به نام خدا

پاسخ تشریحی سوالات مرحله دوم سی امین المپیاد فیزیک ایران

- یاسمین‌سادات پناهی
- متینا نجفی

پاسخ های تشریحی

(۱)

الف) به دلیل پایستگی انرژی مکانیکی، میدانیم که از آنجایی که هر ۳ توپ در ابتدا در ارتفاع یکسانی قرار دارند،سرعت هر سه آنان در انتهای مسیر یکسان است. بنابراین

$$mg \times 2h = \frac{1}{2} m{v_1}^2$$

$$\Rightarrow v_1 = 2\sqrt{gh} = v_2 = v_3$$

ب) در مسیر ۱ زمان حرکت گلوله از تقسیم مسافت پیموده شده بر سرعت متوسط آن در طی مسیر به دست می آید

$$\overline{v_1} = \sqrt{gh}$$

$$T_1 = \frac{\sqrt{(2h)^2 + (\pi h)^2}}{\sqrt{gh}} = \sqrt{\frac{h}{g}}.\sqrt{4+\pi^2}$$

برای به دست آوردن زمان حرکت گلوله ۲، زمان حرکت آن را در هر یک از قسمت های مسیرش به دست می آوریم و با هم جمع میکنیم

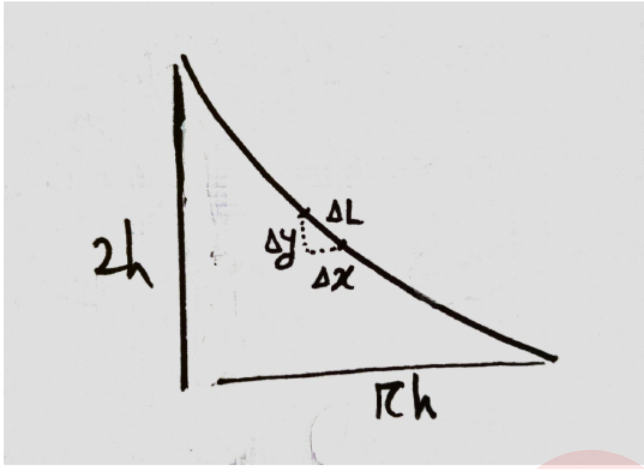
$$T_2 = \frac{2h}{\sqrt{gh}} + \frac{\pi h}{2\sqrt{gh}} = \sqrt{\frac{h}{g}}(2 + \frac{\pi}{2})$$

پ) دوباره از قانون پایستگی جرم استفاده میکنیم

$$mg(2h - y) = \frac{1}{2} m{v_{3(y)}}^2$$

$$\Rightarrow v_{3(y)} = \sqrt{2g(2h-y)}$$

ت)



$$\Delta L = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$$

$$\Delta x \approx \frac{dx}{du}\Delta u = h(1-\cos u)\Delta u$$

$$\Delta y \approx \frac{dy}{du}\Delta u = -h\sin u\ \Delta u$$

$$\Rightarrow \Delta L = h\Delta u\sqrt{(1-\cos u)^2 + \sin^2 u} = h\Delta u\sqrt{2(1-\cos u)}$$

ث) زمان عبور گلوله از تقسیم فاصله کوچکی که در قسمت بالا به دست آوردیم برسرعت گلوله در ارتفاع دلخواه که در قسمت پ به دست آوردیم، بدست می آید.

$$\Delta t = \frac{h\Delta u\sqrt{2(1-\cos u)}}{\sqrt{2g(2h-y)}} \qquad y = h(1+\cos u)$$

$$\Rightarrow \Delta t = \frac{h\Delta u\sqrt{1-\cos u}}{\sqrt{gh(1-\cos u)}} = \sqrt{\frac{h}{g}}\Delta u$$

ج) برای به دست آوردن کل زمان حرکت گلوله ۳، تمام زمان هایی که جزء های مسیر را در آن می پیماید (که آنرا برای ارتفاع دلخواه در قسمت بالا به دست آوردیم) را جمع میزنیم.

