فیزیک مدرن

(بخش اول)

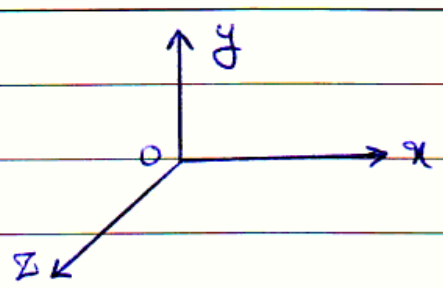
استاد لاله موسوی

تهیه و تنظیم :

WWW.DEZ-BARGH-88.BLOGFA.COM

Subject:
Year. Month. Date.

مکانیک نیوتنی (کلاسیک)



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 60 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)

$v_A = 60$ $\quad v_{Ax} = 60$

$v_B = 40$ $\quad \xrightarrow[B]{A}$ $\quad u = 40$ $\quad v'_x = 60 - 40 = 20$

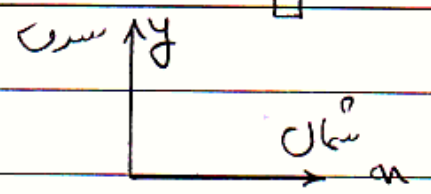
مثال) یک هواپیما نسبت به هوای ساکن با سرعت 220 km/h رو به شرق حرکت می‌کند. سرعت هواپیما نسبت به ناظری که روی زمین است، بادی با سرعت 75 km/h به سمت شمال می‌وزد. ناظر روی زمین، سرعت هواپیما را چقدر اندازه می‌گیرد؟

راستای شمال یکی، سرعت یکی؟

سرعت نسبت به ناظر ساکن در دره نسبت به ساکن؟

www.dez-bargh-88.blogfa.com

دستگاه متحرک، بادامست.



$u = 65\ km/h$

$v'_y = 320\ km/h$

$v'_x = 0$

O' را همشهری انتخاب کنید در راستای x قرار گیرد.

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

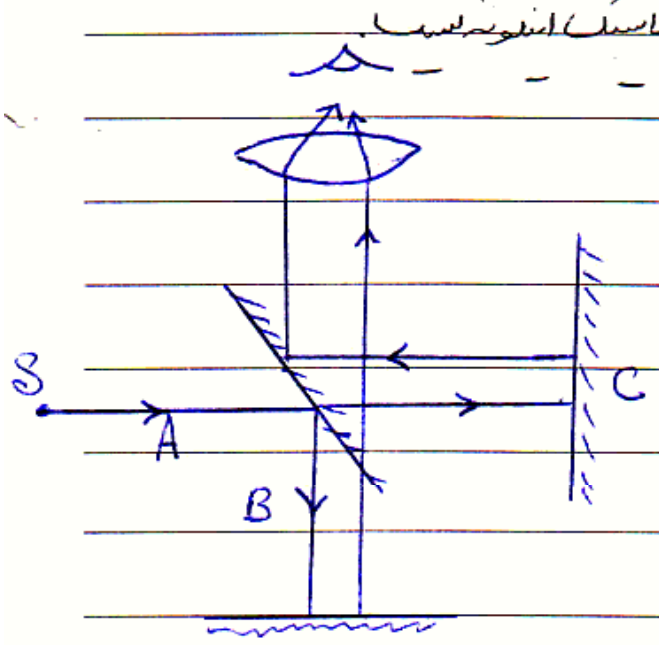
$v_y = v'_y = 320\ km/h$

اگر جهت حرکت هواپیما را مشخص کنیم $\rightarrow \tan\theta = \frac{v_y}{v_x}$

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

اندازه‌ی سرعت نور در هر راستای یکسان است. (در خلاء مقدار) اما در ماده یکسان 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 $l = l_0\sqrt{1 - u^2/c^2}$

www.dez-bargh-88.blogfa.com

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

l_0 طولی می باشد که هواپیما و ناظر زمینی نسبت به آن حرکت می کنند.

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 قسمت بالای جو تولید می شوند. ارتفاع جو را در حدود ۱۰۰ کیلومتر در نظر بگیرید و کمینه ی سرعتی را بیابید که میون ها از آن سرعت بیشتر باشند.

سطح زمین را ساکن می گیریم

$l_0 = 100\,km$

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

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

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

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

مثال) ناظر O روی سکویی به طول 60m در یک ایستگاه فضایی ایستاده است. یک موشک با سرعت $0/8c$ موازی سکو از برابر ناظر O می گذرد. ناظر O توجه می کند که در یک لحظه ی خاص جلوی موشک با انتهای سکو هم راستا می شود.

