

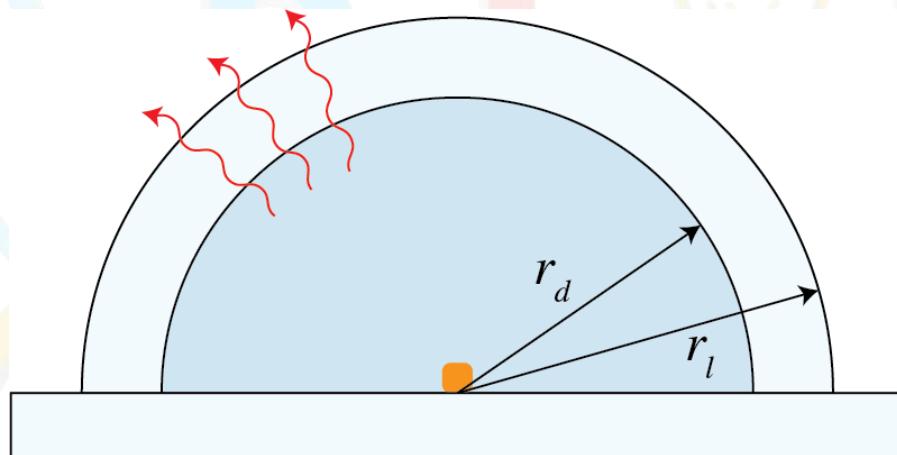
SOAL
Kontes Terbuka Olimpiade Fisika
Agustus 2020





1. Iglo

Iglo atau igloo adalah rumah atau tempat tinggal sementara, berbentuk kubah dan dibangun dari balok-balok salju. Walaupun iglo identik dengan tempat tinggal orang Inuit, iglo banyak dibangun orang Kanada yang tinggal di Arktik Tengah dan wilayah Thule di Greenland. Salju cocok digunakan sebagai isolator (bahan penyekat) dari cuaca dingin. Suhu ruangan di dalam iglo jauh lebih hangat, dan memungkinkan manusia untuk hidup walaupun suhu di luar bisa mencapai -46°C . Dalam soal ini kita akan meninjau sifat termal dinding es igloo sebagai isolator.



Tinjau sebuah iglo berbentuk setengah bola yang dindingnya terbuat dari salju padat berjari-jari dalam $r_d = 2\text{ m}$ dan jari-jari luar $r_l = 2.5\text{ m}$. Konduktivitas termal salju padat $\kappa = 0.25\text{ Js}^{-1}\text{m}^{-1}\text{s}^{-1}$. Dalam koordinat polar, laju kalor yang mengalir per satuan luas atau disebut juga fluks kalor J dapat dinyatakan sebagai:

$$J = -\kappa \frac{dT}{dr}$$

Dimana κ adalah konduktivitas termal bahan, T adalah suhu, dan r adalah jarak ke pusat koordinat. Tanda negatif menunjukkan bahwa kalor mengalir dari suhu tinggi ke suhu rendah. Anggap tekanan atmosfir sama seperti di permukaan laut, $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$, suhu lingkungan homogen dan tidak ada angin. Udara kering dan tidak banyak terdapat uap air.

- Apabila diketahui selisih temperatur di dalam iglo dan di luarnya adalah $\Delta T = 40^{\circ}\text{C}$ (suhu dalam iglo lebih tinggi daripada suhu lingkungan), tentukan total kalor yang terbuang ke lingkungan per satuan waktu. Anggap suhu dinding dalam dibawah 0°C .
- Perbedaan suhu tersebut dipertahankan oleh sebuah lampu petromaks yang memancarkan sinar homogen ke seluruh arah. Anggap sinar yang mengenai tanah diserap seluruhnya. Apabila luas permukaan sumbu 7 cm^2 , dan emisivitas api dalam lampu petromaks sempurna, tentukan suhu sumbu tersebut! Lampu petromaks terletak di tengah iglo.

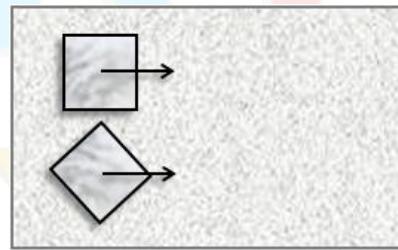
Sekarang lampu tersebut diperbesar nyala apinya, sehingga dayanya menjadi dua kali lipat. Anggap suhu lingkungan di luar iglo adalah -30°C .

