA ke kanan. Gaya tegak lurus permukaan pada balok: $N = mg \cos \theta - mA \sin \theta$.

Pada baji, gaya mendatar dari balok adalah $N \sin \theta = MA$.

$$\text{Gabungkan: } A = \frac{mg \sin \theta \cos \theta}{M + m \sin^2 \theta}.$$

$$\text{Dengan } M = 4m \text{ dan } \theta = 30^\circ: A = \frac{0,5 \times 0,866}{4 + 0,25} g \approx 0,102 g.$$

Rantai homogen sepanjang L terletak di meja licin. Sebagian rantai sepanjang x menjuntai di tepi meja. Percepatan rantai pada saat itu adalah...

A. $\frac{x}{L} g$

B. g

C. $\frac{L}{x} g$

D. $\left(\frac{x}{L}\right)^2 g$

Kunci: A

Pembahasan: Hanya berat bagian yang menjuntai yang menarik seluruh rantai: $\Sigma F = \frac{x}{L} Mg$. Massa yang dipercepat adalah seluruh rantai M . Jadi $a = \frac{x}{L} g$. Percepatan ini bertambah saat rantai makin menjuntai, jadi geraknya *bukan* GLBB.

Sebuah truk melaju dengan kecepatan tetap v di jalan datar, sementara pasir dijatuhkan tegak lurus ke bak truk dengan laju μ kg/s. Gesekan diabaikan.

- (a) Berapa gaya dorong mesin yang diperlukan agar kecepatan truk tetap?
- (b) Berapa daya mesin?
- (c) Bandingkan daya mesin dengan laju pertambahan energi kinetik pasir. Ke mana selisihnya pergi?

Kunci/rubrik: (a) $F = \frac{dp}{dt} = v \frac{dm}{dt} = \mu v$, karena v tetap.

(b) $P = Fv = \mu v^2$.

(c) Laju pertambahan energi kinetik: $\frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} m v^2 \right) = \frac{1}{2} \mu v^2$, hanya setengah daya mesin. Setengah sisanya ($\frac{1}{2} \mu v^2$) berubah menjadi kalor dan bunyi karena gesekan antara pasir dan bak saat pasir "dipaksa" menyamakan kecepatannya (tumbukan tak lenting).

Pembahasan: Inilah contoh klasik mengapa Hukum II harus ditulis $F = dp/dt$. Hasil "separuh energi hilang" berlaku untuk setiap benda yang dipercepat lewat gesekan dari diam hingga kecepatan tetap, misalnya barang di sabuk konveyor.

Lv 1 • Pemula SD-SMP awal

1. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Arah gaya gesek • 07-1-01

Gaya gesek antara dua permukaan arahnya...

- A. selalu ke bawah
- B. selalu searah gerak benda
- C. melawan gerak relatif (atau kecenderungan gerak) antara kedua permukaan
- D. selalu tegak lurus permukaan

Kunci: C

Pembahasan: Gaya gesek sejajar permukaan dan melawan gerak *relatif* antara dua permukaan. Karena itu, saat berjalan, gesekan tanah pada kakimu justru mengarah ke depan.

2. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Gesekan dalam kehidupan • 07-1-02

Ban motor yang gundul berbahaya saat hujan karena...

- A. ban menjadi lebih berat
- B. ban menyerap air hujan
- C. ban menjadi terlalu panas
- D. gesekan ban dengan jalan basah berkurang sehingga motor mudah tergelincir

Kunci: D

Pembahasan: Alur ban berfungsi membuang air. Ban gundul tidak bisa membuang air, sehingga karet kurang menyentuh aspal dan gesekannya kecil. Motor sulit mengerem dan berbelok.

3. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Besaran sudut • 07-1-03

Satuan SI untuk kecepatan sudut adalah...

- | | |
|----------|-------------------|
| A. rad/s | C. m/s^2 |
| B. m/s | D. N |

Kunci: A

Pembahasan: Kecepatan sudut adalah sudut (radian) yang disapu tiap sekon, sehingga satuannya rad/s.

4. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Gaya sentripetal • 07-1-04

Saat mobil berbelok di tikungan jalan yang datar, gaya yang menariknya ke arah pusat tikungan berasal dari...

- | | |
|---------------------|---------------------------------|
| A. gaya sentrifugal | C. berat mobil |
| B. mesin mobil | D. gesekan antara ban dan jalan |

Kunci: D

Pembahasan: Di jalan datar, satu-satunya gaya mendatar pada mobil adalah gesekan statis ban. Gesekan inilah yang berperan sebagai gaya sentripetal. Gaya sentrifugal bukan gaya nyata pada mobil.

Lv 2 • Penjelajah SMP (Fase D)

5. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Gesekan statis maksimum • 07-2-01

Sebuah lemari 40 kg berada di lantai datar. Koefisien gesek statisnya 0,5 dan $g = 10 \text{ m/s}^2$. Berapa gaya dorong mendatar minimum agar lemari mulai bergeser?

Jawaban: N

Kunci: 200 N

Pembahasan: $N = mg = 400 \text{ N}$, sehingga $f_{s,\text{maks}} = \mu_s N = 0,5 \times 400 = 200 \text{ N}$. Dorongan harus (sedikit) melebihi 200 N.

6. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Gesekan kinetis • 07-2-02

Sebuah kardus 5 kg sedang meluncur di lantai datar. Koefisien gesek kinetisnya 0,2 dan $g = 10 \text{ m/s}^2$. Berapa besar gaya gesek kinetis pada kardus?

Jawaban: N

Kunci: 10 N

Pembahasan: $f_k = \mu_k N = \mu_k mg = 0,2 \times 5 \times 10 = 10 \text{ N}$, berlawanan arah dengan gerak kardus.

7. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Periode • 07-2-03

Sebuah roda berputar 120 putaran per menit. Berapa periodenya?

Jawaban: s

Kunci: 0,5 s

Pembahasan: 120 putaran per 60 s berarti frekuensi $f = 2 \text{ Hz}$, sehingga periode $T = 1/f = 0,5 \text{ s}$.

8. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Percepatan sentripetal • 07-2-04

Sebuah motor melaju dengan kelajuan tetap 10 m/s mengitari bundaran berjari-jari 25 m. Berapa percepatan sentripetalnya?

Jawaban: m/s^2

Kunci: 4 m/s^2

Pembahasan: $a_s = \frac{v^2}{r} = \frac{100}{25} = 4 \text{ m/s}^2$, menuju pusat bundaran.

Lv 3 • Pejuang SMA • TKA/UTBK

9. Lv 3 • Pejuang • Isian • Statis atau kinetis? • 07-3-01

Sebuah kotak 10 kg di lantai datar ditarik dengan gaya mendatar 50 N. Koefisien gesek statis 0,4 dan kinetis 0,3, dengan $g = 10 \text{ m/s}^2$. Berapa percepatan kotak?

Jawaban: m/s^2

Kunci: 2 m/s^2

Pembahasan: Gesekan statis maksimum: $0,4 \times 100 = 40 \text{ N} < 50 \text{ N}$, jadi kotak bergerak.

Saat bergerak, gesekannya kinetis: $f_k = 0,3 \times 100 = 30 \text{ N}$.

$$a = \frac{50 - 30}{10} = 2 \text{ m/s}^2.$$

10. Lv 3 • Pejuang • Isian • Bidang miring • 07-3-02

Sebuah balok meluncur turun pada bidang miring 37° ($\sin 37^\circ \approx 0,6$, $\cos 37^\circ \approx 0,8$). Koefisien gesek kinetisnya 0,25 dan $g = 10 \text{ m/s}^2$. Berapa percepatan balok?

Jawaban: m/s^2

Kunci: 4 m/s^2

Pembahasan: $a = g(\sin \theta - \mu_k \cos \theta) = 10(0,6 - 0,25 \times 0,8) = 10(0,6 - 0,2) = 4 \text{ m/s}^2$. Massa balok tidak diperlukan.

11. Lv 3 • Pejuang • Isian • Tikungan datar • 07-3-03

Sebuah tikungan jalan datar berjari-jari 40 m. Koefisien gesek statis ban dengan aspal 0,9 dan $g = 10 \text{ m/s}^2$. Berapa kecepatan maksimum mobil agar tidak tergelincir, dalam **km/jam**?

Jawaban: km/jam

Kunci: 68,3 km/jam

Pembahasan: $\mu_s mg \geq mv^2/r \Rightarrow v_{\text{maks}} = \sqrt{\mu_s gr} = \sqrt{0,9 \times 10 \times 40} = \sqrt{360} \approx 19,0 \text{ m/s}$.
Dalam km/jam : $19,0 \times 3,6 \approx 68 \text{ km/jam}$.

12. Lv 3 • Pejuang • Isian • Tong setan • 07-3-04

Sebuah tong setan berjari-jari 5 m. Koefisien gesek statis antara ban dan dinding kayu 0,5, dan $g = 10 \text{ m/s}^2$. Berapa kecepatan minimum motor agar tidak merosot?

Jawaban: m/s

Kunci: 10 m/s

Pembahasan: $N = mv^2/r$ dan syarat tidak merosot $\mu_s N \geq mg$.

$$v_{\min} = \sqrt{\frac{gr}{\mu_s}} = \sqrt{\frac{10 \times 5}{0,5}} = 10 \text{ m/s (36 km/jam)}.$$

Lv 4 • IGCSE gaya Cambridge IGCSE

13. Lv 4 • IGCSE • Isian • Tegangan tali melingkar • gaya IGCSE • 07-4-01

Sebuah batu 0,20 kg diikat tali sepanjang 0,80 m dan diputar dalam lingkaran mendatar di atas meja licin dengan 2,0 putaran per sekon. Hitung tegangan tali.

Jawaban: N

Kunci: 25,3 N

Pembahasan: $\omega = 2\pi f = 2\pi(2,0) \approx 12,6 \text{ rad/s}$.

Tegangan tali = gaya sentripetal: $T = m\omega^2 r = 0,20 \times 12,6^2 \times 0,80 \approx 25 \text{ N}$.

14. Lv 4 • IGCSE • Uraian • Tergelincir di tikungan • gaya IGCSE • 07-4-02

Jelaskan, dengan memakai gaya-gaya, mengapa mobil lebih mudah tergelincir keluar tikungan ketika jalannya berminyak. [3 poin]

Kunci/rubrik:

1. Untuk bergerak melingkar, mobil memerlukan gaya total menuju pusat tikungan (gaya sentripetal) sebesar mv^2/r .
2. Di jalan datar, gaya ini disediakan oleh gesekan statis antara ban dan jalan, yang paling besar $\mu_s mg$.
3. Minyak memperkecil μ_s . Jika $\mu_s mg < mv^2/r$, gesekan tidak cukup, sehingga mobil cenderung bergerak lebih lurus (kelembaman) dan meluncur ke sisi luar tikungan. Bukan karena ada gaya sentrifugal yang mendorong keluar.

Pembahasan: Kunci penilaian: 1 poin untuk kebutuhan gaya sentripetal, 1 poin untuk gesekan sebagai penyedianya (beserta batas maksimumnya), 1 poin untuk μ yang mengecil sehingga gesekan tidak cukup dan mobil bergerak lebih lurus.

15. Lv 4 • IGCSE • Pilihan ganda • Data eksperimen gesekan • gaya IGCSE • 07-4-03

Seorang siswa menarik balok di atas meja dengan neraca pegas dan mencatat gaya saat balok tepat mulai bergeser, untuk beberapa massa balok ($g = 9,8 \text{ m/s}^2$).

m (kg)	1,0	2,0	3,0	4,0
$f_{s,\text{maks}}$ (N)	4,9	9,8	14,7	19,6

Berapa koefisien gesek statis antara balok dan meja?

- A. 4,9
B. 2,0
C. 0,50
D. 0,20

Kunci: C

Pembahasan: $\mu_s = \frac{f_{s,\text{maks}}}{N} = \frac{f_{s,\text{maks}}}{mg}$. Untuk setiap baris: $4,9/(1,0 \times 9,8) = 0,50$. Grafik $f_{s,\text{maks}}$ terhadap mg berupa garis lurus melalui titik asal dengan kemiringan 0,50. Ingat: μ tidak bersatuan.

16. Lv 4 • IGCSE • Isian • rpm dan kelajuan linear • gaya IGCSE • 07-4-04

Baling-baling kipas angin berputar 1.200 rpm (putaran per menit). Hitung kelajuan linear sebuah titik pada baling-baling yang berjarak 0,20 m dari poros.

Jawaban: m/s

Kunci: 25,1 m/s

Pembahasan: $\omega = 2\pi \times \frac{1200}{60} = 40\pi \approx 126 \text{ rad/s}$.

$v = \omega r = 126 \times 0,20 \approx 25 \text{ m/s}$, sekitar 90 km/jam. Itulah sebabnya jari tidak boleh dimasukkan ke kipas yang menyala!

17. Lv 5 • IB DP • Isian • Tikungan miring • gaya IB • 07-5-01

Sebuah tikungan jalan layang berjari-jari 120 m dimiringkan 15° terhadap horizontal. Berapa kecepatan rancangan, yaitu kecepatan ketika mobil dapat menikung tanpa bantuan gesekan sama sekali? ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$)

Jawaban: m/s

Kunci: 17,76 m/s

Pembahasan: Vertikal: $N \cos \theta = mg$. Mendatar: $N \sin \theta = mv^2/r$.

Bagi keduanya: $\tan \theta = \frac{v^2}{rg} \Rightarrow v = \sqrt{rg \tan \theta} = \sqrt{120 \times 9,81 \times \tan 15^\circ} \approx 17,8 \text{ m/s } (\pm 64 \text{ km/jam})$.

18. Lv 5 • IB DP • Uraian • Ayunan konis (kursi terbang) • gaya IB • 07-5-02

Wahana kursi terbang di pasar malam: setiap kursi tergantung pada rantai sepanjang 6,0 m yang dikaitkan pada lengan berjarak 3,0 m dari sumbu putar. Saat berputar tetap, rantai membentuk sudut 30° dengan garis tegak ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$).

(a) Gambarkan gaya-gaya pada kursi beserta penumpangnya, lalu tunjukkan bahwa $\tan \theta = \frac{v^2}{rg}$.

(b) Hitung jari-jari lintasan kursi, kelajuannya, dan periode putarannya.

(c) Apakah penumpang yang lebih berat akan berayun dengan sudut yang lebih besar? Jelaskan, lalu sebutkan satu asumsi modelmu.

Kunci/rubrik: (a) Gaya pada kursi: tegangan rantai T sepanjang rantai dan berat mg ke bawah. Vertikal: $T \cos \theta = mg$. Mendatar (ke sumbu): $T \sin \theta = mv^2/r$. Bagi kedua persamaan: $\tan \theta = v^2/(rg)$.

(b) $r = 3,0 + 6,0 \sin 30^\circ = 6,0 \text{ m}$. $v = \sqrt{rg \tan \theta} = \sqrt{6,0 \times 9,81 \times 0,577} \approx 5,8 \text{ m/s}$. $T_{\text{periode}} = 2\pi r/v = 2\pi(6,0)/5,83 \approx 6,5 \text{ s}$.

(c) Tidak. Massa saling meniadakan dalam $\tan \theta = v^2/(rg)$, jadi semua kursi pada lengan yang sama berayun dengan sudut yang sama. Asumsi: rantai ringan dan lurus, hambatan udara diabaikan, kursi dan penumpang dianggap satu titik massa, putaran tetap.

Pembahasan: Kunci model gerak melingkar: pilih sumbu tegak dan sumbu mendatar menuju pusat, tulis $\Sigma F_y = 0$ dan $\Sigma F_{\text{pusat}} = mv^2/r$. Perhatikan bahwa jari-jari lintasan bukan panjang rantai.

19. Lv 5 • IB DP • Isian • Puncak loop • gaya IB • 07-5-03

Kereta roller coaster melewati puncak loop vertikal berjari-jari 8,0 m. Di puncak (penumpang terbalik), seorang penumpang merasakan gaya dorong kursi sebesar setengah beratnya. Berapa kelajuan kereta di puncak? ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$)

Jawaban: m/s

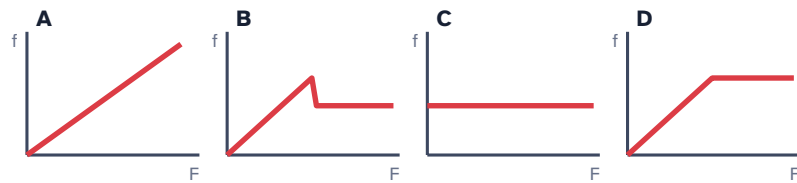
Kunci: 10,85 m/s

Pembahasan: Di puncak: $N + mg = mv^2/r$ dengan $N = \frac{1}{2}mg$.

$\frac{3}{2}mg = mv^2/r \Rightarrow v = \sqrt{1,5 gr} = \sqrt{1,5 \times 9,81 \times 8,0} \approx 10,8 \text{ m/s}$.

Bandingkan dengan batas minimum $\sqrt{gr} \approx 8,9 \text{ m/s}$, saat penumpang tepat "melayang".

Sebuah balok yang diam di meja ditarik dengan gaya mendatar F yang dinaikkan perlahan. Grafik mana yang paling tepat menggambarkan gaya gesek f terhadap F (dengan $\mu_k < \mu_s$)?



A. A

C. C

B. D

D. B

Kunci: D

Pembahasan: Selama balok diam, gesekan statis tepat sama dengan F (garis lurus berkemiringan 1). Saat F melewati $\mu_s N$, balok mulai bergeser dan gesekan turun ke $\mu_k N$, lalu tetap. Grafik A lupa batas gesekan statis, grafik C menganggap gesekan ada walaupun tidak ditarik, dan grafik D menganggap $\mu_k = \mu_s$.

Lv 6 • Olimpiade gaya OSN/IPhO

Balok A (2 kg) diletakkan di atas balok B (4 kg). Balok B berada di lantai licin. Koefisien gesek statis antara A dan B adalah 0,4. Balok B ditarik dengan gaya mendatar F . Dengan $g = 10 \text{ m/s}^2$, berapa F terbesar agar A tidak tergelincir di atas B?

Jawaban: N

Kunci: 24 N

Pembahasan: Gesekan statis maksimum pada A: $\mu_s m_A g = 0,4 \times 20 = 8 \text{ N}$, sehingga percepatan maksimum A adalah $8/2 = 4 \text{ m/s}^2 (= \mu_s g)$.

Agar bergerak bersama, seluruh sistem dipercepat 4 m/s^2 : $F = (2 + 4) \times 4 = 24 \text{ N}$.

Menarik lebih dari 24 N membuat B "lolos" dari bawah A. Perhatikan bahwa gesekan pada A searah dengan gerakanya.

Tikungan berjari-jari 50 m dimiringkan 20° , dan koefisien gesek statis ban-jalan 0,30. Dengan $g = 9,8 \text{ m/s}^2$, berapa kecepatan maksimum mobil agar tidak tergelincir ke sisi luar?

Jawaban: m/s

Kunci: 19,11 m/s

Pembahasan: Mendatar (ke pusat): $N \sin \theta + \mu_s N \cos \theta = mv^2/r$. Vertikal: $N \cos \theta - \mu_s N \sin \theta = mg$.

Bagi keduanya: $v^2 = rg \frac{\sin \theta + \mu_s \cos \theta}{\cos \theta - \mu_s \sin \theta} = 490 \times \frac{0,342 + 0,282}{0,940 - 0,103} \approx 365$.

$v \approx 19,1 \text{ m/s}$ ($\pm 69 \text{ km/jam}$). Tanpa kemiringan, batasnya hanya $\sqrt{0,3 \times 9,8 \times 50} \approx 12,1 \text{ m/s}$.

Seseorang berdiri di Tugu Khatulistiwa, Pontianak. Jari-jari Bumi $6,38 \times 10^6$ m dan Bumi berotasi sekali dalam 86.164 s (hari sideris). Jika percepatan gravitasi murni (tanpa efek rotasi) adalah $9,81 \text{ m/s}^2$, berapa **persen** angka timbangannya berkurang akibat rotasi Bumi?

Jawaban: %

Kunci: 0,346 %

Pembahasan: $\omega = 2\pi/86164 \approx 7,29 \times 10^{-5} \text{ rad/s}$.

$a_s = \omega^2 R \approx (7,29 \times 10^{-5})^2 \times 6,38 \times 10^6 \approx 0,0339 \text{ m/s}^2$.

$mg_0 - N = ma_s \Rightarrow N = m(g_0 - a_s)$. Penurunannya $0,0339/9,81 \approx 0,35\%$. Orang 60 kg "kehilangan" $\pm 0,2$ kg di timbangan. Di kutub efek ini nol. (Bentuk Bumi yang agak pepat juga ikut membuat g di khatulistiwa lebih kecil.)

Ban hanya bisa memberi gaya gesek total sebesar $\mu_s mg$, ke arah mana pun di bidang jalan. Sebuah mobil menikung di tikungan datar berjari-jari 30 m dengan kelajuan 12 m/s, sambil mengerem. Koefisien gesek 0,8 dan $g = 9,8 \text{ m/s}^2$.

- Tunjukkan bahwa percepatan total mobil tidak boleh melebihi $\mu_s g$.
- Berapa perlambatan (percepatan tangensial) terbesar yang boleh dipakai tanpa tergelincir?
- Jelaskan mengapa pengendara dianjurkan mengerem *sebelum* masuk tikungan.

Kunci/rubrik: (a) Gaya mendatar pada mobil hanya gesekan, besarnya paling banyak $\mu_s mg$. Dari $\Sigma F = ma$: $ma \leq \mu_s mg$, jadi $a \leq \mu_s g = 7,84 \text{ m/s}^2$. Percepatan total $a = \sqrt{a_s^2 + a_t^2}$.

(b) $a_s = v^2/r = 144/30 = 4,8 \text{ m/s}^2$. $a_t \leq \sqrt{7,84^2 - 4,8^2} = \sqrt{61,5 - 23,0} \approx 6,2 \text{ m/s}^2$.

(c) Di jalan lurus seluruh "jatah" gesekan ($7,84 \text{ m/s}^2$) bisa dipakai untuk mengerem. Di tikungan, sebagian jatah habis untuk berbelok, sehingga rem keras membuat kebutuhan total melampaui batas dan ban selip. Mengerem sebelum tikungan juga menurunkan v , sehingga $a_s = v^2/r$ yang dibutuhkan lebih kecil.

Pembahasan: Gagasan "lingkaran gesekan" dipakai pembalap dan insinyur kendaraan: vektor percepatan total harus tetap berada di dalam lingkaran berjari-jari $\mu_s g$. Rem ABS membantu menjaga ban tetap dalam batas ini.

Lv 1 • Pemula SD-SMP awal

1. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Satuan energi • 08-1-01

Satuan SI untuk usaha dan energi adalah...

- A. joule
B. watt
C. newton
D. kilogram

Kunci: A

Pembahasan: Usaha dan energi sama-sama diukur dalam **joule** (J). $1 \text{ J} = 1 \text{ N m}$. Watt adalah satuan daya (joule per detik), newton satuan gaya, dan kilogram satuan massa.

2. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Pengertian usaha • 08-1-02

Dalam arti fisika, siapakah yang melakukan usaha pada benda?

- A. Raka berdiri diam sambil menggendong tas
B. Sari mendorong tembok yang tidak bergeser
C. Kak Nara mengangkat ember dari lantai ke atas meja
D. Satpam memegang payung tanpa bergerak

Kunci: C

Pembahasan: Usaha membutuhkan gaya **dan** perpindahan searah gaya. Hanya ember yang berpindah ke atas searah gaya angkat Kak Nara. Pada pilihan lain bendanya tidak berpindah, jadi usahanya nol walaupun terasa melelahkan.

3. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Energi potensial • 08-1-03

Buah kelapa yang masih tergantung di puncak pohon yang tinggi menyimpan energi...

- A. kinetik, karena kelapa bergerak
B. bunyi, karena bisa jatuh berdebum
C. listrik, karena ada di dekat kabel
D. potensial gravitasi, karena letaknya tinggi

Kunci: D

Pembahasan: Kelapa yang diam tidak punya energi kinetik. Karena letaknya tinggi, kelapa menyimpan energi potensial gravitasi $E_p = mgh$. Saat jatuh, energi itu berubah menjadi energi kinetik.

4. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Perubahan bentuk energi • 08-1-04

Motor yang sedang melaju direm sampai berhenti. Energi kinetik motor terutama berubah menjadi...

- A. energi potensial gravitasi
B. energi listrik di aki
C. hilang begitu saja
D. panas (kalor) pada rem dan ban

Kunci: D

Pembahasan: Energi tidak bisa hilang. Gesekan pada kampas rem dan ban mengubah energi kinetik menjadi panas (rem terasa hangat) dan sedikit bunyi.

5. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Usaha • 08-2-01

Kak Nara mendorong gerobak dengan gaya mendatar 60 N sejauh 15 m. Berapa usaha yang dilakukannya?

Jawaban: J

Kunci: 900 J

Pembahasan: Gaya searah perpindahan, jadi $W = F s = 60 \times 15 = 900 \text{ J}$.

6. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Energi kinetik • 08-2-02

Bola sepak bermassa 0,4 kg ditendang hingga melaju 20 m/s. Berapa energi kinetiknya?

Jawaban: J

Kunci: 80 J

Pembahasan: $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 0,4 \times 20^2 = 0,2 \times 400 = 80 \text{ J}$.

7. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Energi potensial • 08-2-03

Durian bermassa 2 kg tergantung 8 m di atas tanah. Dengan $g = 10 \text{ m/s}^2$, berapa energi potensialnya terhadap tanah?

Jawaban: J

Kunci: 160 J

Pembahasan: $E_p = mgh = 2 \times 10 \times 8 = 160 \text{ J}$. Itu sebabnya jangan berteduh di bawah pohon durian yang sedang berbuah!

8. Lv 2 • Penjelajah • Pilihan ganda • kWh • 08-2-04

Lampu LED 10 W menyala 6 jam setiap malam selama 30 hari. Energi listrik yang dipakai lampu itu adalah...

- | | |
|-------------|------------|
| A. 18 kWh | C. 1,8 kWh |
| B. 0,18 kWh | D. 180 kWh |

Kunci: C

Pembahasan: $W = Pt = 10 \text{ W} \times (6 \times 30) \text{ jam} = 1800 \text{ Wh} = 1,8 \text{ kWh}$.

9. Lv 3 • Pejuang • Isian • Kekekalan energi • 08-3-01

Sebuah kelapa bermassa 1,5 kg jatuh bebas dari ketinggian 20 m. Dengan $g = 10 \text{ m/s}^2$ dan hambatan udara diabaikan, berapa kelajuannya sesaat sebelum menyentuh tanah?

Jawaban: m/s

Kunci: 20 m/s

Pembahasan: $mgh = \frac{1}{2}mv^2 \Rightarrow v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \times 10 \times 20} = 20 \text{ m/s}$.

Massa 1,5 kg tidak dipakai: semua benda jatuh dari ketinggian sama tiba dengan kelajuan sama (tanpa hambatan udara).

10. Lv 3 • Pejuang • Isian • Teorema usaha-energi • 08-3-02

Motor beserta pengendaranya bermassa 150 kg melaju 72 km/jam, lalu direm dengan gaya rem rata-rata 1.000 N. Berapa jarak pengereman sampai berhenti?

Jawaban: m

Kunci: 30 m

Pembahasan: $v = 72/3,6 = 20 \text{ m/s}$, sehingga $E_k = \frac{1}{2} \times 150 \times 20^2 = 30\,000 \text{ J}$.
Teorema usaha-energi: $F_{\text{rem}} s = E_k \Rightarrow s = 30\,000/1000 = 30 \text{ m}$.

11. Lv 3 • Pejuang • Isian • Daya dan efisiensi • 08-3-03

Pompa air menaikkan 600 liter air (600 kg) ke tandon setinggi 12 m dalam 4 menit. Jika efisiensi pompa 60% dan $g = 10 \text{ m/s}^2$, berapa daya listrik yang diperlukan pompa?

Jawaban: W

Kunci: 500 W

Pembahasan: Energi berguna: $mgh = 600 \times 10 \times 12 = 72\,000 \text{ J}$.
Daya keluaran: $72\,000/240 \text{ s} = 300 \text{ W}$.
Daya masukan: $300/0,6 = 500 \text{ W}$.

12. Lv 3 • Pejuang • Pilihan ganda • Kekekalan energi • 08-3-04

Tiga bola identik dilempar dari atap gedung yang sama dengan kelajuan awal sama besar: bola A ke atas, bola B mendatar, bola C ke bawah. Hambatan udara diabaikan. Kelajuan bola saat menyentuh tanah...

A. paling besar bola C

C. paling besar bola A

B. paling besar bola B

D. sama untuk ketiganya

Kunci: D

Pembahasan: Ketiganya mulai dengan energi kinetik yang sama dan turun dengan ketinggian yang sama. Dari $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mv_0^2 + mgh$, kelajuan akhirnya sama. Arah lemparan hanya memengaruhi waktu dan arah saat menyentuh tanah.

Lv 4 • IGCSE gaya Cambridge IGCSE

13. Lv 4 • IGCSE • Isian • Daya keluaran • gaya IGCSE • 08-4-01

Derek di pelabuhan mengangkat peti kemas bermassa 2.000 kg setinggi 15 m dengan kelajuan tetap dalam waktu 30 s. Hitung daya keluaran (*output power*) derek. Gunakan $g = 9,8 \text{ m/s}^2$.

Jawaban: W

Kunci: 9.800 W

Pembahasan: Usaha melawan gravitasi: $W = mgh = 2000 \times 9,8 \times 15 = 294\,000 \text{ J}$.
Daya: $P = W/t = 294\,000/30 = 9800 \text{ W} \approx 9,8 \text{ kW}$.

14. Lv 4 · IGCSE · Pilihan ganda · Data eksperimen · gaya IGCSE · 08-4-02

Seorang siswa melepas troli dari berbagai ketinggian h pada lintasan licin dan mengukur kelajuan v di dasar lintasan.

h (m)	0,10	0,20	0,40	0,80
v (m/s)	1,4	2,0	2,8	4,0

Grafik manakah yang akan berupa garis lurus melalui titik asal?

- A. v terhadap h
B. v terhadap h^2
C. $1/v$ terhadap h
D. v^2 terhadap h

Kunci: D

Pembahasan: Dari kekekalan energi, $v^2 = 2gh$, jadi v^2 sebanding dengan h . Cek data: v^2/h bernilai 19,6; 20; 19,6; 20, hampir tetap. Kemiringannya $2g \approx 19,6$, sehingga $g \approx 9,8 \text{ m/s}^2$ (selisih kecil berasal dari pembulatan v). Menggandakan h tidak menggandakan v ($1,4 \rightarrow 2,0$), jadi $v-h$ bukan garis lurus.

15. Lv 4 · IGCSE · Uraian · PLTA · gaya IGCSE · 08-4-03

PLTA Cirata mengubah energi air waduk menjadi energi listrik. Jelaskan rantai perubahan energinya, mulai dari air di waduk sampai listrik keluar dari generator, dan jelaskan mengapa efisiensinya kurang dari 100%.
[4 poin]

Kunci/rubrik:

1. Air di waduk yang tinggi menyimpan energi potensial gravitasi.
2. Saat mengalir turun lewat pipa pesat, energi potensial berubah menjadi energi kinetik air.
3. Air menabrak dan memutar turbin: energi kinetik air menjadi energi kinetik rotasi turbin, lalu generator mengubahnya menjadi energi listrik.
4. Sebagian energi berubah menjadi bentuk tak berguna (panas karena gesekan air dengan pipa dan poros turbin, hambatan listrik di kumparan generator, serta bunyi), sehingga efisiensi $< 100\%$.

Pembahasan: Kunci penilaian: satu poin untuk energi potensial di waduk, satu poin untuk perubahan menjadi energi kinetik air, satu poin untuk turbin dan generator (kinetik → listrik), dan satu poin untuk penjelasan energi terbuang sebagai panas atau bunyi.

16. Lv 4 · IGCSE · Isian · Efisiensi takal · gaya IGCSE · 08-4-04

Sebuah takal dengan 4 tali penopang dipakai mengangkat mesin bermassa 120 kg. Gaya tarik yang ternyata diperlukan adalah 375 N. Hitung efisiensi takal dalam persen. Gunakan $g = 10 \text{ m/s}^2$.

Jawaban: %

Kunci: 80 %

Pembahasan: KM nyata: $w/F = 1200/375 = 3,2$. KM ideal = jumlah tali penopang = 4.

$$\eta = 3,2/4 \times 100\% = 80\%.$$

Cara lain: angkat mesin 1 m $\rightarrow$ tali ditarik 4 m. Usaha keluaran 1200 J, usaha masukan $375 \times 4 = 1500$ J, sehingga $\eta = 1200/1500 = 80\%$.

17. Lv 5 • IB DP • Isian • Luas grafik F-x • gaya IB • 08-5-01

Gaya mendatar pada troli 2,0 kg berubah terhadap posisi: F naik linear dari 0 N di $x = 0$ sampai 12 N di $x = 0,50$ m, lalu tetap 12 N sampai $x = 1,50$ m. Troli mula-mula diam di lantai licin. Tentukan kelajuan troli di $x = 1,50$ m.

Jawaban: m/s

Kunci: 3,873 m/s

Pembahasan: Luas segitiga: $\frac{1}{2} \times 0,50 \times 12 = 3,0$ J. Luas persegi panjang: $12 \times 1,00 = 12,0$ J. Usaha total 15,0 J. Teorema usaha-energi: $\frac{1}{2}mv^2 = 15,0 \Rightarrow v = \sqrt{2 \times 15,0/2,0} = \sqrt{15} \approx 3,87$ m/s.

18. Lv 5 • IB DP • Isian • Ketidakpastian • gaya IB • 08-5-02

Dalam eksperimen, massa troli diukur $m = (0,500 \pm 0,005)$ kg dan kelajuannya $v = (2,40 \pm 0,05)$ m/s. Berapa ketidakpastian relatif (dalam persen) energi kinetik $E_k = \frac{1}{2}mv^2$?

Jawaban: %

Kunci: 5,17 %

Pembahasan: Ketidakpastian relatif massa: $0,005/0,500 = 1,0\%$.

Ketidakpastian relatif kelajuan: $0,05/2,40 = 2,08\%$; karena dikuadratkan, sumbangannya $2 \times 2,08\% = 4,17\%$.

Total: $1,0\% + 4,17\% \approx 5,2\%$. Perhatikan bahwa kelajuan menyumbang paling besar, jadi pengukuran v yang perlu diperbaiki.

19. Lv 5 • IB DP • Uraian • Pegas, gesekan, bidang miring • gaya IB • 08-5-03

Balok 0,50 kg ditekan pada pegas ($k = 800$ N/m) sejauh 0,10 m di bagian lantai yang licin, lalu dilepas. Setelah lepas dari pegas, balok meluncur 1,2 m di lantai kasar ($\mu_k = 0,25$), kemudian naik ke bidang miring licin. Gunakan $g = 9,81$ m/s².

(a) Hitung energi yang tersimpan di pegas.

(b) Hitung kelajuan balok saat tiba di kaki bidang miring.

(c) Hitung tinggi maksimum balok di bidang miring.

(d) Sebutkan satu asumsi dalam model ini dan pengaruhnya jika asumsi itu tidak berlaku.

Kunci/rubrik: (a) $E = \frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2} \times 800 \times 0,10^2 = 4,0$ J.

(b) Usaha gesek: $\mu_k m g d = 0,25 \times 0,50 \times 9,81 \times 1,2 = 1,47$ J. Sisa energi kinetik $4,0 - 1,47 = 2,53$ J, sehingga $v = \sqrt{2 \times 2,53/0,50} \approx 3,2$ m/s.

(c) $mgh = 2,53 \Rightarrow h = 2,53/(0,50 \times 9,81) \approx 0,52$ m.

(d) Contoh: pegas dianggap tak bermassa dan ideal. Jika pegas bermassa, sebagian energi tetap menjadi energi gerak pegas, sehingga kelajuan dan tinggi maksimum balok lebih kecil. (Asumsi lain yang diterima: hambatan udara diabaikan, bidang miring benar-benar licin, μ_k tetap.)

Pembahasan: Kunci strateginya: catat semua energi yang masuk (pegas) dan keluar (gesekan, kenaikan tinggi).

Gaya gesek nonkonservatif mengubah 1,47 J menjadi panas, sisanya ditukar dengan energi potensial gravitasi.

Energi potensial sebuah partikel yang bergerak sepanjang sumbu x dinyatakan $U(x) = x^3 - 3x$ (U dalam joule, x dalam meter). Titik keseimbangan **stabil** partikel berada di...

- A. $x = -1$ m
B. $x = 0$
C. $x = 1$ m
D. $x = \sqrt{3}$ m

Kunci: C

Pembahasan: Keseimbangan: $F = -dU/dx = -(3x^2 - 3) = 0 \Rightarrow x = \pm 1$ m.

Uji kelengkungan: $d^2U/dx^2 = 6x$. Di $x = 1$ nilainya positif (lembah) $\rightarrow$ stabil. Di $x = -1$ negatif (puncak) $\rightarrow$ labil. Di $x = 0$ gayanya tidak nol, jadi bukan titik keseimbangan.

Lv 6 • Olimpiade gaya OSN/IPhO

21. Lv 6 • Olimpiade • Isian • Rantai menjuntai • gaya olimpiade • 08-6-01

Rantai homogen sepanjang 1,2 m dan bermassa 0,6 kg terletak di atas meja licin, dengan sepertiga panjangnya menjuntai di tepi meja. Rantai dilepas dari diam. Berapa kelajuan rantai tepat saat ujung terakhirnya meninggalkan meja? ($g = 9,8$ m/s²)

Jawaban: m/s

Kunci: 3,233 m/s

Pembahasan: Ambil permukaan meja sebagai acuan. Awal: hanya bagian menjuntai (massa $m/3$) yang punya E_p , pusat massanya $L/6$ di bawah meja: $E_{p1} = -\frac{m}{3}g\frac{L}{6} = -\frac{mgL}{18}$.

Akhir: seluruh rantai menggantung, pusat massanya $L/2$ di bawah meja: $E_{p2} = -\frac{mgL}{2}$.

Kekekalan energi: $\frac{1}{2}mv^2 = E_{p1} - E_{p2} = mgL\left(\frac{1}{2} - \frac{1}{18}\right) = \frac{4}{9}mgL$.

$v = \sqrt{\frac{8}{9}gL} = \sqrt{\frac{8}{9} \times 9,8 \times 1,2} \approx 3,23$ m/s. Massa rantai tidak berpengaruh!

22. Lv 6 • Olimpiade • Isian • Lepas dari permukaan bola • gaya olimpiade • 08-6-02

Kelereng kecil diletakkan di puncak kubah setengah bola yang licin berjari-jari R , lalu disenggol sangat pelan sehingga meluncur turun. Pada ketinggian berapa (diukur dari pusat bola, dinyatakan dalam R) kelereng lepas dari permukaan kubah? (Contoh: jika jawabanmu $0,5R$, tulis 0,5.)

Jawaban: $\times R$

Kunci: 0,6667 $\times R$

Pembahasan: Misalkan kelereng di sudut θ dari puncak, tingginya $h = R \cos \theta$.

Energi: $v^2 = 2gR(1 - \cos \theta)$.

Arah radial: $mg \cos \theta - N = \frac{mv^2}{R}$. Lepas saat $N = 0$: $g \cos \theta = 2g(1 - \cos \theta) \Rightarrow \cos \theta = \frac{2}{3}$.

Jadi $h = \frac{2}{3}R \approx 0,667R$, tidak bergantung pada g , massa, maupun R .

Sebuah mobil bermassa m mulai bergerak dari diam di jalan datar. Mesinnya memberikan daya tetap P dan semua hambatan diabaikan.

- (a) Tunjukkan bahwa kelajuannya $v(t) = \sqrt{2Pt/m}$.
 (b) Tentukan jarak tempuh $x(t)$.
 (c) Mengapa model daya tetap ini tidak realistis untuk t yang sangat kecil?

Kunci/rubrik: (a) Teorema usaha-energi: usaha mesin selama t adalah $Pt = \frac{1}{2}mv^2$, sehingga $v = \sqrt{2Pt/m}$.

(b) $x = \int_0^t v \, dt = \sqrt{\frac{2P}{m}} \cdot \frac{2}{3}t^{3/2}$.

(c) Gaya dorong $F = P/v$ menjadi tak terhingga saat $v \rightarrow 0$. Kenyataannya gaya dorong dibatasi gesekan statis maksimum ban ($\mu_s mg$) dan torsi mesin, jadi pada awalnya percepatan kira-kira tetap; baru setelah kelajuan cukup besar dayanya bisa dianggap tetap.

Pembahasan: Soal ini menunjukkan bahwa $P = Fv$: pada daya tetap, gaya dorong makin kecil saat mobil makin cepat. Itu sebabnya percepatan kendaraan paling besar di gigi rendah dan makin lemah di kecepatan tinggi.

Bandul sederhana bertali L dilepas dari diam dengan tali mendatar. Tepat di bawah titik gantung, pada jarak d , terdapat paku. Saat tali menyentuh paku, bola berputar mengelilingi paku. Berapa nilai d **minimum** agar bola menempuh lingkaran penuh mengelilingi paku dengan tali tetap tegang?

- A. $\frac{L}{2}$ C. $\frac{2L}{3}$
 B. $\frac{3L}{5}$ D. $\frac{4L}{5}$

Kunci: B

Pembahasan: Jari-jari lingkaran kecil $r = L - d$. Titik teratas lingkaran kecil berada $2r$ di atas titik terendah, sedangkan bola mulai dari ketinggian L di atas titik terendah.

Energi: $v_{\text{atas}}^2 = 2g(L - 2r)$. Syarat tali tegang di puncak: $v_{\text{atas}}^2 \geq gr$.

$$2L - 4r \geq r \Rightarrow r \leq \frac{2}{5}L \Rightarrow d = L - r \geq \frac{3}{5}L.$$

Lv 1 • Pemula SD-SMP awal

1. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Pengertian momentum • 09-1-01

Momentum sebuah benda adalah hasil kali...

- | | |
|-------------------------|------------------------|
| A. massa dan percepatan | C. gaya dan waktu |
| B. gaya dan jarak | D. massa dan kecepatan |

Kunci: D

Pembahasan: Momentum $p = mv$: massa dikali kecepatan. Massa $\times$ percepatan adalah gaya total, gaya $\times$ waktu adalah impuls, dan gaya $\times$ jarak adalah usaha.

2. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Membandingkan momentum • 09-1-02

Bola pingpong dan bola bowling bergerak dengan kecepatan yang sama. Manakah yang momentumnya lebih besar?

- | | |
|------------------|--------------------------|
| A. bola pingpong | C. tidak bisa ditentukan |
| B. sama besar | D. bola bowling |

Kunci: D

Pembahasan: Kecepatannya sama, tetapi massa bola bowling jauh lebih besar, sehingga $p = mv$ bola bowling lebih besar. Itu sebabnya bola bowling jauh lebih sulit dihentikan.

3. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Impuls dan keselamatan • 09-1-03

Bagian dalam helm pengendara motor dilapisi busa tebal. Tujuan utamanya adalah...

- A. membuat helm lebih ringan
- B. agar kepala tidak berkeriat
- C. menambah momentum kepala
- D. memperpanjang waktu benturan sehingga gaya pada kepala lebih kecil

Kunci: D

Pembahasan: Saat terjadi benturan, busa remuk perlahan sehingga kepala berhenti dalam waktu lebih lama. Karena $F = \Delta p / \Delta t$, waktu yang lebih lama berarti gaya pada kepala lebih kecil.

4. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Rekoil • 09-1-04

Saat petugas pemadam kebakaran menyemprotkan air dengan deras ke depan, selang terdorong ke belakang. Peristiwa ini paling tepat dijelaskan dengan...

- | | |
|-----------------------------|-------------------------------------|
| A. hukum kekekalan momentum | C. energi potensial selang |
| B. gaya magnet air | D. tekanan udara di sekitar petugas |

Kunci: A

Pembahasan: Air disemburkan ke depan membawa momentum. Agar momentum total tetap, selang (dan petugas) mendapat momentum ke belakang. Ini juga cara kerja roket.

5. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Momentum • 09-2-01

Motor beserta pengendaranya bermassa 150 kg melaju dengan kecepatan 20 m/s. Berapa momentumnya?

Jawaban: kg·m/s

Kunci: 3.000 kg·m/s

Pembahasan: $p = mv = 150 \times 20 = 3000 \text{ kg·m/s}$.

6. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Impuls • 09-2-02

Kaki pemain menendang bola dengan gaya rata-rata 400 N selama 0,05 s. Berapa besar impuls yang diberikan pada bola?

Jawaban: N·s

Kunci: 20 N·s

Pembahasan: $I = F \Delta t = 400 \times 0,05 = 20 \text{ N·s}$.

7. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Impuls dan gaya rata-rata • 09-2-03

Bola 0,5 kg yang mula-mula diam ditendang hingga melaju 24 m/s. Jika kaki menyentuh bola selama 0,04 s, berapa gaya rata-rata kaki pada bola?

Jawaban: N

Kunci: 300 N

Pembahasan: Perubahan momentum: $\Delta p = 0,5 \times 24 - 0 = 12 \text{ kg·m/s}$.

$F = \Delta p / \Delta t = 12 / 0,04 = 300 \text{ N}$.

8. Lv 2 • Penjelajah • Pilihan ganda • Jenis tumbukan • 09-2-04

Pada tumbukan tidak lenting sama sekali, setelah tumbukan kedua benda...

- A. saling memantul dengan kelajuan semula
- B. selalu berhenti di tempat
- C. menempel dan bergerak bersama dengan kecepatan sama
- D. mempertahankan energi kinetik totalnya

Kunci: C

Pembahasan: Pada tumbukan tidak lenting sama sekali ($e = 0$), kedua benda menempel dan bergerak bersama.

Momentum tetap kekal, tetapi energi kinetik berkurang paling banyak. Keduanya baru berhenti jika momentum total awalnya nol.

9. Lv 3 • Pejuang • Isian • Kekekalan momentum • 09-3-01

Raka (45 kg) berdiri di atas sampan (75 kg) yang diam. Raka melompat ke dermaga dengan kecepatan mendatar 2 m/s. Berapa kelajuan sampan terdorong ke belakang? (Hambatan air diabaikan.)

Jawaban: m/s

Kunci: 1,2 m/s

Pembahasan: $0 = 45 \times 2 + 75v \Rightarrow v = -\frac{90}{75} = -1,2 \text{ m/s}$.

Kelajuan sampan 1,2 m/s ke arah berlawanan dengan lompatan Raka.

10. Lv 3 • Pejuang • Isian • Tumbukan tidak lenting • 09-3-02

Gerbong 24 ton yang melaju 2,5 m/s menabrak lalu tersambung dengan gerbong 16 ton yang diam. Berapa kilojoule energi kinetik yang hilang dalam tumbukan ini?

Jawaban: kJ

Kunci: 30 kJ

Pembahasan: Kecepatan bersama: $v' = \frac{24\,000 \times 2,5}{40\,000} = 1,5 \text{ m/s}$.

E_k sebelum: $\frac{1}{2} \times 24\,000 \times 2,5^2 = 75\,000 \text{ J}$.

E_k sesudah: $\frac{1}{2} \times 40\,000 \times 1,5^2 = 45\,000 \text{ J}$.

Hilang: $30\,000 \text{ J} = 30 \text{ kJ}$ (menjadi panas, bunyi, dan deformasi pengait).

11. Lv 3 • Pejuang • Isian • Koefisien restitusi • 09-3-03

Bola dijatuhkan dari ketinggian 2,0 m ke lantai dan memantul setinggi 1,28 m. Berapa koefisien restitusi antara bola dan lantai?

Jawaban:

Kunci: 0,8

Pembahasan: Kelajuan tiba $\sqrt{2gh}$, kelajuan pantul $\sqrt{2gh'}$. Perbandingannya $e = \sqrt{h'/h} = \sqrt{1,28/2,0} = \sqrt{0,64} = 0,8$.

12. Lv 3 • Pejuang • Pilihan ganda • Impuls saat memantul • 09-3-04

Bola karet dan gumpalan plastisin bermassa sama dilempar ke tembok dengan kecepatan sama. Bola karet memantul, plastisin menempel di tembok. Impuls dari tembok lebih besar pada...

- A. bola karet, karena momentumnya berbalik arah
- B. plastisin, karena ia berhenti total
- C. keduanya sama, karena kecepatan awalnya sama
- D. plastisin, karena waktu tumbukannya lebih lama

Kunci: A

Pembahasan: Plastisin: $\Delta p = 0 - mv = -mv$. Bola karet yang memantul dengan kelajuan v' : $\Delta p = -mv' - mv = -m(v + v')$, lebih besar. Benda yang memantul menerima impuls lebih besar daripada benda yang sekadar berhenti.

13. Lv 4 • IGCSE • Isian • Tumbukan menempel • gaya IGCSE • 09-4-01

Troli A bermassa 2,0 kg bergerak 3,0 m/s menabrak troli B bermassa 1,0 kg yang diam. Kedua troli menempel. Hitung kelajuan kedua troli sesaat setelah tumbukan.

Jawaban: m/s

Kunci: 2 m/s

Pembahasan: Momentum sebelum: $2,0 \times 3,0 + 0 = 6,0 \text{ kg}\cdot\text{m/s}$.

Sesudah: $(2,0 + 1,0) v = 6,0 \Rightarrow v = 2,0 \text{ m/s}$.

14. Lv 4 • IGCSE • Uraian • Zona remuk • gaya IGCSE • 09-4-02

Mobil modern memiliki zona remuk (*crumple zone*) di bagian depan dan kantong udara (*airbag*). Jelaskan, dengan konsep momentum dan impuls, bagaimana keduanya mengurangi cedera penumpang saat tabrakan. [4 poin]

Kunci/rubrik:

1. Saat tabrakan, penumpang harus berhenti dari kecepatannya, sehingga perubahan momentumnya $\Delta p = mv$ sudah tertentu.
2. Zona remuk ringsek perlahan dan airbag mengempis perlahan, sehingga waktu penumpang berhenti (Δt) menjadi lebih lama.
3. Gaya rata-rata $F = \Delta p / \Delta t$; dengan Δt lebih lama, gaya pada tubuh penumpang lebih kecil.
4. Airbag juga menyebarkan gaya ke area tubuh yang lebih luas, sehingga tekanan pada satu titik berkurang dan cedera lebih ringan.

Pembahasan: Kunci penilaian: satu poin untuk Δp tetap, satu poin untuk waktu yang diperpanjang, satu poin untuk $F = \Delta p / \Delta t$ sehingga gaya mengecil, dan satu poin untuk penyebaran gaya (tekanan lebih kecil) atau pencegahan benturan langsung dengan setir.

15. Lv 4 • IGCSE • Pilihan ganda • Data gaya-waktu • gaya IGCSE • 09-4-03

Sensor gaya merekam gaya raket pada bola tenis setiap 1 ms. Gaya berubah secara linear di antara titik-titik data.

t (ms)	0	1	2	3	4
F (N)	0	200	400	200	0

Berapa perubahan momentum bola?

- A. 0,4 N·s
B. 0,8 N·s
C. 1,6 N·s
D. 800 N·s

Kunci: B

Pembahasan: Perubahan momentum = impuls = luas di bawah grafik $F-t$. Grafiknya segitiga dengan alas 4 ms = 0,004 s dan tinggi 400 N.

Luas: $\frac{1}{2} \times 0,004 \times 400 = 0,8 \text{ N}\cdot\text{s}$. Pilihan 800 N·s muncul jika lupa mengubah ms menjadi s.

16. Lv 4 • IGCSE • Isian • Bola memantul dari tembok • gaya IGCSE • 09-4-04

Bola bermassa 0,15 kg menabrak tembok dengan kelajuan 12 m/s dan memantul dengan kelajuan 8,0 m/s. Waktu kontak dengan tembok 0,020 s. Hitung gaya rata-rata tembok pada bola.

Jawaban: N

Kunci: 150 N

Pembahasan: Arah menuju tembok positif: $v_{\text{awal}} = +12 \text{ m/s}$, $v_{\text{akhir}} = -8,0 \text{ m/s}$.

$$\Delta p = 0,15(-8,0 - 12) = -3,0 \text{ kg}\cdot\text{m/s}.$$

$$F = \Delta p / \Delta t = -3,0 / 0,020 = -150 \text{ N, jadi besarnya 150 N, menjauhi tembok.}$$

Lv 5 • IB DP gaya IB Physics

17. Lv 5 • IB DP • Isian • Tumbukan lenting • gaya IB • 09-5-01

Kelereng 20 g bergerak 0,60 m/s dan menabrak lurus kelereng 40 g yang diam. Tumbukannya lenting sempurna. Tentukan kecepatan kelereng 40 g setelah tumbukan.

Jawaban: m/s

Kunci: 0,4 m/s

Pembahasan: Momentum: $0,020(0,60) = 0,020 v_1' + 0,040 v_2' \rightarrow 0,60 = v_1' + 2v_2'$.

Lenting sempurna: $v_2' - v_1' = 0,60$.

Jumlahkan: $3v_2' = 1,20 \Rightarrow v_2' = 0,40 \text{ m/s}$, dan $v_1' = -0,20 \text{ m/s}$ (kelereng kecil memantul balik).

18. Lv 5 • IB DP • Uraian • Sumpit dan bandul balistik • gaya IB • 09-5-02

Anak sumpit (senjata tiup tradisional Dayak) bermassa 5,0 g ditiupkan mendatar dan menancap pada balok target 495 g yang tergantung pada tali panjang. Setelah tertancap, balok berayun naik setinggi 1,0 cm. Gunakan $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

(a) Hitung kelajuan balok (dengan anak sumpit) sesaat setelah tumbukan.

(b) Hitung kelajuan anak sumpit sebelum menancap.

(c) Berapa persen energi kinetik yang hilang saat menancap?

(d) Mengapa kekekalan momentum dipakai untuk saat tumbukan, tetapi kekekalan energi dipakai untuk saat berayun?

Kunci/rubrik: (a) Saat berayun, energi mekanik kekal: $V = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \times 9,81 \times 0,010} \approx 0,443 \text{ m/s}$.

(b) Momentum saat tumbukan: $0,005 v = 0,500 \times 0,443 \Rightarrow v \approx 44,3 \text{ m/s}$.

(c) Energi yang tersisa $\frac{m}{m+M} = \frac{5}{500} = 1\%$, jadi yang hilang $\pm 99\%$ (menjadi panas dan deformasi kayu).

(d) Tumbukan menancap tidak lenting, energi kinetik berubah menjadi panas, sehingga energi mekanik tidak kekal; tetapi tumbukan sangat singkat dan gaya luar mendatar dapat diabaikan, sehingga momentum kekal. Saat berayun hanya gravitasi yang melakukan usaha (tegangan tali tegak lurus gerak), sehingga energi mekanik kekal.

Pembahasan: Ini contoh klasik "bandul balistik": dua tahap, dua hukum kekekalan yang berbeda. Menukar urutannya (misalnya memakai kekekalan energi saat tumbukan) adalah kesalahan paling umum.

19. Lv 5 • IB DP • Isian • Luas grafik F-t • gaya IB • 09-5-03

Troli 0,80 kg bergerak 1,2 m/s menuju sensor gaya, lalu memantul. Grafik gaya sensor pada troli berbentuk segitiga: naik linear dari 0 sampai 24 N dalam 0,05 s, lalu turun linear sampai 0 dalam 0,10 s berikutnya. Tentukan kelajuan troli setelah memantul.

Jawaban: m/s

Kunci: 1,05 m/s

Pembahasan: Impuls = luas segitiga: $\frac{1}{2} \times 0,15 \times 24 = 1,8$ N·s, berlawanan arah gerak awal. Ambil arah datang positif: $0,80 v' = 0,80 \times 1,2 - 1,8 = -0,84 \rightarrow v' = -1,05$ m/s. Kelajuan pantul 1,05 m/s. Koefisien restitusinya $1,05/1,2 \approx 0,88$, masuk akal (kurang dari 1).

20. Lv 5 • IB DP • Pilihan ganda • Ledakan • gaya IB • 09-5-04

Kembang api 0,90 kg bergerak mendatar 12 m/s di puncak lintasannya, lalu meledak menjadi dua bagian. Bagian 0,30 kg sesaat setelah ledakan diam (lalu jatuh bebas). Kecepatan bagian lainnya sesaat setelah ledakan adalah...

- A. 12 m/s
B. 16 m/s
C. 18 m/s
D. 36 m/s

Kunci: C

Pembahasan: Gaya ledakan adalah gaya dalam, jadi momentum mendatar kekal: $0,90 \times 12 = 0,30 \times 0 + 0,60 v$. $v = 10,8/0,60 = 18$ m/s searah gerak semula.

Lv 6 • Olimpiade gaya OSN/IPhO

21. Lv 6 • Olimpiade • Isian • Bola bertumpuk • gaya olimpiade • 09-6-01

Bola kecil bermassa m diletakkan tepat di atas bola besar bermassa $M = 3m$, lalu keduanya dijatuhkan bersama dari ketinggian h (ukuran bola diabaikan). Bola besar memantul lenting sempurna dari lantai, lalu segera bertumbukan lenting sempurna dengan bola kecil yang masih bergerak turun. Setinggi berapa kali h bola kecil akan melambung (diukur dari titik tumbukan)?

Jawaban: $\times h$

Kunci: 4 $\times h$

Pembahasan: Ambil arah atas positif. Sebelum tumbukan: bola kecil $-v$, bola besar $+v$.

$$\text{Rumus lenting: } v'_{\text{kecil}} = \frac{(m - M)(-v) + 2M(v)}{m + M} = \frac{(-2m)(-v) + 6mv}{4m} = 2v.$$

$$\text{Tinggi lambungan sebanding dengan kuadrat kelajuan: } h' = \frac{(2v)^2}{2g} = 4h.$$

Cek: bola besar sesudahnya $\frac{2m(-v) + (M - m)v}{m + M} = 0$, diam! Seluruh energi pindah ke bola kecil. (Untuk $M \gg m$, bola kecil bisa naik hampir $9h$.)

22. Lv 6 • Olimpiade • Isian • Persamaan roket • gaya olimpiade • 09-6-02

Roket di ruang angkasa jauh dari gravitasi menyemburkan gas dengan kecepatan relatif 2,5 km/s. Massa awalnya 120 ton dan massa setelah bahan bakar habis 40 ton. Berapa pertambahan kecepatan roket (dalam km/s)?

Jawaban: km/s

Kunci: 2,747 km/s

Pembahasan: $\Delta v = u \ln \frac{m_0}{m_1} = 2,5 \ln \frac{120}{40} = 2,5 \ln 3 \approx 2,5 \times 1,099 \approx 2,75 \text{ km/s.}$

Perhatikan: walaupun dua pertiga massa roket adalah bahan bakar, Δv yang didapat hanya $\pm 1,1$ kali kecepatan semburan gas u . Itulah "kekejaman" logaritma.

23. Lv 6 • Olimpiade • Uraian • Tumbukan miring • gaya olimpiade • 09-6-03

Bola biliar A menumbuk bola biliar B yang identik dan diam. Tumbukannya lenting sempurna tetapi tidak sentral, sehingga kedua bola bergerak setelah tumbukan. Buktikan bahwa sudut antara arah gerak kedua bola setelah tumbukan selalu 90° (abaikan putaran bola).

Kunci/rubrik: Momentum (massa sama, bisa dicoret): $v = v_A + v_B$.

Kuadratkan: $v^2 = v_A^2 + v_B^2 + 2 v_A \cdot v_B$.

Energi kinetik kekal: $v^2 = v_A^2 + v_B^2$.

Bandingkan: $v_A \cdot v_B = 0$. Karena kedua bola bergerak ($v_A, v_B \neq 0$), sudut di antaranya 90° . Secara geometri, v_A, v_B , dan v membentuk segitiga siku-siku (teorema Pythagoras).

Pembahasan: Pemain biliar memanfaatkan hasil ini: setelah bola putih mengenai bola sasaran secara miring, keduanya berpisah membentuk sudut kira-kira 90° (dalam kenyataan sedikit kurang karena putaran dan gesekan).

24. Lv 6 • Olimpiade • Pilihan ganda • Pusat massa sistem perahu • gaya olimpiade • 09-6-04

Perahu bermassa 160 kg dan panjang 4,0 m diam di air tenang. Seorang anak bermassa 40 kg berjalan dari ujung buritan ke ujung haluan perahu. Hambatan air diabaikan. Sejauh apa perahu bergeser?

A. 0,8 m

C. 3,2 m

B. 1,0 m

D. 4,0 m

Kunci: A

Pembahasan: Tidak ada gaya luar mendatar, jadi pusat massa sistem anak + perahu tidak berpindah. Anak bergeser 4,0 m relatif terhadap perahu. Misalkan perahu bergeser d ke belakang; anak bergeser $4,0 - d$ ke depan relatif terhadap air.

$$40(4,0 - d) = 160 d \Rightarrow 160 = 200 d \Rightarrow d = 0,8 \text{ m.}$$

Lv 1 • Pemula SD-SMP awal

1. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Torsi • 10-1-01

Gagang pintu dipasang jauh dari engsel agar...

- A. torsi lebih besar dengan gaya yang sama
- B. pintu menjadi lebih ringan
- C. engsel tidak cepat berkarat
- D. pintu bisa menutup sendiri

Kunci: A

Pembahasan: Torsi = gaya $\times$ jarak dari sumbu putar (engsel). Dengan jarak yang besar, gaya kecil sudah cukup menghasilkan torsi yang memutar pintu.

2. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Jungkat-jungkit • 10-1-02

Raka (40 kg) bermain jungkat-jungkit dengan adiknya (20 kg). Agar seimbang, adiknya harus duduk...

- A. dua kali lebih jauh dari titik tumpu daripada Raka
- B. pada jarak yang sama dengan Raka
- C. lebih dekat ke titik tumpu daripada Raka
- D. tepat di atas titik tumpu

Kunci: A

Pembahasan: Syarat seimbang: $m_1 d_1 = m_2 d_2$. Karena massa adik setengah massa Raka, jaraknya harus dua kali jarak Raka: $40 \times d = 20 \times 2d$.

3. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Gasing • 10-1-03

Gasing yang berputar cepat bisa berdiri tegak di atas ujungnya yang runcing karena...

- A. momentum sudutnya mempertahankan arah sumbu putar
- B. gasing tidak memiliki berat saat berputar
- C. udara di sekitarnya menahan gasing
- D. lantai menarik gasing ke bawah dengan kuat

Kunci: A

Pembahasan: Gasing yang berputar cepat menyimpan momentum sudut besar. Tanpa torsi luar yang besar, arah momentum sudut (sumbu putar) cenderung tetap, sehingga gasing tidak mudah roboh. Saat putarannya melambat, ia mulai goyah.

4. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Kestabilan • 10-1-04

Benda paling stabil (paling sulit terguling) jika titik beratnya...

- A. tinggi dan alasnya sempit
- B. tinggi dan alasnya lebar
- C. rendah dan alasnya sempit
- D. rendah dan alasnya lebar

Kunci: D

Pembahasan: Benda terguling jika garis vertikal dari titik beratnya keluar dari alas. Titik berat rendah dan alas lebar membuat benda harus dimiringkan sangat jauh sebelum hal itu terjadi.

5. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Torsi • 10-2-01

Kunci roda sepanjang 0,30 m didorong dengan gaya 50 N tegak lurus di ujungnya. Berapa torsiinya?

Jawaban: N·m

Kunci: 15 N·m

Pembahasan: $\tau = rF \sin 90^\circ = 0,30 \times 50 \times 1 = 15 \text{ N·m}$.

6. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Kesetimbangan • 10-2-02

Sari (35 kg) duduk 1,6 m dari titik tumpu jungkat-jungkit. Pada jarak berapa dari titik tumpu Kak Nara (56 kg) harus duduk di sisi lain agar setimbang? (Massa papan diabaikan.)

Jawaban: m

Kunci: 1 m

Pembahasan: $m_S g d_S = m_N g d_N \Rightarrow 35 \times 1,6 = 56 d_N \Rightarrow d_N = 56/56 = 1,0 \text{ m}$.

7. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Kecepatan sudut • 10-2-03

Baling-baling kipas angin berputar 1.200 putaran per menit (rpm). Berapa kecepatan sudutnya dalam rad/s?

Jawaban: rad/s

Kunci: 125,66 rad/s

Pembahasan: Satu putaran = 2π rad dan satu menit = 60 s.

$$\omega = \frac{1200 \times 2\pi}{60} = 40\pi \approx 125,7 \text{ rad/s}.$$

8. Lv 2 • Penjelajah • Pilihan ganda • Momen inersia • 10-2-04

Roda A dan roda B bermassa sama dan berjari-jari sama. Massa roda A terkumpul di peleknya (tepi), sedangkan roda B berupa cakram pejal. Roda mana yang lebih sulit diputar dari keadaan diam?

- A. roda B, karena pejal
- B. bergantung kecepatan putarnya
- C. sama sulitnya, karena massanya sama
- D. roda A, karena massanya jauh dari sumbu

Kunci: D

Pembahasan: Momen inersia bergantung pada letak massa: $I = \sum mr^2$. Roda A (seperti cincin) punya $I = MR^2$, dua kali cakram B ($\frac{1}{2}MR^2$). Makin besar I , makin sulit diubah putarannya.

9. Lv 3 • Pejuang • Isian • Pikulan • 10-3-01

Pedagang memikul pikulan sepanjang 1,5 m (massa pikulan diabaikan). Keranjang 30 kg tergantung di ujung kiri dan keranjang 20 kg di ujung kanan. Berapa jarak bahu dari ujung kiri agar pikulan setimbang?

Jawaban: m

Kunci: 0,6 m

Pembahasan: Misalkan bahu x dari ujung kiri: $30g \cdot x = 20g \cdot (1,5 - x)$.

$50x = 30 \Rightarrow x = 0,6 \text{ m}$, lebih dekat ke keranjang yang lebih berat.

10. Lv 3 • Pejuang • Isian • Menggelinding • 10-3-02

Silinder pejal menggelinding tanpa selip dari keadaan diam menuruni lereng setinggi 1,2 m. Dengan $g = 10 \text{ m/s}^2$, berapa kelajuannya di dasar lereng?

Jawaban: m/s

Kunci: 4 m/s

Pembahasan: $mgh = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2 = \frac{1}{2}mv^2(1 + \frac{1}{2})$.

$$v = \sqrt{\frac{2gh}{1,5}} = \sqrt{\frac{4gh}{3}} = \sqrt{16} = 4 \text{ m/s (lebih lambat daripada balok licin yang mencapai } \sqrt{24} \approx 4,9 \text{ m/s).}$$

11. Lv 3 • Pejuang • Isian • Kekekalan momentum sudut • 10-3-03

Seorang penari berputar 2 putaran per detik dengan tangan terentang (momen inersia $4,0 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$). Ia lalu merapatkan tangannya sehingga momen inersianya menjadi $1,6 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$. Berapa putaran per detik sekarang?

Jawaban: putaran/s

Kunci: 5 putaran/s

Pembahasan: Tanpa torsi luar, $I_1 f_1 = I_2 f_2$ (frekuensi sebanding dengan ω).

$$f_2 = \frac{4,0 \times 2}{1,6} = 5 \text{ putaran/s.}$$

12. Lv 3 • Pejuang • Pilihan ganda • Momen inersia batang • 10-3-04

Sapu bermassa M dan panjang L (anggap batang homogen) diputar bolak-balik. Dipegang di ujung, momen inersianya $\frac{1}{3}ML^2$; dipegang di tengah, $\frac{1}{12}ML^2$. Pernyataan yang benar...

- A. lebih mudah diputar jika dipegang di ujung, karena lengannya panjang
- B. sama mudahnya, karena massanya sama
- C. lebih mudah diputar jika dipegang di tengah, karena momen inersianya 4 kali lebih kecil
- D. lebih mudah diputar jika dipegang di tengah, karena momen inersianya 2 kali lebih kecil

Kunci: C

Pembahasan: $\frac{\frac{1}{3}ML^2}{\frac{1}{12}ML^2} = 4$. Dengan torsi yang sama, percepatan sudut $\alpha = \tau/I$ empat kali lebih besar jika sapu dipegang di tengah.

Lv 4 • IGCSE gaya Cambridge IGCSE

13. Lv 4 • IGCSE • Isian • Prinsip momen • gaya IGCSE • 10-4-01

Papan homogen sepanjang 4,0 m dengan berat 200 N ditumpu pada titik yang berjarak 1,2 m dari ujung A. Hitung berat beban yang harus diletakkan tepat di ujung A agar papan setimbang mendatar (*principle of moments*).

Jawaban: N

Kunci: 133,3 N

Pembahasan: Berat papan bekerja 2,0 m dari A, yaitu $2,0 - 1,2 = 0,8 \text{ m}$ dari tumpuan, di sisi yang berlawanan dengan A.

Momen searah = momen berlawanan: $W \times 1,2 = 200 \times 0,8 = 160 \text{ N}\cdot\text{m}$.

$$W = 160/1,2 \approx 133 \text{ N.}$$

14. Lv 4 • IGCSE • Pilihan ganda • Data eksperimen momen • gaya IGCSE • 10-4-02

Seorang siswa menyeimbangkan sebuah beban tetap pada penggaris berporos. Ia mengubah jarak d dinamometer dari poros dan mencatat gaya F yang diperlukan.

d (cm)	10	20	25	40
F (N)	8,0	4,0	3,2	2,0

Kesimpulan yang paling tepat dari data ini adalah...

- A. F sebanding dengan d
- B. $F + d$ selalu tetap
- C. F sebanding dengan d^2
- D. $F \times d$ selalu tetap, sekitar 80 N·cm

Kunci: D

Pembahasan: Kalikan setiap pasangan: $10 \times 8,0 = 20 \times 4,0 = 25 \times 3,2 = 40 \times 2,0 = 80 \text{ N·cm}$. Momen gaya dinamometer selalu sama, karena harus mengimbangi momen beban yang tetap. Jadi F berbanding terbalik dengan d .

15. Lv 4 • IGCSE • Uraian • Kestabilan kendaraan • gaya IGCSE • 10-4-03

Truk yang mengangkut tumpukan kasur tinggi lebih mudah terguling saat berbelok tajam dibandingkan truk yang mengangkut pasir dengan berat sama. Jelaskan, dengan konsep titik berat dan alas, mengapa demikian. [4 poin]

Kunci/rubrik:

- Muatan kasur yang ditumpuk tinggi membuat titik berat truk berada lebih tinggi; pasir yang padat dan rendah membuat titik berat lebih rendah.
- Saat berbelok, truk cenderung miring ke luar tikungan (atau ada gaya yang menggulingkan di ketinggian titik berat).
- Truk terguling jika garis vertikal dari titik beratnya keluar dari alas (lebar antar-roda).
- Dengan titik berat tinggi, sudut kemiringan yang dibutuhkan untuk itu lebih kecil (dan lengan momen gaya penggulingnya lebih besar), sehingga truk lebih mudah terguling.

Pembahasan: Kunci penilaian: satu poin untuk perbandingan tinggi titik berat, satu poin untuk kecenderungan miring saat berbelok, satu poin untuk syarat terguling (garis berat keluar dari alas), dan satu poin untuk kesimpulan bahwa titik berat tinggi mengurangi sudut kritis.