الف) از نظر ناظر O زمان لازم برای اینکه موشک از یک نقطه ی خاص سکو بگذرد چقدر است؟

ب) طول موشک چقدر است؟ ج) از نظر ناظر O در موشک طول سکو چقدر است؟

د) از نظر ناظر O چقدر طول می کشد تا ناظر O طول کامل موشک را اندازه گیرد؟

ه) از نظر ناظر O، دو سر موشک هر زمان در دو سر سکو منطبق می شوند. این رویداد را برای ناظر O هر یابید.

www.dez-bargh-88.blogfa.com

Subject:
Year. Month. Date.

l_0 = طول واقعی میله $\left.\begin{matrix} l_0 \\ \Delta t \\ 0 \end{matrix}\right\}$ از دید ناظر O'

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

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

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

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

$l_0 = \frac{45}{\sqrt{1 - 0.64}} = 108\ m$

ج) $D = D_0 \sqrt{1 - u^2/c^2} = 45 \sqrt{1 - 0.64} = 29m$

طول واقعی موشک

د) $\Delta t = \frac{l_0}{u} = \frac{108}{0.8c} = 0.45\ \mu s$

ه)

اثر دوپلر برای نور:

ν' : بسامدی که ناظر O می‌شنود. ν بسامد چشمه

$c = \nu \lambda$

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

v : سرعت امواج در محیط v_0 : سرعت ناظر نسبت به محیط

v_s : سرعت چشمه نسبت به محیط

ν : بسامد λ : 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؟

www.dez-bargh-88.blogfa.com

$$\frac{c}{700} = \frac{c}{444}\sqrt{\frac{1-u/c}{1+u/c}} \qquad \frac{444}{700} = \sqrt{\frac{1-u/c}{1+u/c}} \rightarrow \left(\frac{444}{700}\right)^2 = \frac{1-u/c}{1+u/c}$$

$$\rightarrow \frac{u}{c} = 0/31$$

معادلات تبدیلات مکانی و زمانی لورنتس :

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

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

u ← سرعت O' نسبت به O

$$\begin{cases} x' = \dfrac{x - ut}{\sqrt{1-(u/c)^2}} \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = \dfrac{t - \frac{u}{c^2}x}{\sqrt{1-u^2/c^2}} \end{cases}$$

$O' \xrightarrow[L_0 \text{ طول}]{\text{میله متالی}} L_0 = x'_2 - x'_1$

$O \longrightarrow L = x_2 - x_1$

$$x'_1 = \frac{x_1 - ut_1}{\sqrt{1-(u/c)^2}} \rightarrow x'_2 = \frac{x_2 - ut_2}{\sqrt{1-(u/c)^2}}$$

$$x'_2 - x'_1 = \frac{x_2 - ut_2}{\sqrt{1-(u/c)^2}} - \frac{x_1 - ut_1}{\sqrt{1-(u/c)^2}} \Rightarrow x'_2 - x'_1 = \frac{x_2 - x_1}{\sqrt{1-(u/c)^2}} - \frac{u(t_2 - t_1)}{\sqrt{1-(u/c)^2}}$$

$t_1 = t_2$

$$x'_2 - x'_1 = \frac{x_2 - x_1}{\sqrt{1-(u/c)^2}} \Rightarrow L_0 = \frac{L}{\sqrt{1-(u/c)^2}} \Rightarrow L = L_0\sqrt{1-(u/c)^2}$$

www.dez-bargh-88.blogfa.com

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

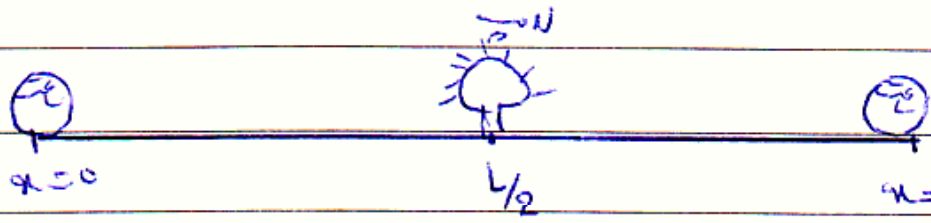
تبدلات زمانی لورنتس :

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

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

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

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 می شود دارای اختلاف زمانی است

به ناظری که دو دستگاه متحرک است می بینند

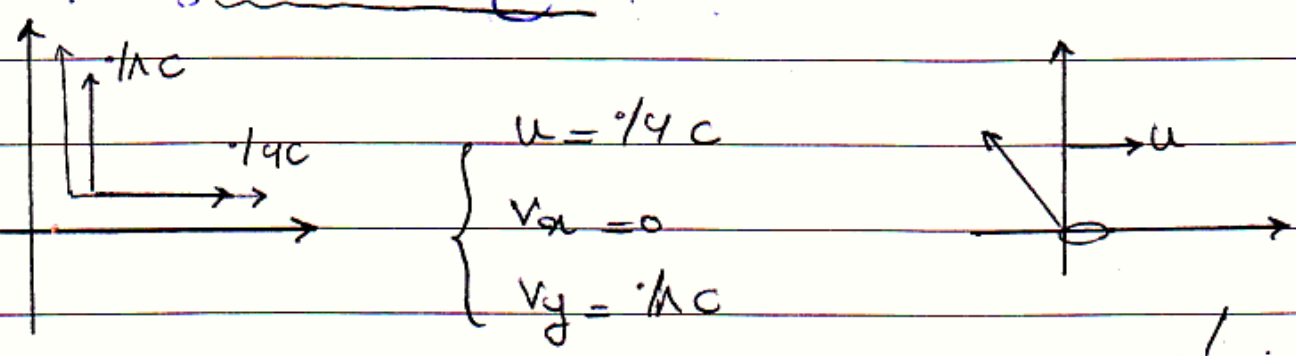
مثال) دو موشک از سیاره ی ضد زمین با تندی نسبی $\frac{1}{2}c$ و $\frac{1}{2}c$ در حرکتند

www.dez-bargh-88.blogfa.com

عودی هم حرکت می‌کند. قطار (۱) با سرعت ۰/۶c و قطار (۲) با سرعت ۰/۸c نسبت به ایستگاه