$$T_3 = \sum \Delta t = \sum \sqrt{\frac{h}{g}}\Delta u = \sqrt{\frac{h}{h}}\sum \Delta u = \sqrt{\frac{h}{g}}u$$

$$y = 2h = h(1+\cos u_1) \rightarrow \ \cos u_1 = 1 \rightarrow u_1 = 0$$

$$y = 0 = h(1+\cos u_2) \rightarrow \ \cos u_2 = -1 \rightarrow u_2 = \pi$$

$$\Rightarrow T_3 = \sqrt{\frac{h}{g}}(u_2 - u_1) = \pi\sqrt{\frac{h}{g}}$$

چ)

$$\sqrt{4+\pi^2} > 2 + \frac{\pi}{2} > \pi$$

$$\Rightarrow T_1 > T_2 > T_3$$

(۲)

الف) میدانیم چگالی یخ کمتر از آب است، پس حجم جرم یکسانی یخ بیشتر از حجم مقدار آبی به همان جرم است. بنابراین باید مقداری آب یخ بزند تا ارتفاع نهایی (H) بیشتر از 2h شود. با توجه به اینکه آب یخ میزند، در حالت تعادل نهایی، آب روی یخ است. دمای ترکیب نهایی چون هیچ اتلاف گرمایی ای هم نیست برابر صفر است.

ب)

m = جرم آبی که یخ میزند

h_1 = ارتفاع آن جرم وقتی که آب بوده است

h_2 = ارتفاع آن جرم وقتی یخ میزند

v_2 = حجم حالت ثانویه ، v_1 = حجم حالت اولیه

θ_2 = دمای اولیه یخ

$$m = \rho_1 A h_1 = \rho_2 A h_2$$

$$\Rightarrow h_2 = \frac{\rho_1}{\rho_2} h_1 \qquad (1)$$

$$(H - 2h)A = v_2 - v_1 = \frac{m}{\rho_2} - \frac{m}{\rho_1} = A(h_2 - h_1)$$

$$\Rightarrow H - 2h = h_2 - h_1 \qquad (2)$$

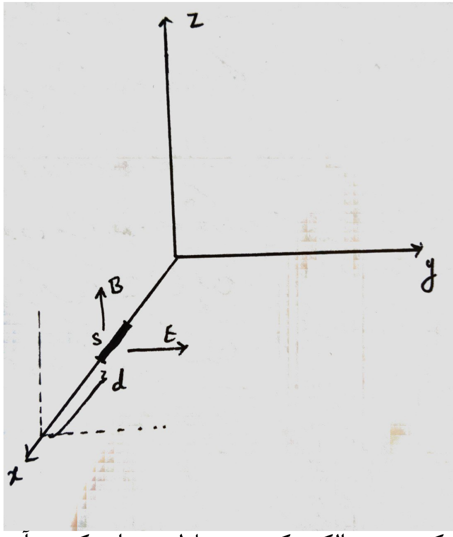
$$\text{تعادل} \Rightarrow -\rho_1 h_1 A C_1 \theta_1 - \rho_1 h_1 A L_f - \rho_1 (h - h_1) A C_1 \theta_1 = \rho_2 h C_2 \theta_2 A$$

$$\Rightarrow \rho_1 h C_1 \theta_1 + \rho_1 h_1 L_f = \rho_2 h C_2 \theta_2 \qquad (3)$$

$$\xRightarrow{(1),(2)} H - 2h = h_1\left(\left(\frac{\rho_1}{\rho_2}\right) - 1\right) \Rightarrow h_1 = \frac{H - 2h}{\frac{\rho_1}{\rho_2} - 1}$$

$$\xRightarrow{h_1\ in\ (3)} \theta_2 = \frac{-\rho_1\left(hC_1 + \frac{(H - 2h)L_f}{\frac{\rho_1}{\rho_2} - 1}\right)}{\rho_2 h C_2} = -52°\text{C}$$

(۳)



$$\frac{1}{2}mv^2 = Ve \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2Ve}{m}} \quad , \quad l = 5\times10^{-2}m \quad , \quad B = 10^{-3}T$$

