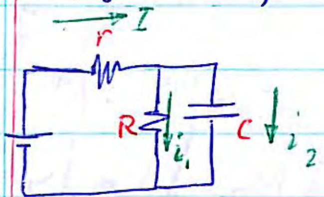
باسمه تعالی

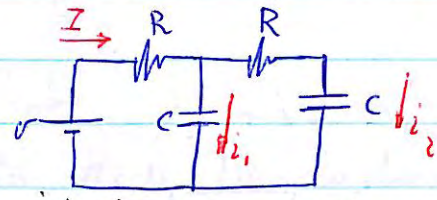
خودالقایی

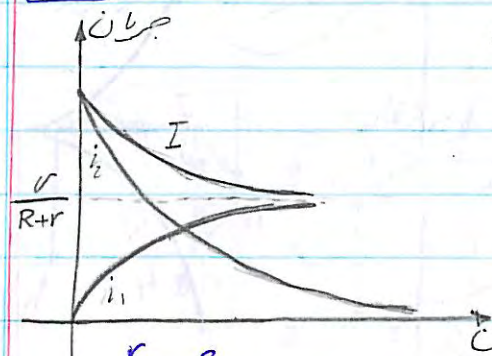
$V = L\frac{dI}{dt}$

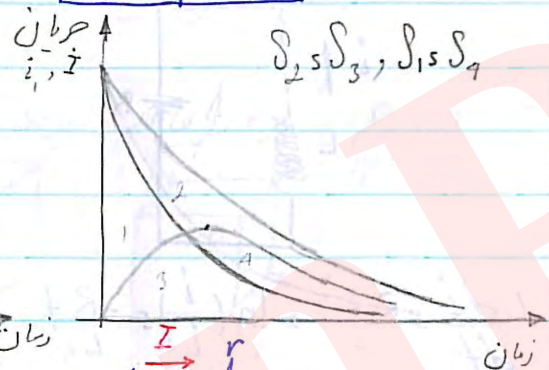
$I=0$	$V=0$	$t=0$
$V=0$	$I\to 0$	$t\to\infty$

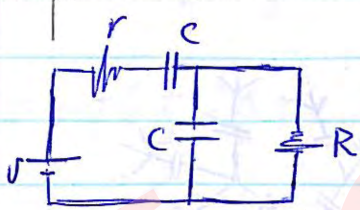
$t=0^-$ $I=0$
$t=0^+$ i $\Big\} \to V = L\frac{i}{0} \to \infty$ ✗

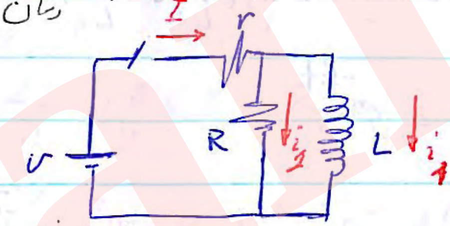


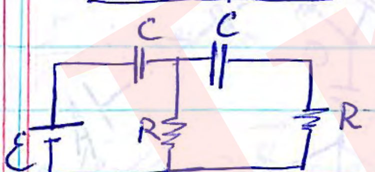




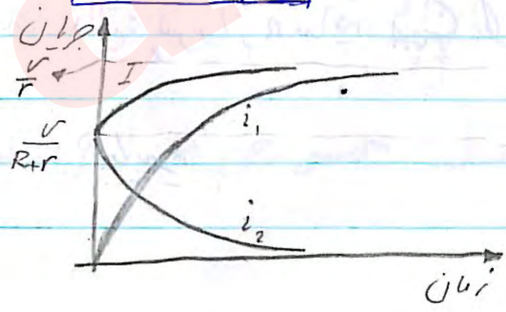


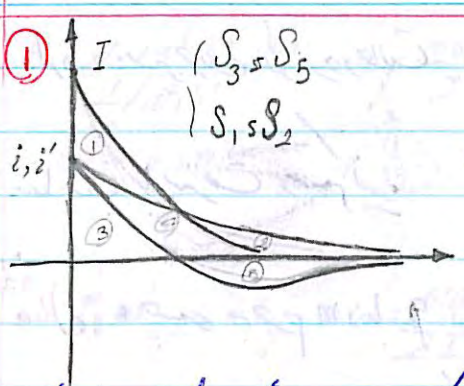


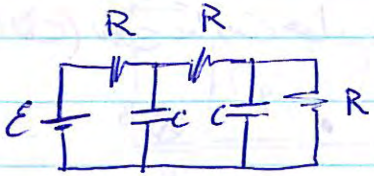




1

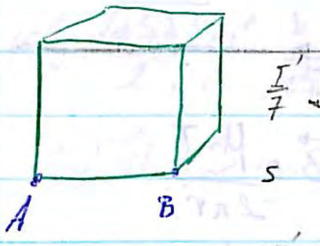


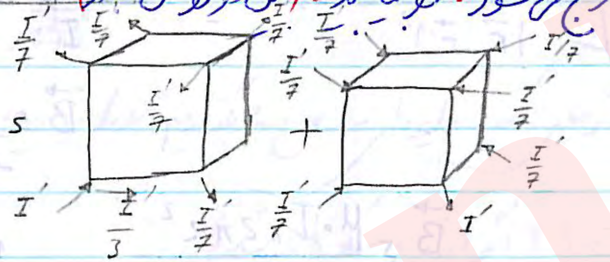




مثال: مقاومت معادل یک n وجهی منتظم دو رأس که از هر رأس

n ضلع خارج می‌شود را بیابید. (بین دو رأس مجاور)

