

Soal-Bahas OSK Fisika 2023

Z. Nayaka Athadiansyah
SMAN 3 Malang

NB: *Adick-adick Pejuang Bhawikarsu, kalian diampkan mengerjakan sambil membaca solusi ini, bukan hanya melihat saja. Ada banyak perhitungan yang dilompati dan harus kalian lakukan sendiri. Gunakan solusi ini hanya untuk mengevaluasi pekerjaan kalian.*

1. Analisis Dimensi

1. Sebuah tali dengan panjang ℓ dan rapat massa tali per satuan panjang ρ seragam diberikan tegangan sebesar F . Frekuensi getaran tali tersebut adalah f yang bergantung pada ketiga besaran fisika di atas dan dinyatakan oleh persamaan $f = kL^\alpha F^\beta \rho^\gamma$ dengan k adalah konstanta tak berdimensi. Misalnya tali tersebut memiliki frekuensi 6 Hz. Sekarang terdapat tali kedua dengan panjang 4ℓ , rapat massa 2ρ , dan diberi tegangan tali sebesar $18F$. Frekuensi tali kedua adalah ... Hz.

Jawab. Dimensi panjang ℓ , rapat massa tali per satuan panjang ρ , tegangan F , dan frekuensi f , masing-masing adalah

$$[\ell] = [L], \quad [\rho] = [ML^{-1}], \quad [F] = [MLT^{-2}], \quad [f] = [T^{-1}]$$

Karena $f = k\ell^\alpha F^\beta \rho^\gamma$, berdasarkan asas homogeneitas dimensi berlaku

$$[f] = [\ell^\alpha F^\beta \rho^\gamma]$$

$$[T^{-1}] = [L]^\alpha [MLT^{-2}]^\beta [ML^{-1}]^\gamma$$

$$[M^0 L^0 T^{-1}] = [M^{\beta+\gamma} L^{\alpha+\beta-\gamma} T^{-2\beta}]$$

Mencocokkan pangkatnya, kita dapatkan

$$\beta + \gamma = 0 \quad \dots (1)$$

$$\alpha + \beta - \gamma = 0 \quad \dots (2)$$

$$-2\beta = -1 \quad \dots (3)$$

Dari (3) kita dapatkan $\beta = 1/2$. Masukkan ke (1), kita dapatkan $\gamma = -1/2$. Masukkan β dan γ ke (2), kita dapatkan $\alpha = -1$. Jadi,

$$f = k\ell^{-1} F^{1/2} \rho^{-1/2} = \frac{k}{\ell} \sqrt{\frac{F}{\rho}}$$

Untuk tali kedua:

$$f^a = \frac{k}{4\ell} \sqrt{\frac{18F}{2\rho}} = \frac{k}{4\ell} \sqrt{\frac{9F}{\rho}} = \frac{3}{4} \underbrace{\frac{k}{\ell} \sqrt{\frac{F}{\rho}}}_f = \frac{3}{4} f = 4,5 \text{ Hz} \quad \square$$

2. Kinematika

2. Ketika suatu benda mengalami gerak jatuh bebas dalam medan gravitasi, kecepatan awal benda tersebut adalah ... m/s.

Jawab. Berapa ya...? 0, 0. \square

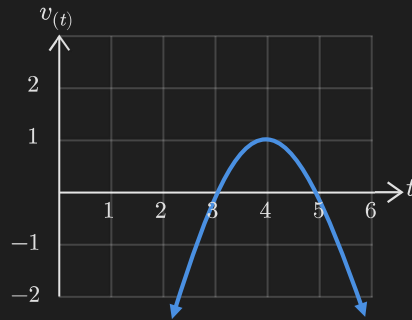
3. Seorang perenang loncat indah olimpiade bermassa $m = 70$ kg mulai turun dari papan setinggi $h = 9$ meter dari permukaan air dengan kecepatan awal nol. Kecepatan perenang saat menumbuk air adalah ... m/s.

Jawab.

$$\begin{aligned} v^2 &= \overbrace{v_0^2}^0 + 2a\Delta s \\ &= 2(-g)(0 - h) \\ &= 2gh \\ v &= \sqrt{2gh} = \sqrt{2(9,8)(9)} = 13,3 \text{ m/s} \quad \square \end{aligned}$$

4. Sebuah benda bergerak dengan kecepatan yang memenuhi persamaan $v(t) = -t^2 + 8t - 15$ di mana v dalam m/s dan t dalam detik. Benda akan berbalik arah dari bergerak ke kanan menjadi ke kiri saat $t = \dots$ detik.

Jawab. Benda bergerak ke kanan jika kecepatannya positif ($v(t) > 0$) dan berlaku pula sebaliknya. Jadi, kita mencari nilai t di mana sebelumnya kecepatan bernilai positif (bergerak ke kanan), lalu menjadi nol, kemudian negatif (ke kiri). Solusi paling mudah dan singkat adalah dengan mensketsakan grafik $v(t)$:

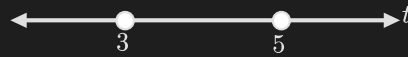


Nampak bahwa pada interval $0 < t < 3$, $v(t)$ negatif, lalu $v(t)$ bernilai positif pada $3 < t < 5$, kemudian bernilai negatif lagi pada $t > 5$. Jadi, benda berbalik arah dari bergerak ke kanan menjadi ke kiri saat $t = 5,0$ detik. \square

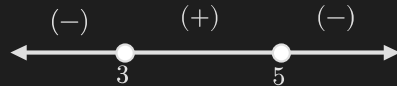
"Kak, saya nggak bisa gambar grafik fungsi kuadrat," kau bilang. Tenang saja, pada kondisi seperti ini kita bisa selesaikan persoalan ini secara analitis. Kecepatan akan berubah tanda/arrah ketika $v(t) = 0$:

$$\begin{aligned} v(t) &= 0 \\ -t^2 + 8t - 15 &= 0 \\ (3 - t)(t - 5) &= 0 \end{aligned}$$

Jadi, $t = 3$ atau $t = 5$. Mana yang dipakai? Kita harus pastikan dulu kalau sebelum t , kecepatannya positif, lalu setelah t kecepatannya negatif. Perhatikan garis bilangan berikut:



Kita akan lakukan uji titik untuk menentukan tanda $v(t)$. Kalau kita pilih nilai t pada interval $t < 3$, misalnya $t = 0$, mensubstitusikannya ke dalam $v(t)$ akan memberikan kita nilai yang negatif, yakni $v(0) = -15$ m/s. Jadi, pada interval tersebut kecepatannya negatif. Lakukan hal yang sama pada dua interval lainnya: $3 < t < 5$ dan $t > 5$, maka tanda dari $v(t)$ dapat kita gambarkan sebagai berikut:



Jadi, dapat kita lihat kalau $v(t)$ berubah tanda dari positif menjadi negatif pada $t = 5$ detik. Kesimpulannya, benda berbalik arah dari kanan ke kiri ketika $t = 5,0$ detik. \square

5. Sebuah benda bergerak dengan kecepatan yang memenuhi persamaan $v(t) = -t^2 + 8t - 15$ di mana v dalam m/s dan t dalam detik. Benda mulai bergerak dari posisi $x = 20$ meter. Posisi benda saat akan berbalik arah dari bergerak ke kanan menjadi ke kiri adalah di \dots meter.

