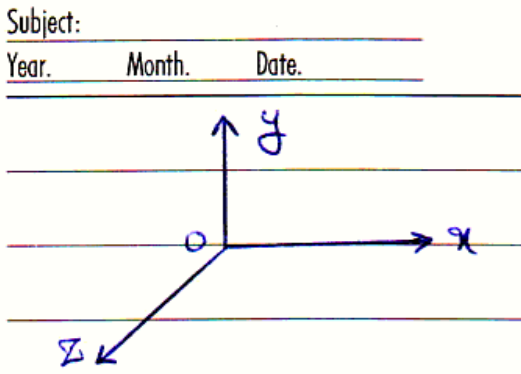
فیزیک مدرن

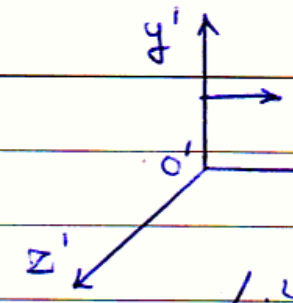
(بخش اول)

استاد لاله موسوی

Subject:
Year. Month. Date.

فیزیک مدرن (الله موسوی)





دستگاه O ساکن و دستگاه O' متحرک است.
دستگاه O' در امتداد محور xها با سرعت u حرکت می‌کند.

$x = vt + x_0$ $\quad x' = x - ut \rightarrow x = x' + ut$

مکان (از دید ناظر O') $\begin{cases} y' = y \\ z' = z \end{cases}$ $\quad$ از دید ناظر O $\begin{cases} y = y' \\ z = z' \end{cases}$

سرعت O' $\begin{cases} v'_x = v_x - u \\ v'_y = v_y \\ v'_z = v_z \end{cases}$ $\quad$ O $\begin{cases} v_x = v'_x + u \\ v_y = v'_y \\ v_z = v'_z \end{cases}$

شتاب $\begin{cases} a'_x = a_x \\ a'_y = a_y \\ a'_z = a_z \end{cases} \rightarrow$ شتاب ثابت است

مثال) دو اتومبیل با سرعت ثابت در یک جاده و در یک جهت حرکت می‌کنند. اتومبیل A با سرعت $70\ km/h$ و اتومبیل B با سرعت $40\ km/h$ نسبت به ناظری که روی زمین است در حرکت‌اند. سرعت اتومبیل A نسبت به اتومبیل B چقدر است؟
(ناظر روی زمین $v_x = 0$ و O' در اتومبیل B با سرعت $u = 40$ حرکت می‌کند)

$v_A = 70$ $\quad v_{ox} = 70$

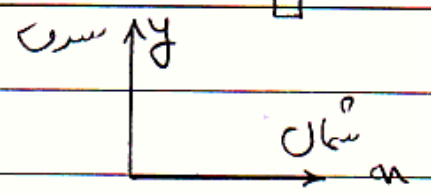
$v_B = 40 \xrightarrow[B]{A}$ $\quad u = 40$ $\quad v'_x = 70 - 40 = 30$

مثال) یک هواپیما نسبت به هوای ساکن با سرعت $320\ km/h$ رو به شرق حرکت می‌کند. باد در ارتفاع پرواز هواپیما v'_y ناظری که روی زمین است، بادی با سرعت $65\ km/h$ به طرف شمال می‌وزد. ناظر روی زمین، سرعت هواپیما را چقدر اندازه می‌گیرد؟

راستای شمال یکسو، شرق یکسو

سرعت نسبت به ناظر ساکن در دره نسبت به ساکن؟

دستگاه متحرک، بادامست.



$u = 65\ km/h$

$v'_y = 320\ km/h$

$v'_x = 0$

ناظر ساکن در ایستگاه، سرعت قطار را

$v_x = v'_x + u = 0 + 65 = 65$

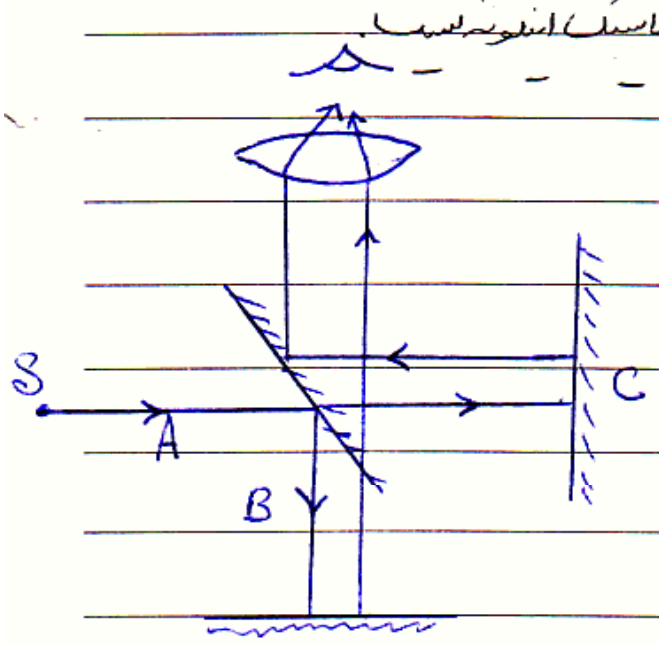
$v_y = v'_y = 320\ km/h$

$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{(65)^2 + (320)^2}$

$tg\theta = \frac{v_y}{v_x}$ ← جهت حرکت هواپیما را می‌دهد

اندازه‌ی سرعت نور در هر راستایی یکسان است. (در فیزیک مدرن) اما در کلاسیک اینطور نیست.

آزمایش مایکلسون ـ مورلی



توارهای روشن و تاریکی مشاهده شد.

دلیل ایجاد نوارهای تداخلی: ۱ـ اختلاف راه
۲ـ اختلاف زمان

اصول دوگانه‌ی انیشتین:

۱ـ اصل نسبیت: قوانین فیزیک در همه‌ی چارچوب‌های مرجع لخت یکسان هستند.

۲ـ اصل ثبات سرعت نور: سرعت نور در فضای آزاد در تمام چارچوب‌های مرجع لخت دارای مقدار ثابت c است.

پیامدها: ۱ـ انبساط زمان ۲ـ انقباض فضا

۱ـ انبساط زمان

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - u^2/c^2}}$$

۲ـ انقباض فضا

$$l = l_0 \sqrt{1 - u^2/c^2}$$

l_0 و Δt_0 طول و زمان واقعی می باشند (در همه ی موارد)

l_0 طولی می باشد که همراه ناظر آن ساکن می باشد.

Subject:
Year. Month. Date.

مثال) میون ها (موئون) ذرات بنیادی با طول عمر ۲٫۲ میکروثانیه هستند. این ذرات از برخورد پرتوهای کیهانی با مولکول های هوا با سرعت های بسیار زیاد در شعاع بالای جو تولید می شوند. ارتفاع جو را در حدود ۱۰۰ کیلومتر در نظر بگیرید و کمینه ی سرعتی را بیابید که میون ها آن را داشته باشند تا بتوانند به سطح زمین برسند.