$u = 0/4c$

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



سرعت قطار (۱) نسبت به ناظر ایستاده (0/6c) است.

$$v'_x = \frac{v_x - u}{1 - \frac{u v_x}{c^2}} = \frac{-0/9c}{1} = -0/4c$$

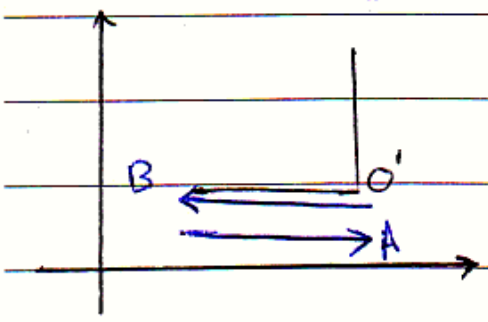
$$v'_y = \frac{v_y \sqrt{1 - u^2/c^2}}{1 - u v_x/c^2} = \frac{0/8c \sqrt{1 - 0/36}}{1} = 0/48\,c$$

$$v' = \sqrt{v'^2_x + v'^2_y} = \sqrt{(-0/4c)^2 + (0/48c)^2} = ?$$

$$tg\theta = \frac{v'_y}{v'_x} = \frac{0/48c}{-0/4c}$$

مثال) دو سفینه‌ی فضایی از جهت‌های مخالف به زمین نزدیک می‌شوند. به ناظر روی زمین، سفینه‌ی A با سرعت 0/7c و سفینه‌ی B با سرعت 0/8c دور می‌شود. سرعت سفینه‌ی A به ناظر در سفینه‌ی B (که 1/10 برابر سفینه‌ی B از زمین دور شده) چقدر است؟ سرعت سفینه‌ی B به ناظر واقع در سفینه‌ی A چقدر است؟

(الف)

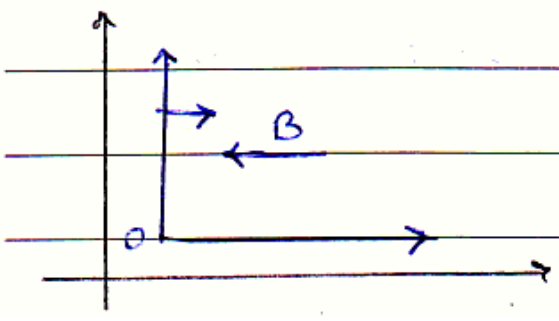


$$v_A = 0/7c$$

$$v_B = 0/8c \qquad u = -0/8c$$

$$v_{xA} = 0/7c$$

$$v'_{xA} = \frac{v_x - u}{1 - u v_x/c^2} = \frac{-0/7c + 0/8c}{1 + 0/8 \times 0/7} = \frac{1/5c}{1/56}$$



www.dez-bargh-88.blogfa.com

$u = 0.7c \quad v_{x_B} = -0.8c \quad v'_{x_B} = \frac{v_{x_B} - u}{1 - u v_{x_B}/c^2} = \frac{-0.8c - 0.7c}{1.56}$

$v'_{x_B} = \frac{-1.5c}{1.56}$

مثال) سفینه A با سرعت $0.8c$ نسبت به ایستگاه فضایی راکت می‌کند. ابتدا سفینه B در همان جهت حرکت A با سرعت $0.6c$ حرکت می‌کند. سرعت سفینه A نسبت به سفینه B چقدر است؟

A ↑

سفینه مبدأ را روی B انتخاب می‌کنیم و سرعت آن هم 0 می‌شود.

$u = 0.6c$

$v_{x_A} = 0.8c$

↑ B $\quad v'_x = \frac{v_x - u}{1 - u v_x/c^2} = \frac{0.8c - 0.6c}{1 - 0.48} = \frac{0.2c}{0.52}$

مثال) طیف خطی گسیل شده از یک کهکشان دور، شامل خطی با طول موج $122nm$ است.

الف) یک ناظر ساکن روی کهکشان این خط را در چه طول موجی مشاهده می‌کند؟

ب) اگر کهکشان با همان سرعت به سوی ما حرکت می‌کرد، طول موج خط چقدر می‌شد؟

الف) $\frac{c}{444} = \frac{c}{122}\sqrt{\frac{1-u/c}{1+u/c}} \rightarrow \left(\frac{122}{444}\right)^2 = \frac{1-u/c}{1+u/c} \Rightarrow u = k$

ب) $\frac{c}{\lambda'} = \frac{c}{122}\sqrt{\frac{1+k/c}{1-k/c}} \rightarrow \lambda' = \dots$

علامت مطلوب می‌شود و طول از ما دور می‌شود.

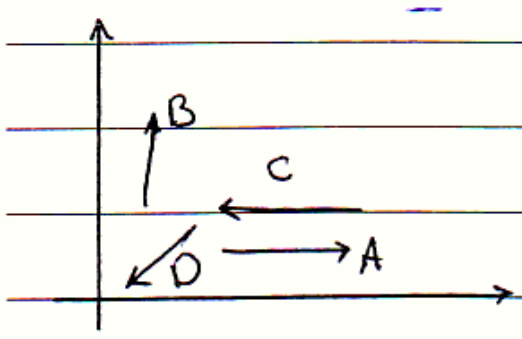
مثال) چند نمونه‌ی فضایی یک ایستگاه فضایی را اندازه می‌گیرد. نسبت به ناظر در ایستگاه A،

سرعت $0.6c$ در جهت $+x$ سرعت B $0.8c$ در جهت $-x$ و سرعت C $0.8c$

www.dez-bargh-88.blogfa.com

درجهت $x-$ و D با سرعت $0/8c$ بازاوی 45 نسبت جهت‌های مثبت y و x حرکت می‌کند.