Jawab. Berhubung $v(t)$ di sini sama dengan soal sebelumnya, kita tahu bahwa benda berbalik arah dari kanan ke kiri pada $t = 5$ detik. Karena kecepatan adalah turunan waktu dari posisi, kita bisa mengintegalkan $v(t)$ terhadap waktu lalu memasukkan $t = 5$ detik untuk mendapatkan posisi yang ditanyakan.

$$\frac{dx}{dt} = v(t)$$

$$\int_{20}^x dx = \int_0^t v(t) dt = \int_0^t (-t^2 + 8t - 15) dt$$

$$x|_{20}^x = \left[-\frac{t^3}{3} + 4t^2 - 15t \right]_0^t$$

$$x - 20 = \left[-\frac{t^3}{3} + 4t^2 - 15t \right] - 0$$

$$x = -\frac{t^3}{3} + 4t^2 - 15t + 20$$

$$= -\frac{5^3}{3} + 4 \cdot 5^2 - 15 \cdot 5 + 20 = 3,3 \text{ m } \square$$

6. Sebuah benda bergerak pada suatu lintasan yang memenuhi persamaan $x(t) = -t^2 + 8t - 15$ di mana x dalam m dan t dalam detik. Benda akan mulai dipercepat ke kiri pada saat $t = \dots$ detik.

Jawab. Percepatan adalah turunan kedua posisi terhadap waktu. Jadi,

$$a_{(t)} = \frac{d^2x}{dt^2} = \frac{d}{dt} \left(\frac{d}{dt} (-t^2 + 8t - 15) \right) = \frac{d}{dt} (-2t + 8) = -2$$

Jadi, percepatannya konstan dan selalu berarah ke kiri. Dengan demikian, benda mulai dipercepat ke kiri saat $t = 0, 0$ s. \square

7. Kecepatan partikel dalam 1-dimensi x dinyatakan sebagai $v = k\sqrt{x}$ dengan k konstanta yang bernilai $3 \text{ m}^{1/2}\text{s}^{-1}$. Asumsikan pada saat $t = 0$ partikel berada pada posisi $x = 0$. Partikel tersebut kemudian diberi dorongan infinitesimal ke arah sumbu- x positif hingga mulai bergerak. Suatu saat partikel berada pada posisi $x = 16$ m. Besar kecepatan rata-rata partikel selama gerakan tersebut sama dengan \dots m/s.

Jawab. Kecepatan rata-rata adalah perpindahan total ($\Delta x = (16 - 0)$ m) dibagi selang waktu. Jadi, tujuan kita sekarang adalah mencari berapa waktu yang dibutuhkan bagi partikel untuk mencapai posisi $x = 16$ m. Kita harus ubah $v = k\sqrt{x}$ dan menyatakan x sebagai fungsi t . Ingat bahwa kecepatan adalah turunan waktu dari posisi/perpindahan.

$$\frac{dx}{dt} = k\sqrt{x}$$

$$\frac{dx}{\sqrt{x}} = k dt$$

$$\int_0^x \frac{dx}{\sqrt{x}} = \int_0^t k dt$$

$$2\sqrt{x}|_0^x = kt|_0^t$$

$$2\sqrt{x} = kt$$

$$t = \frac{2\sqrt{x}}{k} = \frac{2\sqrt{16}}{3} = \frac{8}{3} \text{ detik}$$

Jadi, kecepatan rata-rata partikel adalah

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{16 - 0}{8/3 - 0} = 6, 0 \text{ m/s} \quad \square$$

8. Pada $t = 0$, mobil A berada 10 km di depan B . Mula-mula kecepatan mobil A adalah $v_{0,A} = 60$ km/jam dan percepatannya $a_A = 10$ km/jam², sedangkan mobil B bergerak dengan kecepatan awal $v_{0,B} = 50$ km/jam dan percepatan $a_B = 20$ km/jam². Pada saat B di depan A sejauh 30 km, kecepatan B adalah \dots km/jam.

Jawab. Persamaan gerak tiap mobil:

$$S_A = 10 + v_{0,A}t + \frac{1}{2}a_At^2 = 10 + 60t + \frac{1}{2} \cdot 10t^2 = 5t^2 + 60t + 10$$

$$S_B = v_{0,B}t + \frac{1}{2}a_Bt^2 = 50t + \frac{1}{2} \cdot 20t^2 = 10t^2 + 50t$$

Ketika B di depan A sejauh 30 km, maka berlaku

$$S_B = S_A + 30$$

$$10t^2 + 50t = 5t^2 + 60t + 10 + 30$$

$$5t^2 - 10t - 40 = 0$$

$$t^2 - 2t - 8 = 0$$

$$(t - 4)(t + 2) = 0$$

Jadi, $t = 4$ jam atau $t = -2$ jam (kita sisihkan solusi yang ini). Kecepatan B pada $t = 4$ jam adalah

$$v_B = v_{0,B} + a_Bt = 50 + 20 \cdot 4 = 130 \text{ km/jam} \quad \square$$

9. Pada tahun 2013, angin topan Haiyan telah mengakibatkan bencana dan kerugian harta benda pada negara-negara Pasifik Barat yang dilaluinya. Angin topan ini berputar terhadap suatu "mata" atau sumbu yang jarak rata-rata ke awan terluarnya sama dengan 85 km. Dari catatan meteorologi, diketahui kecepatan linear maksimum angin topan adalah 315 km/jam. Banyak putaran maksimum yang dilakukan oleh

awan terluar angin topan Haiyan dalam waktu 1 jam adalah ... putaran/jam.

Jawab. Ide dari soal ini adalah menggunakan hubungan antara kecepatan linear dengan kecepatan sudut (seberapa cepat benda berputar) yang dinyatakan sebagai $v = \omega r$ di mana r adalah jari-jari putaran, yang dalam kasus ini adalah 85 km. Jadi,

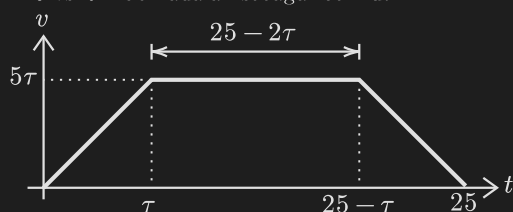
$$\omega = \frac{v}{r} = \frac{315 \text{ km/jam}}{85 \text{ km}} = \frac{63}{17} \text{ rad/jam}$$

Satu putaran setara dengan 2π rad sehingga

$$\omega = \frac{63}{17} \text{ rad/jam} = \frac{63}{34\pi} \text{ putaran/jam} = 0,6 \text{ putaran/jam} \quad \square$$

10. Sebuah mobil bergerak lurus, pertama dengan percepatan $a = 5,0 \text{ m/s}^2$ (kecepatan awal sama dengan nol), kemudian ~~bergerak~~ secara beraturan, ~~lalu~~ mobil diperlambat dengan perlambatan yang sama, a , hingga mobil terhenti. Total waktu pergerakannya adalah 25 detik. Kecepatan rata-rata mobil selama waktu tersebut adalah 72 km/jam. Waktu yang dibutuhkan mobil untuk bergerak secara teratur saja adalah ... detik.

Jawab. Soal asli tidak memuat kata-kata yang ~~dicoret~~. Kalau bergerak secara teratur artinya bergerak secara seragam, yakni kecepatannya konstan, maka jawabannya adalah 0, sebab benda selalu mengalami percepatan atau perlambatan. Jika kita pertimbangkan kata-kata yang dicoret, maka grafik v vs. t mobil adalah sebagai berikut:



di mana τ adalah waktu ketika mobil mulai bergerak secara teratur. Kedua kaki trapesium di atas punya panjang dan sudut yang sama terhadap horizontal karena besar percepatan dan perlambatannya sama-sama a . Tinggi trapesium adalah 5τ , yang didapatkan lewat $v = v_0 + at$ untuk $v_0 = 0$, $a = 5 \text{ m/s}^2$, dan $t = \tau$.