$l_0 = 100\,km$ سطح زمین را ناظر می بیند

$\Delta t_0 = 2{,}2\,\mu s$

$v = c \quad u = ? \qquad x = v\Delta t \qquad l_0 = c\Delta t \qquad \Delta t = \frac{l_0}{c} = \frac{100\,km}{300{,}000\,km/h} = \frac{1}{3000}\,h$

$\Delta t = 3333\,\mu s \qquad \Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1-u^2/c^2}} \Rightarrow 3333 = \frac{2{,}2}{\sqrt{1-u^2/c^2}}$

$\sqrt{1-u^2/c^2} = \frac{2{,}2}{3333} \Rightarrow 1-u^2/c^2 = \left(\frac{2{,}2}{3333}\right)^2 \Rightarrow u = c\sqrt{1-\left(\frac{2{,}2}{3333}\right)^2} = 0/9999978c$

مثال) ناظر O روی سکویی به طول 6.0 m در یک ایستگاه فضایی ایستاده است. یک موشک با سرعت $0/8c$ موازی سکو از نیمه ی راست سکو در جهت مثبت محور x ناظر می گذرد. ناظر O' سرعت موشک را نسبت به خودش چقدر اندازه می گیرد؟

الف) ناظر O زمان لازم برای اینکه موشک از یک انتهای سکو بگذرد چقدر است؟

ب) طول سکو برای موشک چقدر است؟ طول موشک برای ناظر O' چقدر است؟

ج) از نظر ناظر O چقدر طول می کشد تا طول موشک از مبدا بگذرد؟

د) از نظر ناظر O در لحظه ای که دماغه ی موشک به انتهای سکو می رسد، دم موشک کجاست؟

Subject:
Year. Month. Date.

$\left.\begin{matrix} l \\ \Delta t_0 \\ D_0 \end{matrix}\right\}$ از دید ناظر O

$\left.\begin{matrix} l_0 \\ \Delta t \\ D \end{matrix}\right\}$ از دید ناظر O'

l_0 = طول واقعی میله

$D_0 = 45m \quad u = 0.8c \quad \theta \rightarrow l = D_0 = 45m$

الف) $\Delta t = \frac{l}{u} = \frac{45}{0.8 \times 3 \times 10^8} = 0.27\ \mu s$ — Δt_0 آن چیزی است که ناظر O اندازه می‌گیرد

l طول ستون

l_0 طول واقعی میله

$l = l_0 \sqrt{1 - u^2/c^2}$ $\quad l_0 = \frac{l}{\sqrt{1 - u^2/c^2}}$

$l_0 = \frac{45}{\sqrt{1 - 0.64}} = 75m$

ج) $D = D_0 \sqrt{1 - u^2/c^2} = 45 \sqrt{1 - 0.64} = 27m$

د) $\Delta t = \frac{l_0}{u} = \frac{75}{0.8c} = 0.25\ \mu s$

هـ)

خیر

اثر دوپلر برای نور:

ν' : بسامدی که ناظر O می‌شنود. $\quad \nu$ بسامد چشمه

$c = \nu \lambda$

$\nu = \frac{c}{\lambda}$ یا $\lambda = \frac{c}{\nu}$

v : سرعت امواج در محیط $\quad v_0$: سرعت ناظر نسبت به محیط

v_s : سرعت چشمه نسبت به محیط

ν : بسامد $\quad \lambda$: طول موج

$\nu' = \nu \frac{v \pm v_0}{v \pm v_s}$

$\nu' = \nu \sqrt{\frac{1 - u/c}{1 + u/c}}$ درست

مثال) سرعت دور شدن یک کهکشان از زمین به گونه‌ای است که خط طیفی هیدروژن با طول موج 434nm در 600 نانومتری (در طرف قرمز) شناخته می‌شود. سرعت کهکشان نسبت به زمین چقدر است؟

$$\frac{c}{۷۰۰}=\frac{c}{۴۴۴}\sqrt{\frac{1-u/c}{1+u/c}} \qquad \frac{۴۴۴}{۷۰۰}=\sqrt{\frac{1-u/c}{1+u/c}} \rightarrow \left(\frac{۴۴۴}{۷۰۰}\right)^{۲}=\frac{1-u/c}{1+u/c}$$

$$\rightarrow \frac{u}{c}=۰/۳۱$$

معادلات تبدیلات مکانی و زمانی لورنتس :

$O\ (x,y,z,t)$

$O'\ (x',y',z',t')$

u ← سرعت O' نسبت به O

$$\begin{cases} x'=\dfrac{x-ut}{\sqrt{1-(u/c)^{۲}}} \\ y'=y \\ z'=z \\ t'=\dfrac{t-\frac{u}{c^{۲}}x}{\sqrt{1-u^{۲}/c^{۲}}} \end{cases}$$

$O' \xrightarrow[L_0 \text{ طول}]{\text{میله متالی}} L_0=x'_۲-x'_۱$

$O \longrightarrow L=x_۲-x_۱$

$$x'_۱=\frac{x_۱-ut_۱}{\sqrt{1-(u/c)^{۲}}} \qquad x'_۲=\frac{x_۲-ut_۲}{\sqrt{1-(u/c)^{۲}}}$$

$$x'_۲-x'_۱=\frac{x_۲-ut_۲}{\sqrt{1-(u/c)^{۲}}}-\frac{x_۱-ut_۱}{\sqrt{1-(u/c)^{۲}}} \Rightarrow x'_۲-x'_۱=\frac{x_۲-x_۱}{\sqrt{1-(u/c)^{۲}}}-\frac{u(t_۲-t_۱)}{\sqrt{1-(u/c)^{۲}}}$$

$t_۱=t_۲$

$$x'_۲-x'_۱=\frac{x_۲-x_۱}{\sqrt{1-(u/c)^{۲}}} \Rightarrow L_0=\frac{L}{\sqrt{1-(u/c)^{۲}}} \Rightarrow L=L_0\sqrt{1-(u/c)^{۲}}$$

$$v'_x = \frac{v_x - u}{1 - v_x u/c^2}$$

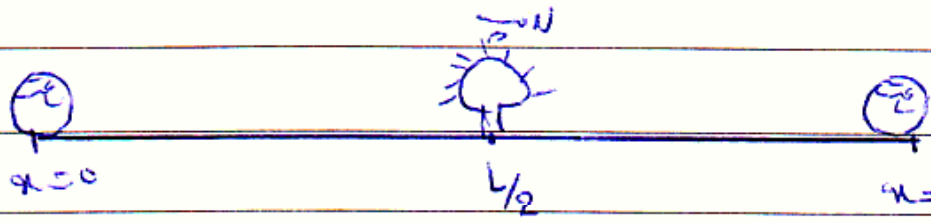
تبدلات زمانی لورنتس:

$$y = y' \Longrightarrow dy' = dy \qquad v'_y = \frac{dy'}{dt'} = \frac{dy}{dt'} = \frac{dy}{dt - u/c^2\, dx}$$

$$v'_y = \frac{dy/dt}{1 - u/c^2 \; dx/dt} \Longrightarrow \boxed{v'_y = \frac{v_y\sqrt{1-u^2/c^2}}{1 - \frac{u}{c^2}v_x}} \qquad \sqrt{1-u^2/c^2}$$

$$\boxed{v'_z = \frac{v_z\sqrt{1-u^2/c^2}}{1 - u/c^2\, v_x}} \qquad \boxed{dt' = \frac{dt - (u/c^2)\,dx}{\sqrt{1-u^2/c^2}}}$$