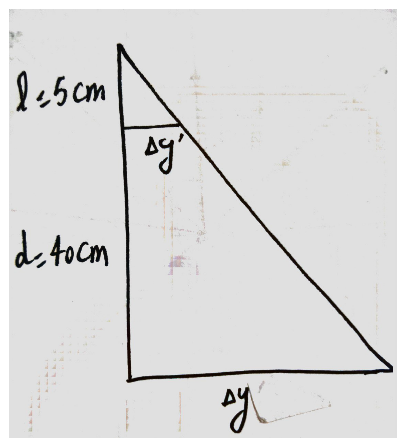
$$c = 3\times10^{8}\,{}^{m}/_{s} \quad , \quad d = 0.4m \quad , \quad E = \frac{V_0}{D} = 3\times10^{4}\,{}^{N}/_{C}$$

$$mc^2 = 5\times10^5 eV \Longrightarrow \frac{e}{m} = \frac{9\times10^{16}}{5\times10^5} = 18\times10^{10}\,{}^{C}/_{kg}$$

الف)برای اینکه الکترون منحرف نشود باید برایند نیروهای وارد بر آن صفر باشد، و از آنجایی که نیروی الکتریکی و مغناطیسی ای که به آن وارد میشود در جهت های مخالف هستند، بنابراین باید مقدار این نیرو ها با هم برابر باشند.

$$eE = eB\sqrt{2V\frac{e}{m}}$$

$$\Rightarrow V = \frac{E^2}{2B^2\frac{e}{m}} = \frac{9\times10^8}{2\times10^{-6}\times18\times10^{10}} = 2500V$$



ب) چون دلتا V خیلی کم است و ۵/۴۰ خیلی کوچک است، مسیر حرکت الکترون مستقیم فرض میشود.

L = مسافتی که الکترون در ناحیه S می پیماید

$$\frac{\delta V}{V} = 0.001$$

$$a = \frac{eB\sqrt{2(V+\delta V)\frac{e}{m}} - eE}{m} = \frac{e}{m}\left(B\sqrt{2(V+\delta V)\frac{e}{m}} - E\right) = \frac{e}{m}\left(B\sqrt{2V\frac{e}{m}\left(1+\frac{\delta V}{V}\right)} - E\right)$$

$$\approx \frac{e}{m}\left(B\sqrt{2V\frac{e}{m}}\left(1+\frac{\delta V}{2V}\right) - E\right) = \frac{e}{m}\left(B\sqrt{2V\frac{e}{m}}\frac{\delta V}{2V} + B\sqrt{2V\frac{e}{m}} - E\right)$$

$$B\sqrt{2V\frac{e}{m}} = E \implies a = \frac{e}{m}B\sqrt{2V\frac{e}{m}}\frac{\delta V}{2V}$$

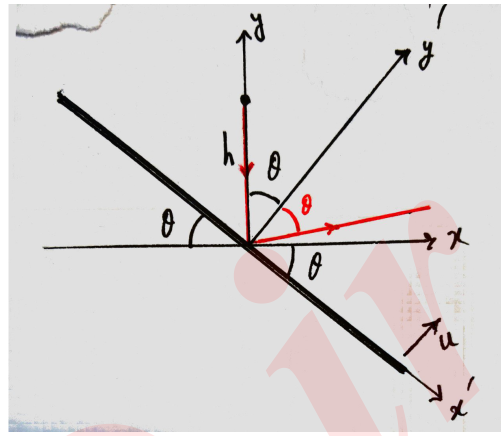
$$L = \sqrt{l^2 + \Delta y'^2} = l\sqrt{1+\frac{\Delta y'^2}{l^2}} \approx l$$

$$t = \frac{l}{\sqrt{2(V+\delta V)\frac{e}{m}}} \approx \frac{l}{\sqrt{2V\frac{e}{m}}\left(1+\frac{\delta V}{2V}\right)}$$

$$\Delta y' = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2}\frac{e}{m}B\sqrt{2V\frac{e}{m}}\,\frac{\delta V}{2V}\left(\frac{l^2}{2V\frac{e}{m}\left(1+\frac{\delta V}{2V}\right)^2}\right)$$

$$\Delta y = 9\Delta y' \approx 3.4 \times 10^{-7}$$

(۴)