Kita gunakan informasi tentang kecepatan rata-rata $72 \text{ km/jam} = 20 \text{ m/s}$. Kecepatan rata-rata adalah perpindahan total dibagi selang waktu, di mana perpindahan total setara dengan luas daerah di bawah grafik v di atas:

$$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

$$20 = \frac{\left(\frac{25+25-2\tau}{2}\right)5\tau}{25}$$

$$100 = \left(\frac{50-2\tau}{2}\right)\tau$$

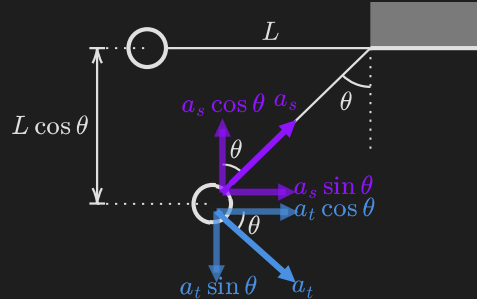
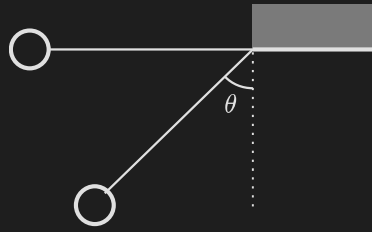
$$100 = 25\tau - \tau^2$$

$$\tau^2 - 25\tau + 100 = 0$$

$$(\tau - 20)(\tau - 5) = 0$$

Jadi, $\tau = 5$ detik atau $\tau = 20$ detik. Lama mobil bergerak secara teratur adalah $25 - 2\tau$, yakni 15,0 detik atau -15,0 detik (ambil yang positif). \square

11. Sebuah bola kecil digantung dengan menggunakan sebuah tali tak bermassa. Pada awalnya, tali beradap ada posisi mendatar dan kemudian dilepaskan. Nilai $\tan \theta$ pada saat percepatan total bola berarah mendatar adalah ...



Jawab. Misalkan percepatan totalnya adalah \vec{a} , panjang talinya L , dan massa bolanya m . Ide utama dari soal ini adalah ada dua macam percepatan yang bekerja pada bola kecil: percepatan linier/tangensial ($a_t = \alpha L$) dan percepatan sentripetal/radial ($a_s = v^2 / L = \omega^2 L$).

Hukum kekekalan energi mekanik memberikan

$$\begin{aligned} E_{m,i} &= E_{m,f} \\ \overbrace{E_{k,i}}^0 + E_{p,i} &= E_{k,f} + \overbrace{E_{p,f}}^0 \\ mgL \cos \theta &= \frac{1}{2} mL^2 \omega^2 \\ a_s &= \omega^2 L = 2g \cos \theta \dots (1) \end{aligned}$$

Tinjau torsi yang bekerja pada bola:

$$\begin{aligned} \Sigma \tau &= I \alpha \\ mgL \sin \theta &= mL^2 \alpha \\ g \sin \theta &= \alpha L = a_t \dots (2) \end{aligned}$$

Supaya arah percepatannya horizontal, maka komponen percepatan yang arahnya vertikal harus saling meniadakan; komponen- y -nya harus sama besar. Jadi,

$$\begin{aligned} a_s \cos \theta &= a_t \sin \theta \\ \tan \theta &= \frac{a_s}{a_t} = \frac{2g \cos \theta}{g \sin \theta} \\ \tan^2 \theta &= 2 \\ \tan \theta &= \sqrt{2} = 1,4 \quad \square \end{aligned}$$

12. Seorang pemain bola menendang bola dengan sudut elevasi 45° terhadap tanah. Bola tersebut memantul empat kali dan berhenti tepat di pantulan kelima. Asumsikan energi yang hilang sama untuk tiap pantulan dan sudut pantul sama dengan sudut datang bola. Jika bola bermassa $m = 1$ kg dengan kecepatan awal $v_0 = 20$ m/s, jarak antara pemain bola dan tempat bola berhenti adalah ... m.

Jawab. Misalkan energi yang hilang tiap pantulan adalah Q . Energi yang hilang pada dasarnya adalah selisih energi kinetik sebelum pantulan dengan energi kinetik setelah pantulan:

$$Q = \Delta E_k = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 \dots (1)$$

Jadi, dari awal gerakan benda hingga pantulan kelima, energi yang hilang adalah

$$5Q = \frac{1}{2}m(v^2 - v_0^2) \dots (2)$$

dan karena bola berhenti tepat di pantulan kelima, maka $v = 0$:

$$5Q = -\frac{1}{2}mv_0^2$$

$$Q = -\frac{1}{10}mv_0^2 \dots (3)$$

Jadi, kecepatan awal setelah pantulan pertama adalah

$$\begin{aligned} Q &= E_{k,1} - E_{k,0} \\ -\frac{1}{10}mv_0^2 &= \frac{1}{2}mv_1^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 \end{aligned}$$

$$\frac{1}{2}mv_1^2 = \frac{4}{10}mv_0^2$$

$$v_1^2 = \frac{4}{5}v_0^2 \dots (4)$$

Pantulan kedua:

$$\begin{aligned} Q &= E_{k,2} - E_{k,1} \\ -\frac{1}{10}mv_0^2 &= \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 \end{aligned}$$

$$-v_0^2 = 5v_2^2 - 5v_1^2$$

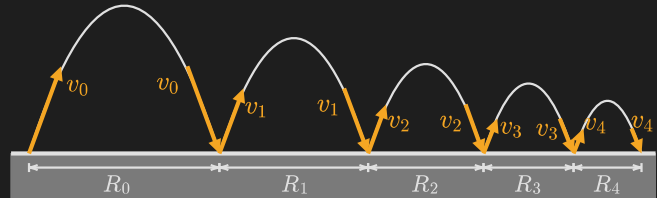
$$v_2^2 = \frac{5v_1^2 - v_0^2}{5}$$

$$v_2^2 = \frac{4v_0^2 - v_0^2}{5}$$

$$v_2^2 = \frac{3}{5}v_0^2 \dots (5)$$

Mengikuti polanya, $v_3^2 = \frac{2}{5}v_0^2$ dan $v_4^2 = \frac{1}{5}v_0^2$.

Bola akan membentuk lintasan parabola:



Jarak horizontal maksimum pada tiap parabola adalah

$$R_i = \frac{v_i^2 \sin 2\theta}{g}$$

dengan v_i adalah kecepatan awal pada tiap lintasan parabola setelah tumbukan ke- i (lihat gambar) dan $\theta = 45^\circ$. Nilai θ tetap karena sudut pantul sama dengan sudut datang bola. Jadi, jarak antara pemain bola dan tempat bola berhenti adalah

$$d = \frac{v_0^2 \sin 2\theta}{g} + \frac{v_1^2 \sin 2\theta}{g} + \frac{v_2^2 \sin 2\theta}{g} + \frac{v_3^2 \sin 2\theta}{g} + \frac{v_4^2 \sin 2\theta}{g}$$

Karena $\theta = 45^\circ$, $2\theta = 90^\circ$ dan $\sin 2\theta = 1$. Jadi, kita bisa tulis ulang persamaan di atas:

$$\begin{aligned} d &= \frac{v_0^2 + v_1^2 + v_2^2 + v_3^2 + v_4^2}{g} \\ &= \frac{v_0^2 + 4/5v_0^2 + 3/5v_0^2 + 2/5v_0^2 + 1/5v_0^2}{g} \\ &= \frac{3v_0^2}{g} = \frac{3 \cdot 20}{9,8} \approx 6,1 \text{ m} \quad \square \end{aligned}$$

3. Statika dan Dinamika

13. Dua gaya bekerja pada sebuah partikel sehingga partikel bergerak dengan kecepatan konstan $\vec{v} = 3\hat{i} - 4\hat{j}$ m/s. Jika salah satu gaya $\vec{F} = 2\hat{i} - 6\hat{j}$ N, maka besar komponen sumbu- y dari gaya lainnya adalah ... N.