هم زمان سازی:



$$t' = \frac{t - u/c^2\, x}{\sqrt{1-u^2/c^2}}$$

$$\frac{L}{2} = ct \rightarrow t = \frac{L}{2c}$$

$$t'_1 = \frac{t_1 - u/c^2\, x_1}{\sqrt{1-u^2/c^2}} = \frac{L/2c}{\sqrt{1-u^2/c^2}}$$

$$t_1 = t_2 = \frac{L}{2c}$$

$$t'_2 = \frac{t_2 - u/c^2\, x_2}{\sqrt{1-u^2/c^2}} = \frac{L/2c - u/c^2\, L}{\sqrt{1-u^2/c^2}} \Longrightarrow \Delta t' = t'_1 - t'_2 = \frac{-L/2c - u/c^2 L}{\sqrt{1-u^2/c^2}} + \frac{L/2c}{\sqrt{1-u^2/c^2}}$$

$$\Delta t = \frac{u/c^2\, L}{\sqrt{1-u^2/c^2}} \Longrightarrow$$ آزمایش دو دستگاه ثابت انجام می‌شود دارای اختلاف زمانی است

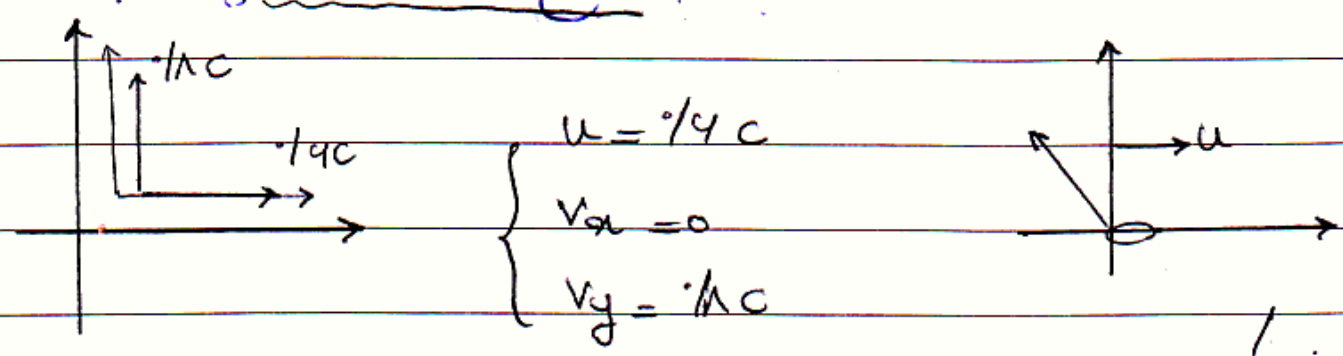
که ناظری با دو دستگاه متحرک است می‌بیند.

مثال) دو موشک از سیاره مقابل خود را نسبت به ناظری که در این سیاره حضور دارد در مسیر هایی

عودی هم حرکت می‌کند. قطار (۱) با سرعت $0.6c$ و قطار (۲) با سرعت $0.8c$ نسبت به ایستگاه

$u = 0.4c$

فضانوردی حرکت می‌کند. سرعت قطار (۲) نسبت به او و قطار (۱) چقدر است؟



سرعت قطار (۱) نسبت به فضانورد $(0.6c)$ است.

$$v'_x = \frac{v_x - u}{1 - \frac{u v_x}{c^2}} = \frac{-0.6c}{1} = -0.6c$$

$$v'_y = \frac{v_y \sqrt{1 - u^2/c^2}}{1 - u v_x / c^2} = \frac{0.8c \sqrt{1 - 0.36}}{1} = 0.64c$$

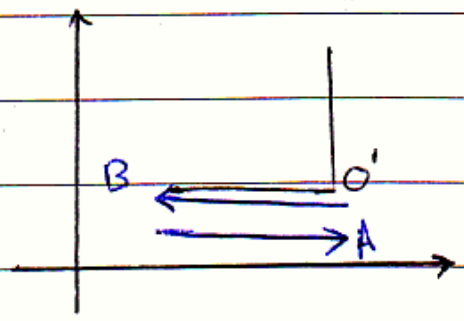
$$v' = \sqrt{v'^2_x + v'^2_y} = \sqrt{(-0.6c)^2 + (0.64c)^2} = ?$$

$$\tan\theta = \frac{v'_y}{v'_x} = \frac{0.64c}{-0.6c}$$

مثال) دو سفینه فضایی از جهت‌های مخالف به زمین نزدیک می‌شوند. به ناظر روی زمین، سفینه A با سرعت $0.7c$ و سفینه B با سرعت $0.8c$ در حرکت‌اند. سرعت سفینه A به ناظر واقع در سفینه B چقدر است؟

(سفینه B ساکن را ناظری در نظر بگیرید.)

(الف)

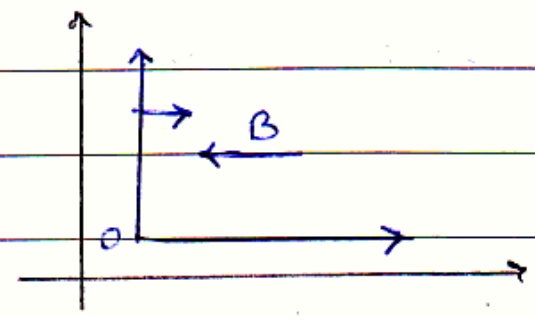


$$v_A = 0.7c$$

$$v_B = 0.8c \qquad u = -0.8c$$

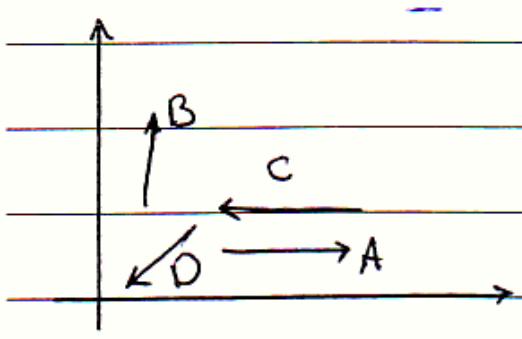
$$v_{xA} = 0.7c$$

$$v'_{xA} = \frac{v_x - u}{1 - u v_x / c^2} = \frac{0.7c + 0.8c}{1 + 0.8 \times 0.7} = \frac{1.5c}{1.56}$$



درجهت $x-$ و D با سرعت $0.8c$ نسبت به زاویه‌ی 45° نسبت جهت‌های منفی y و x حرکت می‌کند.

مولفه‌های سرعت جهت‌های سرعت‌های B، C و D را از دیدگاه A بیابید.



