

$$\frac{1}{f} = (n-1) \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

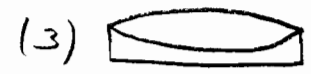
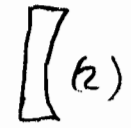
$n = 1.5$

$\frac{1}{f} = \frac{1}{R}$  (1)

$$\frac{1}{f_1} = (n-1) \frac{2}{R} \Rightarrow f_1 = \frac{1}{2} R \frac{1}{n-1} = R$$



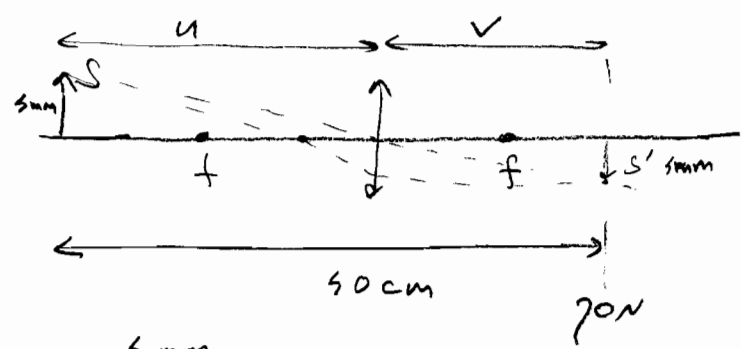
$$\frac{1}{f_2} = (n-1) \left( \frac{1}{\infty} - \frac{1}{R} \right) \Rightarrow f_2 = -R \frac{1}{n-1} = -2R$$



$$\frac{1}{f_3} = (n-1) \left( \frac{1}{\infty} + \frac{1}{R} \right)$$

הנשארה הנכונה

$$f_3 = \frac{R}{n-1} = 2R$$



הנשארה הנכונה  
 הנתון הוא 40cm  
 הנתון הוא 5mm  
 הנתון הוא 5mm  
 הנתון הוא 40cm  
 הנתון הוא 5mm

$$\frac{u}{v} = \frac{h}{h'} = \frac{5\text{mm}}{5\text{mm}} = 1$$

$$u + v = 2u = 40\text{cm}$$

$$v = u = 20\text{cm}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{2}{20} \Rightarrow \underline{\underline{f = 10\text{cm}}}$$

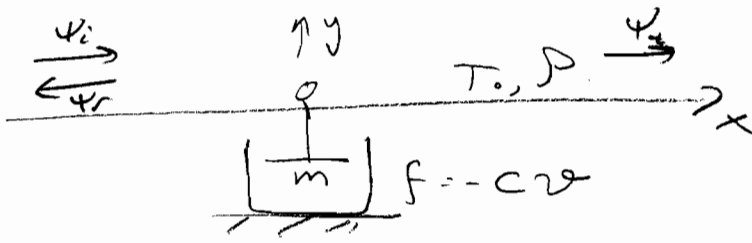
$$\underline{\underline{R = 5\text{cm}}}$$

$$\frac{1}{f} \stackrel{?}{=} \frac{1}{u} + \frac{1}{v} \quad u = 15\text{cm} \Rightarrow u + v = 25\text{cm}$$

$$\frac{1}{10} \neq \frac{1}{15} + \frac{1}{10}$$

הנתון הוא 10cm

(2)



$$\underline{2 = d k e} \quad (1)$$

$\psi_i = e^{i(\omega t - kx)}$  : שדכח ה  $\int d\tau$   
 $\psi_r = R e^{i(\omega t + kx)}$  : רכזיח ה  $\int d\tau$   
 $\psi_t = T e^{i(\omega t - kx)}$  : רכזיח ה  $\int d\tau$

$\psi_i(x=0) + \psi_r(x=0) = \psi_t(x=0)$  : רכזיח ה  $\int d\tau$  : רכזיח ה  $\int d\tau$   
 $\Rightarrow 1 + R = T$

$-T_0 \left( \frac{\partial \psi_i}{\partial x} \Big|_{x=0} + \frac{\partial \psi_r}{\partial x} \Big|_{x=0} \right) + T_0 \frac{\partial \psi_t}{\partial x} \Big|_{x=0} - c \frac{\partial \psi_t}{\partial t} \Big|_{x=0} = m \frac{\partial^2 \psi_t}{\partial t^2} \Big|_{x=0}$  : רכזיח ה  $\int d\tau$  : רכזיח ה  $\int d\tau$

