

A. Pertanyaan

- ① Panjang pesawat akan mengalami kontraksi, menurut pengamat yang di bumi,

$$L = \frac{L_0}{\gamma}$$

panjang pesawat akan mengecil,

Sehingga $L_0 > L$.

maka bentuk pesawat menurut pengamat di dalam pesawat adalah elips.
karena hanya panjang yang searah gerak akan berkontraksi (memendek)

- ② efek doppler pada bidang astronomi dapat diperoleh dari efek doppler cahaya.

$$f = f_0 \sqrt{\frac{1-\beta}{1+\beta}}$$

untuk laju rendah $\beta \ll 1$, maka menjadi

$$f = f_0 (1 - \beta + \frac{1}{2}\beta^2)$$

β terlalu kecil

maka $f = f_0 (1 - \beta)$

$$\frac{c}{\lambda} = \frac{c}{\lambda_0} (1 - \beta) \rightarrow \lambda = \lambda_0 (1 - \beta)^{-1}$$

② karena β sangat kecil,

kita dapat ekspansi $(1-\beta)^{-1}$

menjadi, $\lambda = \lambda_0(1+\beta)$

$$\beta = \left(\frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} \right)$$

karena $|\Delta\lambda| \rightarrow$ tidak dapat terlihat secara terpisah

$|\Delta\lambda| \approx 0$ sehingga objek tersebut dipastikan bukan tunggal

③ Sebuah foton memindahkan energi. Relativitas ekuivalen dengan massa dan energi, yang berarti bahwa cukup memberikan foton sebuah momentum.

④ $K_{\max} = hf - \phi$

$K_{\max} = eV_0$ sehingga $eV_0 = hf - \phi$

Sehingga $V_0 = \left(\frac{h}{e} \right) f - \frac{\phi}{e}$

(i) $V_{01} = \left(\frac{h}{e} \right) f - \frac{3eV}{e} = \left(\frac{h}{e} \right) f - 3V$

(ii) $V_{02} = \left(\frac{h}{e} \right) f - \frac{4eV}{e} = \left(\frac{h}{e} \right) f - 4V$

(iii) $V_{03} = \left(\frac{h}{e} \right) f - \frac{5eV}{e} = \left(\frac{h}{e} \right) f - 5V$

sehingga $V_A > V_B > V_C$

⑤ jawaban hanya (b), yakni jumlah arus fotolistrik maksimum

a) Setelah terjadi fotolistrik, maka :

Semakin banyak foton \sim Semakin besar I
 \downarrow \downarrow
Intensitas elektron
Cahaya



- ① Dalam laboratorium, partikel bergerak sejauh $d = 0,00105 \text{ m} = Vt$

dengan $V = 0,992c$ dan t adalah waktu yang diukur pada jam lab.

maka $t = \gamma t_0$ dengan $t_0 =$ waktu hidup sebenarnya

$$t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{V}{c}\right)^2}}$$

$$t_0 = t \sqrt{1 - \left(\frac{V}{c}\right)^2}$$

$$t_0 = \frac{d}{0,992c} \sqrt{1 - 0,992^2}$$

$$t_0 = 4,46 \times 10^{-13} \text{ s} = 0,446 \text{ ps}$$

- ② Dari nilai L pada grafik, ketika $\beta = 0$

kita dapat menuliskan

$$L = L_0 \sqrt{1 - \left(\frac{V}{c}\right)^2}$$

$$L_0 = 0,8 \text{ m}$$

$$L_a = L_0 \sqrt{1 - \beta^2}$$

$$L_a = L_0 \rightarrow L_0 = 0,8 \text{ m}$$

② untuk $\Rightarrow V = 0,95c$

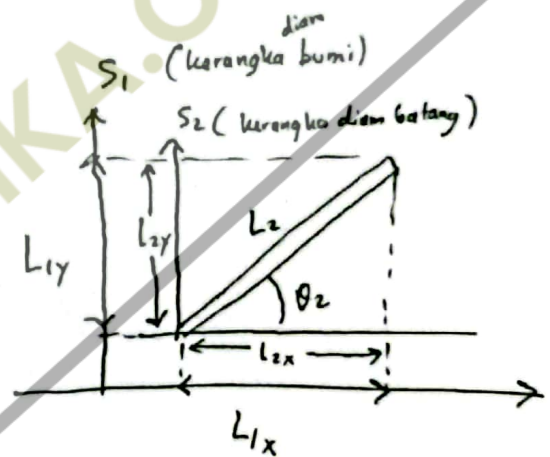
maka
$$L = L_0 \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}$$

$$= (0,8) \sqrt{1 - \left(\frac{0,95c}{c}\right)^2}$$

$$L = 0,25 \text{ m}$$

③
$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{1}{\sqrt{1 - 0,995^2}} = 10$$