$u = 0.4c$

$$\begin{cases} v_{Bx} = 0 \\ v_{By} = 0.8c \end{cases} \qquad \begin{cases} v_{Cx} = -0.8c \\ v_{Cy} = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} v_{Dx} = -0.8c\cos 45 \\ v_{Dy} = -0.8c\sin 45 \end{cases}$$

B

$$\begin{cases} v'_x = \dfrac{v_x - u}{1 - v_x u/c^2} = \dfrac{0 - 0.4c}{1} = -0.4c \\ v'_y = \dfrac{v_y\sqrt{1-u^2/c^2}}{1 - v_x u/c^2} = \dfrac{0.8c\sqrt{1-0.16}}{1} = 0.4c \end{cases}$$

C

$$\begin{cases} v'_x = \dfrac{-0.8c - 0.4c}{1 + 0.32} \\ v'_y = 0 \end{cases} \qquad v'_C = v'_{xC}$$

D

$$\begin{cases} v'_x = \dfrac{-0.64c - 0.4c}{1 + 0.32} = \dfrac{1.04c}{1.32} \\ v'_y = \dfrac{-0.48c \times 0.8}{1.32} = ? \end{cases}$$

$$v'_B = \sqrt{v'^2_x + v'^2_y}$$

$$tg\alpha = \frac{v'_y}{v'_x}$$

$$v'_D = \sqrt{v'^2_x + v'^2_y}$$

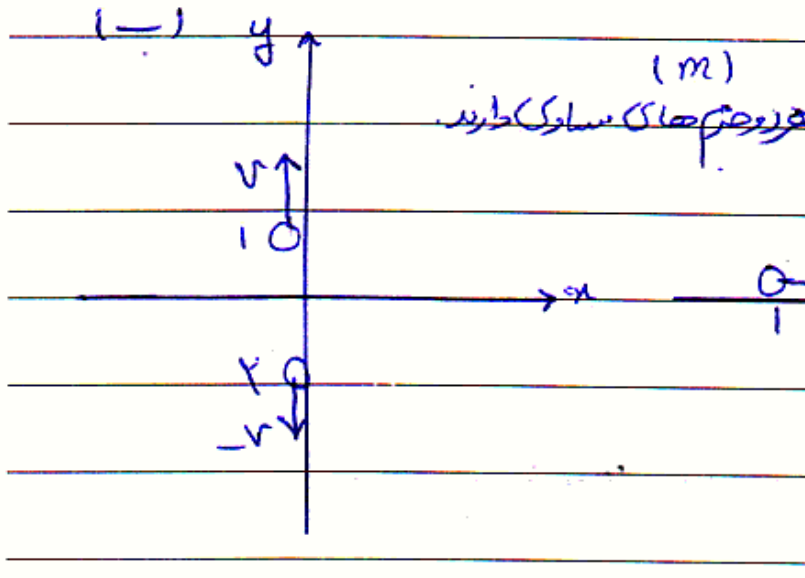
$$tg\beta = \frac{v'_y}{v'_x}$$

فصل ۲ مسائل ۵، ۷، ۱۱، ۱۲، ۱۴، ۱۵، ۱۶،

دینامیک نسبیتی :

دستگاه O' نسبت به دستگاه O با سرعت u حرکت می‌کند.

(الف)



(ب)

(m) هردو جرم‌ها ساکن‌اند.

قبل از برخورد $\begin{cases} P_{xi} = mv + m(-v) = 0 \\ P_{yi} = 0 \end{cases}$

بعد از برخورد $\begin{cases} P_{xf} = 0 \\ P_{yf} = mV - mV = 0 \end{cases}$

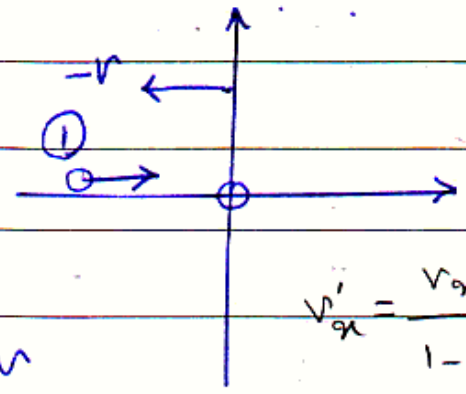
دستگاه O' نسبت به O با سرعت u حرکت می‌کند.

$v'_{1x} = 0$

$v'_{x_1} = \dfrac{v-(-v)}{1-\frac{v(-v)}{c^2}} = \dfrac{2v}{1+\frac{v^2}{c^2}}$

$P'_{ix} = m_1 v'_1 + m_2 v'_2 = m\dfrac{2v}{1+\frac{v^2}{c^2}} + m(0) = \dfrac{2mv}{1+\frac{v^2}{c^2}}$

$P'_{iy} = 0$ سرعت ذره نسبت به دستگاه مختصات



$v'_x = \dfrac{v_x - u}{1 - v_x u/c^2}$

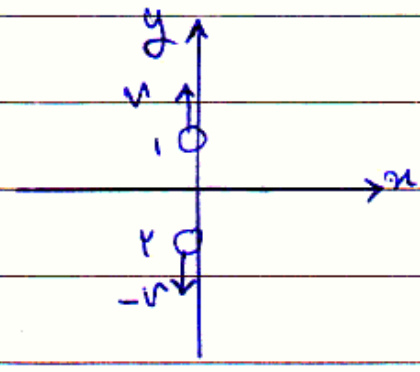
$v'_y = \dfrac{v_y\sqrt{1-\frac{u^2}{c^2}}}{1 - v_x u/c^2}$

$v_{x_2} = 0 \qquad v'_{x_1} = \dfrac{0-(-v)}{1-0} = v$

$v_{x_1} = 0$

$v_{y_1} = v \qquad v'_{x_2} = \dfrac{0-(-v)}{1} = v$

$v_{y_2} = -v$



$v'_{y_1} = \dfrac{v\sqrt{1-v^2/c^2}}{1} = v\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} \qquad v'_{y_2} = -v\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$

$m' = \dfrac{m}{\sqrt{1-u^2/c^2}}$ جرم سکون ذره m

$P = m'v = \dfrac{mu}{\sqrt{1-u^2/c^2}} \; ; \; \dfrac{mv}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$

مثال) تفاوتی یک پروتون با سرعت $0.86c$ در حرکت است حقیقی است؟

جرم پروتون $= 1.67 \times 10^{-27}\ kg$

$$p = \frac{1.67 \times 10^{-27} \times 0.86c}{\sqrt{1-(0.86)^2}}$$

انرژی جنبشی: انرژی سکون ذره‌ای که حرکت نمی‌کند یعنی انرژی سکون ندارد. مثل امواج (فوتون)

$K = E - E_0$ $\quad E$: انرژی کل $\quad E_0$: انرژی سکون

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1-u^2/c^2}} \qquad E_0 = mc^2 \qquad K = \frac{mc^2}{\sqrt{1-u^2/c^2}} - mc^2$$

الکترون $E_0 = 0.511\ MeV$

پروتون $E_0 = 938\ MeV$

E انرژی کل $\quad$ $(pc)^2$ اندازه مومنتم خطی $\quad$ $(mc^2)^2$ $\underbrace{\quad}_{E_0}$

$E = \sqrt{(pc)^2 + (mc^2)^2}$

برای $E_0 = 0$ (فوتون) $\rightarrow mc^2 = 0 \Rightarrow E = \sqrt{(pc)^2} = pc$

$\Rightarrow E = pc$

مثال) انرژی جنبشی و انرژی کل نسبتی یک پروتون با انرژی سکون $938\ MeV$ سرعت $0.86c$ حرکت می‌کند

$$p = \frac{mv}{\sqrt{1-v^2/c^2}} \qquad pc = \frac{mcv}{\sqrt{1-v^2/c^2}} = \frac{(mc^2)\frac{v}{c}}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$$