16. Lv 4 • IGCSE • Isian • Jembatan papan • gaya IGCSE • 10-4-04

Papan jembatan homogen sepanjang 6,0 m dengan berat 300 N bertumpu di kedua ujungnya. Seseorang dengan berat 600 N berdiri 2,0 m dari ujung kiri. Hitung gaya yang diberikan tumpuan **kanan**.

Jawaban: N

Kunci: 350 N

Pembahasan: Torsi terhadap tumpuan kiri: $N_{\text{kanan}} \times 6,0 = 300 \times 3,0 + 600 \times 2,0 = 2100 \text{ N·m}$.
 $N_{\text{kanan}} = 350 \text{ N}$. (Tumpuan kiri: $900 - 350 = 550 \text{ N}$.)

17. Lv 5 • IB DP • Isian • Katrol bermassa • gaya IB • 10-5-01

Timba bermassa 5,0 kg tergantung pada tali yang dililitkan pada kerekan berbentuk silinder pejal (massa 4,0 kg, jari-jari 0,10 m) yang berputar tanpa gesekan. Timba dilepas dari diam. Tentukan percepatan timba. Gunakan $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

Jawaban: m/s^2

Kunci: 7,007 m/s^2

Pembahasan: Timba: $mg - T = ma$. Kerekan: $TR = \frac{1}{2}MR^2 \cdot \frac{a}{R} \Rightarrow T = \frac{1}{2}Ma$.

$$a = \frac{mg}{m + \frac{1}{2}M} = \frac{5,0 \times 9,81}{5,0 + 2,0} \approx 7,01 \text{ m/s}^2.$$

Jari-jari kerekan tidak berpengaruh.

18. Lv 5 • IB DP • Uraian • Balapan menggelinding • gaya IB • 10-5-02

Benda bulat bermassa m , jari-jari R , dan momen inersia $I = kmR^2$ menggelinding tanpa selip dari diam menuruni lereng setinggi h .

- Turunkan rumus kelajuannya di dasar lereng.
- Urutkan waktu tiba bola pejal, silinder pejal, dan cincin (dari tercepat).
- Hitung persentase energi kinetik bola pejal yang berupa energi rotasi.
- Jelaskan mengapa gaya gesek statis pada benda yang menggelinding murni tidak mengurangi energi mekaniknya.

Kunci/rubrik: (a) $mgh = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2$ dengan $\omega = v/R$: $mgh = \frac{1}{2}mv^2(1 + k) \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2gh}{1 + k}}$.

(b) Makin kecil k , makin cepat: bola pejal ($k = 0,4$), silinder pejal (0,5), cincin (1).

(c) Fraksi rotasi = $\frac{k}{1 + k} = \frac{0,4}{1,4} \approx 29\%$.

(d) Pada menggelinding murni, titik kontak dengan lereng sesaat diam ($v_{\text{kontak}} = v - \omega R = 0$), sehingga gaya gesek statis tidak berpindah titik tangkap dan tidak melakukan usaha. Gesekan hanya memberi torsi yang mengubah sebagian energi translasi menjadi energi rotasi.

Pembahasan: Hasil (a) menunjukkan bahwa kelajuan tidak bergantung pada m dan R , hanya pada bentuk (k). Itu sebabnya dua bola pejal berbeda ukuran tiba bersamaan.

19. Lv 5 • IB DP • Isian • Kursi putar dan dumbel • gaya IB • 10-5-03

Seorang siswa duduk di kursi putar (momen inersia siswa + kursi $2,0 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$) sambil memegang dua dumbel 3,0 kg pada jarak 0,80 m dari sumbu. Ia berputar 1,5 rad/s, lalu menarik kedua dumbel ke jarak 0,20 m. Gesekan poros diabaikan dan dumbel dianggap titik. Tentukan kecepatan sudut akhirnya.

Jawaban: rad/s

Kunci: 3,911 rad/s

Pembahasan: $I_1 = 2,0 + 2(3,0)(0,80)^2 = 5,84 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$. $I_2 = 2,0 + 2(3,0)(0,20)^2 = 2,24 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$.

$$\omega_2 = \frac{I_1\omega_1}{I_2} = \frac{5,84 \times 1,5}{2,24} \approx 3,91 \text{ rad/s}.$$

Energi kinetik naik dari $\frac{1}{2}(5,84)(1,5)^2 \approx 6,6 \text{ J}$ menjadi $\frac{1}{2}(2,24)(3,91)^2 \approx 17,1 \text{ J}$; tambahan energinya berasal dari usaha otot lengan.

20. Lv 5 · IB DP · Pilihan ganda · Teorema sumbu sejajar · gaya IB · 10-5-04

Batang homogen bermassa 0,50 kg dan panjang 1,2 m diputar terhadap sumbu tegak lurus batang yang berjarak 0,30 m dari salah satu ujungnya. Momen inersianya terhadap sumbu itu adalah...

- A. 0,060 kg·m²
B. 0,240 kg·m²
C. 0,105 kg·m²
D. 0,045 kg·m²

Kunci: C

Pembahasan: Terhadap pusat massa: $I_{\text{pm}} = \frac{1}{12}ML^2 = \frac{1}{12}(0,50)(1,2)^2 = 0,060 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$.

Sumbu baru berjarak $d = 0,60 - 0,30 = 0,30$ m dari pusat massa: $I = 0,060 + 0,50 \times 0,30^2 = 0,105 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$.

Lv 6 • Olimpiade gaya OSN/IPhO

21. Lv 6 · Olimpiade · Isian · Pukulan biliar tanpa selip · gaya olimpiade · 10-6-01

Bola biliar pejal berjari-jari R dipukul dengan stik secara mendatar (pukulan sangat singkat), tepat di bidang vertikal yang melalui pusatnya. Pada ketinggian berapa di atas permukaan meja (dinyatakan dalam R) bola harus dipukul agar langsung menggelinding tanpa selip? (Contoh: jika jawabanmu $1,5R$, tulis 1,5.)

Jawaban: $\times R$

Kunci: $1,4 \times R$

Pembahasan: Momentum: $J = mv$. Momentum sudut terhadap pusat bola: $J(h - R) = \frac{2}{5}mR^2\omega$.

Syarat tanpa selip $\omega = v/R$: $mv(h - R) = \frac{2}{5}mRv \Rightarrow h - R = \frac{2}{5}R$.

$h = \frac{7}{5}R = 1,4R$. Dipukul lebih tinggi, bola mendapat putaran maju berlebih (*topspin*); lebih rendah, putaran majunya kurang sehingga bola selip dulu. Jika dipukul di bawah pusat ($h < R$), bola bahkan berputar mundur (*backspin*).

22. Lv 6 • Olimpiade • Isian • Bola bowling selip lalu menggelinding • gaya olimpiade • 10-6-02

Bola bowling (bola pejal) dilempar sehingga mula-mula meluncur tanpa berputar dengan kelajuan $7,0 \text{ m/s}$ di lantai lintasan yang kasar. Gesekan kinetis memperlambat translasinya sekaligus mempercepat putarannya, sampai akhirnya bola menggelinding murni. Berapa kelajuan bola saat mulai menggelinding murni?

Jawaban: m/s

Kunci: 5 m/s

Pembahasan: Ambil momentum sudut terhadap titik di lantai yang segaris dengan titik kontak. Gaya gesek bekerja di titik itu dan gaya normal serta berat segaris vertikal, sehingga torsi totalnya nol: momentum sudut terhadap titik itu kekal.

Awal: $L = mv_0R$. Akhir (menggeling): $L = mvR + \frac{2}{5}mR^2 \cdot \frac{v}{R} = \frac{7}{5}mvR$.

$v = \frac{5}{7}v_0 = \frac{5}{7} \times 7,0 = 5,0 \text{ m/s}$, berapa pun koefisien gesekannya!

Tangga homogen bermassa m dan panjang L bersandar pada dinding licin dan berdiri di lantai kasar dengan koefisien gesek statis μ . Tangga membentuk sudut θ dengan lantai.

(a) Gambarkan semua gaya pada tangga.

(b) Tunjukkan bahwa tangga tidak tergelincir jika $\tan \theta \geq \frac{1}{2\mu}$.

(c) Untuk $\mu = 0,40$, berapa sudut minimum tangga?

Kunci/rubrik: (a) Berat mg di tengah tangga (ke bawah); gaya normal lantai N ke atas dan gesekan f mendatar menuju dinding di kaki tangga; gaya normal dinding N_w mendatar menjauhi dinding di ujung atas (dinding licin, tidak ada gesekan).

(b) $\Sigma F_y = 0$; $N = mg$. $\Sigma F_x = 0$: $f = N_w$. Torsi terhadap kaki tangga: $N_w L \sin \theta = mg \frac{L}{2} \cos \theta \Rightarrow N_w = \frac{mg}{2 \tan \theta}$.

Syarat tidak tergelincir $f \leq \mu N$: $\frac{mg}{2 \tan \theta} \leq \mu mg \Rightarrow \tan \theta \geq \frac{1}{2\mu}$.

(c) $\tan \theta \geq 1,25 \Rightarrow \theta \geq 51,3^\circ$.

Pembahasan: Kuncinya adalah memilih kaki tangga sebagai poros: dua gaya yang belum diketahui (N dan f) langsung hilang dari persamaan torsi. Hasilnya tidak bergantung pada m maupun L .

Gulungan benang (jari-jari dalam r , jari-jari luar R) diletakkan di lantai kasar. Benang keluar dari **bagian bawah** poros dalam dan ditarik perlahan secara mendatar ke kanan. Gulungan tidak selip. Yang terjadi adalah gulungan...

- A. menggelinding ke kanan (searah tarikan) dan benang tergulung
- B. menggelinding ke kiri dan benang terulur
- C. berputar di tempat tanpa bergeser
- D. tetap diam karena torsiya saling meniadakan

Kunci: A

Pembahasan: Ambil titik kontak dengan lantai sebagai poros sesaat. Garis kerja tarikan mendatar berada setinggi $R - r$ di atas titik kontak, sehingga torsiya memutar gulungan searah jarum jam: gulungan menggelinding ke kanan.

Titik keluarnya benang (bawah poros dalam) bergerak dengan kecepatan $v - \omega r = v(1 - r/R) < v$, lebih lambat daripada gulungan, sehingga gulungan "mengejar" tanganmu dan benang ikut tergulung.

11 Gravitasi & Satelit

Lv 1 • Pemula SD-SMP awal

1. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Gaya gravitasi • 11-1-01

Gaya yang membuat mangga jatuh dari pohon **dan** membuat Bulan tetap mengelilingi Bumi adalah...

- A. gaya magnet
- B. gaya gravitasi
- C. gaya gesek
- D. gaya pegas

Kunci: B

Pembahasan: Newton menyadari bahwa gaya yang menarik buah ke tanah juga menjangkau Bulan. Gaya itu adalah gaya gravitasi. Bulan tidak jatuh menghantam Bumi karena ia bergerak menyamping dengan sangat cepat.

2. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Tanpa bobot • 11-1-02

Astronot di stasiun luar angkasa tampak melayang-layang. Penyebabnya adalah...

- A. di luar angkasa tidak ada gravitasi
- B. udara di stasiun mendorong astronot ke atas
- C. massa astronot menjadi nol
- D. astronot dan stasiun sama-sama jatuh bebas mengelilingi Bumi

Kunci: D

Pembahasan: Gravitasi di ketinggian stasiun masih sekitar 89% gravitasi di permukaan. Astronot melayang karena ia dan stasiunnya jatuh bersama dengan percepatan yang sama, sehingga tidak saling menekan.

3. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Massa dan berat • 11-1-03

Massa Sari di Bumi 40 kg. Jika Sari pergi ke Bulan, massanya menjadi...

- A. 0 kg
- B. sekitar 6,7 kg
- C. tetap 40 kg
- D. 240 kg

Kunci: C

Pembahasan: Massa adalah banyaknya materi, jadi tidak berubah di mana pun. Yang berubah adalah **berat**-nya: di Bulan beratnya hanya $\pm 1/6$ berat di Bumi.

4. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Satelit geostasioner • 11-1-04

Antena parabola di rumah tidak perlu diputar-putar karena satelit yang dituju tampak diam di langit. Hal ini terjadi karena satelit itu...

- A. mengelilingi Bumi sekali dalam sehari, sama dengan putaran Bumi
- B. benar-benar diam di angkasa
- C. ditahan oleh medan magnet Bumi
- D. terlalu jauh sehingga gerakanya tidak terlihat

Kunci: A

Pembahasan: Satelit geostasioner mengorbit di atas khatulistiwa dengan periode ± 24 jam, sama dengan periode rotasi Bumi. Karena ikut "berputar bersama" Bumi, dari permukaan ia tampak diam, padahal melaju ± 3 km/s.

5. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Kuadrat terbalik • 11-2-01

Gaya tarik gravitasi Bumi pada sebuah satelit adalah 2.000 N. Satelit itu dipindahkan ke orbit yang jaraknya dari **pusat** Bumi dua kali semula. Berapa gaya tariknya sekarang?

Jawaban: N

Kunci: 500 N

Pembahasan: Gaya gravitasi berbanding terbalik dengan kuadrat jarak. Jarak $\times 2 \rightarrow$ gaya $\div 2^2 = \div 4$.
 $F' = 2000/4 = 500$ N.

6. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Berat di Bulan • 11-2-02

Seorang astronot beserta pakaiannya bermassa 70 kg. Percepatan gravitasi di Bulan 1,6 m/s². Berapa beratnya di Bulan?

Jawaban: N

Kunci: 112 N

Pembahasan: $w = mg = 70 \times 1,6 = 112$ N. Di Bumi beratnya $70 \times 9,8 = 686$ N, jadi di Bulan ia terasa jauh lebih ringan walaupun massanya tetap 70 kg.

7. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Hukum gravitasi Newton • 11-2-03

Raka (50 kg) dan Sari (45 kg) duduk dengan jarak 1,5 m. Hitung gaya gravitasi di antara mereka. ($G = 6,67 \times 10^{-11}$ N m²/kg²)

Jawaban: N

Kunci: $6,67 \times 10^{-8}$ N

Pembahasan: $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} = 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{50 \times 45}{1,5^2} = 6,67 \times 10^{-11} \times 1000 = 6,67 \times 10^{-8}$ N.
 Gaya ini sangat kecil, kira-kira seberat sebutir pasir halus.

8. Lv 2 • Penjelajah • Pilihan ganda • Membaca tabel g • 11-2-04

Tabel berikut menunjukkan percepatan gravitasi Bumi pada beberapa ketinggian (jari-jari Bumi ± 6.400 km).

Ketinggian (km)	0	400	3.200	6.400
g (m/s ²)	9,8	8,7	4,4	2,45

Pada ketinggian berapa g tinggal seperempat nilai di permukaan?

- A. 400 km
 B. 3.200 km
 C. 6.400 km
 D. 12.800 km

Kunci: C

Pembahasan: $9,8/4 = 2,45$ m/s², yaitu pada ketinggian 6.400 km. Di sana jarak dari pusat Bumi menjadi $2R$, sehingga g menjadi $1/2^2 = 1/4$ kali. Perhatikan: ketinggian setengahnya (3.200 km) *tidak* membuat g tinggal setengah, karena yang menentukan adalah jarak dari pusat.

9. Lv 3 • Pejuang • Isian • Variasi g dengan ketinggian • 11-3-01

Jari-jari Bumi 6.400 km. Pada ketinggian berapa kilometer di atas permukaan Bumi percepatan gravitasi tinggal $\frac{1}{9}$ nilai di permukaan?

Jawaban: km

Kunci: 12.800 km

Pembahasan: $\frac{g'}{g} = \left(\frac{R}{r}\right)^2 = \frac{1}{9} \Rightarrow r = 3R.$

Ketinggian dari permukaan: $h = r - R = 2R = 2 \times 6400 = 12.800$ km.

10. Lv 3 • Pejuang • Isian • Kecepatan orbit • 11-3-02

Sebuah satelit cuaca mengorbit lingkaran pada ketinggian 600 km. Massa Bumi $6,0 \times 10^{24}$ kg, jari-jari Bumi 6.400 km, dan $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2/\text{kg}^2$. Hitung kelajuan orbitnya dalam km/s.

Jawaban: km/s

Kunci: 7,56 km/s

Pembahasan: $r = 6400 + 600 = 7000 \text{ km} = 7,0 \times 10^6 \text{ m}.$

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}} = \sqrt{\frac{6,67 \times 10^{-11} \times 6,0 \times 10^{24}}{7,0 \times 10^6}} = \sqrt{5,72 \times 10^7} \approx 7,56 \times 10^3 \text{ m/s}.$$

Jadi $v \approx 7,56 \text{ km/s}.$

11. Lv 3 • Pejuang • Isian • Kecepatan lepas • 11-3-03

Sebuah planet memiliki massa 8 kali massa Bumi dan jari-jari 2 kali jari-jari Bumi. Kecepatan lepas Bumi 11,2 km/s. Berapa kecepatan lepas planet tersebut?

Jawaban: km/s

Kunci: 22,4 km/s

Pembahasan: $v_{\text{lepas}} = \sqrt{2GM/R}$, jadi $\frac{v_p}{v_B} = \sqrt{\frac{M_p/M_B}{R_p/R_B}} = \sqrt{\frac{8}{2}} = 2.$

$v_p = 2 \times 11,2 = 22,4 \text{ km/s}.$

12. Lv 3 • Pejuang • Pilihan ganda • Hukum III Kepler • 11-3-04

Planet X dan planet Y mengorbit bintang yang sama. Jarak rata-rata planet X ke bintang 4 kali jarak planet Y. Jika periode planet Y 1 tahun, periode planet X adalah...

A. 4 tahun

C. 16 tahun

B. 8 tahun

D. 64 tahun

Kunci: B

Pembahasan: $\left(\frac{T_X}{T_Y}\right)^2 = \left(\frac{a_X}{a_Y}\right)^3 = 4^3 = 64$, sehingga $T_X/T_Y = 8.$

Periode planet X = 8 tahun. Pengecoh 64 tahun muncul jika lupa mengakarkan.

13. Lv 4 · IGCSE · Isian · Kecepatan orbit · gaya IGCSE · 11-4-01

Sebuah satelit bergerak dalam orbit lingkaran berjari-jari 7.000 km dengan periode 98 menit. Hitung kelajuan orbit (*orbital speed*) satelit dalam km/s.

Jawaban: km/s

Kunci: 7,48 km/s

Pembahasan: Kelajuan orbit = keliling orbit $\div$ periode: $v = \frac{2\pi r}{T}$.

$$T = 98 \times 60 = 5880 \text{ s.}$$

$$v = \frac{2\pi \times 7000}{5880} \approx 7,48 \text{ km/s.}$$

14. Lv 4 · IGCSE · Pilihan ganda · Data planet · gaya IGCSE · 11-4-02

Tabel menunjukkan jari-jari orbit rata-rata dan periode empat planet.

Planet	Jari-jari orbit (juta km)	Periode (hari)
Merkurius	58	88
Venus	108	225
Bumi	150	365
Mars	228	687

Planet manakah yang memiliki kelajuan orbit **terbesar**?

- A. Merkurius
B. Venus
C. Bumi
D. Mars

Kunci: A

Pembahasan: Hitung $v = 2\pi r/T$ (juta km per hari): Merkurius $2\pi \times 58/88 \approx 4,1$; Venus $\approx 3,0$; Bumi $\approx 2,6$; Mars $\approx 2,1$.

Merkurius tercepat. Makin dekat ke Matahari, tarikan gravitasi makin kuat, sehingga planet harus bergerak makin cepat agar tidak jatuh ke Matahari.

15. Lv 4 · IGCSE · Uraian · Gerak melingkar satelit · gaya IGCSE · 11-4-03

Sebuah satelit bergerak dalam orbit lingkaran mengelilingi Bumi dengan kelajuan tetap.

- (a) Nyatakan gaya yang membuat satelit tetap berada di orbitnya dan arahnya. [2]
(b) Jelaskan mengapa satelit mengalami percepatan walaupun kelajuannya tetap. [2]

Kunci/rubrik: (a) Gaya gravitasi (tarikan) Bumi [1], arahnya menuju pusat Bumi / pusat orbit [1].

(b) Arah gerak (arah kecepatan) satelit terus berubah [1]; kecepatan adalah vektor, sehingga perubahan arah berarti perubahan kecepatan, yaitu ada percepatan, yang mengarah ke pusat orbit (percepatan sentripetal) [1].

Pembahasan: Kesalahan umum: menulis "gaya sentrifugal ke luar" atau "tidak ada gaya karena kelajuannya tetap". Satu-satunya gaya pada satelit adalah gravitasi, dan gaya itulah yang berperan sebagai gaya sentripetal.

16. Lv 4 • IGCSE • Isian • Berat di Mars • gaya IGCSE • 11-4-04

Berat sebuah robot penjelajah di Bumi adalah 1.960 N ($g = 9,8 \text{ N/kg}$). Kuat medan gravitasi di permukaan Mars 3,7 N/kg. Hitung berat robot di Mars.

Jawaban: N

Kunci: 740 N

Pembahasan: Massa robot: $m = W/g = 1960/9,8 = 200 \text{ kg}$ (massa sama di mana pun).
Berat di Mars: $W = mg = 200 \times 3,7 = 740 \text{ N}$.

Lv 5 • IB DP gaya IB Physics

17. Lv 5 • IB DP • Isian • Orbit geostasioner • gaya IB • 11-5-01

Hitung jari-jari orbit satelit geostasioner (diukur dari pusat Bumi) dalam km. Gunakan $GM_{\text{Bumi}} = 3,99 \times 10^{14} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$ dan periode rotasi Bumi 23,93 jam.

Jawaban: km

Kunci: 42.170 km

Pembahasan: $\frac{GMm}{r^2} = m\omega^2 r = m \frac{4\pi^2}{T^2} r \Rightarrow r^3 = \frac{GM T^2}{4\pi^2}$.

$T = 23,93 \times 3600 = 86.148 \text{ s}$.

$r^3 = \frac{3,99 \times 10^{14} \times (86.148)^2}{4\pi^2} = 7,50 \times 10^{22} \text{ m}^3$.

$r \approx 4,22 \times 10^7 \text{ m} \approx 42.170 \text{ km}$ (sekitar 35.800 km di atas permukaan).

18. Lv 5 • IB DP • Isian • Energi orbit • gaya IB • 11-5-02

Satelit bermassa 1.000 kg dipindahkan dari orbit lingkaran berjari-jari 7.000 km ke orbit lingkaran berjari-jari 14.000 km. Dengan $GM = 3,99 \times 10^{14} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$, hitung energi minimum yang diperlukan (dalam GJ).

Jawaban: GJ

Kunci: 14,25 GJ

Pembahasan: $\Delta E = E_2 - E_1 = \frac{GMm}{2} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$.

$= \frac{3,99 \times 10^{14} \times 1000}{2} \left(\frac{1}{7 \times 10^6} - \frac{1}{1,4 \times 10^7} \right) = 1,995 \times 10^{17} \times 7,14 \times 10^{-8}$.

$\Delta E \approx 1,43 \times 10^{10} \text{ J} \approx 14,3 \text{ GJ}$.

Perhatikan: energi potensialnya naik $2\Delta E$, sedangkan energi kinetiknya turun ΔE (orbit yang lebih tinggi lebih lambat).

Data empat bulan terbesar Jupiter:

Bulan	r (10^8 m)	T (hari)
Io	4,22	1,77
Europa	6,71	3,55
Ganymede	10,7	7,15
Callisto	18,8	16,7

- (a) Tunjukkan bahwa data ini sesuai dengan Hukum III Kepler.
 (b) Jelaskan bagaimana massa Jupiter dapat ditentukan dari grafik T^2 terhadap r^3 .
 (c) Hitung massa Jupiter dari data Io. ($G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2/\text{kg}^2$)

Kunci/rubrik: (a) Hitung T^2/r^3 (dengan T dalam sekon): Io $3,11 \times 10^{-16}$, Europa $3,11 \times 10^{-16}$, Ganymede $3,12 \times 10^{-16}$, Callisto $3,13 \times 10^{-16} \text{ s}^2/\text{m}^3$. Nilainya hampir sama (selisih $<1\%$), jadi $T^2 \propto r^3$.

(b) Dari $GMm/r^2 = m(4\pi^2/T^2)r$ diperoleh $T^2 = \frac{4\pi^2}{GM}r^3$. Grafik T^2 terhadap r^3 berupa garis lurus melalui titik asal dengan kemiringan $k = 4\pi^2/(GM)$, sehingga $M = 4\pi^2/(Gk)$.

(c) $T = 1,77 \times 86.400 = 1,529 \times 10^5 \text{ s}$. $M = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2} = \frac{39,48 \times (4,22 \times 10^8)^3}{6,67 \times 10^{-11} \times (1,529 \times 10^5)^2} \approx 1,9 \times 10^{27} \text{ kg}$.

Pembahasan: Memakai kemiringan grafik dari keempat titik lebih baik daripada satu titik saja, karena galat acak tiap pengukuran ikut dirata-ratakan. Massa Jupiter ± 318 kali massa Bumi.

Bumi dimodelkan sebagai bola homogen berjari-jari R . Bagaimana kuat medan gravitasi g berubah terhadap jarak r dari pusat Bumi?

- A. Tetap dari pusat sampai permukaan, lalu turun sebanding $1/r^2$
 B. Paling besar di pusat, lalu turun terus sebanding $1/r^2$
 C. Naik lurus dari nol di pusat sampai maksimum di permukaan, lalu turun sebanding $1/r^2$
 D. Naik lurus terus, makin jauh makin besar

Kunci: C

Pembahasan: Di dalam bola homogen hanya massa di bawah posisimu yang menarik: $M(r) = Mr^3/R^3$, jadi $g = GM(r)/r^2 = g_0 r/R$ (naik lurus). Di luar bola seluruh massa menarik, $g = GM/r^2$. Di pusat Bumi, tarikan dari segala arah saling meniadakan sehingga $g = 0$.

21. Lv 6 • Olimpiade • Pilihan ganda • Paradoks satelit • gaya olimpiade • 11-6-01

Satelit di orbit rendah mengalami hambatan udara yang sangat kecil, sehingga perlahan-lahan turun melalui orbit-orbit yang hampir lingkaran. Selama itu, kelajuan satelit...

- A. berkurang, karena hambatan udara melawan gerak
- B. bertambah
- C. tetap, karena hambatannya sangat kecil
- D. turun menjadi nol sebelum jatuh

Kunci: B

Pembahasan: Untuk orbit lingkaran $E_k = \frac{GMm}{2r}$ dan energi total $E = -\frac{GMm}{2r} = -E_k$.

Hambatan udara mengambil energi, sehingga E makin negatif dan r mengecil. Akibatnya $E_k = -E$ **bertambah**. Gravitasi melakukan usaha positif sebesar $2|\Delta E|$ saat satelit turun: separuhnya menambah energi kinetik, separuhnya hilang sebagai kalor oleh hambatan udara. Inilah "paradoks satelit": gaya hambat membuat satelit makin cepat.

22. Lv 6 • Olimpiade • Isian • Bintang ganda • gaya olimpiade • 11-6-02

Dua bintang bermassa sama, masing-masing 2×10^{30} kg, saling mengorbit dalam lingkaran mengelilingi pusat massanya. Jarak antara keduanya tetap 2×10^{11} m. Berapa periode orbitnya dalam tahun? ($G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2/\text{kg}^2$, 1 tahun = $3,156 \times 10^7$ s)

Jawaban: tahun

Kunci: 1,09 tahun

Pembahasan: Gaya tarik: $F = \frac{GM^2}{d^2}$. Tiap bintang bergerak melingkar dengan jari-jari $d/2$: $\frac{GM^2}{d^2} = M\omega^2 \frac{d}{2}$.

$\omega^2 = \frac{2GM}{d^3} = \frac{G(2M)}{d^3}$. Ini sama dengan Hukum III Kepler memakai massa total $2M$.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{d^3}{G \cdot 2M}} = 2\pi \sqrt{\frac{8 \times 10^{33}}{2,668 \times 10^{20}}} \approx 3,44 \times 10^7 \text{ s} \approx 1,09 \text{ tahun.}$$

23. Lv 6 • Olimpiade • Isian • Tembakan vertikal • gaya olimpiade • 11-6-03

Sebuah proyektil ditembakkan vertikal ke atas dari permukaan Bumi dengan kelajuan 8,0 km/s. Abaikan hambatan udara dan rotasi Bumi. Gunakan $R = 6,37 \times 10^6$ m dan $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ di permukaan. Berapa ketinggian maksimumnya (dalam km)?

Jawaban: km

Kunci: 6.700 km

Pembahasan: Kekekalan energi: $\frac{1}{2}v^2 - \frac{GM}{R} = -\frac{GM}{r}$, dengan $GM = gR^2 = 3,977 \times 10^{14} \text{ m}^3/\text{s}^2$.

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{R} - \frac{v^2}{2gR^2} = 1,570 \times 10^{-7} - 8,05 \times 10^{-8} = 7,65 \times 10^{-8} \text{ m}^{-1}.$$

$r \approx 1,307 \times 10^7$ m, sehingga $h = r - R \approx 6,70 \times 10^6 \text{ m} \approx 6.700 \text{ km}$.

Bandingkan dengan rumus dekat-permukaan $v^2/2g \approx 3.270 \text{ km}$: gravitasi yang melemah membuat proyektil naik dua kali lebih tinggi!

Bumi dimodelkan sebagai bola homogen bermassa jenis ρ dan jari-jari R .

(a) Tunjukkan bahwa di dalam Bumi, $g(r) = -\frac{4}{3}\pi G\rho r$, dengan r posisi dari pusat Bumi.

(b) Sebuah rongga berbentuk bola dibuat di dalam Bumi. Pusat rongga berada pada posisi d dari pusat Bumi. Tunjukkan bahwa medan gravitasi di dalam rongga **seragam** (sama di semua titik), lalu tentukan besar dan arahnya.

Kunci/rubrik: (a) Menurut teorema kulit, pada jarak r hanya massa di dalam bola berjari-jari r yang berpengaruh:

$$M(r) = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho. \text{ Maka } g = \frac{GM(r)}{r^2} = \frac{4}{3}\pi G\rho r, \text{ menuju pusat: } g = -\frac{4}{3}\pi G\rho r.$$

(b) Prinsip superposisi: Bumi berongga = Bumi penuh + bola "bermassa negatif" $-\rho$ di tempat rongga. Untuk titik r di dalam rongga: $g = -\frac{4}{3}\pi G\rho r + \frac{4}{3}\pi G\rho (r - d) = -\frac{4}{3}\pi G\rho d$.

Hasilnya tidak bergantung pada r , jadi seragam. Besarnya $\frac{4}{3}\pi G\rho d = g_0 d/R$, arahnya sejajar garis dari pusat rongga ke pusat Bumi.

Pembahasan: Trik "massa negatif" adalah alat ampuh olimpiade untuk benda berlubang. Akibat lucunya: benda yang dilepas di dalam rongga itu jatuh lurus dengan percepatan tetap, seperti di dekat permukaan Bumi, walaupun ia berada jauh di dalam Bumi.

Lv 1 • Pemula SD-SMP awal

1. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Elastisitas • 12-1-01

Karet ketapel ditarik, lalu dilepas, dan kembali ke bentuk semula. Sifat seperti ini disebut...

- | | |
|------------|-----------|
| A. plastis | C. getas |
| B. elastis | D. kental |

Kunci: B

Pembahasan: Benda yang kembali ke bentuk semula setelah gaya dihilangkan bersifat **elastis**. Benda plastis (misalnya plastisin) tetap berubah bentuk.

2. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Periode • 12-1-02

Sebuah ayunan bergerak bolak-balik 10 kali dalam 20 sekon. Periode ayunan itu adalah...

- | | |
|----------|----------|
| A. 0,5 s | C. 2 s |
| B. 10 s | D. 200 s |

Kunci: C

Pembahasan: Periode = waktu satu kali bolak-balik = $20 \text{ s} / 10 = 2 \text{ s}$. Frekuensinya $1/2 = 0,5 \text{ Hz}$ (pengecoh 0,5 s tertukar dengan frekuensi).

3. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Plastis • 12-1-03

Benda manakah yang bersifat **plastis** (tidak kembali ke bentuk semula setelah ditekan)?

- | | |
|------------------|-----------------------------|
| A. karet gelang | C. bola karet |
| B. per jok motor | D. plastisin (lilin mainan) |

Kunci: D

Pembahasan: Plastisin tetap penyok setelah ditekan, jadi bersifat plastis. Karet gelang, per, dan bola karet kembali ke bentuk semula (elastis).

4. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Redaman • 12-1-04

Setelah melewati polisi tidur, motor yang baik tidak terus berayun naik-turun. Getaran pegasnya...

- A. diredam oleh peredam (shock absorber)
- B. diperkuat oleh mesin
- C. dibuat beresonansi
- D. dibiarkan sampai berhenti sendiri berjam-jam

Kunci: A

Pembahasan: Shock absorber berisi per (pegas) dan peredam oli. Pegas menyerap guncangan, sedangkan peredam mengubah energi getaran menjadi kalor sehingga motor cepat kembali stabil.

Lv 2 • Penjelajah SMP (Fase D)

5. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Hukum Hooke • 12-2-01

Sebuah pegas dengan konstanta 200 N/m ditarik sehingga bertambah panjang 5 cm. Berapa gaya tariknya?

Jawaban: N

Kunci: 10 N**Pembahasan:** Ubah ke meter: 5 cm = 0,05 m.

$$F = kx = 200 \times 0,05 = 10 \text{ N.}$$

6. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Periode bandul • 12-2-02

Sebuah bandul memiliki panjang tali 2,5 m. Dengan $g = 10 \text{ m/s}^2$, berapa periodenya? (Gunakan $\pi = 3,14$.)

Jawaban: s

Kunci: 3,14 s

Pembahasan: $T = 2\pi\sqrt{L/g} = 2\pi\sqrt{2,5/10} = 2\pi \times 0,5 = \pi \approx 3,14 \text{ s.}$

7. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Frekuensi • 12-2-03

Setelah berlari, jantung Raka berdetak 120 kali dalam satu menit. Berapa frekuensi detak jantungnya dalam hertz?

Jawaban: Hz

Kunci: 2 Hz**Pembahasan:** Frekuensi = banyak getaran per sekon = $120/60 \text{ s} = 2 \text{ Hz}$. Periodenya $1/2 = 0,5 \text{ s}$ per detak.

8. Lv 2 • Penjelajah • Pilihan ganda • Grafik F-x • 12-2-04

Grafik gaya F terhadap pertambahan panjang x sebuah pegas berupa garis lurus melalui titik (0, 0) dan (0,04 m; 8 N). Konstanta pegasnya adalah...

A. 0,32 N/m

C. 2 N/m

B. 200 N/m

D. 320 N/m

Kunci: B**Pembahasan:** Konstanta pegas = kemiringan grafik F - x : $k = \frac{8 \text{ N}}{0,04 \text{ m}} = 200 \text{ N/m}$. Pengecoh 0,32 muncul jika F dikalikan x .**Lv 3 • Pejuang SMA • TKA/UTBK**

9. Lv 3 • Pejuang • Isian • Pegas seri • 12-3-01

Dua pegas identik, masing-masing $k = 300 \text{ N/m}$, disusun seri lalu digantungi beban 3 kg ($g = 10 \text{ m/s}^2$). Berapa sentimeter pertambahan panjang total susunan pegas?

Jawaban: cm

Kunci: 20 cm

Pembahasan: $k_s = \frac{300 \times 300}{300 + 300} = 150 \text{ N/m.}$

$$F = mg = 30 \text{ N.}$$

$$x = F/k_s = 30/150 = 0,20 \text{ m} = 20 \text{ cm. (Setiap pegas memanjang 10 cm.)}$$

10. Lv 3 • Pejuang • Isian • Modulus Young • 12-3-02

Kawat baja sepanjang 2 m dengan luas penampang 2 mm^2 ditarik gaya 400 N, sehingga bertambah panjang 2 mm. Berapa modulus Young baja tersebut dalam GPa?

Jawaban: GPa

Kunci: 200 GPa

Pembahasan: Tegangan: $\sigma = F/A = 400/(2 \times 10^{-6}) = 2 \times 10^8 \text{ Pa}$.

Regangan: $\varepsilon = \Delta L/L_0 = 2 \times 10^{-3}/2 = 10^{-3}$.

$E = \sigma/\varepsilon = 2 \times 10^{11} \text{ Pa} = 200 \text{ GPa}$.

11. Lv 3 • Pejuang • Isian • Kecepatan maksimum GHS • 12-3-03

Balok 0,5 kg di ujung pegas $k = 50 \text{ N/m}$ di lantai licin ditarik 10 cm dari titik setimbang lalu dilepas. Berapa kelajuan maksimum balok?

Jawaban: m/s

Kunci: 1 m/s

Pembahasan: $\omega = \sqrt{k/m} = \sqrt{50/0,5} = 10 \text{ rad/s}$.

$v_{\text{maks}} = \omega A = 10 \times 0,10 = 1,0 \text{ m/s}$.

Cek dengan energi: $\frac{1}{2}kA^2 = 0,25 \text{ J} = \frac{1}{2}mv^2 \Rightarrow v = 1 \text{ m/s}$. ✓

12. Lv 3 • Pejuang • Isian • Bandul detik • 12-3-04

Berapa panjang tali bandul sederhana agar periodenya tepat 2 s di tempat dengan $g = 9,8 \text{ m/s}^2$?

Jawaban: m

Kunci: 0,993 m

Pembahasan: $T^2 = 4\pi^2 L/g \Rightarrow L = \frac{gT^2}{4\pi^2} = \frac{9,8 \times 4}{39,48} \approx 0,993 \text{ m}$.

Bandul ini disebut "bandul detik" karena setiap ayunan satu arah memakan waktu 1 s.

Lv 4 • IGCSE gaya Cambridge IGCSE

13. Lv 4 • IGCSE • Pilihan ganda • Batas proporsionalitas • gaya IGCSE • 12-4-01

Seorang siswa menggantung beban pada pegas dan mencatat pertambahan panjangnya (*extension*).

Beban (N)	0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
Pertambahan panjang (cm)	0	2,0	4,0	6,0	8,1	11,5	16,0

Sampai beban berapa hukum Hooke masih berlaku (batas proporsionalitas)?

A. 2,0 N

C. 5,0 N

B. sekitar 4,0 N

D. 6,0 N

Kunci: B

Pembahasan: Sampai 4,0 N, setiap tambahan 1 N menambah $\pm 2 \text{ cm}$ (sebanding). Setelah itu tambahan panjangnya membesar (3,4 cm lalu 4,5 cm), sehingga grafik melengkung. Batas proporsionalitas berada sekitar 4 N.

14. Lv 4 • IGCSE • Isian • Konstanta pegas dari data • gaya IGCSE • 12-4-02

Data percobaan pegas:

Gaya (N)	0	2,0	4,0	6,0
Pertambahan panjang (cm)	0	2,5	5,0	7,5

Hitung konstanta pegas (*spring constant*) dalam N/m.

Jawaban: N/m

Kunci: 80 N/m

Pembahasan: Grafiknya lurus melalui titik asal, jadi $k = F/x$ untuk titik mana pun.

$$k = \frac{6,0 \text{ N}}{0,075 \text{ m}} = 80 \text{ N/m. (Hati-hati: 7,5 cm = 0,075 m.)}$$

15. Lv 4 • IGCSE • Uraian • Resonansi • gaya IGCSE • 12-4-03

Raka mendorong adiknya di ayunan. Dorongannya kecil, tetapi ayunan naik makin tinggi.

(a) Nyatakan nama peristiwa ini. [1]

(b) Jelaskan, dengan istilah frekuensi dan energi, mengapa ayunan makin tinggi. [2]

(c) Berikan satu contoh peristiwa ini yang merugikan dan satu cara mengatasinya. [1]

Kunci/rubrik: (a) Resonansi. [1]

(b) Raka mendorong dengan frekuensi yang sama dengan frekuensi alami ayunan [1]; setiap dorongan datang tepat saat ayunan bergerak searah dorongan sehingga energi terus bertambah (lebih besar daripada energi yang hilang karena gesekan), jadi amplitudonya membesar [1].

(c) Contoh: jembatan yang bergoyang karena langkah pejalan kaki atau barisan tentara; gedung yang bergetar hebat saat gempa. Cara: memasang peredam, mengubah kekakuan/massa agar frekuensi alaminya berbeda, atau pasukan tidak berbaris seirama di jembatan. [1]

Pembahasan: Kata kunci untuk nilai penuh: "frekuensi dorongan = frekuensi alami" dan "energi bertambah / amplitudo membesar". Menjawab "karena didorong makin kuat" tidak mendapat nilai, karena dorongannya tetap kecil.

16. Lv 4 • IGCSE • Isian • Hukum Hooke • gaya IGCSE • 12-4-04

Sebuah pegas bertambah panjang 4,0 cm ketika diberi beban 2,0 N. Hitung pertambahan panjangnya jika bebannya 5,0 N (batas proporsionalitas belum terlampaui).

Jawaban: cm

Kunci: 10 cm

Pembahasan: Pertambahan panjang sebanding dengan beban: $x = 4,0 \times \frac{5,0}{2,0} = 10 \text{ cm.}$

17. Lv 5 · IB DP · Isian · Energi GHS · gaya IB · 12-5-01

Sebuah benda bermassa 0,20 kg bergetar harmonik sederhana dengan amplitudo 0,050 m dan periode 0,40 s. Hitung energi total getarannya dalam mJ.

Jawaban: mJ

Kunci: 61,7 mJ

Pembahasan: $\omega = 2\pi/T = 2\pi/0,40 = 15,7 \text{ rad/s.}$

$$E = \frac{1}{2}m\omega^2 A^2 = \frac{1}{2} \times 0,20 \times 15,7^2 \times 0,050^2 \approx 0,0617 \text{ J} = 61,7 \text{ mJ}.$$

18. Lv 5 · IB DP · Pilihan ganda · Grafik a-x · gaya IB · 12-5-02

Grafik percepatan a terhadap simpangan x untuk sebuah benda yang bergetar adalah garis lurus melalui titik asal dengan kemiringan -25 s^{-2} . Periode getarannya adalah...

- A. 0,25 s
B. 5,0 s
C. 0,040 s
D. 1,26 s

Kunci: D

Pembahasan: Untuk GHS $a = -\omega^2 x$, jadi kemiringan $= -\omega^2 = -25$, sehingga $\omega = 5$ rad/s.

$T = 2\pi/\omega = 2\pi/5 \approx 1,26$ s. Garis lurus melalui titik asal dengan kemiringan negatif adalah "sidik jari" GHS.

19. Lv 5 · IB DP · Uraian · Eksperimen bandul · gaya IB · 12-5-03

Sari mengukur periode bandul untuk beberapa panjang tali. Untuk tiap panjang, ia mengukur waktu 10 ayunan lalu membaginya dengan 10.

L (m)	0,40	0,60	0,80	1,00
T (s)	1,27	1,55	1,79	2,01

- Jelaskan mengapa Sari mengukur waktu 10 ayunan, bukan 1 ayunan.
- Jelaskan mengapa grafik T^2 terhadap L dipakai, lalu tentukan g dari kemiringannya.
- Sari ternyata mengukur L hanya sampai bagian atas beban, bukan ke pusatnya. Jelaskan pengaruhnya pada grafik dan pada nilai g .

Kunci/rubrik: (a) Galat waktu reaksi saat menekan stopwatch ($\pm 0,2$ s) terjadi sekali di awal dan akhir; jika dibagi 10, galat pada T menjadi 10 kali lebih kecil.

(b) $T^2 = \frac{4\pi^2}{g}L$, jadi grafik T^2 - L berupa garis lurus melalui titik asal dengan kemiringan $4\pi^2/g$. T^2 : 1,61; 2,40; 3,20; 4,04 s². Kemiringan $\approx (4,04 - 1,61)/(1,00 - 0,40) \approx 4,05$ s²/m, sehingga $g = 4\pi^2/4,05 \approx 9,8$ m/s².

(c) Setiap L yang diukur lebih pendek sebesar r (jari-jari beban), sehingga $T^2 = \frac{4\pi^2}{g}(L_{\text{ukur}} + r)$. Garisnya bergeser (memotong sumbu T^2 di nilai positif), tetapi **kemiringannya tidak berubah**, jadi nilai g dari kemiringan tetap benar. Ini galat sistematis yang "dihapus" oleh metode grafik.

Pembahasan: Kekuatan metode grafik: galat sistematis yang menggeser semua data sama besar hanya mengubah perpotongan, bukan kemiringan. Dengan regresi keempat titik, kemiringannya $\pm 4,04 \text{ s}^2/\text{m}$ dan $q \approx 9,77 \text{ m/s}^2$.

Sebatang rel baja dijepit pada kedua ujungnya sehingga tidak bisa memuai. Suhunya naik $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Koefisien muai panjang baja $1,2 \times 10^{-5}\text{ K}^{-1}$ dan modulus Young-nya 200 GPa . Hitung tegangan termal pada rel dalam MPa.

Jawaban: MPa

Kunci: 60 MPa

Pembahasan: Regangan yang dicegah: $\varepsilon = \alpha \Delta T = 1,2 \times 10^{-5} \times 25 = 3,0 \times 10^{-4}$.

Tegangan: $\sigma = E\varepsilon = 200 \times 10^9 \times 3,0 \times 10^{-4} = 6,0 \times 10^7\text{ Pa} = 60\text{ MPa}$.

Hasilnya tidak bergantung pada panjang rel. Tegangan sebesar ini bisa membengkokkan rel, sehingga rel perlu celah muai atau pemasangan khusus.

Lv 6 • Olimpiade gaya OSN/IPhO

Terowongan lurus dan licin digali menembus pusat Bumi (dianggap bola homogen, $R = 6,37 \times 10^6\text{ m}$, $g = 9,8\text{ m/s}^2$ di permukaan, tanpa udara). Sebuah bola dilepas dari mulut terowongan. Berapa menit waktu yang dibutuhkan bola untuk tiba di mulut terowongan di sisi lain Bumi?

Jawaban: menit

Kunci: 42,2 menit

Pembahasan: Gaya pada bola: $F = -\frac{mg}{R}r$, bentuk $F = -kx$ dengan $k = mg/R$. Jadi bola bergetar harmonik dengan $\omega = \sqrt{g/R}$.

$T = 2\pi\sqrt{R/g} = 2\pi\sqrt{6,37 \times 10^6/9,8} \approx 5066\text{ s}$.

Satu kali jalan = $T/2 \approx 2533\text{ s} \approx 42,2\text{ menit}$. Menariknya, waktunya sama untuk terowongan lurus mana pun (tidak harus lewat pusat).

Pipa U berpenampang seragam berisi air dengan panjang total kolom air $0,50\text{ m}$. Permukaan air di satu kaki ditekan sedikit lalu dilepas. Abaikan gesekan. Berapa periode osilasi air? ($g = 9,8\text{ m/s}^2$)

Jawaban: s

Kunci: 1 s

Pembahasan: Jika permukaan bergeser x , selisih tinggi $2x$ menghasilkan gaya pemulih $F = -\rho g A(2x)$ pada seluruh massa air $m = \rho AL$.

$\rho AL \ddot{x} = -2\rho g A x \Rightarrow \omega^2 = 2g/L$.

$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{2g}} = 2\pi\sqrt{\frac{0,50}{19,6}} \approx 1,00\text{ s}$.

Sebuah balok kayu (massa jenis 600 kg/m^3) setinggi 20 cm mengapung tegak di air (1000 kg/m^3). Balok ditekan sedikit lalu dilepas. Abaikan gesekan air dan massa air yang ikut bergerak. Berapa periode naik-turunnya? ($g = 9,8 \text{ m/s}^2$)

Jawaban: s

Kunci: 0,695 s

Pembahasan: Saat setimbang, kedalaman tercelup $d = \frac{\rho_k}{\rho_a} h = 0,6 \times 0,20 = 0,12 \text{ m}$.

Jika ditekan tambahan y , gaya apung bertambah $\rho_a g A y$; gaya pemulih dengan $k = \rho_a g A$. Massa balok $m = \rho_a A d$.
 $T = 2\pi \sqrt{m/k} = 2\pi \sqrt{d/g} = 2\pi \sqrt{0,12/9,8} \approx 0,695 \text{ s}$.

Hasil cantik: periodenya sama dengan bandul sepanjang kedalaman tercelup.

Sebatang tongkat homogen sepanjang L diayun pada salah satu ujungnya (sudut kecil).

(a) Tunjukkan bahwa periodenya $T = 2\pi \sqrt{\frac{2L}{3g}}$.

(b) Berapa panjang bandul sederhana yang periodenya sama?

(c) Tongkat dipindah sehingga diayun pada titik lain di sepanjang tongkat. Tentukan titik-titik gantung yang memberi periode sama dengan (a).

Kunci/rubrik: (a) Bandul fisis: $T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{mgd}}$ dengan $I = \frac{1}{3}mL^2$ terhadap ujung dan $d = L/2$. Maka $T =$

$$2\pi \sqrt{\frac{mL^2/3}{mgL/2}} = 2\pi \sqrt{\frac{2L}{3g}}.$$

(b) $L_{\text{setara}} = \frac{2}{3}L$.

(c) Untuk titik gantung berjarak d dari pusat massa: $I = m(L^2/12 + d^2)$, sehingga $T = 2\pi \sqrt{\frac{d + L^2/(12d)}{g}}$.

Samakan $d + \frac{L^2}{12d} = \frac{2L}{3}$: $d^2 - \frac{2L}{3}d + \frac{L^2}{12} = 0$, sehingga $d = \frac{L}{2}$ atau $d = \frac{L}{6}$. Jadi titik gantung bisa di kedua ujung ($d = L/2$) atau di titik-titik yang berjarak $L/6$ dari pusat (yaitu $L/3$ dan $2L/3$ dari salah satu ujung).

Pembahasan: Titik berjarak $2L/3$ dari ujung gantung disebut **pusat osilasi**. Menggantung tongkat di pusat osilasi memberi periode yang sama: sifat timbal balik ini dipakai pada *bandul Kater* untuk mengukur g dengan sangat teliti tanpa perlu mengetahui letak pusat massa.

Lv 1 • Pemula SD-SMP awal

1. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Tekanan • 13-1-01

Pisau yang tajam lebih mudah memotong sayur daripada pisau yang tumpul. Alasannya adalah...

- A. pisau tajam lebih berat
- B. bidang tekan pisau tajam sangat kecil sehingga tekanannya besar
- C. pisau tajam terbuat dari besi yang lebih kuat
- D. tekanan udara membantu pisau tajam

Kunci: B

Pembahasan: Tekanan $P = F/A$. Dengan gaya yang sama, mata pisau tajam yang luasnya sangat kecil menghasilkan tekanan yang sangat besar sehingga mudah memotong.

2. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Tekanan hidrostatik • 13-1-02

Dinding bendungan dibuat lebih tebal di bagian bawah daripada di bagian atas karena...

- A. tekanan air makin besar di tempat yang makin dalam
- B. air di bagian bawah lebih dingin
- C. agar bendungan terlihat lebih indah
- D. air di permukaan lebih berat

Kunci: A

Pembahasan: Tekanan hidrostatik $P = \rho gh$ bertambah dengan kedalaman. Bagian bawah bendungan menahan tekanan paling besar, jadi harus paling tebal.

3. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Mengapung • 13-1-03

Kapal yang terbuat dari baja dapat mengapung di laut karena...

- A. baja lebih ringan daripada air
- B. kapal selalu didorong angin
- C. massa jenis rata-rata kapal (baja dan udara di dalamnya) lebih kecil daripada air laut
- D. mesin kapal mendorong kapal ke atas

Kunci: C

Pembahasan: Lambung kapal berongga dan berisi udara. Massa jenis rata-rata seluruh kapal lebih kecil daripada air laut, sehingga gaya apung dapat mengimbangi beratnya. Baja pejal sendiri tenggelam.

4. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Kapilaritas • 13-1-04

Ujung tisu dicelupkan ke dalam teh, lalu teh merambat naik di tisu. Peristiwa ini disebut...

- A. konveksi
- B. resonansi
- C. hukum Pascal
- D. kapilaritas

Kunci: D

Pembahasan: Kapilaritas: zat cair naik (atau turun) di celah atau pipa yang sangat sempit karena tarik-menarik antara zat cair dan dinding (adhesi).

5. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Tekanan • 13-2-01

Kardus seberat 600 N diletakkan di lantai. Alasnya berukuran 0,5 m × 0,4 m. Berapa tekanan kardus pada lantai?

Jawaban: Pa

Kunci: 3.000 Pa

Pembahasan: $A = 0,5 \times 0,4 = 0,2 \text{ m}^2$.

$P = F/A = 600/0,2 = 3000 \text{ Pa}$.

6. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Tekanan hidrostatik • 13-2-02

Berapa tekanan hidrostatik di dasar kolam renang sedalam 5 m? ($\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$, $g = 10 \text{ m/s}^2$)

Jawaban: Pa

Kunci: 50.000 Pa

Pembahasan: $P_h = \rho gh = 1000 \times 10 \times 5 = 50.000 \text{ Pa} = 50 \text{ kPa}$.

7. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Hukum Pascal • 13-2-03

Sebuah dongkrak hidrolik memiliki luas piston kecil 10 cm² dan luas piston besar 500 cm². Berapa gaya minimum pada piston kecil untuk mengangkat mobil seberat 10.000 N?

Jawaban: N

Kunci: 200 N

Pembahasan: Hukum Pascal: $\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$.

$F_1 = F_2 \frac{A_1}{A_2} = 10.000 \times \frac{10}{500} = 200 \text{ N}$. Satuan luas tidak perlu diubah karena yang dipakai perbandingannya.

8. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Gaya apung • 13-2-04

Sebuah batu bervolume 0,002 m³ tercelup seluruhnya di dalam air ($\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$, $g = 10 \text{ m/s}^2$). Berapa gaya apung pada batu?

Jawaban: N

Kunci: 20 N

Pembahasan: $F_A = \rho_f V g = 1000 \times 0,002 \times 10 = 20 \text{ N}$. Itu sama dengan berat 2 liter air yang didesak batu.

9. Lv 3 • Pejuang • Isian • Tekanan total • 13-3-01

Seorang penyelam Bajau berada 20 m di bawah permukaan laut ($\rho = 1025 \text{ kg/m}^3$, $g = 9,8 \text{ m/s}^2$). Tekanan udara di permukaan 101 kPa. Berapa tekanan total yang dialami penyelam, dalam kPa?

Jawaban: kPa

Kunci: 301,9 kPa

Pembahasan: $P_h = \rho gh = 1025 \times 9,8 \times 20 = 200.900 \text{ Pa} \approx 200,9 \text{ kPa}$.

$P = P_0 + P_h = 101 + 200,9 = 301,9 \text{ kPa}$, hampir 3 kali tekanan di permukaan.

10. Lv 3 • Pejuang • Isian • Massa jenis dari gaya apung • 13-3-02

Sebuah batu beratnya 30 N di udara dan 20 N saat tercelup seluruhnya di dalam air ($\rho_{\text{air}} = 1000 \text{ kg/m}^3$). Berapa massa jenis batu?

Jawaban: kg/m^3

Kunci: 3.000 kg/m^3

Pembahasan: Gaya apung: $F_A = 30 - 20 = 10 \text{ N}$.

$$\frac{W}{F_A} = \frac{\rho_b V g}{\rho_{\text{air}} V g} = \frac{\rho_b}{\rho_{\text{air}}}, \text{ sehingga } \rho_b = 1000 \times \frac{30}{10} = 3000 \text{ kg/m}^3.$$

11. Lv 3 • Pejuang • Isian • Gunung es • 13-3-03

Sebuah es ($\rho = 920 \text{ kg/m}^3$) mengapung di air laut ($\rho = 1030 \text{ kg/m}^3$). Berapa persen volume es yang berada **di atas** permukaan air?

Jawaban: %

Kunci: 10,7 %

Pembahasan: Bagian tercelup: $920/1030 = 0,893 = 89,3\%$.

Bagian di atas air: $100\% - 89,3\% \approx 10,7\%$. Itulah "puncak gunung es": hampir 90% tersembunyi di bawah air.

12. Lv 3 • Pejuang • Isian • Pipa U • 13-3-04

Pipa U mula-mula berisi air. Pada salah satu kakinya dituangkan minyak ($\rho = 800 \text{ kg/m}^3$) setinggi 10 cm. Air dan minyak tidak bercampur. Berapa selisih tinggi permukaan minyak dan permukaan air (dalam cm)?

Jawaban: cm

Kunci: 2 cm

Pembahasan: Di bidang batas minyak-air: $\rho_m g h_m = \rho_a g h_a$.

$$h_a = \frac{800 \times 10}{1000} = 8 \text{ cm di atas batas, sedangkan minyak setinggi 10 cm.}$$

Selisih tinggi permukaan: $10 - 8 = 2 \text{ cm}$ (permukaan minyak lebih tinggi).

Lv 4 • IGCSE gaya Cambridge IGCSE

13. Lv 4 • IGCSE • Isian • Manometer • gaya IGCSE • 13-4-01

Sebuah manometer berisi air dihubungkan ke pipa gas. Permukaan air di kaki yang terbuka berada 15 cm lebih tinggi daripada di kaki yang terhubung ke gas. Hitung selisih tekanan gas terhadap tekanan udara luar ($\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$, $g = 9,8 \text{ N/kg}$).

Jawaban: Pa

Kunci: 1.470 Pa

Pembahasan: Selisih tekanan = tekanan kolom air setinggi Δh : $\Delta P = \rho g \Delta h = 1000 \times 9,8 \times 0,15 = 1470 \text{ Pa}$.

Tekanan gas lebih besar daripada tekanan udara luar sebesar 1.470 Pa.

Tabel menunjukkan massa dan volume empat benda.

Benda	Massa (g)	Volume (cm ³)
A	120	150
B	300	250
C	50	40
D	90	100

Benda manakah yang **mengapung di air** (1,00 g/cm³) tetapi **tenggelam di minyak** (0,85 g/cm³)?

- A. A C. C
B. B D. D

Kunci: D

Pembahasan: Hitung massa jenis $\rho = m/V$: A = 0,80; B = 1,20; C = 1,25; D = 0,90 g/cm³.

Mengapung di air butuh $\rho < 1,00$ (A dan D). Tenggelam di minyak butuh $\rho > 0,85$ (B, C, D). Yang memenuhi keduanya hanya D. Benda A mengapung di keduanya.

Rem cakram motor bekerja dengan minyak rem di dalam selang tertutup.

- (a) Jelaskan bagaimana gaya kecil pada tuas rem menghasilkan gaya besar pada kampas rem. [2]
(b) Jelaskan mengapa rem menjadi tidak berfungsi baik ("blong") jika ada gelembung udara di dalam selang. [2]

Kunci/rubrik: (a) Tekanan yang diberikan pada minyak di piston kecil (master) diteruskan sama besar ke seluruh minyak (hukum Pascal) [1]; piston di kaliper luasnya lebih besar, sehingga gaya $F = PA$ pada kampas lebih besar [1].

(b) Udara (gas) mudah dimampatkan, sedangkan zat cair hampir tidak [1]; saat tuas ditekan, sebagian besar gerakan hanya memampatkan gelembung udara sehingga tekanan tidak diteruskan dengan baik ke kaliper dan gaya pengereman kecil [1].

Pembahasan: Kata kunci: "tekanan diteruskan sama besar", "luas lebih besar → gaya lebih besar", dan "gas mudah dimampatkan". Karena itu bengkel melakukan "buang angin" (bleeding) pada sistem rem.

Barometer raksa di sebuah kota pegunungan menunjukkan tinggi kolom 68 cm. Hitung tekanan udara di kota itu dalam kPa ($\rho_{\text{raksa}} = 13.600 \text{ kg/m}^3$, $g = 9,8 \text{ N/kg}$).

Jawaban: kPa

Kunci: 90,6 kPa

Pembahasan: $P = \rho gh = 13.600 \times 9,8 \times 0,68 \approx 90.600 \text{ Pa} \approx 90,6 \text{ kPa}$, lebih kecil daripada di pantai ($\pm 101 \text{ kPa}$) karena udara di atas kota itu lebih sedikit.

17. Lv 5 • IB DP • Isian • Fluida dalam lift • gaya IB • 13-5-01

Sebuah ember berisi air setinggi 30 cm berada di dalam lift yang dipercepat ke atas $2,0 \text{ m/s}^2$. Hitung tekanan hidrostatis di dasar ember (abaikan tekanan udara). ($\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$)

Jawaban: Pa

Kunci: 3.543 Pa

Pembahasan: Kolom air setinggi h dengan luas A harus didorong dasar ember dengan gaya PA agar dipercepat ke atas: $PA - mg = ma$, dengan $m = \rho Ah$.

$P = \rho(g + a)h = 1000 \times 11,81 \times 0,30 \approx 3543 \text{ Pa}$ (lebih besar daripada 2.943 Pa saat lift diam).

18. Lv 5 • IB DP • Uraian • Mahkota Archimedes • gaya IB • 13-5-02

Sebuah mahkota ditimbang dengan neraca pegas: berat di udara ($25,0 \pm 0,1$) N dan berat saat tercelup penuh di air ($23,4 \pm 0,1$) N. $\rho_{\text{air}} = 1000 \text{ kg/m}^3$.

(a) Hitung gaya apung dan ketidakpastian absolutnya.

(b) Hitung massa jenis mahkota beserta ketidakpastiannya.

(c) Massa jenis emas 19.300 kg/m^3 . Apakah data ini cukup untuk menyimpulkan bahwa mahkota bukan emas murni? Jelaskan, lalu sarankan satu cara memperkecil ketidakpastian.

Kunci/rubrik: (a) $F_A = 25,0 - 23,4 = 1,6 \text{ N}$. Untuk selisih, ketidakpastian absolut dijumlahkan: $\pm 0,2 \text{ N}$. Jadi $F_A = (1,6 \pm 0,2) \text{ N}$.

(b) $\rho = \rho_{\text{air}} \frac{W}{F_A} = 1000 \times \frac{25,0}{1,6} \approx 15.600 \text{ kg/m}^3$. Ketidakpastian relatif: $0,1/25,0 = 0,4\%$ ditambah $0,2/1,6 = 12,5\%$, total $\pm 12,9\%$. Jadi $\rho = (1,6 \pm 0,2) \times 10^4 \text{ kg/m}^3$.

(c) Rentang hasilnya ± 13.600 – 17.600 kg/m^3 , tidak mencakup 19.300 kg/m^3 , jadi data mendukung bahwa mahkota bukan emas murni. Cara memperkecil ketidakpastian: memakai neraca yang lebih teliti, mengulang pengukuran, atau memakai fluida yang lebih rapat agar gaya apung (selisih yang kecil) menjadi lebih besar.

Pembahasan: Pelajaran penting: selisih dua angka yang hampir sama ($25,0$ dan $23,4$) memiliki ketidakpastian relatif besar. Inilah sumber ketidakpastian terbesar dalam eksperimen ini.

19. Lv 5 • IB DP • Isian • Kenaikan kapiler • gaya IB • 13-5-03

Tabung kapiler berjari-jari dalam $0,25 \text{ mm}$ dicelupkan tegak ke dalam air. Tegangan permukaan air $0,072 \text{ N/m}$, sudut kontak 0° , $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$, dan $g = 9,81 \text{ m/s}^2$. Berapa sentimeter air naik di dalam tabung?

Jawaban: cm

Kunci: 5,87 cm

Pembahasan: $2\pi r \gamma \cos \theta = \rho \pi r^2 h g \Rightarrow h = \frac{2\gamma \cos \theta}{\rho g r}$.

$h = \frac{2 \times 0,072}{1000 \times 9,81 \times 2,5 \times 10^{-4}} \approx 0,0587 \text{ m} \approx 5,87 \text{ cm}$.

Grafik tekanan total P terhadap kedalaman h di sebuah danau berupa garis lurus dengan kemiringan 9,8 kPa/m dan memotong sumbu P di 100 kPa ($g = 9,8 \text{ m/s}^2$). Kesimpulan yang benar adalah...

- A. massa jenis air danau 1.000 kg/m³ dan tekanan udara di permukaan 100 kPa
- B. massa jenis air danau 9.800 kg/m³
- C. tekanan di permukaan danau nol
- D. massa jenis air danau 100 kg/m³

Kunci: A

Pembahasan: $P = P_0 + \rho gh$: kemiringan = ρg dan perpotongan = P_0 .

$$\rho = \frac{9800 \text{ Pa/m}}{9,8 \text{ m/s}^2} = 1000 \text{ kg/m}^3 \text{ dan } P_0 = 100 \text{ kPa. (Hati-hati mengubah kPa ke Pa.)}$$

Lv 6 • Olimpiade gaya OSN/IPhO

Dinding bendungan tegak dan lebarnya 100 m. Air di belakangnya sedalam 40 m ($\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$, $g = 9,8 \text{ m/s}^2$). Abaikan tekanan udara (bekerja di kedua sisi). Berapa gaya total air pada dinding, dalam MN?

Jawaban: MN

Kunci: 784 MN

Pembahasan: Pita setebal dy pada kedalaman y menerima gaya $dF = \rho gy \cdot w \, dy$.

$$F = \int_0^H \rho g w y \, dy = \frac{1}{2} \rho g w H^2 = \frac{1}{2} \times 1000 \times 9,8 \times 100 \times 40^2 = 7,84 \times 10^8 \text{ N} = 784 \text{ MN.}$$

Cara cepat: gaya = tekanan rata-rata ($\rho g H/2$) $\times$ luas (wH). Gaya ini bekerja pada ketinggian $H/3$ dari dasar, itulah sebabnya dasar bendungan dibuat paling tebal.

Raka duduk di perahu kecil yang mengapung di kolam tertutup, sambil memangku batu besar. Ia melempar batu itu ke kolam dan batu tenggelam ke dasar. Permukaan air kolam akan...

- A. naik
- B. turun
- C. tetap
- D. naik atau turun tergantung luas kolam

Kunci: B

Pembahasan: Saat batu di perahu, batu ikut mengapung: ia mendesak air seberat dirinya, yaitu volume $V \rho_b / \rho_a$.

Saat batu di dasar kolam, ia hanya mendesak air sebesar volumenya sendiri, V .

Karena $\rho_b > \rho_a$, volume yang didesak berkurang, sehingga permukaan air **turun**. Teka-teki terkenal ini bahkan pernah membuat beberapa fisikawan hebat salah menjawab!

Gelembung sabun berjari-jari 2,0 cm. Tegangan permukaan larutan sabun 0,025 N/m. Berapa selisih tekanan udara di dalam dan di luar gelembung?

Jawaban: Pa

Kunci: 5 Pa

Pembahasan: Untuk satu permukaan lengkung, $\Delta P = 2\gamma/r$. Gelembung sabun punya dua permukaan, jadi $\Delta P = \frac{4\gamma}{r} = \frac{4 \times 0,025}{0,020} = 5 \text{ Pa}$.

Kecil sekali dibandingkan tekanan udara ($\pm 101.000 \text{ Pa}$), tetapi cukup untuk membuat gelembung kecil "meniup" gelembung besar jika keduanya dihubungkan.

Kubus kayu bersisi a dan bermassa jenis ρ_k mengapung tegak di air bermassa jenis ρ_a ($\rho_k < \rho_a$). Kolamnya sangat luas sehingga permukaan air dianggap tidak naik.

(a) Tentukan kedalaman bagian yang tercelup, d .

(b) Tentukan usaha minimum untuk menekan kubus perlahan-lahan sampai tepat tenggelam seluruhnya.

(c) Jika kubus ditekan sedikit lalu dilepas, tentukan periode osilasinya (abaikan gesekan dan massa air yang ikut bergerak).

Kunci/rubrik: (a) $\rho_a a^2 d g = \rho_k a^3 g \Rightarrow d = \frac{\rho_k}{\rho_a} a$.

(b) Jika kubus ditekan tambahan y , gaya apung bertambah $\rho_a g a^2 y$, jadi gaya tekan yang diperlukan $F(y) = \rho_a g a^2 y$. Usaha dari $y = 0$ sampai $y = a - d$: $W = \int_0^{a-d} \rho_a g a^2 y \, dy = \frac{1}{2} \rho_a g a^2 (a - d)^2$.

(c) Gaya pemulih $-\rho_a g a^2 y$ berbentuk $-ky$ dengan $k = \rho_a g a^2$ dan massa $m = \rho_k a^3$. $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} = 2\pi \sqrt{\frac{\rho_k a}{\rho_a g}} = 2\pi \sqrt{\frac{d}{g}}$.

Pembahasan: Bagian (b) persis seperti menekan pegas: $W = \frac{1}{2} k x^2$ dengan $k = \rho_a g a^2$. Bagian (c) menghubungkan bab ini dengan getaran harmonik di Bab 12: air berperan sebagai "pegas".

Lv 1 • Pemula SD-SMP awal

1. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Pengertian fluida • 14-1-01

Pasangan zat berikut yang keduanya termasuk **fluida** adalah...

- | | |
|------------------|----------------------|
| A. batu dan kayu | C. besi dan kaca |
| B. air dan udara | D. plastik dan karet |

Kunci: B

Pembahasan: Fluida adalah zat yang dapat mengalir, yaitu zat cair dan gas. Air (cair) dan udara (gas) sama-sama dapat mengalir, sedangkan batu, kayu, besi, kaca, plastik, dan karet adalah zat padat.

2. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Debit • 14-1-02

Debit air keran 0,2 L/s artinya...

- A. air keran bersuhu 0,2 derajat
- B. air keran setinggi 0,2 meter
- C. air keran bermassa 0,2 kg
- D. setiap detik mengalir 0,2 liter air

Kunci: D

Pembahasan: Debit adalah volume fluida yang mengalir tiap satuan waktu. 0,2 L/s berarti setiap detik ada 0,2 liter air yang keluar, sehingga ember 10 L penuh dalam $10 \div 0,2 = 50$ detik.

3. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Kontinuitas • 14-1-03

Saat ujung selang ditutup sebagian dengan jempol, air memancar lebih jauh. Penyebabnya adalah...

- A. kelajuan air bertambah karena lubangnya mengecil
- B. air menjadi lebih ringan
- C. jempol menambah jumlah air dari keran
- D. udara di luar selang menarik air

Kunci: A

Pembahasan: Air yang lewat tiap detik kira-kira tetap. Agar volume yang sama bisa keluar dari lubang yang lebih kecil, air harus melaju lebih cepat ($A_1 v_1 = A_2 v_2$). Air yang lebih cepat terlempar lebih jauh.

4. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Gaya angkat • 14-1-04

Gaya yang membuat layangan dan sayap pesawat terdorong ke atas oleh aliran udara disebut...

- | | |
|---------------|----------------|
| A. gaya gesek | C. gaya angkat |
| B. gaya apung | D. gaya pegas |

Kunci: C

Pembahasan: Gaya angkat (*lift*) muncul karena layangan atau sayap yang miring membelokkan aliran udara ke bawah, sehingga udara mendorongnya ke atas. Gaya apung (Archimedes) berbeda: ia muncul karena benda tercelup dalam fluida, dan untuk pesawat nilainya sangat kecil.

5. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Debit • 14-2-01

Sebuah ember 15 liter penuh dalam 1 menit di bawah keran. Berapa debit keran dalam L/s?

Jawaban: L/s

Kunci: 0,25 L/s

Pembahasan: $Q = \frac{V}{t} = \frac{15 \text{ L}}{60 \text{ s}} = 0,25 \text{ L/s}$.

6. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Kontinuitas • 14-2-02

Air mengalir dalam pipa berpenampang 8 cm^2 dengan kelajuan 2 m/s . Pipa kemudian menyempit menjadi 2 cm^2 . Berapa kelajuan air di bagian sempit?

Jawaban: m/s

Kunci: 8 m/s

Pembahasan: Kontinuitas: $A_1 v_1 = A_2 v_2$.

$$v_2 = \frac{A_1 v_1}{A_2} = \frac{8 \times 2}{2} = 8 \text{ m/s}.$$

Luasnya menjadi $\frac{1}{4}$, kelajuannya menjadi 4 kali.

7. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Torricelli • 14-2-03

Sebuah drum air bocor pada lubang kecil yang berada 45 cm di bawah permukaan air. Dengan $g = 10 \text{ m/s}^2$, berapa kelajuan air yang memancar dari lubang?

Jawaban: m/s

Kunci: 3 m/s

Pembahasan: $v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \times 10 \times 0,45} = \sqrt{9} = 3 \text{ m/s}$.

Ingat, h diukur dari permukaan air ke lubang, bukan dari dasar drum.

8. Lv 2 • Penjelajah • Pilihan ganda • Viskositas • 14-2-04

Tiga kelereng identik dijatuhkan bersamaan ke tabung berisi air, minyak goreng, dan madu yang sama tingginya. Urutan kelereng yang tiba di dasar, dari yang **paling cepat**, adalah...

A. madu, minyak, air

C. ketiganya bersamaan

B. minyak, air, madu

D. air, minyak, madu

Kunci: D

Pembahasan: Makin kental fluidanya (viskositas η makin besar), makin besar gaya gesek yang menahan kelereng, sehingga kecepatan terminalnya makin kecil. Viskositas air < minyak goreng < madu, jadi kelereng di air tiba paling dulu.

9. Lv 3 • Pejuang • Isian • Bernoulli • 14-3-01

Air mengalir dalam pipa mendatar. Di bagian A, luas penampang 10 cm^2 , kelajuan 2 m/s , dan tekanan $1,5 \times 10^5 \text{ Pa}$. Di bagian B, luas penampang 5 cm^2 . Massa jenis air 1000 kg/m^3 . Berapa tekanan di bagian B (dalam Pa)?

Jawaban: Pa

Kunci: 144.000 Pa

Pembahasan: Kontinuitas: $v_B = v_A \frac{A_A}{A_B} = 2 \times \frac{10}{5} = 4 \text{ m/s}$.

Bernoulli (mendatar): $P_B = P_A - \frac{1}{2}\rho(v_B^2 - v_A^2) = 1,5 \times 10^5 - 500(16 - 4) = 1,5 \times 10^5 - 6000 = 1,44 \times 10^5 \text{ Pa}$.
Tekanan di bagian sempit lebih kecil, sesuai "ngebut = ngempis".

10. Lv 3 • Pejuang • Isian • Torricelli + parabola • 14-3-02

Sebuah toren berdiri di atas menara. Lubang kecil di dindingnya berada $1,25 \text{ m}$ di bawah permukaan air dan $3,2 \text{ m}$ di atas tanah. Dengan $g = 10 \text{ m/s}^2$, berapa jarak mendatar titik jatuh air dari dinding toren?

Jawaban: m

Kunci: 4 m

Pembahasan: Kelajuan pancaran (mendatar): $v = \sqrt{2 \times 10 \times 1,25} = 5 \text{ m/s}$.

Waktu jatuh dari $3,2 \text{ m}$: $t = \sqrt{2 \times 3,2/10} = 0,8 \text{ s}$.

Jarak: $x = vt = 5 \times 0,8 = 4 \text{ m}$. (Cek: $x = 2\sqrt{hy} = 2\sqrt{1,25 \times 3,2} = 2\sqrt{4} = 4 \text{ m}$.)

11. Lv 3 • Pejuang • Isian • Venturimeter • 14-3-03

Sebuah venturimeter tanpa raksa memiliki luas penampang besar tiga kali luas lehernya. Beda tinggi air pada kedua tabung manometernya 20 cm . Dengan $g = 10 \text{ m/s}^2$, berapa kelajuan air di bagian besar?

Jawaban: m/s

Kunci: 0,707 m/s

Pembahasan: $v_1 = \sqrt{\frac{2g\Delta h}{(A_1/A_2)^2 - 1}} = \sqrt{\frac{2 \times 10 \times 0,2}{9 - 1}} = \sqrt{0,5} \approx 0,71 \text{ m/s}$.

Di leher, kelajuannya $3 \times 0,71 \approx 2,1 \text{ m/s}$.

12. Lv 3 • Pejuang • Pilihan ganda • Jangkauan pancaran • 14-3-04

Sebuah drum berdiri di tanah dengan tinggi permukaan air $1,2 \text{ m}$. Ada tiga lubang di dindingnya, masing-masing pada ketinggian $0,2 \text{ m}$, $0,6 \text{ m}$, dan $1,0 \text{ m}$ dari tanah. Pancaran yang mendarat paling jauh dan jaraknya adalah...

A. lubang $0,2 \text{ m}$, sejauh $1,2 \text{ m}$

C. lubang $1,0 \text{ m}$, sejauh $0,9 \text{ m}$

B. lubang $0,6 \text{ m}$, sejauh $1,2 \text{ m}$

D. ketiganya sama, sejauh $0,9 \text{ m}$

Kunci: B

Pembahasan: Untuk lubang setinggi y dengan kedalaman $h = 1,2 - y$: $x = 2\sqrt{hy}$.

$y = 0,2$: $x = 2\sqrt{1,0 \times 0,2} \approx 0,89 \text{ m}$.

$y = 0,6$: $x = 2\sqrt{0,6 \times 0,6} = 1,2 \text{ m}$.

$y = 1,0$: $x = 2\sqrt{0,2 \times 1,0} \approx 0,89 \text{ m}$.

Lubang tengah menang. Lubang atas dan bawah mendarat di titik yang sama karena hasil kali hy -nya sama!

16. Lv 4 • IGCSE • Isian • Gaya angkat • gaya IGCSE • 14-4-04

Udara mengalir di atas sayap pesawat dengan kelajuan 70 m/s dan di bawahnya 60 m/s. Luas sayap 20 m² dan massa jenis udara 1,2 kg/m³. Hitung gaya angkat (*lift force*) pada sayap.

Jawaban: N

Kunci: 15.600 N

Pembahasan: Selisih tekanan (Bernoulli): $\Delta P = \frac{1}{2}\rho(v_{\text{atas}}^2 - v_{\text{bawah}}^2) = 0,6(4900 - 3600) = 780$ Pa.

Gaya angkat: $F = \Delta P \times A = 780 \times 20 = 15\,600$ N.

Gaya ini cukup untuk menahan pesawat bermassa ± 1.600 kg.

Lv 5 • IB DP gaya IB Physics

17. Lv 5 • IB DP • Isian • Analisis grafik Torricelli • gaya IB • 14-5-01

Dalam eksperimen, kelajuan pancaran air v dari lubang tangki diukur untuk berbagai kedalaman h . Grafik v^2 terhadap h berupa garis lurus melalui titik asal dengan gradien 19,0 m s⁻². Tentukan nilai percepatan gravitasi yang diperoleh dari eksperimen ini.

Jawaban: m/s²

Kunci: 9,5 m/s²

Pembahasan: Teorema Torricelli: $v^2 = 2gh$. Grafik v^2 terhadap h adalah garis lurus dengan gradien $2g$.

$$g = \frac{19,0}{2} = 9,5 \text{ m s}^{-2}.$$

Nilainya sedikit di bawah 9,81 karena pancaran nyata sedikit lebih lambat dari ramalan ideal (gesekan di tepi lubang dan penyempitan pancaran).

18. Lv 5 • IB DP • Uraian • Model tangki mengering • gaya IB • 14-5-02

Tangki silinder berpenampang $A = 0,50 \text{ m}^2$ berisi air setinggi h . Di dasarnya ada lubang berpenampang $a = 2,0 \text{ cm}^2$. Gunakan $g = 9,81 \text{ m s}^{-2}$.

(a) Tunjukkan bahwa laju turunnya permukaan air adalah $\left| \frac{dh}{dt} \right| = \frac{a}{A} \sqrt{2gh}$.

(b) Hitung laju turunnya permukaan saat $h = 1,8 \text{ m}$.

(c) Jelaskan mengapa permukaan turun makin lambat, dan sebutkan dua asumsi dalam model ini.

Kunci/rubrik: (a) Kontinuitas antara permukaan dan lubang: $A \left| \frac{dh}{dt} \right| = a v$, dengan $v = \sqrt{2gh}$ (Torricelli). Jadi

$$\left| \frac{dh}{dt} \right| = \frac{a}{A} \sqrt{2gh}.$$

(b) $\frac{a}{A} = \frac{2,0 \times 10^{-4}}{0,50} = 4,0 \times 10^{-4}$; $\sqrt{2 \times 9,81 \times 1,8} = 5,94 \text{ m/s}$. Laju turun = $4,0 \times 10^{-4} \times 5,94 \approx 2,4 \times 10^{-3} \text{ m/s} \approx 2,4 \text{ mm/s}$.

(c) Kelajuan pancaran sebanding dengan $\sqrt{h}$. Saat h mengecil, pancaran melemah, debit berkurang, sehingga permukaan turun makin lambat. Asumsi (pilih dua): air tak kental dan tak termampatkan; $A \gg a$ sehingga kelajuan permukaan diabaikan dalam Bernoulli; aliran dianggap tunak pada setiap saat; penyempitan pancaran (*vena contracta*) diabaikan.

Pembahasan: Poin: (a) 2 poin (kontinuitas + Torricelli), (b) 2 poin (angka benar dengan satuan), (c) 1 poin

penjelasan + 2 poin asumsi. Bila diintegrasikan, waktu pengosongan total adalah $T = \frac{A}{a} \sqrt{\frac{2h_0}{g}}$ (lihat soal olimpiade).

19. Lv 5 • IB DP • Isian • Ketidakpastian • gaya IB • 14-5-03

Dalam eksperimen hukum Stokes, jari-jari bola diukur $r = (1,50 \pm 0,02)$ mm, sedangkan besaran lain dianggap tanpa ketidakpastian. Berapa persen ketidakpastian relatif kecepatan terminal yang dihitung dengan $v_t = \frac{2r^2(\rho_b - \rho_f)g}{9\eta}$?

Jawaban: %

Kunci: 2,67 %

Pembahasan: Ketidakpastian relatif r : $0,02/1,50 = 1,33\%$.

Karena $v_t \propto r^2$, ketidakpastian relatifnya dikali pangkatnya: $2 \times 1,33\% \approx 2,7\%$.

20. Lv 5 • IB DP • Isian • Tabung pitot • gaya IB • 14-5-04

Tabung pitot sebuah pesawat kecil mencatat selisih antara tekanan stagnasi dan tekanan statis sebesar 3,84 kPa. Massa jenis udara $1,20 \text{ kg/m}^3$. Tentukan kelajuan pesawat relatif terhadap udara, dalam km/jam.

Jawaban: km/jam

Kunci: 288 km/jam

Pembahasan: Di mulut tabung, udara dihentikan: $\Delta P = \frac{1}{2}\rho v^2$.

$$v = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} = \sqrt{\frac{2 \times 3840}{1,20}} = \sqrt{6400} = 80 \text{ m/s.}$$

$$80 \times 3,6 = 288 \text{ km/jam.}$$

Lv 6 • Olimpiade gaya OSN/IPhO

21. Lv 6 • Olimpiade • Isian • Waktu pengosongan tangki • gaya olimpiade • 14-6-01

Tangki silinder berpenampang $0,50 \text{ m}^2$ berisi air setinggi 1,8 m. Lubang kecil berpenampang $2,0 \text{ cm}^2$ dibuka di dasarnya. Dengan model ideal $|dh/dt| = (a/A)\sqrt{2gh}$ dan $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, berapa detik waktu yang diperlukan sampai tangki kosong?

Jawaban: s

Kunci: 1.514 s

Pembahasan: Pisahkan variabel: $\frac{dh}{\sqrt{h}} = -\frac{a}{A}\sqrt{2g} dt$.

$$\text{Integralkan dari } h_0 \text{ ke } 0: 2\sqrt{h_0} = \frac{a}{A}\sqrt{2g} T, \text{ sehingga } T = \frac{A}{a}\sqrt{\frac{2h_0}{g}}.$$

$$T = 2500 \times \sqrt{\frac{3,6}{9,81}} = 2500 \times 0,606 \approx 1,51 \times 10^3 \text{ s } (\pm 25 \text{ menit}).$$

Menarik: separuh pertama ketinggian turun hanya dalam $\pm 29\%$ waktu total, karena pancaran melemah saat air makin dangkal.

Sebuah tangki diletakkan di atas panggung setinggi 0,6 m. Permukaan air di tangki berada 2,0 m di atas dasar tangki. Lubang dibuat di dinding tangki pada ketinggian yang dapat dipilih. Berapa jarak mendatar **terjauh** yang dapat dicapai pancaran, diukur di tanah?

Jawaban: m

Kunci: 2,6 m

Pembahasan: Misalkan lubang z di atas dasar tangki. Kedalaman $h = 2,0 - z$, tinggi di atas tanah $y = 0,6 + z$.
 $x = 2\sqrt{(2,0 - z)(0,6 + z)}$. Hasil kali dua bilangan yang jumlahnya tetap (2,6) maksimum jika keduanya sama: $2,0 - z = 0,6 + z \Rightarrow z = 0,7$ m.
 $x_{\text{maks}} = 2\sqrt{1,3 \times 1,3} = 2,6$ m.
 Elegan: jangkauan maksimum sama dengan tinggi permukaan air di atas tanah!

Air dialirkan keluar dari kolam dengan sifon (selang melengkung). Ujung keluar selang berada 0,8 m di bawah permukaan kolam. Tekanan udara $1,0 \times 10^5$ Pa, $\rho = 1000$ kg/m³, $g = 10$ m/s², dan air dianggap ideal. Berapa tinggi maksimum puncak selang di atas permukaan kolam agar tekanan di puncak tidak turun di bawah nol?

A. 0,8 m

C. 10,8 m

B. 10 m

D. 9,2 m

Kunci: D

Pembahasan: Kelajuan dalam selang (Torricelli dari permukaan ke ujung keluar): $v = \sqrt{2g \times 0,8}$, sehingga $\frac{1}{2}\rho v^2 = \rho g(0,8) = 8000$ Pa.

Bernoulli dari permukaan kolam ke puncak (tinggi H): $P_0 = P_{\text{puncak}} + \rho g H + \frac{1}{2}\rho v^2$.

Syarat $P_{\text{puncak}} \geq 0$: $H \leq \frac{P_0 - \frac{1}{2}\rho v^2}{\rho g} = \frac{100\,000 - 8000}{10\,000} = 9,2$ m.

Jebakannya: jawaban 10 m hanya benar untuk air yang diam. Air yang mengalir "memakai" sebagian tekanannya untuk energi kinetik. (Dalam praktik, batasnya lebih rendah lagi karena air mulai mendidih pada tekanan uapnya.)

Bola baja berjari-jari $r = 2,0 \text{ mm}$ ($\rho_b = 7800 \text{ kg/m}^3$) dilepas dari diam di dalam gliserin ($\rho_f = 1260 \text{ kg/m}^3$, $\eta = 1,41 \text{ Pa}\cdot\text{s}$). Abaikan massa tambahan fluida dan hambatan selain Stokes.

(a) Tuliskan persamaan gerak dan tunjukkan bahwa $v(t) = v_t (1 - e^{-t/\tau})$. Nyatakan τ .

(b) Hitung v_t dan τ . Apa artinya bagi eksperimen di laboratorium?

(c) Tetes hujan besar mengalami hambatan $F \approx \frac{1}{2}\rho_u C_d \pi r^2 v^2$. Tunjukkan bahwa kecepatan terminalnya sebanding dengan $\sqrt{r}$, bukan r^2 .

Kunci/rubrik: (a) $m \frac{dv}{dt} = (m - \rho_f V)g - 6\pi\eta r v$. Ini persamaan linear orde satu: $\frac{dv}{dt} = \frac{v_t - v}{\tau}$ dengan $\tau = \frac{m}{6\pi\eta r} = \frac{2\rho_b r^2}{9\eta}$ dan $v_t = \frac{2r^2(\rho_b - \rho_f)g}{9\eta}$. Dengan $v(0) = 0$, solusinya $v = v_t(1 - e^{-t/\tau})$.

(b) $v_t = \frac{2(2 \times 10^{-3})^2(6540)(9,8)}{9(1,41)} \approx 0,040 \text{ m/s}$ ($\pm 4 \text{ cm/s}$). $\tau = \frac{2(7800)(4 \times 10^{-6})}{9(1,41)} \approx 4,9 \times 10^{-3} \text{ s}$. Bola mencapai kecepatan terminal dalam beberapa milidetik, jadi hampir seluruh lintasan di tabung ditempuh dengan kecepatan tetap. Itulah sebabnya viskositas bisa diukur cukup dengan stopwatch dan mistar.

(c) Di kecepatan terminal: $\frac{4}{3}\pi r^3 \rho_b g = \frac{1}{2}\rho_u C_d \pi r^2 v_t^2 \Rightarrow v_t = \sqrt{\frac{8\rho_b g r}{3\rho_u C_d}} \propto \sqrt{r}$.

Pembahasan: Rubrik: (a) 3 poin (persamaan gerak, solusi, τ), (b) 3 poin, (c) 2 poin. Pelajaran besarnya: hukum hambatan berubah dengan bilangan Reynolds. Hambatan linear ($\propto v$) untuk benda kecil dan lambat di fluida kental, hambatan kuadrat ($\propto v^2$) untuk benda besar dan cepat di udara.

Lv 1 • Pemula SD-SMP awal

1. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Termometer • 15-1-01

Alat yang dipakai untuk mengukur suhu badan saat demam adalah...

- | | |
|---------------|----------------|
| A. termometer | C. higrometer |
| B. barometer | D. speedometer |

Kunci: A

Pembahasan: Termometer mengukur suhu. Barometer mengukur tekanan udara, higrometer mengukur kelembapan, dan speedometer mengukur kelajuan.

2. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Arah kalor • 15-1-02

Kalor selalu berpindah dengan sendirinya dari...

- A. benda bersuhu rendah ke benda bersuhu tinggi
- B. benda bermassa besar ke benda bermassa kecil
- C. benda bersuhu tinggi ke benda bersuhu rendah
- D. benda padat ke benda cair saja

Kunci: C

Pembahasan: Kalor mengalir dari suhu tinggi ke suhu rendah sampai suhunya sama (kesetimbangan termal). Massa dan wujud tidak menentukan arahnya, suhulah yang menentukan.

3. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Radiasi • 15-1-03

Panas Matahari sampai ke Bumi melewati ruang hampa. Cara perpindahan kalor ini disebut...

- | | |
|-------------|-------------|
| A. radiasi | C. konveksi |
| B. konduksi | D. isolasi |

Kunci: A

Pembahasan: Konduksi dan konveksi memerlukan zat perantara. Di ruang hampa tidak ada partikel, jadi kalor Matahari merambat sebagai radiasi (gelombang elektromagnetik).

4. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Isolator • 15-1-04

Gagang panci biasanya dibuat dari kayu atau plastik. Alasannya adalah...

- A. agar panci lebih ringan
- B. agar masakan cepat matang
- C. supaya panci tampak menarik
- D. kayu dan plastik adalah penghantar kalor yang buruk (isolator)

Kunci: D

Pembahasan: Kayu dan plastik adalah isolator: kalor dari badan panci yang panas sangat lambat merambat ke tangan kita, sehingga gagang aman dipegang.

5. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Skala suhu • 15-2-01

Suhu tubuh Sari saat demam 40 °C. Berapa suhu itu dalam skala Fahrenheit?

Jawaban: °F

Kunci: 104 °F

Pembahasan: $F = \frac{9}{5}C + 32 = \frac{9}{5} \times 40 + 32 = 72 + 32 = 104$ °F.

6. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Kalor jenis • 15-2-02

Berapa kilojoule kalor yang diperlukan untuk memanaskan 2 kg air dari 20 °C menjadi 70 °C? ($c_{\text{air}} = 4200$ J/kg.°C)

Jawaban: kJ

Kunci: 420 kJ

Pembahasan: $Q = mc\Delta T = 2 \times 4200 \times 50 = 420\,000$ J = 420 kJ.

7. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Kalor laten • 15-2-03

Berapa kilojoule kalor yang diperlukan untuk meleburkan seluruh 0,5 kg es bersuhu 0 °C menjadi air 0 °C? (kalor lebur es 336.000 J/kg)

Jawaban: kJ

Kunci: 168 kJ

Pembahasan: Suhu tidak berubah, jadi pakai kalor laten: $Q = mL = 0,5 \times 336\,000 = 168\,000$ J = 168 kJ.

8. Lv 2 • Penjelajah • Pilihan ganda • Kurva pemanasan • 15-2-04

Pada grafik suhu terhadap waktu saat es dipanaskan terus-menerus, ada bagian yang mendatar. Bagian mendatar itu menunjukkan bahwa...

- A. zat tidak menerima kalor sama sekali
- B. kalor dipakai untuk mengubah wujud zat
- C. termometernya rusak
- D. massa zat berkurang

Kunci: B

Pembahasan: Selama melebur atau mendidih, kalor tetap diserap, tetapi dipakai untuk memutus ikatan antarpartikel (kalor laten). Karena itu suhunya tetap.

9. Lv 3 • Pejuang • Isian • Asas Black • 15-3-01

300 g air bersuhu 90 °C dicampur dengan 200 g air bersuhu 20 °C dalam wadah yang tidak menyerap kalor. Berapa suhu akhir campuran?

Jawaban: °C

Kunci: 62 °C

Pembahasan: Asas Black untuk zat sejenis: $T_c = \frac{m_1 T_1 + m_2 T_2}{m_1 + m_2} = \frac{300(90) + 200(20)}{500} = \frac{27\,000 + 4\,000}{500} = 62\text{ °C}$.

Cek: air panas turun 28 °C, air dingin naik 42 °C. Perbandingan 28 : 42 = 2 : 3, kebalikan perbandingan massanya. ✓

10. Lv 3 • Pejuang • Isian • Kalor bertahap • 15-3-02

Berapa kilojoule kalor yang diperlukan untuk mengubah 200 g es bersuhu -10 °C menjadi air bersuhu 50 °C? ($c_{\text{es}} = 2100$, $c_{\text{air}} = 4200\text{ J/kg}\cdot\text{°C}$, $L_f = 336\,000\text{ J/kg}$)

Jawaban: kJ

Kunci: 113,4 kJ

Pembahasan: Tiga tahap:

(1) Es -10 → 0 °C: $0,2 \times 2100 \times 10 = 4200\text{ J}$.

(2) Es melebur: $0,2 \times 336\,000 = 67\,200\text{ J}$.

(3) Air 0 → 50 °C: $0,2 \times 4200 \times 50 = 42\,000\text{ J}$.

Total = 113 400 J $\approx$ 113,4 kJ. Perhatikan: tahap melebur yang paling banyak "memakan" kalor.

11. Lv 3 • Pejuang • Isian • Pemuaian • 15-3-03

Kabel tembaga PLN sepanjang 200 m dipasang di antara dua tiang. Suhu kabel naik dari 25 °C pada malam hari menjadi 55 °C pada siang hari. Berapa sentimeter pertambahan panjangnya? ($\alpha_{\text{tembaga}} = 17 \times 10^{-6}\text{ /°C}$)

Jawaban: cm

Kunci: 10,2 cm

Pembahasan: $\Delta L = \alpha L_0 \Delta T = 17 \times 10^{-6} \times 200 \times 30 = 0,102\text{ m} = 10,2\text{ cm}$.

Itulah sebabnya kabel dipasang agak kendur.

12. Lv 3 • Pejuang • Pilihan ganda • Hukum Wien • 15-3-04

Spektrum bintang A paling terang pada 400 nm, sedangkan bintang B paling terang pada 800 nm. Hubungan suhu permukaan keduanya adalah...

A. $T_A = \frac{1}{2}T_B$

C. $T_A = 2T_B$

B. $T_A = T_B$

D. $T_A = 4T_B$

Kunci: C

Pembahasan: Hukum Wien: $\lambda_{\text{maks}} T = b$, jadi $T \propto 1/\lambda_{\text{maks}}$. Panjang gelombang puncak A setengah dari B, sehingga suhunya dua kali: $T_A = 2T_B$. Bintang A tampak kebiruan, B kemerahan.

13. Lv 4 • IGCSE • Isian • Kalor jenis (eksperimen) • gaya IGCSE • 15-4-01

Sebuah pemanas listrik 50 W dimasukkan ke dalam balok aluminium bermassa 1,0 kg yang diselimuti isolator. Setelah 300 s, suhu balok naik dari 22 °C menjadi 38 °C. Hitung kalor jenis (*specific heat capacity*) aluminium dari data ini.

Jawaban: J/kg°C

Kunci: 937,5 J/kg°C

Pembahasan: Energi dari pemanas: $Q = Pt = 50 \times 300 = 15\,000$ J.

$$c = \frac{Q}{m\Delta T} = \frac{15\,000}{1,0 \times 16} \approx 940 \text{ J/kg}\cdot^\circ\text{C}.$$

Nilai acuan ± 900 J/kg·°C. Hasil sedikit lebih besar karena sebagian energi hilang ke lingkungan, sehingga energi yang benar-benar menaikkan suhu balok lebih kecil dari 15.000 J.

14. Lv 4 • IGCSE • Uraian • Angin laut • gaya IGCSE • 15-4-02

Jelaskan mengapa pada siang hari angin di pantai bertiup dari laut ke darat. [4 poin]

Kunci/rubrik:

1. Daratan memiliki kalor jenis lebih kecil daripada air laut, sehingga di siang hari daratan lebih cepat panas.
2. Udara di atas daratan ikut panas, memuai, dan massa jenisnya berkurang.
3. Udara panas itu naik (konveksi), sehingga tekanan udara di dekat permukaan darat menjadi lebih rendah.
4. Udara yang lebih sejuk dan rapat di atas laut mengalir ke darat menggantikannya: angin laut.

Pembahasan: Kata kunci penilaian: kalor jenis/laju pemanasan berbeda, pemuaian dan massa jenis, konveksi (udara panas naik), arah aliran dari laut ke darat. Malam hari prosesnya berbalik sehingga terjadi angin darat.

15. Lv 4 • IGCSE • Pilihan ganda • Data radiasi • gaya IGCSE • 15-4-03

Dua kaleng identik diisi air panas 80 °C. Kaleng P dicat hitam kusam, kaleng Q dibiarkan mengilap. Suhu air dicatat setiap 5 menit.

t (menit)	0	5	10	15
kaleng P (°C)	80	66	55	46
kaleng Q (°C)	80	73	67	62

Kesimpulan yang paling tepat adalah...

- A. permukaan hitam kusam adalah pemancar radiasi yang lebih baik
- B. permukaan mengilap adalah pemancar radiasi yang lebih baik
- C. kedua permukaan memancar sama baiknya
- D. air di kaleng P lebih sedikit daripada di kaleng Q

Kunci: A

Pembahasan: Air di kaleng hitam mendingin lebih cepat (turun 34 °C dalam 15 menit, dibanding 18 °C pada kaleng mengilap). Karena kaleng, volume air, dan suhu awalnya sama, perbedaannya berasal dari permukaan: hitam kusam adalah pemancar (dan penyerap) radiasi yang lebih baik. Ini contoh variabel kontrol dalam eksperimen yang adil.

16. Lv 4 • IGCSE • Isian • Kalor laten (eksperimen) • gaya IGCSE • 15-4-04

Ketel listrik 2,0 kW berisi air yang sudah mendidih. Ketel dibiarkan menyala 5,0 menit lagi, dan massa air berkurang 0,25 kg. Hitung kalor laten penguapan air (*specific latent heat of vaporisation*) dari data ini, dalam MJ/kg.

Jawaban: MJ/kg

Kunci: 2,4 MJ/kg

Pembahasan: Energi: $E = Pt = 2000 \times 300 = 600\,000 \text{ J}$.

$$L = \frac{E}{m} = \frac{600\,000}{0,25} = 2,4 \times 10^6 \text{ J/kg} = 2,4 \text{ MJ/kg}.$$

Nilai acuan 2,26 MJ/kg. Hasil eksperimen lebih besar karena sebagian energi hilang ke udara dan badan ketel, bukan untuk menguapkan air.

Lv 5 • IB DP gaya IB Physics

17. Lv 5 • IB DP • Isian • Stefan-Boltzmann • gaya IB • 15-5-01

Filamen lampu pijar memiliki luas permukaan $5,0 \times 10^{-5} \text{ m}^2$, suhu 2800 K, dan emisivitas 0,35. Tentukan daya radiasi yang dipancarkan filamen. ($\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$)

Jawaban: W

Kunci: 61 W

Pembahasan: $P = e\sigma AT^4 = 0,35 \times 5,67 \times 10^{-8} \times 5,0 \times 10^{-5} \times (2800)^4$.

$$(2800)^4 = 6,15 \times 10^{13} \text{ K}^4.$$

$P \approx 61 \text{ W}$. Hanya $\pm 10\%$ dari daya ini jatuh di daerah cahaya tampak (puncak Wien di $\pm 1 \mu\text{m}$, inframerah), itulah sebabnya lampu pijar boros dan panas.

18. Lv 5 • IB DP • Uraian • Pendinginan Newton • gaya IB • 15-5-02

Secangkir teh mendingin di ruangan bersuhu 25 °C. Data suhunya:

t (menit)	0	5	10	15	20
T (°C)	85	65	52	43	37

(a) Hitung $\ln(T - 25)$ untuk setiap data dan jelaskan mengapa grafik $\ln(T - 25)$ terhadap t seharusnya berupa garis lurus menurut hukum pendinginan Newton.

(b) Tentukan konstanta pendinginan k dari gradien grafik.

(c) Sebutkan dua sumber ketidakpastian atau galat sistematis dalam eksperimen ini.

Kunci/rubrik: (a) $T - 25 = 60; 40; 27; 18; 12 \text{ °C}$, sehingga $\ln(T - 25) \approx 4,09; 3,69; 3,30; 2,89; 2,48$. Hukum Newton $T - T_{\text{ling}} = (T_0 - T_{\text{ling}})e^{-kt}$ memberi $\ln(T - T_{\text{ling}}) = \ln(T_0 - T_{\text{ling}}) - kt$: bentuk garis lurus dengan gradien $-k$.

(b) Gradien $\approx \frac{2,48 - 4,09}{20 - 0} \approx -0,080 \text{ min}^{-1}$, jadi $k \approx 0,080$ per menit ($\pm 0,0013$ per detik).

(c) Contoh: suhu ruangan berubah selama eksperimen; termometer lambat merespons (waktu baca); penguapan dari permukaan teh menambah laju pendinginan di suhu tinggi sehingga model Newton kurang tepat; posisi termometer di cangkir (suhu tidak merata).

Pembahasan: Rubrik: (a) 3 poin (nilai ln, alasan linear), (b) 2 poin (gradien dan tanda), (c) 2 poin. Linearisasi dengan logaritma adalah keterampilan analisis data penting di IB.

19. Lv 5 • IB DP • Isian • Kalorimeter • gaya IB • 15-5-03

Kalorimeter tembaga bermassa 100 g ($c = 390 \text{ J/kg}\cdot^\circ\text{C}$) berisi 200 g air bersuhu 20°C . Sebuah baut besi 50 g ($c = 450 \text{ J/kg}\cdot^\circ\text{C}$) yang telah dipanaskan sampai 200°C dimasukkan ke dalamnya. Anggap tidak ada kalor yang hilang. Tentukan suhu akhir.

Jawaban: $^\circ\text{C}$

Kunci: $24,5^\circ\text{C}$

Pembahasan: Kapasitas kalor: besi $0,05 \times 450 = 22,5 \text{ J/}^\circ\text{C}$, kalorimeter $0,1 \times 390 = 39 \text{ J/}^\circ\text{C}$, air $0,2 \times 4200 = 840 \text{ J/}^\circ\text{C}$.

Asas Black: $22,5(200 - T) = (39 + 840)(T - 20)$.

$4500 - 22,5T = 879T - 17580 \Rightarrow 901,5T = 22080 \Rightarrow T \approx 24,5^\circ\text{C}$.

Baut sepanas 200°C hanya menaikkan suhu air $\pm 4,5^\circ\text{C}$, karena kapasitas kalor air jauh lebih besar.

20. Lv 5 • IB DP • Pilihan ganda • Galat sistematis • gaya IB • 15-5-04

Dalam eksperimen menentukan kalor jenis logam dengan metode campuran, logam panas dipindahkan ke air di kalorimeter. Selama pemindahan dan pencampuran, sebagian kalor hilang ke udara. Akibatnya, nilai

kalor jenis logam yang dihitung dari $c_{\text{logam}} = \frac{m_a c_a (T_c - T_a)}{m_{\text{logam}} (T_{\text{logam}} - T_c)}$ akan...

- A. lebih besar daripada nilai sebenarnya
- B. tidak terpengaruh
- C. kadang lebih besar dan kadang lebih kecil secara acak
- D. lebih kecil daripada nilai sebenarnya

Kunci: D

Pembahasan: Kalor yang hilang membuat suhu campuran T_c terukur lebih rendah dari seharusnya. Pembilang $(T_c - T_a)$ mengecil dan penyebut $(T_{\text{logam}} - T_c)$ membesar, sehingga c_{logam} yang dihitung lebih kecil. Galat sistematis selalu menggeser hasil ke satu arah, berbeda dengan galat acak.

Lv 6 • Olimpiade gaya OSN/IPhO

21. Lv 6 • Olimpiade • Isian • Konduksi berlapis • gaya olimpiade • 15-6-01

Dinding kamar terdiri atas lapisan kayu ($k = 0,12 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, tebal $2,0 \text{ cm}$) di sisi luar dan styrofoam ($k = 0,030 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, tebal $2,0 \text{ cm}$) di sisi dalam. Permukaan luar kayu bersuhu 34°C dan permukaan dalam styrofoam 24°C . Pada keadaan tunak, berapa suhu di bidang batas kayu dan styrofoam?

Jawaban: $^\circ\text{C}$

Kunci: 32°C

Pembahasan: Pada keadaan tunak, laju kalor per luas sama di kedua lapisan (seperti arus listrik pada hambatan seri). "Hambatan termal" per luas: kayu $L/k = 0,02/0,12 = 0,167$, styrofoam $0,02/0,03 = 0,667 \text{ (m}^2\text{K/W)}$.

$$H/A = \frac{10}{0,833} = 12 \text{ W/m}^2.$$

Penurunan suhu di kayu $= 12 \times 0,167 = 2^\circ\text{C}$, jadi suhu batas $= 34 - 2 = 32^\circ\text{C}$.

Hampir seluruh penurunan suhu (8 dari 10°C) terjadi di styrofoam, si isolator.

22. Lv 6 • Olimpiade • Isian • Pemuaian bandul • gaya olimpiade • 15-6-02

Jam bandul berbandul kuning ($\alpha = 19 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$) berjalan tepat pada 20 °C. Berapa detik jam itu terlambat dalam sehari semalam jika suhu ruangan tetap 35 °C? (Anggap periode $T = 2\pi\sqrt{L/g}$.)

Jawaban: s

Kunci: 12,3 s

Pembahasan: $T \propto \sqrt{L}$, sehingga $\frac{\Delta T}{T} \approx \frac{1}{2} \frac{\Delta L}{L} = \frac{1}{2} \alpha \Delta \theta = \frac{1}{2} \times 19 \times 10^{-6} \times 15 = 1,43 \times 10^{-4}$.

Bandul berayun lebih lambat, jadi jam terlambat $86\,400 \times 1,43 \times 10^{-4} \approx 12$ detik per hari.

Pembuat jam presisi dahulu memakai bandul raksa atau batang invar (α sangat kecil) untuk mengatasinya.

23. Lv 6 • Olimpiade • Pilihan ganda • Kesetimbangan radiasi planet • gaya olimpiade • 15-6-03

Tanpa efek rumah kaca, suhu kesetimbangan Bumi (jarak 1 SA dari Matahari) sekitar 255 K. Berapa suhu kesetimbangan planet dengan albedo yang sama tetapi berjarak 4 SA dari Matahari?

A. 64 K

C. 128 K

B. 180 K

D. 255 K

Kunci: C

Pembahasan: Intensitas cahaya Matahari $\propto 1/d^2$. Kesetimbangan $\sigma T^4 \propto 1/d^2$ memberi $T \propto d^{-1/2}$.

Jarak 4 kali $\rightarrow$ suhu $1/\sqrt{4} = \frac{1}{2}$ kali: $T = 255/2 \approx 128$ K.

Ukuran planet tidak berpengaruh, karena luas penampang penyerap dan luas permukaan pemancar sama-sama sebanding dengan R^2 .

24. Lv 6 • Olimpiade • Uraian • Pertumbuhan lapisan es • gaya olimpiade • 15-6-04

Danau di negeri empat musim mulai membeku. Air di bawah es bersuhu 0 °C, sedangkan udara di atasnya tetap -10 °C. Abaikan kapasitas kalor es dan anggap suhu permukaan atas es sama dengan suhu udara. (

$k_{\text{es}} = 2,2 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, $\rho_{\text{es}} = 917 \text{ kg/m}^3$, $L_f = 3,34 \times 10^5 \text{ J/kg}$)

(a) Tunjukkan bahwa tebal es x memenuhi $\rho L \frac{dx}{dt} = \frac{k \Delta T}{x}$.

(b) Tunjukkan bahwa $x \propto \sqrt{t}$.

(c) Berapa lama sampai tebal es 10 cm?

(d) Mengapa hasil ini penting bagi ikan di danau?

Kunci/rubrik: (a) Kalor yang dihantarkan lapisan es per luas: $H/A = k\Delta T/x$. Kalor ini diambil dari air 0 °C yang membeku di bawah es: setiap penambahan tebal dx melepaskan $\rho L dx$ per luas. Jadi $\rho L \frac{dx}{dt} = \frac{k\Delta T}{x}$.

(b) $x dx = \frac{k\Delta T}{\rho L} dt \Rightarrow x^2 = \frac{2k\Delta T}{\rho L} t$, sehingga $x \propto \sqrt{t}$.

(c) $t = \frac{\rho L x^2}{2k\Delta T} = \frac{917 \times 3,34 \times 10^5 \times 0,01}{2 \times 2,2 \times 10} \approx 7,0 \times 10^4 \text{ s}$, sekitar 19 jam.

(d) Makin tebal es, makin lambat es bertambah tebal, karena es sendiri menjadi isolator. Ditambah anomali air (air paling rapat pada 4 °C tenggelam ke dasar), danau jarang membeku sampai dasar, sehingga ikan bertahan hidup.

Pembahasan: Rubrik: (a) 3 poin, (b) 2 poin, (c) 2 poin, (d) 1 poin. Model ini disebut masalah Stefan. Untuk mendapat es 20 cm butuh waktu empat kali lebih lama, bukan dua kali.

Lv 1 • Pemula SD-SMP awal

1. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Model gas • 16-1-01

Menurut teori kinetik, partikel-partikel gas...

- A. diam di tempatnya masing-masing
- B. bergerak acak ke segala arah dan saling bertumbukan
- C. hanya bergerak ke atas
- D. saling menempel erat

Kunci: B

Pembahasan: Partikel gas bergerak acak ke segala arah dengan kelajuan tinggi, menumbuk satu sama lain dan dinding wadah. Gerakan inilah yang menimbulkan tekanan.

2. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Tekanan gas • 16-1-02

Ban sepeda makin keras setelah dipompa. Penyebabnya adalah...

- A. molekul udara di dalam ban makin banyak sehingga tumbukan pada dinding ban makin sering
- B. karet ban memuai karena dipompa
- C. udara di dalam ban menjadi lebih ringan
- D. molekul udara di dalam ban berhenti bergerak

Kunci: A

Pembahasan: Memompa menambah jumlah molekul udara di dalam ban. Makin banyak molekul, makin sering dinding ban ditumbuk, sehingga tekanannya naik dan ban terasa keras.

3. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Skala suhu • 16-1-03

Dalam rumus-rumus gas, suhu harus dinyatakan dalam satuan...

- | | |
|-----------------------|-------------------|
| A. derajat Celsius | C. derajat Reamur |
| B. derajat Fahrenheit | D. kelvin |

Kunci: D

Pembahasan: Rumus gas memakai suhu mutlak (kelvin), yang dimulai dari nol mutlak. Dengan skala lain, perbandingan suhu memberi hasil yang salah.

4. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Suhu dan gerak molekul • 16-1-04

Saat gas dipanaskan, molekul-molekulnya...

- | | |
|------------------------|-----------------------------|
| A. membesar | C. bergerak lebih cepat |
| B. bertambah jumlahnya | D. berubah menjadi zat cair |

Kunci: C

Pembahasan: Suhu yang lebih tinggi berarti energi kinetik rata-rata molekul lebih besar, jadi molekul bergerak lebih cepat. Ukuran dan jumlah molekul tidak berubah.

5. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Hukum Boyle • 16-2-01

Udara bervolume 2 L dan bertekanan 100 kPa dimampatkan perlahan (suhu tetap) sampai volumenya 0,5 L. Berapa tekanannya sekarang?

Jawaban: kPa

Kunci: 400 kPa

Pembahasan: Boyle: $P_1 V_1 = P_2 V_2 \Rightarrow P_2 = \frac{100 \times 2}{0,5} = 400$ kPa. Volume menjadi $\frac{1}{4}$, tekanan menjadi 4 kali.

6. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Kelvin • 16-2-02

Suhu tubuh manusia 37 °C. Berapa suhu itu dalam kelvin? (Gunakan $T = t + 273$.)

Jawaban: K

Kunci: 310 K

Pembahasan: $T = 37 + 273 = 310$ K.

7. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Hukum Charles • 16-2-03

Balon berisi 3,0 L udara pada 30 °C dimasukkan ke kulkas bersuhu 5 °C. Jika tekanannya tetap, berapa volume balon di dalam kulkas?

Jawaban: L

Kunci: 2,75 L

Pembahasan: Ubah ke kelvin: $T_1 = 303$ K, $T_2 = 278$ K.

Charles: $V_2 = V_1 \frac{T_2}{T_1} = 3,0 \times \frac{278}{303} \approx 2,75$ L.

Balon mengecil ±8%, tidak ada udara yang bocor.

8. Lv 2 • Penjelajah • Pilihan ganda • Grafik Boyle • 16-2-04

Grafik tekanan P terhadap volume V untuk sejumlah gas pada suhu tetap berbentuk...

A. garis lurus yang naik

C. kurva yang menurun (hiperbola)

B. garis mendatar

D. garis lurus melalui titik asal

Kunci: C

Pembahasan: Karena PV tetap, $P = \text{konstanta}/V$: makin besar volume, makin kecil tekanan, dan kurvanya berbentuk hiperbola. Jika yang digambar P terhadap $1/V$, barulah grafiknya garis lurus melalui titik asal.

9. Lv 3 • Pejuang • Isian • Persamaan gas ideal • 16-3-01

Tabung bervolume 20 L berisi 2 mol gas pada suhu 27 °C. Dengan $R = 8,31$ J/mol·K, berapa tekanan gas dalam kPa?

Jawaban: kPa

Kunci: 249,3 kPa

Pembahasan: $T = 300$ K dan $V = 20$ L = 0,020 m³.

$P = \frac{nRT}{V} = \frac{2 \times 8,31 \times 300}{0,020} = 249\,300$ Pa ≈ 249 kPa, hampir 2,5 atm.

10. Lv 3 • Pejuang • Isian • Kecepatan rms • 16-3-02

Hitung kecepatan rms molekul oksigen ($M = 32 \text{ g/mol}$) pada suhu 27°C . ($R = 8,31 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$)

Jawaban: m/s

Kunci: 483,4 m/s

Pembahasan: $v_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} = \sqrt{\frac{3 \times 8,31 \times 300}{0,032}} = \sqrt{233\,700} \approx 483 \text{ m/s}$.

Ingat: M harus dalam kg/mol (0,032), bukan 32.

11. Lv 3 • Pejuang • Isian • Energi kinetik rata-rata • 16-3-03

Berapa energi kinetik rata-rata satu molekul gas ideal pada suhu 127°C ? ($k = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$; tulis jawaban seperti $1,23\text{e-}21$)

Jawaban: J

Kunci: $8,28 \times 10^{-21} \text{ J}$

Pembahasan: $T = 400 \text{ K}$.

$\overline{E_k} = \frac{3}{2}kT = 1,5 \times 1,38 \times 10^{-23} \times 400 = 8,28 \times 10^{-21} \text{ J}$.

Hasil ini sama untuk gas apa pun pada 127°C .

12. Lv 3 • Pejuang • Isian • Hukum gas gabungan • 16-3-04

Gas bervolume $2,0 \text{ L}$ bertekanan $1,0 \text{ atm}$ pada 27°C dimampatkan menjadi $0,50 \text{ L}$ sambil dipanaskan sampai 127°C . Berapa tekanannya sekarang (atm)?

Jawaban: atm

Kunci: 5,33 atm

Pembahasan: $\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \Rightarrow P_2 = P_1 \frac{V_1}{V_2} \frac{T_2}{T_1} = 1,0 \times \frac{2,0}{0,50} \times \frac{400}{300} \approx 5,33 \text{ atm}$.

Pemampatan menaikkan tekanan 4 kali, pemanasan menambah sepertiganya lagi.

Lv 4 • IGCSE gaya Cambridge IGCSE

13. Lv 4 • IGCSE • Uraian • Model molekul • gaya IGCSE • 16-4-01

Jelaskan, dengan menggunakan model molekul (*kinetic particle model*), mengapa tekanan gas di dalam wadah tertutup bertambah ketika gas dipanaskan. [3 poin]

Kunci/rubrik:

1. Saat dipanaskan, energi kinetik rata-rata molekul bertambah, sehingga molekul bergerak lebih cepat.
2. Molekul menumbuk dinding wadah lebih sering (frekuensi tumbukan bertambah).
3. Setiap tumbukan juga lebih keras (perubahan momentum lebih besar), sehingga gaya rata-rata pada dinding per satuan luas, yaitu tekanan, bertambah.

Pembahasan: Jawaban yang hanya menyebut "molekul memuai" atau "molekul bertambah" tidak mendapat poin, karena ukuran dan jumlah molekul tetap.

14. Lv 4 • IGCSE • Isian • Data Boyle • gaya IGCSE • 16-4-02

Seorang siswa menekan udara di dalam suntikan tertutup pada suhu tetap dan mencatat:

V (cm³)	50	40	25	20
P (kPa)	100	125	200	?

Hitung tekanan pada volume 20 cm³.

Jawaban: kPa

Kunci: 250 kPa

Pembahasan: Dari data, PV selalu 5000 kPa·cm³ ($100 \times 50 = 125 \times 40 = 200 \times 25$).

$$P = \frac{5000}{20} = 250 \text{ kPa.}$$

15. Lv 4 • IGCSE • Pilihan ganda • Hukum tekanan • gaya IGCSE • 16-4-03

Seorang siswa memanaskan gas di dalam wadah tertutup kaku dari 20 °C menjadi 80 °C. Pernyataan yang benar adalah...

- A. tekanan menjadi 4 kali, karena suhunya menjadi 4 kali
- B. tekanan naik sekitar 20%, karena suhu mutlak naik dari 293 K menjadi 353 K
- C. tekanan tetap, karena volumenya tetap
- D. tekanan turun, karena molekulnya memuai

Kunci: B

Pembahasan: Pada volume tetap, $P \propto T$ (kelvin). $\frac{353}{293} \approx 1,20$, jadi tekanan naik $\pm 20\%$. Pilihan A memakai Celsius (keliru), pilihan D memakai miskonsepsi molekul memuai.

16. Lv 4 • IGCSE • Isian • Tekanan ban • gaya IGCSE • 16-4-04

Pada pagi hari bersuhu 25 °C, alat ukur menunjukkan tekanan ban 30 psi. Siang harinya suhu udara di dalam ban 45 °C. Anggap volume ban tetap dan tekanan udara luar 14,7 psi. Hitung angka pada alat ukur siang hari.

Jawaban: psi

Kunci: 33 psi

Pembahasan: Tekanan mutlak pagi: $30 + 14,7 = 44,7$ psi; $T_1 = 298$ K, $T_2 = 318$ K.

$$P_2 = 44,7 \times \frac{318}{298} = 47,7 \text{ psi (mutlak).}$$

Alat ukur: $47,7 - 14,7 = 33,0$ psi.

Kesalahan umum: memakai 30 psi langsung memberi 32,0 psi.

17. Lv 5 • IB DP • Isian • Jumlah molekul • gaya IB • 16-5-01

Ruang kelas berukuran $5,0 \text{ m} \times 4,0 \text{ m} \times 3,0 \text{ m}$ berisi udara bersuhu 300 K dan bertekanan $1,01 \times 10^5 \text{ Pa}$. Perkirakan jumlah molekul udara di dalamnya. ($k = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$; tulis seperti 1,23e27)

Jawaban: molekul

Kunci: $1,46 \times 10^{27}$ molekul

Pembahasan: $V = 60 \text{ m}^3$. Dari $PV = NkT$: $N = \frac{PV}{kT} = \frac{1,01 \times 10^5 \times 60}{1,38 \times 10^{-23} \times 300} \approx 1,5 \times 10^{27}$ molekul.

Itu sekitar 2.400 mol, atau $\pm 70 \text{ kg}$ udara!

18. Lv 5 • IB DP • Uraian • Analisis data Boyle • gaya IB • 16-5-02

Siswa mengukur tekanan P udara di dalam suntikan pada berbagai volume V , pada suhu 20°C . Grafik P terhadap $1/V$ berupa garis lurus dengan gradien $2,45 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3$ dan memotong sumbu P di $+3 \text{ kPa}$.

(a) Mengapa grafik P terhadap $1/V$ lebih berguna daripada P terhadap V ?

(b) Hitung jumlah mol udara di dalam suntikan. ($R = 8,31 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$)

(c) Menurut hukum Boyle, garis seharusnya melalui titik asal. Jelaskan arti perpotongan $+3 \text{ kPa}$ dan satu kemungkinan penyebabnya.

Kunci/rubrik: (a) $P = (nRT) \cdot \frac{1}{V}$, jadi grafik P terhadap $1/V$ berupa garis lurus. Garis lurus mudah diuji kesesuaiannya, dan gradiennya (nRT) mudah diukur. Grafik $P-V$ berupa kurva yang sulit dianalisis.

(b) Gradien $= nRT \Rightarrow n = \frac{2,45}{8,31 \times 293} \approx 1,0 \times 10^{-3} \text{ mol}$.

(c) Perpotongan tidak nol menunjukkan **galat sistematis**: semua bacaan tekanan tergeser $+3 \text{ kPa}$. Penyebab yang mungkin: alat ukur tekanan tidak menunjukkan nol dengan benar (galat nol), atau tekanan terbaca relatif terhadap tekanan acuan yang salah. Galat ini tidak memengaruhi gradien, jadi n tetap bisa dihitung dengan benar.

Pembahasan: Rubrik: (a) 2 poin, (b) 2 poin (termasuk kelvin), (c) 2 poin (galat sistematis + penyebab yang masuk akal). Ide kunci IB: gradien tahan terhadap galat sistematis yang berupa pergeseran konstan.

19. Lv 5 • IB DP • Isian • Membandingkan kecepatan rms • gaya IB • 16-5-03

Pada suhu berapa (dalam kelvin) molekul helium ($M = 4 \text{ g/mol}$) memiliki kecepatan rms yang sama dengan molekul nitrogen ($M = 28 \text{ g/mol}$) pada 300 K ?

Jawaban: K

Kunci: $42,9 \text{ K}$

Pembahasan: $v_{\text{rms}} = \sqrt{3RT/M}$ sama jika T/M sama.

$$T_{\text{He}} = 300 \times \frac{4}{28} \approx 42,9 \text{ K}.$$

Helium harus didinginkan sampai $\pm -230^\circ \text{C}$ agar selambat nitrogen pada suhu kamar.

Suhu sejumlah gas dinaikkan, sedangkan jumlah molekulnya tetap. Perubahan grafik sebaran kelajuan Maxwell yang benar adalah...

- A. puncaknya bergeser ke kelajuan yang lebih besar dan menjadi lebih rendah, sedangkan luas di bawah kurva tetap
- B. puncaknya bergeser ke kelajuan yang lebih kecil dan menjadi lebih tinggi
- C. puncaknya tetap, tetapi seluruh kurva menjadi lebih tinggi
- D. luas di bawah kurva bertambah karena molekulnya bertambah

Kunci: A

Pembahasan: Luas di bawah kurva sebanding dengan jumlah total molekul, jadi tetap. Saat suhu naik, kelajuan rata-rata bertambah sehingga puncak bergeser ke kanan. Karena luasnya tetap tetapi kurvanya melebar, puncaknya menjadi lebih rendah.

Lv 6 • Olimpiade gaya OSN/IPhO

21. Lv 6 • Olimpiade • Isian • Dua bejana terhubung • gaya olimpiade • 16-6-01

Bejana A (2,0 L) berisi gas bertekanan 200 kPa pada 300 K. Bejana B (3,0 L) berisi gas sejenis bertekanan 100 kPa pada 400 K. Keduanya dihubungkan dengan pipa sangat tipis, sedangkan suhu masing-masing bejana tetap dijaga (A tetap 300 K, B tetap 400 K). Berapa tekanan akhir bersama (kPa)?

Jawaban: kPa

Kunci: 147,1 kPa

Pembahasan: Jumlah mol total kekal: $\frac{P_A V_A}{RT_A} + \frac{P_B V_B}{RT_B} = \frac{P V_A}{RT_A} + \frac{P V_B}{RT_B}$.

$$P = \frac{P_A V_A / T_A + P_B V_B / T_B}{V_A / T_A + V_B / T_B} = \frac{1,333 + 0,750}{0,00667 + 0,00750} \approx 147 \text{ kPa.}$$

Perhatikan: tekanan akhir *bukan* rata-rata tertimbang volume (140 kPa), karena kedua bejana bersuhu berbeda.

22. Lv 6 • Olimpiade • Isian • Campuran gas & ekipartisi • gaya olimpiade • 16-6-02

Campuran 1 mol helium (monoatomik) dan 1 mol oksigen (diatomik, suhu kamar) dianggap gas ideal. Dengan teorema ekipartisi, tentukan tetapan Laplace campuran $\gamma = C_P / C_V$.

Jawaban:

Kunci: 1,5

Pembahasan: $C_V \text{ total} = \frac{3}{2}R + \frac{5}{2}R = 4R$ (untuk 2 mol).

$C_P \text{ total} = C_V + nR = 4R + 2R = 6R$.

$\gamma = \frac{6R}{4R} = 1,5$, di antara 1,67 (He) dan 1,40 (O₂), tetapi bukan rata-rata sederhana nilai γ keduanya (1,53).

Pada volume tetap, suhu mutlak gas ideal dijadikan 4 kali semula. Laju tumbukan molekul pada setiap satu meter persegi dinding menjadi...

- A. 4 kali
B. 16 kali
C. tetap
D. 2 kali

Kunci: D

Pembahasan: Laju tumbukan per luas $\Phi = \frac{1}{4}n_V\bar{v}$, dengan n_V jumlah molekul per volume (tetap) dan $\bar{v} \propto \sqrt{T}$. Jadi Φ menjadi $\sqrt{4} = 2$ kali.

Cek dengan tekanan: $P \propto T$ menjadi 4 kali = (laju tumbukan 2 kali) $\times$ (impuls tiap tumbukan $\propto v$, juga 2 kali). Konsisten!

Sebuah piston bergerak masuk dengan kelajuan tetap u ke dalam silinder berisi gas ideal. Anggap u jauh lebih kecil daripada kelajuan molekul.

- (a) Molekul dengan komponen kecepatan v_x menumbuk piston secara lenting. Dengan meninjau tumbukan dalam kerangka piston, tunjukkan bahwa setelah memantul kelajuannya $v_x + 2u$.
(b) Tunjukkan bahwa energi kinetik molekul bertambah $\approx 2mv_xu$ per tumbukan.
(c) Jumlahkan untuk semua tumbukan per detik dan tunjukkan bahwa laju pertambahan energi gas sama dengan PAu , dengan A luas piston.
(d) Apa artinya bagi pompa ban yang ditekan cepat?

Kunci/rubrik: (a) Di kerangka piston, molekul datang dengan kelajuan $v_x + u$ dan memantul dengan kelajuan yang sama. Kembali ke kerangka lab: $v_x + u + u = v_x + 2u$.

(b) $\Delta E = \frac{1}{2}m[(v_x + 2u)^2 - v_x^2] = 2mv_xu + 2mu^2 \approx 2mv_xu$.

(c) Gaya rata-rata pada piston adalah jumlah $2mv_x$ dari semua tumbukan per detik, yaitu $F = PA$. Jadi laju pertambahan energi = $u \sum (2mv_x \cdot \text{laju}) = uF = PAu$. Ini persis daya yang diberikan piston: usaha $P dV$ per waktu.

(d) Usaha yang kita lakukan saat menekan pompa berubah menjadi energi kinetik molekul, sehingga suhu udara naik dan pompa terasa hangat. Jika pemampatan cepat (kalor belum sempat keluar), prosesnya adiabatik: ini dibahas di Bab 17.

Pembahasan: Rubrik: (a) 2 poin, (b) 2 poin, (c) 3 poin, (d) 1 poin. Soal ini menjembatani teori kinetik dengan hukum I termodinamika: usaha pada gas = pertambahan energi dalam (jika tidak ada kalor yang keluar).

Lv 1 • Pemula SD-SMP awal

1. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Hukum ke-0 • 17-1-01

Hukum ke-0 termodinamika (tentang kesetimbangan termal) menjadi dasar cara kerja alat...

- | | |
|---------------|--------------|
| A. barometer | C. manometer |
| B. termometer | D. kompas |

Kunci: B

Pembahasan: Termometer dibiarkan bersentuhan dengan benda sampai suhunya sama (setimbang termal). Menurut hukum ke-0, angka pada termometer lalu mewakili suhu benda itu. Barometer dan manometer mengukur tekanan, kompas menunjukkan arah.

2. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Usaha menjadi energi dalam • 17-1-02

Setelah dipakai memompa ban dengan cepat, badan pompa sepeda terasa hangat. Penyebab utamanya adalah...

- A. udara yang ditekan menerima usaha sehingga energi dalamnya naik
- B. ada api kecil di dalam pompa
- C. udara dingin dari ban mengalir ke pompa
- D. pompa menyerap cahaya matahari

Kunci: A

Pembahasan: Saat piston mendorong udara, tanganmu melakukan usaha pada udara. Usaha itu menambah energi gerak molekul udara (energi dalam), sehingga suhunya naik. Udara yang panas lalu menghangatkan badan pompa.

3. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Kulkas • 17-1-03

Kulkas membuang kalor dari makanan ke udara dapur. Bagian kulkas yang terasa hangat karena membuang kalor itu adalah...

- A. lampu di dalam kulkas
- B. karet pintu kulkas
- C. kisi-kisi kondensor di bagian belakang atau bawah
- D. rak sayur paling bawah

Kunci: C

Pembahasan: Kalor dari dalam kulkas dipompa oleh refrigeran ke kondensor, yaitu kisi-kisi pipa di belakang atau di bawah kulkas. Di sana kalor dilepas ke udara dapur, sehingga bagian itu terasa hangat.

4. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Mesin kalor • 17-1-04

Alat berikut yang termasuk **mesin kalor** (mengubah kalor menjadi usaha) adalah...

- | | |
|------------------------|-----------------------|
| A. kipas angin listrik | C. setrika listrik |
| B. dinamo sepeda | D. mesin motor bensin |

Kunci: D

Pembahasan: Mesin motor membakar bensin (menghasilkan kalor), lalu gas panasnya mendorong piston (usaha). Kipas angin mengubah energi listrik menjadi gerak, dinamo mengubah gerak menjadi listrik, dan setrika mengubah listrik menjadi kalor. Ketiganya bukan mesin kalor.

5. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Hukum I • 17-2-01

Gas dalam silinder menerima kalor 1.500 J dan melakukan usaha 600 J pada lingkungan. Berapa perubahan energi dalam gas?

Jawaban: J

Kunci: 900 J

Pembahasan: $\Delta U = Q - W = 1.500 - 600 = 900$ J. Energi dalam naik, jadi suhu gas naik.

6. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Usaha isobarik • 17-2-02

Gas bertekanan tetap 150 kPa memuai dari 2 L menjadi 6 L. Berapa usaha yang dilakukan gas?

Jawaban: J

Kunci: 600 J

Pembahasan: $W = P \Delta V = 150 \times 10^3 \text{ Pa} \times 4 \times 10^{-3} \text{ m}^3 = 600$ J.

Trik cepat: kPa $\times$ L langsung menghasilkan joule, jadi $150 \times 4 = 600$ J.

7. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Efisiensi • 17-2-03

Sebuah mesin menyerap kalor 5.000 J setiap siklus dan menghasilkan usaha 1.500 J. Berapa efisiensinya (dalam persen)?

Jawaban: %

Kunci: 30 %

Pembahasan: $\eta = \frac{W}{Q_h} = \frac{1.500}{5.000} = 0,30 = 30\%$. Sisanya, 3.500 J, dibuang sebagai kalor.

8. Lv 2 • Penjelajah • Pilihan ganda • Jenis proses • 17-2-04

Kaleng biskuit yang tertutup rapat dipanaskan di bawah terik matahari. Udara di dalamnya memanaskan, tetapi kalengnya tidak mengembang. Proses yang dialami udara di dalam kaleng adalah...

A. isokhorik

C. isothermal

B. isobarik

D. adiabatik

Kunci: A

Pembahasan: Volume udara tetap (kaleng kaku dan tertutup), jadi prosesnya **isokhorik**. Usaha gas nol, sehingga semua kalor yang masuk menaikkan energi dalam dan tekanannya.

9. Lv 3 • Pejuang • Isian • Mesin Carnot • 17-3-01

Sebuah mesin Carnot bekerja di antara reservoir bersuhu 527 °C dan 127 °C. Jika mesin menyerap kalor 2.000 J setiap siklus, berapa usaha yang dihasilkan setiap siklus?

Jawaban: J

Kunci: 1.000 J

Pembahasan: $T_h = 800$ K dan $T_c = 400$ K.

$$\eta = 1 - \frac{400}{800} = 0,5.$$

$$W = \eta Q_h = 0,5 \times 2.000 = 1.000 \text{ J.}$$

10. Lv 3 • Pejuang • Isian • Proses isothermal • 17-3-02

Sebanyak 0,50 mol gas ideal bersuhu 300 K memuai secara isothermal sampai volumenya menjadi dua kali semula. Berapa kalor yang diserap gas? ($R = 8,314 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$)

Jawaban: J

Kunci: 864,4 J

Pembahasan: Suhu tetap, jadi $\Delta U = 0$ dan $Q = W$.

$$W = nRT \ln \frac{V_2}{V_1} = 0,5 \times 8,314 \times 300 \times \ln 2 \approx 864 \text{ J.}$$

Seluruh kalor yang masuk dipakai gas untuk mendorong piston.

11. Lv 3 • Pejuang • Isian • Kulkas & COP • 17-3-03

Sebuah kulkas ber-COP 4 mengambil kalor 2.000 J dari makanan di dalamnya. Berapa kalor yang dibuang ke udara dapur?

Jawaban: J

Kunci: 2.500 J

Pembahasan: Usaha listrik: $W = \frac{Q_c}{\text{COP}} = \frac{2.000}{4} = 500 \text{ J.}$

Kalor dibuang: $Q_h = Q_c + W = 2.000 + 500 = 2.500 \text{ J.}$

Kalor yang dibuang selalu lebih besar daripada kalor yang diambil.

12. Lv 3 • Pejuang • Pilihan ganda • Proses adiabatik • 17-3-04

Udara di dalam silinder mesin diesel dimampatkan dengan sangat cepat sehingga tidak ada kalor yang sempat keluar. Pernyataan yang benar untuk udara itu adalah...

- A. Q positif, $W = 0$, ΔU positif
- B. $Q = 0$, W positif, ΔU negatif
- C. Q negatif, W negatif, $\Delta U = 0$
- D. $Q = 0$, W negatif, ΔU positif

Kunci: D

Pembahasan: Proses cepat tanpa pertukaran kalor adalah adiabatik: $Q = 0$. Gas dimampatkan, jadi usaha *oleh* gas negatif. Dari $\Delta U = Q - W = 0 - (\text{negatif})$, energi dalam naik. Udaranya menjadi sangat panas sehingga solar menyala sendiri.

Lv 4 • IGCSE gaya Cambridge IGCSE

13. Lv 4 • IGCSE • Uraian • Model molekul • gaya IGCSE • 17-4-01

Jelaskan, dengan menggunakan gagasan tentang molekul, mengapa suhu udara di dalam pompa sepeda naik ketika piston didorong masuk dengan cepat. [4 poin]

Kunci/rubrik:

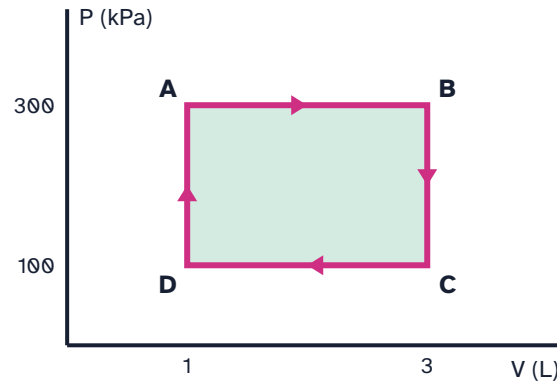
1. Piston yang bergerak masuk menumbuk molekul-molekul udara.
2. Molekul memantul dari piston dengan kelajuan yang lebih besar, jadi energi kinetiknya bertambah (usaha dilakukan pada gas).
3. Suhu sebanding dengan energi kinetik rata-rata molekul, sehingga suhu udara naik.
4. Karena pemampatannya cepat, hanya sedikit energi termal yang sempat berpindah ke lingkungan.

Pembahasan: Kunci penilaian: satu poin untuk tumbukan dengan piston yang bergerak, satu poin untuk kenaikan kelajuan/energi kinetik molekul, satu poin untuk hubungan suhu dengan energi kinetik rata-rata, dan satu poin untuk alasan kalor tidak sempat keluar.

17. Lv 5 • IB DP • Uraian • Siklus pada diagram P-V • gaya IB • 17-5-01

Gas ideal monoatomik menjalani siklus $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ seperti pada gambar: A (1,0 L; 300 kPa), B (3,0 L; 300 kPa), C (3,0 L; 100 kPa), D (1,0 L; 100 kPa).

- Hitung usaha bersih per siklus.
- Pada proses mana saja gas menyerap kalor? Jelaskan.
- Hitung kalor total yang diserap per siklus dan efisiensi siklus.
- Bandingkan dengan efisiensi Carnot yang bekerja di antara suhu tertinggi dan terendah siklus ini.



Kunci/rubrik: (a) Usaha bersih = luas persegi panjang = $(3,0 - 1,0) \text{ L} \times (300 - 100) \text{ kPa} = 400 \text{ J}$.

(b) Kalor diserap pada $D \rightarrow A$ (isokhorik, tekanan naik sehingga suhu naik dan $W = 0$) dan $A \rightarrow B$ (isobarik memuai, suhu naik dan gas melakukan usaha). Pada $B \rightarrow C$ dan $C \rightarrow D$ suhu turun, sehingga gas melepas kalor.

(c) $A \rightarrow B$: $Q = \frac{5}{2}P\Delta V = 2,5 \times 300 \times 2,0 = 1.500 \text{ J}$. $D \rightarrow A$: $Q = \frac{3}{2}V\Delta P = 1,5 \times 1,0 \times 200 = 300 \text{ J}$. Total $Q_{\text{masuk}} = 1.800 \text{ J}$, sehingga $\eta = 400/1.800 \approx 22\%$.

(d) Suhu sebanding dengan PV : tertinggi di B ($PV = 900$) dan terendah di D ($PV = 100$), jadi $T_{\text{maks}}/T_{\text{min}} = 9$ dan $\eta_C = 1 - 1/9 \approx 89\%$. Siklus persegi jauh kurang efisien karena kalor diserap dan dibuang pada suhu yang terus berubah, bukan hanya pada suhu tertinggi dan terendah.

Pembahasan: Untuk gas monoatomik, $\Delta U = \frac{3}{2}\Delta(PV)$. Pada proses isobarik $Q = \Delta U + W = \frac{3}{2}P\Delta V + P\Delta V = \frac{5}{2}P\Delta V$. Pada proses isokhorik $Q = \Delta U = \frac{3}{2}V\Delta P$. Cek: kalor bersih $1.500 - 900 - 500 + 300 = 400 \text{ J}$, sama dengan usaha bersih, sesuai Hukum I untuk satu siklus penuh ($\Delta U = 0$).

18. Lv 5 • IB DP • Isian • Pemampatan adiabatik • gaya IB • 17-5-02

Udara ($\gamma = 1,40$) bersuhu 27°C dimampatkan secara adiabatik di dalam mesin diesel sampai volumenya tinggal $\frac{1}{16}$ volume awal. Tentukan suhu akhir udara dalam $^\circ\text{C}$. Anggap udara gas ideal.

Jawaban: $^\circ\text{C}$

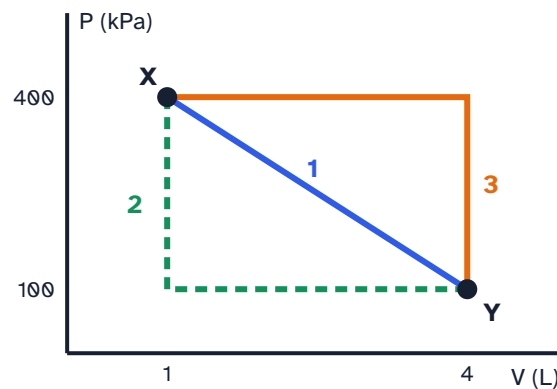
Kunci: 636,4 $^\circ\text{C}$

Pembahasan: $T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1} \Rightarrow T_2 = T_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} = 300 \times 16^{0,40}$.

$16^{0,40} \approx 3,03$, jadi $T_2 \approx 909 \text{ K} \approx 636^\circ\text{C}$.

Asumsi: tidak ada kalor yang hilang ke dinding. Pada mesin nyata suhunya sedikit lebih rendah, tetapi tetap jauh di atas suhu nyala solar.

Gas ideal berpindah dari keadaan X (1 L; 400 kPa) ke keadaan Y (4 L; 100 kPa) melalui tiga jalur berbeda seperti pada gambar. Jalur manakah yang membuat gas **menyerap kalor paling banyak**?



- A. jalur 3 (memuai dulu, lalu tekanan turun)
- B. jalur 2 (tekanan turun dulu, lalu memuai)
- C. jalur 1 (garis lurus), karena paling pendek
- D. ketiganya sama, karena keadaan awal dan akhirnya sama

Kunci: A

Pembahasan: ΔU hanya bergantung pada keadaan awal dan akhir. Di sini PV di X dan Y sama-sama 400 kPa·L, jadi suhunya sama dan $\Delta U = 0$. Maka $Q = W = \text{luas di bawah jalur}$.