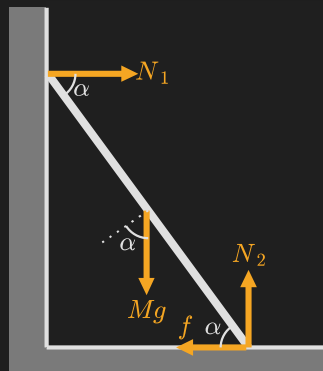
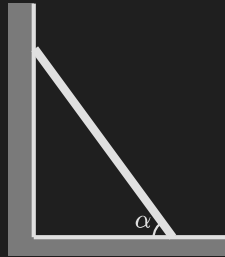
Jawab. Karena partikel bergerak dengan kecepatan konstan, hukum I Newton berlaku. Dengan menggunakan $\Sigma F_y = 0$, dapat dipastikan bahwa besar komponen sumbu- y dari gaya lainnya sama dengan 6 N. \square

Kalau dijabarkan, beginilah penyelesaian untuk soal ini: misalkan gaya yang lain adalah $\vec{G} = G_x\hat{i} + G_y\hat{j}$ N, maka berdasarkan hukum I Newton:

$$\begin{aligned}\Sigma F &= 0 \\ \vec{F} + \vec{G} &= 0 \\ (2\hat{i} - 6\hat{j}) + (G_x\hat{i} + G_y\hat{j}) &= 0 \\ (G_x + 2)\hat{i} + (G_y - 6)\hat{j} &= 0\hat{i} + 0\hat{j}\end{aligned}$$

Mencocokkan kedua ruas, kita dapatkan $G_x + 2 = 0$ dan $G_y - 6 = 0$ atau $G_x = -2, 0$ N dan $G_y = 6, 0$ N. \square

14. Tinjau sebuah batang bermassa M dengan panjang L . Jika dinding licin dan lantai kasar dengan koefisien gesek statis μ_s , nilai μ_s minimal agar batang tersebut diam sama dengan ...



Jawab.

Karena batang diam, maka hukum I Newton berlaku:

Hukum I Newton untuk translasi:

$$\begin{aligned}\Sigma F_x &= 0 & \Sigma F_y &= 0 \\ N_1 - f &= 0 & N_2 - Mg &= 0 \\ f &= N_1 \dots (1) & N_2 &= Mg \dots (2)\end{aligned}$$

Selanjutnya, gunakan kesetimbangan torsi. Ambil arah jarum jam sebagai positif:

Hukum I Newton untuk rotasi:

$$\begin{aligned}\Sigma \tau &= 0 \\ N_1 \sin \alpha - \frac{MgL \sin(90^\circ - \alpha)}{2} &= 0 \\ N_1 \sin \alpha &= \frac{Mg \cos \alpha}{2}\end{aligned}$$

$$N_1 = \frac{Mg}{2 \tan \alpha} \dots (3)$$

Berdasarkan definisi gaya gesek statis:

$$\begin{aligned}f &\leq \mu_s N_2 \\ N_1 &\leq \mu_s Mg \\ \frac{Mg}{2 \tan \alpha} &\leq \mu_s Mg \\ \mu_s &\geq \frac{1}{2 \tan \alpha}\end{aligned}$$

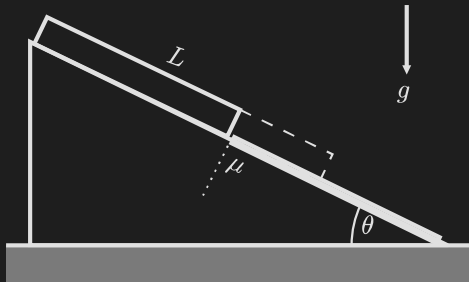
Jadi ini sama soalnya gak dikasih tau besar sudut α -nya ya -_-.

\square

15. Sebuah batang dengan ujung-ujung A dan B memiliki massa $M = 1$ kg dan panjang $L = 2,2$ m berotasi pada suatu bidang horizontal licin dengan kecepatan sudut awal $\omega_0 = 1,5$ rad/s terhadap sumbu vertikal tetap yang melalui salah satu ujung batang A . Pada saat itu, sebuah partikel kecil bermassa $m = 70$ g awalnya ada di A , lalu bergerak sepanjang batang sampai ke B . Kecepatan partikel relatif

terhadap batang saat partikel tersebut mencapai ujung batang B adalah ... m/s.

16. Papan homogen sepanjang L diletakkan pada bidang miring dengan $\theta = 60^\circ$ yang memiliki sisi licin dan kasar dengan koefisien gesek kinetis $\mu = 0,8$. Papan mula-mula dilepaskan pada perbatasan licin-kasar, kemudian berhenti setelah melewati perbatasan. Jika waktu yang dibutuhkan selama bergerak adalah $t = 2\pi$ detik, panjang papan adalah ... m.



17. Sebuah benda bermassa $m = 2$ kg yang memiliki penampang $A = 1 \text{ cm}^2$ jatuh bebas di udara dari ketinggian yang cukup tinggi dan mengalami gesekan dengan udara. Besar gaya gesekan antara benda dengan udara sebanding dengan kecepatan benda. Koefisien gesek antara udara dengan benda diberi lambang η . Ketika benda tersebut mencapai kecepatan terminal sebesar 47 m/s, besar gaya gesekan tersebut adalah ... N.

Jawab. [Penjelasan Konteks] Nyatanya, gaya yang bekerja pada benda yang jatuh bebas bukan hanya gaya gravitasi, melainkan ada gaya gesek udara (*drag force*) dan gaya apung/Archimedes (*buoyant force*). Istilah kecepatan *terminal* merujuk pada kondisi di mana total gaya gesek udara dan gaya apung yang berarah ke atas sama besarnya dengan gaya gravitasi ke bawah sehingga resultan gaya yang bekerja pada benda adalah nol, menyebabkannya *jatuh dengan kecepatan konstan*.

Barangkali pada kasus ini kita bisa abaikan gaya apung dahulu. Pada soal dinyatakan bahwa besar gaya gesek sebanding dengan kecepatan benda, yakni $f \propto v$. Di sini η berperan sebagai *konstanta proporsionalitas*, yakni konstanta yang mengubah kesebandingan tadi menjadi persamaan dalam bentuk

$$f = \eta v$$

[Analisis] Ketika benda mencapai kecepatan terminal berlaku

$$\begin{aligned}\Sigma F_y &= 0 \\ mg - f &= 0 \\ f &= mg = 2 \cdot 9,8 = 19,6 \text{ N} \quad \square\end{aligned}$$

Adapun nilai η adalah $\frac{mg}{v_{\text{terminal}}} = 0,4 \text{ kg/s}$.

18. Sebuah balok bermassa $m = 0,5$ kg bergerak pada suatu lintasan horizontal yang diberi cairan oli sehingga balok merasakan gaya gesek yang bergantung pada kecepatan balok sesuai dengan persamaan $F = -kv^{3/2}$. Ketika kecepatan balok tersebut sama dengan 4 m/s, besar gaya gesek tersebut -2 N. Gerakan balok tersebut hanya pada satu dimensi, x . Ketika balok dari titik asal $x = 0$ diberikan kecepatan awal ke kanan sebesar 9 m/s, jarak maksimum yang ditempuh balok adalah ... meter.