حقیقی است؟

$$pc = \frac{(938\ MeV)\,0.86}{\sqrt{1-(0.86)^2}} = 1580\ MeV$$

$$E = \sqrt{(pc)^2 + E_0^2} = \sqrt{(1580)^2 + (938)^2} = 1837\ MeV$$

$$K = E - E_0 = 1837 - 938 = 899\ MeV$$

مثال) سرعت و تکانه‌ی یک الکترون با انرژی سکون ۰/۵۱۱MeV و انرژی جنبشی ۱۰MeV را بیابید؟

$E_0 = 0/511\ MeV$

$K = 10\ MeV \quad K = E - E_0 \Rightarrow E = 10 + 0/511 = 10/511\ MeV$

$E = \sqrt{(pc)^2 + E_0^2} \quad E = 10/511\ MeV \quad p = ? \quad c = 3\times10^8 \quad E_0 = 0/511\ MeV$

$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - u^2/c^2}} \Rightarrow 10/511 = \frac{0/511}{\sqrt{1 - u^2/c^2}} \Rightarrow u = ?$

مثال) یک تابش‌های پرتوهای گاما با انرژی سکون $498\ MeV$ و انرژی جنبشی $425\ MeV$ تولید می‌کند. طبق این واکنش یک پروتون p با انرژی سکون $140\ MeV$ واپاشید. انرژی جنبشی هریک از ذرات حاصل در این واپاشی چه‌قدر است؟

$E_{0K} = 498\ MeV$
$K_K = 425\ MeV$

$K_K = E_K - E_{0K}$
$E_K = K_K + E_{0K} = 498 + 425 = 923\ MeV$

$E_K = \sqrt{(pc)^2 + E_{0K}^2} \Rightarrow pc = \sqrt{E_K^2 - E_{0K}^2} = \sqrt{(923)^2 - (498)^2} \quad p_K c = 778\ MeV$

$E_{0\pi} = 140\ MeV \quad p_K = p_{1\pi} + p_{2\pi} \xrightarrow{\times c} p_K c = p_{1\pi} c + p_{2\pi} c$

$778 = p_{1\pi} c + p_{2\pi} c \quad (1)$

$E_K = E_{1\pi} + E_{2\pi}$

$923 = \sqrt{(p_{1\pi} c)^2 + E_{0\pi}^2} + \sqrt{(p_{2\pi} c)^2 + E_{0\pi}^2} \quad (2)$

$p_{1\pi} = 644\ MeV \quad p_{2\pi} = 134\ MeV \leftarrow$ حل دستگاه دو معادله دو مجهول (۲) و (۱)

۲۸ ، ۲۹ ، ۳۰ ، ۳۱ ، ۳۴ ، ۳۵ مثال ۲ ثبت

Subject:

Year. Month. Date.

$$K_1 = E_1 - E_0 = \sqrt{(p_{1\pi} c)^2 + E_{0\pi}^2} - E_{0\pi}$$

$$K_1 = \sqrt{(۴۹۸)^2 + (۱۴۰)^2} - ۱۴۰ = ۵۴۳ \text{ MeV}$$

$$K_2 = \sqrt{(-۱۳)^2 + (۱۴۰)^2} - ۱۴۰ = ۰/۶ \text{ MeV}$$

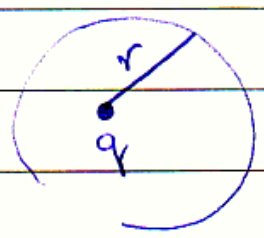
مثال) یک سوژه دارای انرژی سکون ۱۳۵ MeV است. این سوژه به دو فوتون تجزیه (تابش الکترومغناطیسی) شده و با سرعت نور حرکت می‌کند) و تابیده می‌شود. یک فوتون با سرعت $0.98c$ در راستای حرکت سوژه حرکت می‌کند و فوتون دیگر با انرژی مساوی تابیده می‌شود. این دو فوتون با جهت حرکت زاویه‌های مساوی θ می‌سازند. زاویه θ و انرژی‌های دو فوتون را بیابید. (فوتون‌ها انرژی سکون ندارند)

Subject:
Year. Month. Date.

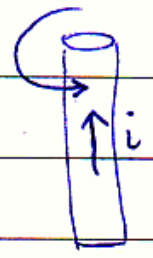
* صفحه ۱۰۰ ها

"فصل سوم"

خواص دی‌الکتریک الکترومغناطیس:



$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r^2}\hat{r}$$



$\vec{B}$ میدان مغناطیسی $= \frac{\mu_0 i}{2\pi r}\hat{\varphi}$

موج تخت:

$$E = E_0 \sin(kz - \omega t + \varphi)$$
$$B = B_0 \sin(kz - \omega t + \varphi)$$

موج الکترومغناطیس تخت در امتداد محور z ها

عدد موج $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ — بسامد زاویه‌ای $\omega = 2\pi\nu$

سرعت نور $c = \nu\lambda$ — بسامد

E_0 دامنه‌ی کوچک میدان الکتریکی

شار انرژی یا انتقال انرژی در نقطه‌ای در فضا را $\vec{S}$ نشان می‌دهد.

$$\vec{S} = \frac{1}{\mu_0}\vec{E}\times\vec{B}$$

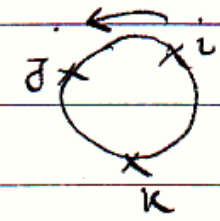
شار انرژی — بردار پوئینتینگ

زمانیکه E و B در هم ضرب شوند max مقدار دارد.

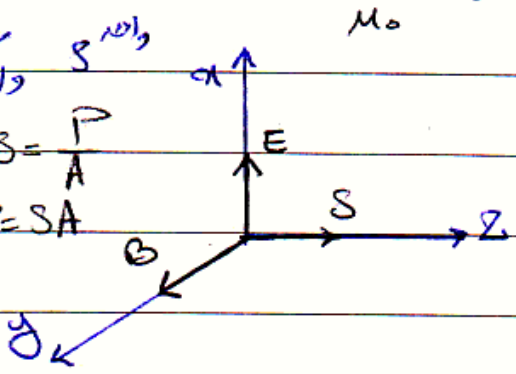
(x در راستای E)

(y در راستای B)

$$\vec{S} = \frac{1}{\mu_0}E_0 B_0 \sin^2(kz - \omega t + \varphi)(\hat{i}\times\hat{j})$$



$$\vec{S} = \frac{1}{\mu_0}E_0 B_0 \sin^2(kz - \omega t + \varphi)\hat{k}$$



$$B_0 = \frac{E_0}{C}$$

/۱۰۰ : ~

* در مباحث زیر را در نظر بگیرید:

یک آشکارساز الکترومغناطیسی را در نقطه‌ای روی محور z قرار می‌دهیم و توان الکترومغناطیسی را به

موج‌ها با این سرعت منتشر می‌شوند. انرژی صوتی که در ثانیه به سطح حساس آن (I) برخورد می‌کند، شدت صوت نامیده می‌شود، و این صورت توان انرژی صوتی است که بر واحد سطح عمود است. صوت به صورت حداکثر سیگنال دریافت می‌شود، و این صورت توان انرژی صوتی است که بر واحد سطح عمود است.