Jalur 1: $\frac{1}{2}(400 + 100) \times 3 = 750$ J. Jalur 2: $100 \times 3 = 300$ J. Jalur 3: $400 \times 3 = 1.200$ J.

Jalur 3 menyerap kalor paling banyak (1.200 J). Kalor dan usaha bergantung jalur, energi dalam tidak.

Suhu reservoir sebuah mesin ideal diukur $T_h = (500 \pm 5)$ K dan $T_c = (300 \pm 3)$ K, sehingga efisiensi Carnot-nya 40%. Berapa ketidakpastian absolut efisiensi tersebut, dinyatakan dalam poin persen?

Jawaban: %

Kunci: 1,2 %

Pembahasan: $\eta = 1 - T_c/T_h$. Ketidakpastian hanya berasal dari rasio $T_c/T_h = 0,600$.

Ketidakpastian relatif rasio = $\frac{5}{500} + \frac{3}{300} = 1\% + 1\% = 2\%$.

Ketidakpastian absolut rasio = $0,02 \times 0,600 = 0,012$.

Jadi $\eta = (40,0 \pm 1,2)\%$. Perhatikan: ketidakpastian relatif η (3%) lebih besar daripada ketidakpastian relatif tiap suhu.

21. Lv 6 • Olimpiade • Isian • Mesin Carnot bertingkat • gaya olimpiade • 17-6-01

Dua mesin Carnot dipasang bertingkat. Mesin pertama menyerap kalor dari reservoir 800 K dan membuang kalor ke reservoir antara bersuhu T . Mesin kedua menyerap seluruh kalor buangan itu dan membuang kalor ke reservoir 300 K. Berapa T agar kedua mesin memiliki efisiensi yang **sama**?

Jawaban: K

Kunci: 489,9 K

Pembahasan: $1 - \frac{T}{800} = 1 - \frac{300}{T} \Rightarrow T^2 = 800 \times 300 \Rightarrow T = \sqrt{240.000} \approx 490$ K, yaitu rata-rata **geometris** kedua suhu.

Bonus: jika yang disamakan adalah *usaha*-nya, hasilnya rata-rata aritmetika $T = 550$ K. Efisiensi gabungan keduanya tetap $1 - 300/800 = 62,5\%$, sama dengan satu mesin Carnot di antara 800 K dan 300 K.

22. Lv 6 • Olimpiade • Isian • Usaha maksimum dari dua benda • gaya olimpiade • 17-6-02

Dua balok identik masing-masing berkapasitas kalor $C = 1.000$ J/K. Mula-mula suhunya 400 K dan 100 K. Sebuah mesin reversibel bekerja di antara keduanya sampai suhu kedua balok sama. Berapa usaha maksimum yang dihasilkan (dalam kJ)?

Jawaban: kJ

Kunci: 100 kJ

Pembahasan: Reversibel: $C \ln \frac{T_f}{400} + C \ln \frac{T_f}{100} = 0 \Rightarrow T_f = \sqrt{400 \times 100} = 200$ K.

Kalor dari balok panas: $C(400 - 200) = 200$ kJ. Kalor ke balok dingin: $C(200 - 100) = 100$ kJ.

Usaha maksimum: $W = 200 - 100 = 100$ kJ.

Bandingkan: jika kedua balok langsung ditempelkan, suhu akhirnya 250 K dan usahanya nol. Selisih suhu akhir (250 K vs 200 K) setara dengan energi $2C \times 50$ K = 100 kJ, yaitu energi yang "diselamatkan" menjadi usaha.

23. Lv 6 • Olimpiade • Pilihan ganda • Laju penurunan suhu adiabatik • gaya olimpiade • 17-6-03

Segumpal udara kering naik di atas lereng gunung tanpa bertukar kalor dengan sekitarnya, sambil tekanannya selalu sama dengan tekanan udara di sekelilingnya (kesetimbangan hidrostatis). Kalor jenis udara pada tekanan tetap $c_p \approx 1.005$ J/kg·K dan $g = 9,81$ m/s². Laju penurunan suhu gumpalan udara itu terhadap ketinggian kira-kira...

A. 0,98 K per km

C. 9,8 K per km

B. 6,5 K per km

D. 98 K per km

Kunci: C

Pembahasan: Per satuan massa, Hukum I untuk proses adiabatik: $0 = c_p dT - \frac{1}{\rho} dP$. Kesetimbangan hidrostatis: $dP = -\rho g dz$.

Gabungkan: $c_p dT = -g dz \Rightarrow \frac{dT}{dz} = -\frac{g}{c_p} = -\frac{9,81}{1.005} \approx -9,8$ K/km.

Angka 6,5 K/km adalah rata-rata atmosfer sungguhan: lebih kecil karena uap air yang mengembun melepaskan kalor laten. Itulah mengapa puncak gunung jauh lebih dingin daripada pantai.

Sebanyak 1,0 kg air bersuhu 80 °C dicampur dengan 1,0 kg air bersuhu 20 °C di dalam wadah terisolasi ($c = 4.200 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$).

- Tentukan suhu akhir campuran.
- Hitung perubahan entropi total. Tunjukkan bahwa hasilnya positif.
- Jika kedua air itu tidak dicampur, tetapi dihubungkan oleh mesin reversibel sampai suhunya sama, berapa suhu akhir dan usaha maksimum yang bisa diperoleh?

Kunci/rubrik: (a) Massa dan kalor jenis sama, jadi $T_f = 50 \text{ °C} = 323 \text{ K}$.

(b) $\Delta S = mc \ln \frac{323}{353} + mc \ln \frac{323}{293} = 4.200 (-0,0888 + 0,0975) \approx +36 \text{ J/K}$. Positif: pencampuran adalah proses tak reversibel.

(c) Reversibel berarti $\Delta S = 0$: $\ln \frac{T_f}{353} + \ln \frac{T_f}{293} = 0 \Rightarrow T_f = \sqrt{353 \times 293} \approx 321,6 \text{ K}$. Usaha maksimum $W = mc(353 + 293 - 2 \times 321,6) \approx 4.200 \times 2,8 \approx 12 \text{ kJ}$.

Pembahasan: Kalor yang dilepas air panas memang sama dengan kalor yang diterima air dingin, tetapi entropi yang hilang dari air panas (dibagi suhu yang lebih tinggi) lebih kecil daripada entropi yang diterima air dingin (dibagi suhu yang lebih rendah). Karena itu entropi total naik. Peluang memperoleh usaha $\pm 12 \text{ kJ}$ "terbuang" begitu saja ketika air langsung dicampur.

18 Gelombang Mekanik

Lv 1 • Pemula SD-SMP awal

1. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Hakikat gelombang • 18-1-01

Kamu menjatuhkan kerikil ke kolam sehingga riak menyebar ke tepi. Yang berpindah dari tengah kolam ke tepi adalah...

- A. air kolam
- B. energi
- C. daun yang mengapung
- D. dasar kolam

Kunci: B

Pembahasan: Gelombang memindahkan **energi**, bukan medium. Air dan daun yang mengapung hanya naik-turun di sekitar posisinya, sedangkan energinya merambat sampai ke tepi kolam.

2. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Jenis gelombang • 18-1-02

Bunyi yang merambat di udara termasuk gelombang...

- A. longitudinal
- B. transversal
- C. elektromagnetik
- D. permukaan

Kunci: A

Pembahasan: Molekul udara bergetar maju-mundur **searah** rambatan bunyi sehingga membentuk rapatan dan renggangan. Itulah gelombang longitudinal.

3. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Besaran gelombang • 18-1-03

Jarak antara dua puncak gelombang yang berurutan disebut...

- A. amplitudo
- B. periode
- C. frekuensi
- D. panjang gelombang

Kunci: D

Pembahasan: Panjang gelombang (λ) adalah jarak dua puncak berurutan, atau dua lembah berurutan. Amplitudo adalah simpangan terbesar, periode adalah waktu satu getaran, dan frekuensi adalah banyak getaran tiap detik.

4. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Satuan • 18-1-04

Satuan frekuensi dalam SI adalah...

- A. meter
- B. sekon
- C. hertz
- D. meter per sekon

Kunci: C

Pembahasan: Frekuensi diukur dalam hertz (Hz). 1 Hz berarti satu getaran setiap detik. Meter untuk panjang gelombang, sekon untuk periode, dan meter per sekon untuk cepat rambat.

5. Lv 2 • Penjelajah • Isian • $v = \lambda f$ • 18-2-01

Gelombang pada seutas tali memiliki panjang gelombang 0,8 m dan frekuensi 5 Hz. Berapa cepat rambatnya?

Jawaban: m/s

Kunci: 4 m/s

Pembahasan: $v = \lambda f = 0,8 \times 5 = 4 \text{ m/s}$.

6. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Periode • 18-2-02

Perahu nelayan di Teluk Ambon naik-turun 12 kali dalam 1 menit karena ombak. Berapa periode ombak itu?

Jawaban: s

Kunci: 5 s

Pembahasan: Periode = waktu untuk satu getaran: $T = \frac{60 \text{ s}}{12} = 5 \text{ s}$. Frekuensinya $f = 1/T = 0,2 \text{ Hz}$.

7. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Panjang gelombang • 18-2-03

Gelombang gempa P merambat di kerak bumi dengan kecepatan 6.000 m/s dan frekuensi 2 Hz. Berapa panjang gelombangnya?

Jawaban: m

Kunci: 3.000 m

Pembahasan: $\lambda = \frac{v}{f} = \frac{6.000}{2} = 3.000 \text{ m} = 3 \text{ km}$. Gelombang gempa sangat panjang!

8. Lv 2 • Penjelajah • Pilihan ganda • Membaca pola gelombang • 18-2-04

Seutas tali sepanjang 6 m digoyang sehingga terbentuk tepat 3 puncak dan 3 lembah di sepanjang tali. Panjang gelombangnya adalah...

A. 1 m

C. 3 m

B. 2 m

D. 6 m

Kunci: B

Pembahasan: Satu gelombang penuh = satu puncak + satu lembah. Tiga puncak dan tiga lembah = 3 gelombang penuh dalam 6 m, jadi $\lambda = 6/3 = 2 \text{ m}$.

9. Lv 3 • Pejuang • Isian • Persamaan gelombang • 18-3-01

Gelombang berjalan pada tali dinyatakan oleh $y = 0,04 \sin(20\pi t - 4\pi x)$, dengan x, y dalam meter dan t dalam sekon. Berapa cepat rambat gelombang itu?

Jawaban: m/s

Kunci: 5 m/s

Pembahasan: $\omega = 20\pi \text{ rad/s}$ sehingga $f = 10 \text{ Hz}$. $k = 4\pi \text{ rad/m}$ sehingga $\lambda = 0,5 \text{ m}$.
 $v = \omega/k = \lambda f = 0,5 \times 10 = 5 \text{ m/s}$, ke arah x positif.

10. Lv 3 • Pejuang • Isian • Nada dasar dawai • 18-3-02

Bagian dawai gitar yang bergetar panjangnya 0,60 m, tegangannya 90 N, dan massa per panjangnya 4 g/m. Berapa frekuensi nada dasarnya?

Jawaban: Hz

Kunci: 125 Hz

Pembahasan: $\mu = 0,004 \text{ kg/m}$, jadi $v = \sqrt{90/0,004} = \sqrt{22.500} = 150 \text{ m/s}$.

Nada dasar: $L = \frac{1}{2}\lambda \Rightarrow f_1 = \frac{v}{2L} = \frac{150}{1,2} = 125 \text{ Hz}$.

11. Lv 3 • Pejuang • Isian • Beda fase • 18-3-03

Gelombang berfrekuensi 50 Hz merambat 20 m/s pada seutas tali. Berapa beda fase (dalam derajat) antara dua titik pada tali yang berjarak 10 cm?

Jawaban: °

Kunci: 90 °

Pembahasan: $\lambda = v/f = 20/50 = 0,4 \text{ m}$.

$\Delta\varphi = 360^\circ \times \frac{\Delta x}{\lambda} = 360^\circ \times \frac{0,1}{0,4} = 90^\circ$ (atau $\pi/2$ rad). Saat titik pertama di puncak, titik kedua sedang melewati posisi setimbang.

12. Lv 3 • Pejuang • Pilihan ganda • Interferensi • 18-3-04

Dua sumber riak sefase menghasilkan gelombang dengan $\lambda = 2 \text{ cm}$. Titik P berjarak 9 cm dari sumber pertama dan 12 cm dari sumber kedua. Di titik P terjadi...

- A. interferensi konstruktif, karena selisih lintasannya 3 cm
- B. resonansi, karena kedua sumber sefase
- C. pemantulan ujung tetap
- D. interferensi destruktif, karena selisih lintasannya $1,5\lambda$

Kunci: D

Pembahasan: Selisih lintasan $\Delta s = 12 - 9 = 3 \text{ cm} = 1,5\lambda$. Untuk sumber sefase, selisih $(n + \frac{1}{2})\lambda$ menghasilkan interferensi **destruktif**: puncak dari satu sumber bertemu lembah dari sumber lain, sehingga air di P hampir tenang.

Lv 4 • IGCSE gaya Cambridge IGCSE

13. Lv 4 • IGCSE • Uraian • Gelombang memindahkan energi • gaya IGCSE • 18-4-01

Jelaskan bagaimana kamu dapat menunjukkan, menggunakan bak berisi air dan sepotong gabus, bahwa gelombang air memindahkan energi tetapi tidak memindahkan air. [3 poin]

Kunci/rubrik:

1. Apungkan gabus di tengah bak, lalu buat gelombang di salah satu ujung (misalnya dengan menggoyang penggaris secara teratur).
2. Amati: gabus hanya naik-turun (atau berputar kecil) di tempatnya dan tidak terbawa ke ujung lain bak.
3. Sementara itu gelombang tetap sampai ke ujung lain bak (misalnya air memercik atau benda ringan di tepi ikut bergoyang), menunjukkan energi telah berpindah.

Pembahasan: Kunci penilaian: satu poin untuk susunan percobaan, satu poin untuk pengamatan gabus yang tidak berpindah, satu poin untuk bukti bahwa energi sampai ke ujung lain.

Seorang siswa mengubah frekuensi penggetar tangki riak dan mengukur panjang gelombang riak.

Frekuensi (Hz)	5	10	15	20
Panjang gelombang (cm)	4,0	2,0	1,4	1,0

Pernyataan yang paling sesuai dengan data adalah...

- A. Cepat rambat riak bertambah ketika frekuensi bertambah.
- B. Cepat rambat riak kira-kira tetap (± 20 cm/s), sehingga panjang gelombang berbanding terbalik dengan frekuensi.
- C. Panjang gelombang sebanding dengan frekuensi.
- D. Riak berfrekuensi 20 Hz merambat paling cepat.

Kunci: B

Pembahasan: Hitung $v = f\lambda$ tiap kolom: 20, 20, 21, 20 cm/s. Hasilnya hampir sama, jadi cepat rambat ditentukan oleh medium (kedalaman air), bukan oleh penggetar. Karena v tetap, λ mengecil ketika f membesar.

Riak membutuhkan waktu 6,0 s untuk menyeberangi tangki riak yang panjangnya 1,5 m. Panjang gelombang riak 2,5 cm. Hitung frekuensi riak.

Jawaban: Hz

Kunci: 10 Hz

Pembahasan: Kecepatan: $v = \frac{1,5}{6,0} = 0,25$ m/s.

Frekuensi: $f = \frac{v}{\lambda} = \frac{0,25}{0,025} = 10$ Hz. Ingat mengubah 2,5 cm menjadi 0,025 m.

Ombak di lepas pantai Pangandaran memiliki periode 4,0 s dan merambat dengan kecepatan 6,0 m/s. Hitung panjang gelombangnya.

Jawaban: m

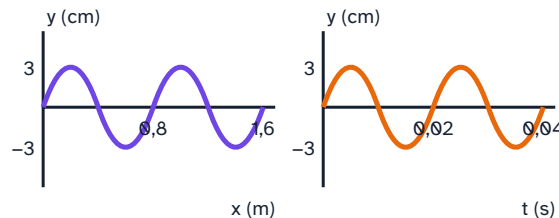
Kunci: 24 m

Pembahasan: $\lambda = \frac{v}{f} = vT = 6,0 \times 4,0 = 24$ m.

17. Lv 5 • IB DP • Uraian • Dua grafik gelombang • gaya IB • 18-5-01

Grafik kiri menunjukkan simpangan y terhadap posisi x pada suatu saat. Grafik kanan menunjukkan simpangan sebuah titik pada tali terhadap waktu t .

- Tentukan cepat rambat gelombang.
- Hitung kecepatan maksimum titik-titik tali.
- Tegangan tali diperbesar empat kali, sedangkan frekuensi penggetar tetap. Tentukan panjang gelombang yang baru.
- Jelaskan mengapa jawaban (a) dan (b) berbeda.



Kunci/rubrik: (a) Dari grafik kiri $\lambda = 0,8$ m, dari grafik kanan $T = 0,02$ s. $v = \lambda/T = 40$ m/s.

(b) $v_{\text{maks}} = A\omega = 0,03 \times \frac{2\pi}{0,02} \approx 9,4$ m/s.

(c) $v \propto \sqrt{F}$, jadi v menjadi 2 kali (80 m/s). Frekuensi tetap 50 Hz, sehingga $\lambda = 80/50 = 1,6$ m.

(d) (a) adalah laju pola gelombang yang bergeser sepanjang tali dan ditentukan oleh tegangan serta massa tali. (b) adalah laju naik-turun titik tali yang bergantung pada amplitudo dan frekuensi, serta berubah-ubah selama satu getaran.

Pembahasan: Kunci membaca dua grafik: grafik simpangan–posisi memberi λ (jarak puncak ke puncak), sedangkan grafik simpangan–waktu memberi T (waktu puncak ke puncak). Jangan tertukar! Pada (c), yang ditentukan penggetar adalah frekuensi, sedangkan medium menentukan cepat rambat. Panjang gelombang menyesuaikan.

18. Lv 5 • IB DP • Isian • Percobaan Melde • gaya IB • 18-5-02

Pada percobaan Melde, tali horizontal sepanjang 1,20 m membentang dari penggetar ke katrol. Ujung tali di balik katrol diberi beban 0,50 kg. Massa per panjang tali 2,0 g/m dan $g = 9,81$ m/s². Pada frekuensi berapa terbentuk gelombang stasioner dengan 2 perut? Anggap kedua ujung tali sebagai simpul.

Jawaban: Hz

Kunci: 41,3 Hz

Pembahasan: Tegangan: $F = mg = 0,50 \times 9,81 = 4,905$ N.

$v = \sqrt{4,905/0,0020} \approx 49,5$ m/s.

Dua perut: $L = \lambda = 1,20$ m, jadi $f = v/\lambda \approx 41,3$ Hz.

Asumsi: tali tidak mulur, gesekan katrol diabaikan, dan ujung di penggetar benar-benar simpul (amplitudo penggetar sangat kecil).

19. Lv 5 • IB DP • Pilihan ganda • Arah rambat • gaya IB • 18-5-03

Sebuah gelombang dinyatakan oleh $y = 0,02 \sin \left(4\pi t + \frac{\pi}{2} x \right)$ dalam satuan SI. Cepat rambat dan arah rambatnya adalah...

- A. 8 m/s ke arah x positif
 B. 8 m/s ke arah x negatif
 C. 2 m/s ke arah x negatif
 D. 0,125 m/s ke arah x positif

Kunci: B

Pembahasan: $\omega = 4\pi$ rad/s dan $k = \pi/2$ rad/m, jadi $v = \omega/k = 4\pi \div \frac{\pi}{2} = 8$ m/s.

Tanda **plus** antara ωt dan kx berarti fase tetap jika x berkurang ketika t bertambah, jadi gelombang merambat ke arah x **negatif**.

20. Lv 5 • IB DP • Isian • Intensitas dan jarak • gaya IB • 18-5-04

Sebuah sumber titik memancarkan gelombang ke segala arah secara merata. Pada jarak 2,0 m intensitasnya 0,90 W/m². Berapa intensitasnya pada jarak 6,0 m? Abaikan penyerapan oleh medium.

Jawaban: W/m²

Kunci: 0,1 W/m²

Pembahasan: $\frac{I_2}{I_1} = \left(\frac{r_1}{r_2} \right)^2 = \left(\frac{2}{6} \right)^2 = \frac{1}{9}$, jadi $I_2 = 0,90/9 = 0,10$ W/m².

Karena intensitas sebanding dengan kuadrat amplitudo, amplitudonya turun menjadi $\frac{1}{3}$ kali.

Lv 6 • Olimpiade gaya OSN/IPhO

21. Lv 6 • Olimpiade • Isian • Tali menggantung • gaya olimpiade • 18-6-01

Seutas tali homogen sepanjang 4,9 m digantung vertikal dari langit-langit, ujung bawahnya bebas. Sebuah pulsa kecil dibuat di ujung bawah. Berapa lama pulsa itu sampai ke langit-langit? ($g = 9,8$ m/s²)

Jawaban: s

Kunci: 1,414 s

Pembahasan: Pada jarak y dari ujung bawah, $F = \mu gy$, sehingga $v = \sqrt{F/\mu} = \sqrt{gy}$, tidak bergantung pada μ .

Waktu tempuh: $t = \int_0^L \frac{dy}{\sqrt{gy}} = 2\sqrt{\frac{L}{g}} = 2\sqrt{\frac{4,9}{9,8}} \approx 1,41$ s.

Fakta menarik: pulsa dipercepat dengan percepatan tetap $g/2$, karena $v^2 = gy$ mirip dengan $v^2 = 2as$ dengan $a = g/2$.

22. Lv 6 • Olimpiade • Isian • Sambungan dua tali • gaya olimpiade • 18-6-02

Tali ringan (massa per panjang μ) disambung dengan tali berat (4μ), keduanya bertegangan sama. Pulsa beramplitudo 6,0 cm datang dari tali ringan menuju sambungan. Berapa amplitudo pulsa yang **diteruskan** ke tali berat?

Jawaban: cm

Kunci: 4 cm

Pembahasan: Cepat rambat: $v_1 = \sqrt{F/\mu}$ dan $v_2 = \sqrt{F/4\mu} = v_1/2$.

Syarat kontinuitas simpangan: $A_d + A_p = A_t$. Syarat kontinuitas kemiringan (gaya): $\frac{A_d - A_p}{v_1} = \frac{A_t}{v_2}$.

Penyelesaiannya: $A_t = \frac{2v_2}{v_1 + v_2} A_d = \frac{2(1/2)}{1 + 1/2} \times 6 = 4$ cm, dan $A_p = \frac{v_2 - v_1}{v_1 + v_2} A_d = -2$ cm (pulsa pantul terbalik, karena tali berat bersifat seperti "ujung tetap").

Seutas tali sepanjang 1,2 m diikat mati di satu ujung, sedangkan ujung lainnya diikatkan pada cincin ringan yang bebas meluncur di tiang licin. Cepat rambat gelombang pada tali 48 m/s. Tiga frekuensi alami terendahnya adalah...

- A. 20, 40, dan 60 Hz
 B. 10, 20, dan 30 Hz
 C. 10, 30, dan 50 Hz
 D. 20, 60, dan 100 Hz

Kunci: C

Pembahasan: Ujung tetap = simpul, ujung bebas = perut. Panjang tali harus memuat ganjil kali seperempat

gelombang: $L = (2n - 1) \frac{\lambda}{4}$.

$f = \frac{(2n - 1)v}{4L} = (2n - 1) \frac{48}{4,8} = 10, 30, 50 \text{ Hz}$. Hanya harmonik ganjil yang muncul, persis seperti pipa organa tertutup di Bab 19.

Dua sumber riak sefase berjarak $d = 5,0 \text{ cm}$ menghasilkan gelombang dengan $\lambda = 1,2 \text{ cm}$.

- (a) Berapa banyak garis simpul yang terbentuk?
 (b) Jauh dari sumber, garis simpul hampir lurus. Tentukan sudut garis simpul terdekat dari garis tengah.
 (c) Jika kedua sumber dibuat berlawanan fase, berapa banyak garis simpul sekarang, dan apa yang terjadi pada garis tengah?

Kunci/rubrik: (a) Simpul: $|r_1 - r_2| = (n + \frac{1}{2})\lambda < d$. $(n + \frac{1}{2}) \times 1,2 < 5 \Rightarrow n = 0, 1, 2, 3$. Masing-masing muncul di kiri dan kanan garis tengah, jadi 8 garis simpul.

(b) Jauh dari sumber $r_1 - r_2 \approx d \sin \theta$. Simpul terdekat ($n = 0$): $\sin \theta = 0,6/5,0 = 0,12$, jadi $\theta \approx 6,9^\circ$.

(c) Berlawanan fase menukar peran: simpul berada di $|r_1 - r_2| = n\lambda$. Nilai $n = 0$ adalah garis tengah itu sendiri, sehingga garis tengah menjadi **simpul**. Nilai $n = 1, 2, 3, 4$ (karena $4 \times 1,2 = 4,8 < 5$) muncul di kedua sisi. Total $1 + 8 = 9$ garis simpul.

Pembahasan: Garis simpul adalah hiperbola dengan fokus di kedua sumber, karena selisih jarak ke dua titik tetap. Selisih jarak tidak pernah melebihi d , sehingga banyak garis simpul dibatasi oleh d/λ . Cara cepat menghitung: tuliskan semua kelipatan yang mungkin di bawah d , lalu kalikan dua (kecuali garis tengah).

Lv 1 • Pemula SD-SMP awal

1. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Medium bunyi • 19-1-01

Bunyi **tidak** dapat merambat melalui...

- | | |
|---------|----------------|
| A. air | C. udara |
| B. besi | D. ruang hampa |

Kunci: D

Pembahasan: Bunyi adalah gelombang mekanik yang membutuhkan medium (zat padat, cair, atau gas). Di ruang hampa tidak ada partikel yang bisa dirapatkan dan diregangkan, jadi bunyi tidak merambat.

2. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Tinggi nada • 19-1-02

Tinggi rendahnya nada sebuah bunyi ditentukan oleh...

- | | |
|----------------------|-----------------------|
| A. amplitudo getaran | C. cepat rambat bunyi |
| B. frekuensi getaran | D. jarak pendengar |

Kunci: B

Pembahasan: Makin besar frekuensi, makin tinggi nadanya. Amplitudo menentukan kenyaringan, bukan tinggi nada.

3. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Ultrasonik • 19-1-03

Kelelawar pemakan serangga dapat menemukan nyamuk di kegelapan dengan memanfaatkan...

- | | |
|----------------------|--------------------------|
| A. bunyi infrasonik | C. gema bunyi ultrasonik |
| B. cahaya inframerah | D. medan magnet bumi |

Kunci: C

Pembahasan: Kelelawar memancarkan cicitan ultrasonik (di atas 20.000 Hz) dan mendengarkan gemanya. Dari waktu tunda dan arah gema, kelelawar tahu letak serangga. Cara ini disebut ekolokasi.

4. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Cepat rambat bunyi • 19-1-04

Bunyi merambat paling cepat melalui...

- | | |
|-------------|----------------|
| A. rel besi | C. air |
| B. udara | D. ruang hampa |

Kunci: A

Pembahasan: Pada umumnya bunyi paling cepat di zat padat (rel besi ± 5.000 m/s), lebih lambat di zat cair (air ± 1.500 m/s), dan paling lambat di gas (udara ± 340 m/s). Di ruang hampa bunyi tidak merambat sama sekali.

Lv 2 • Penjelajah SMP (Fase D)

5. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Jarak petir • 19-2-01

Sari melihat kilat, lalu mendengar guruh 5 detik kemudian. Jika cepat rambat bunyi 340 m/s, berapa jarak petir dari Sari?

Jawaban: m

Kunci: 1.700 m

Pembahasan: Cahaya kilat tiba hampir seketika, jadi waktu 5 s adalah waktu tempuh bunyi: $s = vt = 340 \times 5 = 1.700 \text{ m} = 1,7 \text{ km}$.

6. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Gema • 19-2-02

Raka berteriak di depan tebing di Ngarai Sianok dan mendengar gema 1,5 s kemudian. Cepat rambat bunyi 340 m/s. Berapa jarak Raka ke tebing?

Jawaban: m

Kunci: 255 m

Pembahasan: Bunyi menempuh perjalanan pergi dan pulang, jadi jarak tebing adalah separuh jarak tempuh: $s = \frac{1}{2}vt = \frac{1}{2} \times 340 \times 1,5 = 255 \text{ m}$.

7. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Panjang gelombang bunyi • 19-2-03

Sebuah garpu tala bergetar dengan frekuensi 680 Hz di udara yang cepat rambat bunyinya 340 m/s. Berapa panjang gelombang bunyinya?

Jawaban: m

Kunci: 0,5 m

Pembahasan: $\lambda = \frac{v}{f} = \frac{340}{680} = 0,5 \text{ m}$.

8. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Layangan • 19-2-04

Dua garpu tala berfrekuensi 256 Hz dan 260 Hz dibunyikan bersamaan. Berapa banyak layangan (denyut kenyaringan) yang terdengar setiap detik?

Jawaban: Hz

Kunci: 4 Hz

Pembahasan: $f_L = |f_1 - f_2| = |256 - 260| = 4 \text{ Hz}$, artinya kenyaringan naik-turun 4 kali setiap detik.

Lv 3 • Pejuang SMA • TKA/UTBK

9. Lv 3 • Pejuang • Isian • Pipa organa tertutup • 19-3-01

Tabung angklung dapat dianggap sebagai pipa organa tertutup sepanjang 25 cm. Cepat rambat bunyi 340 m/s. Berapa frekuensi **nada atas kedua** tabung itu?

Jawaban: Hz

Kunci: 1.700 Hz

Pembahasan: Nada dasar: $f_1 = \frac{v}{4L} = \frac{340}{4 \times 0,25} = 340 \text{ Hz}$.

Nada atas pertama = $3f_1 = 1.020 \text{ Hz}$, nada atas kedua = $5f_1 = 1.700 \text{ Hz}$.

10. Lv 3 • Pejuang • Isian • Desibel banyak sumber • 19-3-02

Taraf intensitas sebuah mesin jahit di sebuah konfeksi adalah 60 dB. Berapa taraf intensitas jika 100 mesin jahit identik bekerja bersamaan (diukur dari jarak yang sama)?

Jawaban: dB

Kunci: 80 dB

Pembahasan: Intensitas total 100 kali intensitas satu mesin.

$$\beta = 60 + 10 \log 100 = 60 + 20 = 80 \text{ dB.}$$

Bukan 6.000 dB! Skala desibel bersifat logaritmik.

11. Lv 3 • Pejuang • Isian • Efek Doppler • 19-3-03

Mobil patroli membunyikan sirene 800 Hz sambil melaju 20 m/s mendekati Raka yang berdiri diam. Cepat rambat bunyi 340 m/s. Berapa frekuensi yang didengar Raka?

Jawaban: Hz

Kunci: 850 Hz

Pembahasan: $f_p = \frac{v}{v - v_s} f_s = \frac{340}{340 - 20} \times 800 = 850 \text{ Hz.}$ Nadanya lebih tinggi karena sumber mendekat.

12. Lv 3 • Pejuang • Pilihan ganda • Hukum Mersenne • 19-3-04

Tegangan sebuah dawai sasando dijadikan 4 kali semula, sedangkan panjang dan jenis dawainya tetap. Frekuensi nada dasarnya menjadi...

- A. setengah kali semula
B. tetap

- C. empat kali semula
D. dua kali semula

Kunci: D

Pembahasan: $f = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{F}{\mu}}$, jadi $f \propto \sqrt{F}$. Tegangan 4 kali membuat frekuensi $\sqrt{4} = 2$ kali (naik satu oktaf).

Lv 4 • IGCSE gaya Cambridge IGCSE

13. Lv 4 • IGCSE • Uraian • Mengukur cepat rambat bunyi • gaya IGCSE • 19-4-01

Jelaskan bagaimana kamu dapat mengukur cepat rambat bunyi di udara menggunakan gema dari dinding gedung sekolah, sebuah meteran gulung, dan stopwatch. Sebutkan cara mengurangi ketidakpastian. [4 poin]

Kunci/rubrik:

1. Berdiri pada jarak yang cukup jauh dari dinding besar (misalnya 50 m) dan ukur jaraknya d dengan meteran.
2. Tepuk tangan, lalu tepuk lagi setiap kali gema terdengar sehingga tepukan dan gema berirama sama.
3. Teman mengukur waktu untuk banyak tepukan, misalnya 20, lalu menghitung waktu satu tepukan t . Bunyi menempuh $2d$ dalam waktu t , sehingga $v = 2d/t$.
4. Mengurangi ketidakpastian: mengukur waktu banyak tepukan sekaligus (mengurangi pengaruh waktu reaksi), mengulang percobaan lalu merata-rata, dan memakai jarak yang besar.

Pembahasan: Kunci penilaian: satu poin untuk pengukuran jarak, satu poin untuk metode tepukan/gema, satu poin untuk rumus $v = 2d/t$ (jarak pergi-pulang), dan satu poin untuk cara mengurangi ketidakpastian.

Empat bunyi direkam dengan mikrofon yang sama dan pada jarak yang sama.

Bunyi	Frekuensi (Hz)	Amplitudo di layar (cm)
A	250	2,0
B	1.000	0,5
C	500	3,0
D	750	1,5

Pernyataan yang benar adalah...

- A. nada tertinggi A, paling keras C
B. nada tertinggi B, paling keras C

- C. nada tertinggi C, paling keras B
D. nada tertinggi B, paling keras D

Kunci: B

Pembahasan: Tinggi nada ditentukan frekuensi: tertinggi B (1.000 Hz). Kenyaringan ditentukan amplitudo: terbesar C (3,0 cm). Perhatikan bahwa bunyi bernada tinggi belum tentu keras.

Pulsa ultrasonik dari alat USG merambat di jaringan tubuh dengan kecepatan 1.540 m/s. Pantulan dari batas sebuah organ diterima 0,13 ms setelah pulsa dipancarkan. Hitung kedalaman batas organ itu dalam cm.

Jawaban: cm

Kunci: 10 cm

Pembahasan: $t = 0,13 \text{ ms} = 1,3 \times 10^{-4} \text{ s}$.

Kedalaman = $\frac{1}{2}vt = \frac{1}{2} \times 1.540 \times 1,3 \times 10^{-4} \approx 0,10 \text{ m} = 10 \text{ cm}$.

Bunyi garpu tala ditampilkan di layar osiloskop. Satu gelombang penuh menempati 4 kotak mendatar, dan skala waktunya 0,5 ms per kotak. Hitung frekuensi bunyi itu.

Jawaban: Hz

Kunci: 500 Hz

Pembahasan: Periode $T = 4 \times 0,5 \text{ ms} = 2 \text{ ms} = 0,002 \text{ s}$.

$f = 1/T = 1/0,002 = 500 \text{ Hz}$.

17. Lv 5 • IB DP • Uraian • Tabung resonansi • gaya IB • 19-5-01

Garpu tala 512 Hz digetarkan di atas tabung resonansi berisi air. Resonansi pertama terjadi saat panjang kolom udara $L_1 = (15,8 \pm 0,2)$ cm dan resonansi kedua saat $L_2 = (49,4 \pm 0,2)$ cm.

- Tentukan panjang gelombang dan cepat rambat bunyi.
- Tentukan koreksi ujung tabung.
- Hitung ketidakpastian cepat rambat bunyi (anggap frekuensi garpu tala tepat).
- Perkirakan suhu udara di laboratorium dengan $v \approx 331 + 0,6 T$.

Kunci/rubrik: (a) $L_2 - L_1 = \frac{1}{2}\lambda$, jadi $\lambda = 2(49,4 - 15,8) = 67,2$ cm. $v = f\lambda = 512 \times 0,672 \approx 344$ m/s.

(b) $L_1 + e = \frac{1}{4}\lambda = 16,8$ cm, jadi $e \approx 1,0$ cm.

(c) $\Delta(L_2 - L_1) = 0,2 + 0,2 = 0,4$ cm. Ketidakpastian relatif $0,4/33,6 \approx 1,2\%$, sehingga $v = (344 \pm 4)$ m/s.

(d) $T \approx (344 - 331)/0,6 \approx 22$ °C (dengan rentang lebar karena ketidakpastian ± 4 m/s setara ± 7 °C).

Pembahasan: Trik selisih $L_2 - L_1$ menghilangkan koreksi ujung, karena koreksi itu sama besar pada kedua resonansi. Pada bagian (d), ketidakpastian kecil pada v menjadi besar pada T : cara ini kurang cocok untuk mengukur suhu.

18. Lv 5 • IB DP • Isian • Doppler sumber dan pendengar bergerak • gaya IB • 19-5-02

Ambulans bersirene 600 Hz melaju 25 m/s ke arah utara. Dari arah berlawanan, Raka mengendarai motor 15 m/s ke arah selatan, sehingga keduanya saling mendekat. Cepat rambat bunyi 340 m/s. Berapa frekuensi yang didengar Raka?

Jawaban: Hz

Kunci: 676,2 Hz

Pembahasan: $f_p = \frac{v + v_p}{v - v_s} f_s = \frac{340 + 15}{340 - 25} \times 600 = \frac{355}{315} \times 600 \approx 676$ Hz.

Setelah keduanya berpapasan dan saling menjauh: $f_p = \frac{325}{365} \times 600 \approx 534$ Hz.

19. Lv 5 • IB DP • Pilihan ganda • Perbandingan intensitas • gaya IB • 19-5-03

Alat ukur menunjukkan 85 dB di pinggir jalan raya dan 65 dB di dalam kelas yang jendelanya tertutup. Intensitas bunyi di pinggir jalan raya adalah ... kali intensitas di dalam kelas.

- | | |
|--------|----------|
| A. 20 | C. 1,3 |
| B. 100 | D. 1.000 |

Kunci: B

Pembahasan: $\Delta\beta = 10 \log \frac{I_1}{I_2} = 20$ dB, jadi $\frac{I_1}{I_2} = 10^2 = 100$. Setiap 10 dB berarti intensitas 10 kali lipat.

20. Lv 5 • IB DP • Isian • Layangan dari tegangan dawai • gaya IB • 19-5-04

Dua dawai identik sama-sama bernada dasar 300 Hz. Tegangan salah satu dawai dinaikkan 2,0%. Berapa frekuensi layangan yang terdengar ketika keduanya dipetik bersamaan?

Jawaban: Hz

Kunci: 2,985 Hz

Pembahasan: $f' = 300\sqrt{1,02} \approx 302,99$ Hz, jadi $f_L \approx 3,0$ Hz.

Cara cepat: $\Delta f \approx \frac{1}{2} \times 2\% \times 300 = 3$ Hz. Pemain musik memakai layangan seperti ini untuk menyetel dawai dengan sangat teliti.

21. Lv 6 · Olimpiade · Isian · Doppler pada gema kelelawar · gaya olimpiade · 19-6-01

Seekor kelelawar terbang 5,0 m/s lurus menuju dinding gua sambil memancarkan cicitan 40 kHz. Cepat rambat bunyi 340 m/s. Berapa frekuensi gema (dalam kHz) yang didengar kelelawar itu?

Jawaban: kHz

Kunci: 41,19 kHz

Pembahasan: Frekuensi yang diterima dinding: $f_1 = \frac{v}{v - u} f$. Dinding memantulkan f_1 , dan kelelawar (pendengar bergerak mendekat) mendengar $f_2 = \frac{v + u}{v} f_1$.

$$\text{Hasil: } f_2 = \frac{v+u}{v-u} f = \frac{345}{335} \times 40 \approx 41,19 \text{ kHz.}$$

Selisihnya $\pm 1,19$ kHz memberi tahu kelelawar seberapa cepat ia mendekati dinding (atau mangsanya).

22. Lv 6 · Olimpiade · Isian · Kerucut Mach · gaya olimpiade · 19-6-02

Sebuah pesawat jet terbang mendarat pada ketinggian 3,0 km dengan kelajuan Mach 1,5. Kamu berdiri di tanah. Saat kamu mendengar dentuman sonik, berapa jarak mendarat pesawat dari titik tepat di atas kepalamu? Anggap cepat rambat bunyi sama di semua ketinggian.

Jawaban: m

Kunci: 3.354 m

Pembahasan: $\sin \theta = \frac{1}{1,5}$, jadi $\theta \approx 41,8^\circ$.

Permukaan kerucut adalah garis dari pesawat yang membentuk sudut θ dengan arah terbang. Saat garis itu

melewati kepalamu: $\tan \theta = \frac{h}{x}$, sehingga $x = \frac{3.000}{\tan 41.8^\circ} \approx 3.350 \text{ m}$.

Jadi pesawat sudah lewat $\pm 3,4$ km saat dentumannya sampai. Kamu tidak mendengar pesawat itu mendekat sama sekali!

23. Lv 6 • Olimpiade • Pilihan ganda • Pipa terbuka dan tertutup • gaya olimpiade • 19-6-03

Nada atas pertama sebuah pipa organa terbuka sama tinggi dengan nada atas kedua sebuah pipa organa tertutup (keduanya di udara yang sama). Perbandingan panjang pipa terbuka dengan pipa tertutup adalah...

- A. 4 : 5
B. 5 : 4
C. 2 : 5
D. 8 : 5

Kunci: A

Pembahasan: Nada atas pertama pipa terbuka: $2 \cdot \frac{v}{2L_b} = \frac{v}{L_b}$.

Nada atas kedua pipa tertutup: $5 \cdot \frac{v}{4L_t}$.

Samakan: $\frac{1}{L_b} = \frac{5}{4L_t} \Rightarrow \frac{L_b}{L_t} = \frac{4}{5}$.

Ambulans bersirene $f = 700$ Hz melaju dengan kecepatan tetap $u = 25$ m/s di jalan lurus. Raka berdiri diam sejauh d dari jalan. Cepat rambat bunyi $v = 340$ m/s.

- (a) Jika bunyi dipancarkan saat garis ambulans–Raka membentuk sudut θ dengan arah gerak, tuliskan frekuensi yang didengar Raka.
- (b) Jelaskan mengapa nada terdengar turun secara mendadak jika d sangat kecil, tetapi landai jika d besar.
- (c) Tepat saat ambulans berada di titik terdekat dengan Raka, berapa frekuensi yang sedang didengar Raka? Mengapa tidak sama dengan 700 Hz?

Kunci/rubrik: (a) Hanya komponen kecepatan sepanjang garis pandang yang berpengaruh: $f' = \frac{f}{1 - (u/v) \cos \theta}$.

Nilainya bergerak dari $\frac{v}{v-u} f \approx 756$ Hz (jauh di depan) ke $\frac{v}{v+u} f \approx 652$ Hz (jauh di belakang).

(b) Jika d kecil, θ berubah dari hampir 0° ke hampir 180° dalam waktu sangat singkat saat ambulans lewat, sehingga nada "melompat". Jika d besar, θ berubah perlahan, sehingga nada turun landai.

(c) Bunyi yang sampai saat itu dipancarkan lebih awal, ketika ambulans masih di belakang titik terdekat sejauh $u\tau$, dengan $v\tau = \sqrt{(u\tau)^2 + d^2}$. Maka $\cos \theta = u\tau/(v\tau) = u/v$, sehingga $f' = \frac{f}{1 - u^2/v^2} = \frac{700}{1 - (25/340)^2} \approx 704$ Hz, sedikit di atas 700 Hz, dan tidak bergantung pada d .

Pembahasan: Kunci soal ini adalah **waktu tunda**: yang kamu dengar sekarang adalah bunyi yang dipancarkan beberapa saat lalu. Frekuensi tepat 700 Hz didengar sedikit *setelah* ambulans melewati titik terdekat. Grafik frekuensi pada lab mini Doppler memperlihatkan semua ini.

Lv 1 • Pemula SD-SMP awal

1. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Hukum pemantulan • 20-1-01

Seberkas cahaya mengenai cermin datar dengan sudut datang 30° (diukur dari garis normal). Berapa sudut pantulnya?

- A. 60° C. 90°
B. 30° D. 15°

Kunci: B

Pembahasan: Hukum pemantulan: sudut datang = sudut pantul, keduanya diukur dari garis normal. Jadi sudut pantulnya 30° . Jawaban 60° adalah jebakan bagi yang mengukur dari permukaan cermin.

2. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Cermin datar • 20-1-02

Sifat bayangan yang dibentuk oleh cermin datar adalah...

- A. nyata, terbalik, diperkecil C. maya, terbalik, diperbesar
B. nyata, tegak, sama besar D. maya, tegak, sama besar

Kunci: D

Pembahasan: Bayangan di cermin datar bersifat maya (tidak bisa ditangkap layar), tegak, sama besar, dan berjarak sama dengan jarak benda ke cermin. Bayangan juga tampak tertukar kiri-kanan.

3. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Cermin cembung • 20-1-03

Spion motor dibuat dari cermin jenis apa agar pengendara bisa melihat daerah yang luas di belakangnya?

- A. cermin cembung C. cermin datar
B. cermin cekung D. lensa cembung

Kunci: A

Pembahasan: Cermin cembung selalu menghasilkan bayangan maya, tegak, dan diperkecil. Karena diperkecil, daerah yang luas di belakang motor muat di cermin yang kecil.

4. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Pembiasan • 20-1-04

Sebatang pensil dimasukkan miring ke dalam gelas berisi air. Pensil tampak patah di permukaan air. Peristiwa ini disebabkan oleh...

- A. pemantulan cahaya oleh permukaan air
B. bayangan pensil di dasar gelas
C. pensil yang benar-benar bengkok karena air
D. pembiasan cahaya saat keluar dari air ke udara

Kunci: D

Pembahasan: Cahaya dari bagian pensil yang tercelup dibelokkan (dibiaskan) saat keluar dari air ke udara. Mata menelusuri sinar lurus ke belakang, sehingga bagian pensil di dalam air tampak lebih dangkal dan seolah patah.

Lv 2 • Penjelajah SMP (Fase D)

5. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Dua cermin bersudut • 20-2-01

Dua cermin datar disusun membentuk sudut 45° . Sebuah kelereng diletakkan di antara keduanya. Berapa jumlah bayangan kelereng yang terbentuk?

Jawaban: bayangan

Kunci: 7 bayangan

Pembahasan: $n = \frac{360^\circ}{\alpha} - 1 = \frac{360^\circ}{45^\circ} - 1 = 8 - 1 = 7$ bayangan.

6. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Jarak fokus cermin • 20-2-02

Sebuah cermin cekung memiliki jari-jari kelengkungan 40 cm. Berapa jarak fokusnya?

Jawaban: cm

Kunci: 20 cm

Pembahasan: Jarak fokus cermin lengkung adalah setengah jari-jarinya: $f = \frac{1}{2}R = \frac{1}{2} \times 40 = 20$ cm.

7. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Kedalaman semu • 20-2-03

Dasar sebuah kolam ikan yang dalamnya 2,4 m dilihat tegak lurus dari atas. Indeks bias air $\frac{4}{3}$. Berapa kedalaman kolam yang terlihat?

Jawaban: m

Kunci: 1,8 m

Pembahasan: $h' = \frac{h}{n} = \frac{2,4}{4/3} = 2,4 \times \frac{3}{4} = 1,8$ m. Kolam tampak 60 cm lebih dangkal daripada aslinya.

8. Lv 2 • Penjelajah • Pilihan ganda • Daya lensa • 20-2-04

Sebuah lensa cembung memiliki jarak fokus 50 cm. Daya lensa tersebut adalah...

A. +0,5 dioptri

C. +50 dioptri

B. +2 dioptri

D. -2 dioptri

Kunci: B

Pembahasan: $P = \frac{100}{f \text{ (cm)}} = \frac{100}{50} = +2$ dioptri. Tanda positif karena lensanya cembung (mengumpulkan cahaya).

Lv 3 • Pejuang SMA • TKA/UTBK

9. Lv 3 • Pejuang • Isian • Rumus lensa • 20-3-01

Sebuah benda diletakkan 18 cm di depan lensa cembung yang jarak fokusnya 12 cm. Berapa jarak bayangan dari lensa?

Jawaban: cm

Kunci: 36 cm

Pembahasan: $\frac{1}{s'} = \frac{1}{12} - \frac{1}{18} = \frac{3-2}{36} = \frac{1}{36}$, jadi $s' = 36$ cm.

Bayangan nyata (positif) di belakang lensa, dengan $M = -36/18 = -2$; terbalik dan diperbesar 2 kali. Cocok dengan trik ruang: benda di ruang II, bayangan di ruang III.

10. Lv 3 • Pejuang • Isian • Tinggi bayangan cermin • 20-3-02

Benda setinggi 4 cm berdiri 30 cm di depan cermin cekung yang jarak fokusnya 10 cm. Berapa tinggi bayangannya (dalam cm, tanpa tanda)?

Jawaban: cm

Kunci: 2 cm

Pembahasan: $\frac{1}{s'} = \frac{1}{10} - \frac{1}{30} = \frac{2}{30}$, jadi $s' = 15$ cm.

$$M = -\frac{15}{30} = -0,5.$$

$h' = Mh = -0,5 \times 4 = -2$ cm. Tingginya 2 cm, dan tanda minus berarti bayangannya terbalik.

11. Lv 3 • Pejuang • Isian • Hukum Snell • 20-3-03

Seberkas sinar laser merambat dari udara ke kaca ($n = 1,5$) dengan sudut datang 45° . Berapa sudut biasnya (dalam derajat)?

Jawaban: °

Kunci: 28,13 °

Pembahasan: $\sin \theta_2 = \frac{1 \times \sin 45^\circ}{1,5} = \frac{0,707}{1,5} = 0,471$.

$\theta_2 = \arcsin 0,471 \approx 28,1^\circ$. Sinar mendekati normal karena masuk ke medium yang lebih rapat.

12. Lv 3 • Pejuang • Pilihan ganda • Kacamata miopi • 20-3-04

Raka hanya dapat melihat benda dengan jelas sampai jarak 2 m. Kacamata yang ia perlukan adalah...

A. +0,5 D (lensa cembung)

C. -0,5 D (lensa cekung)

B. -2 D (lensa cekung)

D. +2 D (lensa cembung)

Kunci: C

Pembahasan: Raka menderita miopi dengan PR = 200 cm.

$P = -\frac{100}{PR} = -\frac{100}{200} = -0,5$ D, yaitu lensa cekung berfokus -2 m. Pengecoh -2 D muncul bila jarak fokus (-2 m) disangka sebagai daya lensa.

Lv 4 • IGCSE gaya Cambridge IGCSE

13. Lv 4 • IGCSE • Isian • Sudut kritis • gaya IGCSE • 20-4-01

Indeks bias suatu jenis kaca adalah 1,52. Hitung sudut kritis (*critical angle*) kaca tersebut untuk batas kaca-udara.

Jawaban: °

Kunci: 41,1 °

Pembahasan: $\sin c = \frac{1}{n} = \frac{1}{1,52} = 0,658$.

$c = \arcsin 0,658 \approx 41,1^\circ$. Sinar di dalam kaca yang mengenai permukaan dengan sudut lebih dari $41,1^\circ$ akan dipantulkan total.

Seorang siswa menembakkan sinar ke balok bening dan mengukur sudut datang i serta sudut bias r .

i (°)	20,0	40,0	60,0
r (°)	13,2	25,4	35,3

Indeks bias balok tersebut paling dekat dengan...

- A. 0,67
B. 1,33
C. 1,50
D. 2,42

Kunci: C

Pembahasan: Hitung $n = \frac{\sin i}{\sin r}$ untuk tiap baris: $\frac{0,342}{0,228} \approx 1,50$; $\frac{0,643}{0,429} \approx 1,50$; $\frac{0,866}{0,578} \approx 1,50$.

Hasilnya konsisten 1,50 (kemungkinan kaca). Perhatikan bahwa perbandingan sudutnya sendiri (i/r) tidak tetap. Yang tetap adalah perbandingan sinusnya.

Jelaskan bagaimana serat optik (*optical fibre*) dapat membawa sinyal cahaya sepanjang ratusan kilometer, meskipun seratnya melengkung. Gunakan istilah sudut kritis dan pemantulan internal total. [4 poin]

Kunci/rubrik:

1. Serat terdiri atas inti (*core*) yang indeks biasnya lebih besar daripada selubungnya (*cladding*).
2. Cahaya di dalam inti mengenai batas inti-selubung dengan sudut datang yang lebih besar daripada sudut kritis.
3. Akibatnya terjadi pemantulan internal total: tidak ada cahaya yang dibiaskan keluar, sehingga energi cahaya hampir tidak hilang.
4. Pemantulan total berulang-ulang memandu cahaya di sepanjang serat, termasuk di bagian yang melengkung (asal lengkungannya tidak terlalu tajam).

Pembahasan: Satu poin untuk perbedaan indeks bias inti dan selubung, satu poin untuk sudut datang > sudut kritis, satu poin untuk pemantulan internal total tanpa cahaya yang lolos, dan satu poin untuk pemantulan berulang yang memandu cahaya di serat yang melengkung.

Sebuah lensa cembung (*converging lens*) berjarak fokus 8,0 cm membentuk bayangan nyata dari benda yang berada 24 cm di depannya. Hitung besar perbesaran linear (*magnification*), yaitu tinggi bayangan dibagi tinggi benda (tanpa tanda).

Jawaban: _____

Kunci: 0,5

Pembahasan: $\frac{1}{s'} = \frac{1}{8} - \frac{1}{24} = \frac{3-1}{24} = \frac{1}{12}$, jadi $s' = 12$ cm.

Besar perbesaran $|M| = \frac{12}{24} = 0,50$. Bayangan diperkecil menjadi setengahnya dan terbalik (dengan tanda: $M = -0,50$).

17. Lv 5 • IB DP • Isian • Analisis grafik lensa • gaya IB • 20-5-01

Seorang siswa mengukur beberapa pasang jarak benda s dan jarak bayangan s' untuk lensa cembung, lalu memplot $1/s'$ (sumbu- y) terhadap $1/s$ (sumbu- x). Garis lurus terbaiknya memiliki gradien $-1,00$ dan memotong sumbu- y di $0,0500 \text{ cm}^{-1}$. Tentukan jarak fokus lensa.

Jawaban: cm

Kunci: 20 cm

Pembahasan: Rumus lensa dapat ditulis $\frac{1}{s'} = -\frac{1}{s} + \frac{1}{f}$, yaitu bentuk $y = mx + c$ dengan gradien -1 dan titik potong $c = 1/f$.

$$f = \frac{1}{0,0500} = 20,0 \text{ cm.}$$

Gradien yang tepat $-1,00$ menjadi cek bahwa datanya konsisten dengan model lensa tipis.

18. Lv 5 • IB DP • Uraian • Ketidakpastian kedalaman semu • gaya IB • 20-5-02

Untuk mengukur indeks bias air, sebuah koin diletakkan di dasar gelas. Kedalaman sebenarnya $h = (12,0 \pm 0,1) \text{ cm}$, sedangkan kedalaman semu yang diukur dengan metode paralaks adalah $h' = (9,0 \pm 0,2) \text{ cm}$.

- Hitung indeks bias air.
- Hitung ketidakpastian absolut indeks bias tersebut.
- Sarankan satu cara untuk mengurangi ketidakpastian relatif hasilnya, dan jelaskan alasannya.

Kunci/rubrik: (a) $n = h/h' = 12,0/9,0 = 1,33$.

(b) Ketidakpastian relatif dijumlahkan: $0,1/12,0 = 0,8\%$ dan $0,2/9,0 = 2,2\%$, total $\approx 3,1\%$. $\Delta n = 0,031 \times 1,33 \approx 0,04$, sehingga $n = 1,33 \pm 0,04$.

(c) Gunakan air yang lebih dalam (misalnya 30 cm). Ketidakpastian absolut pembacaan kira-kira tetap, tetapi nilai h dan h' menjadi lebih besar, sehingga ketidakpastian relatifnya mengecil. Alternatif: ulangi pengukuran h' beberapa kali lalu ambil rata-ratanya untuk mengurangi galat acak.

Pembahasan: Rumus $n = h/h'$ hanya berlaku untuk pengamatan hampir tegak lurus. Mengamati terlalu miring adalah galat sistematis yang membuat h' tampak makin kecil.

19. Lv 5 • IB DP • Isian • Deviasi minimum prisma • gaya IB • 20-5-03

Pada percobaan spektrometer, prisma kaca bersudut puncak $60,0^\circ$ menghasilkan deviasi minimum $38,0^\circ$ untuk cahaya kuning. Tentukan indeks bias kaca untuk cahaya tersebut.

Jawaban:

Kunci: 1,509

Pembahasan:
$$n = \frac{\sin \frac{1}{2}(60,0^\circ + 38,0^\circ)}{\sin 30,0^\circ} = \frac{\sin 49,0^\circ}{0,500} = \frac{0,755}{0,500} \approx 1,51.$$

Sebuah lensa kaca ($n = 1,50$) memiliki jarak fokus 20 cm di udara. Lensa itu lalu dicelupkan ke dalam air ($n = \frac{4}{3}$). Jarak fokusnya di dalam air menjadi...

- A. 15 cm
B. 20 cm
C. 27 cm
D. 80 cm

Kunci: D

Pembahasan: Dari rumus pembuat lensa, $\frac{1}{f} \propto \left(\frac{n_{\text{lensa}}}{n_{\text{medium}}} - 1 \right)$, sedangkan faktor kelengkungannya tetap.

Di udara: $1,50 - 1 = 0,50$. Di air: $\frac{1,50}{4/3} - 1 = 1,125 - 1 = 0,125$.

Faktornya turun 4 kali, sehingga f naik 4 kali: $f = 4 \times 20 = 80$ cm. Pengecoh 27 cm muncul dari salah mengira f sebanding dengan n_{medium} .

Lv 6 • Olimpiade gaya OSN/IPhO

Seekor ikan kecil berenang tepat di pusat akuarium berbentuk bola berjari-jari R yang berisi air ($n = \frac{4}{3}$). Dinding kaca sangat tipis. Dilihat dari luar, bayangan ikan tampak...

- A. di pusat bola dan tampak $\frac{4}{3}$ kali lebih besar
B. lebih dekat ke dinding dan tampak $\frac{3}{4}$ kali ukurannya
C. di pusat bola dengan ukuran yang sama
D. lebih jauh dari pusat dan tampak $\frac{4}{3}$ kali lebih besar

Kunci: A

Pembahasan: Pembiasan di permukaan lengkung: $\frac{n_1}{s} + \frac{n_2}{s'} = \frac{n_2 - n_1}{R'}$, dengan R' bertanda positif jika pusat kelengkungan berada di sisi sinar keluar.

Di sini $n_1 = \frac{4}{3}$, $n_2 = 1$, $s = R$, dan pusat kelengkungan ada di sisi air, jadi $R' = -R$: $\frac{4}{3R} + \frac{1}{s'} = \frac{-1/3}{-R}$, sehingga $s' = -R$. Bayangan maya tepat di pusat.

Cara cepat: sinar dari pusat mengenai dinding tegak lurus, jadi tidak dibelokkan. Posisinya tetap, tetapi ukurannya berubah: $m = \frac{n_1 s'}{n_2 s}$ dalam besar $= \frac{(4/3)R}{R} = \frac{4}{3}$. Ikan tampak $\frac{4}{3}$ kali lebih besar dan tegak.

Jarak antara lilin dan layar dibuat tetap 100 cm. Sebuah lensa cembung digeser di antara keduanya. Ternyata ada dua posisi lensa yang menghasilkan bayangan tajam di layar, dan kedua posisi itu terpisah 20 cm. Berapa jarak fokus lensa?

Jawaban: cm

Kunci: 24 cm

Pembahasan: Misalkan pada posisi pertama s_1 dan s'_1 , dengan $s_1 + s'_1 = D$. Karena lintasan sinar dapat dibalik, posisi kedua adalah $s_2 = s'_1$ dan $s'_2 = s_1$. Jadi $d = s'_1 - s_1$.

Maka $s_1 = \frac{D-d}{2} = 40$ cm dan $s'_1 = \frac{D+d}{2} = 60$ cm.

$f = \frac{s_1 s'_1}{s_1 + s'_1} = \frac{D^2 - d^2}{4D} = \frac{10000 - 400}{400} = 24$ cm.

Metode ini disukai di laboratorium karena tidak perlu mengetahui letak pusat optik lensa yang tebal.

Inti serat optik berindeks bias 1,50 dan selubungnya 1,40. Cahaya dari udara masuk ke ujung serat yang dipotong tegak lurus. Berapa sudut datang maksimum (terhadap sumbu serat) agar cahaya tetap terpandu di dalam inti?

Jawaban: °

Kunci: 32,6 °

Pembahasan: Di ujung serat: $\sin \theta_{\text{maks}} = n_{\text{inti}} \sin \phi$, dengan ϕ sudut bias terhadap sumbu.

Di dinding, sudut datangnya $90^\circ - \phi$, yang harus $\geq \theta_c$ dengan $\sin \theta_c = n_{\text{sel}}/n_{\text{inti}}$. Batasnya $\cos \phi = n_{\text{sel}}/n_{\text{inti}}$.

$\sin \theta_{\text{maks}} = n_{\text{inti}} \sqrt{1 - \cos^2 \phi} = \sqrt{n_{\text{inti}}^2 - n_{\text{sel}}^2} = \sqrt{2,25 - 1,96} = 0,539$.

$\theta_{\text{maks}} \approx 32,6^\circ$. Besaran $\sqrt{n_1^2 - n_2^2}$ disebut *numerical aperture* serat.

Sebuah lensa cembung berjarak fokus f membentuk bayangan nyata di layar.

(a) Buktikan bahwa jarak antara benda dan layar tidak mungkin kurang dari $4f$.

(b) Pada jarak minimum itu, di mana lensa harus diletakkan, dan berapa perbesarannya?

(c) Raka punya lensa $f = 15$ cm dan meletakkan layar 50 cm dari lilin. Bisakah ia mendapatkan bayangan tajam? Jelaskan.

Kunci/rubrik: (a) Misalkan $L = s + s'$. Dari $\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f}$ diperoleh $ss' = f(s + s') = fL$. Jadi s dan s' adalah akar persamaan kuadrat $x^2 - Lx + fL = 0$. Akar real ada jika diskriminannya ≥ 0 : $L^2 - 4fL \geq 0$, sehingga $L \geq 4f$.

(b) Saat $L = 4f$, kedua akar sama: $s = s' = 2f$. Lensa berada tepat di tengah, dan perbesarannya $M = -1$ (terbalik, sama besar).

(c) Tidak bisa. $4f = 60$ cm lebih besar daripada 50 cm, sehingga tidak ada posisi lensa yang memberi bayangan nyata di layar.

Pembahasan: Cara lain untuk (a): $L(s) = \frac{s^2}{s - f}$, lalu cari minimumnya dengan $dL/ds = 0$, yang menghasilkan $s = 2f$. Bukti dengan diskriminan lebih elegan dan sekaligus menjelaskan metode Bessel: untuk $L > 4f$ selalu ada **dua** posisi lensa.

Lv 1 • Pemula SD-SMP awal

1. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Lapisan tipis • 21-1-01

Gelembung sabun yang dibuat dari air sabun bening tampak berwarna-warni. Penyebabnya adalah...

- A. dispersi cahaya seperti pada prisma
- B. zat pewarna di dalam sabun
- C. interferensi cahaya pada lapisan tipis sabun
- D. pemantulan internal total

Kunci: C

Pembahasan: Cahaya dipantulkan oleh permukaan luar dan permukaan dalam dinding gelembung. Kedua pantulan itu berinterferensi: warna tertentu diperkuat, warna lain dilemahkan, tergantung tebal dinding. Tidak ada pewarna dan tidak ada prisma.

2. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Sejarah • 21-1-02

Ilmuwan yang memperlihatkan pola terang-gelap cahaya dari dua celah sempit, sehingga menjadi bukti bahwa cahaya adalah gelombang, adalah...

- | | |
|------------------------|--------------------|
| A. Isaac Newton | C. Albert Einstein |
| B. Willebrord Snellius | D. Thomas Young |

Kunci: D

Pembahasan: Thomas Young melakukan percobaan celah ganda pada awal 1800-an. Newton justru mendukung teori butiran (korpuskular).

3. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Polarisasi • 21-1-03

Kacamata polaroid membuat pemancing dapat melihat ikan di bawah permukaan air karena kacamata itu...

- A. menyerap semua cahaya biru
- B. membiaskan cahaya ke arah atas
- C. membuat cahaya berinterferensi
- D. memblokir silau pantulan air yang terpolarisasi mendatar

Kunci: D

Pembahasan: Cahaya yang dipantulkan permukaan air sebagian besar terpolarisasi mendatar. Kacamata polaroid bersumbu tegak memblokir getaran mendatar itu, sehingga silau berkurang dan cahaya dari bawah permukaan lebih terlihat.

4. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Spektrum • 21-1-04

Di antara warna cahaya berikut, manakah yang memiliki panjang gelombang paling panjang?

- | | |
|----------|---------|
| A. merah | C. biru |
| B. hijau | D. ungu |

Kunci: A

Pembahasan: Urutan panjang gelombang cahaya tampak dari terpanjang: merah ($\pm 650\text{--}750\text{ nm}$), jingga, kuning, hijau, biru, nila, ungu ($\pm 400\text{ nm}$).

5. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Lebar pita Young • 21-2-01

Cahaya 600 nm melewati celah ganda berjarak 0,3 mm. Layar berada 1,5 m dari celah. Berapa lebar pita terang (jarak antara dua pita terang yang berdekatan) dalam mm?

Jawaban: mm

Kunci: 3 mm

Pembahasan: $\Delta y = \frac{\lambda L}{d} = \frac{(600 \times 10^{-9})(1,5)}{0,3 \times 10^{-3}} = 3 \times 10^{-3} \text{ m} = 3 \text{ mm}.$

6. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Hukum Malus • 21-2-02

Cahaya terpolarisasi berintensitas 40 W/m² melewati sebuah polarisator yang sumbunya membentuk sudut 60° dengan arah polarisasi cahaya. Berapa intensitas cahaya yang lolos?

Jawaban: W/m²

Kunci: 10 W/m²

Pembahasan: $I = I_0 \cos^2 \theta = 40 \times (\cos 60^\circ)^2 = 40 \times 0,25 = 10 \text{ W/m}^2.$

7. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Jarak celah kisi • 21-2-03

Sebuah kisi difraksi memiliki 500 garis per mm. Berapa jarak antara dua celah yang berdekatan, dalam mikrometer (μm)?

Jawaban: μm

Kunci: 2 μm

Pembahasan: $d = \frac{1}{N} = \frac{1}{500} \text{ mm} = 0,002 \text{ mm} = 2 \text{ μm} \text{ (1 mm = 1000 μm)}.$

8. Lv 2 • Penjelajah • Pilihan ganda • Celah ganda • 21-2-04

Pada percobaan Young, jarak antara kedua celah diperbesar menjadi dua kali semula, sedangkan yang lain tetap. Lebar pita terang menjadi...

- A. dua kali semula
- B. tetap

- C. setengah kali semula
- D. empat kali semula

Kunci: C

Pembahasan: $\Delta y = \lambda L/d$ berbanding terbalik dengan d . Jika d menjadi dua kali, Δy menjadi setengahnya: pola menjadi lebih rapat.

9. Lv 3 • Pejuang • Isian • Kisi difraksi • 21-3-01

Cahaya 500 nm jatuh tegak lurus pada kisi 300 garis/mm. Berapa sudut pita terang orde pertama (dalam derajat)?

Jawaban: °

Kunci: 8,63 °

Pembahasan: $N = 300 \text{ garis/mm} = 3 \times 10^5 \text{ garis/m}$, jadi $d = 1/N$.
 $\sin \theta = m\lambda N = 1 \times (500 \times 10^{-9})(3 \times 10^5) = 0,15$.
 $\theta = \arcsin 0,15 \approx 8,6^\circ$.

10. Lv 3 • Pejuang • Isian • Mengukur λ • 21-3-02

Pada percobaan celah ganda, pita terang **ketiga** berjarak 4,5 mm dari terang pusat. Jarak celah 0,40 mm dan jarak layar 1,0 m. Berapa panjang gelombang cahaya, dalam nm?

Jawaban: nm

Kunci: 600 nm

Pembahasan: $\lambda = \frac{y_3 d}{3L} = \frac{(4,5 \times 10^{-3})(0,40 \times 10^{-3})}{3 \times 1,0} = 6,0 \times 10^{-7} \text{ m} = 600 \text{ nm (jingga)}.$

11. Lv 3 • Pejuang • Isian • Sudut Brewster • 21-3-03

Pada sudut datang berapa cahaya yang dipantulkan oleh permukaan kaca ($n = 1,5$) di udara terpolarisasi sempurna?

Jawaban: °

Kunci: 56,3 °

Pembahasan: $\tan \theta_B = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1,5}{1} \Rightarrow \theta_B = \arctan 1,5 \approx 56,3^\circ.$

Pada sudut ini, sinar pantul dan sinar bias saling tegak lurus.

12. Lv 3 • Pejuang • Isian • Lapisan sabun • 21-3-04

Lapisan sabun ($n = 1,33$) di udara tampak hijau terang karena cahaya 532 nm diperkuat pada pantulan tegak lurus. Berapa tebal minimum lapisan itu, dalam nm?

Jawaban: nm

Kunci: 100 nm

Pembahasan: Tebal minimum berarti $m = 0$: $2nt = \frac{1}{2}\lambda.$

$$t = \frac{\lambda}{4n} = \frac{532}{4 \times 1,33} = 100 \text{ nm}.$$

Lv 4 • IGCSE gaya Cambridge IGCSE

13. Lv 4 • IGCSE • Pilihan ganda • Difraksi • gaya IGCSE • 21-4-01

Gelombang air di tangki riak melewati sebuah celah. Penyebaran gelombang (difraksi) di balik celah paling besar jika...

- A. lebar celah jauh lebih besar daripada panjang gelombang
- B. lebar celah kira-kira sama dengan panjang gelombang
- C. laju gelombang diperbesar
- D. amplitudo gelombang diperbesar

Kunci: B

Pembahasan: Difraksi paling nyata jika lebar celah sebanding dengan panjang gelombang. Celah yang jauh lebih lebar hanya membuat gelombang sedikit menyebar di tepinya. Laju dan amplitudo tidak menentukan besarnya penyebaran.

14. Lv 4 • IGCSE • Uraian • Pola celah ganda • gaya IGCSE • 21-4-02

Jelaskan mengapa cahaya laser yang melewati dua celah sempit menghasilkan pita-pita terang dan gelap yang berselang-seling di layar. [4 poin]

Kunci/rubrik:

1. Cahaya dari laser yang sama melewati kedua celah, sehingga kedua celah menjadi sumber gelombang yang koheren (frekuensi sama, beda fase tetap).
2. Gelombang dari kedua celah menyebar (difraksi) dan bertumpuk di layar.
3. Di titik yang beda lintasannya kelipatan bulat panjang gelombang ($0, \lambda, 2\lambda, \dots$), puncak bertemu puncak: interferensi konstruktif, sehingga terbentuk pita terang.
4. Di titik yang beda lintasannya kelipatan ganjil setengah panjang gelombang ($\lambda/2, 3\lambda/2, \dots$), puncak bertemu lembah: interferensi destruktif, sehingga terbentuk pita gelap.

Pembahasan: Satu poin untuk sumber koheren, satu poin untuk difraksi atau tumpang tindih gelombang, satu poin untuk syarat terang (beda lintasan $n\lambda$), dan satu poin untuk syarat gelap (beda lintasan $(n + \frac{1}{2})\lambda$).

15. Lv 4 • IGCSE • Isian • Data celah ganda • gaya IGCSE • 21-4-03

Seorang siswa mengukur jarak pita-pita terang dari terang pusat.