مولفه‌های سرعت، جهت‌ها و 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

$$\begin{cases} v'_x = \dfrac{v_x - u}{1 - v_x u/c^2} = \dfrac{0 - 0/4c}{1} = -0/4c \\ v'_y = \dfrac{v_y\sqrt{1-u^2/c^2}}{1 - v_x u/c^2} = \dfrac{0/8c\sqrt{1-0/16}}{1} = 0/6c \end{cases}$$

C

$$\begin{cases} v'_x = \dfrac{-0/8c - 0/4c}{1 + 0/32} \\ v'_y = 0 \end{cases} \qquad v'_C = v'_{xC}$$

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

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

D

$$\begin{cases} v'_x = \dfrac{-0/96c - 0/4c}{1 + 0/48} = \dfrac{0/96c}{1/48} \\ v'_y = \dfrac{-0/48c \times 0/8}{1/48} = ? \end{cases}$$

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

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

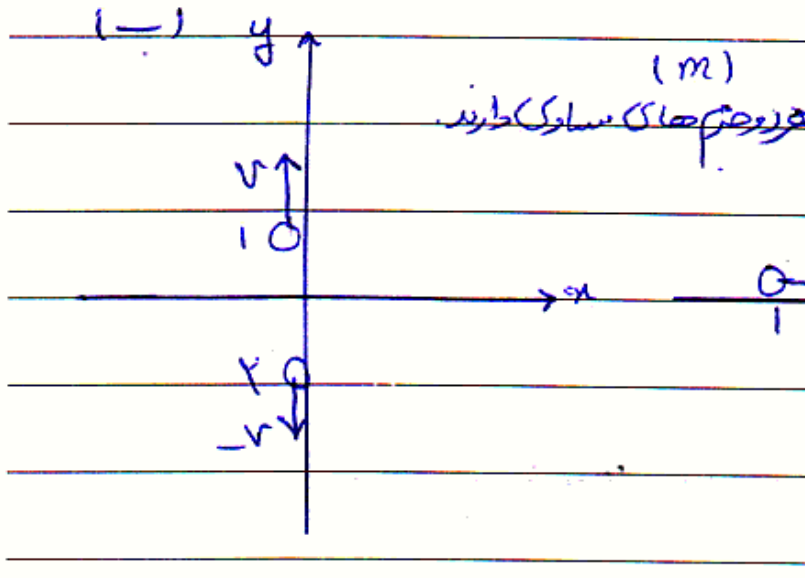
فصل ۲ مسائل ۵، ۷، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۵، ۱۶،

www.dez-bargh-88.blogfa.com

دینامیک نسبیتی :

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

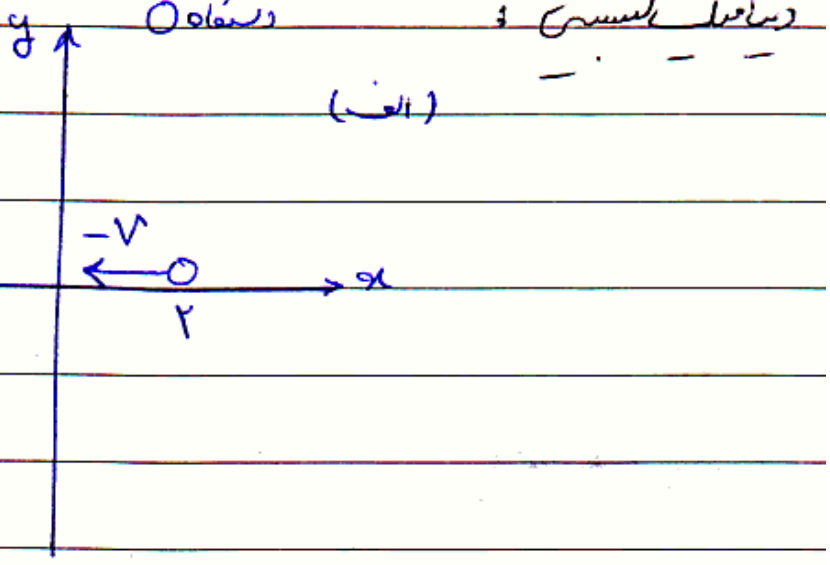
(الف)



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

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

(ب)



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

$v'_{2x} = 0$

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

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

$P'_{iy} = 0$ سرعت ذره در دستگاه O'

$v_{x2} = 0 \qquad v'_{x_1} = \dfrac{0-(-v)}{1-0} = v$

$v_{x1} = 0$

$v_{y_1} = v \qquad v'_{x2} = \dfrac{0-(-v)}{1} = v$

$v_{y_2} = -v$

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

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

$v'_{2x} = 0$

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

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

$P'_{iy} = 0$ سرعت ذره در دستگاه O'

