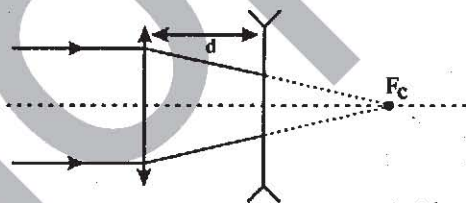


حل سؤال های مرحله اول

بخش اول - سؤال های چندگزینه ای

۱- با دقت در مدارهای شکل (۱۳-۱) ملاحظه می شود که در هر چهار مدار دو باتری به کار رفته است که بایکدیگر به طور سری بسته شده اند، زیرا هر دو باتری، در یک جهت، جریان در مدار ایجاد می کنند. علاوه بر آن در هر مدار، دو مقاومت و یک لامپ به کار رفته است که آنها نیز در هر چهار مدار، به طور سری به هم متصل شده اند، زیرا جریانی که از آنها می گذرد، یکسان است. بنابراین جای قرار گرفتن لامپ، مقاومت ها و باتری ها تأثیری در توان مدار ندارد. در نتیجه توان در هر چهار مدار یکسان است. پس گزینه (د) درست است.

۲- در شکل (۱۳-۲۷)، دو عدسی همگرا و واگرا که هم محور هستند، نشان داده شده است. یک دسته پرتو موازی از چپ به عدسی همگرا تابیده است. این پرتوها در کانون عدسی همگرا، F_c جمع می شوند. چون عدسی واگرا قبل از کانون عدسی همگرا قرار



شکل (۱۳-۲۷)

گرفته است، محل همگرا شدن پرتوها دیگر F_c نیست. برای آن که پرتوهای خروجی از

عدسی واگرا، موازی محور عدسی باشند، باید امتداد پرتوهای تابیده به آن از کانون عدسی واگرا بگذرد. بنابراین باید کانون عدسی واگرا نیز در نقطه F_c باشد. اگر چنین نباشد، باید عدسی واگرا را آن قدر جا به جا کرد تا کانون دو عدسی بر هم منطبق باشد. اگر فاصله کانونی عدسی همگرا را f_c و عدسی واگرا را f_d بگیریم، از روی شکل پیداست که:

$$f_c - f_d = d$$

بنابراین برای آن که با دو عدسی معین بتوان یک دوربین گالیله داشت، باید $f_d < f_c$ باشد. اگر در عمل $f_c < f_d$ باشد، نمی توان با جا به جایی عدسی ها نسبت به یکدیگر دوربین گالیله ساخت. پس ممکن است یک جا به جایی d' برای ایجاد دوربین گالیله وجود نداشته باشد. در نتیجه گزینه (د) درست است.

۳- روشنی یک لامپ بستگی به توانی دارد که در لامپ مصرف می شود. یعنی هر چه توان مصرفی لامپ بیشتر باشد، روشنایی لامپ بیشتر است. توان یک لامپ از رابطه زیر به دست می آید.

$$P = RI^2 = VI = \frac{V^2}{R}$$

پس وقتی اختلاف پتانسیل معین به لامپ وصل می شود، لامپی که توان بیشتری دارد، دارای مقاومت کمتری است. در نتیجه اگر مقاومت دو لامپ A و B را به ترتیب R_A و R_B بگیریم، داریم:

$$R_A < R_B$$

هنگامی که دو لامپ را به طور متوالی به هم می بندیم و اختلاف پتانسیل V به دو سر آن ها وصل می کنیم، جریانی که از دو لامپ می گذرد یکسان است. اکنون با توجه به این که توان لامپ ها، با فرض جریان یکسان از آنها، با مقاومت آن ها متناسب است، نتیجه

می‌گیریم که در حالت دوم، توان لامپ A و در نتیجه روشنایی آن از لامپ B کمتر است. پس گزینه (الف) درست است.