محاسبه‌ی صوت:

$$\text{توان } P = \frac{\text{اندازه}}{S}A = \frac{1}{\mu_0} B_0 E_0 \sin^2(kz - \omega t + \varphi) A$$

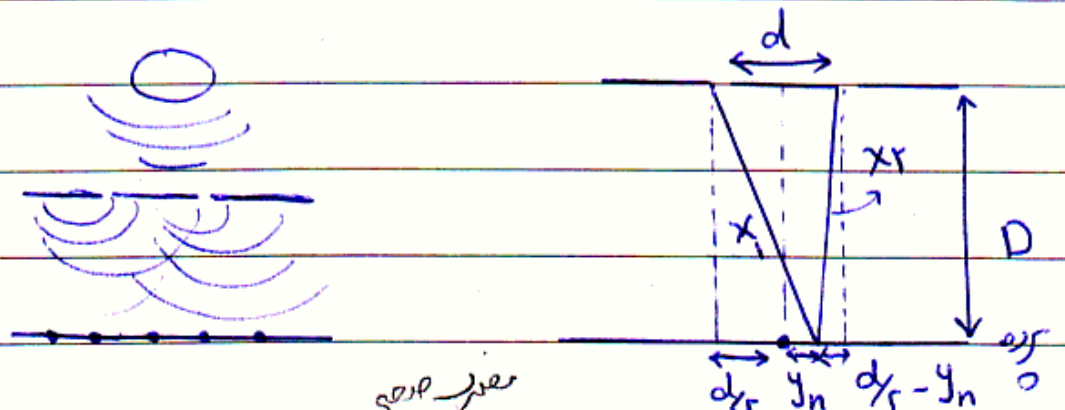
$$P = \frac{E_0^2}{c\mu_0} A \sin^2(kz - \omega t + \varphi)$$

$$\text{شدت } I = \frac{\text{توان متوسط } P}{A} \qquad \text{متوسط زمانی توان } P = \frac{1}{T}\int_0^T \underbrace{P}_{\text{توان}} dt$$

* از این آزمایش دو نتیجه حاصل می‌شود ۱- شدت (متوسط توان به ازای واحد سطح) با E_0^2 متناسب است، نوع شدت با توجه به فاصله متناسب است. ۲- شدت چشم به زمان بسامد ۲۷ تا ۲۰ هرتز حساس است؛ یعنی شدت با توجه به فاصله متناسب است. ۲- شدت چشم به زمان بسامد ۲۷ تا ۲۰ هرتز حساس است؛ یعنی شدت با توجه به فاصله متناسب است.

$$I = \frac{P}{A} = \frac{E_0^2}{2\mu_0 c}$$

$$\int \sin^2\theta d\theta = \frac{1}{2} \quad \text{یا} \quad \int \sin^2 t\, dt = 1/2$$

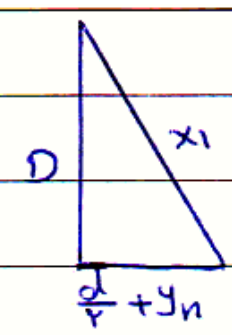


تداخل سازنده $|x_1 - x_2| = n\lambda$ (مضرب صحیح)

$(n = 0, 1, 2, 3, \ldots)$

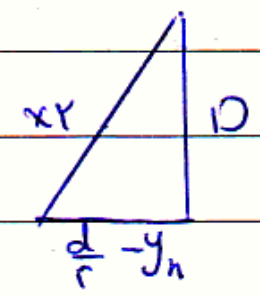
تداخل ویرانگر $|x_1 - x_2| = (n + \frac{1}{2})\lambda \quad (n = 0, 1, 2, \ldots)$

$y_n = ?$



$$x_1^2 = D^2 + \left(\frac{d}{2}+y_n\right)^2$$

$$x_2^2 = D^2 + \left(\frac{d}{2}-y_n\right)^2$$

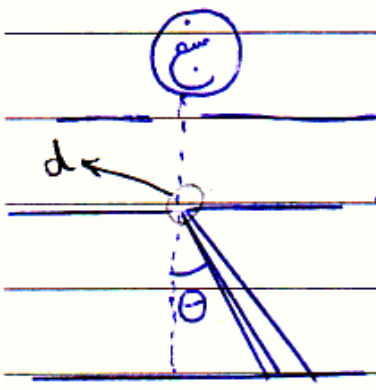


$$x_1^2 - x_2^2 = \left(\frac{d}{2}+y_n\right)^2 - \left(\frac{d}{2}-y_n\right)^2$$

$$(x_1-x_2)(x_1+x_2) = \left(\frac{d^2}{4}\right) + y_n^2 + dy_n - \frac{d^2}{4} - y_n^2 + dy_n$$

$(x_1-x_2)(x_1+x_2) = 2dy_n$ $\quad x_2 \simeq D$, $x_1 \simeq D$ برای θهای کوچک تقریب

$$\underbrace{|x_1-x_2|}_{n\lambda}(2D) = 2dy_n \Rightarrow y_n = |x_1-x_2|\frac{D}{d} \Rightarrow y_n = \frac{n\lambda D}{d}$$



$$d\sin\theta = n\lambda$$

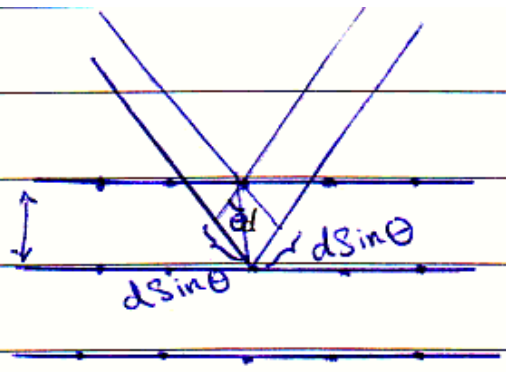
d فاصله شکاف‌ها

* دستگاهی برای مشاهده‌ی تداخل امواج نور، توری پراش است. جزء توری پراش، توان تفکیک بالایی آن است. با این وسیله می‌توانیم طول موج‌هایی را که بسیار نزدیک اند تا حد بسیار خوبی از هم جدا کنیم.

اما توصیه نشده برای دستگاه‌هایی که در قسمتی زاویه‌ی θ، مثلاً مقادیری که از آن‌ها، $\sin\theta$ در نوشته‌ها

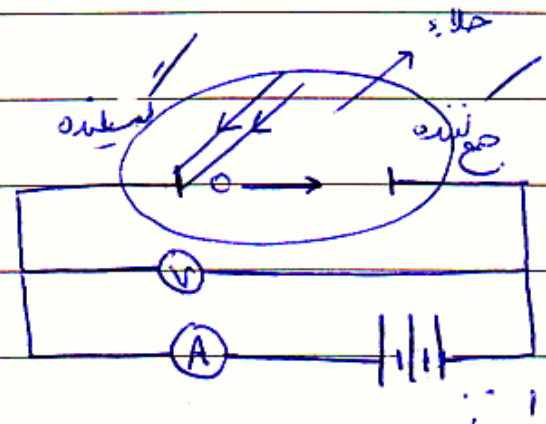
۰/۳ تا ۰/۵ میلی‌متر باشد برای تابش‌هایی با طول موج‌های کوتاه

(پرتو ایکس x و گاما) ساختار داخلی توری کریستالی.