- Dalam kasus ini, dinding dalam iglo akan meleleh. Tentukan jari-jari iglo baru r'_d ketika dinding dalam tidak lagi meleleh. Anggap air yang meleleh langsung mengembun lagi di dasar iglo, sehingga tidak membentuk lapisan uap air di permukaan dinding dalam.
- Berapakah laju pertambahan r_d ketika awal lampu diganti? Gunakan kalor lebur es $L = 334000 \text{ J kg}^{-1}$, densitas salju padat 900 kg/m^3 .



2. Kubus di Dalam Ruangan Berkabut

Dua buah kubus identik bermassa m dan sisi L bergerak di dalam ruangan berkabut. Kabut dalam ruangan memiliki kerapatan homogen ρ dan partikel-partikel penyusunnya tidak berinteraksi satu sama lain. Kedua kotak bergerak pada arah dan kecepatan awal yang sama v_0 . Kubus 1 salah satu sisinya tepat mengarah ke arah gerak, sedangkan kubus 2 seperti kubus 1 namun diputar sebesar 45° (sistem diilustrasikan pada gambar di samping). Hitung perbandingan kecepatan kubus 1 dengan kubus 2 setelah keduanya bergerak selama T satuan waktu! Tumbukan antara partikel kabut dan kubus bersifat lenting sempurna.



3. Memristor

Pada umumnya, komponen rangkaian listrik yang sering dijumpai adalah resistor, kapasitor, dan induktor. Namun, pada tahun 1971, Leon Chua mengusulkan sebuah komponen rangkaian baru yang, menurut argumennya, melengkapi keluarga komponen rangkaian listrik. Komponen tersebut dinamakan *memristor*, singkatan dari *memory resistor*. Memristor adalah komponen rangkaian listrik yang dapat menyimpan fluks medan magnet Φ_m (mirip seperti induktor) jika diberikan beda muatan q (mirip seperti kapasitor) pada kedua kaki memristor. Memristansi (disimbolkan dengan M) didefinisikan lewat persamaan $d\Phi_m = M dq$, dimana $d\Phi_m$ adalah perubahan fluks medan magnet yang terjadi jika muatan pada kaki memristor berubah sebesar dq . Pada soal ini, kita akan meninjau salah satu jenis memristor, yang diusulkan oleh Strukov et al. (2008).

Memristor yang akan digunakan dalam soal ini memiliki memristansi sebagai fungsi muatan listrik di kedua kakinya sebagai berikut

$$M(q) = R_{OFF}[1 - Aq(t)]$$

dimana $q(t)$ adalah muatan listrik yang tersimpan di kaki memristor, dan

$$A = \frac{\mu_V R_{ON}}{D^2} \left(1 - \frac{R_{ON}}{R_{OFF}}\right)$$

Secara matematis, memristor ekuivalen dengan resistor yang tidak konstan, sehingga hubungan di bawah ini berlaku

$$V(t) = M(q)I(t)$$

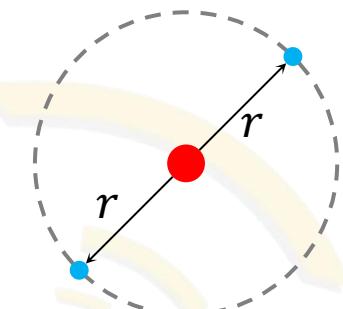
dimana $V(t)$ dan $I(t)$ berturut-turut adalah tegangan dan arus pada memristor ini. Perhatikan bahwa satuan memristansi adalah Ohm, sama dengan satuan resistor.