Pita terang ke-	1	2	3	4
Jarak dari pusat (mm)	2,1	4,2	6,3	8,4

Jarak celah $0,30$ mm dan jarak layar $1,20$ m. Hitung panjang gelombang cahaya dalam nm.

Jawaban: nm

Kunci: 525 nm

Pembahasan: Data menunjukkan pita terang berulang setiap $\Delta y = 2,1$ mm (misalnya $8,4/4$).

$$\lambda = \frac{\Delta y d}{L} = \frac{(2,1 \times 10^{-3})(0,30 \times 10^{-3})}{1,20} = 5,25 \times 10^{-7} \text{ m} = 525 \text{ nm (hijau)}.$$

16. Lv 4 • IGCSE • Isian • Orde maksimum kisi • gaya IGCSE • 21-4-04

Cahaya laser 650 nm disorotkan tegak lurus pada kisi 600 garis/mm. Berapa orde tertinggi yang dapat diamati?

Jawaban:

Kunci: 2

Pembahasan: $d = \frac{1}{600} \text{ mm} = 1667 \text{ nm}$.

$$\text{Syarat } \sin \theta = \frac{m\lambda}{d} \leq 1 \Rightarrow m \leq \frac{d}{\lambda} = \frac{1667}{650} = 2,56.$$

Orde harus bilangan bulat, jadi orde tertinggi $m = 2$.

17. Lv 5 • IB DP • Isian • Daya urai teleskop • gaya IB • 21-5-01

Lensa objektif teleskop refraktor Observatorium Bosscha berdiameter 0,60 m. Hitung sudut pisah minimum (kriteria Rayleigh) untuk cahaya 550 nm, dalam mikroradian (μrad).

Jawaban: μrad

Kunci: 1,12 μrad

Pembahasan: $\theta_{\min} = \frac{1,22 \times 550 \times 10^{-9}}{0,60} \approx 1,12 \times 10^{-6} \text{ rad} = 1,12 \mu\text{rad}.$

Itu kira-kira sudut yang dibentuk dua koin yang terpisah 2 cm jika dilihat dari jarak 18 km! Dalam praktik, gejala atmosfer membatasi ketajaman teleskop di permukaan Bumi jauh di atas angka ini.

18. Lv 5 • IB DP • Uraian • Ketidakpastian Young • gaya IB • 21-5-02

Dalam percobaan celah ganda, jarak yang mencakup 10 lebar pita diukur $(30,0 \pm 0,5)$ mm. Jarak layar $L = (1,50 \pm 0,01)$ m dan jarak celah $d = (0,25 \pm 0,01)$ mm.

- Hitung panjang gelombang cahaya.
- Tentukan ketidakpastian absolutnya.
- Jelaskan mengapa siswa mengukur 10 lebar pita sekaligus, dan sebutkan besaran mana yang paling perlu diukur lebih teliti.

Kunci/rubrik: (a) $\Delta y = 30,0/10 = 3,00$ mm. $\lambda = \Delta y d/L = (3,00 \times 10^{-3})(0,25 \times 10^{-3})/1,50 = 5,0 \times 10^{-7} \text{ m} = 500 \text{ nm}.$

(b) Ketidakpastian relatif: $0,5/30,0 = 1,7\%$; $0,01/1,50 = 0,7\%$; $0,01/0,25 = 4,0\%$. Totalnya $\approx 6,4\%$, sehingga $\Delta\lambda \approx 32 \text{ nm}$ dan $\lambda = (500 \pm 30) \text{ nm}.$

(c) Ketidakpastian absolut pembacaan penggaris sama besar untuk 1 atau 10 pita. Dengan mengukur 10 pita, ketidakpastian relatif lebar pita menjadi sepersepuluhnya. Besaran yang paling dominan adalah d (4%), sehingga d sebaiknya diukur dengan mikroskop berskala (*travelling microscope*).

Pembahasan: Untuk perkalian dan pembagian, ketidakpastian relatif dijumlahkan. Usaha perbaikan paling bermanfaat jika diarahkan pada sumber ketidakpastian terbesar.

19. Lv 5 • IB DP • Pilihan ganda • Tiga polarisator • gaya IB • 21-5-03

Cahaya tak terpolarisasi berintensitas I_0 melewati tiga polarisator berurutan. Sumbunya membentuk sudut 0° , 45° , dan 90° terhadap vertikal. Intensitas yang keluar dari polarisator ketiga adalah...

- | | |
|------------|------------|
| A. 0 | C. $I_0/4$ |
| B. $I_0/8$ | D. $I_0/2$ |

Kunci: B

Pembahasan: Polariser pertama: $I_1 = \frac{1}{2} I_0.$

Polariser kedua (beda 45°): $I_2 = I_1 \cos^2 45^\circ = \frac{1}{4} I_0.$

Polariser ketiga (beda 45° lagi): $I_3 = I_2 \cos^2 45^\circ = \frac{1}{8} I_0.$

Tanpa polariser tengah, hasilnya 0. Jawaban 0 adalah jebakan bagi yang hanya membandingkan polariser pertama dan terakhir.

20. Lv 5 • IB DP • Isian • Lapisan antipantul • gaya IB • 21-5-04

Lensa kaca ($n = 1,52$) dilapisi MgF_2 ($n = 1,38$) agar pantulan cahaya 550 nm yang datang tegak lurus menjadi minimum. Tentukan tebal minimum lapisan dalam nm.

Jawaban: nm

Kunci: 99,6 nm

Pembahasan: Kedua pantulan terjadi dari medium yang lebih rapat ($1,00 \rightarrow 1,38$ dan $1,38 \rightarrow 1,52$), sehingga keduanya terbalik. Pembalikannya saling menghapus.

Syarat gelap: $2nt = (m + \frac{1}{2})\lambda$. Untuk tebal minimum ($m = 0$): $t = \frac{\lambda}{4n} = \frac{550}{4 \times 1,38} \approx 99,6 \text{ nm}$.

Lv 6 • Olimpiade gaya OSN/IPhO

21. Lv 6 • Olimpiade • Isian • Keping tipis pada celah ganda • gaya olimpiade • 21-6-01

Pada percobaan celah ganda ($d = 0,50 \text{ mm}$, $L = 1,0 \text{ m}$), salah satu celah ditutup keping plastik bening setebal $6,0 \mu\text{m}$ dengan indeks bias $1,50$. Berapa jauh terang pusat bergeser (dalam mm)?

Jawaban: mm

Kunci: 6 mm

Pembahasan: Tambahan lintasan optik di celah yang ditutup: $(n - 1)t = 0,50 \times 6,0 \mu\text{m} = 3,0 \mu\text{m}$.

Terang pusat berada di titik tempat beda lintasan geometris mengimbangnya: $\frac{dy}{L} = (n - 1)t$.

$y = \frac{(n - 1)tL}{d} = \frac{3,0 \times 10^{-6} \times 1,0}{0,50 \times 10^{-3}} = 6,0 \times 10^{-3} \text{ m} = 6,0 \text{ mm}$, ke arah celah yang ditutup. Lebar pitanya sendiri tidak berubah.

22. Lv 6 • Olimpiade • Pilihan ganda • Cermin Lloyd • gaya olimpiade • 21-6-02

Pada cermin Lloyd, cahaya dari celah sempit S sampai ke layar melalui dua jalan: langsung, dan setelah dipantulkan cermin datar yang hampir sejajar sinar. Di layar, tepat pada perpanjangan bidang cermin (beda lintasan geometris nol), teramati...

- A. pita terang, karena beda lintasannya nol
- B. pita gelap, karena pantulan oleh cermin membalik fase setengah gelombang
- C. pita terang yang dua kali lebih lebar daripada pita lain
- D. tidak ada pola, karena kedua sumber tidak koheren

Kunci: B

Pembahasan: Pantulan pada permukaan yang lebih rapat menambah beda fase π (setara $\lambda/2$). Di titik dengan beda lintasan geometris nol, beda fase totalnya π , sehingga terjadi interferensi destruktif: pita gelap. Percobaan ini menjadi bukti langsung adanya pembalikan fase pada pantulan.

Cahaya terpolarisasi vertikal melewati 6 polarisator ideal. Sumbunya berturut-turut 15° , 30° , 45° , 60° , 75° , dan 90° dari vertikal. Berapa bagian intensitas awal yang keluar? (Tulis sebagai pecahan desimal, misalnya 0,5.)

Jawaban:

Kunci: 0,66

Pembahasan: Setiap langkah mengalikan intensitas dengan $\cos^2 15^\circ$. Totalnya $(\cos^2 15^\circ)^6 = \cos^{12} 15^\circ = 0,9659^{12} \approx 0,66$.

Arah polarisasi berputar 90° dan masih tersisa 66% cahaya. Jika dipakai satu polarisator 90° saja, hasilnya 0! Untuk $N \rightarrow \infty$, $\cos^{2N}(\pi/2N) \approx 1 - \pi^2/4N \rightarrow 1$.

Lampu natrium memancarkan dua garis kuning yang sangat berdekatan: 589,0 nm dan 589,6 nm. Daya pisah kisi adalah $R = \lambda/\Delta\lambda = mN_{\text{tot}}$, dengan N_{tot} jumlah celah yang tersinari.

(a) Berapa N_{tot} minimum untuk memisahkan kedua garis pada orde 1?

(b) Bagaimana pada orde 2?

(c) Berkas cahaya selebar 2,0 mm menyinari kisi 300 garis/mm. Pada orde berapa kedua garis mulai terpisah? Jelaskan.

Kunci/rubrik: (a) $R = \frac{589,3}{0,6} \approx 982$, sehingga pada orde 1 diperlukan $N_{\text{tot}} \geq 982$ celah.

(b) Pada orde 2, $N_{\text{tot}} \geq 982/2 = 491$ celah.

(c) $N_{\text{tot}} = 2,0 \text{ mm} \times 300 \text{ garis/mm} = 600$ celah. Jumlah ini kurang dari 982 sehingga tidak cukup untuk orde 1, tetapi cukup untuk orde 2 ($600 \geq 491$). Jadi kedua garis mulai terpisah pada orde 2. (Orde 3 juga ada, karena $3 \times 589,6 = 1769 \text{ nm}$ masih kurang dari $d = 3333 \text{ nm}$.)

Pembahasan: Daya pisah kisi bergantung pada jumlah total celah yang tersinari, bukan hanya kerapatannya. Karena itu, spektrometer canggih memakai kisi lebar dan berkas cahaya yang lebar pula.

Lv 1 • Pemula SD-SMP awal

1. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Sifat muatan • 22-1-01

Dua benda yang sama-sama bermuatan negatif didekatkan. Kedua benda itu akan...

- A. tarik-menarik
- B. saling meniadakan muatannya
- C. tidak saling memengaruhi
- D. tolak-menolak

Kunci: D

Pembahasan: Muatan sejenis tolak-menolak, sedangkan muatan tak sejenis tarik-menarik. Dua benda negatif sama-sama kelebihan elektron, sehingga saling menolak.

2. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Pemuatan dengan gosokan • 22-1-02

Penggaris plastik yang digosokkan ke rambut kering menjadi bermuatan negatif. Hal ini terjadi karena...

- A. proton berpindah dari penggaris ke rambut
- B. gesekan menciptakan muatan baru
- C. penggaris berubah menjadi magnet
- D. elektron berpindah dari rambut ke penggaris

Kunci: D

Pembahasan: Saat digosok, elektron berpindah dari rambut ke penggaris. Penggaris kelebihan elektron (negatif), dan rambut kekurangan elektron (positif). Proton tidak berpindah, dan muatan tidak diciptakan (hukum kekekalan muatan).

3. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Satuan • 22-1-03

Satuan SI untuk muatan listrik adalah...

- A. coulomb
- B. volt
- C. ampere
- D. farad

Kunci: A

Pembahasan: Muatan listrik diukur dalam coulomb (C). Volt adalah satuan beda potensial, ampere satuan arus listrik, dan farad satuan kapasitas.

4. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Penangkal petir • 22-1-04

Fungsi penangkal petir yang dipasang di puncak menara masjid adalah...

- A. menolak petir agar menjauh dari bangunan
- B. menyimpan listrik petir untuk dipakai kemudian
- C. menyalurkan arus petir dengan aman ke dalam tanah
- D. membuat awan kehilangan muatannya

Kunci: C

Pembahasan: Penangkal petir adalah batang logam runcing yang dihubungkan ke tanah dengan kabel tebal. Jika petir menyambar, arusnya disalurkan lewat kabel ke tanah, bukan menembus dinding dan isi bangunan.

5. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Kuantisasi muatan • 22-2-01

Sebuah bola logam bermuatan $-3,2 \mu\text{C}$. Berapa banyak elektron berlebih pada bola itu? ($e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$)

Jawaban: elektron

Kunci: 2×10^{13} elektron

Pembahasan: $n = \frac{|q|}{e} = \frac{3,2 \times 10^{-6}}{1,6 \times 10^{-19}} = 2 \times 10^{13}$ elektron.

6. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Hukum Coulomb • 22-2-02

Dua muatan masing-masing $+2 \mu\text{C}$ terpisah sejauh 30 cm . Berapa besar gaya tolak di antara keduanya? ($k = 9 \times 10^9 \text{ N m}^2/\text{C}^2$)

Jawaban: N

Kunci: $0,4 \text{ N}$

Pembahasan: $F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} = \frac{(9 \times 10^9)(2 \times 10^{-6})(2 \times 10^{-6})}{(0,3)^2} = \frac{0,036}{0,09} = 0,4 \text{ N}$.

7. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Kuat medan • 22-2-03

Sebuah muatan uji $4 \mu\text{C}$ mengalami gaya $0,02 \text{ N}$ di suatu titik. Berapa kuat medan listrik di titik itu?

Jawaban: N/C

Kunci: 5.000 N/C

Pembahasan: $E = \frac{F}{q} = \frac{0,02}{4 \times 10^{-6}} = 5000 \text{ N/C}$.

8. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Kapasitas • 22-2-04

Sebuah kapasitor menyimpan muatan $60 \mu\text{C}$ saat dihubungkan ke baterai 12 V . Berapa kapasitasnya, dalam μF ?

Jawaban: μF

Kunci: $5 \mu\text{F}$

Pembahasan: $C = \frac{Q}{V} = \frac{60 \mu\text{C}}{12 \text{ V}} = 5 \mu\text{F}$.

9. Lv 3 • Pejuang • Isian • Hukum kuadrat terbalik • 22-3-01

Gaya Coulomb antara dua muatan adalah 36 N . Jika jarak keduanya dijadikan tiga kali semula, berapa gayanya sekarang?

Jawaban: N

Kunci: 4 N

Pembahasan: $F' = F \times \left(\frac{r}{3r}\right)^2 = \frac{36}{9} = 4 \text{ N}$.

10. Lv 3 • Pejuang • Isian • Titik medan nol • 22-3-02

Muatan $+4 \mu\text{C}$ dan $+1 \mu\text{C}$ terpisah 30 cm. Pada jarak berapa dari muatan $+4 \mu\text{C}$ (di antara keduanya) kuat medan listriknya nol?

Jawaban: cm

Kunci: 20 cm

Pembahasan: $\frac{k \cdot 4}{x^2} = \frac{k \cdot 1}{(30 - x)^2} \Rightarrow \frac{30 - x}{x} = \frac{1}{2}$.

$60 - 2x = x \Rightarrow x = 20 \text{ cm}$. Titik nol selalu lebih dekat ke muatan yang lebih kecil.

11. Lv 3 • Pejuang • Isian • Kapasitor keping sejajar • 22-3-03

Dua keping logam seluas 200 cm^2 dipisahkan udara setebal 2 mm. Berapa kapasitannya, dalam pF? ($\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$)

Jawaban: pF

Kunci: 88,5 pF

Pembahasan: $A = 200 \text{ cm}^2 = 0,02 \text{ m}^2$, $d = 0,002 \text{ m}$.

$C = \frac{\epsilon_0 A}{d} = \frac{8,85 \times 10^{-12} \times 0,02}{0,002} = 8,85 \times 10^{-11} \text{ F} = 88,5 \text{ pF}$.

12. Lv 3 • Pejuang • Isian • Kapasitor seri • 22-3-04

Kapasitor $3 \mu\text{F}$ dan $6 \mu\text{F}$ disusun seri, lalu dihubungkan ke baterai 12 V. Berapa muatan pada masing-masing kapasitor, dalam μC ?

Jawaban: μC

Kunci: 24 μC

Pembahasan: $\frac{1}{C} = \frac{1}{3} + \frac{1}{6} = \frac{1}{2} \Rightarrow C = 2 \mu\text{F}$.

$Q = CV = 2 \times 12 = 24 \mu\text{C}$, sama pada kedua kapasitor.

Lv 4 • IGCSE gaya Cambridge IGCSE

13. Lv 4 • IGCSE • Uraian • Balon menempel di dinding • gaya IGCSE • 22-4-01

Balon yang sudah digosokkan ke rambut dapat menempel di dinding yang netral. Jelaskan mengapa hal ini terjadi. [4 poin]

Kunci/rubrik:

1. Saat digosok, elektron berpindah dari rambut ke balon, sehingga balon bermuatan negatif.
2. Saat balon didekatkan ke dinding, muatan negatif balon menolak elektron di permukaan dinding sedikit menjauh (induksi atau polarisasi).
3. Permukaan dinding yang dekat balon menjadi sedikit positif.
4. Muatan berlawanan saling tarik. Karena muatan positif dinding lebih dekat ke balon daripada muatan negatifnya, tarikannya lebih besar daripada tolakannya, sehingga balon menempel.

Pembahasan: Satu poin untuk perpindahan elektron saat digosok, satu poin untuk induksi atau polarisasi di dinding, satu poin untuk sisi dinding yang menjadi positif, dan satu poin untuk alasan tarikan lebih besar daripada tolakan (jarak lebih dekat).

14. Lv 4 • IGCSE • Pilihan ganda • Elektroskop • gaya IGCSE • 22-4-02

Sebuah batang bermuatan negatif didekatkan (tanpa menyentuh) ke kepala elektroskop yang netral. Daun elektroskop membuka karena...

- A. elektron dari batang meloncat ke daun
- B. elektron di elektroskop terdorong ke daun, sehingga kedua daun bermuatan negatif dan saling menolak
- C. proton di elektroskop berpindah ke daun
- D. daun menjadi panas dan memuai

Kunci: B

Pembahasan: Batang negatif menolak elektron bebas di kepala elektroskop ke bawah. Kedua daun mendapat kelebihan elektron (negatif) dan saling menolak. Kepala elektroskop menjadi positif. Tidak ada muatan yang berpindah antara batang dan elektroskop: inilah induksi.

15. Lv 4 • IGCSE • Isian • Muatan petir • gaya IGCSE • 22-4-03

Sambaran petir membawa arus rata-rata 20 kA selama 0,25 ms. Hitung muatan yang berpindah. (Muatan = arus $\times$ waktu.)

Jawaban: C

Kunci: 5 C

Pembahasan: $Q = It = (20 \times 10^3 \text{ A})(0,25 \times 10^{-3} \text{ s}) = 5 \text{ C}$.

Lima coulomb sama dengan sekitar 3×10^{19} elektron, berpindah dalam seperempat milidetik!

16. Lv 4 • IGCSE • Isian • Energi kapasitor • gaya IGCSE • 22-4-04

Kapasitor 2200 μF pada rangkaian penguat suara diisi sampai 12 V. Hitung energi yang tersimpan.

Jawaban: J

Kunci: 0,158 J

Pembahasan: $W = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2}(2200 \times 10^{-6})(12)^2 = 0,158 \text{ J}$.

Lv 5 • IB DP gaya IB Physics

17. Lv 5 • IB DP • Isian • Elektron dipercepat • gaya IB • 22-5-01

Sebuah elektron dipercepat dari keadaan diam oleh beda potensial 500 V. Tentukan kelajuan akhirnya. ($e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$, $m_e = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$)

Jawaban: m/s

Kunci: $1,33 \times 10^7 \text{ m/s}$

Pembahasan: $e\Delta V = \frac{1}{2}mv^2 \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2e\Delta V}{m}} = \sqrt{\frac{2(1,6 \times 10^{-19})(500)}{9,11 \times 10^{-31}}}$.

$v \approx 1,33 \times 10^7 \text{ m/s}$, sekitar 4% laju cahaya. Efek relativitas masih bisa diabaikan.

18. Lv 5 • IB DP • Uraian • Dielektrik, baterai terputus • gaya IB • 22-5-02

Kapasitor keping sejajar 50 pF diisi oleh baterai 12 V, lalu baterainya **diputus**. Setelah itu, lempeng dielektrik dengan $\epsilon_r = 4$ disisipkan memenuhi celah.

- Tentukan muatan, kapasitas, dan tegangan setelah penyisipan.
- Bandingkan energi tersimpan sebelum dan sesudahnya.
- Jelaskan ke mana selisih energinya pergi.

Kunci/rubrik: (a) Muatan tetap: $Q = C_0 V_0 = 50 \text{ pF} \times 12 \text{ V} = 600 \text{ pC}$. Kapasitas menjadi $C = 4 \times 50 = 200 \text{ pF}$. Tegangan menjadi $V = Q/C = 600/200 = 3 \text{ V}$.

(b) $W_0 = \frac{1}{2} C_0 V_0^2 = \frac{1}{2} (50 \times 10^{-12}) (12)^2 = 3,6 \text{ nJ}$. $W = \frac{1}{2} C V^2 = \frac{1}{2} (200 \times 10^{-12}) (3)^2 = 0,9 \text{ nJ}$. Energinya turun menjadi seperempat (turun dengan faktor ϵ_r).

(c) Medan listrik di tepi keping **menarik** lempeng dielektrik masuk ke celah. Selisih energi 2,7 nJ menjadi usaha untuk menarik lempeng (energi kinetik lempeng, lalu berubah menjadi kalor jika lempeng ditahan atau bergesekan).

Pembahasan: Kuncinya: dengan baterai terputus, besaran yang tetap adalah Q . Dengan baterai tersambung, besaran yang tetap adalah V , sehingga energi justru naik dengan faktor ϵ_r karena baterai memasok muatan tambahan.

19. Lv 5 • IB DP • Isian • Potensial dua muatan • gaya IB • 22-5-03

Muatan $+3 \mu\text{C}$ dan $-1 \mu\text{C}$ terpisah 20 cm. Tentukan potensial listrik di titik tengah garis penghubungnya.

Jawaban: V

Kunci: 180.000 V

Pembahasan: Kedua muatan berjarak 0,1 m dari titik tengah.

$$V = k \frac{q_1}{r} + k \frac{q_2}{r} = \frac{9 \times 10^9 (3 \times 10^{-6} - 1 \times 10^{-6})}{0,1} = 1,8 \times 10^5 \text{ V}.$$

20. Lv 5 • IB DP • Pilihan ganda • Grafik potensial • gaya IB • 22-5-04

Grafik potensial V terhadap posisi x di antara dua keping sejajar berupa garis lurus yang naik dari 0 V di $x = 0$ sampai 300 V di $x = 5 \text{ mm}$. Besar kuat medan listrik di antara keping adalah...

- | | |
|------------|----------------------------------|
| A. 60 V/m | C. $6 \times 10^4 \text{ V/m}$ |
| B. 1,5 V/m | D. $1,5 \times 10^6 \text{ V/m}$ |

Kunci: C

Pembahasan: Besar medan sama dengan besar gradien grafik V - x : $E = \frac{\Delta V}{\Delta x} = \frac{300}{5 \times 10^{-3}} = 6 \times 10^4 \text{ V/m}$.

Arah medannya menuju potensial yang lebih rendah ($E = -dV/dx$). Pengecoh 60 V/m muncul jika lupa mengubah mm ke m.

21. Lv 6 • Olimpiade • Isian • Tetes minyak Millikan • gaya olimpiade • 22-6-01

Dalam percobaan Millikan, setetes minyak bermassa $1,96 \times 10^{-15}$ kg melayang diam di antara dua keping sejajar berjarak 1,0 cm yang diberi beda potensial 400 V. Berapa kali muatan elementer yang dibawa tetes itu? ($g = 9,8 \text{ m/s}^2$, $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$)

Jawaban: $\times e$

Kunci: $3 \times e$

Pembahasan: $qE = mg \Rightarrow q = \frac{mgd}{V} = \frac{(1,96 \times 10^{-15})(9,8)(0,010)}{400} = 4,80 \times 10^{-19} \text{ C}$.

$n = q/e = 4,80/1,6 = 3,0$. Tetes membawa tepat 3 muatan elementer.

Millikan menemukan bahwa semua tetes membawa kelipatan bulat e . Itulah bukti kuantisasi muatan!

22. Lv 6 • Olimpiade • Pilihan ganda • Fluks Gauss • gaya olimpiade • 22-6-02

Sebuah muatan titik q diletakkan tepat di pusat sebuah kubus. Fluks listrik yang menembus **satu** sisi kubus adalah...

- A. q/ϵ_0
- B. $q/(4\epsilon_0)$
- C. $q/(6\epsilon_0)$
- D. nol, karena medan tidak tegak lurus sisi kubus

Kunci: C

Pembahasan: Menurut hukum Gauss, fluks total melalui permukaan tertutup adalah q/ϵ_0 . Karena simetri, keenam sisi kubus menerima fluks yang sama, sehingga satu sisi menerima $\frac{q}{6\epsilon_0}$. Medan memang tidak seragam pada sebuah sisi, tetapi argumen simetri membuat kita tidak perlu mengintegrasikan!

23. Lv 6 • Olimpiade • Isian • Energi hilang saat berbagi muatan • gaya olimpiade • 22-6-03

Kapasitor $4 \mu\text{F}$ diisi sampai 100 V, lalu dilepas dari baterai dan dihubungkan paralel dengan kapasitor $4 \mu\text{F}$ lain yang kosong. Berapa energi yang hilang (dalam mJ) saat muatan berbagi?

Jawaban: mJ

Kunci: 10 mJ

Pembahasan: Muatan awal: $Q = 4 \times 100 = 400 \mu\text{C}$. Setelah dihubungkan, $C_{\text{tot}} = 8 \mu\text{F}$, sehingga $V = 400/8 = 50 \text{ V}$.

Energi awal: $\frac{1}{2}(4 \times 10^{-6})(100)^2 = 20 \text{ mJ}$. Energi akhir: $\frac{1}{2}(8 \times 10^{-6})(50)^2 = 10 \text{ mJ}$.

Yang hilang 10 mJ, tepat separuhnya! Energi itu berubah menjadi kalor di kabel dan pancaran gelombang elektromagnetik saat arus mengalir. Hasil separuh ini tidak bergantung pada besar hambatan kabel.

Empat muatan diletakkan di sudut persegi bersisi a : $+q$ di kedua sudut atas, dan $-q$ di kedua sudut bawah.

- Tentukan besar dan arah medan listrik di pusat persegi.
- Tentukan potensial listrik di pusat persegi.
- Berapa usaha untuk membawa muatan Q dari jauh tak hingga ke pusat persegi? Apakah gaya pada Q di pusat juga nol? Jelaskan.

Kunci/rubrik: (a) Jarak tiap sudut ke pusat $r = a/\sqrt{2}$, jadi tiap muatan menghasilkan medan $E_1 = kq/r^2 = 2kq/a^2$. Komponen mendatar saling menghapus. Keempat komponen tegak mengarah ke bawah (menjauhi $+q$ di atas dan menuju $-q$ di bawah), masing-masing $E_1/\sqrt{2}$. Totalnya $E = 4 \cdot \frac{2kq}{a^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{4\sqrt{2}kq}{a^2}$, mengarah dari sisi positif ke sisi negatif.

$$(b) V = \frac{k}{r}(q + q - q - q) = 0.$$

(c) $W = Q(V_{\text{pusat}} - V_{\infty}) = Q(0 - 0) = 0$. Namun, gaya pada Q di pusat **tidak** nol, yaitu $F = QE = 4\sqrt{2}kqQ/a^2$. Potensial nol tidak berarti medan nol.

Pembahasan: Soal ini menguji perbedaan besaran vektor (medan) dan skalar (potensial). Usaha bergantung pada beda potensial, bukan pada besarnya gaya di titik akhir.

Lv 1 • Pemula SD-SMP awal

1. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Satuan arus • 23-1-01

Satuan SI untuk kuat arus listrik adalah...

- A. volt
- B. ampere
- C. ohm
- D. watt

Kunci: B

Pembahasan: Kuat arus diukur dalam **ampere** (A). 1 A berarti 1 coulomb muatan lewat setiap detik. Volt adalah satuan beda potensial, ohm satuan hambatan, dan watt satuan daya.

2. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Alat ukur listrik • 23-1-02

Untuk mengukur tegangan pada sebuah lampu, voltmeter harus dipasang...

- A. seri dengan lampu
- B. di mana saja, asalkan lampu menyala
- C. paralel dengan lampu
- D. seri dengan baterai saja

Kunci: C

Pembahasan: Voltmeter membandingkan potensial dua titik, jadi kedua ujungnya dipasang di kedua ujung lampu (**paralel**). Amperemeter-lah yang dipasang seri. Ingat trik: "Ampere antre, Volt nonton".

3. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Rangkaian rumah • 23-1-03

Lampu-lampu di rumah dirangkai **paralel**. Keuntungan utamanya adalah...

- A. jika satu lampu padam, lampu lain tetap menyala dengan tegangan penuh
- B. arus di semua lampu selalu sama besar
- C. tagihan listrik menjadi gratis
- D. kabel yang dibutuhkan paling sedikit

Kunci: A

Pembahasan: Pada rangkaian paralel, setiap lampu punya cabang sendiri dan mendapat tegangan yang sama (± 220 V). Jika satu lampu putus, cabang lain tidak terputus, sehingga lampu lain tetap menyala.

4. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Keselamatan Listrik • 23-1-04

Raka melihat kabel setrika terkelupas sampai tembaganya terlihat. Tindakan yang paling aman adalah...

- A. menutupnya dengan kertas lalu tetap memakai setrika
- B. memegang bagian yang terkelupas untuk memeriksa apakah ada listriknya
- C. menyiramnya dengan air supaya tidak panas
- D. mencabut steker dengan tangan kering sambil memegang kepala steker, tidak memakai setrika itu, lalu meminta orang dewasa memperbaikinya

Kunci: D

Pembahasan: Kabel terkelupas bisa menyetrum dan memicu korsleting. Putuskan listriknya dengan cara aman (tangan kering, pegang kepala steker), jangan dipakai, dan serahkan perbaikan pada orang dewasa atau teknisi. Kertas bukan isolator yang andal, dan air justru menghantarkan listrik.

Lv 2 • Penjelajah SMP (Fase D)

5. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Kuat arus • 23-2-01

Muatan 45 C mengalir melalui kabel sebuah kipas angin selama 3 menit. Berapa kuat arusnya?

Jawaban: A

Kunci: 0,25 A

Pembahasan: Ubah waktu ke sekon: $t = 3 \times 60 = 180$ s.

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{45}{180} = 0,25 \text{ A.}$$

6. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Hukum Ohm • 23-2-02

Elemen pemanas sebuah setrika berhambatan 121Ω dipasang pada tegangan 220 V. Berapa arus yang mengalir?

Jawaban: A

Kunci: 1,82 A

Pembahasan: $I = \frac{V}{R} = \frac{220}{121} \approx 1,82$ A. (Dayanya $P = VI \approx 400$ W.)

7. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Energi listrik (kWh) • 23-2-03

Kipas angin 40 W menyala 10 jam setiap hari selama 30 hari. Berapa kWh energi listrik yang dipakainya?

Jawaban: kWh

Kunci: 12 kWh

Pembahasan: Energi = $\frac{P(\text{W}) \times t(\text{jam})}{1000} = \frac{40 \times 10 \times 30}{1000} = 12$ kWh.

8. Lv 2 • Penjelajah • Pilihan ganda • Hambatan seri • 23-2-04

Tiga resistor 2Ω , 3Ω , dan 5Ω dirangkai **seri**. Hambatan penggantinya adalah...

- A. $0,97 \Omega$
- B. 10Ω
- C. 30Ω
- D. $3,3 \Omega$

Kunci: B

Pembahasan: Pada rangkaian seri, hambatan dijumlahkan: $R_s = 2 + 3 + 5 = 10 \Omega$. Angka $0,97 \Omega$ adalah hasil jika ketiganya paralel.

9. Lv 3 • Pejuang • Isian • Rangkaian campuran • 23-3-01

Resistor $12\ \Omega$ dan $6\ \Omega$ dirangkai paralel, lalu susunan itu diseri dengan resistor $2\ \Omega$. Semuanya dipasang pada baterai 9 V yang hambatan dalamnya diabaikan. Berapa arus yang melalui resistor $6\ \Omega$?

Jawaban: A

Kunci: 1 A

Pembahasan: Paralel: $R_p = \frac{12 \times 6}{12 + 6} = 4\ \Omega$. Total: $4 + 2 = 6\ \Omega$.

Arus total: $I = 9/6 = 1,5\text{ A}$.

Tegangan bagian paralel: $V_p = 1,5 \times 4 = 6\text{ V}$.

Arus di $6\ \Omega$: $I_6 = 6/6 = 1\text{ A}$. (Cek: di $12\ \Omega$ mengalir $0,5\text{ A}$, dan $1 + 0,5 = 1,5\text{ A}$ ✓.)

10. Lv 3 • Pejuang • Isian • GGL dan hambatan dalam • 23-3-02

Baterai dengan GGL 9 V dan hambatan dalam $0,5\ \Omega$ dihubungkan ke lampu berhambatan $4\ \Omega$. Berapa tegangan jepit baterai?

Jawaban: V

Kunci: 8 V

Pembahasan: $I = \frac{\varepsilon}{R + r} = \frac{9}{4,5} = 2\text{ A}$.

$V_{\text{jepit}} = \varepsilon - Ir = 9 - 2 \times 0,5 = 8\text{ V}$ (sama dengan $IR = 2 \times 4$).

Sebanyak 1 V "hilang" di dalam baterai sendiri sebagai kalor.

11. Lv 3 • Pejuang • Isian • Biaya listrik • 23-3-03

Sebuah AC berdaya 800 W menyala 8 jam setiap hari selama 30 hari . Dengan contoh tarif Rp1.500 per kWh, berapa rupiah biaya listrik AC itu dalam sebulan?

Jawaban: rupiah

Kunci: 288.000 rupiah

Pembahasan: Energi: $0,8\text{ kW} \times 8\text{ jam} \times 30 = 192\text{ kWh}$.

Biaya: $192 \times 1500 = 288\ 000$, jadi Rp288.000.

Menaikkan suhu AC $1-2\ ^\circ\text{C}$ atau mengurangi 2 jam per hari bisa menghemat puluhan ribu rupiah sebulan.

12. Lv 3 • Pejuang • Pilihan ganda • Hambatan jenis • 23-3-04

Kawat A dan kawat B terbuat dari bahan yang sama. Kawat B dua kali lebih panjang dan diameternya dua kali diameter kawat A. Hambatan kawat B adalah ... kali hambatan kawat A.

A. 4

C. $1/2$

B. 2

D. $1/4$

Kunci: C

Pembahasan: $R = \rho L/A$ dan $A = \frac{1}{4}\pi d^2$. Panjang $\times 2$ membuat $R \times 2$. Diameter $\times 2$ membuat luas $\times 4$, sehingga $R \times 1/4$.

Totalnya: $2 \times \frac{1}{4} = \frac{1}{2}$.

13. Lv 4 • IGCSE • Isian • Data eksperimen • gaya IGCSE • 23-4-01

Seorang siswa mengukur tegangan dan arus pada sebuah resistor:

V (V)	1,5	3,0	4,5	6,0
I (A)	0,10	0,20	0,30	0,40

Hitung hambatan (*resistance*) resistor tersebut.

Jawaban: Ω

Kunci: 15 Ω

Pembahasan: Perbandingan V/I tetap untuk semua data: $1,5/0,10 = 3,0/0,20 = \dots = 15 \Omega$. Karena V sebanding dengan I , resistor ini patuh hukum Ohm (ohmik). Kemiringan grafik $V-I = 15 \Omega$.

14. Lv 4 • IGCSE • Uraian • Lampu pijar non-ohmik • gaya IGCSE • 23-4-02

Grafik arus terhadap tegangan (grafik $I-V$) sebuah lampu pijar melengkung, tidak lurus seperti grafik resistor tetap. Jelaskan mengapa. [3 poin]

Kunci/rubrik:

1. Saat arus bertambah, filamen makin panas (suhunya naik).
2. Ion-ion logam di filamen bergetar lebih kuat sehingga elektron lebih sering bertumbukan; hambatan filamen bertambah.
3. Karena hambatan naik, arus tidak lagi sebanding dengan tegangan: kenaikan tegangan yang sama menghasilkan kenaikan arus yang makin kecil, sehingga grafik $I-V$ melandai (lampu tidak patuh hukum Ohm).

Pembahasan: Kata kunci penilaian: *suhu naik, getaran ion/tumbukan bertambah, hambatan naik, dan arus tidak sebanding tegangan*. Hukum Ohm hanya berlaku jika suhu penghantar tetap.

15. Lv 4 • IGCSE • Isian • Arus alat rumah tangga • gaya IGCSE • 23-4-03

Sebuah ketel listrik berlabel 220 V, 2.000 W. Hitung arus yang mengalir saat ketel bekerja normal.

Jawaban: A

Kunci: 9,09 A

Pembahasan: $P = VI$ sehingga $I = \frac{P}{V} = \frac{2000}{220} \approx 9,09 \text{ A}$.

Arus ini melebihi batas MCB 6 A pada rumah berdaya 1.300 VA. Jika ketel dinyalakan di rumah seperti itu, MCB akan turun ("njeglek").

Fungsi kabel ground (*earth wire*) yang disambungkan ke badan logam mesin cuci adalah...

- A. menambah tegangan agar motor mesin cuci lebih kuat
- B. menghemat pemakaian listrik
- C. menggantikan kabel netral saat kabel netral putus
- D. mengalirkan arus bocor ke tanah sehingga MCB/ELCB memutus listrik dan badan mesin tidak bertegangan

Kunci: D

Pembahasan: Jika kabel fase menyentuh badan logam, kabel ground memberi jalur berhambatan sangat kecil ke tanah. Arus besar yang muncul membuat MCB (atau ELCB) memutus listrik, sehingga orang yang menyentuh badan mesin tidak tersengat.

Lv 5 • IB DP gaya IB Physics

Sebuah baterai dihubungkan dengan resistor $2,0\ \Omega$ dan arus yang terukur $1,2\text{ A}$. Saat resistor diganti dengan $5,0\ \Omega$, arusnya $0,60\text{ A}$. Tentukan GGL baterai.

Jawaban: V

Kunci: 3,6 V

Pembahasan: $\varepsilon = 1,2(2,0 + r)$ dan $\varepsilon = 0,60(5,0 + r)$.

Samakan: $2,4 + 1,2r = 3,0 + 0,6r \rightarrow r = 1,0\ \Omega$.

$\varepsilon = 1,2 \times 3,0 = 3,6\text{ V}$.

Tegangan jepit V sebuah sel diukur untuk beberapa arus I :

I (A)	0,20	0,40	0,60	0,80
V (V)	1,40	1,30	1,20	1,10

(a) Jelaskan bagaimana grafik V terhadap I dipakai untuk menentukan GGL dan hambatan dalam.

(b) Tentukan GGL dan hambatan dalam sel.

(c) Berapa daya maksimum yang dapat diberikan sel ini ke hambatan luar, dan pada hambatan luar berapa daya maksimum itu terjadi?

Kunci/rubrik: (a) Dari $V = \varepsilon - Ir$, grafik $V-I$ berupa garis lurus. Perpotongannya dengan sumbu V (saat $I = 0$) adalah ε , dan kemiringannya adalah $-r$.

(b) Kemiringan = $\frac{1,10 - 1,40}{0,80 - 0,20} = -0,50\ \Omega$, jadi $r = 0,50\ \Omega$. Perpotongan: $\varepsilon = 1,40 + 0,20 \times 0,50 = 1,50\text{ V}$.

(c) Daya ke hambatan luar maksimum saat $R = r = 0,50\ \Omega$: $P_{\text{maks}} = \frac{\varepsilon^2}{4r} = \frac{2,25}{2,0} \approx 1,1\text{ W}$.

Pembahasan: Daya pada hambatan luar $P = \frac{\varepsilon^2 R}{(R + r)^2}$. Turunkan terhadap R dan samakan dengan nol: maksimum saat $R = r$. Pada keadaan itu efisiensinya hanya 50%: separuh daya terbuang di dalam sel.

19. Lv 5 • IB DP • Isian • Hambatan jenis • gaya IB • 23-5-03

Kawat nikrom sepanjang 0,80 m berdiameter 0,40 mm memiliki hambatan 6,8 Ω . Tentukan hambatan jenis nikrom, dinyatakan dalam satuan $10^{-6} \Omega \text{ m}$. (Contoh: jika hasilmu $2,5 \times 10^{-6} \Omega \text{ m}$, tulis 2,5.)

Jawaban: $\times 10^{-6} \Omega \text{ m}$

Kunci: $1,07 \times 10^{-6} \Omega \text{ m}$

Pembahasan: $A = \pi r^2 = \pi(0,20 \times 10^{-3})^2 = 1,26 \times 10^{-7} \text{ m}^2$.

$$\rho = \frac{RA}{L} = \frac{6,8 \times 1,26 \times 10^{-7}}{0,80} \approx 1,07 \times 10^{-6} \Omega \text{ m}.$$

Nilai ini cocok dengan nikrom di tabel. Diameter paling memengaruhi ketidakpastian, karena masuk sebagai kuadrat.

20. Lv 5 • IB DP • Isian • Pengaruh suhu • gaya IB • 23-5-04

Kumparan tembaga sebuah motor berhambatan 20,0 Ω pada suhu 25 $^{\circ}\text{C}$. Setelah motor bekerja lama, hambatannya menjadi 23,9 Ω . Dengan model $R = R_0(1 + \alpha \Delta T)$ dan $\alpha = 0,0039 / ^{\circ}\text{C}$, berapa suhu kumparan?

Jawaban: $^{\circ}\text{C}$

Kunci: 75 $^{\circ}\text{C}$

Pembahasan: $\frac{R}{R_0} = 1 + \alpha \Delta T \rightarrow \Delta T = \frac{23,9/20,0 - 1}{0,0039} = \frac{0,195}{0,0039} = 50 ^{\circ}\text{C}.$

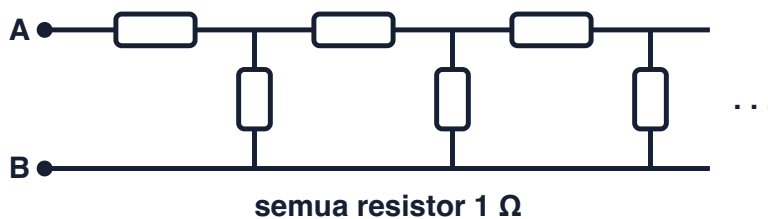
Suhu kumparan = 25 + 50 = 75 $^{\circ}\text{C}$.

Teknisi memakai cara ini untuk memeriksa suhu kumparan motor tanpa memasang termometer di dalamnya.

Lv 6 • Olimpiade gaya OSN/IPhO

21. Lv 6 • Olimpiade • Isian • Jaringan tak hingga • gaya olimpiade • 23-6-01

Jaringan tangga pada gambar tersusun dari resistor 1 Ω yang berulang **tanpa akhir** ke kanan: satu resistor pada kawat atas, lalu satu resistor yang menghubungkan kawat atas ke kawat bawah, dan seterusnya. Berapa hambatan pengganti antara titik A dan B?



Jawaban: Ω

Kunci: 1,618 Ω

Pembahasan: Misalkan hambatan total R_x . Sisa jaringan setelah anak tangga pertama juga bernilai R_x dan terpasang paralel dengan resistor tegak pertama.

$$R_x = R + \frac{R R_x}{R + R_x} \rightarrow R_x^2 - R R_x - R^2 = 0.$$

$$R_x = \frac{1 + \sqrt{5}}{2} R \approx 1,618 \Omega, \text{ yaitu bilangan emas!}$$

Dua belas resistor $6\ \Omega$ disusun sebagai rusuk-rusuk sebuah kubus. Berapa hambatan pengganti antara dua pojok kubus yang berseberangan pada diagonal ruang?

Jawaban: Ω

Kunci: 5 Ω

Pembahasan: Arus I masuk pojok awal dan terbagi rata ke 3 rusuk: masing-masing $I/3$.

Di setiap dari 3 pojok berikutnya, $I/3$ terbagi ke 2 rusuk: masing-masing $I/6$ (ada 6 rusuk tengah).

Lalu 3 rusuk terakhir masing-masing membawa $I/3$ ke pojok akhir.

Jumlahkan beda potensial sepanjang satu jalur: $V = \frac{I}{3}R + \frac{I}{6}R + \frac{I}{3}R = \frac{5}{6}IR$.

$$R_{\text{total}} = \frac{5}{6} \times 6 = 5\ \Omega.$$

Ada 24 sel identik, masing-masing dengan GGL 1,5 V dan hambatan dalam $0,5\ \Omega$. Sel-sel itu disusun menjadi m baris paralel, dan setiap baris berisi n sel seri ($nm = 24$). Susunan ini menghidupi hambatan luar $3\ \Omega$. Berapa arus terbesar yang dapat diperoleh dengan memilih n dan m terbaik?

Jawaban: A

Kunci: 3 A

Pembahasan: GGL total $n\varepsilon$, hambatan dalam total nr/m . Jadi $I = \frac{n\varepsilon}{R + nr/m} = \frac{N\varepsilon}{mR + nr}$ dengan $N = nm = 24$ tetap.

Penyebut $mR + nr$ minimum (dengan mn tetap) saat $mR = nr$, yaitu $nr/m = R$: $0,5n/m = 3 \rightarrow n = 6m \rightarrow 6m^2 = 24 \rightarrow m = 2, n = 12$.

$$I = \frac{12 \times 1,5}{3 + 3} = 3\ \text{A. (Bandingkan: semua seri hanya 2,4 A, dan 6 seri $\times$ 4 baris juga 2,4 A.)}$$

Tiga lampu identik A, B, dan C (hambatan tetap R) dipasang pada baterai ideal GGL ε : lampu A diseri dengan susunan paralel B dan C.

(a) Nyatakan daya tiap lampu dalam ε^2/R .

(b) Lampu C dilepas. Bagaimana perubahan terang lampu A dan B? Hitung daya barunya.

(c) Bagaimana daya total yang diberikan baterai berubah? Jelaskan secara fisis.

Kunci/rubrik: (a) $R_{\text{tot}} = R + R/2 = 1,5R$, $I = \frac{\varepsilon}{1,5R}$. $P_A = I^2R = \frac{4}{9} \frac{\varepsilon^2}{R} \approx 0,44 \frac{\varepsilon^2}{R}$; $P_B = P_C = (I/2)^2R = \frac{1}{9} \frac{\varepsilon^2}{R} \approx 0,11 \frac{\varepsilon^2}{R}$.

(b) Tanpa C: $R_{\text{tot}} = 2R$, $I = \frac{\varepsilon}{2R}$, sehingga $P_A = P_B = \frac{1}{4} \frac{\varepsilon^2}{R}$. Lampu A **meredup** ($0,44 \rightarrow 0,25$), lampu B **makin terang** ($0,11 \rightarrow 0,25$).

(c) Daya total turun dari $\frac{\varepsilon^2}{1,5R} \approx 0,67 \frac{\varepsilon^2}{R}$ menjadi $0,5 \frac{\varepsilon^2}{R}$. Melepas lampu C memutus satu cabang, sehingga hambatan total naik dan arus dari baterai turun.

Pembahasan: Hasil yang "melawan intuisi": melepas lampu justru membuat lampu lain (B) lebih terang. Ini karena tegangan di B naik dari $\varepsilon/3$ menjadi $\varepsilon/2$ setelah arus tidak lagi terbagi dua di bagian paralel.

Lv 1 • Pemula SD-SMP awal

1. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Kutub magnet • 24-1-01

Dua magnet batang didekatkan sehingga kutub U berhadapan dengan kutub U. Yang terjadi adalah...

- A. tarik-menarik
- B. tolak-menolak
- C. tidak terjadi apa-apa
- D. keduanya kehilangan kemagnetan

Kunci: B

Pembahasan: Kutub sejenis (U-U atau S-S) **tolak-menolak**, kutub tak sejenis (U-S) tarik-menarik.

2. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Bahan magnetik • 24-1-02

Benda yang ditarik **kuat** oleh magnet adalah...

- A. kaleng minuman aluminium
- B. cincin emas
- C. paku besi
- D. kabel tembaga

Kunci: C

Pembahasan: Besi adalah bahan **feromagnetik**, sehingga ditarik kuat oleh magnet. Aluminium, emas, dan tembaga praktis tidak ditarik magnet, walaupun semuanya logam.

3. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Garis medan • 24-1-03

Di luar magnet batang, garis-garis medan magnet mengarah...

- A. dari kutub U ke kutub S
- B. dari kutub S ke kutub U
- C. dari tengah magnet ke kedua kutubnya
- D. tidak tentu arahnya

Kunci: A

Pembahasan: Di luar magnet, garis medan keluar dari kutub **U** dan masuk ke kutub **S**. Di dalam magnet, garis itu menyambung dari S ke U sehingga membentuk lingkaran tertutup.

4. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Sejarah • 24-1-04

Pada 1820, seorang ilmuwan melihat jarum kompas bergerak saat kawat di dekatnya dialiri arus. Siapakah dia?

- A. Isaac Newton
- B. Michael Faraday
- C. Alessandro Volta
- D. Hans Christian Oersted

Kunci: D

Pembahasan: Hans Christian Oersted dari Denmark menemukan bahwa **arus listrik menghasilkan medan magnet**. Faraday kemudian menemukan kebalikannya (induksi), dan Volta membuat baterai pertama.

5. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Medan kawat lurus • 24-2-01

Kabel lurus panjang dialiri arus 15 A. Berapa kuat medan magnet pada jarak 3 cm dari kabel? Nyatakan dalam μT . ($\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T m/A}$)

Jawaban: μT

Kunci: 100 μT

Pembahasan: $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi a} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 15}{2\pi \times 0,03} = 1,0 \times 10^{-4} \text{ T} = 100 \mu\text{T}$.

Medan ini dua setengah kali medan magnet Bumi di Indonesia ($\pm 40 \mu\text{T}$).

6. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Gaya Lorentz pada kawat • 24-2-02

Kawat sepanjang 40 cm berarus 2,5 A diletakkan tegak lurus medan magnet 0,2 T. Berapa gaya Lorentz pada kawat?

Jawaban: N

Kunci: 0,2 N

Pembahasan: $F = BIL \sin 90^\circ = 0,2 \times 2,5 \times 0,40 = 0,2 \text{ N}$. Jangan lupa ubah 40 cm menjadi 0,40 m.

7. Lv 2 • Penjelajah • Pilihan ganda • Elektromagnet • 24-2-03

Cara yang dapat **memperkuat** sebuah elektromagnet adalah...

- A. mengurangi jumlah lilitan
- B. mengganti inti besi dengan inti plastik
- C. memperbesar arus listrik
- D. mengganti kawat tembaga dengan benang

Kunci: C

Pembahasan: Medan elektromagnet makin kuat jika arusnya diperbesar, lilitannya ditambah, atau diberi inti besi lunak. Plastik tidak bersifat feromagnetik, dan benang tidak menghantarkan arus.

8. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Solenoid • 24-2-04

Solenoid sepanjang 25 cm memiliki 1.000 lilitan dan dialiri arus 0,5 A. Hitung kuat medan magnet di dalamnya dalam mT. ($\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T m/A}$)

Jawaban: mT

Kunci: 2,51 mT

Pembahasan: $B = \frac{\mu_0 NI}{L} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 1000 \times 0,5}{0,25} \approx 2,51 \times 10^{-3} \text{ T} = 2,51 \text{ mT}$.

9. Lv 3 • Pejuang • Isian • Jari-jari lintasan • 24-3-01

Proton ($m = 1,67 \times 10^{-27}$ kg, $q = 1,6 \times 10^{-19}$ C) bergerak 3×10^6 m/s tegak lurus medan magnet 0,5 T. Berapa jari-jari lintasannya dalam cm?

Jawaban: cm

Kunci: 6,26 cm

Pembahasan: $r = \frac{mv}{qB} = \frac{1,67 \times 10^{-27} \times 3 \times 10^6}{1,6 \times 10^{-19} \times 0,5} \approx 6,26 \times 10^{-2} \text{ m} \approx 6,26 \text{ cm}.$

10. Lv 3 • Pejuang • Pilihan ganda • Arah gaya Lorentz • 24-3-02

Kawat mendatar membawa arus ke **timur** dan berada dalam medan magnet mendatar yang mengarah ke **utara**. Arah gaya Lorentz pada kawat adalah...

A. ke barat

C. ke atas (menjauhi tanah)

B. ke selatan

D. ke bawah (menuju tanah)

Kunci: C

Pembahasan: Ibu jari kanan ke timur (arus), empat jari ke utara (medan), maka telapak tangan menghadap ke **atas**. Secara vektor: $F = IL \times B$, dan timur $\times$ utara = atas. Gaya selalu tegak lurus arus dan medan, jadi tidak mungkin ke barat atau selatan.

11. Lv 3 • Pejuang • Isian • Dua kawat sejajar • 24-3-03

Dua kabel sejajar berjarak 10 cm, masing-masing dialiri arus 20 A dengan arah sama. Berapa besar gaya per meter panjang di antara keduanya, dalam mN/m?

Jawaban: mN/m

Kunci: 0,8 mN/m

Pembahasan: $\frac{F}{L} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d} = \frac{2 \times 10^{-7} \times 20 \times 20}{0,10} = 8 \times 10^{-4} \text{ N/m} = 0,8 \text{ mN/m}.$

Karena arusnya searah, kedua kabel saling **menarik**.

12. Lv 3 • Pejuang • Isian • Superposisi medan • 24-3-04

Dua kawat lurus panjang sejajar berjarak 20 cm, masing-masing dialiri arus 10 A dengan arah **berlawanan**. Berapa kuat medan magnet di titik tengah di antara keduanya, dalam μT ?

Jawaban: μT

Kunci: 40 μT

Pembahasan: Jarak titik tengah ke tiap kawat 0,10 m. Medan dari satu kawat: $B = \frac{2 \times 10^{-7} \times 10}{0,10} = 20 \mu\text{T}.$

Untuk arus berlawanan arah, kedua medan di titik tengah **searah**, jadi dijumlahkan: 40 μT .

Jika arusnya searah, kedua medan berlawanan arah dan saling meniadakan, sehingga hasilnya nol.

13. Lv 4 • IGCSE • Uraian • Motor DC • gaya IGCSE • 24-4-01

Jelaskan cara kerja motor listrik DC sederhana, termasuk fungsi komutator (*split-ring commutator*). [4 poin]

Kunci/rubrik:

1. Arus mengalir di kumparan yang berada di dalam medan magnet dari sebuah magnet tetap.
2. Kedua sisi kumparan membawa arus dengan arah berlawanan, sehingga mengalami gaya berlawanan arah (satu ke atas, satu ke bawah), dan muncul efek putar (torsi) yang memutar kumparan.
3. Komutator (cincin belah) membalik arah arus di kumparan setiap setengah putaran, yaitu saat kumparan melewati posisi tegak.
4. Dengan begitu, arah gaya pada sisi kiri dan kanan tetap sama, sehingga kumparan terus berputar ke satu arah. Sikat karbon menjaga sambungan listrik ke komutator yang berputar.

Pembahasan: Poin penting: gaya pada kawat berarus dalam medan, gaya berlawanan pada dua sisi → putaran, komutator membalik arus tiap setengah putaran, dan putaran terus searah.

14. Lv 4 • IGCSE • Pilihan ganda • Kecepatan motor • gaya IGCSE • 24-4-02

Seorang siswa ingin motor DC berputar lebih cepat. Perubahan mana yang **tidak** membantu?

- A. menambah jumlah lilitan kumparan C. memperbesar arus
B. memakai magnet yang lebih kuat D. menukar posisi kutub-kutub magnet

Kunci: D

Pembahasan: Menukar kutub magnet membalik arah medan, sehingga motor berputar ke arah **sebaliknya**, tetapi tidak lebih cepat. Ketiga cara lain memperbesar gaya pada kumparan.

15. Lv 4 • IGCSE • Isian • Data eksperimen • gaya IGCSE • 24-4-03

Seutas kawat sepanjang 0,050 m diletakkan tegak lurus medan magnet seragam. Gaya pada kawat diukur untuk beberapa arus:

I (A)	1,0	2,0	3,0	4,0
F (mN)	4,0	8,0	12,0	16,0

Hitung kuat medan magnet B dalam tesla.

Jawaban: T

Kunci: 0,08 T

Pembahasan: Gaya sebanding dengan arus: $F/I = 4,0 \text{ mN/A} = 0,0040 \text{ N/A}$ untuk semua data.

$$B = \frac{F}{IL} = \frac{0,0040}{0,050} = 0,080 \text{ T.}$$

Sebuah kompas diletakkan tepat **di atas** kawat mendatar yang membentang utara-selatan. Saat arus besar mengalir ke arah **utara**, ujung U jarum kompas menyimpang ke arah...

- A. barat
B. timur
C. tetap tepat ke utara
D. selatan

Kunci: B

Pembahasan: Genggam kawat dengan ibu jari kanan ke utara. Di atas kawat, lipatan jari mengarah ke **timur**. Medan total (medan Bumi ke utara + medan kawat ke timur) mengarah ke timur laut, sehingga jarum menyimpang ke timur.

Lv 5 • IB DP gaya IB Physics

Ion bermuatan $+e$ melewati pemilih kecepatan dengan $E = 2,0 \times 10^4$ V/m dan $B = 0,10$ T. Ion itu lalu masuk ke daerah yang hanya bermedan magnet $0,10$ T dan menempuh setengah lingkaran berdiameter 8,3 cm. Tentukan massa ion dalam satuan u ($1 u = 1,66 \times 10^{-27}$ kg, $e = 1,6 \times 10^{-19}$ C).

Jawaban: u

Kunci: 2 u

Pembahasan: Pemilih kecepatan: $v = E/B = 2,0 \times 10^5$ m/s.

Jari-jari: $r = 4,15$ cm.

$$m = \frac{qBr}{v} = \frac{1,6 \times 10^{-19} \times 0,10 \times 0,0415}{2,0 \times 10^5} = 3,32 \times 10^{-27} \text{ kg} \approx 2,0 u.$$

Ion ini kemungkinan deutron (inti hidrogen berat).

Elektron ($m = 9,11 \times 10^{-31}$ kg) bergerak dengan kelajuan $2,0 \times 10^6$ m/s membentuk sudut 30° terhadap medan magnet seragam $5,0$ mT.

- (a) Jelaskan mengapa lintasannya berbentuk heliks.
(b) Hitung jari-jari heliks.
(c) Hitung jarak ulir (*pitch*) heliks.

Kunci/rubrik: (a) Komponen kecepatan yang sejajar medan, $v \cos 30^\circ$, tidak mengalami gaya, sehingga tetap. Komponen tegak lurus, $v \sin 30^\circ$, mengalami gaya Lorentz yang selalu tegak lurus terhadapnya, sehingga menghasilkan gerak melingkar. Gabungan gerak lurus beraturan dan gerak melingkar beraturan adalah heliks.

$$(b) v_{\perp} = 1,0 \times 10^6 \text{ m/s}; r = \frac{mv_{\perp}}{eB} = \frac{9,11 \times 10^{-31} \times 1,0 \times 10^6}{1,6 \times 10^{-19} \times 5,0 \times 10^{-3}} \approx 1,1 \times 10^{-3} \text{ m } (\pm 1,1 \text{ mm}).$$

$$(c) T = \frac{2\pi m}{eB} \approx 7,2 \times 10^{-9} \text{ s}; \text{ pitch} = v_{\parallel} T = 1,73 \times 10^6 \times 7,2 \times 10^{-9} \approx 1,2 \times 10^{-2} \text{ m } (\pm 1,2 \text{ cm}).$$

Pembahasan: Periode gerak melingkar $T = 2\pi m/(qB)$ tidak bergantung pada kelajuan, sehingga pitch hanya ditentukan oleh $v_{\parallel}$. Medan magnet Bumi menggiring partikel angin surya dengan cara yang sama, dalam heliks di sepanjang garis medan menuju daerah kutub.

19. Lv 5 • IB DP • Isian • Torsi pada kumparan • gaya IB • 24-5-03

Kumparan galvanometer berbentuk persegi panjang 2,0 cm × 1,5 cm dengan 200 lilitan berada dalam medan radial 0,25 T. Berapa torsi magnet pada kumparan saat dialiri arus 50 μA? Nyatakan dalam μN m.

Jawaban: μN m

Kunci: 0,75 μN m

Pembahasan: $A = 0,020 \times 0,015 = 3,0 \times 10^{-4} \text{ m}^2$.

$\tau = NIAB = 200 \times 50 \times 10^{-6} \times 3,0 \times 10^{-4} \times 0,25 = 7,5 \times 10^{-7} \text{ N m} = 0,75 \text{ μN m}$.

Torsi sekecil ini cukup untuk memuntir pegas rambut galvanometer yang sangat halus.

20. Lv 5 • IB DP • Pilihan ganda • Analisis grafik • gaya IB • 24-5-04

Dalam sebuah eksperimen, kuat medan B di sekitar kawat lurus diukur pada berbagai jarak a . Grafik B terhadap $1/a$ berupa garis lurus melalui titik asal dengan kemiringan $3,0 \times 10^{-6} \text{ T m}$. Arus dalam kawat adalah...

A. 2,4 A

C. 30 A

B. 15 A

D. 150 A

Kunci: B

Pembahasan: $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \cdot \frac{1}{a}$, jadi kemiringan $= \frac{\mu_0 I}{2\pi} = 2 \times 10^{-7} I$.

$I = \frac{3,0 \times 10^{-6}}{2 \times 10^{-7}} = 15 \text{ A}$.

Pengecoh: 2,4 A muncul jika lupa membagi μ_0 dengan 2π , dan 30 A jika memakai $\mu_0/4\pi$.

Lv 6 • Olimpiade gaya OSN/IPhO

21. Lv 6 • Olimpiade • Isian • Simpal persegi • gaya olimpiade • 24-6-01

Kawat berbentuk persegi bersisi 10 cm dialiri arus 5 A. Berapa kuat medan magnet di pusat persegi, dalam μT?

Jawaban: μT

Kunci: 56,6 μT

Pembahasan: Tiap sisi berjarak $d = 5 \text{ cm}$ dari pusat, dan kedua ujungnya terlihat dengan sudut 45° .

Satu sisi: $B_1 = \frac{\mu_0 I}{4\pi d} (\sin 45^\circ + \sin 45^\circ) = \frac{10^{-7} \times 5}{0,05} \sqrt{2} \approx 14,1 \text{ μT}$.

Keempat sisi memberi medan searah (keluar atau masuk bidang), jadi $B = 4B_1 = \frac{2\sqrt{2}\mu_0 I}{\pi a} \approx 56,6 \text{ μT}$.

Bandingkan dengan lingkaran berdiameter 10 cm: $\mu_0 I/(2R) \approx 62,8 \text{ μT}$. Persegi sedikit lebih lemah karena pojoknya lebih jauh.

Sebuah siklotron memakai medan magnet 1,2 T, dan jari-jari "D"-nya 0,50 m. Berapa energi kinetik maksimum proton yang keluar, dalam MeV? ($m_p = 1,67 \times 10^{-27}$ kg, $e = 1,6 \times 10^{-19}$ C, 1 MeV = $1,6 \times 10^{-13}$ J)

Jawaban: MeV

Kunci: 17,2 MeV

Pembahasan: Pada jari-jari maksimum R : $v_{\text{maks}} = \frac{qBR}{m}$.

$$K = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{q^2 B^2 R^2}{2m} = \frac{(1,6 \times 10^{-19} \times 1,2 \times 0,50)^2}{2 \times 1,67 \times 10^{-27}} \approx 2,76 \times 10^{-12} \text{ J} \approx 17,2 \text{ MeV}.$$

Hasil ini tidak bergantung pada tegangan pemercepat. Tegangan kecil hanya membuat proton berputar lebih banyak kali. (Pada energi jauh lebih tinggi, efek relativitas merusak sinkronisasi siklotron.)

Batang tembaga bermassa 0,10 kg dan panjang 0,50 m diletakkan mendatar di atas dua rel licin yang miring 30° terhadap horizontal. Batang dialiri arus 4,0 A, dan seluruh sistem berada dalam medan magnet **vertikal** B . Berapa B agar batang tetap diam? ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$)

Jawaban: T

Kunci: 0,283 T

Pembahasan: Gaya magnet $F = BIL$ mendatar (tegak lurus batang dan medan).

Komponen sepanjang rel: gaya magnet $BIL \cos 30^\circ$ ke atas bidang, berat $mg \sin 30^\circ$ ke bawah bidang. Gaya normal tegak lurus bidang.

$$\text{Setimbang: } BIL \cos \theta = mg \sin \theta \rightarrow B = \frac{mg \tan \theta}{IL} = \frac{0,10 \times 9,81 \times 0,577}{4,0 \times 0,50} \approx 0,283 \text{ T}.$$

Sebuah proton dilepas dari keadaan diam di daerah yang memiliki medan listrik seragam E (arah $+y$) dan medan magnet seragam B (arah $+z$) yang saling tegak lurus.

(a) Jelaskan bentuk lintasan proton secara kualitatif.

(b) Dengan berpindah ke kerangka acuan yang bergerak dengan kecepatan $v_d = E/B$ ke arah $+x$, tunjukkan bahwa proton bergerak melingkar di kerangka itu.

(c) Turunkan ketinggian maksimum y_{maks} yang dicapai proton.

Kunci/rubrik: (a) Medan listrik mempercepat proton ke $+y$. Begitu bergerak, gaya magnet membelokkannya ke $+x$ lalu kembali turun hingga proton berhenti sesaat di $y = 0$. Pola ini berulang: lintasannya **sikloid** (seperti jejak pentil ban sepeda yang menggelinding), dengan rata-rata bergeser ke $+x$, yaitu arah $E \times B$.

(b) Di kerangka yang bergerak dengan $v_d = (E/B)\hat{x}$, gaya total pada partikel berkecepatan v' adalah $q(E + (v' + v_d) \times B) = qv' \times B + q(E + v_d \times B)$. Karena $v_d \times B = (E/B)\hat{x} \times B\hat{z} = -E\hat{y}$, suku kedua nol. Jadi hanya ada gaya magnet, dan proton bergerak melingkar dengan kelajuan awal v_d (di kerangka ini mula-mula proton bergerak $-v_d$), berjari-jari $r = \frac{mv_d}{qB} = \frac{mE}{qB^2}$.

(c) Ketinggian maksimum adalah diameter lingkaran itu: $y_{\text{maks}} = 2r = \frac{2mE}{qB^2}$.

Pembahasan: Trik pindah kerangka ini adalah inti dari *drift* $E \times B$, yang menjelaskan gerak plasma di magnetosfer Bumi dan di reaktor fusi. Cek kewajaran: makin kuat B , makin kecil y_{maks} , karena proton makin cepat "digiring" kembali.

Lv 1 • Pemula SD-SMP awal

1. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Sejarah • 25-1-01

Ilmuwan yang pada tahun 1831 menemukan bahwa magnet yang bergerak dapat menimbulkan arus listrik adalah...

- | | |
|--------------------|---------------------------|
| A. Michael Faraday | C. Hans Christian Oersted |
| B. Isaac Newton | D. Galileo Galilei |

Kunci: A

Pembahasan: Michael Faraday menemukan **induksi elektromagnetik** pada 1831. Oersted menemukan kebalikannya (arus membuat medan magnet) pada 1820.

2. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Syarat induksi • 25-1-02

Kumparan dihubungkan ke galvanometer. Jarum galvanometer bergerak ketika...

- A. magnet diam di dalam kumparan
- B. magnet digerakkan keluar-masuk kumparan
- C. kumparan dicat warna lain
- D. kumparan diletakkan di tempat gelap

Kunci: B

Pembahasan: Arus induksi hanya muncul jika fluks magnet di dalam kumparan **berubah**, misalnya saat magnet digerakkan. Magnet yang diam tidak menimbulkan arus.

3. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Generator • 25-1-03

Alat yang mengubah energi gerak menjadi energi listrik adalah...

- | | |
|------------------|--------------|
| A. motor listrik | C. generator |
| B. setrika | D. lampu |

Kunci: C

Pembahasan: Generator (dan dinamo) mengubah energi gerak menjadi energi listrik. Motor listrik melakukan kebalikannya: listrik menjadi gerak.

4. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Transformator • 25-1-04

Di dalam pengisi daya (charger) HP ada transformator step-down. Fungsinya adalah...

- A. menaikkan tegangan listrik
- B. menambah daya listrik
- C. membuat listrik gratis
- D. menurunkan tegangan 220 V menjadi tegangan kecil

Kunci: D

Pembahasan: Trafo **step-down** menurunkan tegangan, karena lilitan sekundernya lebih sedikit daripada lilitan primernya. HP hanya membutuhkan beberapa volt. (Rangkaian lain di dalam charger lalu mengubah AC menjadi DC.)

5. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Fluks magnet • 25-2-01

Medan magnet 0,4 T menembus tegak lurus sebuah kumparan yang luasnya 50 cm². Berapa fluks magnetnya, dalam mWb?

Jawaban: mWb

Kunci: 2 mWb

Pembahasan: $A = 50 \text{ cm}^2 = 50 \times 10^{-4} \text{ m}^2 = 0,005 \text{ m}^2$.

$\Phi = BA \cos 0^\circ = 0,4 \times 0,005 = 0,002 \text{ Wb} = 2 \text{ mWb}$.

6. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Hukum Faraday • 25-2-02

Fluks magnet pada kumparan 100 lilitan berubah sebesar 0,03 Wb dalam 0,5 s. Berapa besar GGL induksinya?

Jawaban: V

Kunci: 6 V

Pembahasan: $|\varepsilon| = N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = 100 \times \frac{0,03}{0,5} = 6 \text{ V}$.

7. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Transformator • 25-2-03

Sebuah trafo memiliki 1.000 lilitan primer dan 50 lilitan sekunder. Kumparan primernya dihubungkan ke 220 V AC. Berapa tegangan sekundernya?

Jawaban: V

Kunci: 11 V

Pembahasan: $V_s = V_p \frac{N_s}{N_p} = 220 \times \frac{50}{1000} = 11 \text{ V}$. Ini trafo step-down.

8. Lv 2 • Penjelajah • Pilihan ganda • Besar GGL • 25-2-04

Agar GGL induksi pada kumparan menjadi lebih besar, yang dapat dilakukan adalah...

- | | |
|------------------------------------|------------------------------------|
| A. menggerakkan magnet lebih cepat | C. menggerakkan magnet lebih pelan |
| B. mengurangi jumlah lilitan | D. memakai magnet yang lebih lemah |

Kunci: A

Pembahasan: GGL induksi sebanding dengan jumlah lilitan dan **laju** perubahan fluks. Gerakan yang lebih cepat berarti perubahan fluks per detik lebih besar.

9. Lv 3 • Pejuang • Isian • GGL gerak • 25-3-01

Batang logam sepanjang 0,5 m bergerak 8 m/s tegak lurus medan magnet 0,25 T. Kedua ujung batang dihubungkan lewat rel ke hambatan 4 Ω (hambatan lain diabaikan). Berapa arus yang mengalir?