$-T_0(-ik + Rik) + T_0 T(-ik) - i\omega T c = -m\omega^2 T$  : רכזיח ה  $\int d\tau$  : רכזיח ה  $\int d\tau$

$iT_0 k (1 - R - T) - (i\omega c - m\omega^2) T = 0$

$iT_0 k (1 - R - 1 - R) - (i\omega c - m\omega^2) (1 + R) = 0$

$-2iT_0 k R - i\omega c - i\omega c R + m\omega^2 + m\omega^2 R = 0$

$R = \frac{i\omega c - m\omega^2}{m\omega^2 - i\omega c - 2iT_0 k} = \left| k = \frac{\omega}{v_p} = \sqrt{\frac{\rho}{T_0}} \omega \right.$

$= \frac{ic - m\omega}{m\omega - ic - 2i\sqrt{T_0\rho}} = \frac{(ic - m\omega)(m\omega + i(c + 2\sqrt{T_0\rho}))}{(m\omega - i(c + 2\sqrt{T_0\rho}))(m\omega + i(c + 2\sqrt{T_0\rho}))}$

$= \frac{-m^2\omega^2 - c^2 - 2c\sqrt{T_0\rho} + im\omega(\cancel{c} - \cancel{c} - 2\sqrt{T_0\rho})}{m^2\omega^2 + (c + 2\sqrt{T_0\rho})^2} \equiv a + ib$

$|R| = \sqrt{a^2 + b^2}$

$\tan \varphi = \frac{b}{a}$

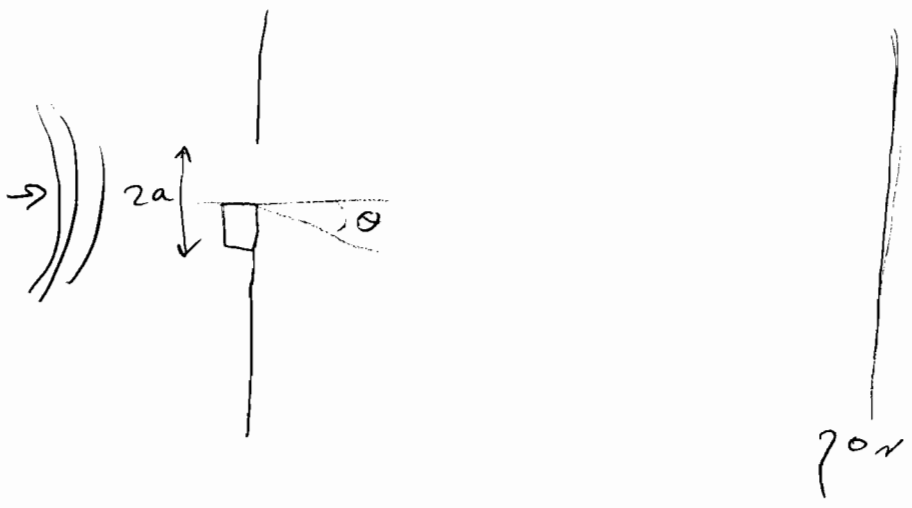
$T = 1 + R$

$a = -\frac{m^2\omega^2 + c^2 + 2c\sqrt{T_0\rho}}{m^2\omega^2 + (c + 2\sqrt{T_0\rho})^2}$

$b = -\frac{2m\omega\sqrt{T_0\rho}}{m^2\omega^2 + (c + 2\sqrt{T_0\rho})^2}$

$$\langle p \rangle = \langle \vec{f} \cdot \vec{v} \rangle = \left\langle -c \left( \frac{\partial \psi}{\partial t} \right)_{x=0}^2 \right\rangle =$$
$$= \frac{1}{2} c \omega^2 \pi^2$$

(2)



כדי לתקן הנוחות שהיכות האור  $\frac{c}{n}$   
 הפכה הפיזיקה בין הקינן שמהנה ענק הנוחות היא  $\lambda$  קינן  
 של  $n$  מהנה עכבה הינו:  $(d - \text{נוחה הנוחות})$

$$\varphi' = k \cdot d = \frac{\omega}{v} \cdot d = k \cdot \frac{1}{c/n} \cdot d = n \cdot \frac{2\pi}{\lambda} \cdot 3\lambda =$$

$$= 6\pi \cdot \frac{3}{6} = 7\pi$$

$$\varphi = k \cdot d = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot 3\lambda = 6\pi$$

$$\Delta\varphi = \pi$$

$k - \text{וקטור הגל הקינן}$   
 $k' - \text{וקטור הגל הנוחות}$

$$f(x) = A \begin{cases} 1, & 0 < x < a \\ e^{i\pi}, & -a < x < 0 \end{cases}$$

(א) פונקציית המפתח:  
 $x=0$  באמצע הסדק

הנה הנקודה הנקראת הנקודה הנוחה  $\theta$  הינה:

$$E(\theta) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{ik \sin \theta x} dx = A \int_0^a e^{ik \sin \theta x} dx +$$