Jawab. Masukkan nilai $v = 4 \text{ m/s}$ dan $F = -2 \text{ N}$ untuk mencari k :

$$\begin{aligned} -2 &= -k(4)^{3/2} \\ 8k &= 2 \\ k &= 1/4 = 0,25 \end{aligned}$$

Ide selanjutnya adalah mencari x sebagai fungsi v untuk menggunakan informasi pada kalimat terakhir. Pertama-tama, catat bahwa

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{dv}{dx} \cdot \frac{dx}{dt} = \frac{dx}{dt} \cdot \frac{dv}{dx} = v \cdot \frac{dv}{dx}$$

Jadi,

$$F = -kv^{3/2}$$

$$mv \cdot \frac{dv}{dx} = -kv^{3/2}$$

$$v^{1/2} dv = -\frac{k}{m} dx$$

$$\int_{v_0}^v v^{1/2} dv = \int_0^x -\frac{k}{m} dx$$

$$\left[\frac{2}{3} v^{3/2} \right]_{v_0}^v = \left[-\frac{kx}{m} \right]_0^x$$

$$\frac{2}{3} v^{3/2} - \frac{2}{3} v_0^{3/2} = -\frac{kx}{m}$$

$$x = \frac{2m}{3k} (v^{3/2} - v_0^{3/2})$$

Benda akan mencapai jarak maksimum ketika $v = 0$. Memasukkan nilai-nilai yang telah diketahui, kita dapatkan

$$x = \frac{2(0,5)}{3(0,25)} (6^{3/2} - 0) = 4,4 \text{ m} \quad \square$$

19. Sebuah satelit rusak bermassa 950 kg ditarik pesawat luar angkasa. Keduanya dihubungkan oleh tali homogen sepanjang $\ell = 50 \text{ m}$ dengan

rapat massa per satuan panjang $\mu = 1 \text{ kg/m}$. Pesawat bergerak sepanjang garis lurus dengan percepatan $a = 5 \text{ m/s}^2$. Gaya yang diberikan

oleh pesawat kepada tali adalah ... N.

Jawab. Karena μ bersifat konstan, massa tali adalah $\mu\ell = 50 \text{ kg}$. Diagram benda bebas untuk soal ini adalah sebagai berikut:



Sistem akan bergerak bersama pesawat dengan percepatan yang sama, $a = 5 \text{ m/s}^2$. Selanjutnya, gunakan hukum II Newton pada tiap benda:

Satelit

$$\begin{aligned} \Sigma F &= ma \\ T_2 &= 950 \cdot 5 = 4750 \text{ N} \dots (1) \end{aligned}$$

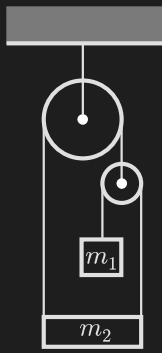
Tali

$$\begin{aligned} \Sigma F &= ma \\ T_1 - T_2 &= \mu\ell a \\ T_1 - 4750 &= 50 \cdot 5 \\ T_1 &= 4750 + 250 \\ T_1 &= 4750 + 250 = 5000 \text{ N} \quad \square \end{aligned}$$

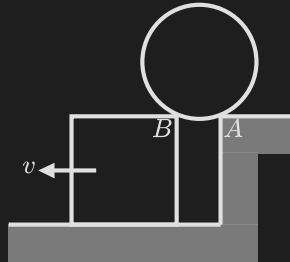
20. Sebuah mobil bergerak dengan percepatan tangensial konstan $a_T = 0,62 \text{ m/s}$ sepanjang permukaan horizontal berbentuk lingkaran dengan jari $R = 40 \text{ m}$. Koefisien gesek antara roda mobil dan permukaan jalan adalah $k = 0,20$. Jarak yang ditempuh mobil tanpa slip jika saat

awal kecepatan nol sama dengan ... m.

21. Perhatikan sistem berikut. Semua katrol licin ($m_1 = 0,5 \text{ kg}$, $m_2 = 2 \text{ kg}$). m_1 merupakan partikel, sedangkan m_2 adalah batang ringan dengan panjang $L = 4 \text{ m}$ yang berorientasi horizontal. Awalnya sistem ditahan supaya diam, lalu dilepas. Percepatan sudut awalnya adalah ... rad/s^2 .



22. Silinder bermassa $m = 1$ kg dengan jejari $r = 1$ cm dalam keadaan diam ditopang balok pada titik B . Balok kemudian ditarik sehingga balok bergeser dengan laju konstan $v = 0,2$ m/s menjauhi silinder. Asumsikan awalnya balok sangat dekat dengan dinding. Abaikan gesekan silinder dengan dinding dan bola. Jarak $A - B$ sama dengan $\sqrt{2}$ cm. Besar gaya yang diberikan dinding pada silinder adalah ... N.



Jawab. Karena balok bergeser dengan laju konstan, silinder akan turun dengan laju konstan pula. Akibatnya, hukum I Newton berlaku. Gaya-gaya yang bekerja pada silinder:



Lihat gambar sebelah kanan:

$$\begin{aligned} 2r \cos \theta &= \overline{AB} \\ 2 \cdot 1 \cos \theta &= \sqrt{2} \\ \cos \theta &= \frac{\sqrt{2}}{2} \end{aligned}$$

Jadi, $\theta = 45^\circ$ dan $\sin \theta = \frac{\sqrt{2}}{2}$. Tinjau gaya-gaya yang bekerja pada silinder:

Hukum I Newton:

$$\begin{aligned} \Sigma F_x &= 0 & \Sigma F_y &= 0 \\ N_B \cos \theta - N_A \cos \theta &= 0 & N_A \sin \theta + N_B \sin \theta - mg &= 0 \\ N_B &= N_A \dots (1) & N_A + N_B &= \frac{mg}{\sin \theta} \dots (2) \end{aligned}$$

Substitusikan Pers. (1) ke Pers. (2):

$$2N_A = \frac{mg}{\sin \theta}$$

$$N_A = \frac{mg}{2 \sin \theta}$$

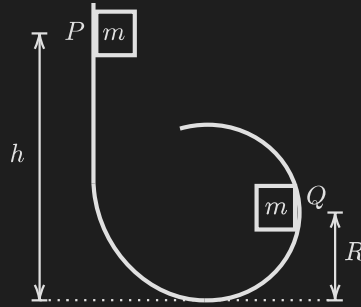
$$= \frac{1 \cdot 9,8}{2 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}} = 6,9 \text{ N} \quad \square$$

4. Usaha dan Energi

23. Tinjau balok bermassa $m = 5$ kg yang sedang bergerak di atas lantai dengan kecepatan $v_0 = 10$ m/s kemudian didorong oleh gaya $F = 100$ N. Jika diketahui lantai licin, maka energi kinetik sistem setelah 1 detik adalah ... J.

Jawab. $v = v_0 + at$ untuk $v_0 = 10$ m/s, $a = \frac{F}{m} = \frac{100}{5} = 20$ m/s², dan $t = 1$ detik memberikan kita $v = 30$ m/s. Dengan demikian, energi kinetik sistem adalah $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \cdot 5 \cdot 30^2 = 2250,0$ J. \square

24. Sebuah balok bermassa $m = 0,075$ kg meluncur dari titik P pada bidang licin dengan lintasan seperti pada gambar berikut ($R = 12$ cm dan $h = 5R$). Usaha yang dilakukan oleh gaya gravitasi pada balok dari P ke Q sama dengan ... J.