۴- جرم کربنی که در هر سال سوزانده می‌شود، از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$۳۶۵ \times ۱۰۰ \times ۱۰^۶ \times ۱۵۰ \times ۰/۸ = ۴/۳۸ \times ۱۰^{۱۲} \text{ kg}$$

در دی اکسید کربن، CO_2 ، همراه با هر ۱۲ kg کربن، ۳۲ kg اکسیژن وجود دارد. پس به ازای سوزاندن هر مقداری کربن، مطابق با نسبت مزبور اکسیژن مصرف می‌شود. مقدار اکسیژنی که برای $۴/۳۸ \times ۱۰^{۱۲} \text{ kg}$ کربن مصرف می‌شود، چنین است.

$$\frac{۴/۳۸ \times ۱۰^{۱۲}}{۱۲} \times ۳۲ = ۱۱/۶۸ \times ۱۰^{۱۲} \text{ kg}$$

جرم دی اکسید کربنی که در یکسان به وجود می‌آید، از جمع کربن و اکسیژن مصرف شده به دست می‌آید. داریم:

$$۴/۳۸ \times ۱۰^{۱۲} + ۱۱/۶۸ \times ۱۰^{۱۲} = ۱۶/۰۸ \times ۱۰^{۱۲} \text{ kg}$$

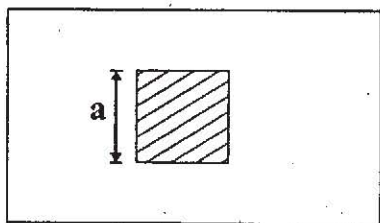
جرم دی اکسید کربن موجود در جو چنین است.

$$۵ \times ۱۰^{۱۸} \times ۵ \times ۱۰^{-۴} = ۲۵ \times ۱۰^{۱۴} \text{ kg}$$

برای آن که معادل همین مقدار دی اکسید کربن به وجود آید، داریم:

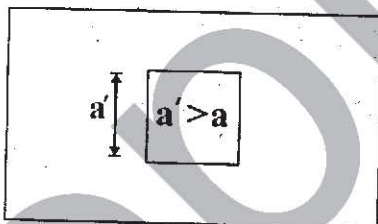
$$t = \frac{۲۵ \times ۱۰^{۱۴}}{۱۶/۰۸ \times ۱۰^{۱۲}} = ۱۵۵/۴ \text{ سال}$$

از میان گزینه‌ها، گزینه (ب)، یعنی 10^2 سال به پاسخ نزدیک‌تر است. پس گزینه (ب) درست است.



شکل (۱۳-۲۸)

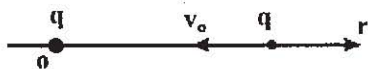
یک پارچه است، گرم کنیم، در هر دمایی می‌توان مربع را از جای خود خارج کرد. پس با گرم کردن صفحه دارای حفره، ابعاد حفره طوری بزرگ می‌شود که مربع گرم شده بتواند، درست در آن قرار گیرد و صفحه را پرکننده پس اولاً شکل حفره



شکل (۱۳-۲۹)

با گرم کردن صفحه به صورت مربع می‌ماند و در نانی چون حفره باید مربع بزرگتر را (به علت گرم کردن مربع) در خود جای دهد، هر ضلع حفره، a' ، از ضلع اولیه آن، a ، بزرگتر خواهد بود. پس شکل صفحه گرم شده مانند شکل (۱۳-۲۹) می‌شود که مشابه گزینه (الف) خواهد بود. پس گزینه (الف) درست است.

۶- در شکل (۱۳-۳۰) ذره‌ای با بار q را در مبدأ مختصات فرض کرده‌ایم. ذره



شکل (۱۳-۳۰)

مشابه دیگری با همان بار q ،
از فاصله بسیار دور با سرعت
اولیه V_0 ، در امتداد محور
مختصات به طرف ذره اول
پرتاب می شود. چون بارها

هم نام هستند، یکدیگر را دفع می کنند. پس ذره اولیه به طرف چپ سرعت می گیرد و سرعت ذره پرتاب شده نیز کم می شود. اما چون سرعت نسبی دو ذره مورد توجه است، می توان دستگاه مختصاتی به کار برد که ذره اول در آن ساکن باشد. در این صورت سرعت ذره اول صفر خواهد بود و ذره پرتاب شده در این دستگاه مختصات به طرف ذره اول می رود. دو ذره مورد نظر هر کدام با بار q ، دارای انرژی پتانسیل و نیز انرژی جنبشی هستند. اگر انرژی پتانسیل الکتریکی دوبار را در حالی که فاصله آنها بسیار زیاد است، صفر بگیریم، انرژی پتانسیل الکتریکی آنها در فاصله r از یکدیگر از رابطه زیر به دست می آید.