$2dSin\theta = n\lambda$ برای

اثر فوتوالکتریک ؟



$K_{max} = eV_s$ → پتانسیل ایستا

ϕ : تابع کار، حداقل انرژی مورد نیاز برای کندن الکترون از سطح فلز

* نقص های فیزیک کلاسیک در مورد اثر فوتوالکتریک ؟

۱- شدت نور تابیده باید بالا باشد تا انرژی کافی به الکترون ها برسد.

انرژی جنبشی نوری دارند.

۲- اثر فوتوالکتریک باید در همه ی فرکانس ها و طول موج ها اتفاق بیافتد. فرکانس خاصی لازم است تا اثر فوتوالکتریک صورت گیرد.

۳- بین الکترون ها باید زمان تأخیر وجود داشته باشد. زمانی طول نکشد.

در کلاسیک h وجود دارد.

$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$ برای ذرات فوتونی

$p = \frac{h}{\lambda}$ ثابت پلانک

$K = h\nu - \phi$ $K = 0$ $h\nu_s = \phi$ $\nu_s = \frac{\phi}{h}$

کمترین انرژی، تا الکترون را جدا کند

انرژی برای حرکت ندارد.

بسامد وضع

طول موج قطع $\lambda_c = \frac{hc}{\phi}$ $h = 6,6 \times 10^{-34}\ J.s$

مثال ۶) الف: انرژی و تکانه (اندازه حرکت) یک فوتون با طول موج 750nm چقدر است؟

ب: طول موج یک فوتون با انرژی 2,4 ev چقدر است؟

الف)

$\lambda = 750\,nm = 750 \times 10^{-9}\,m$

$hc = 1240\ ev.nm$

$E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{1240\ ev.\cancel{nm}}{750\ \cancel{nm}} = 1,91\ ev$

$E = pc \rightarrow p = \frac{E}{c} = 1,91\ \frac{ev}{c}$

ب) $E = 2,4\ ev \quad \lambda = ?$ $\quad E = \frac{hc}{\lambda} \Rightarrow 2,4\ ev = \frac{1240\ ev.nm}{\lambda} \Rightarrow$

$\lambda = 517\ nm$

مثال ۷) تابع کار پلاتین، 5,32 ev است.

الف) طول موج حد فوتوالکتریک پلاتین چقدر است؟

ب) بیشترین انرژی جنبشی الکترون که در فتوسل با طول موج 198nm بیرون زده می‌شود چقدر است؟ پتانسیل ایست در این حالت چقدر است؟

$\phi = 4,52\ ev$

الف) $\lambda_c = \frac{hc}{\phi} = \frac{1240\ ev.nm}{4,52} = 274\ nm$

ب) $K_{max} = h\nu - \phi = \frac{hc}{\lambda} - \phi = \frac{1240}{198} - 4,52 = 1,74\ ev$

$\lambda = 198\ nm$

ج) $V_s = \frac{K_{max}}{e} = \frac{1,74\ ev}{1e} = 1,74\ V$

تابش جسم سیاه:

قانون استفن بولتزمن $\rightarrow I = \sigma T^4$ شدت

ثابت بولتزمن $\sigma = 5,67 \times 10^{-8}\ \frac{w}{m^2.k^4}$

* کل سطح تابیده در واحد زمان طول موج ها با افزایش دما افزایش می یابد، یعنی با بالا رفتن دمای یک شی تابان،

انرژی بیشتری تابش می شود. ($I = \sigma T^4$) این قانون، قانون استفن بولتزمن معروف است.

* قانون جابجایی وین: طول موجی که تابش در آن بیشترین مقدار را دارد با افزایش دما،

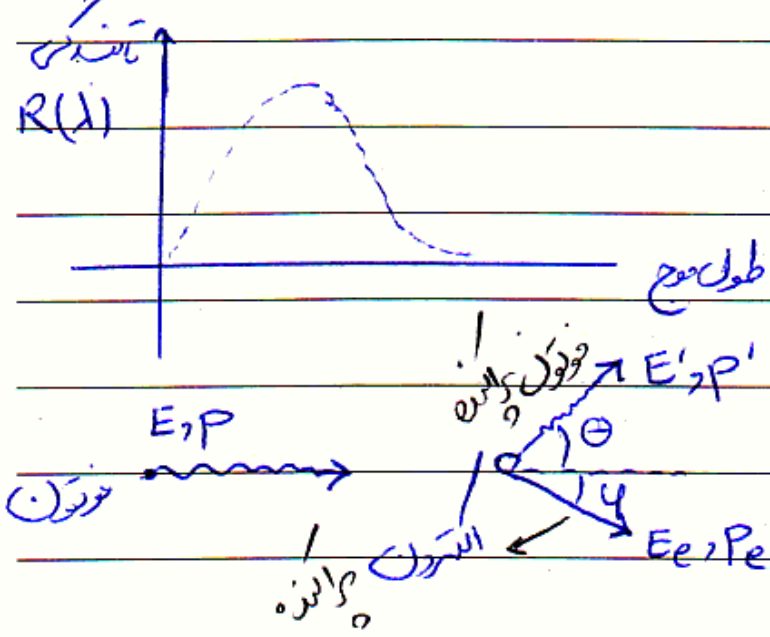
کاهش می یابد یعنی با دما نسبت عکس دارد. $\lambda_{max} \propto \frac{1}{T} \Rightarrow \lambda_{max} \cdot T = 2,898 \times 10^{-3}\ m.K$

* در توصیف تابش جسم سیاه، پلانک پیشنهاد کرد که اتم ها تابش را به صورت کوانتیده

(به نام کوانتوم) جذب و یا گسیل کند. انرژی این کوانتوم‌ها با بسامد تابش متناسب می‌شود. بازیابی سیاهه،

انرژی نیز زیاد می‌شد. طول موج متوسطی که در آن انرژی بیشتر از KT باشد، طول موج استانه‌ای

وجود دارد که انرژی کوانتوم آن کمتر از KT باشد. این موضوع سبب تابندگی در بسامدهای زیاد اعملاً محدود



می‌کرد. $E = h\nu = h\frac{c}{\lambda}$

اثر کامپتون:

قانون پایستگی انرژی: $E + m_e c^2 = E_e + E'$

قانون پایستگی تکانه: $(P_{xi}) = (P_{xf})$

$$\begin{cases} P = P_e\cos\phi + P'\cos\theta \\ 0 = P_e\sin\phi - P'\sin\theta \end{cases}$$

Subject:

Year. Month. Date.