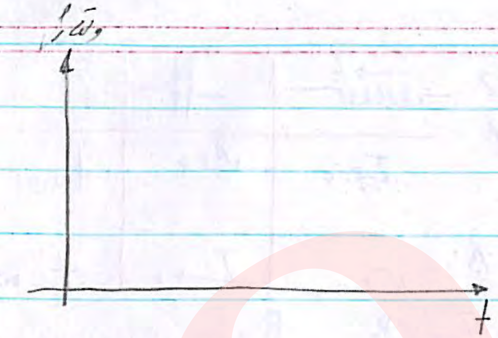


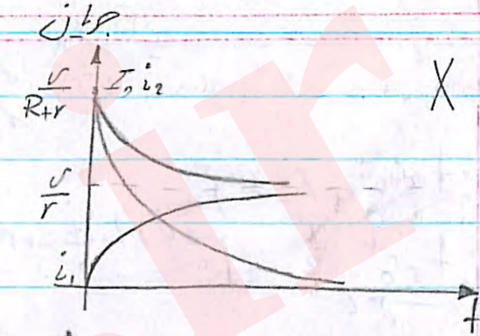


$$I = I' + \frac{I'}{7} = \frac{8}{7}I' \longrightarrow V_{AB} = \frac{2I'}{3}R = \frac{7}{12}RI \longrightarrow R_T = \frac{7}{12}R$$

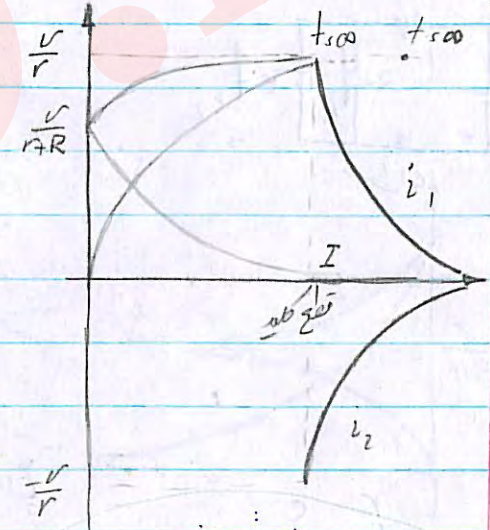
$\frac{I'}{i-1}$: از هر رأس مجاور $\longrightarrow V_{AB} = \frac{2I'}{j}R \longrightarrow I = I' + \frac{I'}{i-1} \longrightarrow R_T = \frac{2(i-1)}{ij}$

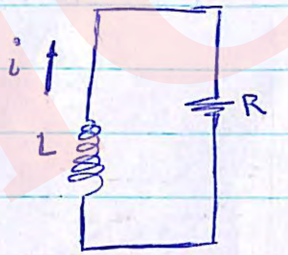
مثال: جسمی به جرم m و بار q در میدان مغناطیسی $\vec{B}$ درون سو قراره





$$I = i_1 + i_2 \xrightarrow{I=0} i_1 = -i_2$$



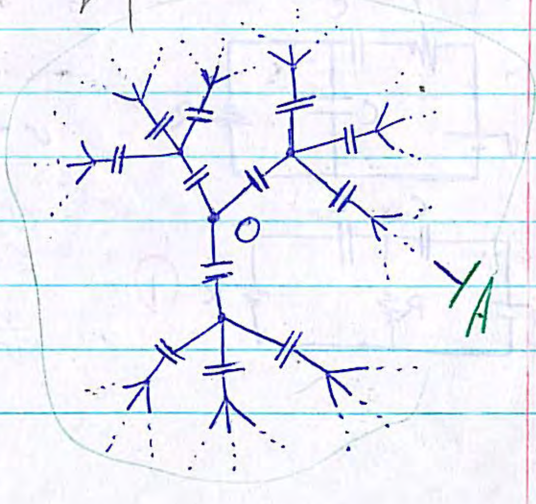


$$-L\frac{di}{dt} = Ri \longrightarrow \ln\left(\frac{i}{i_0}\right) = -\frac{R}{L}t$$

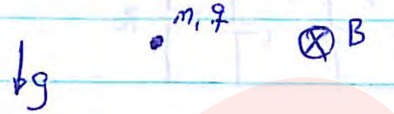
$$\longrightarrow i = i_0 e^{-\frac{R}{L}t}$$

مثال: پس از n شاخه C_{OA} را

بیابید.



دارد. مسیر حرکت را در دو حالت الف) بدون مقاومت هوا ب) با مقاومت هوای متناسب با سرعت رسم کنید.



مثال: جسمی به جرم m و بار q و میدان مغناطیسی B درون سو قرار دارد.

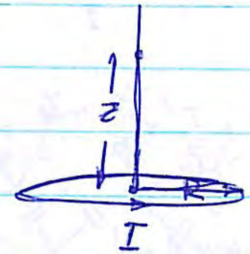
اگر سرعت اولیه v_0 را بدهیم، مسیر حرکت را رسم و شعاع را بدست آورید.