الف) توپ در خط عمودی حرکت میکند، بنابراین مولفه افقی سرعت آن صفر است.
مولفه عمودی نیز از پایستگی انرژی به دست می آید.

$$v_{1x} = 0 \ , \qquad v_{1y} = -\sqrt{2gh}$$

ب) برای بدست آوردن سرعت نسبی سطح و توپ در دستگاه x-'y' مولفه عمودی سرعت توپ را از مولفه عمودی سرعت زمین، و مولفه افقی سرعت توپ را از مولفه افقی سرعت زمین تفریق برداری میکنیم , و برای به دست آوردن این مولفه ها، سرعت عمودی و افقی توپ در دستگاه x-y را روی محور های دستگاه جدید تجزیه میکنیم:

$$w'_{1x} = \sqrt{2gh}\sin\theta \ , \qquad w'_{1y} = -\sqrt{2gh}\cos\theta - u$$

پ) چون هنگام برخورد مولفه افقی توپ در دستگاه سطح متحرک تغییری نمیکند و مولفه عمودی آن در دستگاه سطح تنها علامتش تغییر میکند، بنابر این مطابق شکل بالا با زاویه یکسانی نسبت به خط عمود بر سطح و سرعتی برابر با سرعت برخورد در دستگاه سطح برمیگردد، درست مانند بازتاب نور از یک سطح.

$$w'_{2x} = \sqrt{2gh}\sin\theta \ , \qquad w'_{2y} = \sqrt{2gh}\cos\theta + u$$

ت) ابتدا مولفه x' سرعت توپ را بر محور های دستگاه زمین تجزیه میکنیم. در راستای y' در دستگاه سطح سرعت توپ هر چه که باشد، چون سرعت زمین نسبت به سطح برابر u و در جهت خلاف محور y' است، ابتدا سرعت u را به مولفه y' سرعت توپ اضافه میکنیم، سپس آنرا بر روی محور های دستگاه x-y تجزیه میکنیم و درنهایت همه آنها را با هم جمع کرده و مولفه های سرعت در دستگاه زمین را بدست می آوریم.

$$v_{2y} = w_{2x'}\cos\theta + \left(w_{2y'} + u\right)\sin\theta = 2\sqrt{2gh}\sin\theta\cos\theta + 2u\sin\theta$$

$$v_{2y} = \left(w_{2y'} + u\right)\cos\theta - w_{2x'}\sin\theta = \sqrt{2gh}\cos^2\theta + 2u\cos\theta - \sqrt{2gh}\sin^2\theta$$

ث) از پایستگی انرژی استفاده میکنیم:

$$mgh = \frac{1}{2}mv_{2y}{}^2 \Rightarrow v_{2y} = \sqrt{2gh} = \sqrt{2gh}(\cos^2\theta - \sin^2\theta) + 2u\cos\theta$$
$$= \sqrt{2gh}(2\cos^2\theta - 1) + 2u\cos\theta$$

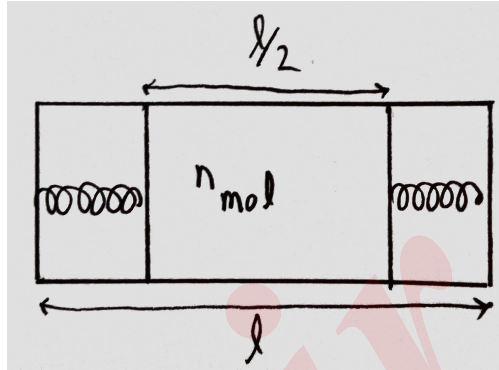
$$\Rightarrow \sqrt{2gh}\cos^2\theta_h + u\cos\theta_h - \sqrt{2gh} = 0 \to \cos\theta_h = \frac{-u \pm \sqrt{u^2+8gh}}{2\sqrt{2gh}}$$

$$\cos\theta_h \geq -1 \to \theta = \cos^{-1}\frac{-u + \sqrt{u^2+8gh}}{2\sqrt{2gh}}$$

ج) چون در ادامه دو جواب قابل قبول برای زاویه مورد نظر به دست می آید، در نتیجه در ۲ زاویه مولفه عمودی سرعت صفر میشود.