- Tinjau sebuah memristor yang disambung ke sebuah sumber arus AC dengan arus $I(t) = I_0 \sin \omega t$. Tidak ada komponen lain kecuali memristor dan sumber arus AC. Jika kondisi awalnya adalah $q = 0$ ketika $t = 0$, tentukan tegangan pada memristor sebagai fungsi waktu.
- Definisikan parameter $\alpha = I_0 A / \omega$. Buktikan bahwa dalam kasus ini, tegangan $V(t)$ sebagai fungsi arus $I(t)$ pada memristor dapat ditulis menjadi



$$V(I) = IR_{OFF} \left[1 - \alpha \pm \alpha \sqrt{1 - \left(\frac{I}{I_0} \right)^2} \right]$$

- c. Sekarang, ganti sumber arus AC menjadi sumber tegangan AC dengan tegangan $V(t) = V_0 \sin \omega t$. Jika kondisi awalnya adalah $q = 0$ ketika $t = 0$, tentukan arus pada memristor sebagai fungsi waktu. Gunakan parameter $\beta = V_0 A / \omega R_{OFF}$ jika diperlukan.
- d. Berdasarkan hasil pada sub-soal c), tentukan hubungan antara arus sebagai fungsi dari tegangan $I(V)$ pada memristor. Tentukan pula hubungan yang harus dipenuhi oleh β agar fungsi $I(V)$ dapat selalu terdefinisi dengan baik.
4. Elektron dan Proton



Dalam sebuah atom hidrogen yang bermuatan negatif, terdapat sebuah proton di tengah-tengah yang dikelilingi dua elektron pada kulit luar pertamanya. Dalam mekanika kuantum disebutkan bahwa elektron mempunyai besar momentum sudut yang konstan pada kulit yang sama. Misalkan dalam soal ini, momentum sudut di kulit pertama adalah L , jari-jari atom adalah r_a , massa elektron adalah m_e , dan massa proton adalah m_p . Tentukan besar kecepatan sudut semua mode osilasi elektron bila diberi simpangan sangat kecil pada arah radial! (Asumsikan bahwa elektron selalu berada di depan elektron yang lain karena simpangan osilasi sangatlah kecil).

5. Osilasi Pendulum pada Kerangka Berotasi

Tinjau sebuah sistem seperti pada gambar. Asumsikan seluruh massa pendulum berpusat di ujung beban pendulum dengan massa total \mathbf{m} serta panjang pendulum adalah \mathbf{l}_0 . Momen inersia pendulum terhadap poros rotasi adalah \mathbf{I} . Pendulum disambung pada pegas dengan konstanta \mathbf{k} dan panjang naturalnya \mathbf{l}_0 . Roda tempat sistem pendulum-pegawai terpasang disambung pada regulator kecepatan pada poros yang melalui pusat massanya sehingga roda dapat berputar tanpa gesekan secara murni tanpa translasi. Jari-jari roda ialah \mathbf{R} dimana $\mathbf{R} > \mathbf{l}_0$ dan abaikan massa roda. Pada setiap bagian soal, regulator digerakkan sedemikian rupa sehingga sistem berada dalam keadaan *steady-state* (ω = konstan) dan tali tetap tegang selama keadaan berlangsung. Pada keadaan *steady-state* sudut antara pendulum dan pegas adalah $\frac{\pi}{2}$. Bidang pergerakan sistem adalah vertikal (Medan gravitasi \vec{g} mengarah vertikal ke bawah). Gunakan koordinat seperti pada gambar dan untuk mempermudah penggerjaan silakan gunakan kerangka yang berotasi bersama roda karena koordinat yang digunakan bergerak bersama roda.

- Tentukan ϕ agar sistem berada dalam kesetimbangan dinamis, kemudian jelaskan secara posisi kesetimbangan ini! (Nyatakan dalam m, ω, l_0, R, k , dan g)
- Tentukan syarat ω agar posisi kesetimbangan ini dapat terjadi! (Nyatakan dalam m, l_0, R, k , dan g)



- c. Dari keadaan setimbang, pendulum disimpangkan radial (Ingat bahwa sudut ϕ adalah posisi pendulum terhadap garis vertikal menurut kerangka roda yang non-inersial dan sudut θ juga dilihat dalam kerangka non-inersial yang berotasi bersama roda).
- Tentukan frekuensi osilasi pendulum untuk simpangan kecil (Nyatakan dalam m, ω, k, R, g , dan π)
 - Dengan syarat apakah frekuensi sudut osilasi dapat tercapai? Syarat ini memberi konsekuensi pada ω yang Anda dapatkan sebelumnya, apakah itu?