$v_{x2} = 0 \qquad v'_{x_1} = \dfrac{0-(-v)}{1-0} = v$

$v_{x1} = 0$

$v_{y_1} = v \qquad v'_{x2} = \dfrac{0-(-v)}{1} = v$

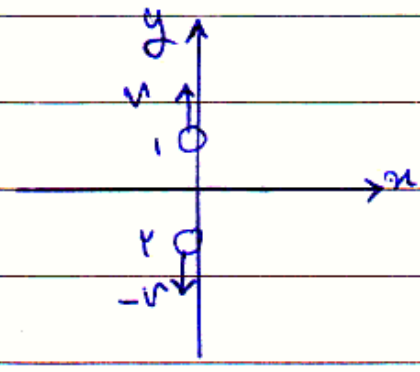
$v_{y_2} = -v$

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

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

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

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



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

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

www.dez-bargh-88.blogfa.com

مثال) انرژی یک پروتون که با سرعت $0.86c$ در حرکت است چقدر 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 اضافی که ذره در اثر حرکت دارد نسبت به انرژی سکون (انرژی سکون ابواج (نوترون))

$K = E - E_0$ E: انرژی جنبشی E_0: انرژی سکون

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

الکترون $E_0 = 0.511\ MeV$

پروتون $E_0 = 938\ MeV$

$E = \sqrt{(pc)^2 + (mc^2)^2}$ انرژی جنبشی — انرژی سکون E_0 — اندازه تکانه خطی

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

$\Rightarrow E = pc$

مثال) انرژی جنبشی و انرژی کل پروتونی با انرژی سکون $938\ MeV$ که با سرعت $0.86c$ حرکت می‌کند

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

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

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

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

www.dez-bargh-88.blogfa.com

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. طول موج فوتون‌های گاما چند پیکومتر است؟ انرژی سکون هر یک از پروتون‌ها را در حالت خاصی‌سه برابر انرژی سکون الکترون‌ها در نظر بگیرید.

$E_{0K} = 498\ MeV \quad K_K = E_K - E_{0K}$

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

$E_K = \sqrt{(pc)^2 + E_{0K}^2} \Rightarrow pc = \sqrt{E_K^2 - E_{0K}^2} = \sqrt{(923)^2 - (498)^2} \quad p_K c = 775\ MeV$

$E_{0\pi} = 135\ MeV \quad p_K = p_{1\pi} + p_{2\pi} \xrightarrow{\times c} p_K c = p_{1\pi} c + p_{2\pi} c$

$775 = p_{1\pi} c + p_{2\pi} c \quad (1)$

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

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

$p_{1\pi} = 644\ MeV \quad p_{2\pi} = 131\ MeV \leftarrow$ حل دستگاه معادلات (۲) و (۱)

www.dez-bargh-88.blogfa.com

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 تابش الکترومغناطیسی تبدیل می‌شود (تابش الکترومغناطیسی به سرعت نور حرکت می‌کند) و تابیده می‌شود. یک فوتون با سرعت ۰/۹۸c در راستای حرکت اولیه سوژه و فوتون دیگر در راستای عمود بر آن تابیده می‌شود. انرژی فوتون‌ها را بیابید.

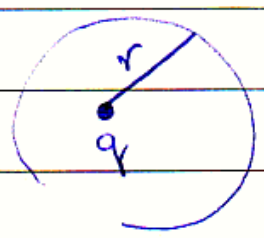
انرژی فوتون‌ها تابیده می‌شود. این دو فوتون باید در جهت حرکت اولیه سوژه با زاویه‌های مساوی θ می‌سازند. زاویه θ و انرژی‌های دو فوتون تابیده را بیابید. (فوتون‌ها انرژی سکون ندارند.)

www.dez-bargh-88.blogfa.com

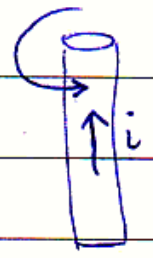
* صفحه ۱۰۰

"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 از نقطه‌ای به نقطه‌ی دیگر را $\vec{S}$ نشان می‌دهد.

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

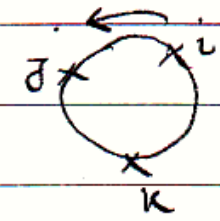
شار انرژی بردار پوئینتینگ

زمانیکه E و B هم‌فاز باشند max مقدار دارد.

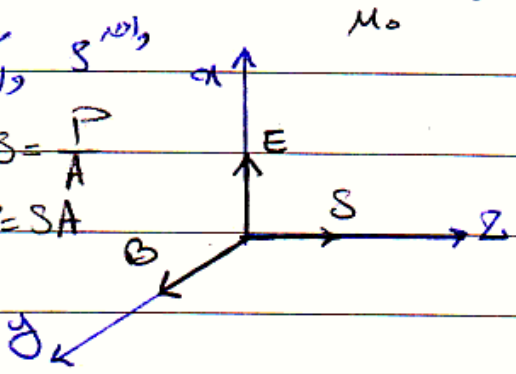
(x در راستای E)

(y در راستای B)

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



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



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

* در مباحث زیر از رابطه‌ی تقریبی زیر استفاده می‌کنیم:

نیمی از شار بردار پوئینتینگ میدان الکترومغناطیسی را در نقطه‌ای روی محور z در جهت مثبت و نیمی از آن را در جهت منفی محور z در نظر می‌گیریم.

www.dez-bargh-88.blogfa.com

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 صوتی است که بر واحد سطح عمود است. صوت به صورت حداکثر سیگنال دریافت می‌شود، و این صورت توان صوتی است که بر واحد سطح عمود است.