Jawab. Karena bidang licin, tidak ada gaya gesek yang bekerja pada balok; hanya gaya gravitasi saja, yang merupakan gaya konservatif. Ketinggian balok berubah sehingga ada perubahan energi potensial gravitasi. Hubungan antara usaha oleh gaya konservatif, pada kasus ini gaya gravitasi, dengan perubahan energi potensial adalah

$$W = -\Delta E_p$$

Dengan demikian,

$$\begin{aligned} W &= -[mgR - mgh] \\ &= -[mgR - 5mgR] \\ &= 4mgR \\ &= 4 \cdot 0,075 \cdot 9,8 \cdot 0,12 \\ &= 0,4 \text{ J} \quad \square \end{aligned}$$

25. Sebuah partikel bermassa $m = 2$ kg berada di bawah pengaruh gaya sebagai fungsi waktu berbentuk $F(t) = 4t + 2$ N dengan t dalam satuan detik. Awalnya kecepatan partikel adalah $v_0 = 2$ m/s. Besar usaha dalam 3 detik pertama sama dengan ... J.

Jawab. Kita gunakan teorema usaha-energi, yakni $W = \Delta E_k$. Tentukan kecepatan pada detik ketiga dahulu, lalu hitung selisih energi kinetiknya.

$$a = \frac{F}{m} = 2t + 1$$

$$\frac{dv}{dt} = 2t + 1$$

$$dv = (2t + 1) dt$$

$$\int_{v_0}^v v = \int_0^t (2t + 1) dt$$

$$v - \frac{v_0}{2} = t^2 + t$$

$$v = t^2 + t + 2$$

Jadi, kecepatan pada detik ketiga adalah $v = 3^2 + 3 + 2 = 14$ m/s. Menggunakan teorema usaha-energi:

$$W = \Delta E_k$$

$$= \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$$

$$= \frac{1}{2}m(v^2 - v_0^2)$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 2(14^2 - 2^2)$$

$$= 192,0 \text{ J} \quad \square$$

26. Gabungan antara gaya gesek pengendara sepeda dengan jalanan dan udara dapat diformulasikan dalam persamaan $F = \alpha v$ di mana v adalah kecepatan pengendara dan $\alpha = 4$ Ns/m. Dengan tenaga maksimal, pengendara dapat menghasilkan tenaga penggerak sebesar $P = 600$ watt. Kecepatan maksimum yang dapat ditempuh pengendara di tanah datar tanpa angin sama dengan ... m/s.

Jawab. Daya (P) adalah laju usaha terhadap waktu $P = W/t$, sedangkan usaha adalah hasil kali (titik) antara gaya dan perpindahan ($W = F \cdot s$). Pada kasus ini, daya dapat dinyatakan kembali sebagai

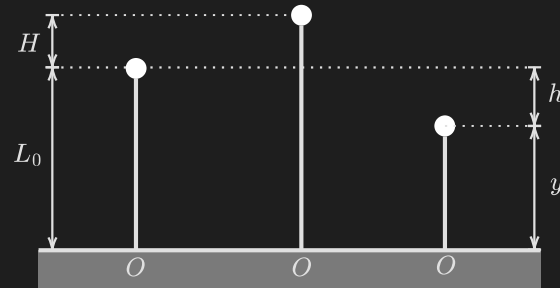
$$P = \frac{W}{t} = \frac{F \cdot s}{t} = Fv = \alpha v^2$$

Dengan demikian, v adalah

$$v^2 = \frac{P}{\alpha} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{P}{\alpha}} = \sqrt{\frac{600}{4}} = \sqrt{150} \approx 12,2 \text{ m/s} \quad \square$$

27. Sebuah tali tak bermassa dengan panjang mula-mula $L_0 = 0,32$ m dapat ditarik hingga bertambah panjang dan berperilaku seperti pegas dengan konstanta pegas $k = 60$ N/m. Ujung tali diikat pada suatu titik O yang tetap dan pada ujung lainnya terikat sebuah partikel bermassa $m = 5$ kg. Mula-mula partikel m tersebut ditarik ke atas dan tali bertambah panjang sebesar $H = 0,1$ m sehingga partikel tersebut berada pada ketinggian $h = 0,42$ m di atas titik O . Partikel kemudian dilepaskan tanpa kecepatan awal. Anggap gerakan partikel pada ujung tali tersebut hanya berupa gerakan satu dimensi pada arah vertikal. Ketika sesaat partikel tersebut diam di posisi terbawah, panjang tali sama dengan y . Nilai y sama dengan ... m.

Jawab.



Dari kiri ke kanan: posisi setimbang, tali ditarik, posisi terbawah. Menggunakan hukum kekekalan energi mekanik pada kondisi tali ditarik dan posisi terbawahnya, kita dapatkan

$$E_{m,i} = E_{m,f}$$

$$mg(L_0 + H) + \frac{1}{2}kH^2 = mgy + \frac{1}{2}kh^2$$

$$mgy = \frac{1}{2}k(H^2 - h^2) + mg(L_0 + H)$$

$$y = \frac{k(H^2 - h^2)}{2mg} + L_0 + H$$

$$= \frac{60(0,1^2 - 0,42^2)}{2 \cdot 5 \cdot 9,8} + 0,32 + 0,1$$

$$= 0,32 \text{ m} \quad \square$$

28. Seseorang bermassa $m = 60$ kg jatuh dari ketinggian $h = 1$ m. Saat mendarat, ia menekuk lutut hingga pusat massanya turun sejauh $d = 10$ cm. Gaya total yang dirasakan oleh tulang kaki selama proses pendaratan sama dengan ... N.

Jawab. Gunakan $v^2 = v_0^2 + 2a(h - h_0)$ dengan mengambil atas sebagai positif. Percepatan jatuhnya orang adalah $a = -g$. Kecepatan orang tepat ketika menyentuh tanah adalah

$$\begin{aligned} v^2 &= 0^2 - 2g(0 - h) \\ v^2 &= 2gh \dots (1) \end{aligned}$$

Tepat setelah menyentuh tanah, kaki akan menahan tubuh supaya tidak jatuh. Akibatnya ada gaya selain gaya gravitasi mg sehingga percepatan turunnya pusat massa orang itu bukan g . Percepatan turunnya pusat massa tersebut sejauh $d = 10$ cm dapat dicari:

$$\overbrace{v^2}^0 = v^2 + 2a(0 - d)$$

$$a = \frac{v^2}{2d} = \frac{2gh}{2d} = \frac{gh}{d} \dots (2)$$

Pada saat tersebut, gaya yang bekerja pada orang adalah gaya gravitasi mg ke arah bawah dan gaya normal N yang diberikan tanah kepada kaki ke arah atas. Gunakan hukum II Newton:

$$\Sigma F = ma$$

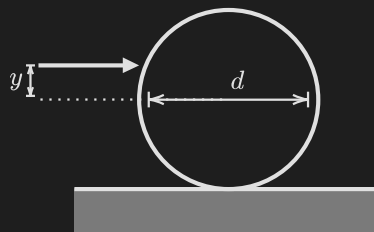
$$N - mg = \frac{mgh}{d}$$

$$N = mg \left(1 + \frac{h}{d} \right)$$

$$= 60 \cdot 9,8 \left(1 + \frac{1}{0,1} \right) = 646,8 \text{ N} \quad \square$$

5. Momentum dan Impuls

- Partikel A dan B bermassa sama sebesar $M = 4$ kg, masing-masing pada posisi $x = 0$ dan $x = 2$ meter. Partikel C bermassa $m = 1$ kg berada pada posisi $x = 1$ meter kemudian bergerak ke kanan dengan kecepatan u . Seluruh gerakan partikel hanya pada dimensi x . Seluruh tumbukan bersifat lenting sempurna. Banyak tumbukan maksimal yang mungkin terjadi adalah ... kali.
- Bola biliar dengan massa $m = 200$ gram dan diameter $d = 6$ cm terletak pada meja horizontal dengan koefisien gesek kinetik antara bola dengan meja adalah μ . Bola dipukul dari titik setinggi y di atas garis diameter yang sejajar meja. Bola bergerak menggelinding secara murni. Nilai $y = \dots$ mm.



