

به نام خدا

واحد المپیاد فیزیک هاشمی نژاد و فرزندگان 1 مشهد

پاسخنامه 38 امین آزمون مرحله دوم المپیاد فیزیک 1404

نویسندگان:

پارسا یزدانی (سوال 3 و 5)

سید علی اخترشناس (سوال 2 و 4)

فاطمه سادات قربانی (سوال 1 و 6)

باران ملاحاجیان (سوال 7)

اساتید راهنما:

محمد امین ابوهادی (نقره 401)

پارسا صادقی (نقره 99)

دکتر سید محمدباقر سیدین (طلا 94)

دکتر سیدجواد اخترشناس

$$V_1 = 100 \text{ m}^3 \quad T_1 = 300 \text{ K} \quad P_1 = 1 \text{ bar} \quad T_2 = 290 \text{ K} \quad P_2 = 0.8 \text{ bar} \quad (1)$$

$$PV = nRT \rightarrow \frac{PV}{T} = \text{const.}$$

$$\rightarrow \frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \rightarrow V_2 = \frac{P_1 T_2}{P_2 T_1} V_1$$

$$\rightarrow V_2 = \frac{290}{0.8 \times 300} \times 100 = \boxed{120.83 \text{ m}^3}$$

$$\Delta U = \frac{\gamma}{\gamma - 1} (P_2 V_2 - P_1 V_1) = \frac{\gamma}{\gamma - 1} P_1 V_1 \left(\frac{T_2}{T_1} - 1 \right) \quad (2)$$

$$\rightarrow \Delta U = \frac{5}{2} \times 10^5 \times 100 \left(\frac{290}{300} - 1 \right) \rightarrow \boxed{\Delta U = -1.7 \times 10^8 \text{ J}}$$

$$20^\circ\text{C} - 1 \text{ bar} \rightarrow m'_1 = 24.77 \quad (3)$$

$$10^\circ\text{C} - 0.8 \text{ bar} \rightarrow m'_2 = 15.07$$

$m' \leftarrow$ حجم هوای اسفنج در 1 m^3 اهدا

$$\rightarrow \frac{V_1 m'_1}{1 \text{ m}^3} - \frac{V_2 m'_2}{1 \text{ m}^3} = \boxed{159 \text{ g}}$$

$$Q = mL_v = 159 \times 2500 = \boxed{3.975 \times 10^5 \text{ J}} \quad (4)$$

$$m = 1 \times 100 \times 100 \times 24.77 = 2477 \times 10^3 \text{ g} = \boxed{2477 \text{ kg}} \quad (5)$$

$$159 \times 10^3 = \boxed{159 \text{ kg}} \quad (6)$$

$$PAU = \text{const.} \rightarrow P_1 A_1 U_1 = P_2 A_2 U_2 \quad (C)$$

$$\rightarrow P = \frac{f}{M} RT \rightarrow \frac{P_1}{P_2} = \frac{P_1 T_2}{P_2 T_1}$$

← جرم مولی هوا

$$\rightarrow \frac{P_1 T_2}{P_2 T_1} A_1 \frac{U_1}{U_2} = A_2 \rightarrow \frac{29.0}{0.8 \times 300} \times 100 \times 100 \times \frac{10}{3} = 100 h$$

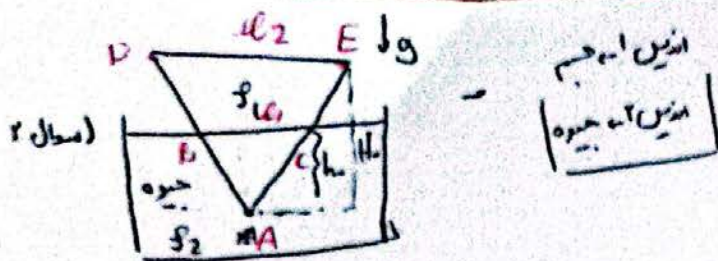
$$\rightarrow \frac{2900}{3 \times 24} = h \rightarrow h = \boxed{5.2 \text{ m}}$$

$$\Delta U = Q - W \quad \left. \begin{array}{l} \text{نمای نه گاز به محیط می دهد} \\ \text{و} \end{array} \right\} + Q' - \Delta U = \rho A u g H \quad ? = H \quad (C)$$