$$v_{2y} = 0 = \sqrt{2gh}(2\cos^2\theta - 1) + 2u\cos\theta \to \theta_c = \cos^{-1}\frac{-u \pm \sqrt{u^2+4gh}}{2\sqrt{2gh}}$$

(۵)



الف) با نوشتن معادله تعادل نیروها برای محفظه حاوی گازی و دو فنر متصل به دیواره های ظرف ، T1 را بدست می آوریم:

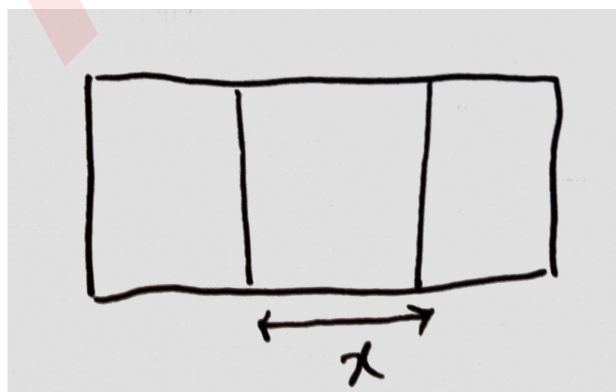
$$PV = nRT \rightarrow \frac{nRT_1}{A\frac{l}{2}} = \frac{K}{A}\left(l - \frac{l}{4}\right) \rightarrow T_1 = \frac{3l^2K}{8nR}$$

ب) با دراختیار داشتن مقداری T1 و حجم محفظه گازی (AL/2) از طریق قانون گازهای کامل (PV=nRT) فشار را بدست می آوریم:

$$P_1V_1 = nRT_1 \rightarrow P_1 = \frac{3l^2K}{8nR} \times nR \times \frac{2}{Al} = \frac{3lK}{4A}$$

پ) با افزایش دما ، گاز منبسط شده و طول فنر ها تغییر میکند ، با توجه به ثابت بودن سطح پیستون (A) نسبت v1 به v2 همان نسبت طول اولیه محفظه گازی به طول ثانویه آن است:

l' = طول جدید فنر



$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{A(l-2l')}{A\frac{l}{2}} = \frac{2(l-2l')}{l}$$

$$\frac{nRT_2}{A(l-2l')} = \frac{K(l-l')}{A}$$

$$\xrightarrow{T_2={}^3/_2T_1} 2l'^2 - 3ll' + \frac{7l^2}{16} = 0 \Longrightarrow l' = \frac{3 \pm \sqrt{\frac{11}{2}}}{4}$$

$$l' < \frac{l}{4} \Rightarrow l' = l\left(\frac{3-\sqrt{\frac{11}{2}}}{4}\right) \Longrightarrow \frac{V_2}{V_1} = \sqrt{\frac{11}{2}} - 1$$

ت) با در اختیار داشتن نسبت T2 به T1 و V2 به V1 و رابطه PV/T =const در گازهای کامل ، نسبت فشار ثانویه به فشار اولیه را بدست می آوریم:

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{T_2}{T_1} \times \frac{V_1}{V_2} = \frac{3}{2}\left(\frac{1}{\sqrt{\frac{11}{2}}-1}\right) \rightarrow \frac{P_2}{P_1} = \frac{1}{3}\left(\sqrt{\frac{11}{2}}+1\right)$$

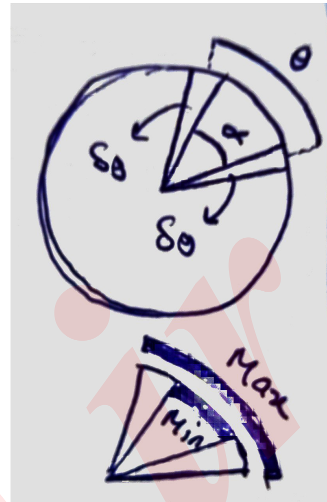
ث و ج) از آنجایی که حجم و فشار گاز هردو تغییر کرده اند با انتگرال گیری ، مقدار کار انجام شده روی گاز را بدست آورده و با استفاده از قانون اول ترمودینامیک مقدار گرمایی که به گاز داده میشود را بدست می آوریم:

$$W = -\int_{V_1}^{V_2} PdV = -\int_{x=\frac{l}{2}}^{x=l-2\acute{l}} \frac{K}{A}\left(l - \left(\frac{l-x}{2}\right)\right)Adx = -K\int_{\frac{l}{2}}^{2\acute{l}}\left(\frac{l}{2}+\frac{x}{2}\right)dx$$

$$= -\frac{K}{2}\left(lx + \frac{x^2}{2}\right)\Bigg|_{\frac{l}{2}}^{\frac{l}{2}\left(\sqrt{\frac{11}{2}}-1\right)} = -\frac{Kl^2}{8}\left(\sqrt{\frac{11}{2}} - \frac{5}{4}\right)$$

$$Q = E - W = \frac{3}{2}nR(T_2 - T_1) - W = \frac{Kl^2}{8}\left(1 + \sqrt{\frac{11}{2}}\right)$$

(۶)



الف) برای آنکه ذره ای که از چاک ۱ عبور کرده اند، از چاک ۲ نیز عبور کنند، گرده دوم تا وقتی که ذره به آن میرسد یا باید تقریبا به اندازه θ چرخیده باشد، یا یک دور کامل به علاوه θ یا دو دور کامل به علاوه θ یا ... بنابراین بینهایت بازه جواب داریم.

t = زمانی که گرده از چاک ۱ به چاک ۲ میرسد

Δθ = زاویه چرخش چاک ها در مدت عبور گرده از داخل گزینش گر

$$t = \frac{l}{v}$$

$$\Delta\theta = \omega t = \frac{\omega l}{v} = 2k\pi + \theta, \qquad k \in \mathbb{W}$$

$$\Rightarrow v_{max} = \frac{\omega l}{2k\pi + \theta - \delta\theta}\ , \qquad v_{min} = \frac{\omega l}{2k\pi + \theta + \delta\theta}$$

$$\Rightarrow v \approx \left[\frac{\omega l}{2k\pi + \theta}\left(1 - \frac{\delta\theta}{2k\pi + \theta}\right), \frac{\omega l}{2k\pi + \theta}\left(1 + \frac{\delta\theta}{2k\pi + \theta}\right)\right]$$

ب) از آنجایی که بازه کلی سرعت در صورت سوال داده شده است، با قرار دادن مقادیر مختلف k در بازه بالا، تعداد بازه هایی که ماکزیمم و مینیمم آنها در بازه کلی وجود دارد را پیدا میکنیم. گرده هایی که سرعتشان در این بازه هاست از چاک عبور میکنند، و چون احتمال سرعت گرده ها در بازه کلی، یکنواخت است، نسبت مجموع طول این بازه ها به طول بازه کلی،درصد گرده های عبوری را مشخص میکند.

با انجام این کار میفهمیم تنها بازه های با k=1,0 در بازه کلی (۳۰ m/s،۱۲۰ m/s) میگنجند، و هیچ بازه دیگری اشتراکی با بازه کلی ندارد. (به ازای k=2 یا بیشتر از آن، ماکسیمم سرعت از ۳۰ متر بر ثانیه کمتر میشود)

$$k = 0$$

$$v_{max} = \frac{100\pi}{\pi}\left(1 + \frac{\pi/100}{\pi}\right) = 101\ {}^{m}/_{s}\,, \qquad v_{min} = \frac{100\pi}{\pi}\left(1 - \frac{\pi/100}{\pi}\right) = 99\ {}^{m}/_{s}$$

$$\rightarrow v_{max} - v_{min} = 2\ {}^{m}/_{s}$$

$$k = 1$$

$$v_{max} = \frac{100\pi}{3\pi}\left(1 + \frac{\pi/100}{3\pi}\right) = \frac{100}{3} + \frac{1}{9}\ {}^{m}/_{s}\,, \qquad v_{min} = \frac{100\pi}{3\pi}\left(1 - \frac{\pi/100}{3\pi}\right) = \frac{100}{3} - \frac{1}{9}\ {}^{m}/_{s}$$