$L_1 = 2 \text{ m}$ dan $\theta = 30^\circ$ (keduanya diukur pada kerangka yang bergerak relatif terhadap batang)



maka: $L_{1x} = L_1 \cos \theta_1 = (2 \text{ m}) (0,867) = 1,73 \text{ m}$

dan $L_{1y} = L_1 \sin \theta_1 = (2 \text{ m}) (0,500) = 1 \text{ m}$

L_{2x} adalah panjang sebenarnya, maka

$$L_{1x} = \frac{L_{2x}}{\gamma}$$

$$L_{2x} = 10 L_{1x} = 17,3 \text{ m}$$

dan $L_{1y} = L_{2y} = 1 \text{ m}$

3) a) $L_2 = \sqrt{L_{2x}^2 + L_{2y}^2}$

$$L_2 = \sqrt{(17,3)^2 + (1)^2}$$

$$L_2 = 17,4 \text{ m}$$

b) $\tan \theta_2 = \frac{L_{2y}}{L_{2x}}$

$$\theta_2 = \tan^{-1} \left(\frac{L_{2y}}{L_{2x}} \right)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{1}{17,3} \right)$$

$$\theta_2 = 3,30^\circ$$

4) a) Interval dilatasi waktu

$$\tau = \gamma \tau_0 = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

b) dengan menggunakan persamaan efek doppler relativistik

$$f = f_0 \sqrt{\frac{1 - \beta}{1 + \beta}}$$

dan faktanya bahwa periode adalah kebalikan frekuensi.

$$(f = \frac{1}{\tau} \text{ dan } f_0 = \frac{1}{\tau_0})$$

$$\tau = \frac{1}{f} = \left(f_0 \sqrt{\frac{1-\beta}{1+\beta}} \right)^{-1}$$

$$= \tau_0 \sqrt{\frac{1+\beta}{1-\beta}}$$

$$\tau = \tau_0 \sqrt{\frac{c+v}{c-v}}$$

⑤ karena efek dilatasi waktu, Waktu antara umur awal dan akhir anak lebih lama dari pada pengalaman 4 tahun ayahnya.

$$\text{maka: } t_{f \text{ anak}} - t_{i \text{ anak}} = \gamma (4 \text{ tahun})$$

$$\text{dengan } \gamma = \frac{1}{\sqrt{1-(\frac{v}{c})^2}}$$

kita misalkan $T =$ umur ayah, maka kondisi yang dibutuhkan permasalahan ini.

$$T_i = t_{i \text{ anak}} + 20 \text{ tahun}$$

$$T_f = t_{f \text{ anak}} - 20 \text{ tahun}$$

$$\text{karena } T_f - T_i = 4 \text{ tahun}$$

$$\text{maka: } 44 = 48 \rightarrow \gamma = 11 \rightarrow \beta = \frac{2\sqrt{30}}{11} = 0,9959$$

⑥ Dengan menerapkan teorema Usaha energi.

$$W_{\text{tot}} = -eV_0 = \Delta K = 0 - K_{\text{max}}$$

$$K_{\text{max}} = \frac{1}{2} m v_{\text{max}}^2 = eV_0$$

dengan

$$K_{\text{max}} = hf - \phi \quad \text{dan} \quad eV_0 = hf - \phi$$

Sehingga laju maksimum

$$K_{\text{max}} = eV_0$$

$$\frac{1}{2} m v_{\text{max}}^2 = eV_0$$

$$1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$v_{\text{max}}^2 = \frac{2eV_0}{m}$$

$$v_{\text{max}} = \sqrt{\frac{2(2 \text{ eV})}{9,1 \times 10^{-31}}}$$

$$= \sqrt{\frac{4 \text{ eV}}{9,1 \times 10^{-31}}}$$

$$= \sqrt{\frac{4(1,6 \times 10^{-19})}{9,1 \times 10^{-31}}}$$

$$v_{\text{max}} = 0,7 \times 10^6 \text{ m/s} = 7 \times 10^5 \text{ m/s}$$

7) a) $p = \frac{h}{\lambda}$

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mV} = \frac{6,6 \times 10^{-34}}{1,6 \times 10^{-19} (1500)} = 0,275 \times 10^{-9} \text{ m}$$

$$\lambda = 0,275 \text{ nm}$$

b) $E_k = \frac{p^2}{2m}$

$$p = \sqrt{2m E_k}$$

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2m E_k}} = \frac{6,6 \times 10^{-34}}{\sqrt{2 (9,1 \times 10^{-31}) (1,6 \times 10^{-19})}}$$

$$\lambda = 1,2 \times 10^{-9} \text{ m}$$

$$\lambda = 1,2 \text{ nm}$$

⑧ a) $eV_s = hf - \phi$

$$V_s = \frac{h}{e} f - \frac{\phi}{e}$$

Dari dua titik pada grafik.