$W = m g H$

$$\rightarrow 1.3 (-130000 + 2054400) = 1.2 \times 100^2 \times 10 \times 10 \times H$$

$$\rightarrow \boxed{H = 1020 \text{ m}}$$



$$\text{پ), } mg = F_b = \rho_1 V_1 g = \rho_2 V_2 g \Rightarrow \rho_1 V_1 = \rho_2 V_2 \xrightarrow{\text{تقسیم بر دایره}} \rho_1 A_1 = \rho_2 A_2 \quad \text{I}$$

$$\text{نکته: } \triangle ABC \sim \triangle ADE \Rightarrow \frac{l_1}{l_2} = \frac{h_0}{H_0} \Rightarrow l_1 = l_2 \frac{h_0}{H_0} \quad \text{II}$$

$$\text{I, II} \Rightarrow \frac{\rho_2 l_1 h_0}{2} = \frac{\rho_1 l_2 H_0}{2} \Rightarrow \frac{\rho_2 h_0^2}{H_0} = \rho_1 H_0 \Rightarrow \boxed{h_0 = H_0 \sqrt{\frac{\rho_1}{\rho_2}}} \quad \text{جواب الف}$$

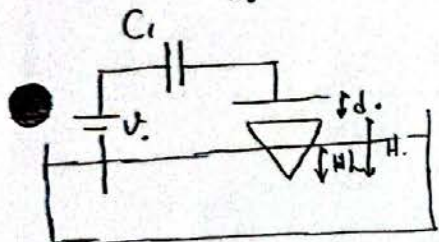
$$\text{ب) } \Delta f = f'(T) \Delta T \Rightarrow \Delta h = h'(T) \Delta T$$

$$\Rightarrow h(T) = H_0 (1 + \alpha \Delta T) \sqrt{\frac{\rho_0}{\rho_{Hg}} \frac{1 - \beta \Delta T}{1 - \beta \Delta T}} = h_0 (1 + \alpha \Delta T) \sqrt{\frac{1 - \beta \Delta T}{1 - \beta \Delta T}} = h_0 f(T)$$

$$\Rightarrow \Delta h = h - h_0 = [f(1 + \alpha \Delta T) - f(1)] h_0 = f'(1) \Delta T h_0 \Rightarrow \Delta h = \frac{h_0}{2} (\beta_{Hg} - \alpha) \Delta T$$

$$\text{پ) } \Delta h = 2 \times 10^{-4} \text{ m}$$

$$\text{ت) } C = \frac{\epsilon_0 A}{d}, \quad C + \Delta C = \frac{\epsilon_0 A}{d + \Delta d} \quad \text{I}$$



$$\text{نکته: } d_0 + H_0 - h_0 = d + H - h \Rightarrow d_0 - d = H_0 (1 + \alpha \Delta T) - H_0 + h_0 (1 + \alpha \Delta T) + h_0$$

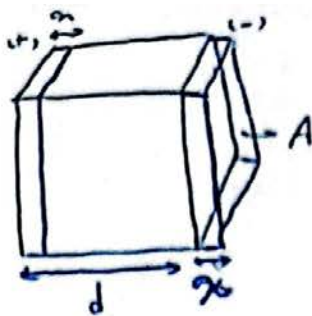
$$\Rightarrow \Delta d = \Delta h - H_0 \alpha \Delta T = \frac{1}{2} h_0 (\beta - \alpha) \Delta T - H_0 \alpha \Delta T \Rightarrow \Delta d = H_0 \Delta T \left(\sqrt{\frac{\rho_1}{4 \rho_2}} (\beta - \alpha) - \alpha \right) \quad \text{II}$$

$$\Rightarrow \text{I, II} \Rightarrow \Delta C = \epsilon_0 A \left(\frac{1}{d + \Delta d} - \frac{1}{d_0} \right) = \frac{\epsilon_0 A}{d} \left(1 - \frac{\Delta d}{d_0} - 1 \right) = - \frac{\epsilon_0 A \Delta d}{d_0^2}$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta C}{C} = \frac{-\Delta d}{d_0} = - \frac{H_0}{d_0} \left(\frac{1}{2} \sqrt{\frac{\rho_1}{\rho_{Hg}}} (\beta - \alpha) - \alpha \right) \Delta T$$

$$\text{ث) } \Delta C = 0.5 \%$$

سوال ۳)



الف) هر سطحی از جاذب به عنوان یک عازن ایجاد می‌کند!

$$i) F = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 d^2} - \frac{n^2 e^2}{4\pi\epsilon_0 (d+h)^2} \approx \frac{n^2 e^2}{4\pi\epsilon_0 d^2} \left(1 - \frac{h}{d}\right) = n m_e \ddot{x}$$

$$\Rightarrow n m_e \ddot{x} + \frac{n^2 e^2 q_0}{4\pi\epsilon_0 d^3} = \frac{n^2 e^2}{4\pi\epsilon_0 d^2} \Rightarrow \omega_1 = \sqrt{\frac{n e^2}{4\pi\epsilon_0 d^3 m_e}}$$