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\int \frac{I\, d\vec{l} \times (\vec{r}-\vec{r}')}{|\vec{r}-\vec{r}'|^3}$$

سیم ساوار

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 I \times 2\pi R^2}{4\pi (R^2+z^2)^{3/2}}$$



مثال: جسمی با سرعت v_0 به ابعاد b×a به یک زائده برخورد می‌کند و پس از دوران دوباره با سرعت v'' به مسیر خود ادامه می‌دهد. v'' را بیابید.

$$L_0 = \frac{v_0\sqrt{a^2+b^2}\; ma}{2\sqrt{a^2+b^2}} \to L_0 = \frac{mav_0}{2}$$

نقطه اتصال

نقطه دوران: $L' = I_0\omega'$, $L' = L \to \omega' = \frac{mav_0}{2I_0} \to v' = \frac{mv_0 a\sqrt{a^2+b^2}}{4I_0}$

بقای انرژی: $\frac{1}{2} I_0 \omega''^2 + mg\frac{\sqrt{a^2+b^2}}{2} = \frac{1}{2} I_0 \omega'^2 + mg\frac{a}{2}$

بقای تکانه خطی: $v'' = \frac{\sqrt{a^2+b^2}}{2}\omega'' \cdot \frac{b}{\sqrt{a^2+b^2}} \to v'' = \frac{b\omega''}{2}$

تمرین: اگر جای مکعب دایره‌ای به شعاع R بگذاریم v_0 را بیابید. شرط بالا آمدن حلقه چیست؟ (اگر ارتفاع سکو h باشد)

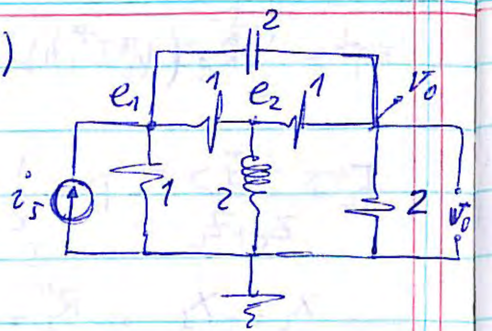
مثال: دو بار نقطه هم‌نام در اختیار داریم. اگر فاصله بین آنها d باشد؟

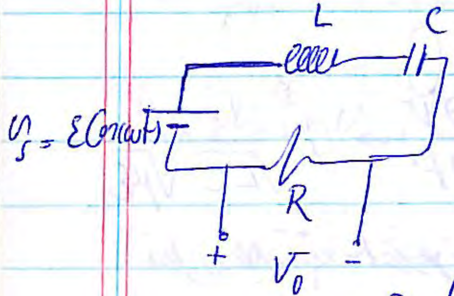
الف) خطوط میدان و پتانسیل را رسم کنید. ب) زاویه‌ای را که یکی از خطوط هم پتانسیل

متقاطع اند را بیابید.

$i_s = 10\cos(\omega t + \frac{\pi}{6})$

$v_{o(t)} = ?$



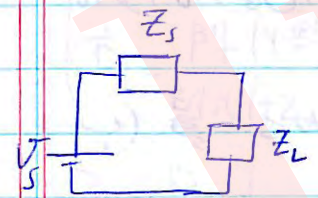


$$\frac{V_o}{\mathcal{E}} = \frac{R}{R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{R}{R + j(\omega L - \frac{1}{\omega C})}$$

$$= \frac{R\left(R - j(\omega L - \frac{1}{\omega C})\right)}{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}$$

$$v_{o(t)} = Re(V_o e^{j\omega t}) = \mathcal{E}\, Re\left\{\left|\frac{V_o}{\mathcal{E}}\right| e^{j\varphi} e^{j\omega t}\right\}$$

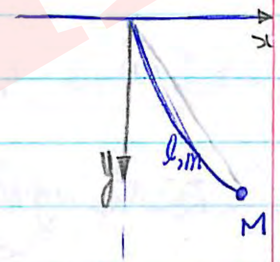
$$v_{o(t)} = \mathcal{E}\left|\frac{V_o}{\mathcal{E}}\right|\cos(\omega t) \to v_{o(t)} = \frac{R\mathcal{E}\cos(\omega t)}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2 (1 - \frac{1}{\omega^2 LC})^2}}$$



مثال: Z_L را طوری تعیین کنید که توان آن Max شود.

$f_{(x_1, x_2, \dots, x_n)} = 0 \quad , (g_{(x_1, x_2, \dots, x_n)})_{max} \longrightarrow$

$\vec{\nabla} g = \lambda \nabla \vec{f}$



$$\begin{cases} + d(T\sin\theta) = dm\,\ddot{x} \\ T = (M + \frac{m(l-y)}{l})g \end{cases}$$

N+1 ام : $\begin{cases} a_1 = gF_{(N+1)} \\ a_2 + a_1 = (g + a_1)F_{n+1} \end{cases}$

اگر دو معادله ی بالا را با معادله دینامیکی ترکیب کنیم داریم:

$$2F_{(N)} + 2F_{(N)}F_{(N+1)} - 3F_{(N)} = 1 \to F_{(N)} = \frac{1}{G_{(N)}} + C$$

$U_n < U_0:\quad U_c = B + Ae^{-\frac{t}{R_2C}} = U_0 + (U_n - U_0)\,e^{-\frac{t}{R_2C}},\ 0<t<T$