$(P_{y_i}) = (P_{y_f})$ $\qquad 0 = P'\sin\theta - P_e\sin\varphi$

① $P_e\sin\varphi = P'\sin\theta \Rightarrow P_e^2\sin^2\varphi = P'^2\sin^2\theta$

② $P_e\cos\varphi = P - P'\cos\theta \Rightarrow P_e^2\cos^2\varphi = (P - P'\cos\theta)^2$

$$\frac{①}{②} \Rightarrow \boxed{tg\varphi = \frac{P'\sin\theta}{P - P'\cos\theta}}$$

$$① + ② \Rightarrow P_e^2(\sin^2\varphi + \cos^2\varphi) = P'^2\sin^2\theta + P^2 + P'^2\cos^2\theta - 2PP'\cos\theta$$

$$\Rightarrow \boxed{P_e^2 = P^2 + P'^2 - 2PP'\cos\theta}$$

$E_e = E + m_ec^2 - E'$

$E_e^2 = (P_ec)^2 + (m_ec^2)^2 \leftarrow (P_ec)^2 + (m_ec^2)^2$

$$(E + m_ec^2 - E')^2 = \underbrace{P^2c^2}_{E^2} + \underbrace{P'^2c^2}_{E'^2} - 2PP'c^2\cos\theta + (m_ec^2)^2$$

$$E^2 + (m_ec^2)^2 + E'^2 + 2E(m_ec^2) - 2EE' - 2E'(m_ec^2) = E^2 + E'^2 - 2PP'c^2\cos\theta + (m_ec^2)^2$$

$$2E(m_ec^2) - 2E'(m_ec^2) = 2EE' - 2EE'\cos\theta$$

$$2(m_ec^2)(E - E') = 2EE'(1 - \cos\theta) \Rightarrow \frac{E - E'}{EE'} = \frac{1}{m_ec^2}(1 - \cos\theta)$$

$$\frac{E}{EE'} - \frac{E'}{EE'} = \frac{1}{m_ec^2}(1 - \cos\theta) \qquad \boxed{\frac{1}{E'} - \frac{1}{E} = \frac{1}{m_ec^2}(1 - \cos\theta)}$$

$E = \frac{hc}{\lambda}$, $E' = \frac{hc}{\lambda'}$ $\qquad \frac{1}{\frac{hc}{\lambda'}} - \frac{1}{\frac{hc}{\lambda}} = \frac{1}{m_ec^2}(1 - \cos\theta)$

$$\boxed{\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_ec^2}(1 - \cos\theta)}$$

مثال) برای پرتوهای X به طول موج ۰/۲۴ Å، اولین کاهش صورت می‌گیرد با زاویه‌ی پراکنده

در پدیده‌ی کامپتون با پرتوی فرودی مشاهده می‌شود، پیدا کنید:

الف) طول موج پرتوهای X پراکنده

ب) انرژی فوتون‌های پرتو X پراکنده

ج) انرژی جنبشی الکترون‌های پراکنده

د) جهت حرکت الکترون‌های پراکنده

$E_0 = m_e c^2 = 0/511\ MeV = 511 \times 10^6\ ev$ (برای الکترون)

$\lambda = 0/24\ nm$

$\theta = 60^\circ$

الف) $\lambda' = ?$ $\quad \lambda' - \lambda = \frac{hc}{m_e c^2}(1 - \cos\theta)$

$\lambda' = 0/24 + \frac{1240\ ev.nm}{511 \times 10^6\ ev}(1 - \cos 60) \Rightarrow \lambda' = 0/2412\ nm$

ب) $E' = \frac{hc}{\lambda'} = \frac{1240}{0/2412} = 514\ ev$

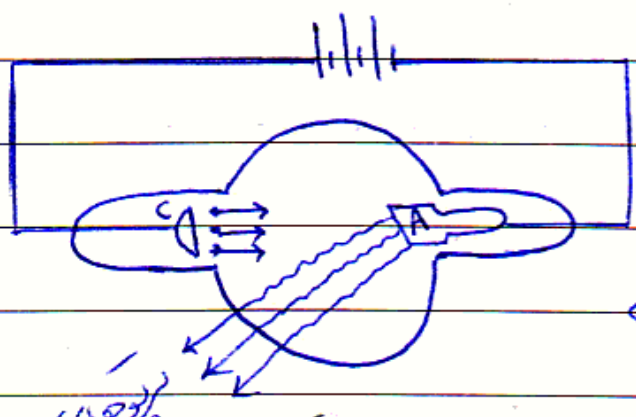
ج) $K_e = E - E' = 517 - 514 = 3\ ev$ $\quad E = \frac{hc}{\lambda} = 517\ ev$

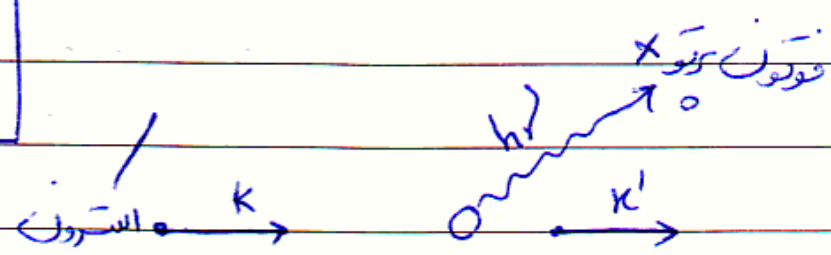
د) $tg\varphi = \frac{P'\sin\theta \times c}{P - P'\cos\theta \times c} = \frac{E'\sin\theta}{E - E'\cos\theta} = \frac{514 \times \sin 60}{517 - 514\cos 60}$ $\quad tg\phi = 1/715$

$\phi = 59/7^\circ$

فرآیند تابش ترمزی و تولید اشعه‌ی X:

الکترون $\rightarrow$ فوتون + الکترون





انرژی فوتون $= h\nu = K - K'$

بیشترین انرژی فوتون $h\nu_{max} = K \Rightarrow \frac{hc}{\lambda_{min}} = K$ $\quad K' = 0$

$$\lambda_{min} = \frac{hc}{K} = \frac{hc}{eV} \qquad K = eV$$

هرگاه فوتون دو برابر شود، زوج الکترون و پوزیترون ایجاد می‌شود.

$$h\nu = E_+ + E_-$$

(انرژی پوزیترون) (انرژی الکترون)

فوتون دارای جرم خود، زوج الکترون و پوزیترون ایجاد می‌کند.

$$h\nu = (m_e c^2 + K_+) + (m_e c^2 + K_-)$$

فوتون جسم ۵ درجه‌ای آن را ذوب کند ۵

عربان رو برد ۱۶ - ۱۷ - ۱۸ - ۲۲ - ۲۴ - ۱۴ - ۸ -

را نمی‌خواهد ۱۴ - ۲ -

- فوتون‌ها مانند موج الکترومغناطیسی، با سرعت نور حرکت می‌کنند.

- جرم و انرژی سکون آن‌ها صفر است.

- حامل انرژی و تکانه‌اند. تکانه آن‌ها را می‌توان مستقیماً وارد موج الکترومغناطیسی کرد. $E = h\nu$ و $P = \frac{h}{\lambda}$ رابطه‌ها برقرار است.

- در گسیل و جذب تابش، فوتون‌ها می‌توانند تولید یا نابود شوند.

- فوتون‌ها مانند الکترون‌ها می‌توانند با سایر ذرات برخوردهای ذره‌گونه انجام دهند.

سایر خواص فوتون‌ها از همان ابتدا مورد بحث قرار گرفته است. از جمله آن‌ها می‌توان به تکانه فوتون، تعامل فوتون با الکترون و مغناطیسی و انرژی آن‌ها اشاره کرد.