Jawab. Karena bola menggelinding secara murni, berlaku $v = \omega r$. Hukum kekekalan momentum sudut:

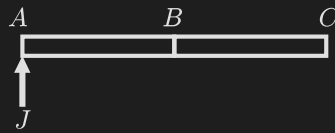
$$mvy = I\omega$$

$$m\omega ry = \frac{2}{5}mr^2\omega$$

$$y = \frac{2}{5}r = \frac{2}{5} \cdot \frac{d}{2}$$

$$= \frac{60}{5} = 12,0 \text{ mm} \quad \square$$

- Dua batang AB dan BC identik ($m = 2$ kg, $L = 2$ m) terhubung di titik B . Kedua batang awalnya diam pada permukaan horizontal licin; ABC membentuk garis lurus. Impuls sebesar $J = 8$ Ns dikenakan pada titik A dengan arah tegak lurus AB dan sejajar bidang permukaan. Besar kecepatan sudut akhir $AB = \dots$ rad/s.



4. Dua batang homogen A dan B dengan panjang $\ell = 1$ m, massa A adalah $m_A = 1$ kg dan massa B $m_B = 2$ kg terletak paralel satu sama lain pada bidang horizontal licin. Batang B awalnya diam di $y = 0$, terbentang dari $x = 0$ hingga $x = 1$. A bergerak secara konstan dengan laju $v = 1$ m/s ke arah sumbu- y positif. Ujung kanan A sampai pada titik $(0, 0)$ saat $t = 0$ dan menumbuk ujung kiri B secara elastik. Nilai impuls yang diberikan A terhadap B pada proses tumbukan adalah ... Ns.

6. Gravitasi

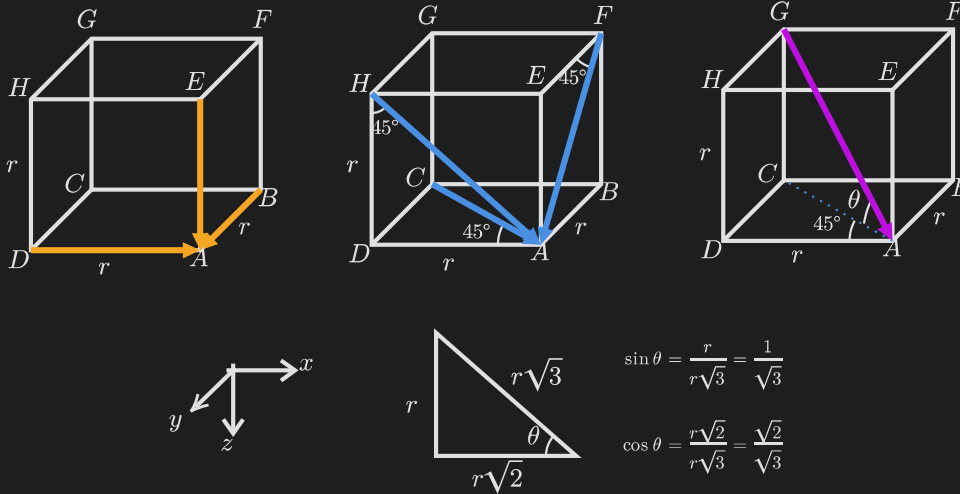
33. Kubus dengan sisi r berisi 8 partikel identik bermassa m yang terletak pada tiap titik sudut kubus tersebut. Misalnya besar gaya gravitasi yang dirasakan oleh sebuah partikel m akibat interaksi gravitasi dengan tujuh partikel lainnya dapat dinyatakan dalam $F = c \frac{Gm^2}{R^2}$ dengan G konstanta gravitasi universal dan c suatu bilangan rasional positif. Jika b adalah bilangan bulat positif terbesar yang nilainya lebih kecil dari c , maka $b = \dots$

Jawab. Dua benda bermassa M dan m yang terpaut jarak r akan memberikan gaya gravitasi pada satu sama lain sebesar

$$F = \frac{GMm}{r^2}$$

di mana $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$ adalah konstanta gravitasi universal. Misalkan kubus yang dimaksud oleh soal adalah sebagai berikut:

Kita pilih titik A untuk meninjau gaya gravitasinya. Ada 3 set gaya yang bekerja pada titik tersebut:



Set pertama (kiri) adalah gaya-gaya yang dilakukan oleh titik-titik lain (B, D, E) yang berjarak R , yang besarnya

$$F_1 = \frac{Gm^2}{R^2}$$

Set kedua (tengah) tersusun atas gaya-gaya yang dilakukan oleh titik-titik lain (C, F, H) yang membentuk diagonal bidang bersama dengan titik A . Jarak antara A dengan tiap titik-titik tersebut adalah $R\sqrt{2}$ sehingga besar gaya gravitasi antara keduanya adalah

$$F_2 = \frac{Gm^2}{2R^2}$$

Set ketiga (kanan) adalah gaya antara G dengan A , yang keduanya membentuk suatu diagonal ruang. Jarak antara keduanya adalah $R\sqrt{3}$ sehingga besar gaya gravitasinya

$$F_3 = \frac{Gm^2}{3R^2}$$

Dalam bentuk vektor, gaya-gaya yang bekerja pada titik A adalah

$$\begin{aligned} F_{DA} &= \left(\frac{Gm^2}{R^2} \right) \hat{i} & F_{CA} &= \left(\frac{Gm^2}{2R^2} \cos 45^\circ \right) \hat{i} + \left(\frac{Gm^2}{2R^2} \sin 45^\circ \right) \hat{j} = \frac{\sqrt{2}Gm^2}{4R^2} (\hat{i} + \hat{j}) \\ F_{BA} &= \left(\frac{Gm^2}{R^2} \right) \hat{j} & F_{FA} &= \left(\frac{Gm^2}{2R^2} \cos 45^\circ \right) \hat{j} + \left(\frac{Gm^2}{2R^2} \sin 45^\circ \right) \hat{k} = \frac{\sqrt{2}Gm^2}{4R^2} (\hat{j} + \hat{k}) \\ F_{EA} &= \left(\frac{Gm^2}{R^2} \right) \hat{k} & F_{HA} &= \left(\frac{Gm^2}{2R^2} \sin 45^\circ \right) \hat{i} + \left(\frac{Gm^2}{2R^2} \cos 45^\circ \right) \hat{k} = \frac{\sqrt{2}Gm^2}{4R^2} (\hat{i} + \hat{k}) \end{aligned}$$

$$F_{GA} = \left(\frac{Gm^2}{3R^2} \cos \theta \cos 45^\circ \right) \hat{i} + \left(\frac{Gm^2}{3R^2} \cos \theta \sin 45^\circ \right) \hat{j} + \left(\frac{Gm^2}{3R^2} \sin \theta \right) \hat{k} = \frac{Gm^2}{3\sqrt{3}R^2} (\hat{i} + \hat{j} + \hat{k})$$

Gaya yang dirasakan A adalah total dari seluruh gaya tersebut:

$$F_A = \left(\frac{Gm^2}{R^2} + \frac{\sqrt{2}Gm^2}{2R^2} + \frac{Gm^2}{3\sqrt{3}R^2} \right) (\hat{i} + \hat{j} + \hat{k})$$

$$\begin{aligned}
&= \left[\frac{Gm^2}{R^2} \left(1 + \frac{\sqrt{2}}{2} + \frac{1}{3\sqrt{3}} \right) \right] (\hat{i} + \hat{j} + \hat{k}) \\
&\approx 1,9 \frac{Gm^2}{R^2} (\hat{i} + \hat{j} + \hat{k})
\end{aligned}$$