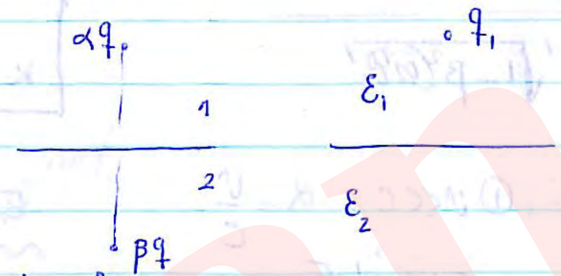
$$U_c = \left(U_0 + (U_n - U_0)e^{-\frac{T}{R_2C}}\right)e^{-\frac{(t-T)}{R_1C}} \quad , T < t < 2T$$

$$\rightarrow U_{n+1} = \left(U_0 + (U_n - U_0)e^{-\frac{T}{R_2C}}\right)e^{-\frac{T}{R_1C}}$$

$$U_n > U_0:\quad U_{n+1} = \left(U_0 + (U_n - U_0)e^{-\frac{T}{R_1C}}\right)e^{-\frac{T}{R_1C}}$$

$U_1 < 0$: حالت لزوم

مثال:



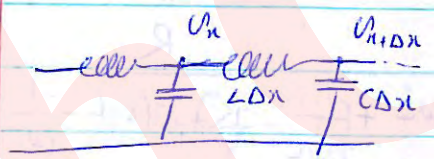
$$\begin{cases} \vec{D}_2 = \dfrac{\alpha q\left((z-z_0)\hat{z} + \rho\hat{\rho}\right)}{4\pi\left((z-z_0)^2+\rho^2\right)^{3/2}} \\ \vec{D}_1 = \dfrac{\beta q\left((z+z_0)\hat{z} + \rho\hat{\rho}\right)}{4\pi\left((z+z_0)^2+\rho^2\right)^{3/2}} + \dfrac{q\left((z-z_0)\hat{z}+\rho\hat{\rho}\right)}{4\pi\left((z-z_0)^2+\rho^2\right)^{3/2}} \end{cases}$$

$$D_{1\perp} = D_{2\perp}\Big|_{z=0} \rightarrow -\alpha = \beta - 1$$

$$P = \frac{1}{2}Re(VI^*) = \frac{1}{2}Re(Z_L I_L I_L^*) = \frac{1}{2}R_L|I_L|^2$$

$$I_L = \frac{V_S}{Z_S + Z_L} \rightarrow P = \frac{1}{2}\frac{R_L|V_S|^2}{|Z_S+Z_L|^2} = \frac{R_L V_S^2}{2\left((R_L+R_S)^2 + (X_L+X_S)^2\right)}$$

$$\rightarrow X_L = -X_S \quad , \quad R_L = R_S \rightarrow \boxed{Z_L = Z_S^*}$$



$$\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} = LC\frac{\partial^2 V}{\partial t^2} \rightarrow U_S = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{\mu\varepsilon}}$$

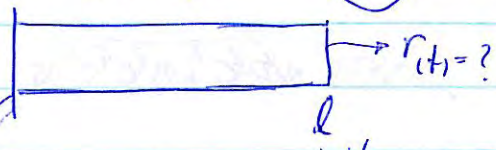
مثال: با استفاده از تونن، نورتن جریان i_0 را بیابید. همه 1Ω

۱۰ تیر 84 امتحان 4 سوال 4

ب) 3 حالت دارد : R_1, R_2 جابه‌جا حالت.

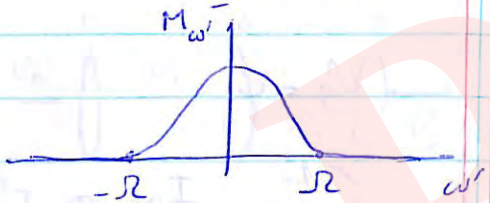
$\vec F = m\gamma_{(u)}^3 \vec a_{\parallel} + m\gamma_{(u)} \vec a_{\perp}$

مثال: یک موج را در یک پیمانه باند منتقل می‌کنیم صورتی که $e^{i\omega_0 t}$ روی آن سوار می‌کنیم. موجی که در فاصله l دریافت می‌کنیم را بیابید.



$K_{(\omega)}$ تابعی از تغییر است.

$m_{(t)} = \int M_{(\omega')} e^{i\omega' t} d\omega'$



$\Omega \ll \omega_0$

$S_{(t)} = m_{(t)} e^{i\omega_0 t}$

با فرض کنید: $K_{(\omega)} = K_{(\omega_0)} + \frac{1}{2}(\omega-\omega_0)^2 \frac{d^2K}{d\omega^2}\Big|_{\omega=\omega_0}$, $M_{(\omega')} = A e^{-\frac{\omega'^2}{2\Omega^2}}$

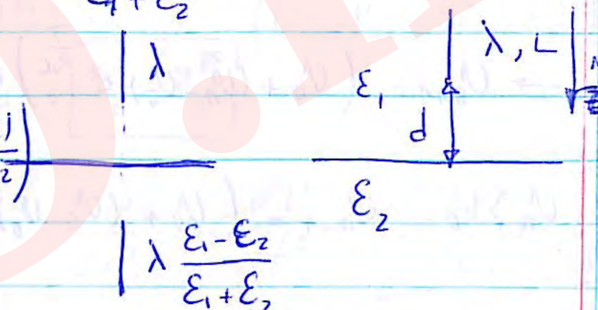
$O = A e^{i(K_1 x - \omega_1 t)}$, $O' = A e^{i(K_2 x - \omega_2 t)}$