جواب ۱

ب) می‌دانیم فاصله بین هر دو توره متوالی $\lambda/2$ ، فاصله بین یک توره و شکم متوالی $\lambda/4$ است، بنابراین اگر هر یک از ۳ بخش

شکم را به حالت دایره و یک شکم شبیه کنیم، طول موج عبارت است از: $\frac{d}{3} = \frac{\lambda}{2} \Rightarrow d = \frac{3\lambda}{2}$ (IV)

$$\begin{array}{c} \text{---} \\ (P-\Delta P)A \end{array} \rightarrow \begin{array}{c} (P+\Delta P)A \\ \text{---} \end{array} \Rightarrow \Delta F = (P+\Delta P)A - (P-\Delta P)A = 2\Delta P \cdot A \quad (I)$$

$$\text{همچنین} \Rightarrow P \left(\frac{Ad}{3}\right) = (P+\Delta P)A \left(\frac{d}{3} - h\right) \Rightarrow \Delta P = P \frac{h}{d/3 - h} \quad (II)$$

$$\text{فشار: کامل} \rightarrow P \cdot V = N k_B T \Rightarrow P = \frac{N^3 k_B T}{Ad} \quad (III)$$

$$\Rightarrow I, II, III, IV \Rightarrow 2A\Delta P = m\ddot{x} \Rightarrow 2A \cdot \frac{9 n k_B T}{d^2} h \left(1 + \frac{3h}{d}\right) = n m_e \ddot{x}$$

$$\Rightarrow \frac{18 n k_B T}{d^2} h = n m_e \ddot{x} \Rightarrow n m_e \ddot{x} - \frac{18 n k_B T}{d^2} h \Rightarrow \omega_2 = \sqrt{\frac{18 k_B T}{m_e h^2}}$$

$$\psi) \Delta F = F_1 + F_2 = \frac{n^2 e^2}{4\pi\epsilon \cdot d^2} \left(1 - \frac{q_0}{2d}\right) + \frac{8n k_B T}{\lambda^2} q_0 = \hbar m_e \ddot{q}_0$$

$$\Rightarrow \ddot{q}_0 - \left(\frac{-ne^2}{9\pi\epsilon \cdot \lambda^2 m_e} + \frac{8n k_B T}{\lambda^2 m_e} \right) q_0 = \frac{ne^2}{4\pi\epsilon \cdot d^3 m_e} \Rightarrow W_{12} = \sqrt{\frac{8k_B T}{\lambda^2 m_e} - \frac{ne^2}{9\pi\epsilon \cdot \lambda^2 m_e}}$$

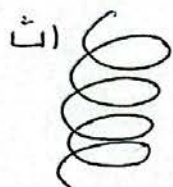
~~XXXXXXXXXX~~

$$i^2 R = F u ; i = \frac{1}{R} \frac{d\varphi}{dt} = \frac{\varphi' u}{R} \Rightarrow F u = \frac{\varphi'^2 u^2}{R} \Rightarrow F = \frac{\varphi'^2 u}{R}$$

$$ب) F = \frac{u}{R} \sum_{i=-N}^N \varphi'^2(z+ib), R = \frac{2\pi\gamma}{ab}, b = \frac{L}{2N+1} \Rightarrow F = \frac{u a L}{2\pi\gamma \sum_{i=-N}^N \varphi'^2(z+ib)}$$

$$پ) F = \frac{u a b}{2\pi\gamma} \sum_{i=-\infty}^{+\infty} \varphi'^2(ib) \rightarrow \text{میزان دانه } N \rightarrow \infty \text{ جواب دارای سهم مضاعف است.}$$

$$ت) u = m_0 \cdot \frac{2\pi\gamma}{ab \sum \varphi'^2} \Rightarrow u \sum \varphi'^2 = \frac{u_{cu}}{u_{A1}} = \frac{f_{cu}}{f_{A1}}$$

ث)  $\varphi_2 = \sum_{i=-N}^{+N} \varphi(z+ib) ; R_2 = (2N+1) R = (2N+1) \left(\frac{2\pi\gamma}{ab} \right)$ سری متقارب شده اند

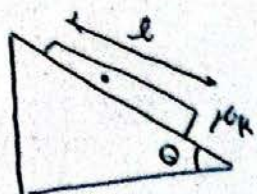
انرژی داریم، $\frac{d\varphi_2}{dt} = \sum_{i=-N}^{+N} \varphi'(z+ib) \Rightarrow \frac{d\varphi_2}{dt} = \frac{1}{b} [\varphi(z+nb) - \varphi(z-nb)] \Rightarrow i_2 = \frac{u}{b} \Delta\varphi \cdot \frac{aL}{2\pi\gamma \sum_{i=-N}^N \varphi'^2(z+ib)}$

$$\Rightarrow i_2 = \frac{u a \Delta\varphi}{2\pi\gamma \sum_{i=-N}^N \varphi'^2(z+ib)} \Rightarrow F_2 = \frac{i_2^2 R_2}{u} = \frac{a \Delta\varphi^2}{2\pi\gamma L}$$