$$U = \frac{kq^2}{r}$$

در این رابطه، k همان ضریبی است که در قانون کولن برای نیروی که دوبار الکتریکی به هم وارد می کند، وجود دارد. از رابطه بالا پیداست که وقتی فاصله دو ذره کم می شود، انرژی پتانسیل آنها زیاد می شود. از طرف دیگر چون نیروی الکتریکی که دوبار بر هم وارد می کنند، نیروی پایستار است، پس انرژی مکانیکی آنها، یعنی مجموع انرژی پتانسیلی و جنبشی آنها، در حین حرکت، ثابت می ماند. پس با افزایش انرژی پتانسیل به علت کم شدن فاصله، انرژی جنبشی بارها کم می شود که در این صورت لازم است

سرعت بارها کم شود. در دستگاه مختصاتی که به کار بردیم، تنها یکی از بارها حرکت دارد و دیگری ساکن است. پس سرعت باری که در ابتدا با سرعت V پرتاب شده است، به تدریج کم خواهد شد.

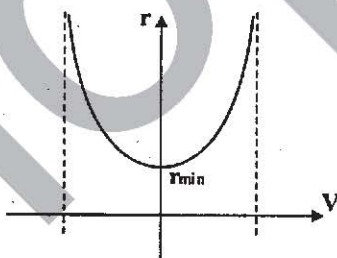
هنگامی که سرعت بار پرتاب شده صفر شود، فاصله اش با بار دیگر به حداقل رسیده است. پس از آن به علت نیروی دافعه ای که از طرف بار دیگر بر آن وارد می شود، در جهت مخالف سرعت می گیرد. چون این نیروی دافعه دائماً بر آن وارد می شود، مرتباً بر سرعتش افزوده می شود. اگر در هر لحظه سرعت بار پرتاب شده را V و فاصله آن را با بار دیگر r بگیریم، با استفاده از بقای انرژی مکانیکی داریم:

$$\frac{1}{2}mV^2 + \frac{kq_1q_2}{r} = \frac{1}{2}mV'^2$$

از رابطه بالا پیداست که به ازای $V=0$ ، r کمترین مقدار خود را دارد که مقدار آن چنین

$$\frac{kq^2}{r_{min}} = \frac{1}{2}mV^2 \rightarrow r_{min} = \frac{2kq^2}{mV^2}$$

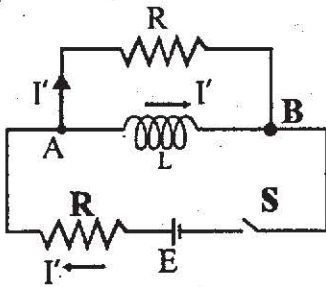
است:



شکل (۱۳-۳۱)

علاوه بر آن به ازای یک r معین، V دارای دو مقدار مثبت و منفی هم اندازه است. یکی از این دو سرعت، با علامت منفی، مربوط به موقعی است که بار پرتاب شده به طرف بار دیگر نزدیک می شود و سرعت دیگر با علامت مثبت مربوط به دور شدن بار پرتاب شده است. بنابراین نمودار تغییرات

فاصله دو بار بر حسب سرعت نسبی آنها، نسبت به سرعت قرینه است. از رابطه بالا هم چنین مشهود است که به ازای $t = \infty$ ، سرعت بار پرتاب شده در برگشت نیز V_0 خواهد شد. این ملاحظات در شکل (۱۳-۳۱) رسم شده است که با نمودار (ج) مشابه است. پس گزینه (ج) درست است.



شکل (۱۳-۳۲)

۷- مدار مورد نظر مجدداً در شکل (۱۳-۳۲) رسم شده است. پیش از بستن کلید S ، جریانی از خود القا نمی‌گذرد. بلافاصله پس از بستن کلید S نیز، باز هم جریانی که از خود القا می‌گذرد باید صفر باشد، زیرا در غیر این صورت در مدت

زمان نزدیک به صفر، تغییر جریان غیر صفر است و این منجر به القای نیروی محرکه بی‌نهایت در خود القا می‌شود که غیر فیزیکی است. پس بلافاصله پس از بستن کلید S ، دو مقاومت R و مولد با یکدیگر به طور متوالی بسته شده‌اند و جریان مدار چنین است.