$K_1 = K - \frac{\Delta K}{2}$, $K_2 = K + \frac{\Delta K}{2}$

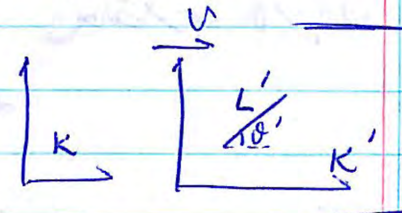
$E_{\parallel_1} = E_{\parallel_2}\Big|_{z=0} \longrightarrow \frac{\varepsilon_1 \alpha}{\varepsilon_2} = \beta + 1 \rightarrow$

$\alpha = \frac{2\varepsilon_2}{\varepsilon_1+\varepsilon_2}$, $\beta = \frac{\varepsilon_1-\varepsilon_2}{\varepsilon_1+\varepsilon_2}$

$F = \frac{\lambda^2(\varepsilon_2-\varepsilon_1)}{4\pi\varepsilon_1(\varepsilon_1+\varepsilon_2)} \ln\left(\frac{4d(d+l)}{(2d+l)^2}\right)$



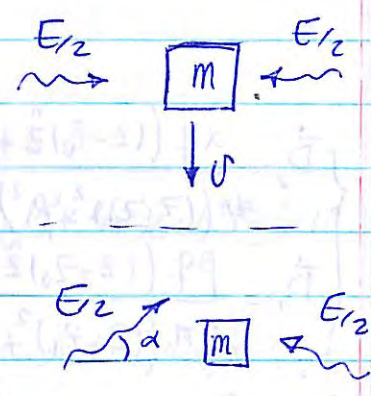
$L = L'\sqrt{1-\beta^2\cos^2\theta'}$



فرض‌ها: ① $v \ll c$ ، $\alpha = \frac{v}{c}$

② نور { انرژی E ، تکانه E/C }

③ بقای تکانه خطی



$2 \times \frac{E}{2c} \times \frac{v}{c} + mv = m'v \rightarrow m' = m + \frac{E}{c^2}$

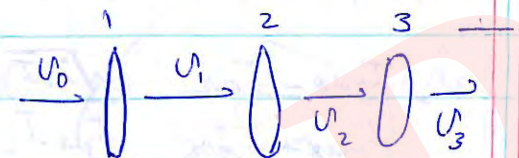
اصل هم ارزی:

بیان اول: همه اجسام در یک میدان گرانشی با یک شتاب می‌افتند.

فیزیک در چارچوب شتابدار یکنواخت $\equiv$ فیزیک در میدان گرانشی یکنواخت

$v' > v$ blue-shift $\qquad v' < v$ red shift

$M = M_3 M_2 M_1 \qquad v_3 = M v_0$



$$E_0\begin{bmatrix}1\\ i\end{bmatrix} + E_0\begin{bmatrix}1\\ -i\end{bmatrix} = 2E_0\begin{bmatrix}1\\ 0\end{bmatrix}$$

$$E_{0x}\hat{x} + E_{0y}\hat{y} = \begin{bmatrix}E_{0x}\\ E_{0y}\end{bmatrix} \qquad E_0\begin{pmatrix}1\\ i\end{pmatrix} + E_0 e^{i\varphi}\begin{pmatrix}1\\ -i\end{pmatrix} = 2E_0 e^{i\frac{\varphi}{2}}\begin{pmatrix}\cos\frac{\varphi}{2}\\ \sin\frac{\varphi}{2}\end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix}a & b\\ c & d\end{pmatrix}\begin{pmatrix}u_1\\ u_2\end{pmatrix} = \lambda\begin{pmatrix}u_1\\ u_2\end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix}a-\lambda & b\\ c & c-\lambda\end{pmatrix}\begin{pmatrix}u_1\\ u_2\end{pmatrix} = 0$$

$$\rightarrow \begin{vmatrix}a-\lambda & b\\ c & c-\lambda\end{vmatrix} = 0$$

$$\omega_1 = \omega - \frac{\Delta\omega}{2} \quad , \quad \omega_2 = \omega + \frac{\Delta\omega}{2}$$

$$O + O' = 2A\cos\left(\frac{\Delta k x - \Delta\omega t}{2}\right) e^{i(kx-\omega t)}$$

$$x = \frac{\Delta\omega}{\Delta k} t + c' \rightarrow v_g = \frac{d\omega}{dk} \quad , \quad v_p = \frac{\omega}{k}$$

$$E = \hbar\omega \quad , \quad P = \hbar k \rightarrow \quad , \quad E = \sqrt{p^2c^2 + m_0^2c^4}$$

$$\rightarrow v_g = c$$

$$\text{درصد قطبش} = \frac{I_{pol}}{I_{tot}} = P = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}$$

$$I_{max} = I_{pol} + \frac{1}{2} I_{unpol} \qquad I_{min} = \frac{1}{2} I_{unpol}$$

$$\begin{pmatrix}\tilde{t}\\ \tilde{x}\\ \tilde{y}\\ \tilde{z}\end{pmatrix} = \begin{bmatrix}\gamma & -\gamma A_x & -\gamma A_y & -\gamma A_z\\ -\gamma A_x & 1+\frac{\gamma-1}{A^2}A_x^2 & \frac{\gamma-1}{A^2}A_xA_y & \frac{\gamma-1}{A^2}A_xA_z\\ -\gamma A_y & \frac{\gamma-1}{A^2}A_xA_y & 1+\frac{\gamma-1}{A^2}A_y & \frac{\gamma-1}{A^2}A_yA_z\\ -\gamma A_z & \frac{\gamma-1}{A^2}A_zA_x & \frac{\gamma-1}{A^2}A_zA_y & 1+\frac{\gamma-1}{A^2}A_z\end{bmatrix}\begin{bmatrix}t\\ x\\ y\\ z\end{bmatrix}$$