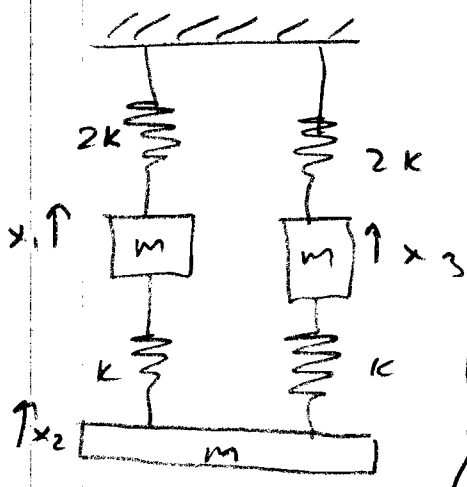
$$+ A \int_{-a}^0 e^{i(k \sin \theta x + \pi)} dx =$$

$$= A \frac{a}{2} \left[ e^{\frac{1}{2} i k \sin \theta a} \text{sinc} \frac{k \sin \theta a}{2} - e^{-\frac{1}{2} i k \sin \theta a} \text{sinc} \frac{k \sin \theta a}{2} \right] =$$

$$= A a i \text{sinc} \frac{k a \sin \theta}{2} \sin \frac{k a \sin \theta}{2}$$

$$I(\theta) \sim |E|^2 = I_0 \text{sinc}^2 \frac{k a \sin \theta}{2} \sin^2 \frac{k a \sin \theta}{2}$$

סדרה



הערכת המערכת  
 (הערכת המערכת)  
 (הערכת המערכת)

$$\begin{cases} m\ddot{x}_1 = -3kx_1 + kx_2 \\ m\ddot{x}_2 = -2kx_2 + kx_1 + kx_3 \\ m\ddot{x}_3 = -3kx_3 + kx_2 \end{cases}$$

$$\omega_0^2 = \frac{k}{m}$$

$$\begin{pmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \\ \ddot{x}_3 \end{pmatrix} + \omega_0^2 \begin{pmatrix} 3 & -1 & 0 \\ -1 & 2 & -1 \\ 0 & -1 & 3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = 0$$

$$\ddot{\vec{x}} + A\vec{x} = 0$$

$$u^{-1}\ddot{\vec{y}} + u^{-1}Au u^{-1}\vec{y} = 0, \quad D = u^{-1}Au$$

$$\ddot{\vec{y}} + D\vec{y} = 0$$

$$\begin{vmatrix} 3-\lambda & -1 & 0 \\ -1 & 2-\lambda & -1 \\ 0 & -1 & 3-\lambda \end{vmatrix} = 0$$

$$(3-\lambda)((2-\lambda)(3-\lambda)-1) - (3-\lambda) = 0$$

$$\lambda_1 = 3$$

$$6 - 5\lambda + \lambda^2 - 2 = 0$$

$$\lambda^2 - 5\lambda + 4 = 0$$

$$\lambda_{2,3} = \frac{5 \pm \sqrt{25-16}}{2} = \begin{cases} 4 \\ 1 \end{cases}$$

$$\omega_1^2 = 3\omega_0^2$$

$$\vec{v}_1 = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ -1 \end{pmatrix}$$

$$\omega_2^2 = 4\omega_0^2$$

$$\vec{v}_2 = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\omega_3^2 = \omega_0^2$$

$$\vec{v}_3 = \frac{1}{\sqrt{6}} \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$U = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{6}} \\ 0 & -\frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{2}{\sqrt{6}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{6}} \end{pmatrix}$$

$$\vec{x} = u \vec{y} = \sum_{i=1}^3 a_i \vec{v}_i \cos(\omega_i t + \varphi_i)$$

$$\vec{x}(t=0) = \begin{pmatrix} 0 \\ x_0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