$$I_0 = \frac{E}{2R}$$

با گذشت زمان از خود القا جریان می‌گذرد که متغیر است، اما به تدریج تغییرات آن کند شده و سپس در زمان طولانی به مقدار ثابت می‌رسد. با ثابت شدن جریانی که از خود القا می‌گذرد، نیروی محرکه القایی در آن صفر می‌شود، یعنی اختلاف پتانسیل میان دو نقطه A و B صفر خواهد شد. در این حالت جریان I نیز صفر می‌شود، زیرا اختلاف پتانسیل دوسر مقاومت بالایی نیز که با خود القا موازی است، صفر شده است. از این پس تنها یک مقاومت R با مولد به طور متوالی بسته شده است و جریان I' که از مقاومت

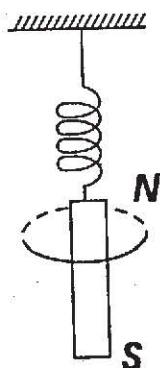
R (پایین) و خود القا می‌گذرد، چنین است:

$$I' = \frac{E}{R} = 2I.$$

بلافاصله پس از باز کردن کلید، جریانی که از باتری و مقاومت متصل به آن می‌گذرد، صفر می‌شود، اما جریانی که از خود القا می‌گذرد، همان مقدار قبلی می‌ماند. این جریان که بلافاصله پس از باز کردن کلید در خود القاء و به مقدار $2I$ جریان دارد، تنها می‌تواند از مقاومت بالایی بگذرد و از روی شکل (۱۳-۳۲) پیداست که جهت آن خلاف جهتی است که روی شکل به عنوان I مشخص شده است. پس بلافاصله پس از باز کردن کلید، جریان I در مقاومت بالایی $2I$ - خواهد بود. این جریان به علت ایجاد گرما در مقاومت، به تدریج کم می‌شود و سرانجام به صفر می‌رسد.

بنابراین از لحظه بستن کلید که تا زمان طولانی جریان I از مقدار I شروع شده و به تدریج صفر می‌شود. پس از آن با باز کردن کلید جریان در خلاف جهت اولیه و از مقدار $2I$ شروع و سرانجام به صفر می‌رسد. به این ترتیب تغییرات جریان I ، مشابه نمودار گزینه (ب) خواهد شد. پس گزینه (ب) درست است.

۸- در شکل (۱۳-۳۳)، آهن ربا کمی به پایین کشیده شده است. هنگامی که هنوز آهن ربا را رها نکرده‌ایم، شار مغناطیسی از حلقه می‌گذرد، اما چون آهن ربا و حلقه هر دو ساکن هستند، شار مغناطیسی تغییر نمی‌کند و در حلقه نیروی محرکه القایی شود و جریانی از حلقه نمی‌گذرد. با رها کردن آهن ربا، فنر آن را می‌کشد و سرعت آهن ربا که صفر بود به تدریج زیاد می‌کند. با سرعت گرفتن آهن ربا، شار مغناطیسی که از حلقه می‌گذرد تغییر می‌کند و در نتیجه نیروی محرکه القایی در حلقه به وجود می‌آید و جریان

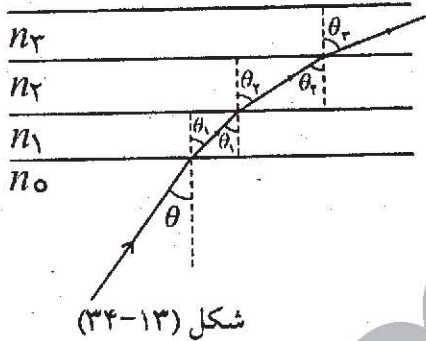


شکل (۱۳-۳۳)

آن غیر صفر خواهد شد. پس از مدتی، در حالی که آهنربا فنر را فشرده است متوقف می شود و مجدداً تغییر شار مغناطیسی صفر می شود و جریان حلقه به صفر می رسند. فنر فشرده آهن ربا را به پایین می راند و مجدداً تغییر شار مغناطیسی اما با علامت مخالف در حلقه به وجود می آید و در نتیجه جریانی در خلاف جهت قبلی از حلقه می گذرد. با حرکت های متوالی بالا و پایین رفتن آهنربا، جریان القایی نوسانی در حلقه ایجاد

می شود. چون حلقه دارای مقاومت الکتریکی است، جریان الکتریکی در آن گرما ایجاد می کند. این انرژی گرمایی که از سیستم فنر، حلقه گرفته می شود، سبب کم شدن دامنه نوسان فنر شده و نهایتاً آهنربا متوقف خواهد شد. پس دامنه جریان نوسانی که از صفر شروع شده بود، به تدریج باید کم شود. نمودار گزینه (ب) با آنچه توضیح داده شد، مطابقت دارد. پس گزینه (ب) درست است.