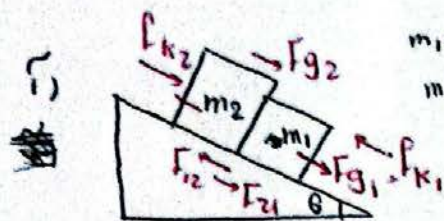


ج) چون شار ورودی و خروجی به سازه یک اندازه می باشد و انرژی دارند فلذا مجموع آنها نیز یک اندازه می باشد. $F_{20} \leftarrow$ مغناطیس

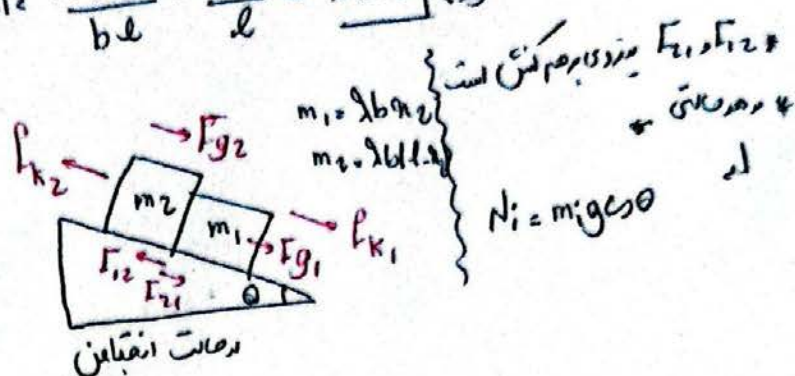
عرض ۶



$$g = \frac{m}{bl} \Rightarrow m|q| = \frac{m(bl)}{bl} = \frac{m\mu}{l} = \frac{\mu}{l} \quad \text{--- (I)}$$



در حالت انقباض



در حالت انبساط

$$\begin{cases} \hat{Y}_1, N_1 = \lambda b n_1 g \cos \theta \\ \hat{n}_1, Fg_1 + F = P_{K_1} \end{cases} \rightarrow \text{در حالت انقباض}$$

$$\begin{cases} \hat{Y}_2, N_2 = \lambda b (1 - n_2) g \cos \theta \\ \hat{n}_2, Fg_2 + F = P_{K_2} \end{cases}$$

ب) برای راحتی حل شدن سوالات بخش ب و پ، دو صم را مانند سیستم ای بصورت د ص ۱ + ص ۲ در نظر می گیریم تا نیروی برهم کنش دنا بصورت نیروی داخلی محسوب شود و در حین ΔF_{ext} ، حباب بشود.

Δ_{text} : محاسبه شود.

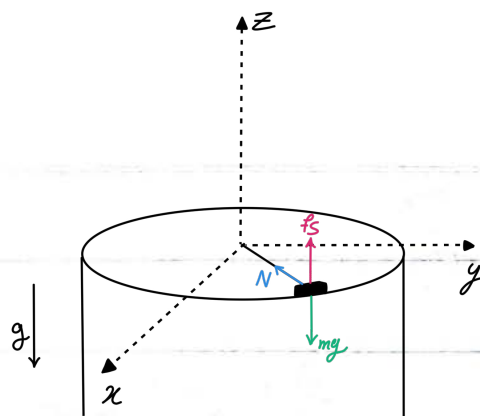
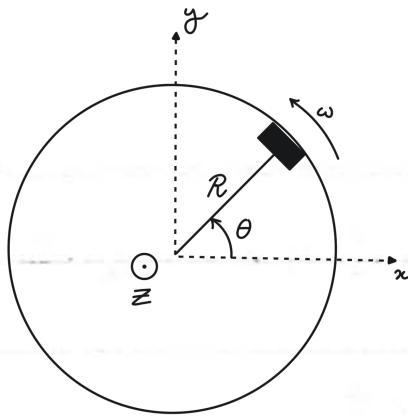
$\lambda b l_c \sin \theta g = \lambda b g \mu \cos \theta (n_1 - (l_c - n_1)) \Rightarrow n_1 = l_c \frac{\mu_k + \tan \theta}{2 \mu_k}$