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

محاسبه‌ی شدت:

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

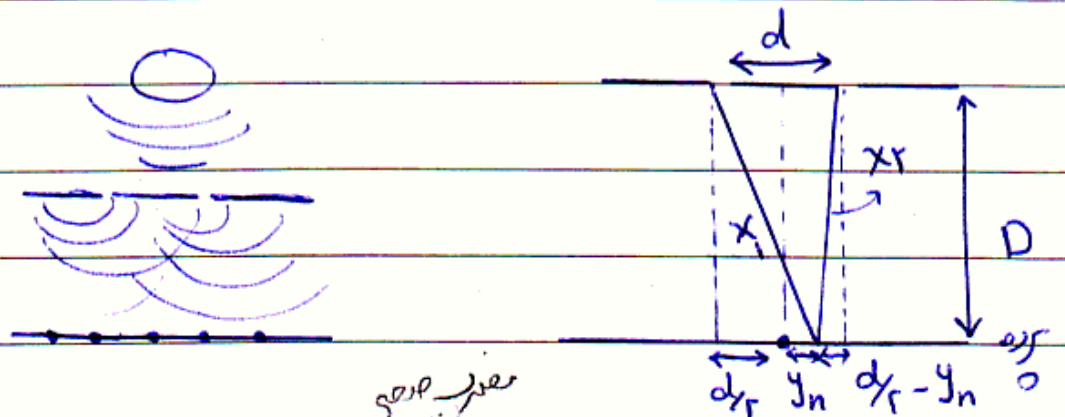
شدت $I = \frac{P}{A}$ توان لحظه‌ای

توان میانگین زمانی $P = \frac{1}{T}\int_0^T P\,dt$

* از این آزمایش دو نتیجه حاصل می‌شود: ۱- شدت (میانگین 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 (۲۰ تا ۲۰۰۰ هرتز) حساس است، یعنی شدت با توجه به فاصله متناسب است. ۲- شدت چشم به زمان بسامد (۲۰ تا ۲۰۰۰ هرتز) حساس است، یعنی شدت با توجه به فاصله متناسب است.

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

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

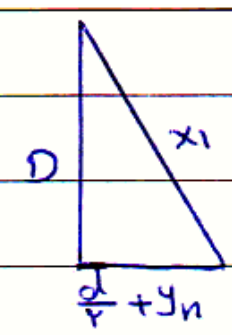


تداخل سازنده $|x_1 - x_2| = n\lambda$ $(n = 0, 1, 2, 3, \ldots)$ — مضرب صحیح

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

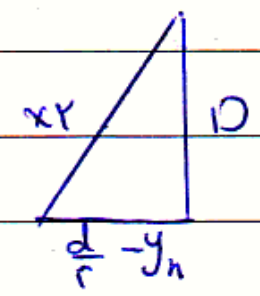
www.dez-bargh-88.blogfa.com

$y_n = ?$



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

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

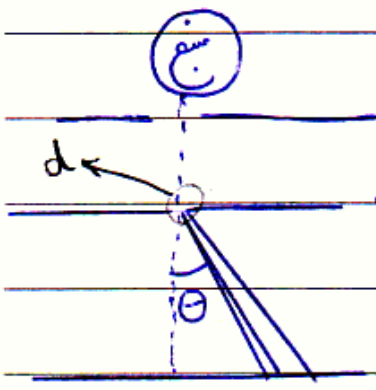


$$x_1^2 - x_2^2 = \left(\frac{d}{2}+y_n\right)^2 - \left(\frac{d}{2}-y_n\right)^2$$

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

$$(x_1-x_2)(x_1+x_2) = 2dy_n \qquad x_2 \simeq D \;,\; x_1 \simeq D \text{ تقریبا}$$

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



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

d فاصله شکاف‌ها

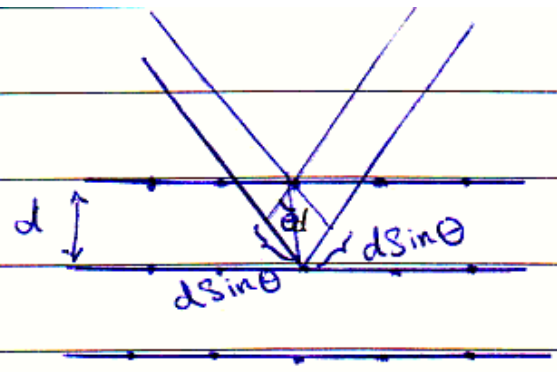
* دستگاهی برای مشاهده‌ی تداخل امواج نور، توری پراش است. جزء توری پراش، توان تفکیک بالای آن است. با این وسیله می‌توانیم طول موج‌هایی را که بسیار نزدیک‌اند تا حد بسیار خوبی از هم جدا کنیم.

اما توصیه نشده برای دستگاه‌هایی که در آن‌ها θ زاویه‌ی خیلی بزرگی است، مثلاً مقادیری که در آن‌ها $\sin\theta$ در نزدیکی ۱ است.

d را در حدود $0/3$ تا $0/5$ میلی‌متر برای طول موج‌های نور مرئی انتخاب می‌کنند.