۹- لایه ها با ضریب شکست های $n_1, n_2, \dots, n_k, \dots$ در شکل (۱۳-۳۴) نشان داده شده است. چون ضریب شکست لایه ها، به ترتیب کوچک تر می شود، پرتو نور، دائماً از خط عمود بر سطح جدایی دو لایه دورتر می شود. در این صورت ممکن است زاویه پرتو با خط عمود بر سطح در یکی از لایه ها از زاویه حد در آن محیط بیشتر شود و پرتو به داخل محیط بازتاب کلی کند. برای آن که پرتو وارد محیط k ام شود، باید زاویه θ_k



از زاویه حد در محیط با ضریب شکست n_k کمتر باشد. با استفاده از قانون اسنل-دکارت برای لایه‌های روی هم داریم:

$$n \cdot \sin \theta = n_1 \sin \theta_1$$

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

$$\vdots$$

$$n_{k-1} \sin \theta_{k-1} = n_k \sin \theta_k$$

اگر طرفین رابطه‌ها را با هم جمع کنیم، داریم:

$$n \cdot \sin \theta = n_k \sin \theta_k \rightarrow \sin \theta_k = \frac{n}{n_k} \sin \theta$$

اگر در این رابطه، $\sin \theta_k < 1$ باشد، یعنی زاویه‌ای برابر با θ_k وجود دارد که پرتو نور در محیط k ام با خط عمود بر سطح مشترک دو لایه با آن زاویه وارد محیط k ام می‌شود. اما اگر زاویه θ ، n و n_k به نحوی باشد که $\sin \theta_k > 1$ شود، یعنی زاویه‌ای برابر با θ_k وجود ندارد و نور وارد محیط k ام نمی‌شود. پس باید:

$$\sin \theta_k < 1 \rightarrow \frac{n}{n_k} \sin \theta < 1 \rightarrow \sin \theta < \frac{n_k}{n}$$

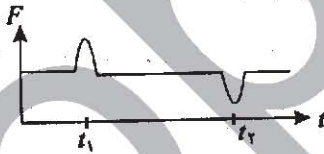
به این ترتیب گزینه (ب) درست است.

۱۰- پیش از شلیک گلوله به سمت بالا، ترازو نیرویی معادل وزن گلوله و محفظه را نشان می‌دهد. برای آن که گلوله به سمت بالا شلیک شود، باید از کف محفظه نیرویی بیشتر از

وزن گلوله و به طرف بالا بر آن وارد شود. عکس العمل این نیرو که آن هم بیشتر از وزن گلوله است، بر کف محفظه و به طرف پایین وارد می شود. هنگام شلیک گلوله، نیرویی که ترازوی فنری نشان می دهد مجموع وزن محفظه و نیرویی است که از طرف گلوله بر کف محفظه وارد می شود. این مجموعه از آن چه پیش از شلیک توسط ترازوی فنری نشان داده می شود، بیشتر است. در مدتی که گلوله از کف محفظه جدا شده است و هنوز به سقف محفظه نرسیده است، ترازوی فنری تنها وزن محفظه را نشان می دهد که از آنچه پیش از شلیک نشان می داد به اندازه وزن گلوله کمتر است.

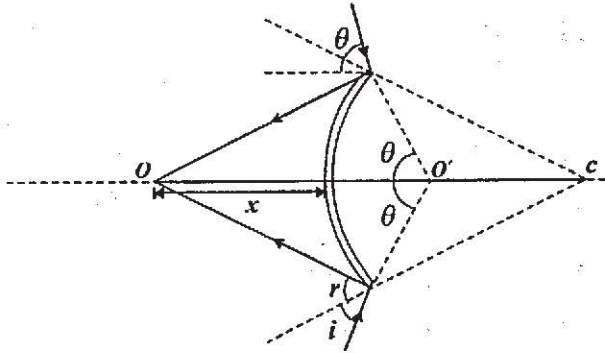
هنگامی که گلوله در خالی که به طرف بالا می رود، به سقف محفظه می خورد، باید سرعتش کم شود و نهایتاً متوقف شود، زیرا گلوله نمی تواند از سقف محفظه بگذرد. برای کند شدن گلوله ای که به طرف بالا می رود، باید سقف محفظه نیرویی به طرف پایین بر آن وارد کند. عکس العمل این نیرو که از طرف گلوله بر سقف محفظه وارد می شود، به