Jawaban: A

Kunci: 0,25 A

Pembahasan: $\varepsilon = B\ell v = 0,25 \times 0,5 \times 8 = 1 \text{ V}$.

$I = \varepsilon/R = 1/4 = 0,25 \text{ A}$.

10. Lv 3 • Pejuang • Isian • GGL generator • 25-3-02

Kumparan generator memiliki 150 lilitan dengan luas 200 cm² dan berputar 50 kali per detik di dalam medan magnet 0,2 T. Berapa GGL maksimumnya?

Jawaban: V

Kunci: 188,5 V

Pembahasan: $A = 0,02 \text{ m}^2$, $\omega = 2\pi \times 50 \approx 314 \text{ rad/s}$.

$\epsilon_{\text{maks}} = NBA\omega = 150 \times 0,2 \times 0,02 \times 314 \approx 188,5 \text{ V}$.

11. Lv 3 • Pejuang • Isian • Rugi transmisi • 25-3-03

Daya 20 MW dikirim pada tegangan 100 kV lewat kabel yang hambatan totalnya 5 Ω . Berapa daya yang hilang di kabel, dalam kW?

Jawaban: kW

Kunci: 200 kW

Pembahasan: $I = \frac{P}{V} = \frac{20 \times 10^6}{100 \times 10^3} = 200 \text{ A}$.

$P_{\text{rugi}} = I^2 R = 200^2 \times 5 = 200\,000 \text{ W} = 200 \text{ kW}$, yaitu hanya 1% dari daya yang dikirim.

12. Lv 3 • Pejuang • Pilihan ganda • Hukum Lenz • 25-3-04

Kutub U sebuah magnet didekatkan ke ujung kiri sebuah kumparan tertutup. Akibat arus induksi, ujung kiri kumparan menjadi...

- | | |
|-------------------------------------|-------------------------------------|
| A. kutub U, sehingga menolak magnet | C. tidak ber kutub sama sekali |
| B. kutub S, sehingga menarik magnet | D. kutub U, sehingga menarik magnet |

Kunci: A

Pembahasan: Magnet mendekat berarti fluks bertambah. Kumparan melawan dengan membuat kutub **U** di ujung yang menghadap magnet sehingga magnet **ditolak**. Kalau kumparan malah menarik magnet, magnet akan makin cepat dan energi muncul dari ketiadaan, padahal itu melanggar kekekalan energi.

Lv 4 • IGCSE gaya Cambridge IGCSE

13. Lv 4 • IGCSE • Uraian • Transmisi tegangan tinggi • gaya IGCSE • 25-4-01

Jelaskan mengapa listrik dari pembangkit dikirim lewat kabel transmisi dengan tegangan sangat tinggi, lalu diturunkan lagi sebelum masuk rumah. [4 poin]

Kunci/rubrik:

1. Untuk daya yang sama ($P = VI$), tegangan tinggi berarti arus di kabel kecil.
2. Daya yang hilang sebagai kalor di kabel sebanding dengan kuadrat arus ($P = I^2 R$), sehingga arus kecil membuat rugi daya sangat kecil.
3. Arus kecil juga memungkinkan kabel yang lebih tipis dan ringan (lebih murah).
4. Tegangan setinggi itu berbahaya dan tidak cocok untuk alat rumah tangga, sehingga trafo step-down menurunkannya (misalnya menjadi 220 V) sebelum masuk rumah. Trafo hanya bekerja dengan arus bolak-balik.

Pembahasan: Kata kunci penilaian: *arus kecil, rugi $I^2 R$ kecil, kabel lebih tipis/murah, trafo step-down demi keamanan.*

14. Lv 4 • IGCSE • Isian • Efisiensi trafo • gaya IGCSE • 25-4-02

Hasil pengukuran pada sebuah trafo:

V_p	I_p	V_s	I_s
240 V	0,50 A	12 V	9,0 A

Hitung efisiensi (*efficiency*) trafo tersebut dalam persen.

Jawaban: %

Kunci: 90 %

Pembahasan: Daya masuk: $240 \times 0,50 = 120$ W. Daya keluar: $12 \times 9,0 = 108$ W.

Efisiensi = $\frac{108}{120} \times 100\% = 90\%$. Sisanya, 12 W, hilang sebagai kalor di kumparan dan inti.

15. Lv 4 • IGCSE • Pilihan ganda • Generator AC • gaya IGCSE • 25-4-03

Pada generator AC, perubahan mana yang menaikkan **frekuensi** sekaligus **GGL maksimum**?

- A. memakai magnet yang lebih kuat
- B. menambah jumlah lilitan
- C. memutar kumparan lebih cepat
- D. memperbesar luas kumparan

Kunci: C

Pembahasan: $\varepsilon_{\text{maks}} = NBA\omega$ dan $f = \omega/2\pi$. Hanya kecepatan putar yang mengubah keduanya. Magnet, lilitan, dan luas hanya menaikkan GGL maksimum, sedangkan frekuensinya tetap.

16. Lv 4 • IGCSE • Pilihan ganda • Inti trafo • gaya IGCSE • 25-4-04

Inti trafo dibuat dari lembaran-lembaran tipis besi yang dilapisi isolator. Tujuannya adalah...

- A. mengurangi arus pusar di inti sehingga energi yang hilang sebagai kalor berkurang
- B. menaikkan tegangan sekunder
- C. agar trafo dapat dipakai untuk arus searah
- D. memperbesar arus pusar agar fluks bertambah

Kunci: A

Pembahasan: Fluks yang berubah juga menginduksi arus melingkar (arus pusar) di dalam inti, sehingga inti panas dan energi terbuang. Lapisan isolator memutus jalur arus pusar sehingga arusnya jauh lebih kecil.

Lv 5 • IB DP gaya IB Physics

17. Lv 5 • IB DP • Isian • Grafik fluks • gaya IB • 25-5-01

Fluks magnet yang melalui setiap lilitan kumparan 40 lilitan berubah secara linear dari +6,0 mWb menjadi -2,0 mWb dalam 0,16 s. Berapa besar GGL induksinya?

Jawaban: V

Kunci: 2 V

Pembahasan: $\Delta\Phi = -2,0 - 6,0 = -8,0$ mWb, besarnya $8,0 \times 10^{-3}$ Wb.

$|\varepsilon| = 40 \times \frac{8,0 \times 10^{-3}}{0,16} = 2,0$ V.

Pada grafik Φ - t , GGL adalah N dikali kemiringan grafik.

18. Lv 5 • IB DP • Uraian • Batang di rel • gaya IB • 25-5-02

Batang logam sepanjang ℓ terletak di atas dua rel licin mendatar yang ujungnya dihubungkan hambatan R . Medan magnet B vertikal. Batang ditarik dengan gaya tetap F mulai dari diam.

- Jelaskan mengapa kecepatan batang akhirnya menjadi tetap.
- Turunkan kecepatan terminalnya.
- Hitung kecepatan terminal untuk $F = 0,50 \text{ N}$, $R = 2,0 \Omega$, $B = 0,50 \text{ T}$, dan $\ell = 0,40 \text{ m}$, lalu tunjukkan bahwa daya gaya tarik sama dengan daya kalor di hambatan.

Kunci/rubrik: (a) Saat batang bergerak, muncul GGL $B\ell v$ dan arus $I = B\ell v/R$. Arus di batang mengalami gaya Lorentz $BI\ell$ yang melawan gerak (hukum Lenz). Gaya hambat ini bertambah seiring kecepatan, sampai sama dengan F . Gaya total menjadi nol, sehingga kecepatan tetap.

$$(b) F = BI\ell = \frac{B^2 \ell^2 v_t}{R} \rightarrow v_t = \frac{FR}{B^2 \ell^2}$$

$$(c) v_t = \frac{0,50 \times 2,0}{0,25 \times 0,16} = 25 \text{ m/s. Daya tarik } Fv = 12,5 \text{ W. Arus } I = \frac{0,50 \times 0,40 \times 25}{2,0} = 2,5 \text{ A, sehingga } I^2 R = 12,5 \text{ W. } \checkmark$$

Pembahasan: Model ini mirip benda jatuh dengan hambatan udara: gaya hambat sebanding kecepatan sehingga muncul kecepatan terminal. Pada keadaan tunak, seluruh usaha gaya luar berubah menjadi kalor di hambatan.

19. Lv 5 • IB DP • Isian • Rangkaian R-L • gaya IB • 25-5-03

Kumparan dengan induktansi $0,60 \text{ H}$ dan resistor 12Ω disusun seri lalu dihubungkan ke baterai $6,0 \text{ V}$ pada $t = 0$. Berapa arus pada $t = 0,050 \text{ s}$?

Jawaban: A

Kunci: **0,316 A**

Pembahasan: $\tau = L/R = 0,60/12 = 0,050 \text{ s}$, jadi $t = \tau$.

$$I = \frac{6,0}{12}(1 - e^{-1}) = 0,50 \times 0,632 \approx 0,316 \text{ A, yaitu } \pm 63\% \text{ dari arus akhir } 0,50 \text{ A.}$$

20. Lv 5 • IB DP • Pilihan ganda • Grafik GGL generator • gaya IB • 25-5-04

Grafik GGL sebuah generator AC terhadap waktu berbentuk sinus. Jika kecepatan putar kumparan dijadikan dua kali semula, grafik yang baru memiliki...

- amplitudo sama dan periode separuhnya
- amplitudo dua kali dan periode dua kali
- amplitudo dua kali dan periode separuhnya
- amplitudo empat kali dan periode separuhnya

Kunci: **C**

Pembahasan: $\varepsilon_{\text{maks}} = NBA\omega$ berlipat dua karena ω berlipat dua. Periode $T = 2\pi/\omega$ menjadi separuhnya. Perubahan fluks yang sama terjadi dalam waktu separuh, sehingga GGL-nya dua kali lebih besar.

21. Lv 6 • Olimpiade • Isian • Batang berputar • gaya olimpiade • 25-6-01

Batang logam sepanjang 0,80 m berputar pada salah satu ujungnya dengan kecepatan sudut 20 rad/s, di dalam medan magnet 0,50 T yang tegak lurus bidang putar. Berapa beda potensial antara kedua ujung batang?

Jawaban: V

Kunci: 3,2 V

Pembahasan: Potongan kecil dr pada jarak r menyumbang $d\varepsilon = B(\omega r) dr$.

$$\varepsilon = \int_0^L B\omega r dr = \frac{1}{2}B\omega L^2 = \frac{1}{2} \times 0,50 \times 20 \times 0,64 = 3,2 \text{ V.}$$

Cara lain: luas yang disapu batang per detik adalah $\frac{1}{2}\omega L^2$, lalu kalikan dengan B .

22. Lv 6 • Olimpiade • Isian • Simpal jatuh • gaya olimpiade • 25-6-02

Simpal kawat persegi bersisi 10 cm, bermassa 20 g, dan berhambatan 0,050 Ω jatuh vertikal. Sisi bawahnya memasuki daerah bermedan magnet mendatar 1,0 T (tegak lurus bidang simpal), sedangkan sisi atasnya masih di luar medan. Berapa kecepatan terminal simpal saat itu? ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$)

Jawaban: m/s

Kunci: 0,981 m/s

Pembahasan: GGL = $B\ell v$, arus $I = B\ell v/R$, gaya magnet ke atas $BI\ell = \frac{B^2\ell^2 v}{R}$.

$$\text{Setimbang dengan berat: } \frac{B^2\ell^2 v_t}{R} = mg \rightarrow v_t = \frac{mgR}{B^2\ell^2} = \frac{0,020 \times 9,81 \times 0,050}{1,0 \times 0,010} \approx 0,98 \text{ m/s.}$$

Setelah seluruh simpal masuk medan, fluksnya tidak berubah lagi, arus hilang, dan simpal kembali jatuh bebas.

23. Lv 6 • Olimpiade • Isian • Induktansi solenoid • gaya olimpiade • 25-6-03

Solenoid panjang memiliki 500 lilitan, panjang 25 cm, dan luas penampang 4,0 cm^2 . Berapa induktansi dirinya, dalam mH?

Jawaban: mH

Kunci: 0,503 mH

Pembahasan: Medan di dalam: $B = \mu_0 NI/\ell$. Fluks total: $N\Phi = N \cdot BA = \frac{\mu_0 N^2 A}{\ell} I$.

$$L = \frac{\mu_0 N^2 A}{\ell} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 500^2 \times 4,0 \times 10^{-4}}{0,25} \approx 5,0 \times 10^{-4} \text{ H} \approx 0,50 \text{ mH.}$$

Perhatikan $L \propto N^2$: jumlah lilitan dua kali lipat membuat induktansi empat kali lipat.

Dua batang identik bermassa m diletakkan di atas rel licin mendatar yang sama, di dalam medan magnet vertikal seragam. Kedua batang dan rel membentuk satu rangkaian tertutup berhambatan total R . Batang 1 diberi kecepatan awal v_0 , sedangkan batang 2 mula-mula diam.

- Jelaskan secara kualitatif apa yang terjadi pada kedua batang.
- Tentukan kecepatan akhir keduanya.
- Berapa bagian energi kinetik awal yang berubah menjadi kalor?

Kunci/rubrik: (a) Batang 1 bergerak sehingga muncul GGL dan arus di rangkaian. Arus yang sama mengalir di kedua batang dengan arah berlawanan, sehingga gaya Lorentz memperlambat batang 1 dan mempercepat batang 2 (hukum Lenz: rangkaian melawan perubahan luasnya). Arus terus ada selama kecepatan keduanya berbeda.

(b) Gaya pada kedua batang selalu sama besar dan berlawanan arah, sehingga momentum total kekal: $mv_0 = 2mv_{\text{akhir}} \rightarrow v_{\text{akhir}} = v_0/2$. Pada keadaan akhir kedua batang bergerak bersama, luas rangkaian tetap, dan arusnya nol.

(c) $K_{\text{awal}} = \frac{1}{2}mv_0^2$, $K_{\text{akhir}} = 2 \cdot \frac{1}{2}m(v_0/2)^2 = \frac{1}{4}mv_0^2$. Jadi **setengah** energi kinetik awal berubah menjadi kalor di hambatan, berapa pun nilai R dan B .

Pembahasan: Sistem ini persis seperti tumbukan tak lenting sempurna antara dua benda bermassa sama: momentum kekal, separuh energi kinetik hilang. Besar R dan B hanya menentukan *berapa lama* prosesnya, bukan hasil akhirnya.

Lv 1 • Pemula SD-SMP awal

1. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • AC dan DC • 26-1-01

Arus listrik dari baterai senter termasuk jenis arus...

- | | |
|---------------------|------------|
| A. bolak-balik (AC) | C. induksi |
| B. searah (DC) | D. statis |

Kunci: B

Pembahasan: Baterai mendorong elektron ke satu arah saja, dari kutub negatif melalui rangkaian ke kutub positif. Arus seperti ini disebut arus searah (DC). Listrik PLN-lah yang bolak-balik (AC).

2. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Frekuensi PLN • 26-1-02

Frekuensi listrik PLN di Indonesia adalah...

- | | |
|----------|-----------|
| A. 50 Hz | C. 220 Hz |
| B. 60 Hz | D. 100 Hz |

Kunci: A

Pembahasan: Listrik PLN berfrekuensi 50 Hz: 50 gelombang utuh setiap detik. Karena dalam satu gelombang arah arus berbalik dua kali, arus berbalik arah 100 kali per detik. Itulah yang membuat pilihan "100 Hz" menggoda, padahal frekuensinya tetap 50 Hz.

3. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Alat ukur • 26-1-03

Alat yang dipakai untuk melihat **bentuk gelombang** tegangan AC pada sebuah layar adalah...

- | | |
|----------------|--------------|
| A. amperemeter | C. osiloskop |
| B. termometer | D. barometer |

Kunci: C

Pembahasan: Osiloskop menggambar tegangan terhadap waktu di layarnya, sehingga bentuk gelombang sinus, puncak, dan periodenya bisa dibaca langsung. Amperemeter hanya menunjukkan satu angka (nilai efektif arus).

4. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Adaptor • 26-1-04

Charger HP yang dicolokkan ke stopkontak mengubah listrik PLN menjadi...

- A. AC bertegangan lebih tinggi
- B. AC berfrekuensi lebih tinggi untuk HP
- C. listrik statis yang disimpan di baterai
- D. DC bertegangan rendah, sekitar 5 V

Kunci: D

Pembahasan: Baterai HP hanya bisa diisi dengan arus searah. Charger menurunkan tegangan 220 V, menyearahkannya dengan dioda, meratakannya dengan kapasitor, lalu menstabilkannya menjadi DC sekitar 5 V.

5. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Periode • 26-2-01

Listrik PLN berfrekuensi 50 Hz. Berapa periodenya, dalam milidetik?

Jawaban: ms

Kunci: 20 ms

Pembahasan: $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50} = 0,02 \text{ s} = 20 \text{ ms}$. Setiap 20 ms tegangan stopkontak menyelesaikan satu gelombang utuh.

6. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Nilai efektif • 26-2-02

Osiloskop menunjukkan tegangan puncak sebuah sumber AC sebesar 170 V. Berapa tegangan efektifnya?

Jawaban: V

Kunci: 120,2 V

Pembahasan: $V_{\text{rms}} = \frac{V_{\text{maks}}}{\sqrt{2}} = \frac{170}{1,414} \approx 120 \text{ V}$. Ini kira-kira tegangan listrik rumah di Amerika Serikat.

7. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Reaktansi induktif • 26-2-03

Sebuah kumparan 0,2 H dihubungkan ke sumber AC 50 Hz. Berapa reaktansi induktifnya?

Jawaban: Ω

Kunci: 62,83 Ω

Pembahasan: $X_L = 2\pi fL = 2\pi \times 50 \times 0,2 \approx 62,8 \Omega$. Pada DC ($f = 0$) reaktansinya nol, jadi kumparan hanya menghambat arus yang berubah.

8. Lv 2 • Penjelajah • Pilihan ganda • Fase pada kapasitor • 26-2-04

Pada rangkaian AC yang hanya berisi sebuah kapasitor, arusnya...

- | | |
|---|--|
| A. mendahului tegangan sebesar 90° | C. tertinggal 90° dari tegangan |
| B. sefase dengan tegangan | D. selalu nol |

Kunci: A

Pembahasan: Arus mengisi kapasitor paling deras saat tegangannya baru mulai naik dari nol, dan berhenti saat tegangannya puncak. Jadi puncak arus datang $\frac{1}{4}$ periode (90°) **lebih dulu** daripada puncak tegangan. Ingat CIVIL: pada C, I sebelum V.

9. Lv 3 • Pejuang • Isian • Impedansi RLC • 26-3-01

Rangkaian RLC seri memiliki $R = 60 \Omega$, $X_L = 120 \Omega$, dan $X_C = 40 \Omega$. Rangkaian dihubungkan dengan sumber 200 V (efektif). Berapa arus efektifnya?

Jawaban: A

Kunci: 2 A

Pembahasan: $X_L - X_C = 80 \Omega$.

$Z = \sqrt{60^2 + 80^2} = 100 \Omega$.

$I = V/Z = 200/100 = 2 \text{ A}$.

10. Lv 3 • Pejuang • Isian • Resonansi • 26-3-02

Sebuah kumpulan 0,4 H dan kapasitor 25 μF dipasang seri. Pada frekuensi berapa rangkaian ini beresonansi?

Jawaban: Hz

Kunci: 50,33 Hz

Pembahasan: $LC = 0,4 \times 25 \times 10^{-6} = 1,0 \times 10^{-5} \text{ s}^2$.

$$\sqrt{LC} = 3,16 \times 10^{-3} \text{ s.}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \times 3,16 \times 10^{-3}} \approx 50,3 \text{ Hz, hampir sama dengan frekuensi PLN.}$$

11. Lv 3 • Pejuang • Isian • Daya dan energi • 26-3-03

Pompa air 220 V menarik arus efektif 4 A dengan faktor daya 0,8. Pompa menyala selama 2 jam. Berapa energi listrik yang tercatat di meteran, dalam kWh?

Jawaban: kWh

Kunci: 1,408 kWh

Pembahasan: $P = V_{\text{rms}} I_{\text{rms}} \cos \varphi = 220 \times 4 \times 0,8 = 704 \text{ W} = 0,704 \text{ kW}$.

$$E = Pt = 0,704 \times 2 \approx 1,41 \text{ kWh.}$$

12. Lv 3 • Pejuang • Pilihan ganda • Sifat rangkaian RLC • 26-3-04

Frekuensi sumber pada rangkaian RLC seri dinaikkan sampai **di atas** frekuensi resonansinya. Sifat rangkaian menjadi...

- A. resistif murni
- B. kapasitif (arus mendahului tegangan)
- C. induktif (tegangan mendahului arus)
- D. tidak dapat dialiri arus

Kunci: C

Pembahasan: Di atas f_0 , $X_L = 2\pi fL$ makin besar dan $X_C = 1/(2\pi fC)$ makin kecil, sehingga $X_L > X_C$. Rangkaian bersifat induktif: $\tan \varphi = (X_L - X_C)/R > 0$, tegangan mendahului arus.

Lv 4 • IGCSE gaya Cambridge IGCSE

13. Lv 4 • IGCSE • Isian • Membaca osiloskop • gaya IGCSE • 26-4-01

Layar osiloskop menunjukkan gelombang sinus. Satu gelombang utuh selebar 5,0 kotak, dan skala waktunya (*time-base*) 2,0 ms per kotak. Hitung frekuensi sumber.

Jawaban: Hz

Kunci: 100 Hz

Pembahasan: Periode: $T = 5,0 \times 2,0 \text{ ms} = 10 \text{ ms} = 0,010 \text{ s}$.

$$\text{Frekuensi: } f = 1/T = 1/0,010 = 100 \text{ Hz.}$$

14. Lv 4 • IGCSE • Pilihan ganda • Data eksperimen • gaya IGCSE • 26-4-02

Seorang siswa mengukur arus yang melalui sebuah komponen pada beberapa frekuensi. Tegangan efektif sumber dijaga tetap 5,0 V.

f (Hz)	100	200	400	800
I (mA)	31	63	126	251

Komponen itu kemungkinan besar adalah...

- A. resistor
B. induktor
C. kapasitor
D. lampu pijar

Kunci: C

Pembahasan: Arus berlipat dua setiap frekuensi berlipat dua: $I \propto f$. Artinya "hambatannya" $V/I \propto 1/f$, ciri reaktansi kapasitif $X_C = 1/(2\pi fC)$. Dari data pertama: $C = \frac{I}{2\pi fV} = \frac{0,031}{2\pi \times 100 \times 5,0} \approx 9,9 \mu\text{F}$. Resistor dan lampu memberi arus tetap; induktor memberi arus yang *turun* saat *f* naik.

15. Lv 4 • IGCSE • Uraian • Transmisi AC • gaya IGCSE • 26-4-03

Jelaskan mengapa listrik dikirim dari pembangkit ke kota dalam bentuk arus bolak-balik (AC), bukan arus searah (DC). [3 poin]

Kunci/rubrik:

1. Tegangan AC dapat dinaikkan dan diturunkan dengan transformator, karena transformator membutuhkan fluks magnet yang berubah; DC tidak menghasilkan fluks yang berubah.
2. Dengan tegangan sangat tinggi, daya yang sama dikirim dengan arus kecil ($P = VI$), sehingga rugi panas di kabel $P_{\text{rugi}} = I^2 R$ jauh lebih kecil.
3. Di dekat rumah, tegangan diturunkan lagi dengan transformator menjadi 220 V yang aman dipakai. (Poin tambahan: generator di pembangkit secara alami menghasilkan AC.)

Pembahasan: Satu poin untuk peran transformator yang hanya bekerja dengan AC, satu poin untuk alasan arus kecil $\rightarrow$ rugi $I^2 R$ kecil, dan satu poin untuk penurunan tegangan sebelum masuk rumah.

16. Lv 4 • IGCSE • Isian • Arus puncak • gaya IGCSE • 26-4-04

Sebuah lampu bertuliskan 60 W, 220 V. Hitung arus **puncak** yang melalui lampu saat menyala normal.

Jawaban: A

Kunci: 0,386 A

Pembahasan: Arus efektif: $I_{\text{rms}} = P/V = 60/220 \approx 0,273 \text{ A}$.
Arus puncak: $I_{\text{maks}} = \sqrt{2} I_{\text{rms}} = 1,414 \times 0,273 \approx 0,386 \text{ A}$.

17. Lv 5 • IB DP • Isian • Beda fase RC • gaya IB • 26-5-01

Rangkaian RC seri dengan $R = 100 \Omega$ dan $C = 20 \mu\text{F}$ dihubungkan ke sumber 220 V , 50 Hz . Tentukan besar beda fase antara arus dan tegangan sumber, dalam derajat.

Jawaban: °

Kunci: 57,9 °

Pembahasan: $X_C = \frac{1}{2\pi \times 50 \times 20 \times 10^{-6}} \approx 159,2 \Omega$.

$$\tan \varphi = \frac{X_C}{R} = 1,592 \Rightarrow \varphi \approx 57,9^\circ.$$

Rangkaian bersifat kapasitif: arus **mendahului** tegangan sumber sebesar $57,9^\circ$.

18. Lv 5 • IB DP • Uraian • Nilai rms • gaya IB • 26-5-02

(a) Tunjukkan bahwa untuk tegangan sinus $V = V_0 \sin \omega t$ pada resistor R , daya rata-ratanya $\frac{V_0^2}{2R}$, lalu simpulkan $V_{\text{rms}} = V_0/\sqrt{2}$.

(b) Sebuah gelombang kotak berayun antara $+12 \text{ V}$ dan -12 V . Berapa V_{rms} -nya?

(c) Multimeter murah mengukur nilai rata-rata tegangan yang disearahkan, lalu mengalikannya dengan faktor tetap agar tepat untuk sinus. Jelaskan mengapa alat itu salah membaca gelombang kotak di (b).

Kunci/rubrik: (a) $P(t) = \frac{V_0^2}{R} \sin^2 \omega t$. Karena $\sin^2 \omega t = \frac{1}{2}(1 - \cos 2\omega t)$ dan rata-rata $\cos 2\omega t$ dalam satu periode nol, $\langle P \rangle = \frac{V_0^2}{2R}$. Menyamakan dengan V_{rms}^2/R memberi $V_{\text{rms}} = V_0/\sqrt{2}$.

(b) Kuadrat tegangannya selalu 144 V^2 , jadi $V_{\text{rms}} = 12 \text{ V}$.

(c) Rata-rata gelombang kotak yang disearahkan adalah 12 V . Faktor untuk sinus adalah $\frac{V_0/\sqrt{2}}{2V_0/\pi} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} \approx 1,11$, sehingga alat menampilkan $\approx 13,3 \text{ V}$, sekitar 11% terlalu besar. Faktor itu hanya benar untuk bentuk sinus.

Pembahasan: Nilai rms bergantung pada **bentuk** gelombang. Alat "true rms" menghitung akar rata-rata kuadrat secara langsung sehingga benar untuk bentuk apa pun.

19. Lv 5 • IB DP • Isian • Analisis grafik resonansi • gaya IB • 26-5-03

Seorang siswa memakai kumparan tetap dan mengganti-ganti kapasitor C , lalu mencatat frekuensi resonansi f_0 . Grafik $1/f_0^2$ terhadap C berupa garis lurus melalui titik asal dengan kemiringan $0,79 \text{ s}^2/\text{F}$. Tentukan induktansi kumparan, dalam mH.

Jawaban: mH

Kunci: 20 mH

Pembahasan: $f_0^2 = \frac{1}{4\pi^2 LC} \Rightarrow \frac{1}{f_0^2} = (4\pi^2 L) C$.

$$\text{Kemiringan} = 4\pi^2 L = 0,79 \Rightarrow L = \frac{0,79}{39,48} \approx 0,0200 \text{ H} = 20 \text{ mH}.$$

Garis yang melalui titik asal juga menunjukkan bahwa kapasitansi liar (kabel, alat ukur) dapat diabaikan.

Rangkaian RLC seri sedang beresonansi dengan sumber 20 V (efektif). Voltmeter AC pada induktor menunjukkan 150 V. Pernyataan yang benar adalah...

- A. Voltmeter pasti rusak, karena tegangan pada satu komponen tidak mungkin melebihi tegangan sumber.
- B. Tegangan kapasitor juga 150 V tetapi berlawanan fase dengan tegangan induktor, sehingga seluruh tegangan sumber jatuh pada R.
- C. Induktor menciptakan energi tambahan saat resonansi.
- D. Tegangan pada kapasitor nol saat resonansi.

Kunci: B

Pembahasan: Saat resonansi $X_L = X_C$, jadi $V_L = IX_L$ dan $V_C = IX_C$ sama besar tetapi berbeda fase 180° , sehingga saling meniadakan. Tegangan sumber 20 V seluruhnya jatuh pada R. Perbandingan $V_L/V = 150/20 = 7,5$ adalah faktor kualitas Q rangkaian. Energi tidak diciptakan: energi hanya berayun antara kumparan dan kapasitor.

Lv 6 • Olimpiade gaya OSN/IPhO

Kapasitor 2 μF diisi sampai 50 V, lalu dilepas dari baterai dan dihubungkan ke kumparan ideal 8 mH. Berapa arus maksimum dalam rangkaian?

Jawaban: A

Kunci: 0,791 A

Pembahasan: $\frac{1}{2}CV_0^2 = \frac{1}{2}LI_{\text{maks}}^2 \Rightarrow I_{\text{maks}} = V_0\sqrt{\frac{C}{L}}$.

$$I_{\text{maks}} = 50\sqrt{\frac{2 \times 10^{-6}}{8 \times 10^{-3}}} = 50 \times 0,0158 \approx 0,79 \text{ A.}$$

Frekuensinya $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \approx 1,26 \text{ kHz}$, jadi energi berpindah bolak-balik ribuan kali per detik.

Rangkaian RLC seri memiliki $R = 10 \Omega$, $L = 0,1 \text{ H}$, dan $C = 10 \mu\text{F}$. Tentukan lebar pita Δf kurva resonansinya (selisih dua frekuensi tempat daya rata-ratanya setengah dari daya maksimum), dalam Hz.

Jawaban: Hz

Kunci: 15,92 Hz

Pembahasan: Daya $\propto I^2 = \frac{V^2}{R^2 + (X_L - X_C)^2}$ bernilai setengah maksimum saat $|\omega L - 1/(\omega C)| = R$.

Kedua akarnya memenuhi $\omega_2 - \omega_1 = R/L$ (selisih dua persamaan kuadrat), sehingga $\Delta f = \frac{R}{2\pi L} = \frac{10}{0,628} \approx 15,9 \text{ Hz}$.

Dengan $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \approx 159 \text{ Hz}$, faktor kualitasnya $Q = f_0/\Delta f = 10$.

Sebuah motor pada jaringan 220 V, 50 Hz menarik arus efektif 10 A dengan faktor daya 0,6 (induktif). Kapasitor dipasang **paralel** dengan motor agar faktor daya total menjadi 1. Berapa kapasitansinya, dalam μF ?

Jawaban: μF

Kunci: 115,7 μF

Pembahasan: $\cos \varphi = 0,6 \Rightarrow \sin \varphi = 0,8$. Komponen arus motor yang tertinggal 90° : $10 \times 0,8 = 8 \text{ A}$.

Arus kapasitor mendahului 90° , jadi harus $I_C = 8 \text{ A}$: $I_C = V \cdot 2\pi f C$.

$$C = \frac{8}{220 \times 2\pi \times 50} \approx 1,16 \times 10^{-4} \text{ F} \approx 116 \mu\text{F}.$$

Arus total dari jaringan turun dari 10 A menjadi hanya 6 A untuk daya nyata yang sama (1,32 kW). Inilah alasan industri memasang bank kapasitor.

Penyearah setengah gelombang ideal diberi tegangan $V_0 \sin \omega t$ dan keluarannya dihubungkan ke resistor R .

(a) Hitung tegangan rata-rata keluaran.

(b) Hitung tegangan rms keluaran.

(c) Berapa perbandingan daya rata-rata pada R dengan daya jika penyearahnya dilepas (resistor langsung pada sumber)?

Kunci/rubrik: (a) $\langle V \rangle = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} V_0 \sin \omega t \, dt = \frac{V_0}{\pi} \approx 0,318 V_0$.

(b) $\langle V^2 \rangle = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} V_0^2 \sin^2 \omega t \, dt = \frac{V_0^2}{4}$, jadi $V_{\text{rms}} = \frac{V_0}{2}$.

(c) $\frac{V_0^2/(4R)}{V_0^2/(2R)} = \frac{1}{2}$: dayanya tepat setengah, karena separuh waktu tidak ada arus dan separuh lainnya identik dengan sinus penuh.

Pembahasan: Perhatikan bahwa V_{rms} keluaran ($0,5V_0$) lebih besar daripada rata-ratanya ($0,318V_0$). Untuk sinyal apa pun berlaku $V_{\text{rms}} \geq |\langle V \rangle|$, dan kesamaan hanya terjadi untuk DC rata.

Lv 1 • Pemula SD-SMP awal

1. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Spektrum • 27-1-01

Anggota gelombang elektromagnetik yang dapat kita lihat langsung dengan mata adalah...

- | | |
|--------------------|--------------------|
| A. gelombang radio | C. sinar X |
| B. cahaya tampak | D. gelombang mikro |

Kunci: B

Pembahasan: Mata manusia hanya peka terhadap cahaya tampak, dengan panjang gelombang sekitar 400–700 nm. Anggota keluarga lainnya tidak terlihat, tetapi bisa dideteksi alat seperti radio, HP, atau film rontgen.

2. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Gelombang mikro • 27-1-02

Alat di dapur yang memakai gelombang mikro untuk memanaskan makanan adalah...

- | | |
|------------|-------------------|
| A. kulkas | C. oven microwave |
| B. setrika | D. kipas angin |

Kunci: C

Pembahasan: Oven microwave memancarkan gelombang mikro sekitar 2,45 GHz yang membuat molekul air di makanan bergoyang cepat, sehingga makanan menjadi panas.

3. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Tanpa medium • 27-1-03

Gelombang elektromagnetik dapat merambat di ruang hampa. Peristiwa yang membuktikannya adalah...

- | | |
|-------------------------------------|--------------------------------------|
| A. cahaya Matahari sampai ke Bumi | C. ombak di pantai |
| B. suara guntur terdengar dari jauh | D. getaran gempa terasa di kota lain |

Kunci: A

Pembahasan: Di antara Matahari dan Bumi terbentang ruang hampa sejauh 150 juta km, tetapi cahayanya tetap sampai. Bunyi, ombak, dan gempa adalah gelombang mekanik yang butuh medium.

4. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Kegunaan • 27-1-04

Sinar yang dipakai dokter untuk memotret tulang yang patah adalah...

- | | |
|----------------|--------------------|
| A. inframerah | C. gelombang radio |
| B. ultraviolet | D. sinar X |

Kunci: D

Pembahasan: Sinar X menembus otot dan kulit, tetapi banyak diserap tulang. Karena itu tulang tampak terang pada foto rontgen.

5. Lv 2 • Penjelajah • Isian • $c = \lambda f$ • 27-2-01

Jaringan Wi-Fi memakai frekuensi 2,4 GHz. Berapa panjang gelombangnya, dalam cm? ($c = 3 \times 10^8$ m/s)

Jawaban: cm

Kunci: 12,5 cm

Pembahasan: $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{2,4 \times 10^9} = 0,125 \text{ m} = 12,5 \text{ cm}$, kira-kira sepanjang pensil.

6. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Frekuensi cahaya • 27-2-02

Cahaya hijau memiliki panjang gelombang 500 nm. Berapa frekuensinya? Tuliskan jawaban dalam satuan 10^{14} Hz (misalnya, jika $f = 2 \times 10^{14}$ Hz, tulis 2).

Jawaban: $\times 10^{14}$ Hz

Kunci: 6×10^{14} Hz

Pembahasan: $f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \times 10^8}{500 \times 10^{-9}} = 6 \times 10^{14}$ Hz. Gelombang cahaya hijau bergetar 600 triliun kali setiap detik!

7. Lv 2 • Penjelajah • Pilihan ganda • Urutan spektrum • 27-2-03

Urutan gelombang EM dari frekuensi **terendah** ke **tertinggi** yang benar adalah...

- A. sinar gamma, sinar X, ultraviolet, cahaya tampak
- B. gelombang radio, gelombang mikro, inframerah, cahaya tampak
- C. cahaya tampak, inframerah, ultraviolet, sinar X
- D. ultraviolet, cahaya tampak, inframerah, gelombang radio

Kunci: B

Pembahasan: Frekuensi terendah adalah gelombang radio, lalu gelombang mikro, inframerah, cahaya tampak, ultraviolet, sinar X, dan sinar gamma (Rajin Mandi Itu Tanda Untuk eXtra Ganteng). Pilihan pertama dan keempat urutannya terbalik; pilihan ketiga menukar inframerah dan cahaya tampak.

8. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Waktu tempuh cahaya • 27-2-04

Jarak Bumi–Matahari $1,5 \times 10^{11}$ m. Berapa menit waktu yang dibutuhkan cahaya Matahari untuk sampai ke Bumi?

Jawaban: menit

Kunci: 8,33 menit

Pembahasan: $t = \frac{d}{c} = \frac{1,5 \times 10^{11}}{3 \times 10^8} = 500 \text{ s} \approx 8,3 \text{ menit}$. Jadi Matahari yang kamu lihat adalah Matahari 8 menit yang lalu.

9. Lv 3 • Pejuang • Isian • Radar • 27-3-01

Radar cuaca BMKG menerima gema dari awan hujan 0,80 ms setelah pulsanya dipancarkan. Berapa jarak awan itu dari radar, dalam km?

Jawaban: km

Kunci: 120 km

Pembahasan: Jarak pergi-pulang: $2d = ct = (3 \times 10^8)(0,80 \times 10^{-3}) = 2,4 \times 10^5$ m.
 $d = 1,2 \times 10^5$ m = 120 km.

10. Lv 3 • Pejuang • Isian • E = cB • 27-3-02

Amplitudo medan listrik sebuah gelombang EM adalah 300 V/m. Berapa amplitudo medan magnetnya, dalam μT ?

Jawaban: μT

Kunci: 1 μT

Pembahasan: $B_0 = \frac{E_0}{c} = \frac{300}{3 \times 10^8} = 1 \times 10^{-6} \text{ T} = 1 \mu\text{T}$. Medan magnet gelombang EM selalu "kecil" dalam tesla karena dibagi c yang sangat besar.

11. Lv 3 • Pejuang • Isian • Intensitas • 27-3-03

Sebuah lampu memancarkan daya cahaya 12 W sama rata ke segala arah. Berapa intensitas cahaya pada jarak 2,0 m dari lampu?

Jawaban: W/m^2

Kunci: 0,2387 W/m^2

Pembahasan: $I = \frac{P}{4\pi r^2} = \frac{12}{4\pi(2,0)^2} = \frac{12}{50,3} \approx 0,24 \text{ W/m}^2$.

12. Lv 3 • Pejuang • Pilihan ganda • Arah E dan B • 27-3-04

Sebuah gelombang EM merambat ke arah timur, dan medan listriknya bergetar ke atas-bawah. Medan magnetnya bergetar ke arah...

A. atas-bawah

C. utara-selatan

B. timur-barat

D. tidak ada medan magnet

Kunci: C

Pembahasan: Dalam gelombang EM, E , B , dan arah rambat saling tegak lurus. Arah yang tegak lurus terhadap timur dan terhadap atas adalah utara-selatan. (Dengan aturan tangan kanan $E \times B$ ke timur: saat E ke atas, B ke selatan.)

13. Lv 4 • IGCSE • Pilihan ganda • Kegunaan spektrum • gaya IGCSE • 27-4-01

Pasangan jenis gelombang elektromagnetik dan kegunaannya yang benar adalah...

- A. inframerah – sterilisasi alat bedah
- B. gelombang mikro – komunikasi satelit
- C. sinar gamma – remote televisi
- D. ultraviolet – foto tulang (rontgen)

Kunci: B

Pembahasan: Gelombang mikro menembus atmosfer dengan baik, sehingga dipakai untuk komunikasi satelit. Sterilisasi alat memakai sinar gamma (atau UV), remote TV memakai inframerah, dan foto tulang memakai sinar X.

14. Lv 4 • IGCSE • Uraian • Bahaya UV • gaya IGCSE • 27-4-02

Indeks UV di Indonesia sering sangat tinggi pada siang hari. Jelaskan dua bahaya sinar ultraviolet bagi tubuh, lalu sebutkan dua cara melindungi diri. [4 poin]

Kunci/rubrik:

1. Bahaya 1: kulit terbakar (*sunburn*) dan, dalam jangka panjang, meningkatkan risiko kanker kulit karena UV dapat merusak DNA sel kulit.
2. Bahaya 2: kerusakan mata, misalnya radang kornea dan katarak jika sering terpapar tanpa pelindung.
3. Perlindungan 1: memakai tabir surya, baju berlengan, dan topi lebar.
4. Perlindungan 2: memakai kacamata hitam yang menahan UV dan mengurangi berada di bawah terik antara pukul 10.00 dan 14.00.

Pembahasan: Satu poin untuk setiap bahaya yang benar (kulit/DNA, mata) dan satu poin untuk setiap cara perlindungan yang masuk akal. Catatan: UV juga bermanfaat dalam jumlah kecil, yaitu membantu tubuh membentuk vitamin D.

15. Lv 4 • IGCSE • Isian • Data pemancar • gaya IGCSE • 27-4-03

Seorang siswa mencatat frekuensi dan panjang gelombang beberapa pemancar radio.

f (MHz)	90	100	120	150
λ (m)	3,33	3,00	2,50	2,00

Gunakan pola pada data untuk menghitung panjang gelombang pemancar 75 MHz.

Jawaban: m

Kunci: 4 m

Pembahasan: Untuk setiap kolom, $f\lambda = 3,0 \times 10^8$ m/s (misalnya $150 \times 10^6 \times 2,00$). Hasil kali tetap ini adalah kecepatan cahaya.

$$\lambda = \frac{3,0 \times 10^8}{75 \times 10^6} = 4,0 \text{ m.}$$

16. Lv 4 • IGCSE • Isian • Satelit • gaya IGCSE • 27-4-04

Sebuah satelit komunikasi berada 36.000 km di atas permukaan Bumi. Hitung waktu yang diperlukan sinyalnya untuk sampai ke stasiun Bumi tepat di bawahnya.

Jawaban: s

Kunci: 0,12 s

Pembahasan: $t = \frac{d}{c} = \frac{3,6 \times 10^7 \text{ m}}{3,0 \times 10^8 \text{ m/s}} = 0,12 \text{ s}.$

Lv 5 • IB DP gaya IB Physics

17. Lv 5 • IB DP • Isian • c dari $\mu_0 \epsilon_0$ • gaya IB • 27-5-01

Dengan $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T m A}^{-1}$ dan $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ F m}^{-1}$, hitung kecepatan gelombang EM di ruang hampa dalam satuan 10^8 m/s , sampai 3 angka penting.

Jawaban: $\times 10^8 \text{ m/s}$

Kunci: $3 \times 10^8 \text{ m/s}$

Pembahasan: $\mu_0 \epsilon_0 = (1,257 \times 10^{-6})(8,85 \times 10^{-12}) = 1,112 \times 10^{-17} \text{ s}^2/\text{m}^2.$

$$c = \frac{1}{\sqrt{1,112 \times 10^{-17}}} = 3,00 \times 10^8 \text{ m/s}.$$

Dua tetapan dari percobaan listrik dan magnet menghasilkan kecepatan cahaya: inilah bukti terkuat Maxwell bahwa cahaya adalah gelombang EM.

18. Lv 5 • IB DP • Uraian • Model pemancar • gaya IB • 27-5-02

Sebuah pemancar radio 50 kW dianggap memancar sama rata ke segala arah.

(a) Hitung intensitas sinyal pada jarak 10 km.

(b) Hitung amplitudo medan listrik gelombang di tempat itu.

(c) Sebutkan dua asumsi dalam model ini dan jelaskan bagaimana kenyataannya berbeda.

Kunci/rubrik: (a) $I = \frac{P}{4\pi r^2} = \frac{5,0 \times 10^4}{4\pi(1,0 \times 10^4)^2} \approx 4,0 \times 10^{-5} \text{ W/m}^2.$

(b) $I = \frac{1}{2} c \epsilon_0 E_0^2 \Rightarrow E_0 = \sqrt{\frac{2I}{c \epsilon_0}} = \sqrt{\frac{2(4,0 \times 10^{-5})}{(3,0 \times 10^8)(8,85 \times 10^{-12})}} \approx 0,17 \text{ V/m}.$

(c) Contoh asumsi: (1) pemancar isotropik, padahal antenna nyata mengarahkan pancarannya (misalnya mendatar ke cakrawala); (2) tidak ada penyerapan atau pantulan, padahal tanah, gedung, bukit, dan hujan menyerap serta memantulkan gelombang; (3) penerima berada di medan jauh dan tanpa penghalang.

Pembahasan: Model kuadrat terbalik memberi perkiraan awal yang baik. Insinyur telekomunikasi kemudian menambahkan faktor penguatan antenna dan rugi lintasan untuk merancang jangkauan BTS dan pemancar.

19. Lv 5 • IB DP • Isian • Tekanan radiasi • gaya IB • 27-5-03

Berkas laser 5,0 mW berdiameter 2,0 mm diserap seluruhnya oleh sebuah permukaan hitam. Hitung gaya yang dikerjakan cahaya pada permukaan itu, dalam satuan 10^{-11} N.

Jawaban: $\times 10^{-11}$ N

Kunci: $1,667 \times 10^{-11}$ N

Pembahasan: Cahaya yang diserap memindahkan momentum dengan laju $\frac{dp}{dt} = \frac{P}{c}$.

$$F = \frac{5,0 \times 10^{-3}}{3,0 \times 10^8} \approx 1,7 \times 10^{-11} \text{ N.}$$

Diameter hanya diperlukan untuk menghitung *tekanan* (F/A), bukan gaya total. Data yang tidak terpakai adalah jebakan klasik!

20. Lv 5 • IB DP • Pilihan ganda • Kuadrat terbalik • gaya IB • 27-5-04

Intensitas sinyal sebuah pemancar pada jarak 200 m adalah $8,0 \mu\text{W}/\text{m}^2$. Jika mengikuti hukum kuadrat terbalik, intensitasnya pada jarak 800 m adalah...

A. $2,0 \mu\text{W}/\text{m}^2$

C. $0,50 \mu\text{W}/\text{m}^2$

B. $4,0 \mu\text{W}/\text{m}^2$

D. $0,25 \mu\text{W}/\text{m}^2$

Kunci: C

Pembahasan: Jarak menjadi 4 kali, jadi intensitas menjadi $1/4^2 = 1/16$ kali: $8,0/16 = 0,50 \mu\text{W}/\text{m}^2$. Pilihan 2,0 adalah jebakan bagi yang lupa mengkuadratkan.

Lv 6 • Olimpiade gaya OSN/IPhO

21. Lv 6 • Olimpiade • Isian • Layar surya • gaya olimpiade • 27-6-01

Sebuah wahana memakai layar surya seluas $1,0 \text{ km}^2$ yang memantulkan sempurna sinar matahari yang datang tegak lurus. Intensitas sinar matahari di sana $1,36 \text{ kW}/\text{m}^2$. Berapa gaya dorong cahaya pada layar, dalam newton?

Jawaban: N

Kunci: 9,07 N

Pembahasan: Untuk pemantul sempurna, tekanan radiasi $P_{\text{rad}} = \frac{2I}{c}$.

$$F = \frac{2IA}{c} = \frac{2(1360)(1,0 \times 10^6)}{3,0 \times 10^8} \approx 9,1 \text{ N.}$$

Hanya sekitar berat 1 kg di Bumi, tetapi bekerja terus-menerus tanpa bahan bakar. Jika gaya itu bekerja tetap selama sebulan pada wahana 1 ton, kecepatannya bertambah $\Delta v = Ft/m \approx 9,1 \times 2,6 \times 10^6/1000 \approx 24 \text{ km/s}$. (Kenyataannya gaya itu mengecil saat wahana menjauhi Matahari.)

22. Lv 6 • Olimpiade • Isian • Arus pergeseran • gaya olimpiade • 27-6-02

Kapasitor pelat sejajar berbentuk lingkaran berjari-jari 5,0 cm sedang diisi dengan arus tetap 2,0 A. Abaikan efek tepi. Berapa besar medan magnet di dalam celah kapasitor pada jarak 3,0 cm dari sumbunya, dalam μT ?

Jawaban: μT

Kunci: 4,8 μT

Pembahasan: Arus pergeseran total di celah sama dengan arus kabel, $I = 2,0 \text{ A}$, tersebar merata pada luas πR^2 .

Lingkaran berjari-jari r melingkupi $I_d = I \frac{r^2}{R^2}$.

$$B(2\pi r) = \mu_0 I \frac{r^2}{R^2} \Rightarrow B = \frac{\mu_0 I r}{2\pi R^2} = \frac{(4\pi \times 10^{-7})(2,0)(0,030)}{2\pi(0,050)^2} = 4,8 \times 10^{-6} \text{ T}.$$

Jadi $B = 4,8 \mu\text{T}$, meskipun tidak ada satu muatan pun yang menyeberangi celah.

23. Lv 6 • Olimpiade • Uraian • Pola pancaran dipol • gaya olimpiade • 27-6-03

Medan listrik jauh dari antena dipol pendek sebanding dengan $\frac{\sin \theta}{r}$, dengan θ adalah sudut terhadap sumbu antena dan r adalah jarak.

(a) Ke arah mana antena tidak memancarkan apa pun? Jelaskan secara fisis dengan gambaran muatan yang bergetar.

(b) Jika jarak dilipatduakan, berapa kali amplitudo medan dan intensitasnya berubah? Tunjukkan bahwa daya total yang menembus bola tetap.

(c) Bandingkan intensitas pada $\theta = 30^\circ$ dengan $\theta = 90^\circ$ pada jarak yang sama.

Kunci/rubrik: (a) Sepanjang sumbu antena ($\theta = 0^\circ$ dan 180°). Pengamat di ujung sumbu melihat muatan bergerak lurus mendekat-menjauh, tanpa gerak menyamping. Medan pancaran berasal dari komponen percepatan yang tegak lurus garis pandang, dan komponen itu nol di sana.

(b) Amplitudo $\propto 1/r$ menjadi $\frac{1}{2}$; intensitas $\propto E^2 \propto 1/r^2$ menjadi $\frac{1}{4}$. Luas bola $4\pi r^2$ menjadi 4 kali, sehingga daya total = $\oint I dA$ tetap: energi kekal.

$$(c) I \propto \sin^2 \theta: \frac{I(30^\circ)}{I(90^\circ)} = \sin^2 30^\circ = 0,25.$$

Pembahasan: Pola $\sin^2 \theta$ berbentuk "donat" di sekeliling antena. Itulah sebabnya antena pemancar FM dan BTS dipasang tegak: pancarannya terkuat ke arah mendatar, tempat para pendengar berada, bukan ke langit. Lab Mini antena di bab ini menunjukkan daerah gelap di atas dan di bawah antena.

24. Lv 6 • Olimpiade • Pilihan ganda • Persamaan gelombang • gaya olimpiade • 27-6-04

Medan listrik sebuah gelombang EM di ruang hampa adalah $E = E_0 \sin(kx - \omega t) \hat{y}$. Medan magnetnya adalah...

A. $B = \frac{E_0}{c} \sin(kx - \omega t) \hat{z}$

B. $B = -\frac{E_0}{c} \sin(kx - \omega t) \hat{z}$

C. $B = \frac{E_0}{c} \cos(kx - \omega t) \hat{z}$

D. $B = cE_0 \sin(kx - \omega t) \hat{z}$

Kunci: A

Pembahasan: Fase $kx - \omega t$ menunjukkan gelombang merambat ke $+x$. Arah rambat harus searah $E \times B$: $\hat{y} \times \hat{z} = \hat{x}$, jadi B searah $+\hat{z}$ saat E searah $+\hat{y}$. E dan B sefase (sinus, bukan kosinus), dan $B_0 = E_0/c$. Dari hukum Faraday: $\partial B_z / \partial t = -\partial E_y / \partial x$ memberi hasil yang sama.

Lv 1 • Pemula SD-SMP awal

1. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Foton • 28-1-01

Butiran-butiran energi cahaya disebut...

- | | |
|-------------|------------|
| A. elektron | C. proton |
| B. foton | D. neutron |

Kunci: B

Pembahasan: Cahaya datang dalam paket energi kecil yang disebut foton. Elektron, proton, dan neutron adalah partikel penyusun atom.

2. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Panel surya • 28-1-02

Panel surya di atap rumah mengubah energi cahaya menjadi energi...

- | | |
|------------|------------------------|
| A. listrik | C. kimia dalam makanan |
| B. bunyi | D. gerak angin |

Kunci: A

Pembahasan: Foton yang mengenai panel surya membebaskan elektron di dalam silikon, lalu elektron itu mengalir sebagai arus listrik.

3. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Energi foton • 28-1-03

Di antara warna cahaya tampak berikut, foton manakah yang energinya paling besar?

- | | |
|-----------|----------|
| A. merah | C. hijau |
| B. kuning | D. ungu |

Kunci: D

Pembahasan: Energi foton $E = hf$. Cahaya ungu memiliki frekuensi tertinggi (panjang gelombang terpendek) di antara cahaya tampak, jadi fotonnya paling bertenaga.

4. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Benda panas bersinar • 28-1-04

Besi yang dipanaskan pandai besi berubah warna dari merah, lalu oranye, lalu kuning keputihan. Ini menunjukkan bahwa makin panas suatu benda...

- A. makin panjang gelombang cahaya terkuatnya
- B. makin sedikit cahaya yang dipancarkannya
- C. makin pendek gelombang cahaya terkuatnya
- D. makin dingin warnanya

Kunci: C

Pembahasan: Menurut hukum Wien, $\lambda_{\text{maks}} T$ tetap. Makin tinggi suhu, makin pendek panjang gelombang puncaknya, sehingga warnanya bergeser dari merah ke kuning lalu putih. Benda yang lebih panas juga memancarkan cahaya jauh lebih banyak.

5. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Energi foton • 28-2-01

Hitung energi satu foton cahaya biru 450 nm, dalam elektronvolt. Gunakan $hc = 1240 \text{ eV}\cdot\text{nm}$.

Jawaban: eV

Kunci: 2,756 eV

Pembahasan: $E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{1240 \text{ eV nm}}{450 \text{ nm}} \approx 2,76 \text{ eV}$.

6. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Persamaan Einstein • 28-2-02

Fungsi kerja natrium 2,3 eV. Foton berenergi 3,1 eV mengenai permukaan natrium. Berapa energi kinetik maksimum elektron yang lepas?

Jawaban: eV

Kunci: 0,8 eV

Pembahasan: $E_{k,\text{maks}} = hf - \phi = 3,1 - 2,3 = 0,8 \text{ eV}$.

7. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Tegangan henti • 28-2-03

Pada percobaan fotolistrik, arus menjadi nol saat tegangan balik 1,2 V. Berapa energi kinetik maksimum fotoelektron dalam joule? Tulis dalam satuan 10^{-19} J . ($e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$)

Jawaban: $\times 10^{-19} \text{ J}$

Kunci: $1,922 \times 10^{-19} \text{ J}$

Pembahasan: $E_{k,\text{maks}} = eV_0 = (1,602 \times 10^{-19})(1,2) \approx 1,92 \times 10^{-19} \text{ J}$, atau 1,2 eV.

8. Lv 2 • Penjelajah • Pilihan ganda • Intensitas • 28-2-04

Pada percobaan fotolistrik, intensitas cahaya dinaikkan, sedangkan frekuensinya tetap dan di atas frekuensi ambang. Akibatnya...

- A. jumlah elektron yang lepas setiap detik bertambah
- B. energi kinetik maksimum elektron naik
- C. frekuensi ambang logam turun
- D. tegangan henti naik

Kunci: A

Pembahasan: Intensitas lebih besar berarti lebih banyak foton per detik, sehingga lebih banyak elektron lepas dan arus bertambah. Energi tiap foton tetap, jadi energi kinetik maksimum dan tegangan henti tidak berubah. Frekuensi ambang adalah sifat logam.

9. Lv 3 • Pejuang • Isian • Tegangan henti • 28-3-01

Cahaya UV 250 nm menyinari pelat seng ($\phi = 4,3 \text{ eV}$). Berapa tegangan hentinya? ($hc = 1240 \text{ eV}\cdot\text{nm}$)

Jawaban: V

Kunci: 0,66 V

Pembahasan: $hf = 1240/250 = 4,96 \text{ eV}$.

$E_{k,\text{maks}} = 4,96 - 4,3 = 0,66 \text{ eV}$.

Karena $eV_0 = E_{k,\text{maks}}$, tegangan henti $V_0 = 0,66 \text{ V}$.

10. Lv 3 • Pejuang • Isian • Fungsi kerja • 28-3-02

Panjang gelombang ambang sebuah logam 540 nm: cahaya yang lebih panjang dari itu tidak melepaskan elektron. Berapa fungsi kerja logam itu, dalam eV?

Jawaban: eV

Kunci: 2,296 eV

Pembahasan: Pada ambang, $E_{k,\text{maks}} = 0$, sehingga $\phi = \frac{hc}{\lambda_0} = \frac{1240}{540} \approx 2,3 \text{ eV}$. Ini cocok dengan natrium.

11. Lv 3 • Pejuang • Isian • Jumlah foton • 28-3-03

Laser pointer hijau 532 nm memancarkan daya 5,0 mW. Berapa foton yang dipancarkannya setiap detik? Tulis dalam satuan 10^{16} . ($h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J s}$, $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$)

Jawaban: $\times 10^{16}$ foton/s

Kunci: $1,338 \times 10^{16}$ foton/s

Pembahasan: Energi satu foton: $E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{(6,626 \times 10^{-34})(3 \times 10^8)}{532 \times 10^{-9}} \approx 3,74 \times 10^{-19} \text{ J}$.

$N = \frac{P}{E} = \frac{5,0 \times 10^{-3}}{3,74 \times 10^{-19}} \approx 1,34 \times 10^{16}$ foton per detik.

Sinar laser yang "halus" ternyata berupa hujan belasan ribu triliun butir cahaya per detik.

12. Lv 3 • Pejuang • Isian • De Broglie • 28-3-04

Sebuah elektron ($m = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$) bergerak dengan kecepatan $2,0 \times 10^6 \text{ m/s}$. Berapa panjang gelombang de Broglie-nya, dalam nm? ($h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J s}$)

Jawaban: nm

Kunci: 0,3637 nm

Pembahasan: $p = mv = (9,11 \times 10^{-31})(2,0 \times 10^6) = 1,82 \times 10^{-24} \text{ kg}\cdot\text{m/s}$.

$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{6,626 \times 10^{-34}}{1,82 \times 10^{-24}} \approx 3,6 \times 10^{-10} \text{ m} = 0,36 \text{ nm}$, sekitar ukuran sebuah atom.

13. Lv 4 • IGCSE • Pilihan ganda • Data fungsi kerja • gaya IGCSE • 28-4-01

Tabel berikut menunjukkan fungsi kerja tiga logam.

Logam	sesium	kalsium	tembaga
ϕ (eV)	2,1	2,9	4,7

Cahaya ungu 400 nm (energi foton 3,1 eV) disinarkan pada ketiganya. Logam manakah yang melepaskan elektron?

- A. hanya tembaga
B. sesium dan kalsium
C. ketiga logam
D. tidak ada

Kunci: B

Pembahasan: Elektron lepas jika energi foton lebih besar daripada fungsi kerja: $3,1 > 2,1$ (sesium) dan $3,1 > 2,9$ (kalsium), tetapi $3,1 < 4,7$ (tembaga). Pengecoh "hanya tembaga" muncul dari anggapan keliru bahwa logam dengan angka terbesar paling mudah melepas elektron.

14. Lv 4 • IGCSE • Uraian • Bukti foton • gaya IGCSE • 28-4-02

Jelaskan dua hasil pengamatan efek fotolistrik yang **tidak dapat** dijelaskan oleh teori gelombang cahaya, dan bagaimana model foton menjelaskan masing-masing. [4 poin]

Kunci/rubrik:

1. Pengamatan: ada frekuensi ambang; di bawahnya tidak ada elektron yang lepas, setera apa pun cahayanya (teori gelombang meramalkan cahaya terang selalu berhasil).
2. Penjelasan: satu foton berenergi hf diserap satu elektron; jika $hf < \phi$, satu foton tidak cukup, dan elektron tidak bisa menabung energi dari banyak foton.
3. Pengamatan: energi kinetik maksimum elektron bergantung pada frekuensi, bukan pada intensitas (atau: elektron lepas seketika tanpa jeda, bahkan pada cahaya redup).
4. Penjelasan: $E_{k,\text{maks}} = hf - \phi$ hanya bergantung pada energi satu foton; intensitas hanya mengubah jumlah foton (dan jumlah elektron). Energi diserap dalam satu paket sekaligus, jadi tidak perlu menunggu.

Pembahasan: Dua poin untuk dua pengamatan yang benar dan dua poin untuk penjelasan model foton yang sesuai. Kata kunci: satu foton–satu elektron, $E = hf$, fungsi kerja.

15. Lv 4 • IGCSE • Isian • Panel surya • gaya IGCSE • 28-4-03

Sebuah panel surya seluas $1,6 \text{ m}^2$ menerima sinar matahari berintensitas 1.000 W/m^2 . Efisiensi panel 20%. Hitung daya listrik keluaran panel.

Jawaban: W

Kunci: 320 W

Pembahasan: Daya cahaya yang diterima: $1,6 \times 1000 = 1600 \text{ W}$.
Daya listrik: $20\% \times 1600 = 320 \text{ W}$.

16. Lv 4 • IGCSE • Isian • Daya dari foton • gaya IGCSE • 28-4-04

Dalam satu detik, sebuah LED merah (650 nm) memancarkan $3,0 \times 10^{18}$ foton. Hitung daya cahaya yang dipancarkan LED. ($h = 6,626 \times 10^{-34}$ J s, $c = 3,0 \times 10^8$ m/s)

Jawaban: W

Kunci: 0,9174 W

Pembahasan: Energi satu foton: $E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{(6,626 \times 10^{-34})(3,0 \times 10^8)}{650 \times 10^{-9}} \approx 3,06 \times 10^{-19}$ J.

Daya: $P = NE = (3,0 \times 10^{18})(3,06 \times 10^{-19}) \approx 0,92$ W.

Lv 5 • IB DP • gaya IB Physics

17. Lv 5 • IB DP • Isian • Mengukur h dari grafik • gaya IB • 28-5-01

Seorang siswa mengukur tegangan henti V_0 untuk beberapa frekuensi cahaya.

f (10^{14} Hz)	6,0	7,0	8,0	9,0
V_0 (V)	0,18	0,59	1,01	1,42

Gunakan kemiringan grafik V_0 terhadap f untuk menghitung tetapan Planck, dalam satuan 10^{-34} J s. ($e = 1,602 \times 10^{-19}$ C)

Jawaban: $\times 10^{-34}$ J s

Kunci: $6,622 \times 10^{-34}$ J s

Pembahasan: $V_0 = \frac{h}{e}f - \frac{\phi}{e}$: garis lurus dengan kemiringan h/e .

Kemiringan: $\frac{1,42e - 0,18e}{(9,0 - 6,0) \times 10^{14}} = 4,13 \times 10^{-15}$ V s.

$h = e \times \text{kemiringan} = (1,602 \times 10^{-19})(4,13 \times 10^{-15}) \approx 6,62 \times 10^{-34}$ J s.

Titik potong dengan sumbu f di sekitar $5,6 \times 10^{14}$ Hz memberi $\phi \approx 2,3$ eV (natrium).

18. Lv 5 • IB DP • Uraian • Grafik V_0 - f • gaya IB • 28-5-02

Grafik tegangan henti V_0 terhadap frekuensi f untuk sebuah logam memotong sumbu f di $5,6 \times 10^{14}$ Hz.

(a) Hitung fungsi kerja logam itu dalam eV.

(b) Jelaskan bagaimana grafik untuk logam lain yang fungsi kerjanya lebih besar.

(c) Jelaskan mengapa menaikkan intensitas cahaya tidak mengubah grafik ini.

Kunci/rubrik: (a) Pada titik potong, $V_0 = 0$, jadi $\phi = hf_0 = (4,14 \times 10^{-15} \text{ eV s})(5,6 \times 10^{14} \text{ Hz}) \approx 2,3$ eV.

(b) Garis lurus **sejajar** (kemiringan sama, h/e , karena h dan e tetapan universal), tetapi bergeser ke kanan: frekuensi ambangnya lebih besar, dan perpanjangannya memotong sumbu V_0 di $-\phi/e$ yang lebih negatif.

(c) Intensitas hanya mengubah jumlah foton per detik (dan arus), bukan energi tiap foton. Tegangan henti bergantung pada $E_{k,\text{maks}} = hf - \phi$, sehingga tidak berubah.

Pembahasan: Grafik V_0 - f adalah cara klasik IB untuk menguji model foton: kemiringan memberi h , titik potong memberi ϕ .

19. Lv 5 • IB DP • Isian • Elektron dipercepat • gaya IB • 28-5-03

Elektron dipercepat dari keadaan diam melalui beda potensial 150 V. Hitung panjang gelombang de Broglie-nya, dalam nm. ($m_e = 9,11 \times 10^{-31}$ kg, $e = 1,602 \times 10^{-19}$ C, $h = 6,626 \times 10^{-34}$ J s)

Jawaban: nm

Kunci: 0,1001 nm

Pembahasan: $E_k = eV = (1,602 \times 10^{-19})(150) = 2,40 \times 10^{-17}$ J.

$p = \sqrt{2mE_k} = \sqrt{2(9,11 \times 10^{-31})(2,40 \times 10^{-17})} \approx 6,62 \times 10^{-24}$ kg·m/s.

$\lambda = h/p \approx 1,00 \times 10^{-10}$ m = 0,100 nm, sebanding dengan jarak antaratom dalam kristal. Karena itu elektron 150 V terdifraksi oleh kristal.

20. Lv 5 • IB DP • Pilihan ganda • Foton vs elektron • gaya IB • 28-5-04

Sebuah foton dan sebuah elektron memiliki panjang gelombang yang sama, 0,10 nm. Pernyataan yang benar adalah...

- | | |
|----------------------------|----------------------------------|
| A. energi keduanya sama | C. momentum keduanya sama |
| B. kecepatan keduanya sama | D. momentum elektron lebih besar |

Kunci: C

Pembahasan: Untuk keduanya berlaku $\lambda = h/p$, jadi λ sama berarti momentum sama. Energinya berbeda jauh: foton $E = pc \approx 12,4$ keV, sedangkan elektron $E_k = p^2/(2m) \approx 150$ eV. Kecepatannya juga berbeda: foton c , elektron sekitar 7×10^6 m/s.

Lv 6 • Olimpiade gaya OSN/IPhO

21. Lv 6 • Olimpiade • Isian • Efek Compton • gaya olimpiade • 28-6-01

Foton sinar X dengan panjang gelombang 0,0500 nm dihamburkan oleh elektron yang mula-mula diam, dengan sudut hambur 90° . Panjang gelombang Compton $h/(m_e c) = 2,426$ pm. Berapa energi kinetik elektron yang terpental, dalam eV? ($hc = 1239,84$ eV·nm)

Jawaban: eV

Kunci: 1.147 eV

Pembahasan: $\Delta\lambda = \frac{h}{m_e c}(1 - \cos 90^\circ) = 2,426$ pm, jadi $\lambda' = 50,000 + 2,426 = 52,426$ pm.

Energi foton datang: $1239,84/0,0500 = 24\,797$ eV; terhambur: $1239,84/0,052426 \approx 23\,650$ eV.

Kekekalan energi: $E_{k,e} = 24\,797 - 23\,650 \approx 1,15 \times 10^3$ eV.

Foton kehilangan sekitar 5% energinya, cukup besar untuk diukur. Inilah bukti bahwa foton membawa momentum seperti partikel.

22. Lv 6 • Olimpiade • Isian • Foton yang masuk ke mata • gaya olimpiade • 28-6-02

Lampu jalan natrium memancarkan cahaya kuning 589 nm dengan daya cahaya 10 W, sama rata ke segala arah. Kamu berdiri 10 km jauhnya dengan pupil mata berdiameter 4,0 mm. Abaikan penyerapan udara. Berapa foton yang masuk ke satu matamu setiap detik? Tulis dalam satuan 10^5 . ($h = 6,626 \times 10^{-34}$ J s, $c = 3 \times 10^8$ m/s)

Jawaban: $\times 10^5$ foton/s

Kunci: $2,963 \times 10^5$ foton/s

Pembahasan: Energi satu foton: $E = \frac{hc}{\lambda} \approx 3,37 \times 10^{-19}$ J, sehingga lampu memancarkan $N = 10 / 3,37 \times 10^{-19} \approx 2,96 \times 10^{19}$ foton/s.

Pecahan yang masuk pupil: $\frac{\pi(2,0 \times 10^{-3})^2}{4\pi(1,0 \times 10^4)^2} = 1,0 \times 10^{-14}$.

Foton ke mata: $\approx 3,0 \times 10^5$ per detik.

Mata yang sudah beradaptasi dengan gelap bisa menangkap cahaya hanya dari puluhan sampai ratusan foton, jadi lampu ini masih terlihat dari 10 km: berguna bagi pelaut yang mencari pantai.

23. Lv 6 • Olimpiade • Uraian • Davisson-Germer • gaya olimpiade • 28-6-03

Dalam percobaan Davisson–Germer, elektron dipercepat 54 V lalu dipantulkan oleh permukaan kristal nikel yang baris-baris atomnya berjarak $D = 0,215$ nm. Puncak difraksi pertama teramati pada sudut 50° dari arah datang (normal).

(a) Hitung panjang gelombang de Broglie elektron.

(b) Hitung panjang gelombang yang "terukur" dari difraksi memakai $D \sin \theta = \lambda$.

(c) Bandingkan keduanya, lalu jelaskan mengapa sinar X dengan panjang gelombang yang sama membutuhkan energi foton jauh lebih besar.

Kunci/rubrik: (a) $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2m_e eV}} = \frac{6,626 \times 10^{-34}}{\sqrt{2(9,11 \times 10^{-31})(1,602 \times 10^{-19})(54)}} \approx 1,67 \times 10^{-10}$ m = 0,167 nm.

(b) $\lambda = D \sin 50^\circ = 0,215 \times 0,766 \approx 0,165$ nm.

(c) Selisihnya hanya $\pm 1\%$, jadi elektron benar-benar berperilaku sebagai gelombang dengan $\lambda = h/p$. Foton dengan $\lambda = 0,167$ nm berenergi $E = hc/\lambda \approx 7,4$ keV, jauh lebih besar daripada 54 eV, karena untuk foton $E = pc$, sedangkan untuk elektron lambat $E = p^2/(2m)$, dan $pc \gg p^2/(2m)$ bila $v \ll c$.

Pembahasan: Ini salah satu bukti eksperimen terpenting fisika kuantum. Perhatikan pula keunggulan praktisnya: elektron berenergi rendah "melihat" lapisan atom teratas saja, sehingga difraksi elektron menjadi alat utama untuk meneliti permukaan material.