پس دو سمت متباعد، پ

$$\Delta b l_c \sin \theta = \Delta b g \mu_{\text{CSO}} (l_c - n_2) - n_2 \Rightarrow n_2 = l_c \frac{\mu_{\text{CSO}} - \sin \theta}{2 \mu_{\text{CSO}}}$$

$$\text{ii)} \left\{ \begin{array}{l} \Delta n_1 = n_1 \alpha \Delta T_1 \\ \Delta n_2 = n_2 \alpha \Delta T_2 \end{array} \right. \xrightarrow{\Delta T_1 = -\Delta T_2} \Delta n_{\text{total}} = \Delta n_1 + \Delta n_2 = \frac{l_c}{\alpha} \Delta T \left(\frac{\mu_k + t g \phi}{2 \mu_k} - \frac{\mu_k - t g \phi}{2 \mu_k} \right)$$

$$\Rightarrow \delta n_{total} = \frac{\mu_c \alpha (T_H - T_C) \tan \theta}{\mu_K}$$



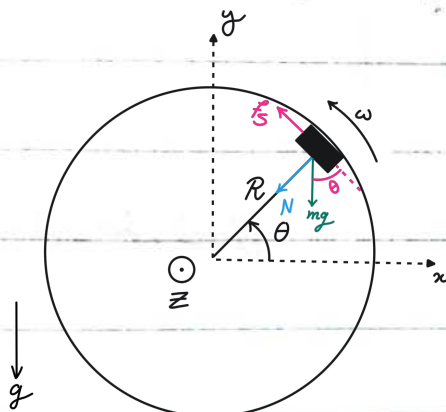
$f_s < \mu_s m \omega R$ -
 حالت ۱) در جهت -y

(۱)

$$N = mR\omega^2$$

$$f_s = mg$$

$$f_s \leq \mu_s N \rightarrow mg = \mu_s mR\omega_{\min}^2 \rightarrow \omega_{\min} = \sqrt{\frac{g}{\mu_s R}} \quad (۱)$$



حالت ۲) در جهت -y

(۲)

$$N + mg \sin \theta = mR\omega^2 \rightarrow N = m(R\omega^2 - g \sin \theta)$$

$$f_s = mg \cos \theta$$

(۲)

$$f_s \leq \mu_s N \rightarrow mg \cos \theta \leq \mu_s m(R\omega^2 - g \sin \theta)$$

$$\rightarrow \frac{g}{\mu_s} \cos \theta + g \sin \theta \leq R\omega^2 \rightarrow \underbrace{\frac{g}{R} \left(\frac{\cos \theta}{\mu_s} + \sin \theta \right)}_{F(\theta)} \leq \omega^2$$

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{R} \left(\frac{C\alpha\theta}{\mu_s} + \sin\theta \right)}$$

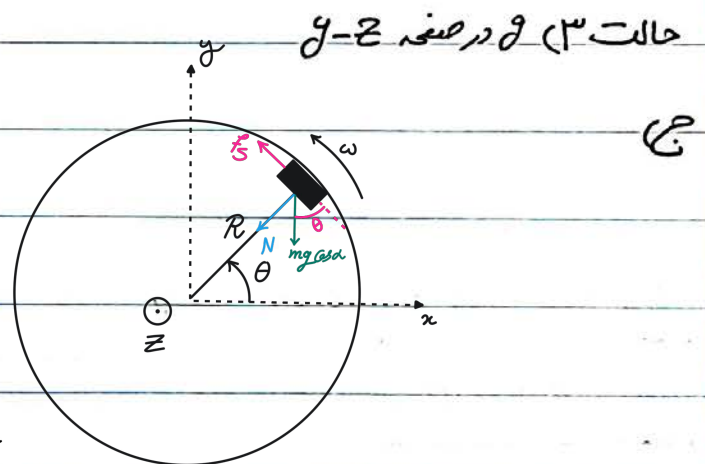
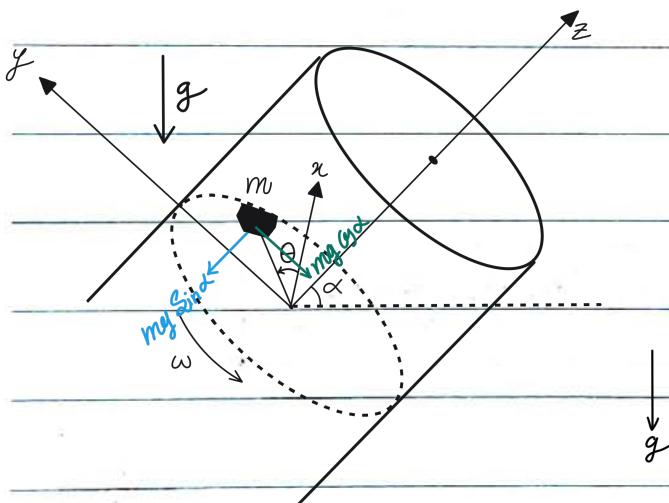
$$g < \mu_s R \leftarrow \omega_{\min} = 0$$