Jadi, besar gaya yang dirasakan A adalah $1,9 \cdot \frac{Gm^2}{R^2}$. Akibatnya, $c = 1,9$ dan $b = 1,0$. \square

34. Sebuah planet bermassa M berbentuk bola berjari-jari R memiliki kerapatan massa yang seragam. r adalah jarak yang diukur dari pusat planet. Distribusi massa planet akan memberikan percepatan gravitasi lokal pada jarak r sebesar $g_{(n)}$ dengan $n = r/R$. Nilai $g_{(n)}$ maksimum diperoleh untuk $n = \dots$

Jawab. [Penjelasan Konteks]

Dua benda bermassa M dan m yang terpaut jarak r akan memberikan gaya gravitasi pada satu sama lain sebesar

$$F = \frac{GMm}{r^2}$$

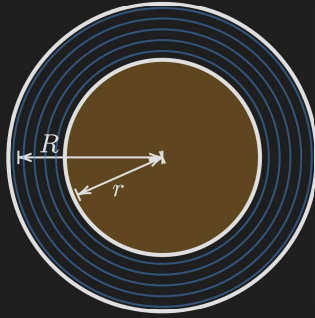
di mana $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$ adalah konstanta gravitasi universal. Menyamakan gaya gravitasi ini dengan $F = mg$, kita dapatkan

$$mg = \frac{GMm}{r^2} \Rightarrow g = \frac{GM}{r^2}$$

Nampak bahwa besarnya percepatan gravitasi (g) berbanding terbalik dengan kuadrat jarak (r^2) antara kedua benda, yakni makin jauh jaraknya, makin lemah gaya gravitasinya. Benda di luar planet akan mengalami gaya gravitasi yang lebih lemah ketimbang benda di permukaan planet. Bagaimana jika benda ada di dalam planet, yakni pada kasus $r < R$?

[Analisis]

Teorema *shell* Newton menyebutkan bahwa benda yang berada di dalam kulit bola simetris (bola tanpa isi) tidak akan mengalami resultan gaya gravitasi oleh massa kulit bola, terlepas dari posisi benda di dalamnya. Perhatikan gambar berikut:



Berdasarkan teorema *shell*, benda pada jarak r dari pusat planet tidak akan merasakan gaya gravitasi dari lapisan planet yang berada di luarnya (biru). Jadi, benda ini hanya akan merasakan gaya gravitasi dari massa planet pada radius r dari pusatnya (kuning).

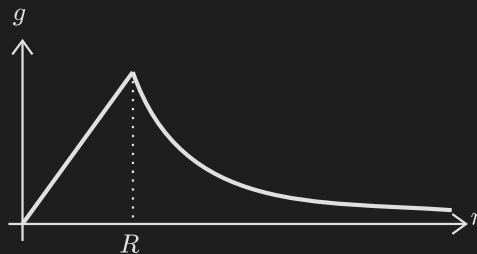
Misalkan kerapatan massa planet adalah ρ . Jika massa planet yang berada pada radius r dari pusatnya adalah m , maka:

$$\rho = \frac{m}{v} = \frac{m}{\frac{4}{3}\pi r^3} \Rightarrow m = \frac{4}{3}\pi \rho r^3$$

Percepatan gravitasi yang diberikan oleh massa ini adalah

$$g = \frac{Gm}{r^2} = \frac{G \cdot \frac{4}{3}\pi \rho r^3}{r^2} = \left(\frac{4G\pi\rho}{3} \right) r$$

$\frac{4G\pi\rho}{3}$ nilainya konstan sehingga pada kasus $r < R$ ini g besarnya berbanding lurus dengan r . Ini berkebalikan dengan kasus $r > R$ di mana g justru berbanding terbalik dengan r^2 . Jadi, grafik g secara keseluruhan dapat digambarkan sebagai berikut:



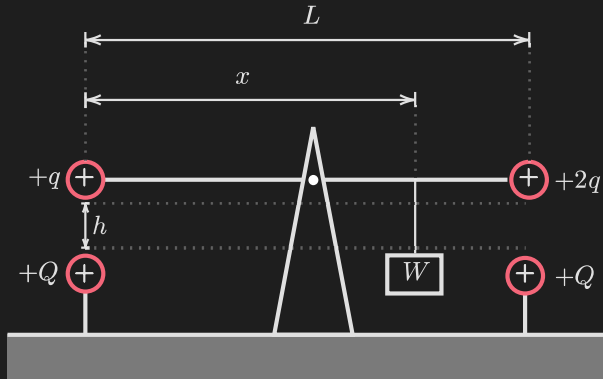
Nampak bahwa nilai maksimum g tercapai saat $r = R$, atau $\frac{r}{R} = 1$. Dengan demikian, $n = 1, 0$. \square

7. Mekanika Fluida

35. Air di kedalaman h akan mengalami perubahan elastik karena tekanan hidrostatik. Jika besarnya definisi air adalah $\beta = 4,7 \times 10^{10}$, maka rapat volume dari energi deformasi air pada kedalaman 1000 m adalah ... kJ/m³.

8. Elektrostatika

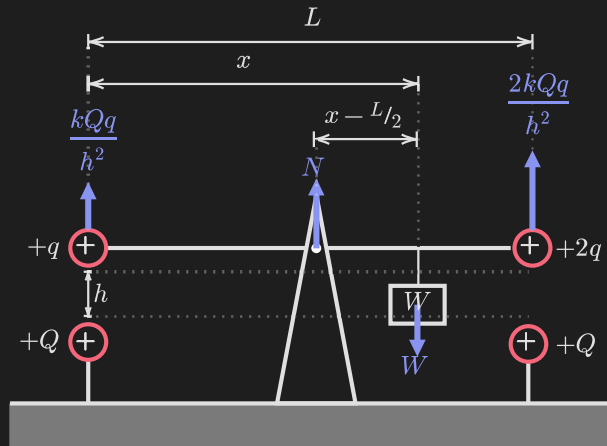
36. Empat buah muatan tersusun seperti pada gambar di bawah dengan $h = 1$ cm, $L = 2$ m, $Q = q = 1$ μC, dan $W = 100$ N. Nilai x supaya sistem dalam keadaan setimbang sama dengan ... m. ($k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10^9$ Nm²/C²)



Jawab. Menurut hukum Coulomb, gaya elektrostatik antara dua benda, masing-masing bermuatan Q dan q , yang terpisah sejauh r adalah

$$F_E = \frac{kQq}{r^2}$$

di mana $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \approx 9 \times 10^9$ Nm²/C² (ϵ_0 adalah permitivitas ruang hampa). Gaya antara muatan sejenis bersifat tolak-menolak, sedangkan gaya antara muatan beda jenis bersifat tarik-menarik. Gaya-gaya yang bekerja pada sistem jungkat-jungkit di atas adalah



Karena sistem setimbang maka terjadi kesetimbangan torsi. Tinjau torsi pada titik tumpu dan ambil arah jarum jam sebagai positif:

$$\Sigma \tau = 0$$

$$\frac{kQq}{h^2} \cdot \frac{L}{2} - \frac{2kQq}{h^2} \cdot \frac{L}{2} + W(x - L/2) = 0$$

$$-\frac{kQqL}{h^2} + Wx - \frac{WL}{2} = 0$$

$$Wx = \frac{kQqL}{2h^2} + \frac{WL}{2}$$

$$x = \left(1 + \frac{kQq}{Wh^2}\right) \frac{L}{2}$$

$$= \left(1 + \frac{(9 \times 10^9)(10^{-6})(10^{-6})}{(100)(10^{-2})^2}\right) \frac{2}{2}$$

$$= 1,9 \text{ m} \quad \square$$