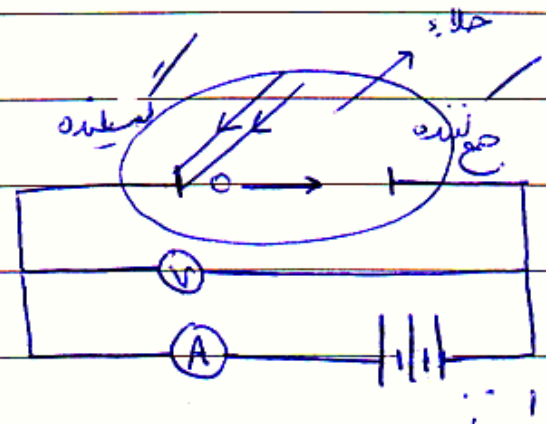
www.dez-bargh-88.blogfa.com

(پرتو ایکس x وکاما) ساخت دستگاه تولید پرتو ایکس.



$2dSin\theta = n\lambda$ براگ

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- بیشینه ی انرژی جنبش با شدت تابش متناسب باشد. هیچ زمانی گسیل الکترون ها نباید

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- بخشی الکترون ها باید پس از برخورد با سطح، مدت زمانی طول بکشد تا گسیل شوند. (همان زمان)

در کلاسیک h وجود دارد.

ثابت پلانک $p = \frac{h}{\lambda}$ $E = h\nu = h\frac{c}{\lambda}$ برای ذرات نوترون

کمترین انرژی، تا الکترون را جدا می کند

$K = h\nu - \phi$ $K = 0$ انرژی برای حرکت ندارد. $h\nu_s = \phi$ $\nu_s = \frac{\phi}{h}$

بسامد آستانه

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

www.dez-bargh-88.blogfa.com

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)

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

$\boxed{hc = 1240\ ev.nm}$

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

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

ب)

$E = 2,4\ ev \qquad \lambda = ?$

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

$\lambda = 517\ nm$

مثال ۷) تابع کار پلاتین، 5,32 ev است.

الف) طول موج حد فوتوالکتریک پلاتین چقدر است؟

ب) بیشینه انرژی جنبشی الکترون‌هایی که در هنگام تابش طول موج 198nm بیرون می‌روند چقدر است؟ پتانسیل ایستادن این حالت چقدر است؟

$\phi = 5,32\ ev$

الف) $\lambda_c = \frac{hc}{\phi} = \frac{1240\ ev.nm}{5,32} = 233\ nm$

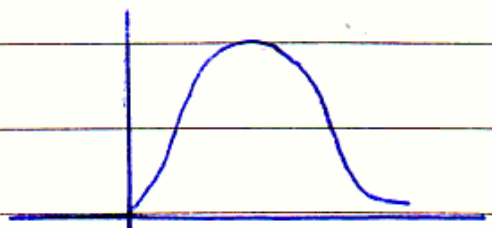
ب) $K_{max} = h\nu - \phi = \frac{hc}{\lambda} - \phi = \frac{1240}{198} - 5,32 = 1,94\ ev$

$\lambda = 198\ nm$

ج) $V_s = \frac{K_{max}}{e} = \frac{1,94\ ev}{1e} = 1,94\ V$

تابش جسم سیاه:

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



ثابت بولتزمن $\sigma = 5,67049 \times 10^{-8}\ \frac{w}{m^2.k^4}$

www.dez-bargh-88.blogfa.com

* 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 را قانون استفن تولتزمن می گویند.

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

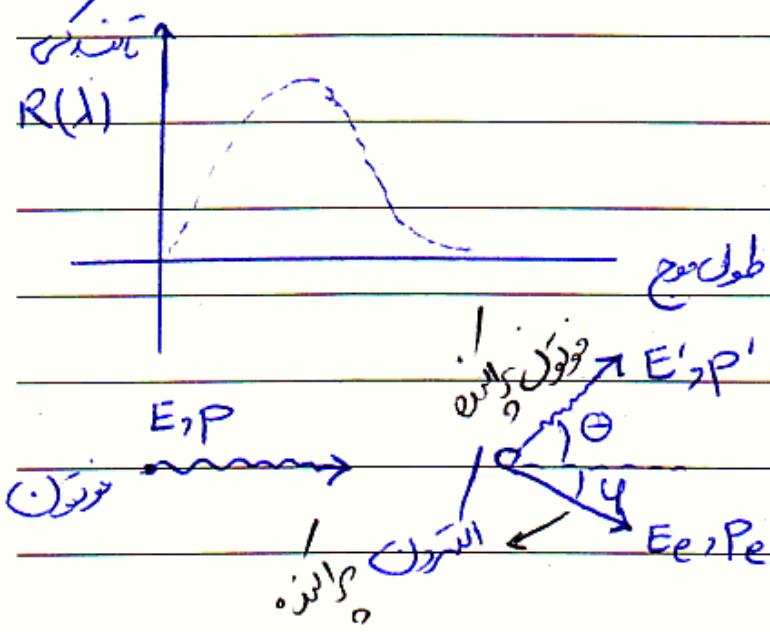
کاهش می یابد یعنی با دما رابطه عکس دارد. $\lambda_{max} \propto \frac{1}{T} \Rightarrow \lambda_{max} \cdot T = 2,898 \times 10^{-3}\ m.K$

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

(بسته های انرژی) جذب و یا گسیل کنند. انرژی این کوانتوم ها با بسامد تابش متناسب می شود. با زیاد شدن بسامد،

انرژی نیز زیاد می شود. طول موج متوسطی می تواند شامل فوتون هایی با انرژی بیش از KT باشد، طول موج استانه ای

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



می برد.