$$\frac{d\omega}{d\theta} \Big|_{\omega = \omega_{\min}} = 0 \rightarrow \frac{1}{\gamma} \cdot \frac{\frac{g}{R} \left(\frac{1}{\mu_s} (-\sin\theta) + C\alpha\theta \right)}{\sqrt{\frac{g}{R} \left(\frac{C\alpha\theta}{\mu_s} + \sin\theta \right)}} = 0$$

$$\rightarrow \frac{1}{\mu_s} \sin\theta = C\alpha\theta$$

$$\rightarrow \tan\theta = \mu_s$$

$$\rightarrow \omega_{\min} = \sqrt{\frac{g}{\mu_s R} \sqrt{1 + \mu_s^2}}$$



$$N + m g C\alpha \sin\theta = m R \omega^2 \rightarrow \boxed{N = m (R \omega^2 - g C\alpha \sin\theta)}$$

$$\boxed{f_{sz} = m g \sin\alpha}$$

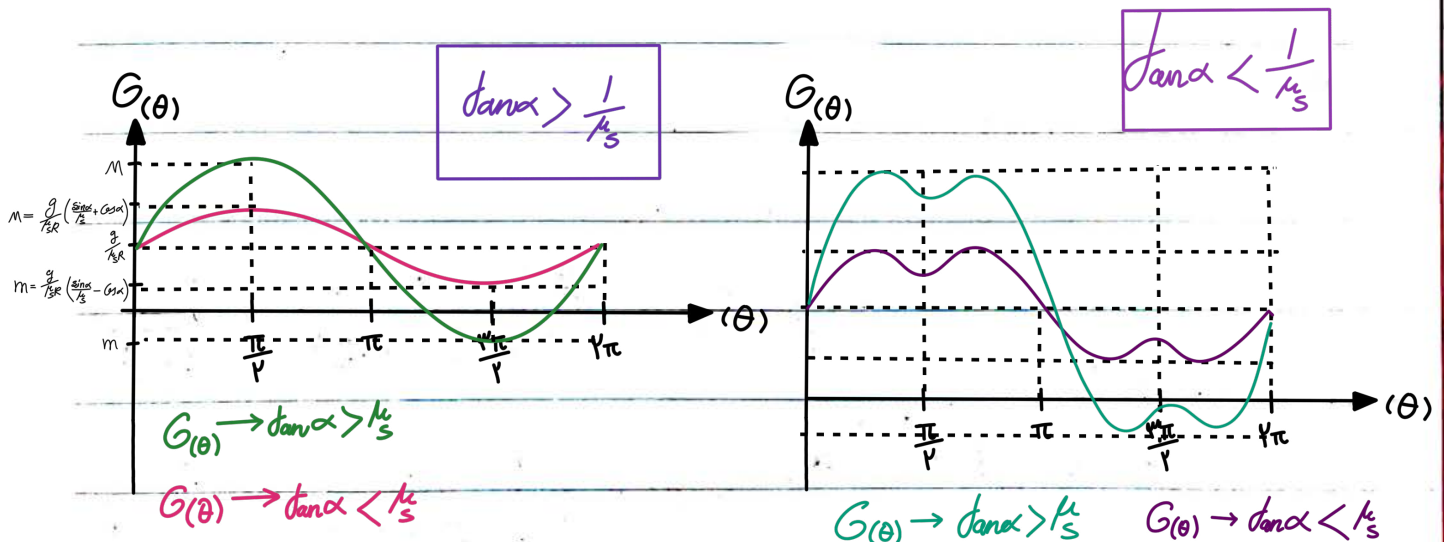
$$\boxed{f_{s\theta} = m g C\alpha \cos\theta}$$

$$f_s = \sqrt{f_{sz}^2 + f_{s\theta}^2} = mg \sqrt{\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha \cos^2 \theta} \quad (6)$$

$$f_s \leq \mu_s N \rightarrow mg \sqrt{\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha \cos^2 \theta} \leq \mu_s m (R\omega^2 - g \cos \alpha \sin \theta)$$

$$\rightarrow \frac{g}{\mu_s} \sqrt{\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha \cos^2 \theta} + g \cos \alpha \sin \theta \leq R\omega^2$$

$$\rightarrow \frac{g}{R} \left[\underbrace{\frac{1}{\mu_s} \sqrt{\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha \cos^2 \theta} + \cos \alpha \sin \theta}_{G(\theta)} \right] \leq \omega^2$$