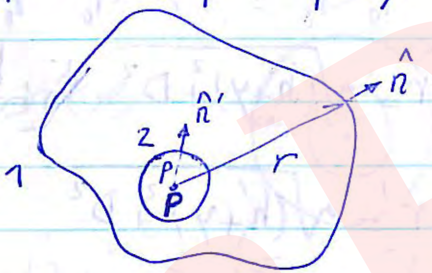
$$\oint (v\vec{\nabla}U - U\vec{\nabla}v)\cdot d\vec{S} = \int (v\nabla^2 U - U\nabla^2 v)\, d\tau$$: قضیه گرین

$$\int\left(\frac{e^{ikr}}{r}\hat{n}\cdot\vec{\nabla}U - U\hat{n}\cdot\vec{\nabla}\left(\frac{e^{ikr}}{r}\right)\right)ds =$$

$$\int\left(\frac{e^{ikr}}{r}\hat{n}'\cdot\vec{\nabla}U - U\hat{n}'\cdot\vec{\nabla}\left(\frac{e^{ikr}}{r}\right)\right)\rho^2 d\Omega = 4\pi U_p$$

$r=\rho \ , \ \rho\to\infty$ $\qquad \vec{\nabla}\left(\frac{e^{ikr}}{r}\right) = \hat{r}\left(\frac{ike^{ikr}}{r} - \frac{e^{ikr}}{r^2}\right)$

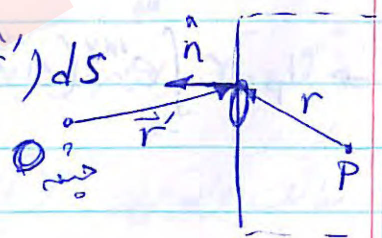
$V = V_0 e^{\pm i\omega t}\frac{e^{ikr}}{r}$ دلخواه



اگر U (تابع موج) و مشتق نرمالش روی مرز مشخص باشد U در تمام

$$\to U_p = \frac{1}{4\pi}\oint\left(\frac{e^{ikr}}{r}\hat{n}\cdot\vec{\nabla}U - U\hat{n}\cdot\vec{\nabla}\left(\frac{e^{ikr}}{r}\right)\right)d\vec{s}$$ حجم 1 مشخص است

$$U_p = -\frac{ikU_0}{4\pi}\int\frac{e^{ik(r+r')}}{rr'}(\hat{n}\cdot\hat{r} - \hat{n}\cdot\hat{r}')\,ds$$



$$\left(\begin{pmatrix}a\\b\end{pmatrix},\begin{pmatrix}c\\d\end{pmatrix}\right) = a^*c + b^*d$$

$$E_0\cos\omega t + E_0\cos(\omega t+\varphi) = E_0(\cos\omega t + \cos(\omega t+\varphi))$$

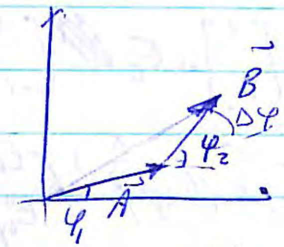
$$= 2E_0\cos\left(\omega t+\frac{\varphi}{2}\right)\cos\left(\frac{\varphi}{2}\right) \to \vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$

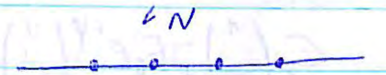
$$I \sim |\vec{E}|^2 = |\vec{E}_1|^2 + |\vec{E}_2|^2 + 2\mathrm{Re}(\vec{E}_1^*\cdot\vec{E}_2)$$

$\to -2\sqrt{I_1I_2} \le \quad \le 2\sqrt{I_1I_2}$

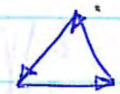
$$v = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}} = \frac{2\sqrt{I_1I_2}}{I_1+I_2}$$

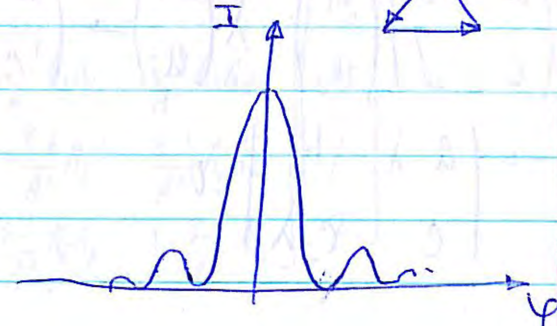
$$Ae^{i\omega t} + Be^{i(\omega t+\varphi)}$$





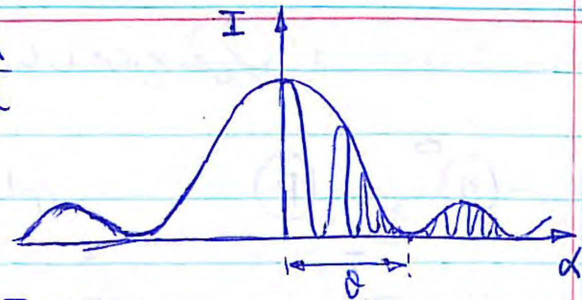
$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{N}$$