∴ Anfangswert  $\vec{x}(0)$

$$\dot{\vec{x}}(t=0) = \vec{0}$$

$$\dot{\vec{x}}(t=0) = - \sum_{i=1}^3 a_i \vec{v}_i \omega_i \sin \varphi_i = \vec{0} \Rightarrow \varphi_i = 0$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{\sqrt{2}} a_1 + \frac{1}{\sqrt{3}} a_2 + \frac{1}{\sqrt{6}} a_3 = 0 \\ -\frac{1}{\sqrt{3}} a_2 + \frac{2}{\sqrt{6}} a_3 = x_0 \end{array} \right. \Rightarrow$$

$$\frac{1}{\sqrt{3}} a_2 + \frac{1}{\sqrt{6}} a_3 = 0$$

$$a_2 = -\frac{1}{\sqrt{2}} a_3$$

$$\left\{ \begin{array}{l} -\frac{1}{\sqrt{2}} a_1 + \frac{1}{\sqrt{3}} a_2 + \frac{1}{\sqrt{6}} a_3 = 0 \\ \frac{1}{\sqrt{6}} a_3 + \frac{2}{\sqrt{6}} a_3 = x_0 \end{array} \right.$$

$$+ \frac{1}{\sqrt{6}} a_3 + \frac{2}{\sqrt{6}} a_3 = x_0$$

$$a_3 = x_0 \cdot \frac{\sqrt{6}}{3} = x_0 \cdot \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$$

$$-\frac{1}{\sqrt{2}} a_1 - \frac{1}{\sqrt{2}} x_0 \cdot \frac{\sqrt{6}}{3} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} + \frac{1}{\sqrt{6}} x_0 \cdot \frac{\sqrt{6}}{3} = 0$$

$$a_1 = 0$$

$$a_2 = -\frac{1}{\sqrt{2}} x_0 \cdot \frac{\sqrt{6}}{3} = -\frac{x_0}{\sqrt{3}}$$

$$\vec{x} = -\frac{x_0}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{pmatrix} -1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} \cos(\omega_2 t) + x_0 \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{\sqrt{6}} \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 1 \end{pmatrix} \cos(\omega_3 t)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x_1 = \frac{1}{3} x_0 (-\cos \omega_2 t + \cos \omega_3 t) \\ x_2 = \frac{1}{3} x_0 (\cos \omega_2 t + 2 \cos \omega_3 t) \\ x_3 = \frac{1}{3} x_0 (\cos \omega_2 t + \cos \omega_3 t) \end{array} \right.$$

$$\Delta x \Delta p \approx \frac{\hbar}{2}$$

$$\Delta p = \frac{\hbar}{2\Delta x}$$

$$\Delta x' = \frac{\Delta p}{m} t = \frac{\hbar t}{2\Delta x m}$$

$$= \frac{1.05 \cdot 10^{-34} [\text{J} \cdot \text{s}] \cdot 1 [\text{s}]}{2 \cdot 10^{-11} [\text{m}] \cdot 1.67 \cdot 10^{-27} [\text{kg}]} \approx 1.6 \cdot 10^3 \text{ m}$$

$$\frac{5 \cdot \text{J} \cdot \text{s}}{10^{-11} \text{ m}}$$

האנרגיה

$$m = 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$\Delta x = 10^{-11} \text{ m}$$

כאשר  $\Delta x$  הוא

(ב) לזכור התנ"ן לניח כים כזוכי (☺) בהם קטג של 10 נ"ס

לניח את מסת האטום -  $m = 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$  (אטום המימן)  
 ההתחלה של האטום  $\Delta x = 0.01 \text{ m}$   
 $\Delta x' = 0.1 \text{ m}$   
 $m = 0.001 \text{ kg}$

פ

$$\Delta x' = \frac{\hbar t}{2\Delta x m}$$

$$\Rightarrow t = \frac{2\Delta x \Delta x' m}{\hbar} = \frac{2 \cdot 0.1 \cdot 0.01 \cdot 0.001}{1.05 \cdot 10^{-34}} = 1.9 \cdot 10^{28} \text{ sec} \approx$$

$$\approx 6 \cdot 10^{20} \text{ years}$$

השמן הזה הכבד יותר גדול היום המושק של היקום  
 שלנו ( $\sim 14 \cdot 10^9 \text{ years}$ )

(אם נניחם זיקן התחלה של  $10^{-10} \text{ m}$  - סדרה אטומית, אז  
 $\dots t \approx 6 \cdot 10^{12} \text{ years}$ )

... סדרה אטומית יותר שקושר "קב" כים ...