Pada percobaan celah ganda elektron, sebuah detektor dipasang untuk mengetahui celah mana yang dilewati setiap elektron, tanpa menghalangi elektronnya. Pola yang terbentuk di layar setelah ribuan elektron adalah...

- A. pola interferensi yang sama, hanya lebih redup
- B. dua pita lebar (jumlah dua pola celah tunggal), tanpa garis-garis interferensi
- C. satu titik terang di tengah layar
- D. pola interferensi yang lebih tajam karena jalurnya lebih jelas

Kunci: B

Pembahasan: Begitu jalur setiap elektron diketahui, gelombangnya tidak lagi lewat kedua celah bersamaan, sehingga suku interferensinya hilang. Polanya menjadi jumlah dua pola celah tunggal. Menurut prinsip ketidakpastian, pengukuran posisi yang cukup teliti untuk membedakan celah pasti mengganggu momentum elektron cukup besar untuk menghapus garis-garis interferensi. Lab Mini celah ganda di bab ini menampilkan efek ini.

Lv 1 • Pemula SD-SMP awal

1. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Model Thomson • 29-1-01

Model atom yang menggambarkan atom seperti **roti kismis** (bola bermuatan positif dengan elektron tersebar di dalamnya) diusulkan oleh...

- | | |
|-----------------|----------------------|
| A. J.J. Thomson | C. Ernest Rutherford |
| B. John Dalton | D. Niels Bohr |

Kunci: A

Pembahasan: J.J. Thomson menemukan elektron (1897), lalu mengusulkan model roti kismis: muatan positif tersebar rata, elektron menempel seperti kismis. Dalton membayangkan bola pejal, Rutherford menemukan inti, Bohr mengusulkan orbit bertingkat energi.

2. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Partikel atom • 29-1-02

Partikel di dalam atom yang bermuatan **negatif** adalah...

- | | |
|------------|--------------|
| A. proton | C. elektron |
| B. neutron | D. inti atom |

Kunci: C

Pembahasan: Elektron bermuatan negatif. Proton bermuatan positif, neutron tidak bermuatan, dan inti atom (berisi proton dan neutron) bermuatan positif.

3. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Warna cahaya atom • 29-1-03

Lampu jalan sodium memancarkan cahaya kuning-oranye. Warna ini berasal dari...

- A. elektron atom natrium yang melompat turun dan memancarkan foton berenergi tertentu
- B. lapisan cat kuning pada kaca lampu
- C. pantulan cahaya Bulan pada lampu
- D. panas lampu yang membuat udara berwarna kuning

Kunci: A

Pembahasan: Listrik membuat elektron di atom natrium naik ke tingkat energi lebih tinggi. Saat turun kembali, atom memancarkan foton dengan energi khas natrium, yaitu cahaya kuning-oranye sekitar 589 nm.

4. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Inti atom • 29-1-04

Menurut percobaan hamburan alfa Rutherford, hampir seluruh massa atom terpusat di...

- | | |
|------------------------------------|--------------------------------|
| A. elektron | C. kulit terluar atom |
| B. ruang kosong di antara elektron | D. inti atom yang sangat kecil |

Kunci: D

Pembahasan: Partikel alfa yang memantul balik menunjukkan ada bagian atom yang kecil, padat, dan bermuatan positif: inti atom. Di situlah lebih dari 99,9% massa atom berada.

5. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Tingkat energi • 29-2-01

Berapa energi elektron atom hidrogen pada tingkat $n = 3$? Gunakan $E_n = -13,6/n^2$ eV.

Jawaban: eV

Kunci: -1,511 eV

Pembahasan: $E_3 = -\frac{13,6}{3^2} = -\frac{13,6}{9} \approx -1,51$ eV. Tanda minus berarti elektron masih terikat pada inti.

6. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Energi foton • 29-2-02

Sebuah foton berenergi 2,0 eV. Berapa panjang gelombangnya? Gunakan λ (nm) = 1240/ E (eV).

Jawaban: nm

Kunci: 620 nm

Pembahasan: $\lambda = \frac{1240}{2,0} = 620$ nm. Foton ini termasuk cahaya tampak berwarna oranye kemerahan.

7. Lv 2 • Penjelajah • Pilihan ganda • Deret spektrum • 29-2-03

Elektron atom hidrogen turun dari $n = 2$ ke $n = 1$. Foton yang dipancarkan termasuk deret...

- | | |
|---------------------------|--------------------------|
| A. Lyman (ultraviolet) | C. Paschen (inframerah) |
| B. Balmer (cahaya tampak) | D. Brackett (inframerah) |

Kunci: A

Pembahasan: Semua lompatan yang berakhir di $n = 1$ termasuk deret Lyman. Energinya $13,6(1 - \frac{1}{4}) = 10,2$ eV, sehingga $\lambda \approx 122$ nm, yaitu ultraviolet.

8. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Satuan energi • 29-2-04

Energi ionisasi atom hidrogen adalah 13,6 eV. Nyatakan energi ini dalam joule. (1 eV = $1,6 \times 10^{-19}$ J)

Jawaban: J

Kunci: $2,176 \times 10^{-18}$ J

Pembahasan: $13,6 \times 1,6 \times 10^{-19} = 2,18 \times 10^{-18}$ J. Angkanya sangat kecil karena ini energi untuk *satu* atom saja.

9. Lv 3 • Pejuang • Isian • Rumus Rydberg • 29-3-01

Hitung panjang gelombang garis spektrum hidrogen saat elektron turun dari $n = 4$ ke $n = 2$. Gunakan $R = 1,097 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$ dan nyatakan dalam nm.

Jawaban: nm

Kunci: 486,2 nm

Pembahasan: $\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{4^2} \right) = 1,097 \times 10^7 \times \frac{3}{16} = 2,057 \times 10^6 \text{ m}^{-1}$.

$\lambda = 4,862 \times 10^{-7} \text{ m} \approx 486 \text{ nm}$.

Ini garis H-beta yang berwarna biru kehijauan (deret Balmer).

10. Lv 3 • Pejuang • Isian • Jumlah garis • 29-3-02

Gas hidrogen dipanaskan sehingga elektron-elektronnya tereksitasi sampai tingkat $n = 5$. Berapa banyak garis spektrum berbeda yang mungkin dipancarkan saat elektron-elektron itu kembali ke keadaan dasar?

Jawaban: garis

Kunci: 10 garis

Pembahasan: Setiap pasangan dua tingkat berbeda dari 1 sampai 5 memberi satu garis. Banyaknya pasangan:

$$\frac{n(n-1)}{2} = \frac{5 \times 4}{2} = 10 \text{ garis.}$$

11. Lv 3 • Pejuang • Pilihan ganda • Jari-jari orbit • 29-3-03

Menurut model Bohr, jari-jari orbit elektron sebanding dengan n^2 . Jari-jari orbit $n = 3$ dibandingkan orbit $n = 1$ adalah...

A. 3 kali

C. 9 kali

B. 6 kali

D. 27 kali

Kunci: C

Pembahasan: $r_n \propto n^2$, jadi $r_3/r_1 = 3^2/1^2 = 9$. Orbit $n = 3$ berjari-jari $9 \times 0,0529 \approx 0,48$ nm.

12. Lv 3 • Pejuang • Isian • Penyerapan foton • 29-3-04

Atom hidrogen dalam keadaan dasar menyerap foton dengan panjang gelombang 97,3 nm. Ke tingkat n berapa elektronnya melompat? ($hc = 1240$ eV·nm)

Jawaban:

Kunci: 4

Pembahasan: Energi foton: $E = 1240/97,3 = 12,74$ eV.

Energi elektron setelah menyerap: $-13,6 + 12,74 = -0,86$ eV.

$-13,6/n^2 = -0,86 \Rightarrow n^2 \approx 16 \Rightarrow n = 4$.

Cek: $13,6(1 - 1/16) = 12,75$ eV. Cocok!

Lv 4 • IGCSE gaya Cambridge IGCSE

13. Lv 4 • IGCSE • Uraian • Hamburan alfa • gaya IGCSE • 29-4-01

Dalam percobaan Geiger-Marsden, partikel alfa ditembakkan ke lembaran emas tipis.

(a) Nyatakan dua hasil pengamatan utama percobaan ini.

(b) Untuk setiap pengamatan, jelaskan kesimpulan tentang struktur atom.

(c) Jelaskan mengapa hasil ini tidak sesuai dengan model roti kismis. [6 poin]

Kunci/rubrik: (a) [1] Sebagian besar partikel alfa menembus lurus atau hanya sedikit dibelokkan. [1] Sebagian kecil dibelokkan dengan sudut besar, dan sangat sedikit (± 1 dari 8.000) memantul balik.

(b) [1] Atom sebagian besar berupa ruang kosong. [1] Ada inti yang sangat kecil, bermuatan positif, dan memuat hampir seluruh massa atom (*nucleus*).

(c) [1] Pada model roti kismis, muatan positif tersebar di seluruh atom sehingga gaya tolaknya lemah. [1] Partikel alfa yang berat dan cepat hanya akan dibelokkan sangat sedikit, tidak mungkin memantul balik.

Pembahasan: Poin kunci: dua pengamatan (lurus vs memantul), dua kesimpulan (ruang kosong vs inti kecil padat bermuatan positif), dan alasan model Thomson gagal (muatan tersebar $\rightarrow$ medan lemah).

Sebuah simulasi menembakkan 10.000 partikel alfa ke lembar emas. Hasilnya:

Sudut belok	0°–10°	10°–90°	lebih dari 90°
Jumlah partikel	9.850	145	5

Kesimpulan yang paling didukung data ini adalah...

- A. inti atom besar dan menempati sebagian besar volume atom
- B. atom sebagian besar kosong dengan inti kecil bermuatan positif
- C. partikel alfa bermuatan negatif sehingga ditarik inti
- D. elektronlah yang menyebabkan partikel alfa memantul balik

Kunci: B

Pembahasan: 98,5% partikel nyaris lurus, jadi atom hampir kosong. Hanya 5 dari 10.000 (0,05%) yang memantul, jadi penyebabnya sangat kecil sekaligus sangat kuat menolak: inti positif. Elektron terlalu ringan untuk memantulkan partikel alfa yang ± 7.300 kali lebih berat.

Hitung frekuensi foton yang dipancarkan ketika elektron atom hidrogen turun dari $n = 3$ ke $n = 2$. ($h = 6,63 \times 10^{-34}$ J s, $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19}$ J)

Jawaban: Hz

Kunci: $4,56 \times 10^{14}$ Hz

Pembahasan: $\Delta E = 13,6 \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{9} \right) = 1,89 \text{ eV} = 1,89 \times 1,60 \times 10^{-19} = 3,02 \times 10^{-19} \text{ J}$.

$$f = \frac{\Delta E}{h} = \frac{3,02 \times 10^{-19}}{6,63 \times 10^{-34}} \approx 4,56 \times 10^{14} \text{ Hz}.$$

Nyatakan susunan percobaan mana yang menghasilkan **spektrum serapan** (*absorption spectrum*).

- A. Lampu pijar dilihat langsung melalui kisi difraksi
- B. Lampu sodium dilihat langsung melalui kisi difraksi
- C. Cahaya lampu pijar dilewatkan melalui uap natrium yang lebih dingin, lalu melalui kisi difraksi
- D. Kembang api stronsium dilihat melalui kisi difraksi

Kunci: C

Pembahasan: Spektrum serapan muncul saat cahaya berspektrum kontinu (lampu pijar) melewati gas yang lebih dingin. Atom gas menyerap panjang gelombang tertentu sehingga muncul garis gelap. Lampu pijar langsung memberi spektrum kontinu, sedangkan lampu sodium dan kembang api memberi spektrum emisi.

17. Lv 5 • IB DP • Isian • Jarak terdekat • gaya IB • 29-5-01

Partikel alfa berenergi kinetik 7,7 MeV ditembakkan lurus ke arah inti emas ($Z = 79$). Tentukan jarak terdekat partikel alfa ke pusat inti. ($k = 8,99 \times 10^9 \text{ N m}^2 \text{ C}^{-2}$, $e = 1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$, $1 \text{ MeV} = 1,60 \times 10^{-13} \text{ J}$)

Jawaban: m

Kunci: $2,95 \times 10^{-14} \text{ m}$

Pembahasan: Pada jarak terdekat, seluruh energi kinetik berubah menjadi energi potensial listrik: $E_k = \frac{k(2e)(79e)}{d}$

$$d = \frac{8,99 \times 10^9 \times 158 \times (1,60 \times 10^{-19})^2}{7,7 \times 1,60 \times 10^{-13}} \approx 2,95 \times 10^{-14} \text{ m} \approx 30 \text{ fm}.$$

Ini batas atas ukuran inti emas. Jari-jari sebenarnya ($\pm 7 \text{ fm}$) lebih kecil lagi. Asumsi: inti emas tidak terpengaruh karena jauh lebih berat daripada partikel alfa.

18. Lv 5 • IB DP • Uraian • Diagram tingkat energi • gaya IB • 29-5-02

Sebuah atom X memiliki tingkat energi $E_1 = -8,0 \text{ eV}$, $E_2 = -3,0 \text{ eV}$, $E_3 = -1,5 \text{ eV}$, dan $E_4 = -0,5 \text{ eV}$.

(a) Berapa banyak garis emisi yang mungkin?

(b) Hitung panjang gelombang *terpanjang* di antara garis emisi itu dan sebutkan wilayah spektrumnya.

(c) Gas X pada suhu kamar disinari cahaya putih (termasuk UV). Jelaskan mengapa spektrum serapannya hanya memuat tiga garis.

(d) Sebuah elektron bebas berenergi kinetik 6,0 eV menumbuk atom X dalam keadaan dasar. Ke tingkat mana saja atom bisa tereksitasi, dan berapa energi kinetik elektron yang tersisa?

Kunci/rubrik: (a) 6 garis ($4 \times 3/2$).

(b) Terpanjang = selisih energi terkecil: $E_4 - E_3 = 1,0 \text{ eV} \rightarrow \lambda = 1240/1,0 = 1240 \text{ nm}$, inframerah.

(c) Pada suhu kamar hampir semua atom berada di keadaan dasar E_1 . Penyerapan hanya terjadi dari E_1 : $1 \rightarrow 2$ (5,0 eV), $1 \rightarrow 3$ (6,5 eV), $1 \rightarrow 4$ (7,5 eV). Jadi tiga garis.

(d) Hanya ke E_2 (perlu 5,0 eV). Ke E_3 perlu 6,5 eV, lebih besar dari 6,0 eV. Elektron tersisa $6,0 - 5,0 = 1,0 \text{ eV}$ (atau tetap 6,0 eV jika tumbukannya lenting, tanpa eksitasi).

Pembahasan: Tumbukan dengan elektron berbeda dengan penyerapan foton: foton harus memiliki energi *tepat* sama dengan selisih tingkat, sedangkan elektron boleh membawa energi lebih dan menyimpan sisanya sebagai energi kinetik. Prinsip ini dibuktikan oleh percobaan Franck-Hertz (1914).

19. Lv 5 • IB DP • Isian • Analisis grafik • gaya IB • 29-5-03

Seorang siswa mengukur dua garis Balmer: $\lambda = 656 \text{ nm}$ (dari $n = 3$) dan $\lambda = 434 \text{ nm}$ (dari $n = 5$). Ia memplot $1/\lambda$ (sumbu y) terhadap $(\frac{1}{4} - \frac{1}{n^2})$ (sumbu x). Hitung kemiringan garis yang melalui kedua titik itu.

Jawaban: m^{-1}

Kunci: $1,097 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$

Pembahasan: Titik 1: $x = \frac{1}{4} - \frac{1}{9} = 0,1389$, $y = 1/656 \times 10^{-9} = 1,524 \times 10^6 \text{ m}^{-1}$.

Titik 2: $x = \frac{1}{4} - \frac{1}{25} = 0,2100$, $y = 1/434 \times 10^{-9} = 2,304 \times 10^6 \text{ m}^{-1}$.

Kemiringan = $\frac{2,304 - 1,524}{0,2100 - 0,1389} \times 10^6 \approx 1,10 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$.

Kemiringan ini adalah konstanta Rydberg R . Garis juga melewati titik asal, sesuai rumus $1/\lambda = R(1/4 - 1/n^2)$.

20. Lv 5 • IB DP • Isian • Ketidakpastian • gaya IB • 29-5-04

Panjang gelombang garis H-alfa diukur $\lambda = (656 \pm 2)$ nm. Energi fotonnya $E = 1240/\lambda$ eV. Hitung ketidakpastian absolut E dalam meV ($1 \text{ meV} = 0,001 \text{ eV}$).

Jawaban: meV

Kunci: 5,76 meV

Pembahasan: $E = 1240/656 = 1,890 \text{ eV}$.

Karena $E \propto \lambda^{-1}$, ketidakpastian relatifnya sama: $\frac{\Delta E}{E} = \frac{\Delta \lambda}{\lambda} = \frac{2}{656} = 0,30\%$.

$\Delta E = 0,0030 \times 1,890 \approx 0,0058 \text{ eV} \approx 6 \text{ meV}$.

Jadi $E = (1,890 \pm 0,006) \text{ eV}$.

Lv 6 • Olimpiade gaya OSN/IPhO

21. Lv 6 • Olimpiade • Isian • Ion mirip hidrogen • gaya olimpiade • 29-6-01

Ion He^+ ($Z = 2$) hanya memiliki satu elektron, sehingga $E_n = -13,6 Z^2/n^2 \text{ eV}$. Hitung panjang gelombang foton yang dipancarkan saat elektron He^+ turun dari $n = 4$ ke $n = 2$. ($hc = 1240 \text{ eV}\cdot\text{nm}$)

Jawaban: nm

Kunci: 121,6 nm

Pembahasan: $\Delta E = 13,6 \times 2^2 \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{16} \right) = 54,4 \times \frac{3}{16} = 10,2 \text{ eV}$.

$\lambda = 1240/10,2 \approx 121,6 \text{ nm}$.

Menarik: hasilnya sama dengan garis Lyman-alfa hidrogen ($2 \rightarrow 1$)! Karena Z^2/n^2 untuk He^+ dengan $n = 2k$ sama dengan $1/k^2$, setiap tingkat genap He^+ "menyamai" tingkat hidrogen. Perbedaan kecil karena massa tereduksi membuat keduanya tetap bisa dibedakan dengan spektrometer teliti.

22. Lv 6 • Olimpiade • Isian • Rekoil atom • gaya olimpiade • 29-6-02

Atom hidrogen yang semula diam memancarkan foton Lyman-alfa berenergi $10,2 \text{ eV}$. Akibatnya atom terdorong mundur. Hitung kecepatan rekoil atom. ($m_H = 1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$, $c = 3,0 \times 10^8 \text{ m/s}$, $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$)

Jawaban: m/s

Kunci: 3,26 m/s

Pembahasan: Momentum foton: $p = E/c$. Kekekalan momentum: atom bergerak mundur dengan momentum yang sama besar.

$$v = \frac{E}{mc} = \frac{10,2 \times 1,6 \times 10^{-19}}{1,67 \times 10^{-27} \times 3,0 \times 10^8} \approx 3,3 \text{ m/s}.$$

Energi kinetik rekoilnya $\frac{1}{2}mv^2 \approx 5,6 \times 10^{-8} \text{ eV}$, sangat kecil dibanding $10,2 \text{ eV}$, sehingga boleh diabaikan dalam soal biasa. Namun efek ini nyata: inilah dasar teknik *pendinginan laser* yang memperlambat atom hingga mendekati nol mutlak.

Positronium adalah "atom" yang terdiri atas sebuah elektron dan sebuah positron (massa sama dengan elektron, muatan $+e$) yang saling mengorbit pusat massanya.

- Jelaskan mengapa model Bohr untuk positronium dapat diperoleh dengan mengganti massa elektron m dengan massa tereduksi $\mu = m/2$.
- Tentukan energi keadaan dasar positronium.
- Hitung panjang gelombang foton yang dipancarkan pada transisi $n = 2 \rightarrow n = 1$.
- Bagaimana jarak elektron-positron pada keadaan dasar dibandingkan jari-jari Bohr hidrogen?

Kunci/rubrik: (a) Dua benda yang saling mengorbit dapat diganti satu benda bermassa tereduksi $\mu = m_1 m_2 / (m_1 + m_2)$ yang mengorbit pusat tetap pada jarak pisah sebenarnya r . Untuk $m_1 = m_2 = m$: $\mu = m/2$.

(b) $E_n \propto \mu$, jadi $E_1 = -13,6/2 = -6,8$ eV.

(c) $\Delta E = 6,8(1 - \frac{1}{4}) = 5,1$ eV $\rightarrow \lambda = 1240/5,1 \approx 243$ nm (ultraviolet).

(d) $r \propto 1/\mu$, jadi jarak pisahnya $2a_0 \approx 0,106$ nm, dua kali jari-jari Bohr hidrogen.

Pembahasan: Pada hidrogen biasa, massa tereduksi hanya 0,05% lebih kecil daripada massa elektron karena proton ± 1.836 kali lebih berat. Pada positronium kedua partikel sama berat, sehingga efeknya besar: semua energinya separuh dan ukurannya dua kali lipat.

Partikel alfa 5,0 MeV mendekati inti emas ($Z = 79$) dengan parameter dampak $b = 50$ fm. Jarak terdekat tumbukan sentral $d_0 = 2Z ke^2 / E_k$ dengan $ke^2 = 1,44$ MeV·fm, dan sudut hamburan memenuhi $\tan(\theta/2) = d_0 / (2b)$. Hitung sudut hamburan θ dalam derajat.

Jawaban:°

Kunci: 48,9°

Pembahasan: $d_0 = \frac{2 \times 79 \times 1,44}{5,0} = 45,5$ fm.

$\tan(\theta/2) = \frac{45,5}{2 \times 50} = 0,455 \Rightarrow \theta/2 = 24,5^\circ$.

$\theta \approx 48,9^\circ$.

Bandingkan dengan Lab Mini: bidik sekitar 50 fm dari inti emas dengan energi 5 MeV, dan sudut beloknya akan hampir sama!

Lv 1 • Pemula SD-SMP awal

1. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Kecepatan cahaya • 30-1-01

Kecepatan cahaya dalam ruang hampa kira-kira...

- | | |
|-----------------|-------------------|
| A. 300 km/s | C. 300.000 km/jam |
| B. 300.000 km/s | D. 340 m/s |

Kunci: B

Pembahasan: Cahaya merambat sekitar 300.000 km setiap detik (tepatnya 299.792.458 m/s). Dalam satu detik, cahaya bisa mengelilingi Bumi sekitar 7,5 kali! Angka 340 m/s adalah kecepatan bunyi di udara.

2. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Kerangka acuan • 30-1-02

Raka duduk di dalam bus yang sedang melaju. Menurut sopir bus, Raka ____; menurut orang yang menunggu di halte, Raka ____.

- | | |
|-----------------------|-------------------|
| A. bergerak; diam | C. diam; bergerak |
| B. bergerak; bergerak | D. diam; diam |

Kunci: C

Pembahasan: Gerak itu relatif terhadap kerangka acuan. Sopir ikut bergerak bersama bus, jadi Raka tampak diam baginya. Orang di halte melihat Raka ikut melaju bersama bus.

3. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Tokoh • 30-1-03

Ilmuwan yang mengajukan teori relativitas khusus pada tahun 1905 adalah...

- | | |
|--------------------|--------------------|
| A. Albert Einstein | C. Galileo Galilei |
| B. Isaac Newton | D. Niels Bohr |

Kunci: A

Pembahasan: Albert Einstein menerbitkan teori relativitas khusus tahun 1905, saat bekerja sebagai pemeriksa paten di Bern, Swiss. Galileo mencetuskan prinsip relativitas untuk gerak biasa jauh sebelumnya (1632).

4. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Dilatasi waktu • 30-1-04

Menurut pengamat yang diam, jam pada roket yang melaju mendekati kecepatan cahaya akan...

- | | |
|-------------------------|--------------------------|
| A. berdetak lebih cepat | C. berhenti total |
| B. berdetak sama saja | D. berdetak lebih lambat |

Kunci: D

Pembahasan: Inilah dilatasi waktu: jam yang bergerak relatif terhadap pengamat berdetak lebih lambat. Bagi penumpang roket sendiri, jamnya terasa normal.

5. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Faktor Lorentz • 30-2-01

Hitung faktor Lorentz γ untuk benda yang bergerak dengan kecepatan $0,8c$.

Jawaban:

Kunci: 1,667

Pembahasan: $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - 0,8^2}} = \frac{1}{\sqrt{0,36}} = \frac{1}{0,6} \approx 1,667$.

6. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Kecepatan relatif Galileo • 30-2-02

Raka di dalam KRL yang melaju 20 m/s melempar bola ke depan dengan kecepatan 5 m/s relatif terhadap kereta. Berapa kecepatan bola menurut orang yang berdiri di peron?

Jawaban: m/s

Kunci: 25 m/s

Pembahasan: Untuk kecepatan sehari-hari, kecepatan cukup dijumlahkan: $u = u' + v = 5 + 20 = 25$ m/s. Koreksi relativitasnya hanya sekitar 10^{-15} kali, jauh terlalu kecil untuk terukur.

7. Lv 2 • Penjelajah • Isian • $E = mc^2$ • 30-2-03

Berapa energi yang setara dengan massa 2 gram? Gunakan $c = 3 \times 10^8$ m/s.

Jawaban: J

Kunci: $1,8 \times 10^{14}$ J

Pembahasan: $m = 2$ g = 2×10^{-3} kg.

$E = mc^2 = 2 \times 10^{-3} \times (3 \times 10^8)^2 = 1,8 \times 10^{14}$ J.

8. Lv 2 • Penjelajah • Pilihan ganda • Kontraksi panjang • 30-2-04

Sebuah roket melaju $0,6c$ melewati Bumi. Menurut pengamat di Bumi, panjang roket dibandingkan panjangnya saat diam adalah...

A. lebih panjang

C. lebih pendek

B. sama saja

D. nol

Kunci: C

Pembahasan: Benda yang bergerak terukur lebih pendek searah geraknya: $L = L_0 \sqrt{1 - v^2/c^2} = 0,8L_0$. Lebar dan tingginya tidak berubah.

9. Lv 3 • Pejuang • Isian • Dilatasi waktu • 30-3-01

Seorang astronaut melaju dengan kecepatan $0,6c$. Menurut jamnya sendiri, perjalanan berlangsung 4 tahun. Berapa tahun perjalanan itu menurut pengamat di Bumi?

Jawaban: tahun

Kunci: 5 tahun

Pembahasan: Waktu diri $\Delta t_0 = 4$ tahun (diukur jam yang ikut bergerak).

$\gamma = 1/\sqrt{1 - 0,36} = 1,25$.

$\Delta t = \gamma \Delta t_0 = 1,25 \times 4 = 5$ tahun.

10. Lv 3 • Pejuang • Isian • Kontraksi panjang • 30-3-02

Sebuah pesawat antariksa panjangnya 120 m saat diam. Berapa panjangnya menurut pengamat di Bumi ketika pesawat melaju $0,8c$?

Jawaban: m

Kunci: 72 m

Pembahasan: $L = L_0 \sqrt{1 - \beta^2} = 120 \times \sqrt{1 - 0,64} = 120 \times 0,6 = 72 \text{ m}$.

11. Lv 3 • Pejuang • Isian • Penjumlahan kecepatan • 30-3-03

Dua pesawat saling mendekat. Menurut Bumi, pesawat A bergerak $0,7c$ ke kanan dan pesawat B bergerak $0,7c$ ke kiri. Berapa kecepatan B menurut awak pesawat A, dalam satuan c ?

Jawaban: c

Kunci: 0,94 c

Pembahasan: Gunakan penjumlahan kecepatan relativistik dengan kedua besar kecepatan $0,7c$:

$$u = \frac{0,7 + 0,7}{1 + 0,7 \times 0,7} c = \frac{1,4}{1,49} c \approx 0,940c.$$

Menurut Galileo hasilnya $1,4c$, yang mustahil.

12. Lv 3 • Pejuang • Isian • Energi kinetik relativistik • 30-3-04

Sebuah elektron (energi diam $mc^2 = 0,511 \text{ MeV}$) bergerak dengan kecepatan $0,6c$. Hitung energi kinetiknya dalam MeV.

Jawaban: MeV

Kunci: 0,128 MeV

Pembahasan: $\gamma = 1,25$.

$$E_k = (\gamma - 1)mc^2 = 0,25 \times 0,511 = 0,128 \text{ MeV}.$$

Rumus Newton $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 0,511 \times 0,36 = 0,092 \text{ MeV}$ memberi hasil 28% terlalu kecil. Pada kecepatan setinggi ini, rumus Newton tidak lagi cukup.

Lv 4 • IGCSE gaya Cambridge IGCSE

13. Lv 4 • IGCSE • Uraian • Muon • gaya IGCSE • 30-4-01

Muon terbentuk di atmosfer atas pada ketinggian sekitar 15 km dan bergerak dengan kecepatan $0,998c$. Umur rata-rata muon yang diam adalah $2,2 \mu\text{s}$.

(a) Hitung jarak yang dapat ditempuh muon dalam $2,2 \mu\text{s}$ tanpa memperhitungkan relativitas.

(b) Jelaskan mengapa banyak muon tetap terdeteksi di permukaan laut. [4 poin]

Kunci/rubrik: (a) [1] $d = vt = 0,998 \times 3,0 \times 10^8 \times 2,2 \times 10^{-6} \approx 660 \text{ m}$. [1] Jarak ini jauh lebih kecil daripada 15 km, sehingga hampir semua muon seharusnya sudah meluruh.

(b) [1] Menurut pengamat di Bumi, waktu muon mengalami dilatasi: umurnya menjadi $\gamma \times 2,2 \mu\text{s} \approx 35 \mu\text{s}$ ($\gamma \approx 15,8$), cukup untuk menempuh sekitar 10 km. [1] Menurut muon, tebal atmosfer menyusut (kontraksi panjang) menjadi sekitar 1 km. Kedua penjelasan memberi hasil yang sama.

Pembahasan: Poin penuh membutuhkan perhitungan (a) dan minimal satu penjelasan relativistik yang tepat (dilatasi waktu atau kontraksi panjang) disertai angka.

Seorang siswa membuat tabel faktor Lorentz:

v/c	0,50	0,80	0,95	0,99
γ	1,15	1,67	X	7,09

Hitung nilai X.

Jawaban:

Kunci: 3,2

Pembahasan: $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - 0,95^2}} = \frac{1}{\sqrt{0,0975}} \approx 3,20$.

Perhatikan pola datanya: dari 0,95c ke 0,99c, γ melonjak lebih dari dua kali lipat.

Nyatakan besaran yang nilainya **sama** menurut semua pengamat inersia.

- A. Kelajuan cahaya dalam ruang hampa
- B. Selang waktu antara dua kejadian
- C. Panjang sebuah benda
- D. Energi kinetik sebuah benda

Kunci: A

Pembahasan: Postulat kedua Einstein: kelajuan cahaya dalam ruang hampa sama bagi semua pengamat inersia. Selang waktu (dilatasi), panjang (kontraksi), dan energi kinetik bergantung pada kerangka acuan pengamat.

Gabungan efek relativitas membuat jam satelit GPS lebih cepat sekitar 38 μ s setiap hari. Hitung kesalahan jarak (dalam km) yang terkumpul dalam satu hari jika efek ini tidak dikoreksi. ($c = 3,0 \times 10^8$ m/s)

Jawaban: km

Kunci: 11,4 km

Pembahasan: Penerima menghitung jarak dari waktu tempuh sinyal: $d = c \Delta t$.

$d = 3,0 \times 10^8 \times 38 \times 10^{-6} = 1,14 \times 10^4$ m $\approx$ 11,4 km.

Dalam seminggu, kesalahannya sudah lebih dari 70 km!

Lv 5 • IB DP gaya IB Physics

Muon dengan umur rata-rata diam 2,2 μ s bergerak dengan kecepatan 0,995c. Hitung jarak rata-rata yang ditempuhnya sebelum meluruh menurut pengamat di Bumi, dalam km. ($c = 3,0 \times 10^8$ m/s)

Jawaban: km

Kunci: 6,58 km

Pembahasan: $\gamma = 1/\sqrt{1 - 0,995^2} \approx 10,0$.

Umur menurut Bumi: $\gamma\tau_0 \approx 22,0$ μ s.

Jarak: $d = v\gamma\tau_0 = 0,995 \times 3,0 \times 10^8 \times 22,0 \times 10^{-6} \approx 6,6 \times 10^3$ m $\approx$ 6,6 km.

Asumsi: kecepatan muon tetap selama perjalanan.

18. Lv 5 • IB DP • Uraian • Paradoks kembar • gaya IB • 30-5-02

Rika terbang dari Bumi ke sebuah bintang yang berjarak 6,0 tahun cahaya (menurut Bumi) dengan kecepatan tetap $0,60c$, lalu langsung kembali dengan kecepatan yang sama. Kembarannya, Raka, tetap di Bumi.

- Hitung lama perjalanan menurut Raka.
- Hitung lama perjalanan menurut jam Rika.
- Hitung jarak Bumi-bintang menurut Rika selama perjalanan pergi.
- Jelaskan mengapa situasi kedua kembar tidak simetris, padahal menurut Rika Bumilah yang bergerak.

Kunci/rubrik: (a) $\Delta t = 2 \times 6,0/0,60 = 20$ tahun.

(b) $\gamma = 1,25$, $\Delta t_0 = 20/1,25 = 16$ tahun.

(c) $L = 6,0/1,25 = 4,8$ tahun cahaya (kontraksi panjang). Cek: $4,8/0,60 = 8$ tahun sekali jalan, total 16 tahun. Cocok dengan (b)!

(d) Raka berada di satu kerangka inersia sepanjang waktu. Rika harus berbalik di bintang, artinya ia berpindah dari kerangka inersia "pergi" ke kerangka inersia "pulang" (mengalami percepatan). Karena itu rumus dilatasi waktu tidak bisa diterapkan secara simetris dari sudut pandang Rika.

Pembahasan: Poin penting di (c): perhitungan dari kerangka Rika (jarak menyusut) dan dari kerangka Bumi (waktu malar) harus memberi waktu diri yang sama. Ini cara yang baik untuk mengecek jawaban.

19. Lv 5 • IB DP • Isian • Energi relativistik • gaya IB • 30-5-03

Sebuah proton ($mc^2 = 938$ MeV) dipercepat hingga energi kinetiknya juga 938 MeV. Tentukan kecepatannya sebagai pecahan c .

Jawaban: c

Kunci: 0,866 c

Pembahasan: $E_k = (\gamma - 1)mc^2 \Rightarrow \gamma = 1 + \frac{938}{938} = 2$.

$\beta = \sqrt{1 - 1/\gamma^2} = \sqrt{1 - 0,25} = \sqrt{0,75} \approx 0,866$.

Rumus Newton akan memberi $v = \sqrt{2E_k/m} = \sqrt{2}c$, lebih cepat dari cahaya. Jelas keliru!

20. Lv 5 • IB DP • Pilihan ganda • Grafik energi kinetik • gaya IB • 30-5-04

Grafik energi kinetik E_k terhadap kecepatan v dibuat untuk sebuah elektron, memakai rumus Newton ($\frac{1}{2}mv^2$) dan rumus relativistik ($(\gamma - 1)mc^2$). Pernyataan yang benar adalah...

- kedua grafik berimpit di semua kecepatan
- grafik relativistik naik tanpa batas saat $v \rightarrow c$, sedangkan grafik Newton hanya mencapai $\frac{1}{2}mc^2$ di $v = c$
- grafik relativistik selalu berada di bawah grafik Newton
- grafik Newton naik tanpa batas saat $v \rightarrow c$

Kunci: B

Pembahasan: Untuk $v \ll c$, kedua grafik hampir berimpit karena $(\gamma - 1)mc^2 \approx \frac{1}{2}mv^2$. Makin cepat, grafik relativistik makin di atas, dan naik menuju tak hingga saat $v \rightarrow c$. Inilah alasan tidak ada benda bermassa yang bisa mencapai c .

21. Lv 6 • Olimpiade • Isian • Roket bertingkat • gaya olimpiade • 30-6-01

Sebuah roket meninggalkan Bumi dengan kecepatan $0,5c$. Dari roket itu diluncurkan roket kedua dengan kecepatan $0,5c$ relatif terhadap roket pertama, searah. Dari roket kedua diluncurkan roket ketiga dengan kecepatan $0,5c$ relatif terhadap roket kedua, juga searah. Berapa kecepatan roket ketiga relatif terhadap Bumi, dalam satuan c ?

Jawaban: c

Kunci: 0,929 c

Pembahasan: Roket kedua: $u_2 = \frac{0,5 + 0,5}{1 + 0,25} = 0,8c$.

Roket ketiga: $u_3 = \frac{0,8 + 0,5}{1 + 0,4} = \frac{1,3}{1,4} \approx 0,929c$.

Cara elegan: definisikan *rapiditas* ϕ dengan $\beta = \tanh \phi$. Rapiditas bisa **dijumlahkan** biasa! $\phi_1 = \operatorname{artanh} 0,5 = 0,549$, jadi setelah tiga tahap $\beta = \tanh(3 \times 0,549) = \tanh 1,648 \approx 0,929$. Berapa pun banyaknya tahap, β mendekati 1 tetapi tidak pernah mencapainya.

22. Lv 6 • Olimpiade • Isian • Peluruhan muon • gaya olimpiade • 30-6-02

Sebanyak 1.000 muon terbentuk pada ketinggian 10 km dan bergerak lurus ke bawah dengan kecepatan $0,99c$. Umur rata-rata muon diam $2,2 \mu\text{s}$. Berapa muon yang diperkirakan masih ada saat mencapai permukaan laut? ($c = 3,0 \times 10^8 \text{ m/s}$)

Jawaban: muon

Kunci: 115 muon

Pembahasan: Jumlah muon berkurang eksponensial: $N = N_0 e^{-t/(\gamma\tau_0)}$.

$\gamma = 7,09$. Jarak rata-rata sebelum meluruh: $\lambda = v\gamma\tau_0 = 0,99 \times 3,0 \times 10^8 \times 7,09 \times 2,2 \times 10^{-6} \approx 4,63 \text{ km}$.

$N = 1000 e^{-10/4,63} = 1000 e^{-2,16} \approx 115 \text{ muon}$.

Tanpa relativitas: $\lambda = 0,65 \text{ km}$, sehingga $N = 1000 e^{-15,3} \approx 0,0002$. Praktis tidak ada!

23. Lv 6 • Olimpiade • Uraian • Relativitas keserentakan • gaya olimpiade • 30-6-03

Menurut pengamat di tanah, dua petir menyambar ujung belakang (A) dan ujung depan (B) sebuah kereta super cepat **pada saat yang sama**. Jarak A–B menurut tanah 300 m. Kereta melaju $0,60c$ dari A ke arah B.

- Menurut penumpang kereta, petir mana yang menyambar lebih dulu? Jelaskan secara kualitatif.
- Gunakan transformasi Lorentz untuk menghitung selisih waktu kedua sambaran menurut penumpang.
- Jelaskan mengapa hasil ini tidak melanggar sebab-akibat.

Kunci/rubrik: (a) Sambaran B (depan) lebih dulu. Penumpang bergerak menuju B dan menjauhi A. Dalam kerangka kereta, cahaya dari kedua sambaran merambat dengan kelajuan c yang sama, dan penumpang di tengah melihat kilatan B lebih dulu. Karena jarak kedua titik ke tengah kereta sama (menurut kereta), ia menyimpulkan B memang terjadi lebih dulu.

(b) $\Delta t' = \gamma \left(\Delta t - \frac{v\Delta x}{c^2} \right)$ dengan $\Delta t = 0$, $\Delta x = x_B - x_A = 300 \text{ m}$: $\Delta t' = -1,25 \times \frac{0,60 \times 300}{3,0 \times 10^8} = -7,5 \times 10^{-7} \text{ s}$.

Jadi B terjadi $0,75 \mu\text{s}$ lebih dulu daripada A.

(c) Kedua kejadian terpisah jarak 300 m pada waktu yang sama (menurut tanah), sehingga tidak ada sinyal, termasuk cahaya, yang bisa merambat dari satu kejadian ke kejadian lain. Keduanya tidak mungkin saling memengaruhi, jadi urutan waktunya boleh berbeda bagi pengamat yang berbeda.

Pembahasan: Kejadian semacam ini disebut terpisah 'mirip-ruang' ($(c\Delta t)^2 - (\Delta x)^2 < 0$). Untuk kejadian yang bisa saling memengaruhi, urutan waktunya sama bagi semua pengamat.

Daya pancar Matahari $3,83 \times 10^{26}$ W, massanya $2,0 \times 10^{30}$ kg, dan umurnya 4,6 miliar tahun (1 tahun = $3,156 \times 10^7$ s). Anggap dayanya selalu tetap. Berapa persen massa Matahari yang sudah berubah menjadi energi pancaran selama hidupnya? ($c = 3,0 \times 10^8$ m/s)

Jawaban: %

Kunci: 0,0309 %

Pembahasan: Laju kehilangan massa: $\frac{\Delta m}{\Delta t} = \frac{P}{c^2} = \frac{3,83 \times 10^{26}}{9,0 \times 10^{16}} \approx 4,26 \times 10^9$ kg/s (± 4 juta ton per detik).

Waktu: $4,6 \times 10^9 \times 3,156 \times 10^7 \approx 1,45 \times 10^{17}$ s.

Massa total: $\approx 6,2 \times 10^{26}$ kg, yaitu $\frac{6,2 \times 10^{26}}{2,0 \times 10^{30}} \times 100\% \approx 0,031\%$.

Matahari baru "menghabiskan" sekitar 3 dari setiap 10.000 bagian massanya. Kenyataannya Matahari muda sedikit lebih redup, jadi angka sebenarnya sedikit lebih kecil.

Lv 1 • Pemula SD-SMP awal

1. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Penyusun inti • 31-1-01

Inti atom tersusun dari...

- A. proton dan elektron
- B. proton dan neutron
- C. neutron dan elektron
- D. elektron saja

Kunci: B

Pembahasan: Inti berisi proton (bermuatan positif) dan neutron (netral). Elektron berada di luar inti, membentuk awan elektron.

2. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Daya tembus • 31-1-02

Sinar radioaktif yang daya tembusnya paling kuat adalah...

- A. alfa
- B. beta
- C. gamma
- D. semuanya sama

Kunci: C

Pembahasan: Gamma adalah gelombang elektromagnetik berenergi tinggi tanpa muatan dan tanpa massa, sehingga paling sulit dihentikan. Diperlukan timbal tebal atau beton untuk melemahkannya. Alfa sudah tertahan selembar kertas.

3. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Isotop • 31-1-03

Isotop adalah atom-atom yang memiliki...

- A. jumlah proton sama tetapi jumlah neutron berbeda
- B. jumlah neutron sama tetapi jumlah proton berbeda
- C. nomor massa sama tetapi unsurnya berbeda
- D. jumlah elektron berbeda

Kunci: A

Pembahasan: Isotop: proton sama (unsurnya sama), neutron berbeda. Contoh: karbon-12 dan karbon-14 sama-sama punya 6 proton, tetapi neutronnya 6 dan 8.

4. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Energi Matahari • 31-1-04

Matahari menghasilkan energinya melalui...

- A. pembakaran batu bara raksasa
- B. pembelahan inti uranium (fisi)
- C. reaksi kimia dengan oksigen
- D. penggabungan inti hidrogen menjadi helium (fusi)

Kunci: D

Pembahasan: Di inti Matahari yang sangat panas, inti-inti hidrogen bergabung menjadi helium. Massa yang sedikit berkurang berubah menjadi energi sesuai $E = mc^2$.

Lv 2 • Penjelajah SMP (Fase D)

5. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Jumlah neutron • 31-2-01

Berapa jumlah neutron di dalam inti ${}_{92}^{235}\text{U}$?

Jawaban: neutron

Kunci: 143 neutron**Pembahasan:** $N = A - Z = 235 - 92 = 143$ neutron. Inti ini juga memiliki 92 proton.

6. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Waktu paruh • 31-2-02

Sebuah sampel radioaktif bermassa 64 g memiliki waktu paruh 5 hari. Berapa gram yang belum meluruh setelah 20 hari?

Jawaban: g

Kunci: 4 g**Pembahasan:** 20 hari = 4 waktu paruh. $64 \rightarrow 32 \rightarrow 16 \rightarrow 8 \rightarrow 4$ g.Atau dengan rumus: $N = 64 \times \left(\frac{1}{2}\right)^4 = 4$ g.

7. Lv 2 • Penjelajah • Pilihan ganda • Peluruhan alfa • 31-2-03

Inti polonium ${}_{84}^{210}\text{Po}$ meluruh dengan memancarkan partikel alfa. Inti hasilnya adalah...A. ${}_{85}^{210}\text{At}$ C. ${}_{82}^{206}\text{Pb}$ B. ${}_{84}^{206}\text{Po}$ D. ${}_{82}^{210}\text{Pb}$ **Kunci: C****Pembahasan:** Alfa = ${}^4_2\text{He}$. Nomor massa berkurang 4 ($210 \rightarrow 206$) dan nomor atom berkurang 2 ($84 \rightarrow 82$). Unsur dengan $Z = 82$ adalah timbal (Pb).

8. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Energi dari defek massa • 31-2-04

Defek massa sebuah inti adalah 0,0304 u. Jika 1 u setara 931,5 MeV, berapa energi ikat inti itu?

Jawaban: MeV

Kunci: 28,3 MeV**Pembahasan:** $E = 0,0304 \times 931,5 \approx 28,3$ MeV. Ini kira-kira energi ikat inti helium-4.**Lv 3 • Pejuang SMA • TKA/UTBK**

9. Lv 3 • Pejuang • Isian • Penanggalan karbon • 31-3-01

Sepotong kayu kuno mengandung karbon-14 sebanyak 12,5% dari kadar kayu yang masih hidup. Waktu paruh karbon-14 adalah 5.730 tahun. Berapa umur kayu itu?

Jawaban: tahun

Kunci: 17.190 tahun**Pembahasan:** $12,5\% = \frac{1}{8} = \left(\frac{1}{2}\right)^3$, jadi sudah 3 waktu paruh.Umur = $3 \times 5.730 = 17.190$ tahun.

10. Lv 3 • Pejuang • Isian • Aktivitas • 31-3-02

Sebuah sumber sesium-137 berisi $2,0 \times 10^{20}$ inti radioaktif. Waktu paruh Cs-137 adalah 30 tahun (1 tahun = $3,156 \times 10^7$ s). Hitung aktivitasnya dalam becquerel.

Jawaban: Bq

Kunci: $1,46 \times 10^{11}$ Bq

Pembahasan: $\lambda = \frac{0,693}{30 \times 3,156 \times 10^7 \text{ s}} = 7,32 \times 10^{-10} \text{ s}^{-1}$.

$A = \lambda N = 7,32 \times 10^{-10} \times 2,0 \times 10^{20} \approx 1,46 \times 10^{11} \text{ Bq}$.

11. Lv 3 • Pejuang • Pilihan ganda • Peluruhan beta • 31-3-03

Iodin-131 ($^{131}_{53}\text{I}$) yang dipakai dalam terapi tiroid meluruh dengan memancarkan partikel beta minus. Inti hasilnya adalah...

A. $^{131}_{52}\text{Te}$

C. $^{130}_{53}\text{I}$

B. $^{127}_{51}\text{Sb}$

D. $^{131}_{54}\text{Xe}$

Kunci: D

Pembahasan: Pada peluruhan β^- , sebuah neutron berubah menjadi proton: A tetap 131 dan Z naik dari 53 ke 54. Unsur dengan $Z = 54$ adalah xenon.

12. Lv 3 • Pejuang • Isian • Energi ikat per nukleon • 31-3-04

Inti karbon-12 bermassa 11,996706 u. Massa proton 1,007276 u dan neutron 1,008665 u (1 u setara 931,5 MeV). Hitung energi ikat per nukleon inti karbon-12.

Jawaban: MeV

Kunci: 7,68 MeV

Pembahasan: Massa penyusun: $6(1,007276) + 6(1,008665) = 12,095646 \text{ u}$.

$\Delta m = 12,095646 - 11,996706 = 0,098940 \text{ u}$.

$E = 0,098940 \times 931,5 \approx 92,2 \text{ MeV}$.

Per nukleon: $92,2/12 \approx 7,68 \text{ MeV}$.

Lv 4 • IGCSE gaya Cambridge IGCSE

13. Lv 4 • IGCSE • Uraian • Pengukur ketebalan • gaya IGCSE • 31-4-01

Pabrik kertas memantau ketebalan lembaran kertas dengan sebuah sumber radioaktif di bawah lembaran dan detektor di atasnya.

(a) Nyatakan jenis radiasi yang paling cocok dan jelaskan alasannya.

(b) Jelaskan perubahan cacahan detektor jika kertas yang lewat menjadi terlalu tebal.

(c) Jelaskan mengapa sumber yang dipakai harus memiliki waktu paruh yang panjang. [5 poin]

Kunci/rubrik: (a) [1] Beta. [1] Alfa akan tertahan seluruhnya oleh kertas, sedangkan gamma menembus kertas hampir tanpa berkurang, sehingga perubahan ketebalan tidak terlihat. Beta sebagian diserap kertas, dan banyaknya bergantung pada ketebalan.

(b) [1] Kertas yang lebih tebal menyerap lebih banyak beta, sehingga cacahan detektor **turun**. [1] Sistem kendali lalu mengatur rol penekan agar kertas menjadi lebih tipis.

(c) [1] Agar aktivitas sumber hampir tetap selama bertahun-tahun, sehingga penurunan cacahan hanya disebabkan oleh perubahan ketebalan, bukan oleh peluruhan sumber.

Pembahasan: Ini contoh klasik pemakaian radioisotop di industri. Ingat urutan daya tembus: alfa (kertas) < beta (aluminium tipis) < gamma (timbal tebal).

14. Lv 4 • IGCSE • Isian • Data waktu paruh • gaya IGCSE • 31-4-02

Seorang siswa mengukur cacahan sebuah sumber radioaktif. Radiasi latarnya 20 cacah/menit.

Waktu (jam)	0	2	4	6
Cacahan terukur (cacah/menit)	820	420	220	120

Hitung waktu paruh sumber itu, dalam jam.

Jawaban: jam

Kunci: 2 jam

Pembahasan: Kurangi dulu radiasi latar: 800, 400, 200, 100 cacah/menit.

Setiap 2 jam, cacahan terkoreksi tinggal separuhnya. Jadi waktu paruh = 2 jam.

Jika radiasi latar lupa dikurangi, data mentah 820 → 420 tidak tepat separuh, dan hasil waktu paruh akan sedikit keliru.

15. Lv 4 • IGCSE • Pilihan ganda • Keselamatan • gaya IGCSE • 31-4-03

Nyatakan cara yang paling aman untuk memindahkan sumber radioaktif di laboratorium sekolah.

- A. Memegangnya langsung dengan tangan agar cepat selesai
- B. Memakai penjepit bergagang panjang dan menjauhkan sumber dari tubuh
- C. Memasukkannya ke saku baju sementara waktu
- D. Mendekatkannya ke mata agar labelnya terbaca

Kunci: B

Pembahasan: Penjepit panjang menambah **jarak** (intensitas turun sebanding $1/r^2$), dan pekerjaan dilakukan cepat untuk memperkecil **waktu**. Sumber disimpan di wadah timbal (**perisai**) saat tidak dipakai.

16. Lv 4 • IGCSE • Isian • Persamaan reaksi inti • gaya IGCSE • 31-4-04

Pada tahun 1919, Rutherford menembaki nitrogen dengan partikel alfa: ${}^{14}_7\text{N} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{17}_8\text{O} + \text{X}$. Hitung nomor massa partikel X.

Jawaban:

Kunci: 1

Pembahasan: Nomor massa: $14 + 4 = 17 + A_X \Rightarrow A_X = 1$.

Nomor atom: $7 + 2 = 8 + Z_X \Rightarrow Z_X = 1$.

Partikel dengan $A = 1$ dan $Z = 1$ adalah **proton**. Inilah reaksi transmutasi buatan pertama dalam sejarah, sekaligus bukti adanya proton di dalam inti.

17. Lv 5 • IB DP • Isian • Energi fisi • gaya IB • 31-5-01

Hitung energi yang dilepaskan pada reaksi fisi ${}_0^1\text{n} + {}_{92}^{235}\text{U} \rightarrow {}_{56}^{141}\text{Ba} + {}_{36}^{92}\text{Kr} + 3{}_0^1\text{n}$. Massa atom: U-235 = 235,043930 u; Ba-141 = 140,914411 u; Kr-92 = 91,926156 u; neutron = 1,008665 u; 1 u setara 931,5 MeV.

Jawaban: MeV

Kunci: 173,3 MeV

Pembahasan: Massa sebelum: $235,043930 + 1,008665 = 236,052595$ u.

Massa sesudah: $140,914411 + 91,926156 + 3(1,008665) = 235,866562$ u.

$\Delta m = 0,186033$ u $\rightarrow E = 0,186033 \times 931,5 \approx 173$ MeV.

Energi ini terutama berupa energi kinetik pecahan fisi. Peluruhan hasil fisi berikutnya menambah energi sehingga totalnya sekitar 200 MeV per fisi. Massa elektron saling menghapus karena jumlah elektron di kedua ruas sama ($92 = 56 + 36$).

18. Lv 5 • IB DP • Uraian • Analisis grafik peluruhan • gaya IB • 31-5-02

Aktivitas sebuah sampel (setelah dikoreksi radiasi latar) diukur setiap 10 menit:

t (menit)	0	10	20	30	40
A (Bq)	1000	707	500	354	250

(a) Jelaskan mengapa grafik $\ln A$ terhadap t berupa garis lurus.

(b) Tentukan kemiringan grafik itu dan hitung waktu paruh sampel.

(c) Seandainya radiasi latar *tidak* dikurangi, jelaskan pengaruhnya terhadap bentuk grafik dan nilai waktu paruh yang diperoleh.

Kunci/rubrik: (a) $A = A_0 e^{-\lambda t} \Rightarrow \ln A = \ln A_0 - \lambda t$, yaitu persamaan garis lurus dengan kemiringan $-\lambda$ dan titik potong $\ln A_0$.

(b) Kemiringan = $\frac{\ln 250 - \ln 1000}{40 - 0} = \frac{-1,386}{40} = -0,0347 \text{ menit}^{-1}$. $T_{1/2} = \ln 2 / \lambda = 0,693 / 0,0347 \approx 20$ menit (cocok dengan data: 1000 $\rightarrow$ 500 dalam 20 menit).

(c) Radiasi latar yang tetap menambah aktivitas terukur. Pengaruhnya makin terasa saat aktivitas sampel mengecil, sehingga grafik melengkung ke atas (tidak lagi lurus) dan kemiringannya mengecil. Akibatnya waktu paruh yang diperoleh lebih panjang daripada nilai sebenarnya.

Pembahasan: Teknik linearisasi seperti ini sering muncul di ujian IB: ubah hubungan eksponensial menjadi garis lurus, lalu baca besaran fisis dari kemiringan dan titik potong.

19. Lv 5 • IB DP • Isian • Penanggalan karbon • gaya IB • 31-5-03

Sebuah kain kuno mengandung karbon-14 sebanyak 30% dari kadar awalnya. Dengan waktu paruh 5.730 tahun, hitung umur kain itu.

Jawaban: tahun

Kunci: 9.950 tahun

Pembahasan: $\left(\frac{1}{2}\right)^{t/T} = 0,30 \Rightarrow \frac{t}{T} = \frac{\ln(1/0,30)}{\ln 2} = \frac{1,204}{0,693} = 1,737$.

$t = 1,737 \times 5.730 \approx 9.950$ tahun.

Model mengasumsikan kadar karbon-14 di atmosfer pada masa lalu sama dengan sekarang. Para ilmuwan mengoreksi asumsi ini dengan data cincin pohon.

20. Lv 5 • IB DP • Pilihan ganda • Hukum kuadrat terbalik • gaya IB • 31-5-04

Laju dosis pada jarak 1,0 m dari sebuah sumber gamma kecil adalah 80 $\mu\text{Sv/jam}$. Dengan mengabaikan serapan udara, laju dosis pada jarak 4,0 m adalah...

- A. 20 $\mu\text{Sv/jam}$ C. 5 $\mu\text{Sv/jam}$
B. 10 $\mu\text{Sv/jam}$ D. 1,25 $\mu\text{Sv/jam}$

Kunci: C

Pembahasan: Untuk sumber titik, intensitas $\propto 1/r^2$. Jarak menjadi 4 kali, sehingga laju dosis menjadi $1/16$ kali: $80/16 = 5 \mu\text{Sv/jam}$. Inilah alasan prinsip **jarak** sangat efektif dalam proteksi radiasi.

Lv 6 • Olimpiade • gaya OSN/IPhO

21. Lv 6 • Olimpiade • Isian • Energi alfa • gaya olimpiade • 31-6-01

Radium-226 yang diam meluruh menjadi radon-222 dengan memancarkan partikel alfa. Energi yang dilepaskan (nilai Q) adalah 4,87 MeV. Dengan kekekalan momentum, hitung energi kinetik partikel alfa. (Gunakan massa sebanding nomor massa.)

Jawaban: MeV

Kunci: 4,78 MeV

Pembahasan: Momentum: $p_\alpha = p_{\text{Rn}}$. Energi kinetik $K = p^2/2m$, jadi $K_\alpha/K_{\text{Rn}} = m_{\text{Rn}}/m_\alpha = 222/4$.

$$K_\alpha = Q \frac{222}{222 + 4} = 4,87 \times \frac{222}{226} \approx 4,78 \text{ MeV.}$$

Inti radon yang terpental membawa sisanya, $\pm 0,09$ MeV. Karena hanya ada dua benda, energi alfa selalu tunggal (garis tajam), berbeda dengan beta yang energinya tersebar karena ada antineutrino.

22. Lv 6 • Olimpiade • Isian • Penanggalan U-Pb • gaya olimpiade • 31-6-02

Sebuah kristal zirkon mengandung perbandingan inti Pb-206/U-238 = 0,25. Anggap semua Pb-206 berasal dari peluruhan U-238 (waktu paruh $4,47 \times 10^9$ tahun) dan kristal tidak pernah kehilangan atau mendapat tambahan uranium maupun timbal. Hitung umur kristal itu, dalam tahun.

Jawaban: tahun

Kunci: $1,44 \times 10^9$ tahun

Pembahasan: Jika sekarang tersisa N inti U, mula-mula ada $N + N_{\text{Pb}} = 1,25N$.

$$\frac{N}{N_0} = \frac{1}{1,25} = \left(\frac{1}{2}\right)^{t/T} \Rightarrow t = T \frac{\ln 1,25}{\ln 2} = 4,47 \times 10^9 \times 0,322 \approx 1,44 \times 10^9 \text{ tahun.}$$

Rantai peluruhan U-238 $\rightarrow$ Pb-206 punya banyak anak perantara, tetapi semuanya berwaktu paruh jauh lebih pendek sehingga boleh diabaikan untuk batuan setua ini.

23. Lv 6 • Olimpiade • Uraian • Umur Matahari • gaya olimpiade • 31-6-03

Massa Matahari $2,0 \times 10^{30}$ kg dan daya pancarnya $3,83 \times 10^{26}$ W. Pada fusi hidrogen menjadi helium, 0,7% massa hidrogen berubah menjadi energi. Anggap Matahari semula hampir seluruhnya hidrogen, tetapi hanya 10% massanya (yang berada di inti) yang cukup panas untuk mengalami fusi.

- Hitung energi total yang dapat dihasilkan.
- Perkirakan umur total Matahari sebagai bintang yang membakar hidrogen, dalam tahun.
- Sebutkan dua asumsi dalam model ini yang mungkin tidak tepat.

Kunci/rubrik: (a) $E = 0,007 \times 0,10 \times 2,0 \times 10^{30} \times (3,0 \times 10^8)^2 \approx 1,26 \times 10^{44}$ J.

(b) $t = E/P = 1,26 \times 10^{44} / 3,83 \times 10^{26} \approx 3,3 \times 10^{17}$ s $\approx 1,0 \times 10^{10}$ tahun, sekitar 10 miliar tahun. Karena umurnya sekarang 4,6 miliar tahun, Matahari kira-kira berada di pertengahan hidupnya.

(c) Contoh: daya pancar tidak tetap (Matahari muda lebih redup dan makin terang seiring waktu); komposisi awal sekitar 71% hidrogen, bukan 100%; batas 10% massa yang mengalami fusi hanya perkiraan kasar.

Pembahasan: Perkiraan kasar seperti ini disebut perhitungan ala Fermi. Hasilnya, sekitar 10 miliar tahun, sangat dekat dengan hasil model bintang yang jauh lebih rumit.

24. Lv 6 • Olimpiade • Isian • Satu curie • gaya olimpiade • 31-6-04

Satuan aktivitas lama, **curie**, mula-mula didefinisikan sebagai aktivitas 1 gram radium-226. Hitung aktivitas 1,0 g radium-226 (waktu paruh 1600 tahun, 1 tahun = $3,156 \times 10^7$ s, bilangan Avogadro $6,022 \times 10^{23}$ mol⁻¹, massa molar 226 g/mol), dalam becquerel.

Jawaban: Bq

Kunci: $3,66 \times 10^{10}$ Bq

Pembahasan: Jumlah inti: $N = \frac{1,0}{226} \times 6,022 \times 10^{23} = 2,66 \times 10^{21}$.

$$\lambda = \frac{0,693}{1600 \times 3,156 \times 10^7} = 1,37 \times 10^{-11} \text{ s}^{-1}$$

$$A = \lambda N \approx 3,66 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

Hasil ini sangat dekat dengan definisi resmi 1 Ci = $3,7 \times 10^{10}$ Bq. Satuan ini dinamai untuk menghormati Marie dan Pierre Curie.

Lv 1 • Pemula SD-SMP awal

1. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Semikonduktor • 32-1-01

Bahan semikonduktor yang paling banyak dipakai untuk membuat cip HP dan komputer adalah...

- | | |
|------------|------------|
| A. tembaga | C. plastik |
| B. silikon | D. kaca |

Kunci: B

Pembahasan: Silikon adalah semikonduktor: daya hantarnya berada di antara konduktor dan isolator, dan bisa diatur dengan doping. Tembaga adalah konduktor (dipakai untuk kabel), sedangkan plastik dan kaca adalah isolator.

2. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Bilangan biner • 32-1-02

Komputer menyimpan dan mengolah data memakai bilangan biner. Angka apa saja yang dipakai dalam bilangan biner?

- | | |
|-----------------|-----------------|
| A. 0 dan 1 saja | C. 1 dan 2 saja |
| B. 0 sampai 9 | D. 0, 1, dan 2 |

Kunci: A

Pembahasan: Biner adalah sistem bilangan basis 2, hanya memakai angka 0 dan 1. Ini cocok dengan saklar (transistor) yang hanya punya dua keadaan: mati (0) atau nyala (1).

3. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Sensor • 32-1-03

Lampu taman yang menyala sendiri saat hari mulai gelap biasanya dilengkapi sensor yang mendeteksi...

- | | |
|----------|------------|
| A. suara | C. cahaya |
| B. bau | D. getaran |

Kunci: C

Pembahasan: Sensor cahaya (misalnya LDR) mendeteksi terang atau gelap. Saat cahaya berkurang, rangkaian logika memutuskan untuk menyalakan lampu.

4. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Dioda • 32-1-04

Komponen elektronik yang hanya membiarkan arus listrik mengalir ke **satu arah** disebut...

- | | |
|--------------|-----------|
| A. resistor | C. saklar |
| B. kapasitor | D. dioda |

Kunci: D

Pembahasan: Dioda bekerja seperti pintu putar satu arah: arus mengalir saat bias maju (dari anoda ke katoda) dan tertahan saat bias mundur. Sifat ini dipakai untuk menyearahkan arus bolak-balik.

Lv 2 • Penjelajah SMP (Fase D)

5. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Biner ke desimal • 32-2-01

Ubah bilangan biner 1101_2 ke bilangan desimal.

Jawaban:

Kunci: 13**Pembahasan:** Nilai tempat dari kanan: 1, 2, 4, 8.

$$1101_2 = 1 \cdot 8 + 1 \cdot 4 + 0 \cdot 2 + 1 \cdot 1 = 13.$$

6. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Tegangan puncak • 32-2-02

Sebuah trafo menghasilkan tegangan bolak-balik dengan nilai efektif (rms) 6,0 V. Berapa tegangan puncaknya?

Jawaban: V

Kunci: 8,49 V**Pembahasan:** Untuk tegangan sinus, $V_{\text{maks}} = \sqrt{2} V_{\text{rms}} = 1,414 \times 6,0 \approx 8,49 \text{ V}$.

7. Lv 2 • Penjelajah • Pilihan ganda • Gerbang NOR • 32-2-03

Sebuah gerbang NOR diberi masukan A = 0 dan B = 0. Keluarannya adalah...

A. 0

C. tergantung tegangan baterai

B. 1

D. 2

Kunci: B**Pembahasan:** NOR = OR yang dibalik. OR dari 0 dan 0 adalah 0, lalu dibalik menjadi 1. NOR bernilai 1 hanya jika semua masukannya 0.

8. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Penguatan transistor • 32-2-04

Sebuah transistor memiliki penguatan arus $\beta = 150$. Arus basisnya 0,04 mA. Berapa arus kolektornya?

Jawaban: mA

Kunci: 6 mA**Pembahasan:** $I_C = \beta I_B = 150 \times 0,04 \text{ mA} = 6 \text{ mA}$. Arus kecil di basis mengendalikan arus 150 kali lebih besar.**Lv 3 • Pejuang SMA • TKA/UTBK**

9. Lv 3 • Pejuang • Isian • Resistor LED • 32-3-01

Sebuah LED biru bertegangan maju 3,2 V akan dinyalakan dari baterai 9,0 V dengan arus 20 mA. Berapa hambatan resistor seri yang diperlukan?

Jawaban: Ω **Kunci: 290 Ω** **Pembahasan:** Tegangan pada resistor: $9,0 - 3,2 = 5,8 \text{ V}$.

$$R = \frac{5,8 \text{ V}}{0,020 \text{ A}} = 290 \Omega.$$

Di toko, pilih nilai standar sedikit di atasnya, misalnya 330 Ω , agar LED lebih awet.

10. Lv 3 • Pejuang • Isian • Penyearah jembatan • 32-3-02

Trafo 12 V (rms) dihubungkan ke penyearah jembatan dari dioda silikon (0,7 V per dioda), lalu diberi kapasitor besar. Perkirakan tegangan DC keluarannya saat bebannya kecil.

Jawaban: V

Kunci: 15,57 V

Pembahasan: Puncak tegangan trafo: $12\sqrt{2} = 16,97$ V.

Arus melewati 2 dioda: $2 \times 0,7 = 1,4$ V hilang.

$V_{dc} \approx 16,97 - 1,4 = 15,57$ V.

11. Lv 3 • Pejuang • Pilihan ganda • Ekspresi logika • 32-3-03

Lampu L dikendalikan oleh rangkaian $L = (A \cdot B) + \overline{C}$. Untuk $A = 1$, $B = 0$, dan $C = 1$, lampu...

- A. menyala, karena $A = 1$
- B. mati, karena kedua bagian bernilai 0
- C. menyala, karena $C = 1$
- D. tidak bisa ditentukan tanpa tegangan

Kunci: B

Pembahasan: $A \cdot B = 1 \cdot 0 = 0$.

$\overline{C} = \overline{1} = 0$.

$L = 0 + 0 = 0$: lampu mati.

12. Lv 3 • Pejuang • Isian • Kapasitas bit • 32-3-04

Sebuah sensor suhu digital mengirim hasilnya dalam bentuk bilangan biner 10 bit. Berapa bilangan desimal **terbesar** yang dapat dikirim?

Jawaban:

Kunci: 1.023

Pembahasan: 10 bit memberi $2^{10} = 1024$ kemungkinan nilai, yaitu 0 sampai 1023.

Nilai terbesar: $1111111111_2 = 2^{10} - 1 = 1023$.

Lv 4 • IGCSE gaya Cambridge IGCSE

13. Lv 4 • IGCSE • Uraian • Penyearah • gaya IGCSE • 32-4-01

Jelaskan (*explain*) bagaimana sebuah dioda pada penyearah setengah gelombang mengubah arus bolak-balik menjadi arus searah. Sketsakan grafik tegangan keluaran terhadap waktu. [3 poin]

Kunci/rubrik:

1. Dioda hanya menghantarkan arus ke satu arah (saat bias maju).
2. Pada setengah siklus positif, dioda menghantar sehingga arus mengalir melalui beban; pada setengah siklus negatif, dioda bias mundur sehingga hampir tidak ada arus.
3. Sketsa: denyut-denyut setengah sinus di atas sumbu waktu, dengan jeda nol di antaranya (arus selalu searah, tetapi tidak rata).

Pembahasan: Satu poin untuk sifat satu arah, satu poin untuk penjelasan tiap setengah siklus, satu poin untuk sketsa denyut setengah gelombang. Jika ditambah kapasitor, keluarannya menjadi lebih rata dengan sedikit riak.

14. Lv 4 • IGCSE • Pilihan ganda • Tabel kebenaran • gaya IGCSE • 32-4-02

Seorang siswa menguji sebuah gerbang logika (*logic gate*) yang labelnya terhapus dan mencatat hasilnya:

A	B	keluaran
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Nyatakan (*state*) jenis gerbang tersebut.

- A. AND
- B. OR
- C. NAND
- D. NOR

Kunci: C
Pembahasan: Keluaran bernilai 0 hanya ketika kedua masukan 1. Itu kebalikan dari AND, yaitu NAND.

15. Lv 4 • IGCSE • Isian • Pembagi tegangan LDR • gaya IGCSE • 32-4-03

Hambatan sebuah LDR diukur pada beberapa tingkat cahaya:

Cahaya (lux)	10	100	1000
Hambatan LDR (kΩ)	50	8,0	1,0

LDR dirangkai seri dengan resistor tetap 10 kΩ pada sumber 6,0 V. Hitung (*calculate*) tegangan pada LDR saat cahaya 100 lux.

Jawaban: V

Kunci: 2,67 V
Pembahasan: Hambatan total: $8,0 + 10 = 18 \text{ k}\Omega$.
 $V_{\text{LDR}} = 6,0 \times \frac{8,0}{18} \approx 2,67 \text{ V}$.
Saat makin gelap, hambatan LDR naik sehingga bagian tegangannya juga naik. Inilah dasar sensor lampu otomatis.

16. Lv 4 • IGCSE • Uraian • Merancang sistem alarm • gaya IGCSE • 32-4-04

Alarm rumah (Z) harus berbunyi jika pintu terbuka ($P = 1$) **dan** alarm sedang diaktifkan ($S = 1$), **atau** jika tombol darurat ditekan ($D = 1$).

- Tuliskan ekspresi logika untuk Z. [1]
- Nyatakan gerbang-gerbang yang diperlukan. [2]
- Lengkapi tabel kebenaran untuk 8 kombinasi P, S, D. [2]

Kunci/rubrik: (a) $Z = (P \cdot S) + D$.

(b) Satu gerbang AND untuk P dan S, lalu keluarannya bersama D masuk ke satu gerbang OR.

(c) $Z = 1$ untuk $(P,S,D) = (0,0,1), (0,1,1), (1,0,1), (1,1,0), (1,1,1)$; $Z = 0$ untuk $(0,0,0), (0,1,0), (1,0,0)$.