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

اثر کامپتون:

قانون پایستگی انرژی

$E + m_e c^2 = E_e + E'$

قانون پایستگی تکانه

$(P_{ni}) = (P_{xf})$

www.dez-bargh-88.blogfa.com

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

Subject:

Year. Month. Date.

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

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

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

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

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

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

$$E_e = E + m_e c^2 - E'$$

$$E_e^2 = (P_e c)^2 + (m_e c^2)^2 \longrightarrow (P_e c)^2 + (m_e c^2)^2$$

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

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

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

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

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

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

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

مثال) برای پرتوهای X به طول موج ۰/۲۴ Å، مولفه‌ی کمپتون طول موج را پیدا کرده

nm

www.dez-bargh-88.blogfa.com

در پدیده‌ی کامپتون پارامترهای ورودی مشاهده می‌شود پیدا کنید:

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

$\lambda' = 0.24 + \frac{1240\ eV.nm}{511 \times 10^6\ eV}(1 - \cos 60^\circ) \Rightarrow \lambda' = 0.2412\ nm$

ب) $E' = \frac{hc}{\lambda'} = \frac{1240}{0.2412} = 5141\ eV$

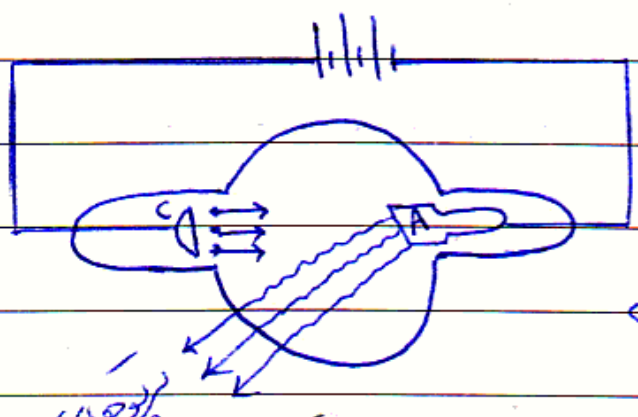
ج) $K_e = E - E' = 5187 - 5141 = 46\ eV$ $\qquad E = \frac{hc}{\lambda} = 5187\ eV$

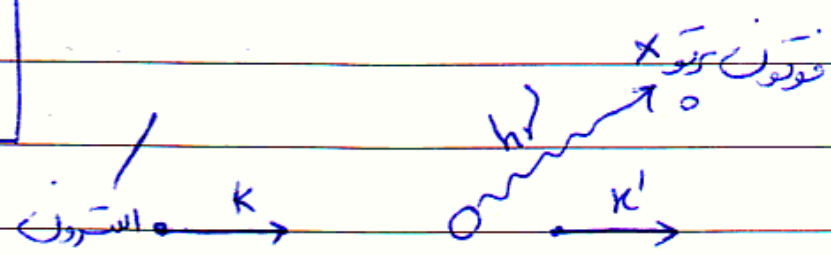
د) $tg\varphi = \frac{P'\sin\theta \times c}{P - P'\cos\theta \times c} = \frac{E'\sin\theta}{E - E'\cos\theta} = \frac{5141 \times \sin 60}{5187 - 5141\cos 60}$ $\qquad tg\phi = 1.715$

$\phi = 59.7^\circ$

فرآیند عکس عمومی وقوع پدیده‌ی کامپتون X:

فوتون + الکترون ← الکترون





انرژی فوتون $= h\nu = K - K'$

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

$K' = 0$

www.dez-bargh-88.blogfa.com

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

فرآیند تولید زوج :

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

(انرژی پوزیترون) / (انرژی الکترون)

فوتون کنار هسته خود ، زوج الکترون و پوزیترون ایجاد می‌کند.

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

فوتون صبت ۵ درگیری های آن را بنویسید ۵

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

را نمی خواهد ۱۴ - ۲ -

- فوتون ها مانند موج الکترومغناطیسی ، با سرعت نور حرکت می‌کنند.

- جرم و بار ذرات سکون آن ها صفر است.

- حامل انرژی و تکانه اند پس آن ها می‌توانند موج الکترومغناطیسی را منتشر کنند. $E = h\nu$ و $P = \frac{h}{\lambda}$

- پدیده تداخل و جذب نشان فوتون ها می‌تواند تولید یا نابود شوند.

- فوتون ها مانند الکترون ها می‌توانند با سایر ذرات برخورد های ذره گونه انجام دهند.

سایر خواص فوتون ها از قبیل شرح آنها بدست می‌آید از جمله آن ها می‌توان به فشار فوتون اشاره کرد

نیروی الکترومغناطیسی وارد آن ها را می‌توان محاسبه کرد.

www.dez-bargh-88.blogfa.com

در سایه سار اندیشه ، بی هیچ چشم داشت زمینی

عهد بسته ایم آسمانی باشیم.

در این محفل با ما همراه باشید

زمان :

همین حالا تا همیشه

مکان :

بچه های مهندسی برق الکترونیک و قدرت 88

www.dez-bargh-88.blogfa.com