$$0 = \left(\frac{h}{e}\right) 1 \times 10^{15} - \frac{\phi}{e} \rightarrow \frac{h}{e} = \frac{\phi}{e} \frac{1}{1 \times 10^{15}}$$

$$3 = \left(\frac{h}{e}\right) 8 \times 10^{15} - \frac{\phi}{e}$$

Sehingga :

$$3 = \left(\frac{\phi}{e}\right) \frac{1}{10^{15}} \times 8 \times 10^{15} - \frac{\phi}{e}$$

$$3 = 8\left(\frac{\phi}{e}\right) - \frac{\phi}{e}$$

$$3e = 7 \frac{\phi}{e}$$

$$\phi = \frac{3eV}{7} = 0,4eV$$

Jadi, fungsi kerja logam adalah 0,4 eV

8)

b)

Nilai konstanta planck

$$\frac{h}{e} = \phi \left(\frac{1}{10^{15}} \right)$$

$$h = \phi \frac{1}{10^{15}}$$

$$= 0,4 \times 1,6 \times 10^{-19} \times 10^{-15}$$

$$= 0,68 \times 10^{-34}$$

$$h = 6,8 \times 10^{-35} \text{ J.s}$$

9)

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{mc} (1 - \cos \theta)$$

$$\cos \theta = 1 - \frac{mc}{h} (\lambda' - \lambda)$$

$$= 1 - \frac{9,11 \times 10^{-31} (3 \times 10^8)}{6,6 \times 10^{-34}} (0,2703 \times 10^{-9} - 0,2685 \times 10^{-9})$$

$$\cos \theta = 0,26$$

$$\theta = \cos^{-1}(0,26) = 75^\circ$$

$$(10) \quad a) \quad \Delta\lambda = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos\theta)$$

$$= \frac{6,6 \times 10^{-34}}{9,1 \times 10^{-31} (3 \times 10^8)} (1 - \cos 180^\circ)$$

$$= (2,43 \times 10^{-12}) (2)$$

$$\Delta\lambda = 4,86 \times 10^{-12} \text{ m} =$$

panjang gelombang foton terhambur

$$\lambda' = \lambda_0 + \Delta\lambda = 500 \times 10^{-9} + 0,00486 \times 10^{-9}$$

$$\lambda' = 500,00486 \times 10^{-9} \text{ m}$$

$$\lambda' = 500,00486 \text{ nm}$$

b)

$$\Delta E_{\text{foton}} = \frac{hc}{\lambda_0} - \frac{hc}{\lambda'}$$

$$= hc \left(\frac{1}{\lambda_0} - \frac{1}{\lambda'} \right)$$

$$= 6,6 \times 10^{-34} (3 \times 10^8) \left(\frac{1}{500 \times 10^{-9}} - \frac{1}{500,00486 \times 10^{-9}} \right)$$

$$= 19,8 \times 10^{-26} \left(\frac{10^9}{500} - \frac{10^9}{500,00486} \right)$$

$$\Delta E = 19,8 \times 10^{-20} = 1,98 \times 10^{-19} \text{ J} = 1,2 \text{ eV}$$



(10)

c) Waktu yang diukur oleh pengamat di laboratorium adalah Δt .

Sedangkan waktu yang diamati lintasan elektron adalah Δt_0 .

$$\Delta t = \gamma \Delta t_0 \rightarrow \Delta t_0 = \frac{\Delta t}{\gamma}$$

Untuk mencari faktor γ kita harus menerapkan konsep relativitas.

Dengan konservasi energi.

$$E_{\text{foton}}^{\text{sebelum}} = E_{\text{foton}}^{\text{setelah}} + K_{\text{elektron}}$$

$$\Delta E_{\text{foton}} = K_{\text{elektron}}$$

$$1,2 \text{ eV} = K_{\text{elektron}}$$

$$K_{\text{elektron}} = 1,98 \times 10^{-19} \text{ J}$$

dengan relativistik

$$K = (\gamma - 1) mc^2$$

$$\gamma - 1 = \frac{K}{mc^2} \rightarrow \gamma = 1 + \frac{K}{mc^2}$$

6) d)

$$\gamma = 1 + \frac{1,98 \times 10^{-19}}{9,1 \times 10^{-31} (3 \times 10^8)^2}$$

$$\gamma = 1 + 0,424 \times 10^{-4} = 1,0000024$$

maka: $\Delta t_0 = \frac{\Delta t}{1,0000024} = \frac{\Delta t}{1,0000024}$

$$= 0,999 \Delta t$$

$$= 0,999 (1 \text{ jam})$$

$$\Delta t_0 = 0,99 \text{ jam}$$