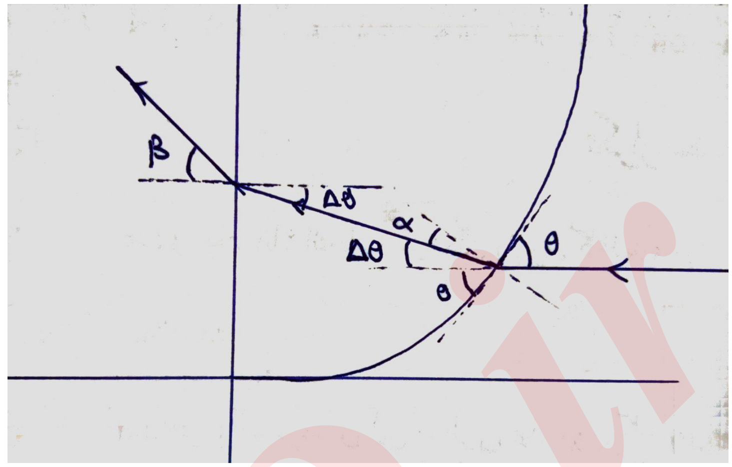
$$\rightarrow v_{max} - v_{min} = \frac{2}{9}\,{}^{m}/_{s}$$

$$k = 2$$

$$v_{max} = \frac{100}{5} + \frac{1}{25}\ {}^{m}/_{s} < 30\ {}^{m}/_{s}$$

$$\frac{2 + \frac{2}{9}}{120 - 30} = \frac{2}{81} \approx 2.47\%$$

(۷)



الف) β زاویه پرتو خروجی از تیغه با خط عمود است،که خط عمود موازی محور x است. چون پرتو ورودی به تیغه موازی محور x بود، پس β همان زاویه بین پرتو خروجی با راستای پرتو ورودی است، یعنی همان زاویه انحراف.

$$y = ax^2 \rightarrow y' = 2ax = \tan\theta$$

$$\cos\theta = \frac{1}{\sqrt{1+4a^2x^2}}, \qquad \sin\alpha\,(1+\delta) = \cos\theta \rightarrow \sin\alpha = (1-\delta)\cos\theta$$

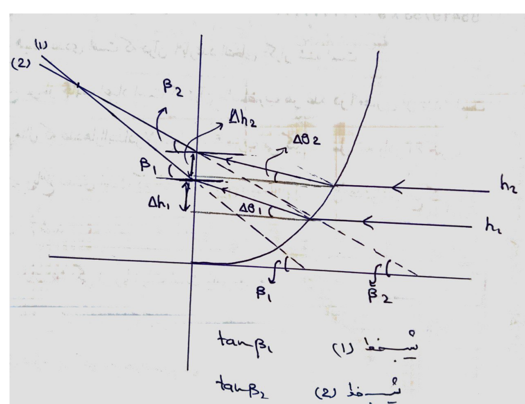
$$\alpha + (\theta + \Delta\theta) = \frac{\pi}{2} \rightarrow \sin\alpha = \cos(\theta + \Delta\theta)$$

$$\cos(\theta + \Delta\theta) = \cos\theta - \Delta\theta\sin\theta = (1-\delta)\cos\theta = \cos\theta - \delta\cos\theta$$

$$\Rightarrow \Delta\theta = \delta\cot\theta \xrightarrow{\tan\theta = 2ax} \Delta\theta = \frac{\delta}{2ax}$$

$$\sin\beta = (1+\delta)\sin\Delta\theta \approx (1+\delta)\Delta\theta = (1+\delta)\frac{\delta}{2ax} = \frac{\delta}{2ax} + \frac{\delta^2}{2ax} \approx \frac{\delta}{2ax} = \sin\Delta\theta$$

$$\beta = \Delta\theta = \frac{\delta}{2ax}$$



ب)