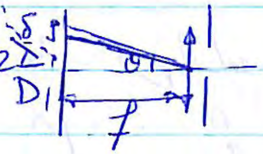
$\theta = \sin\theta = 1.22\frac{\lambda}{D} = 0.61\frac{\lambda}{R}$

$\sin\theta = \frac{h}{r}$ ؛ $\theta = h'$ اگر



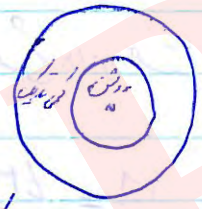
$\sin\theta = \frac{\lambda}{b}$, $\frac{\Delta\alpha d}{2} = \pi$

$\theta = \frac{\delta}{f} = 1.22\frac{\lambda}{D}$



برای دوربین عکاسی :

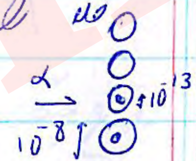
قرص ایری

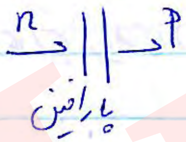


اتم: کیک کشمشی (تامسون)

هسته رادرفورد | دور هسته ← مدارهای بیضوی

چادویک ← کشف نوترون



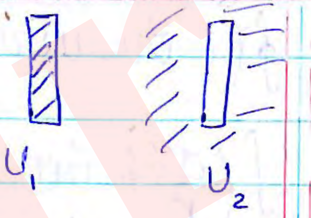


e^- ، e^+ پوزیترون اندرسن

مکانیک کوانتومی: ψ تابع موج | چگالی احتمال حضور $\psi\psi^* = |\psi|^2 = \rho$

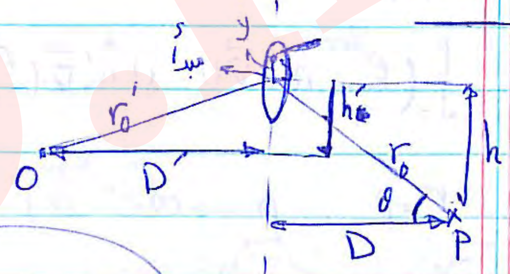
$U_{12} = U_1 + U_2$ اصل برهم‌نهی

$U_{12} \neq \sqrt{}$ شدت نقطه ~~[illegible]~~



$K(r + r') = K(r_0 + r_0') +$

$K\left(\frac{h}{r_0} + \frac{h'}{r_0'}\right)y + \frac{Ky^2}{2}\left(\frac{D^2}{r_0^3} + \frac{D'^2}{r_0'^3}\right)$



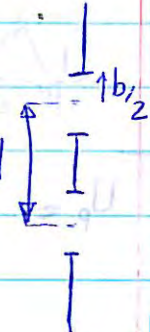
$r = \sqrt{(h+y)^2 + D^2} = r_0 + \frac{hy}{r_0} + \frac{1}{2}\frac{y^2}{r_0^3}D^2$

$r' = \sqrt{(h'+y)^2 + D^2}$

اگر از این جمله بتوان صرف نظر ؛ کرد پراش ~~[illegible]~~ فرانهوفری است .

$U_p = C\int e^{i\alpha y}\,dy$, $\alpha = K\left(\frac{h}{r_0} + \frac{h'}{r_0'}\right)$

$\Rightarrow U_p = C\int_{-b/2}^{b/2} e^{i\alpha y}\left(e^{\frac{i\alpha d}{2}} + e^{-\frac{i\alpha d}{2}}\right) = C'\cos\left(\frac{\alpha d}{2}\right)\operatorname{sinc}\left(\frac{\alpha b}{2}\right)$



باسمه تعالی

مثال: اگر نیم استوانه‌ای به جرم M را روی زمین قرار دهیم، ω را بیابید اگر

M, R, g الف) $\mu = 0$ ب) $\mu \neq 0$

الف) $\omega = \sqrt{\frac{12\pi}{9\pi^2 - 8} \cdot \frac{R}{g}}$

$$\frac{d(r \times v)}{dt} = v \times v + r \times a = r \times a = v_0 r \times (\omega \times \hat{i}) + r \times (\omega \times v_0 \hat{i}) + r \times (\omega \times \cancel{(\omega \times r)}^{0})$$

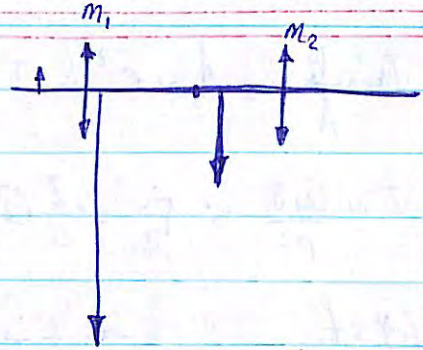
$$d\tau_1 = dm\left[(\omega \times r) \times v_0 \hat{i} + r \times (\omega \times v_0 \hat{i})\right] = dm\, v_0 \omega_0 (\hat{i} \cdot \vec{r})\hat{z} \longrightarrow$$