$$\frac{d\omega}{d\theta} = \frac{g}{R} \left[\frac{-C_3^r \alpha C_3 \theta \sin \theta}{\mu_s \sqrt{\sin^2 \alpha + C_3^r \alpha C_3^r \theta}} + C_3 \alpha C_3 \theta \right]$$

$$\theta = 0 \text{ or } \pi \rightarrow \frac{d\omega}{d\theta} = \omega' = \frac{g C_3 \alpha}{R} \quad \theta = \pi \rightarrow \omega' = -\frac{g C_3 \alpha}{R}$$

$$\theta = \frac{\pi}{2} \rightarrow \omega' = 0$$

$$\theta = 0 \text{ or } \pi \rightarrow \omega = \frac{g}{R \mu_s} \quad \theta = \pi \rightarrow \omega = -\frac{g}{R \mu_s}$$

$$\theta = \frac{\pi}{2} \rightarrow \omega = \frac{g}{R} \left(\frac{\sin \alpha}{\mu_s} + C_3 \alpha \right)$$

$$\theta = \frac{3\pi}{2} \rightarrow \omega = \frac{g}{R} \left(\frac{\sin \alpha}{\mu_s} - C_3 \alpha \right)$$

$$\frac{d\omega}{d\theta} = 0 \rightarrow \begin{cases} C_3 \theta = 0 \\ \sin \theta = \frac{\pm \mu_s}{C_3 \alpha \sqrt{1 + \mu_s^2}} \end{cases}$$

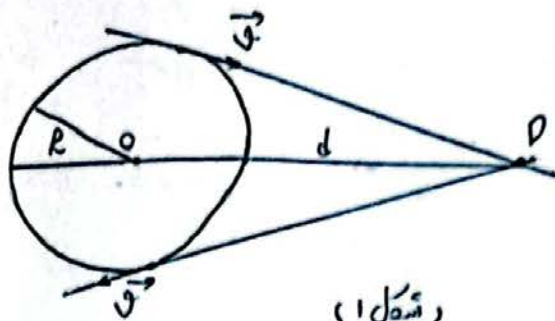
$$\rightarrow \sin \theta = \frac{\pm \mu_s}{C_3 \alpha \sqrt{1 + \mu_s^2}} \rightarrow \begin{cases} + : G(\theta) = \frac{g}{R} \left[\frac{1}{\mu_s \sqrt{1 + \mu_s^2}} + \frac{\mu_s}{\sqrt{1 + \mu_s^2}} \right] \\ - : G(\theta) = \frac{g}{R} \left[\frac{1}{\mu_s \sqrt{1 + \mu_s^2}} - \frac{\mu_s}{\sqrt{1 + \mu_s^2}} \right] \end{cases}$$

$$\begin{cases} +: G(\theta) = \frac{g}{Rk_s} \sqrt{1+k_s^2} \\ -: G(\theta) = \frac{g}{Rk_s} \frac{(1-k_s^2)}{\sqrt{1+k_s^2}} \end{cases}$$

$$\rightarrow \begin{cases} \frac{C \cos \alpha}{k_s} \sqrt{1+k_s^2} \geq 1 \rightarrow \omega_{\min} = \sqrt{\frac{g}{R} \left(C \cos \alpha + \frac{S \sin \alpha}{k_s} \right)} \\ \frac{C \cos \alpha}{k_s} \sqrt{1+k_s^2} \leq 1 \rightarrow \omega_{\min} = \sqrt{\frac{g}{Rk_s} \sqrt{1+k_s^2}} \end{cases}$$

سوال ۷

$$1) f = \frac{f_0}{1 - \frac{v}{c} \cos \theta}$$



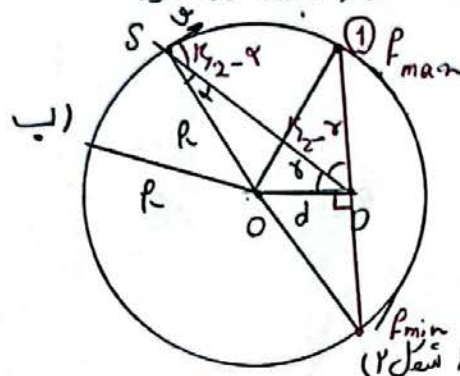
(شکل ۱)