A = عرض از مبدا

$$A_2 = h_2 + \Delta h_2 \ , \qquad \Delta h_2 = x\Delta\theta_2 = x\frac{\delta}{2ax} = \frac{\delta}{2a}$$

$$A_1 = h_1 + \Delta h_1 \ , \qquad \Delta h_1 = \frac{\delta}{2a}$$

$$\tan\beta_1 = \frac{\delta}{2ax_1} \xrightarrow{h_1 = a{x_1}^2} \tan\beta_1 = \frac{\delta}{2a\sqrt{\frac{h_1}{a}}} = \frac{\delta}{2\sqrt{ah_1}} \ , \qquad \tan\beta_2 = \frac{\delta}{2\sqrt{ah_2}}$$

$$y_1 = \frac{\delta}{2\sqrt{ah_1}}x_1 + h_1 + \frac{\delta}{2a} \ , \qquad y_2 = \frac{\delta}{2\sqrt{ah_2}}x_2 + h_2 + \frac{\delta}{2a}$$

$$y_1 = y_2 \ , \qquad x_1 = x_2 = x \Rightarrow \frac{\delta}{2\sqrt{ah_1}}x + h_1 = \frac{\delta}{2\sqrt{ah_2}}x + h_2$$

$$\Rightarrow x = \frac{2\sqrt{a}}{\delta}\sqrt{h_1 h_2}\left(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}\right)$$

(۸)

الف)

$$k = const \rightarrow \frac{1}{2}m({v_{0z}}^2 + {v_{0\perp}}^2) = \frac{1}{2}m({v_z}^2 + {v_\perp}^2)$$

$$B_{z(z=0)} = B_0\left(1 + \left(\frac{z}{z_0}\right)^2\right)$$

$$\frac{\frac{1}{2}m{v_{0\perp}}^2}{B_{0z}} = \frac{\frac{1}{2}m{v_\perp}^2}{B_z} \rightarrow {v_\perp}^2 = {v_{0\perp}}^2\left(\frac{B_z}{B_{0z}}\right) = {v_{0\perp}}^2\left(1 + \left(\frac{z}{z_0}\right)^2\right)$$

$$\Rightarrow \frac{1}{2}m({v_{0z}}^2 + {v_{0\perp}}^2) = \frac{1}{2}m\left({v_z}^2 + {v_{0\perp}}^2\left(1 + \left(\frac{z}{z_0}\right)^2\right)\right)$$

$$\frac{1}{2}m{v_{0z}}^2 = \frac{1}{2}m{v_z}^2 + \frac{1}{2}m{v_{0\perp}}^2\left(\frac{z}{z_0}\right)^2$$

$$\Rightarrow k = \frac{m{v_{0\perp}}^2}{{z_0}^2}\ , \qquad R = \frac{1}{2}m{v_{0z}}^2$$

ب) در نقاط آیینه ای جهت الکترون در راستای z برعکس میشود، پس در این نقاط $v_z = 0$.

$${v_{0z}}^2 = {v_{0\perp}}^2\left(\frac{z}{z_0}\right)^2 \Rightarrow z = \pm\sqrt{\frac{{v_{0z}}^2}{{v_{0\perp}}^2}{z_0}^2} \rightarrow z = \pm\left|\frac{v_{0z}z_0}{v_{0\perp}}\right|$$

پ)

$$E = \frac{1}{2}kz^2 + \frac{1}{2}m\dot{z}^2 \rightarrow T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = \left|\frac{2\pi z_0}{v_{0\perp}}\right|$$

ت)

$$z = A\sin(\omega t + \varphi) \rightarrow z_{(t=0)} = 0 \rightarrow A\sin\varphi = 0 \rightarrow \varphi = 0$$

$$\dot{z}_{(t=0)} = v_{0z} \rightarrow A = \frac{v_{0z}}{\omega} \xrightarrow{\omega=\sqrt{\frac{k}{m}}} A = \frac{v_{0z}}{\left|\frac{v_{0\perp}}{z_0}\right|}$$

$$\Rightarrow z(t) = v_{0z}\left|\frac{v_{0z}}{v_{0\perp}}\right|\sin\left(\frac{v_{0\perp}}{z_0}t\right)$$

ث)

$$-z_m < z_0 < z_m \rightarrow \; -3z_0 < \pm\left|\frac{v_{0z}Z_0}{v_{0\perp}}\right| < 3z_0$$

$$\xrightarrow{z_0>0\ \ ,z_m>0} 0 < \left|\frac{v_{0z}}{v_{0\perp}}\right| < 3$$