$$\tau_1 = \int_0^a 2M\, dr\, v_0 \omega_0 r = M v_0 \omega_0 a^2$$

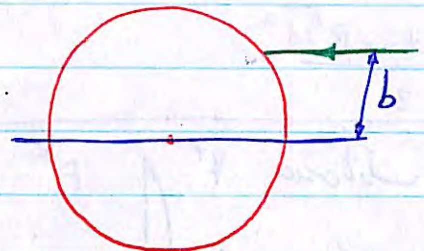
$$\tau_2 = \int_{a\cos\beta}^{a(1+\cos\beta)} 2M v_0 \omega_0 x\, dx = M v_0 \omega_0 a^2 \left((1+\cos\beta)^2 - \cos^2\beta\right) = M v_0 \omega_0 a^2 (1 + 2\cos(\beta))$$

$$\longrightarrow -2M v_0 \omega_0 a^2 (1+\cos\beta) - M v_0^2 a \sin\beta - \gamma\omega + (a \sin\beta) a v_0 \mu = 0$$

$m = m_1 \times m_2$

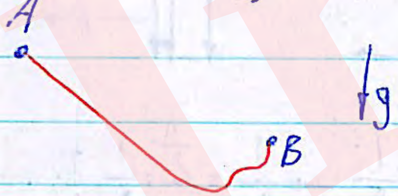


مثال: در کره‌ای به شکل مقابل n به صورت تابعی از r تغییر می‌کند $n = n_0 + \gamma r$ اگر پرتوی به فاصله عمودی b به کره بتابانیم، کمترین فاصله پرتو از مرکز کره را بیابید.



$$r_{min} = \frac{\sqrt{n_0^2+4b\gamma}-n_0}{2\gamma}$$

مثال: اگر جسمی را از نقطه A رها کنیم، معادله مسیر حرکت را طوری بدست آورید که زمان حرکت از A به B min شود.



معادله حرکت باید سیکلوئید شود.

$$\frac{\sin\theta}{v} = c$$

$x^3+ax^2+bx+c=0$, $x'=x+\alpha \to x=x'-\alpha \to$

$(x'-\alpha)^3+a(x'-\alpha)^2+b(x'-\alpha)+c=0 \to$

$x'^3-\alpha^3-3\alpha x'^2+3\alpha^2x'+ax'^2+a\alpha^2-2ax'\alpha+bx'-b\alpha+c=0$

$$\begin{cases} a=3\alpha \to \alpha=\frac{a}{3} \\ -\alpha^3+a\alpha^2-b\alpha+c=q \end{cases} , \quad 3\alpha^2-2a\alpha+b=P$$

$\to x'^3+Px'+q=0$, $x'=y+\frac{\beta}{y} \to$

$y^3+\frac{\beta^3}{y^3}+3\beta y+\frac{3\beta^2}{y}+Py+\frac{\beta P}{y}+q=0$

$$\begin{cases} 3\beta+P=0 \\ 3\beta^2+\beta P=0 \end{cases} \to P=-3\beta \to y^3+\frac{\beta^3}{y^3}+q=0 \to$$

$$y^3=\frac{-q\pm\sqrt{q^2-4\beta^3}}{2} \to$$ چاق و لاغر

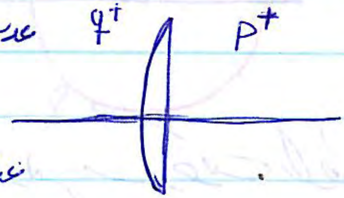
$I = \frac{P}{A}$, $A \sim r^2 \rightarrow I \sim \frac{1}{r^2}$ $\quad A' = \frac{A}{\cos\theta} \rightarrow I' = I\cos\theta \rightarrow$

$I \sim \frac{\cos\theta}{r^2}$, $P_{\text{فشار}} = \frac{I}{c}\cos\alpha$

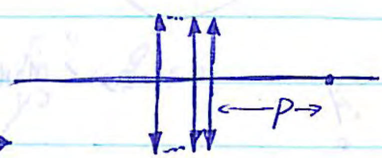
$$\begin{cases} q = f_0 \\ \frac{1}{p} + \frac{1}{f_0} = \frac{1}{f} \rightarrow p = \frac{f f_0}{f_0 - f} \rightarrow P_{min} = d = \frac{f_0 f_{min}}{f_0 - f_{min}} \end{cases}$$

$$q = \frac{\frac{R}{2}p}{p - \frac{R}{2}} < p - d \rightarrow \begin{cases} p > \frac{R + d + \sqrt{R^2 + d^2}}{2} \\ p < \frac{R + d - \sqrt{R^2 + d^2}}{2} \end{cases}$$

$\frac{1}{q} + \frac{1}{p} = \frac{n-1}{R}$, $f = \frac{R}{n-1}$ عدسی نازک محدب



$\frac{1}{q} + \frac{1}{P} = \frac{n-1}{-|R|}$ عدسی نازک مقعر



$$\begin{cases} P_{n+1} = -q_n \\ \frac{1}{q_n} = \frac{1}{f_n} - \frac{1}{P_n} \end{cases} \rightarrow \frac{1}{P_{n+1}} = -\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{f_i} + \frac{1}{P_1} \rightarrow$$

$$\frac{1}{q_N} + \frac{1}{P} = \sum_{i=1}^{N} \frac{1}{f_i} \rightarrow \boxed{\frac{1}{f_T} = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{f_i}}$$