Pembahasan: Cara cepat mengisi tabel: setiap baris dengan $D = 1$ pasti $Z = 1$. Dari baris dengan $D = 0$, hanya $P = S = 1$ yang menghasilkan $Z = 1$. Jadi ada $4 + 1 = 5$ baris bernilai 1.

Lv 5 • IB DP • gaya IB Physics

17. Lv 5 • IB DP • Isian • Riak penyearah • gaya IB • 32-5-01

Penyearah gelombang penuh (listrik 50 Hz, sehingga denyut 100 kali per detik) memberi tegangan puncak 15 V pada beban 300 Ω . Kapasitor 2200 μF dipasang paralel dengan beban. Dengan pendekatan $V_r \approx$

$\frac{V_p}{f_r RC}$, perkirakan tegangan riak puncak-ke-puncak.

Jawaban: V

Kunci: 0,227 V

Pembahasan: $V_r \approx \frac{15}{100 \times 300 \times 2,2 \times 10^{-3}} = \frac{15}{66} \approx 0,23 \text{ V}$.

Asumsi: kapasitor melepas muatan hampir linear selama satu periode denyut (berlaku jika $RC \gg 1/f_r$; di sini $RC = 0,66 \text{ s}$ jauh lebih besar dari 0,01 s).

18. Lv 5 • IB DP • Isian • Warna LED dan celah pita • gaya IB • 32-5-02

Sebuah LED merah memancarkan cahaya dengan panjang gelombang 630 nm. Perkirakan celah pita bahan semikonduktornya dalam elektronvolt. ($h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J s}$, $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m/s}$, $e = 1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$)

Jawaban: eV

Kunci: 1,97 eV

Pembahasan: $E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6,63 \times 10^{-34} \times 3,00 \times 10^8}{630 \times 10^{-9}} = 3,16 \times 10^{-19} \text{ J}$.

Dalam eV: $\frac{3,16 \times 10^{-19}}{1,60 \times 10^{-19}} \approx 1,97 \text{ eV}$.

Cocok dengan tegangan maju LED merah yang sekitar 2 V.

Data arus sebuah dioda silikon pada bias maju:

V (V)	0,20	0,40	0,50	0,60	0,65	0,70
I (mA)	0,00	0,02	0,20	2,0	6,5	20

- (a) Sketsakan grafik I-V dan perkirakan tegangan ambangnya.
 (b) Hitung hambatan dioda ($R = V/I$) pada 0,50 V dan pada 0,70 V. Apakah dioda mematuhi hukum Ohm? Jelaskan.
 (c) Data mana yang paling dipengaruhi ketidakpastian pembacaan ammeter $\pm 0,01$ mA? Jelaskan dampaknya.

Kunci/rubrik: (a) Kurva hampir nol sampai $\pm 0,5$ V, lalu naik sangat curam (eksponensial). Tegangan ambang $\pm 0,6$ – $0,7$ V.

(b) Pada 0,50 V: $R = 0,50/0,20 \times 10^{-3} = 2500 \Omega$. Pada 0,70 V: $R = 0,70/0,020 = 35 \Omega$. Hambatannya berubah sangat besar, jadi dioda **tidak** ohmik (grafik I-V bukan garis lurus melalui titik asal).

(c) Titik 0,40 V (0,02 mA): ketidakpastian $\pm 0,01$ mA berarti $\pm 50\%$. Titik-titik arus kecil sangat tidak pasti, sehingga bagian awal kurva (dan hambatan yang dihitung di sana) kurang dapat dipercaya; perlu ammeter yang lebih peka.

Pembahasan: Kunci analisis: hambatan pada sebuah titik dihitung dengan V/I , sedangkan kemiringan grafik I-V yang berubah menunjukkan komponen non-ohmik. Ketidakpastian relatif = ketidakpastian absolut dibagi nilai terukur, jadi paling besar pada arus paling kecil.

Pada sebuah rangkaian, LDR dipasang di bagian **atas** pembagi tegangan (antara +5 V dan titik tengah), resistor tetap di bagian bawah (antara titik tengah dan 0 V). Titik tengah dihubungkan ke basis transistor yang menyalakan lampu. Rangkaian ini menyalakan lampu saat terang. Agar lampu menyala saat **gelap**, perubahan yang tepat adalah...

- A. mengganti LDR dengan resistor biasa
- B. menaikkan tegangan sumber menjadi 12 V
- C. menukar posisi LDR dan resistor tetap
- D. memasang dioda seri dengan lampu

Kunci: C

Pembahasan: Tegangan basis = tegangan pada komponen bawah. Jika LDR di bawah, saat gelap hambatannya naik sehingga tegangan pada LDR (titik tengah) naik, transistor terbuka, dan lampu menyala. Jadi LDR dan resistor tetap cukup ditukar.

21. Lv 6 • Olimpiade • Isian • Banyaknya fungsi logika • gaya olimpiade • 32-6-01

Sebuah "gerbang misterius" memiliki 3 masukan dan 1 keluaran. Berapa banyak gerbang berbeda (tabel kebenaran berbeda) yang mungkin dibuat?

Jawaban:

Kunci: 256

Pembahasan: Tiga masukan memberi $2^3 = 8$ baris. Setiap baris keluarannya bisa 0 atau 1 secara bebas, jadi ada $2^8 = 256$ tabel kebenaran berbeda.

Untuk 2 masukan: $2^{2^2} = 16$ fungsi (termasuk AND, OR, XOR, NAND, NOR, dan lain-lain). Untuk n masukan: 2^{2^n} , tumbuh sangat cepat!

22. Lv 6 • Olimpiade • Isian • Riak eksak • gaya olimpiade • 32-6-02

Pada penyearah setengah gelombang 50 Hz, kapasitor 100 μF terisi hingga puncak 20 V, lalu melepas muatan melalui beban 1,0 k Ω . Anggap pelepasan berlangsung selama satu periode penuh (0,020 s) menurut $V = V_p e^{-t/RC}$. Hitung riak puncak-ke-puncak yang **eksak** menurut model ini.

Jawaban: V

Kunci: 3,625 V

Pembahasan: $RC = 1000 \times 100 \times 10^{-6} = 0,10$ s.

$V_{\min} = 20 e^{-0,020/0,10} = 20 e^{-0,2} = 16,37$ V.

Riak = $20 - 16,37 \approx 3,63$ V.

Pendekatan linear memberi $V_p T/RC = 4,0$ V, terlalu besar sekitar 10% karena $T/RC = 0,2$ tidak terlalu kecil. (Model ini sendiri masih kasar: sebenarnya kapasitor mulai terisi lagi sebelum satu periode penuh berlalu.)

23. Lv 6 • Olimpiade • Uraian • XOR dari NAND • gaya olimpiade • 32-6-03

Rancang gerbang XOR hanya memakai gerbang NAND dua masukan. Berapa jumlah gerbang NAND minimum yang kamu pakai? Buktikan rancanganmu dengan tabel kebenaran.

Kunci/rubrik: Rancangan 4 NAND: $N_1 = \overline{AB}$, $N_2 = \overline{AN_1}$, $N_3 = \overline{BN_1}$, $Y = \overline{N_2 N_3}$.

Tabel: (A,B) = (0,0): $N_1 = 1$, $N_2 = 1$, $N_3 = 1$, $Y = 0$. (0,1): $N_1 = 1$, $N_2 = 1$, $N_3 = 0$, $Y = 1$. (1,0): $N_1 = 1$, $N_2 = 0$, $N_3 = 1$, $Y = 1$. (1,1): $N_1 = 0$, $N_2 = 1$, $N_3 = 1$, $Y = 0$. Cocok dengan XOR.

Empat adalah jumlah minimum untuk NAND dua masukan.

Pembahasan: Secara aljabar: $N_2 = \overline{A \overline{AB}} = \overline{A} + AB = \overline{A} + B$, dan $N_3 = A + \overline{B}$. Maka $Y = \overline{N_2 N_3} = \overline{N_2} + \overline{N_3} = A\overline{B} + \overline{A}B$, yaitu definisi XOR. Penghematan gerbang penting di cip karena setiap gerbang memakan luas dan energi.

Sebuah neuron buatan (perseptron) mengeluarkan 1 jika $w_1A + w_2B \geq \theta$ dan 0 jika tidak, dengan w_1, w_2, θ bilangan real sembarang. Gerbang manakah yang **tidak mungkin** diwujudkan oleh satu perseptron, berapa pun nilai w_1, w_2, θ ?

A. AND

C. NAND

B. XOR

D. OR

Kunci: B

Pembahasan: Andaikan XOR bisa. Baris (0,0) $\rightarrow$ 0 berarti $0 < \theta$. Baris (1,0) dan (0,1) $\rightarrow$ 1 berarti $w_1 \geq \theta$ dan $w_2 \geq \theta$. Jumlahkan: $w_1 + w_2 \geq 2\theta > \theta$ (karena $\theta > 0$), sehingga baris (1,1) memberi 1. Padahal XOR(1,1) = 0. Kontradiksi! Secara geometri, titik-titik bernilai 1 dan 0 pada XOR tidak bisa dipisahkan oleh satu garis lurus. AND ($w = 1, 1; \theta = 1,5$), OR ($\theta = 0,5$), dan NAND ($w = -1, -1; \theta = -1,5$) semuanya bisa.

Lv 1 • Pemula SD-SMP awal

1. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Lapisan bumi • 33-1-01

Lapisan terluar Bumi, tempat kita membangun rumah dan menanam padi, disebut...

- A. inti
- B. mantel
- C. kerak
- D. astenosfer

Kunci: C

Pembahasan: Kerak adalah lapisan terluar dan paling tipis (5–70 km). Di bawahnya ada mantel, lalu inti luar yang cair dan inti dalam yang padat.

2. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Saat gempa • 33-1-02

Saat terjadi gempa kuat ketika kamu berada di dalam kelas, tindakan pertama yang paling tepat adalah...

- A. merunduk, melindungi kepala di bawah meja yang kokoh, dan berpegangan
- B. berlari keluar sambil mendorong teman
- C. naik lift ke lantai dasar
- D. berdiri di dekat jendela kaca agar bisa melihat keluar

Kunci: A

Pembahasan: Saat lantai masih bergoyang, berlari membuat orang mudah jatuh atau tertimpa benda. Lindungi kepala dan leher, berpegangan, lalu keluar dengan tenang lewat tangga setelah guncangan reda. Hindari kaca dan lift.

3. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Tanda alam tsunami • 33-1-03

Setelah gempa kuat, kamu melihat air laut di pantai tiba-tiba surut jauh. Apa yang harus kamu lakukan?

- A. memungut ikan yang terdampar
- B. merekam video dari tepi pantai
- C. segera menuju tempat tinggi tanpa menunggu sirene
- D. menunggu sampai air laut kembali normal

Kunci: C

Pembahasan: Air laut yang surut tiba-tiba adalah tanda alam bahwa tsunami mungkin datang dalam beberapa menit. Segera pergi ke tempat tinggi atau lantai atas bangunan evakuasi yang kokoh.

4. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Peringatan dini • 33-1-04

Lembaga pemerintah yang memberikan informasi gempa bumi dan peringatan dini tsunami di Indonesia adalah...

- A. PLN
- B. BPS
- C. Basarnas
- D. BMKG

Kunci: D

Pembahasan: BMKG (Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika) mengoperasikan jaringan seismometer dan sistem peringatan dini tsunami InaTEWS. Basarnas bertugas mencari dan menolong korban, sedangkan PLN mengurus listrik.

Lv 2 • Penjelajah SMP (Fase D)

5. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Jarak dari jeda S-P • 33-2-01

Selisih waktu tiba gelombang S dan P di sebuah stasiun adalah 15 s. Dengan patokan "8 km untuk setiap detik jeda", berapa jarak stasiun ke pusat gempa?

Jawaban: km

Kunci: 120 km

Pembahasan: $d \approx 8 \times \Delta t = 8 \times 15 = 120$ km.

6. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Kecepatan tsunami • 33-2-02

Hitung cepat rambat tsunami di laut yang dalamnya 1.000 m. Gunakan $g = 10 \text{ m/s}^2$.

Jawaban: m/s

Kunci: 100 m/s

Pembahasan: $v = \sqrt{gh} = \sqrt{10 \times 1000} = \sqrt{10000} = 100$ m/s, atau 360 km/jam, secepat kereta cepat!

7. Lv 2 • Penjelajah • Pilihan ganda • Urutan gelombang gempa • 33-2-03

Gelombang gempa yang paling dulu tercatat oleh seismograf adalah...

- A. gelombang P
B. gelombang S
C. gelombang permukaan
D. semuanya tiba bersamaan

Kunci: A

Pembahasan: Gelombang P (primer) paling cepat, sekitar 6 km/s di kerak, sehingga tiba paling dulu. Gelombang S ($\pm 3,5$ km/s) menyusul, lalu gelombang permukaan.

8. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Skala logaritmik • 33-2-04

Pada jarak yang sama, simpangan seismogram gempa M 7 dibandingkan gempa M 5 lebih besar berapa kali?

Jawaban: kali

Kunci: 100 kali

Pembahasan: Setiap kenaikan 1 magnitudo, simpangan seismogram naik 10 kali. Selisih 2 magnitudo: $10^2 = 100$ kali. (Energinya bahkan naik sekitar $10^3 = 1000$ kali.)

Lv 3 • Pejuang SMA • TKA/UTBK

9. Lv 3 • Pejuang • Isian • Jarak pusat gempa • 33-3-01

Di suatu daerah, $v_P = 6,4 \text{ km/s}$ dan $v_S = 3,6 \text{ km/s}$. Sebuah stasiun mencatat jeda S–P selama 20 s. Berapa jarak stasiun ke pusat gempa?

Jawaban: km

Kunci: 164,6 km

Pembahasan: $\frac{v_P v_S}{v_P - v_S} = \frac{6,4 \times 3,6}{2,8} = 8,23 \text{ km/s}$.
 $d = 20 \times 8,23 \approx 165$ km.

10. Lv 3 • Pejuang • Isian • Waktu tempuh tsunami • 33-3-02

Tsunami menempuh jarak 600 km melintasi samudra yang kedalaman rata-ratanya 4.000 m. Berapa menit waktu tempuhnya? ($g = 9,8 \text{ m/s}^2$)

Jawaban: menit

Kunci: 50,5 menit

Pembahasan: $v = \sqrt{9,8 \times 4000} \approx 198 \text{ m/s}$.

$$t = \frac{600\,000 \text{ m}}{198 \text{ m/s}} \approx 3030 \text{ s} \approx 50,5 \text{ menit.}$$

11. Lv 3 • Pejuang • Isian • Perbandingan energi • 33-3-03

Gempa A bermagnitudo 8,8 dan gempa B bermagnitudo 7,2. Berapa kali energi gempa A dibanding gempa B? (Gunakan $E_2/E_1 = 10^{1,5\Delta M}$.)

Jawaban: kali

Kunci: 251 kali

Pembahasan: $\Delta M = 8,8 - 7,2 = 1,6$.

$$E_A/E_B = 10^{1,5 \times 1,6} = 10^{2,4} \approx 251 \text{ kali.}$$

12. Lv 3 • Pejuang • Pilihan ganda • Resonansi gedung • 33-3-04

Periode alami gedung bertingkat kira-kira $T \approx 0,1N$ detik (N = jumlah lantai). Gedung 12 lantai paling berbahaya jika tanah bergetar dengan periode sekitar...

A. 0,12 s

C. 12 s

B. 1,2 s

D. 120 s

Kunci: B

Pembahasan: $T \approx 0,1 \times 12 = 1,2 \text{ s}$. Jika tanah bergetar dengan periode yang sama, terjadi resonansi dan simpangan gedung membesar.

13. Lv 4 • IGCSE • Pilihan ganda • Data seismograf • gaya IGCSE • 33-4-01

Tabel berikut menunjukkan waktu tiba gelombang P dan S di tiga stasiun seismik untuk gempa yang sama.

Stasiun	Gelombang P tiba	Gelombang S tiba
X	10:02:05	10:02:20
Y	10:02:12	10:02:32
Z	10:02:09	10:02:27

Stasiun manakah yang paling dekat dengan pusat gempa?

- A. X
B. Y
C. Z
D. ketiganya sama jauh

Kunci: A

Pembahasan: Jeda S–P: X = 15 s, Y = 20 s, Z = 18 s. Jarak sebanding dengan jeda, sehingga X paling dekat (sekitar 126 km), lalu Z (± 151 km) dan Y (± 168 km). Gelombang P juga tiba paling awal di X.

14. Lv 4 • IGCSE • Uraian • Tsunami meninggi • gaya IGCSE • 33-4-02

Jelaskan (*explain*) mengapa gelombang tsunami bertambah tinggi ketika mendekati pantai. [3 poin]

Kunci/rubrik:

1. Cepat rambat tsunami bergantung pada kedalaman ($v = \sqrt{gh}$), sehingga gelombang melambat di air dangkal.
2. Bagian depan gelombang melambat lebih dulu sementara bagian belakang masih cepat, sehingga panjang gelombang memendek (air "menumpuk").
3. Energi gelombang hampir tidak berkurang tetapi terkumpul dalam volume air yang lebih kecil, sehingga amplitudo (tinggi) gelombang bertambah.

Pembahasan: Satu poin untuk hubungan kecepatan–kedalaman, satu poin untuk pemendekan panjang gelombang, satu poin untuk kekekalan energi yang menyebabkan amplitudo naik.

15. Lv 4 • IGCSE • Isian • Jeda S-P • gaya IGCSE • 33-4-03

Gelombang P merambat dengan kecepatan 6,0 km/s dan gelombang S dengan 3,5 km/s. Sebuah stasiun berjarak 210 km dari pusat gempa. Hitung (*calculate*) selisih waktu tiba gelombang S dan P.

Jawaban: s

Kunci: 25 s

Pembahasan: $t_S = 210/3,5 = 60$ s dan $t_P = 210/6,0 = 35$ s.
 $\Delta t = 60 - 35 = 25$ s.

16. Lv 4 • IGCSE • Uraian • Rencana evakuasi • gaya IGCSE • 33-4-04

Sebuah sekolah di dekat pantai menyusun rencana evakuasi tsunami.

- Nyatakan (*state*) dua tanda alam bahwa tsunami mungkin akan datang. [2]
- Jelaskan mengapa evakuasi sebaiknya dengan berjalan kaki, bukan dengan mobil. [2]
- Sarankan (*suggest*) dua isi tas siaga bencana dan alasannya. [2]

Kunci/rubrik: (a) Gempa yang terasa sangat kuat atau lama sehingga sulit berdiri; air laut surut tiba-tiba; suara gemuruh dari arah laut (dua di antaranya).

(b) Banyak orang mengungsi bersamaan sehingga jalan cepat macet; mobil bisa terjebak dan menghalangi jalur. Pejalan kaki tetap bisa bergerak dan memakai jalan setapak menuju tempat tinggi.

(c) Contoh: air minum (tubuh cepat kekurangan cairan), obat pribadi dan P3K (untuk luka/penyakit), senter (listrik bisa padam), fotokopi dokumen penting (untuk mengurus bantuan), peluit (memberi tanda jika terjebak).

Pembahasan: Rencana evakuasi yang baik menggabungkan tanda alam (tidak menunggu sirene), rute yang sudah dikenal, titik kumpul di tempat tinggi, dan perlengkapan yang ringan.

Lv 5 • IB DP • gaya IB Physics

17. Lv 5 • IB DP • Isian • Hukum Green • gaya IB • 33-5-01

Menurut hukum Green, tinggi tsunami A berbanding dengan $h^{-1/4}$. Tinggi sebuah tsunami di laut sedalam 4.000 m adalah 0,80 m. Perkirakan tingginya saat mencapai perairan sedalam 10 m.

Jawaban: m

Kunci: 3,58 m

Pembahasan: $A_2 = 0,80 \times (4000/10)^{1/4} = 0,80 \times 400^{0,25} = 0,80 \times 4,47 \approx 3,6$ m.

Asumsi: energi tidak hilang dan gelombang belum pecah. Tinggi limpasan ke darat bisa jauh lebih besar, bergantung bentuk pantai dan teluk.

18. Lv 5 • IB DP • Uraian • Menentukan g dari data tsunami • gaya IB • 33-5-02

Para peneliti mengukur cepat rambat tsunami di beberapa kedalaman laut:

h (m)	50	200	1000	3000
v (m/s) ± 2	22	44	99	172

- Jelaskan mengapa grafik v^2 terhadap h diharapkan berupa garis lurus melalui titik asal. [2]
- Tentukan nilai g dari kemiringan grafik tersebut. [2]
- Nyatakan satu asumsi model $v = \sqrt{gh}$ dan satu alasan mengapa titik data pada h kecil punya ketidakpastian relatif v^2 yang lebih besar. [2]

Kunci/rubrik: (a) Dari $v = \sqrt{gh}$ diperoleh $v^2 = gh$: bentuknya $y = mx$ dengan kemiringan g dan perpotongan nol.

(b) v^2 : 484; 1936; 9801; 29584 m²/s². Kemiringan $\approx (29584 - 484)/(3000 - 50) \approx 9,9$ m/s², jadi $g \approx 9,9$ m/s² (nilai 9,7–10,0 dapat diterima).

(c) Asumsi: panjang gelombang jauh lebih besar dari kedalaman (gelombang air dangkal), amplitudo kecil dibanding kedalaman, dasar laut rata. Ketidakpastian relatif v^2 adalah $2\Delta v/v$: untuk $v = 22$ m/s nilainya $\pm 18\%$, sedangkan untuk $v = 172$ m/s hanya $\pm 2\%$.

Pembahasan: Memilih variabel yang membuat grafik lurus (linearisasi) adalah keterampilan penting dalam analisis data IB. Ketidakpastian relatif berlipat dua saat besaran dikuadratkan.

19. Lv 5 • IB DP • Isian • Energi gempa • gaya IB • 33-5-03

Hubungan empiris energi gempa: $\log_{10} E = 1,5M + 4,8$, dengan E dalam joule. Berapa energi yang dilepas gempa M 6,0?

Jawaban: J

Kunci: $6,31 \times 10^{13}$ J

Pembahasan: $\log_{10} E = 9,0 + 4,8 = 13,8$.

$E = 10^{13,8} \approx 6,3 \times 10^{13}$ J, kira-kira setara energi 15.000 ton TNT. Jawaban boleh ditulis 6,31e13.

20. Lv 5 • IB DP • Pilihan ganda • Model pegas-massa gedung • gaya IB • 33-5-04

Sebuah gedung dimodelkan sebagai sistem pegas-massa dengan massa efektif $2,0 \times 10^6$ kg dan kekakuan $8,0 \times 10^7$ N/m. Frekuensi alaminya adalah...

A. 0,16 Hz

C. 6,3 Hz

B. 1,0 Hz

D. 40 Hz

Kunci: B

Pembahasan: $f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{8,0 \times 10^7}{2,0 \times 10^6}} = \frac{\sqrt{40}}{2\pi} = \frac{6,32}{6,28} \approx 1,0$ Hz.

Pengecoh 6,3 Hz adalah ω (rad/s) yang lupa dibagi 2π ; 40 adalah k/m tanpa akar.

Lv 6 • Olimpiade gaya OSN/IPhO

21. Lv 6 • Olimpiade • Isian • Metode Wadati • gaya olimpiade • 33-6-01

Sebuah stasiun mencatat gelombang P pukul 08:00:20 dan gelombang S pukul 08:00:41. Untuk batuan itu $v_P/v_S = \sqrt{3}$. Berapa detik **sebelum** gelombang P tiba gempa itu terjadi? (Kecepatan masing-masing gelombang tidak diketahui.)

Jawaban: s

Kunci: 28,69 s

Pembahasan: $t_P - t_0 = d/v_P$ dan $t_S - t_0 = d/v_S = (d/v_P)(v_P/v_S)$.

Jadi $t_S - t_P = (t_P - t_0) \left(\frac{v_P}{v_S} - 1 \right)$.

$t_P - t_0 = \frac{21}{\sqrt{3} - 1} = \frac{21}{0,732} \approx 28,7$ s.

Gempa terjadi sekitar pukul 07:59:51. Cara ini (metode Wadati) menentukan waktu awal gempa tanpa mengetahui jarak maupun kecepatan mutlak.

22. Lv 6 • Olimpiade • Isian • Tsunami di paparan miring • gaya olimpiade • 33-6-02

Dasar laut di paparan benua miring lurus: kedalamannya berkurang linear dari 200 m sampai 0 m sepanjang 50 km menuju pantai. Dengan $v = \sqrt{gh}$ dan $g = 9,8 \text{ m/s}^2$, berapa menit tsunami menyeberangi seluruh paparan itu?

Jawaban: menit

Kunci: 37,65 menit

Pembahasan: Dengan $h = \alpha x$, $\alpha = h_0/L$:

$$t = \int_0^L \frac{dx}{\sqrt{g\alpha x}} = \frac{2\sqrt{L}}{\sqrt{g\alpha}} = \frac{2L}{\sqrt{gh_0}}.$$

$$t = \frac{2 \times 50\,000}{\sqrt{9,8 \times 200}} = \frac{100\,000}{44,3} \approx 2259 \text{ s} \approx 37,6 \text{ menit}.$$

Menarik: hasilnya tepat dua kali waktu jika seluruh paparan sedalam h_0 . Integralnya tetap berhingga walaupun kecepatan menuju nol di pantai.

23. Lv 6 • Olimpiade • Uraian • Peredam massa • gaya olimpiade • 33-6-03

Sebuah gedung (massa m_1 , pegas k_1) diberi peredam berupa massa kecil m_2 yang dihubungkan pegas k_2 ke atap, tanpa redaman. Gedung didorong gaya harmonik $F_0 \cos \omega t$.

(a) Tuliskan persamaan gerak kedua massa.

(b) Tunjukkan bahwa gedung sama sekali tidak bergerak (keadaan tunak) jika $\omega = \sqrt{k_2/m_2}$.

(c) Jelaskan mengapa peredam nyata tetap diberi redaman dan disetel sedikit di bawah frekuensi gedung.

Kunci/rubrik: (a) $m_1 \ddot{x}_1 = -k_1 x_1 + k_2(x_2 - x_1) + F_0 \cos \omega t$; $m_2 \ddot{x}_2 = -k_2(x_2 - x_1)$.

(b) Coba $x_j = X_j \cos \omega t$. Persamaan kedua: $(k_2 - m_2 \omega^2)X_2 = k_2 X_1$. Jika $\omega^2 = k_2/m_2$, ruas kiri nol sehingga $X_1 = 0$. Lalu persamaan pertama memberi $k_2 X_2 + F_0 = 0$, yaitu $X_2 = -F_0/k_2$: pegas peredam memberi gaya yang tepat meniadakan gaya luar.

(c) Tanpa redaman, sistem punya dua frekuensi resonansi baru di kiri dan kanan frekuensi semula dengan simpangan tak hingga, dan pembatalan hanya terjadi pada satu frekuensi tepat. Redaman memangkas kedua puncak itu, dan penyetelan $f_2 = f_1/(1 + \mu)$ (Den Hartog) membuat kedua puncak sama rendah sehingga gedung aman untuk rentang frekuensi gempa yang lebar.

Pembahasan: Inilah prinsip antiresonansi. Bandul raksasa di gedung pencakar langit adalah versi teredam dari sistem dua massa ini. Cobalah di Lab Mini meja getar: pasang peredam dan lihat satu puncak terbelah menjadi dua puncak rendah.

24. Lv 6 • Olimpiade • Pilihan ganda • Inti bumi • gaya olimpiade • 33-6-04

Stasiun-stasiun seismik yang letaknya lebih dari sekitar 104° busur dari episenter tidak mencatat gelombang S langsung, tetapi masih mencatat gelombang P. Kesimpulan paling kuat dari pengamatan ini adalah...

- A. inti bumi terlalu panas sehingga gelombang S menguap
- B. gelombang S terlalu cepat sehingga terlewat oleh seismograf
- C. Bumi bagian dalam berongga
- D. ada lapisan cair yang tidak dapat merambatkan gelombang geser

Kunci: D

Pembahasan: Gelombang S adalah gelombang geser dengan kecepatan $v_S = \sqrt{\mu/\rho}$. Zat cair memiliki modulus geser $\mu = 0$, sehingga gelombang S tidak dapat merambat. Zona bayangan S yang sangat lebar menunjukkan inti luar Bumi cair. Gelombang P (longitudinal) tetap bisa lewat karena zat cair dapat dimampatkan.

Lv 1 • Pemula SD-SMP awal

1. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Sumber energi • 34-1-01

Manakah yang termasuk sumber energi **terbarukan**?

- | | |
|----------------|---------------|
| A. batu bara | C. panas bumi |
| B. minyak bumi | D. gas alam |

Kunci: C

Pembahasan: Panas bumi berasal dari panas di dalam Bumi yang terus tersedia, sehingga termasuk terbarukan. Batu bara, minyak bumi, dan gas alam adalah bahan bakar fosil: terbentuk selama jutaan tahun dan persediaannya terbatas.

2. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Gas rumah kaca • 34-1-02

Gas yang paling banyak dihasilkan saat bensin dan batu bara dibakar, dan menjadi penyebab utama pemanasan global, adalah...

- | | |
|------------------------------|---------------------------------------|
| A. oksigen (O ₂) | C. nitrogen (N ₂) |
| B. helium (He) | D. karbon dioksida (CO ₂) |

Kunci: D

Pembahasan: Karbon dalam bahan bakar bergabung dengan oksigen menjadi karbon dioksida: $C + O_2 \rightarrow CO_2$. CO₂ adalah gas rumah kaca yang menyerap sinar inframerah dari permukaan Bumi.

3. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Perubahan energi • 34-1-03

Panel surya di atap rumah mengubah energi cahaya Matahari menjadi energi...

- | | |
|------------|-----------|
| A. listrik | C. nuklir |
| B. bunyi | D. kimia |

Kunci: A

Pembahasan: Sel surya adalah semikonduktor. Cahaya yang mengenainya membuat elektron bergerak sehingga mengalir arus listrik. Jadi energi cahaya berubah menjadi energi listrik.

4. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Aksi hemat energi • 34-1-04

Kebiasaan mana yang paling membantu mengurangi pemakaian energi dan emisi CO₂?

- A. menyalakan lampu kamar di siang hari
- B. membiarkan charger tetap tertancap di stopkontak
- C. menyetel AC pada suhu 16 °C
- D. berjalan kaki atau bersepeda ke sekolah yang dekat

Kunci: D

Pembahasan: Berjalan kaki atau bersepeda tidak membakar bensin sama sekali. Tiga pilihan lain justru memboroskan listrik: lampu di siang hari, charger yang tetap menyedot daya siaga, dan AC yang disetel sangat dingin.

5. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Energi listrik (kWh) • 34-2-01

Lampu LED 10 W menyala 5 jam setiap hari selama 30 hari. Berapa energi listrik yang dipakainya dalam kWh?

Jawaban: kWh

Kunci: 1,5 kWh

Pembahasan: Energi = daya × waktu = 10 W × (5 × 30) jam = 1 500 Wh.

Bagi 1000: 1 500 Wh = 1,5 kWh.

6. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Daya panel surya • 34-2-02

Panel surya seluas 2 m² dengan efisiensi 20% menerima cahaya Matahari 1.000 W/m². Berapa daya listrik yang dihasilkannya?

Jawaban: W

Kunci: 400 W

Pembahasan: $P = \eta IA = 0,20 \times 1\,000 \text{ W/m}^2 \times 2 \text{ m}^2 = 400 \text{ W}$. Sisanya (80%) berubah menjadi kalor atau dipantulkan.

7. Lv 2 • Penjelajah • Pilihan ganda • Albedo • 34-2-03

Permukaan manakah yang paling banyak memantulkan cahaya Matahari (albedonya paling besar)?

- | | |
|-----------------|----------------|
| A. hutan tropis | C. laut |
| B. salju segar | D. jalan aspal |

Kunci: B

Pembahasan: Salju segar berwarna putih dan memantulkan ±80% cahaya. Laut (±6%), aspal (±5–10%), dan hutan (±10–15%) jauh lebih gelap sehingga menyerap sebagian besar cahaya. Karena itu, es yang mencair dan berganti laut membuat Bumi menyerap lebih banyak energi.

8. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Jejak karbon • 34-2-04

Motor yang iritnya 46 km per liter menempuh jarak 23 km. Jika setiap liter bensin yang dibakar menghasilkan 2,3 kg CO₂, berapa kilogram CO₂ yang dihasilkan perjalanan itu?

Jawaban: kg

Kunci: 1,15 kg

Pembahasan: Bensin yang terpakai: $23/46 = 0,5 \text{ L}$.

CO₂: $0,5 \times 2,3 = 1,15 \text{ kg}$.

9. Lv 3 • Pejuang • Isian • Tagihan listrik • 34-3-01

Sebuah rumah memakai AC 800 W selama 6 jam per hari, kulkas dengan daya rata-rata 60 W selama 24 jam, dan 5 lampu LED 9 W yang masing-masing menyala 8 jam per hari. Dengan tarif Rp1.400 per kWh, berapa tagihan listrik selama 30 hari (dalam rupiah)?

Jawaban: rupiah

Kunci: 277.200 rupiah

Pembahasan: Energi per hari: AC $800 \times 6 = 4800$ Wh; kulkas $60 \times 24 = 1440$ Wh; lampu $5 \times 9 \times 8 = 360$ Wh.

Total 6600 Wh = $6,6$ kWh per hari, atau $6,6 \times 30 = 198$ kWh per bulan.

Tagihan: $198 \times 1400 = \text{Rp}277\,200$. AC menyumbang hampir tiga perempatnya!

10. Lv 3 • Pejuang • Isian • Daya turbin angin • 34-3-02

Sebuah turbin angin memiliki baling-baling berdiameter 40 m. Kecepatan angin 8 m/s, massa jenis udara $1,2 \text{ kg/m}^3$, dan efisiensi turbin 40%. Berapa daya listrik turbin dalam kW?

Jawaban: kW

Kunci: 154,4 kW

Pembahasan: $A = \pi(20)^2 \approx 1257 \text{ m}^2$.

$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 \eta = 0,5 \times 1,2 \times 1257 \times 8^3 \times 0,40 \approx 154\,400 \text{ W} \approx 154 \text{ kW}$.

11. Lv 3 • Pejuang • Pilihan ganda • Neraca energi • 34-3-03

Dalam model neraca energi sederhana, apa yang terjadi pada suhu kesetimbangan Bumi jika albedonya bertambah (misalnya karena lebih banyak es dan awan rendah)?

- A. turun, karena energi Matahari yang diserap berkurang
- B. naik, karena es memantulkan panas kembali ke permukaan
- C. tetap, karena intensitas Matahari tidak berubah
- D. naik, karena es menyimpan kalor laten

Kunci: A

Pembahasan: Energi yang diserap sebanding dengan $(1 - \alpha)$. Albedo lebih besar berarti lebih sedikit energi diserap, sehingga Bumi setimbang pada suhu lebih rendah: $T \propto (1 - \alpha)^{1/4}$. Inilah sebabnya es yang mencair (albedo turun) justru mempercepat pemanasan.

12. Lv 3 • Pejuang • Isian • Daya PLTA • 34-3-04

Air bendungan mengalir dengan debit $50 \text{ m}^3/\text{s}$ dan jatuh setinggi 80 m untuk memutar turbin PLTA. Efisiensi pembangkit 90%, $g = 10 \text{ m/s}^2$, dan massa jenis air 1000 kg/m^3 . Berapa daya listriknya dalam MW?

Jawaban: MW

Kunci: 36 MW

Pembahasan: Massa air per detik: $\rho Q = 1000 \times 50 = 50\,000 \text{ kg/s}$.

Daya air: $\rho Q g h = 50\,000 \times 10 \times 80 = 4 \times 10^7 \text{ W}$.

Daya listrik: $0,9 \times 4 \times 10^7 = 3,6 \times 10^7 \text{ W} = 36 \text{ MW}$.

13. Lv 4 • IGCSE • Pilihan ganda • Data eksperimen • gaya IGCSE • 34-4-01

Seorang siswa menjemur dua kaleng berisi air yang sama banyak, satu dicat hitam dan satu putih, lalu mencatat suhunya.

Waktu (menit)	0	5	10	15	20
Kaleng hitam (°C)	27,0	31,0	34,0	36,0	37,0
Kaleng putih (°C)	27,0	28,5	29,5	30,0	30,5

Pernyataan mana yang didukung data?

- A. Kaleng putih menyerap radiasi Matahari lebih baik daripada kaleng hitam.
- B. Suhu kedua kaleng naik dengan laju tetap selama 20 menit.
- C. Kaleng hitam menyerap radiasi lebih baik; laju kenaikan suhunya pada 5 menit pertama 0,8 °C per menit.
- D. Kaleng hitam memantulkan lebih banyak cahaya daripada kaleng putih.

Kunci: C

Pembahasan: Kaleng hitam naik dari 27,0 ke 37,0 °C, kaleng putih hanya ke 30,5 °C, jadi permukaan hitam penyerap yang lebih baik. Laju 5 menit pertama: $(31,0 - 27,0)/5 = 0,8$ °C per menit. Lajunya tidak tetap: kenaikan tiap 5 menit makin kecil (4; 3; 2; 1 °C) karena kaleng yang makin panas juga makin banyak kehilangan kalor.

14. Lv 4 • IGCSE • Uraian • Efek rumah kaca • gaya IGCSE • 34-4-02

Jelaskan bagaimana bertambahnya karbon dioksida di atmosfer menyebabkan suhu rata-rata permukaan Bumi naik. [4 poin]

Kunci/rubrik:

1. Radiasi Matahari (sebagian besar cahaya tampak/gelombang pendek) menembus atmosfer dan diserap permukaan Bumi, sehingga permukaan menghangat.
2. Permukaan yang hangat memancarkan radiasi inframerah (gelombang panjang).
3. CO₂ menyerap radiasi inframerah tersebut lalu memancarkannya kembali ke segala arah, sebagian kembali ke permukaan.
4. Makin banyak CO₂, makin sedikit energi yang lolos ke angkasa, sehingga Bumi menyerap lebih banyak daripada yang dipancarkan dan suhunya naik sampai tercapai kesetimbangan baru yang lebih hangat.

Pembahasan: Satu poin untuk masing-masing gagasan: cahaya tampak diserap permukaan; permukaan memancarkan inframerah; CO₂ menyerap dan memancarkan ulang inframerah (sebagian ke bawah); ketidakseimbangan energi menaikkan suhu kesetimbangan. Jawaban "CO₂ melubangi ozon" tidak mendapat poin karena itu masalah yang berbeda.

15. Lv 4 • IGCSE • Isian • Efisiensi PLTU • gaya IGCSE • 34-4-03

Sebuah PLTU membakar batu bara yang melepaskan energi kimia 900 MJ setiap detik dan menghasilkan daya listrik 320 MW. Hitung efisiensi PLTU tersebut (*efficiency*) dalam persen.

Jawaban: %

Kunci: 35,6 %

Pembahasan: Daya masukan $900 \text{ MJ/s} = 900 \text{ MW}$.

$$\eta = \frac{\text{daya keluaran berguna}}{\text{daya masukan}} \times 100\% = \frac{320}{900} \times 100\% \approx 35,6\%.$$

Sisanya ($\pm 64\%$) terbuang sebagai kalor ke air pendingin dan cerobong.

16. Lv 4 • IGCSE • Isian • Efisiensi panel surya • gaya IGCSE • 34-4-04

Panel surya seluas $1,5 \text{ m}^2$ menerima radiasi Matahari 800 W/m^2 dan menghasilkan daya listrik 216 W. Hitung efisiensi panel dalam persen.

Jawaban: %

Kunci: 18 %

Pembahasan: Daya cahaya yang diterima: $800 \times 1,5 = 1200 \text{ W}$.

$$\eta = \frac{216}{1200} \times 100\% = 18\%.$$

Lv 5 • IB DP gaya IB Physics

17. Lv 5 • IB DP • Isian • Model atmosfer satu lapis • gaya IB • 34-5-01

Albedo Bumi 0,30 dan konstanta surya 1.361 W/m^2 . Dalam model atmosfer satu lapis, $T_s^4 = \frac{2}{2-\varepsilon} T_e^4$ dengan $T_e^4 = \frac{S(1-\alpha)}{4\sigma}$ dan $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$. Tentukan emisivitas atmosfer ε agar suhu permukaan $T_s = 288 \text{ K}$.

Jawaban:

Kunci: 0,78

Pembahasan: $T_e^4 = \frac{1361 \times 0,70}{4 \times 5,67 \times 10^{-8}} \approx 4,20 \times 10^9 \text{ K}^4$, jadi $T_e \approx 254,6 \text{ K}$.

$$\left(\frac{T_e}{T_s}\right)^4 = \left(\frac{254,6}{288}\right)^4 \approx 0,611.$$

$\varepsilon = 2 - 2(0,611) \approx 0,78$. Atmosfer menyerap $\pm 78\%$ inframerah dari permukaan dalam model ini.

18. Lv 5 • IB DP • Uraian • Analisis data CO₂ • gaya IB • 34-5-02

Kadar CO₂ di Mauna Loa pada tahun 2000 adalah 369,7 ppm dan pada tahun 2020 adalah 414,2 ppm. Grafik bulannya bergelombang naik-turun setiap tahun.

- Hitung laju kenaikan rata-rata CO₂ (ppm per tahun) pada periode itu.
- Dengan menganggap laju itu tetap, perkirakan tahun ketika kadar CO₂ mencapai 450 ppm.
- Jelaskan penyebab gelombang tahunan, dan sebutkan satu kelemahan anggapan di bagian (b).

Kunci/rubrik: (a) $\frac{414,2 - 369,7}{2020 - 2000} = \frac{44,5}{20} \approx 2,2$ ppm per tahun.

(b) $\frac{450 - 414,2}{2,2} \approx 16$ tahun setelah 2020, yaitu sekitar tahun 2036.

(c) Belahan Bumi utara memiliki jauh lebih banyak daratan dan hutan. Saat musim semi-panas di utara, fotosintesis menyerap CO₂ sehingga kadarnya turun; saat musim gugur-dingin, pembusukan dan respirasi melepas CO₂ sehingga kadarnya naik. Kelemahan: lajunya sebenarnya makin cepat (bukan tetap) karena emisi terus bertambah, sehingga 450 ppm bisa tercapai lebih awal; sebaliknya, laju bisa turun jika emisi dunia dikurangi. Ekstrapolasi linear tidak memperhitungkan perubahan itu.

Pembahasan: Poin penilaian: laju dengan satuan yang benar (a); ekstrapolasi yang konsisten dengan (a) (b); penjelasan musiman berbasis fotosintesis di belahan utara dan satu kritik yang beralasan terhadap model linear (c).

19. Lv 5 • IB DP • Isian • Ketidakpastian • gaya IB • 34-5-03

Daya yang dibawa angin sebanding dengan pangkat tiga kecepatannya, $P \propto v^3$. Kecepatan angin diukur $(8,0 \pm 0,4)$ m/s. Berapa ketidakpastian persentase daya yang dihitung, jika ketidakpastian besaran lain diabaikan?

Jawaban: %

Kunci: 15 %

Pembahasan: Ketidakpastian persentase kecepatan: $\frac{0,4}{8,0} \times 100\% = 5\%$.

Untuk pangkat n , ketidakpastian persentase dikalikan n : $3 \times 5\% = 15\%$.

Pelajarannya: kesalahan kecil dalam mengukur angin menjadi kesalahan besar dalam memperkirakan daya, jadi pengukuran angin di calon lokasi PLTB dilakukan bertahun-tahun.

20. Lv 5 • IB DP • Isian • Efisiensi berantai • gaya IB • 34-5-04

Listrik dari PLTU berefisiensi 36% disalurkan lewat jaringan berefisiensi 92% untuk mengisi baterai mobil listrik. Proses pengisian dan motor listrik bersama-sama mengubah 85% energi listrik menjadi energi gerak. Berapa persen energi kimia batu bara yang akhirnya menjadi energi gerak mobil?

Jawaban: %

Kunci: 28,2 %

Pembahasan: Efisiensi tahapan berurutan dikalikan: $\eta = 0,36 \times 0,92 \times 0,85 \approx 0,282 = 28,2\%$.

Makna fisis: jika listriknya 100% dari batu bara, efisiensi "tambang sampai roda" mobil listrik mirip mobil bensin (± 20 –30%). Keunggulan besar mobil listrik muncul ketika listriknya berasal dari surya, angin, air, atau panas bumi, karena tahap pembakaran yang boros kalor hilang.

21. Lv 6 • Olimpiade • Isian • Batas Betz • gaya olimpiade • 34-6-01

Dalam model cakram aktuator sebuah turbin angin, angin datang dengan laju v_1 dan meninggalkan turbin dengan laju v_2 . Laju udara tepat di baling-baling adalah $\frac{1}{2}(v_1 + v_2)$. Tentukan nilai v_2/v_1 yang membuat daya yang diambil turbin maksimum.

Jawaban:

Kunci: 0,3333

Pembahasan: Laju massa: $\dot{m} = \rho A \cdot \frac{1}{2}(v_1 + v_2)$. Daya yang diambil: $P = \frac{1}{2}\dot{m}(v_1^2 - v_2^2) = \frac{1}{4}\rho A v_1^3(1+x)(1-x^2)$ dengan $x = v_2/v_1$.

$\frac{d}{dx} [(1+x)(1-x^2)] = 1 - 2x - 3x^2 = -(3x-1)(x+1) = 0$, sehingga $x = \frac{1}{3}$.

Daya maksimumnya $\frac{1}{4} \cdot \frac{4}{3} \cdot \frac{8}{9} \rho A v_1^3 = \frac{16}{27} \cdot \frac{1}{2} \rho A v_1^3$: paling banyak 59,3% daya angin (batas Betz).

22. Lv 6 • Olimpiade • Isian • Model atmosfer dua lapis • gaya olimpiade • 34-6-02

Sebuah planet memiliki suhu efektif $T_e = 255$ K (suhu jika tanpa atmosfer). Atmosfernya dimodelkan sebagai **dua** lapisan terpisah yang tembus cahaya tampak tetapi masing-masing menyerap sempurna radiasi inframerah (emisivitas 1). Berapa suhu permukaan planet dalam kesetimbangan?

Jawaban: K

Kunci: 335,6 K

Pembahasan: Misalkan suhu lapisan atas T_1 , lapisan bawah T_2 , dan permukaan T_s .

Puncak atmosfer: $\sigma T_1^4 = \sigma T_e^4$.

Lapisan atas: menyerap σT_2^4 , memancarkan $2\sigma T_1^4$ (ke atas dan ke bawah), jadi $T_2^4 = 2T_1^4$.

Lapisan bawah: menyerap $\sigma T_s^4 + \sigma T_1^4$ dan memancarkan $2\sigma T_2^4$, jadi $T_s^4 = 4T_e^4 - T_e^4 = 3T_e^4$.

$T_s = 3^{1/4} \times 255 \approx 336$ K. Pola umumnya $T_s^4 = (N+1)T_e^4$ untuk N lapisan: inilah gambaran kasar efek rumah kaca yang sangat kuat di Venus.

23. Lv 6 • Olimpiade • Pilihan ganda • Es terapung • gaya olimpiade • 34-6-03

Sebuah es **tawar** (massa jenis 917 kg/m^3) mengapung di air **laut** (massa jenis 1.025 kg/m^3) dalam sebuah wadah. Setelah semua es mencair dan bercampur, muka air di wadah...

- A. turun sedikit
- B. tetap persis sama
- C. naik setinggi bagian es yang menyembul
- D. naik sedikit

Kunci: D

Pembahasan: Es bermassa m mengapung dan memindahkan air laut sebanyak $V_1 = m/\rho_{\text{laut}} = m/1.025$. Setelah mencair, ia menjadi air tawar bervolume $V_2 = m/1.000$, sedikit lebih besar dari V_1 ($\pm 2,5\%$). Jadi muka air naik sedikit. Seandainya es itu terapung di air tawar, muka air tetap persis sama. Inilah alasan mencairnya es laut Arktik hanya sedikit sekali menaikkan muka laut, sedangkan es daratan Greenland dan Antartika menaikannya secara nyata.

Pengukuran satelit menunjukkan Bumi menyerap $\pm 1 \text{ W/m}^2$ lebih banyak daripada yang dipancarkannya (rata-rata seluruh permukaan). Jari-jari Bumi $6,37 \times 10^6 \text{ m}$ dan satu tahun $3,16 \times 10^7 \text{ s}$.

- (a) Hitung kelebihan energi yang diterima seluruh Bumi dalam setahun.
 (b) Anggap 90% energi itu masuk ke lapisan laut atas setebal 700 m yang menutupi 71% permukaan Bumi (massa jenis 1.025 kg/m^3 , kalor jenis $3.990 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$). Hitung kenaikan suhu lapisan itu per tahun.
 (c) Mengapa kenaikan suhu udara di atas daratan bisa jauh lebih cepat daripada hasil (b)?

Kunci/rubrik: (a) Luas permukaan $4\pi R^2 = 4\pi(6,37 \times 10^6)^2 \approx 5,10 \times 10^{14} \text{ m}^2$. Energi = $1 \times 5,10 \times 10^{14} \times 3,16 \times 10^7 \approx 1,6 \times 10^{22} \text{ J}$ per tahun.

(b) Massa air: $0,71 \times 5,10 \times 10^{14} \times 700 \times 1.025 \approx 2,6 \times 10^{20} \text{ kg}$. $\Delta T = \frac{0,9 \times 1,6 \times 10^{22}}{2,6 \times 10^{20} \times 3.990} \approx 0,014 \text{ K}$ per tahun ($\pm 1,4 \text{ }^\circ\text{C}$ per abad).

(c) Kapasitas kalor daratan dan udara jauh lebih kecil daripada lautan, dan panas di daratan tidak tercampur ke kedalaman; jadi energi yang sama menaikkan suhunya lebih banyak. Selain itu, umpan balik lokal (tanah yang mengering, salju yang berkurang) memperkuat pemanasan di darat.

Pembahasan: Angka kecil per tahun menyesatkan bila dibaca sendirian: $1,6 \times 10^{22} \text{ J}$ per tahun kira-kira 25 kali konsumsi energi seluruh umat manusia dalam setahun ($\pm 6 \times 10^{20} \text{ J}$). Lautan bertindak sebagai "bantalan panas" raksasa yang memperlambat pemanasan udara, tetapi juga membuat pemanasan berlanjut walaupun emisi dihentikan.

Lv 1 • Pemula SD-SMP awal

1. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Siang dan malam • 35-1-01

Pergantian siang dan malam di Bumi disebabkan oleh...

- A. revolusi Bumi mengelilingi Matahari
- B. rotasi Bumi pada porosnya
- C. Bulan yang menutupi Matahari setiap malam
- D. Matahari yang mengelilingi Bumi

Kunci: B

Pembahasan: Bumi berputar pada porosnya (rotasi) sekali dalam ± 24 jam. Bagian yang menghadap Matahari mengalami siang, bagian yang membelakanginya mengalami malam. Revolusi (mengelilingi Matahari) memakan waktu setahun dan bersama kemiringan sumbu menyebabkan musim.

2. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Bintang terdekat • 35-1-02

Bintang yang paling dekat dengan Bumi adalah...

- | | |
|---------------------|-------------|
| A. Sirius | C. Matahari |
| B. Proxima Centauri | D. Polaris |

Kunci: C

Pembahasan: Matahari adalah bintang, dan jaraknya hanya ± 150 juta km (cahayanya tiba dalam ± 8 menit). Proxima Centauri adalah bintang terdekat *setelah* Matahari, $\pm 4,2$ tahun cahaya jauhnya.

3. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Gerhana Bulan • 35-1-03

Gerhana Bulan terjadi ketika...

- A. Bumi berada di antara Matahari dan Bulan sehingga bayangan Bumi jatuh ke Bulan
- B. Bulan berada di antara Matahari dan Bumi
- C. awan tebal menutupi Bulan purnama
- D. Matahari berada di antara Bumi dan Bulan

Kunci: A

Pembahasan: Saat gerhana Bulan, Matahari-Bumi-Bulan segaris dengan Bumi di tengah. Bulan masuk ke bayangan Bumi, biasanya tampak kemerahan. Karena itu gerhana Bulan selalu terjadi saat purnama. Jika Bulan yang berada di tengah, terjadilah gerhana Matahari.

4. Lv 1 • Pemula • Pilihan ganda • Warna dan suhu bintang • 35-1-04

Bintang dengan warna manakah yang permukaannya paling panas?

- | | |
|-----------|-----------|
| A. merah | C. oranye |
| B. kuning | D. biru |

Kunci: D

Pembahasan: Makin panas sebuah benda, makin pendek panjang gelombang puncak pancarannya (hukum Wien). Bintang biru bisa lebih dari 20.000 K, Matahari yang kuning ± 5.800 K, dan bintang merah sekitar 3.000 K.

Lv 2 • Penjelajah SMP (Fase D)

5. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Waktu tempuh cahaya • 35-2-01

Jarak Bumi ke Bulan ± 384.000 km dan cepat rambat cahaya ± 300.000 km/s. Berapa detik cahaya yang dipantulkan Bulan sampai ke Bumi?

Jawaban: s

Kunci: 1,28 s

Pembahasan: $t = \frac{d}{c} = \frac{384\,000\text{ km}}{300\,000\text{ km/s}} = 1,28\text{ s}$. Bulan yang kamu lihat adalah Bulan 1,28 detik yang lalu.

6. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Hukum Wien • 35-2-02

Sebuah bintang memancarkan paling kuat pada panjang gelombang 725 nm. Dengan tetapan Wien $b = 2,9 \times 10^{-3}$ m K, berapa suhu permukaan bintang itu (dalam kelvin)?

Jawaban: K

Kunci: 4.000 K

Pembahasan: $T = \frac{b}{\lambda_{\text{maks}}} = \frac{2,9 \times 10^{-3}}{725 \times 10^{-9}} = 4\,000\text{ K}$. Bintang ini tampak oranye, lebih dingin daripada Matahari.

7. Lv 2 • Penjelajah • Pilihan ganda • Tahun cahaya • 35-2-03

Satu tahun cahaya adalah satuan...

- A. jarak
B. waktu
C. kecepatan
D. kecerlangan bintang

Kunci: A

Pembahasan: Tahun cahaya adalah **jarak** yang ditempuh cahaya selama satu tahun, $\pm 9,46 \times 10^{12}$ km. Kata "tahun" di dalamnya sering menjebak!

8. Lv 2 • Penjelajah • Isian • Hukum Hubble • 35-2-04

Konstanta Hubble $H_0 = 70$ km/s per Mpc. Berapa kecepatan menjauh sebuah galaksi yang berjarak 50 Mpc?

Jawaban: km/s

Kunci: 3.500 km/s

Pembahasan: $v = H_0 d = 70 \times 50 = 3\,500\text{ km/s}$. Makin jauh galaksi, makin cepat ia menjauh.

Lv 3 • Pejuang SMA • TKA/UTBK

9. Lv 3 • Pejuang • Isian • Luminositas Matahari • 35-3-01

Di jarak $1,5 \times 10^{11}$ m dari Matahari, intensitas cahaya Matahari 1.360 W/m^2 . Hitung daya total yang dipancarkan Matahari (dalam watt).

Jawaban: W

Kunci: $3,85 \times 10^{26}\text{ W}$

Pembahasan: $L = I \times 4\pi d^2 = 1\,360 \times 4\pi (1,5 \times 10^{11})^2 \approx 3,85 \times 10^{26}\text{ W}$.

Tuliskan jawabanmu misalnya 3,85e26.

10. Lv 3 • Pejuang • Pilihan ganda • Waktu terbit Bulan • 35-3-02

Bulan purnama terbit sekitar pukul 18.00. Setiap hari Bulan terbit ± 50 menit lebih lambat daripada hari sebelumnya. Kira-kira pukul berapa Bulan terbit 3 hari kemudian?

- A. 19.00
B. 20.30
C. 21.50
D. 15.30

Kunci: B

Pembahasan: Selama 3 hari terlambat $3 \times 50 = 150$ menit = 2 jam 30 menit. $18.00 + 2.30 = 20.30$. Bulan terlambat terbit karena dalam sehari Bulan sudah bergeser $\pm 12^\circ$ ke timur pada orbitnya, sehingga Bumi harus berputar sedikit lebih lama untuk "menyusulnya".

11. Lv 3 • Pejuang • Isian • Pergeseran merah • 35-3-03

Garis $H\alpha$ hidrogen (656,3 nm di laboratorium) pada spektrum sebuah galaksi teramati di 677,9 nm. Dengan $c = 3 \times 10^5$ km/s dan $H_0 = 70$ km/s/Mpc, berapa jarak galaksi itu dalam Mpc?

Jawaban: Mpc

Kunci: 141 Mpc

Pembahasan: $z = \frac{677,9 - 656,3}{656,3} = \frac{21,6}{656,3} \approx 0,0329$.

$v \approx zc \approx 0,0329 \times 3 \times 10^5 \approx 9870$ km/s.

$d = \frac{v}{H_0} = \frac{9870}{70} \approx 141$ Mpc (± 460 juta tahun cahaya).

12. Lv 3 • Pejuang • Isian • Hukum Stefan-Boltzmann • 35-3-04

Sebuah bintang berjari-jari 2 kali jari-jari Matahari dan suhu permukaannya 2 kali suhu Matahari. Berapa kali luminositas Matahari daya pancarnya?

Jawaban: $\times$ Matahari

Kunci: 64 $\times$ Matahari

Pembahasan: $\frac{L}{L_\odot} = \left(\frac{R}{R_\odot}\right)^2 \left(\frac{T}{T_\odot}\right)^4 = 2^2 \times 2^4 = 4 \times 16 = 64$. Perhatikan bahwa suhu jauh lebih berpengaruh karena dipangkatkan empat.

13. Lv 4 • IGCSE • Pilihan ganda • Data galaksi • gaya IGCSE • 35-4-01

Tabel berikut menunjukkan jarak beberapa galaksi dan kecepatan menjauhnya.

Jarak (juta tahun cahaya)	100	200	300	400
Kecepatan (km/s)	2.100	4.300	6.400	8.600

Perkirakan kecepatan menjauh sebuah galaksi yang berjarak 250 juta tahun cahaya.

- A. 2.500 km/s
B. 4.300 km/s
C. 8.600 km/s
D. 5.400 km/s

Kunci: D

Pembahasan: Kecepatan sebanding dengan jarak: setiap 100 juta tahun cahaya menambah ± 2.150 km/s. Untuk 250 juta tahun cahaya: $2,5 \times 2\,150 \approx 5\,400$ km/s (atau interpolasi antara 4.300 dan 6.400). Hubungan sebanding inilah hukum Hubble–Lemaître.

14. Lv 4 • IGCSE • Uraian • Bukti alam semesta mengembang • gaya IGCSE • 35-4-02

Jelaskan bagaimana pengamatan cahaya dari galaksi-galaksi jauh menjadi bukti bahwa alam semesta mengembang. [4 poin]

Kunci/rubrik:

1. Spektrum galaksi memiliki garis-garis serapan atau pancaran (misalnya hidrogen) yang polanya dapat dikenali.
2. Garis-garis itu teramati pada panjang gelombang yang lebih panjang daripada di laboratorium: pergeseran merah (*redshift*).
3. Pergeseran merah menunjukkan galaksi menjauh dari kita.
4. Galaksi yang lebih jauh memiliki pergeseran merah yang lebih besar, jadi menjauh lebih cepat (kecepatan sebanding jarak). Hal ini terjadi ke segala arah, sesuai dengan ruang yang mengembang.

Pembahasan: Satu poin untuk masing-masing gagasan: garis spektrum dikenali; bergeser ke panjang gelombang lebih panjang; artinya menjauh; makin jauh makin besar pergeserannya (ke segala arah). Bukti tambahan yang boleh disebut: radiasi latar gelombang mikro kosmik (CMB).

15. Lv 4 • IGCSE • Isian • Waktu tempuh cahaya • gaya IGCSE • 35-4-03

Neptunus berjarak $4,5 \times 10^9$ km dari Matahari. Hitung waktu yang dibutuhkan cahaya Matahari untuk mencapai Neptunus, dalam jam. (Cepat rambat cahaya $3,0 \times 10^8$ m/s.)

Jawaban: jam

Kunci: 4,17 jam

Pembahasan: Ubah ke meter: $4,5 \times 10^9$ km = $4,5 \times 10^{12}$ m.

$$t = \frac{d}{c} = \frac{4,5 \times 10^{12}}{3,0 \times 10^8} = 1,5 \times 10^4 \text{ s.}$$

Dalam jam: $15\,000 / 3\,600 \approx 4,17$ jam.

Urutan tahap hidup yang benar untuk bintang bermassa seperti Matahari adalah...

- A. nebula → protobintang → deret utama → maharaksasa merah → supernova → bintang neutron
- B. protobintang → nebula → raksasa merah → deret utama → katai putih
- C. nebula → protobintang → deret utama → raksasa merah → nebula planeter → katai putih
- D. nebula → deret utama → katai putih → raksasa merah → lubang hitam

Kunci: C

Pembahasan: Bintang bermassa kecil-sedang lahir dari nebula, menjadi protobintang, menyala di deret utama, mengembang menjadi raksasa merah, melepaskan lapisan luarnya sebagai nebula planeter, dan intinya tersisa sebagai katai putih. Jalur supernova → bintang neutron/lubang hitam hanya untuk bintang yang lebih dari ± 8 massa Matahari.

Lv 5 • IB DP gaya IB Physics

Sebuah bintang memancarkan paling kuat pada panjang gelombang 290 nm, dan luminositasnya 40 kali luminositas Matahari. Dengan $b = 2,9 \times 10^{-3} \text{ m K}$ dan suhu permukaan Matahari 5.800 K, tentukan jari-jari bintang itu dalam satuan jari-jari Matahari.

Jawaban: × jari-jari Matahari

Kunci: 2,13 × jari-jari Matahari

Pembahasan: Suhu: $T = \frac{2,9 \times 10^{-3}}{290 \times 10^{-9}} = 10\,000 \text{ K}$.

$$\frac{R}{R_{\odot}} = \sqrt{\frac{L}{L_{\odot}}} \left(\frac{T_{\odot}}{T} \right)^2 = \sqrt{40} \times \left(\frac{5\,800}{10\,000} \right)^2 = 6,32 \times 0,336 \approx 2,13.$$

Bintang putih kebiruan ini mirip Vega: sedikit lebih besar dari Matahari tetapi jauh lebih panas.

Seorang siswa mengumpulkan data lima galaksi:

d (Mpc)	20	45	80	120	160
v (km/s)	1.500	3.000	5.800	8.200	11.400

- (a) Tentukan konstanta Hubble dari data, dengan menganggap garis melalui titik asal.
 (b) Perkirakan umur alam semesta $1/H_0$ dalam miliar tahun ($1 \text{ Mpc} = 3,09 \times 10^{19} \text{ km}$; $1 \text{ tahun} = 3,16 \times 10^7 \text{ s}$).
 (c) Jelaskan dua sumber ketidakpastian dalam menentukan H_0 dari data semacam ini.

Kunci/rubrik: (a) Kemiringan garis terbaik melalui titik asal $H_0 = \frac{\sum dv}{\sum d^2} = \frac{3\,437\,000}{48\,825} \approx 70 \text{ km/s/Mpc}$ (perkiraan dari grafik 67-73 dapat diterima).

(b) $\frac{1}{H_0} = \frac{3,09 \times 10^{19}}{70} \approx 4,4 \times 10^{17} \text{ s} \approx 1,4 \times 10^{10} \text{ tahun} = \pm 14 \text{ miliar tahun}$.

(c) Contoh: (1) jarak galaksi sulit diukur dan bergantung pada "lilin standar" yang dikalibrasi, sehingga galat sistematis jarak langsung menggeser H_0 ; (2) galaksi punya gerak sendiri (kecepatan pekulier, ratusan km/s) di samping ikut mengembang, yang sangat berpengaruh untuk galaksi dekat; (3) $1/H_0$ menganggap laju pengembangan tetap, padahal sebenarnya berubah.

Pembahasan: Poin: kemiringan dihitung dengan satuan yang benar (a); konversi satuan yang benar hingga miliar tahun (b); dua sumber ketidakpastian yang relevan dan dijelaskan pengaruhnya (c). Andromeda adalah contoh ekstrem kecepatan pekulier: ia justru mendekati kita (pergeseran biru).

Sudut paralaks sebuah bintang yang diukur dari dua sisi orbit Bumi adalah 0,0285 detik busur. Berapa jarak bintang itu dalam parsek?

Jawaban: pc

Kunci: 35,1 pc

Pembahasan: $d = \frac{1}{p} = \frac{1}{0,0285} \approx 35,1 \text{ pc}$.

Dalam tahun cahaya: $35,1 \times 3,26 \approx 114 \text{ tahun cahaya}$. Paralaks sekecil ini hanya bisa diukur dengan teliti dari luar atmosfer, misalnya oleh satelit Gaia.

Dua bintang terletak pada garis vertikal yang sama di diagram H-R (suhu permukaannya sama). Bintang A 10.000 kali lebih terang (luminositasnya) daripada bintang B. Jari-jari A dibanding jari-jari B adalah...

- A. 10.000 kali
 B. 100 kali
 C. 10 kali
 D. sama besar

Kunci: B

Pembahasan: Dengan suhu sama, $L \propto R^2$. Jadi $\frac{R_A}{R_B} = \sqrt{\frac{L_A}{L_B}} = \sqrt{10\,000} = 100$. Itulah sebabnya bintang di kanan atas diagram H-R disebut raksasa: dingin tetapi sangat terang, jadi pasti sangat besar.

21. Lv 6 • Olimpiade • Isian • Jari-jari Schwarzschild • gaya olimpiade • 35-6-01

Jika seluruh massa Bumi ($5,97 \times 10^{24}$ kg) dimampatkan menjadi lubang hitam, berapa jari-jari Schwarzschild-nya dalam milimeter? ($G = 6,67 \times 10^{-11}$ N m² kg⁻², $c = 3,0 \times 10^8$ m/s)

Jawaban: mm

Kunci: 8,85 mm

Pembahasan: $R_s = \frac{2GM}{c^2} = \frac{2 \times 6,67 \times 10^{-11} \times 5,97 \times 10^{24}}{(3,0 \times 10^8)^2} \approx 8,85 \times 10^{-3}$ m $\approx$ 8,85 mm.

Seluruh Bumi harus dimampatkan sebesar kelereng! Kerapatan yang dibutuhkan sangat ekstrem, sehingga Bumi tidak mungkin menjadi lubang hitam dengan sendirinya.

22. Lv 6 • Olimpiade • Isian • Menimbang Matahari • gaya olimpiade • 35-6-02

Bumi mengorbit Matahari pada jari-jari rata-rata $1,496 \times 10^{11}$ m dengan periode $3,156 \times 10^7$ s. Dengan $G = 6,674 \times 10^{-11}$ N m² kg⁻², tentukan massa Matahari dalam satuan 10^{30} kg. (Contoh: jika hasilmu $2,5 \times 10^{30}$ kg, tulis 2,5.)

Jawaban: $\times 10^{30}$ kg

Kunci: $1,99 \times 10^{30}$ kg

Pembahasan: $\frac{GM}{r^2} = \frac{4\pi^2 r}{T^2} \Rightarrow M = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2}$ (hukum III Kepler).

$$M = \frac{39,48 \times (1,496 \times 10^{11})^3}{6,674 \times 10^{-11} \times (3,156 \times 10^7)^2} \approx 1,99 \times 10^{30} \text{ kg.}$$

Hanya dari ukuran dan lamanya orbit Bumi, kita bisa "menimbang" Matahari, ± 333.000 kali massa Bumi.

23. Lv 6 • Olimpiade • Pilihan ganda • Geometri gerhana • gaya olimpiade • 35-6-03

Gerhana Bulan total dapat dilihat dari seluruh belahan Bumi yang sedang malam. Sebaliknya, gerhana Matahari total di satu kota tertentu rata-rata hanya terjadi sekali dalam ratusan tahun. Penyebab utamanya adalah...

- A. bayangan inti (umbra) Bulan di permukaan Bumi hanya selebar ± 100 – 270 km, sedangkan Bulan yang masuk bayangan Bumi terlihat oleh semua orang yang dapat melihat Bulan
- B. gerhana Matahari di seluruh dunia jauh lebih jarang terjadi daripada gerhana Bulan
- C. cahaya Matahari terlalu menyilaukan sehingga gerhana Matahari sering tidak teramati
- D. Bulan bergerak lebih lambat ketika berada di antara Bumi dan Matahari

Kunci: A

Pembahasan: Bulan jauh lebih kecil daripada Bumi, dan ujung kerucut bayangan Bulan nyaris tepat mencapai Bumi. Akibatnya umbra Bulan hanya menyapu jalur sempit (± 100 – 270 km) di permukaan Bumi, sehingga hanya sedikit tempat yang mengalami totalitas setiap kali gerhana. Saat gerhana Bulan, yang "digelapkan" adalah Bulan itu sendiri, jadi semua orang yang melihat Bulan menyaksikannya. Secara global, gerhana Matahari sebenarnya tidak lebih jarang daripada gerhana Bulan.

- (a) Tunjukkan bahwa selisih percepatan gravitasi suatu benda bermassa M berjarak d antara pusat Bumi dan titik di permukaan Bumi terdekat (jari-jari Bumi $r \ll d$) kira-kira $\frac{2GMr}{d^3}$.
- (b) Dengan massa Matahari $1,99 \times 10^{30}$ kg pada jarak $1,496 \times 10^{11}$ m dan massa Bulan $7,35 \times 10^{22}$ kg pada jarak $3,84 \times 10^8$ m, hitung perbandingan efek pasang surut Matahari terhadap Bulan.
- (c) Jelaskan dengan hasil (b) mengapa ada pasang purnama dan pasang perbani.

Kunci/rubrik: (a) $\Delta a = \frac{GM}{(d-r)^2} - \frac{GM}{d^2} = \frac{GM}{d^2} \left[\left(1 - \frac{r}{d}\right)^{-2} - 1 \right] \approx \frac{GM}{d^2} \cdot \frac{2r}{d} = \frac{2GMr}{d^3}$.

$$(b) \frac{\Delta a_{\odot}}{\Delta a_{\text{B}}} = \frac{M_{\odot}}{M_{\text{B}}} \left(\frac{d_{\text{B}}}{d_{\odot}} \right)^3 = \frac{1,99 \times 10^{30}}{7,35 \times 10^{22}} \times \left(\frac{3,84 \times 10^8}{1,496 \times 10^{11}} \right)^3 \approx 2,71 \times 10^7 \times 1,69 \times 10^{-8} \approx 0,46.$$

(c) Saat bulan baru dan purnama, Matahari, Bumi, dan Bulan segaris sehingga tonjolan pasang keduanya searah dan saling menguatkan: $1 + 0,46 \approx 1,46$ (pasang purnama, tinggi). Saat kuartal pertama dan terakhir, keduanya tegak lurus dan saling melemahkan: $1 - 0,46 \approx 0,54$ (pasang perbani, rendah).

Pembahasan: Hasil menarik: walaupun gaya gravitasi Matahari pada Bumi ± 180 kali lebih besar daripada gaya Bulan, efek pasang surutnya hanya $\pm$ setengah efek Bulan, karena pasang surut bergantung pada $1/d^3$, bukan $1/d^2$. Yang penting bukan seberapa kuat tarikan, tetapi seberapa *berbeda* tarikan itu di kedua sisi Bumi.