۱-۱) بیضه در نقطه ۱ و کبیسه در نقطه ۲

$$1-2) f_{max} = \frac{f_0 \cdot c}{c - v}$$

$$f_{min} = \frac{f_0 \cdot c}{c + v}$$

۱-۳) ممکن نیست زیرا f_{min} و f_{max} برای ناظر خارج از دایره مقدار ثابتی بوده و تنها می‌تواند به یک از دو نمودار نسبت داده شود



$$\rightarrow \text{قانون سینوس: } \frac{\sin \theta}{R} = \frac{\sin \alpha}{d} \Rightarrow \sin \alpha = \frac{d}{R} \sin \theta \quad \text{I}$$

$$\text{ب-۱) } \theta = \pi/2 - \alpha \Rightarrow \cos \theta = \sin \alpha \Rightarrow f = \frac{f_0}{1 - \frac{v}{c} \sin \alpha} = \frac{f_0 \cdot c R}{RC - v d \sin \alpha}$$

ب-۲) در شکل ۲ با بولد مرکز نشان داده شده است

ب-۳) حالت بخش ۱-۳، چه برین است ←

$$f_{min} = \frac{f_0 \cdot c R}{RC + v d} \quad , \quad f_{max} = \frac{f_0 \cdot c R}{RC - v d}$$

ب-۴) با توجه به ثابت بودن α و وابستگی مکان نقاط ۱ و ۲ به d ، با تغییر d ، f_{min} و f_{max} و زمان اکثریم شدن f تغییر می‌کند. از آنجایی که نمودار در زمان حاکی یکسانی اکثریم می‌شوند، هر دو منحنی نسبت به مرکز دایره باشند.

$$\text{ب-۵) با توجه به بخش ۱-۳} \leftarrow f_{max, in} = \frac{f_0 \cdot c R}{RC - v d} \quad , \quad f_{max, out} = \frac{f_0 \cdot c}{c - v} \Rightarrow f_{max, out} > f_{max, in}$$

با توجه به نتیجه گرفته شده از مقایسه دو مدار، تابع ۱ مربوط به ناظر بیرون و تابع ۲ مربوط به ناظر داخل است

ت)

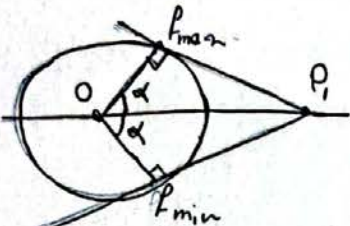
ت-1) ابتدا باید محاسبه کرد $f_o = f_{min out}$ $\frac{C+v}{C} = 425 \times \frac{330+49.5}{330} = 488.75 \text{ (Hz)}$

ت-2) $\frac{f_{min out}}{f_{max out}} = \frac{C-v}{C+v} \approx \frac{425}{575} = \frac{17}{23} \Rightarrow 23C - 23v = 17v + 17C \Rightarrow 40v = 6C$

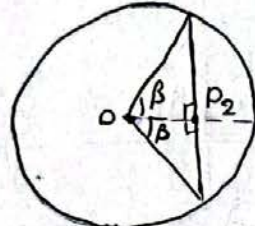
$\Rightarrow v = \frac{3 \times 330}{20} = 49.5 \text{ m/s}$

(مقدارها از روی نمودار قابل محاسب است.)

ت-3) $T = \frac{2\pi R}{v} \Rightarrow R = \frac{Tv}{2\pi} = \frac{v}{2\pi f_o}$

ت-4)  $\frac{2\alpha}{2\pi} = \frac{T_{min} - T_{max}}{T} \Rightarrow \alpha = \frac{\pi}{T} (T_{min} - T_{max})$

نسبت به بدوی: $\beta = \alpha$

ت-5)  $\frac{2\beta}{2\pi} = \frac{T_{min} - T_{max}}{T} \Rightarrow \beta = \frac{\pi}{T} (T_{min} - T_{max})$

ت-6) $d_1 = OP_1$ ، ~~قانون سینوس~~ : $\frac{\sin(\pi/2 - \alpha)}{R} = \frac{\sin(\pi/2)}{d_1} \Rightarrow d_1 = \frac{R}{\cos \alpha}$

ت-7) $d_2 = OP_2 \Rightarrow d_2 = \frac{R \cos \beta}{\cos \alpha}$

ت-8) $l = d_1 - d_2 = R \left(\frac{1}{\cos \alpha} - \cos \beta \right) = R \left(\frac{1 - \cos \alpha \cos \beta}{\cos \alpha \cos \beta} \right)$

(پایان)

باستاد و گروه از اساتید گرامی آقای دکتر مهدی ، محمد امین ابوحادی ،
پارسا ممدوقی .

(واحد المپیاد فیزیک هاشمی نژاد 1 و فرزانه 1 هستند)

باستاد از همراهی شما

باران ملاحجیان ، فرزانه 1 هستند
فاطمه سادات قربانی ، فرزانه 1 هستند
پارسا نژادانی ، هاشمی نژاد 1 هستند

مرجع المپیاد فیزیک ایران
سید علی افشاری ، هاشمی نژاد 1 هستند