طرف بالا است. بنابراین هنگام برخورد گلوله با سقف محفظه، ترازوی فنری تفاضل وزن محفظه به طرف پایین و نیرویی که گلوله بر



شکل (۱۳-۳۵)

سقف محفظه وارد می کند (به طرف بالا) را نشان می دهد که از آن چه پیش از شلیک گلوله نشان می داد، کمتر است. با این توضیحات، نیروی F که توسط ترازوی فنری نشان می دهد، مانند شکل (۱۳-۳۵) خواهد بود. این نمودار مشابه گزینه (الف) است، پس گزینه (الف) درست است.



شکل (۱۳-۳۶)

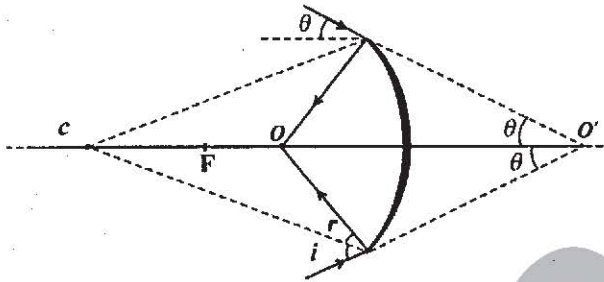
برای پرتوهای تابیده به
کناره‌های آینه i و r مشخص
شده‌اند و با یکدیگر برابرند.
توجه کنید θ با زاویه تابش
برابر نیست. اگر به فرض
پرتوها از نقطه O به آینه
می‌تابیدند، بازتاب آن‌ها
روی پرتوهایی قرار می‌گرفت که اکنون به صورت پرتوهای تابیده به آینه هستند. ادامه
این پرتوها از نقطه O' می‌گذرد که می‌توان تصویر مجازی نقطه O دانست. بنابراین
برای یافتن رابطه‌ای میان فاصله ناظر از آینه و زاویه θ ، در هر حالت باید تصویر ناظر را
به دست آورد و از آن جا به کناره‌های آینه وصل کرد. هنگامی که ناظر بسیار نزدیک آینه
است، یعنی $x \rightarrow 0$ ، نقطه O' نیز نزدیک آینه است و زاویه θ بیشترین مقدار خود را،
 θ_{max} دارد.



شکل (۱۳-۳۷)

با دور شدن ناظر از آینه، تصویر آن
نیز از آینه دور می‌شود و زاویه θ
کوچک‌تر می‌شود. هنگامی که
ناظر خیلی از آینه دور شود، یعنی
 $x \rightarrow \infty$ ، تصویر آن در کانون می‌افتد
و زاویه θ به کمترین مقدار خود، θ_0
می‌رسد. پس نمودار تغییرات θ

برحسب x برای آینه کوز، مانند شکل (۱۳-۳۷) خواهد بود.

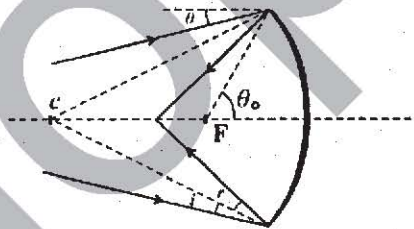


در شکل (۱۳-۳۸) یک آینه کاو (مقعر) نشان داده شده است. بسا همان استدلال آشکار است که در این جا نیز باید در هر حالت تصویر ناظر O را به دست آورد و از آن جا به کناره های آینه وصل کرد.

شکل (۱۳-۳۸)

هنگامی که ناظر به آینه بسیار نزدیک است، تصویرش، O' نیز نزدیک آینه است و زاویه θ بیشترین مقدار خود را، θ_{max} دارد. در حالتی که ناظر روی کانون آینه قرار گیرد، O'

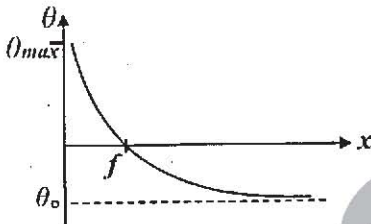
در بینهایت خواهد بود و زاویه θ ، صفر می شود. اگر ناظر از کانون دورتر رود، تصویرش حقیقی خواهد شد. این حالت در شکل (۱۳-۳۹) نشان داده شده است. ملاحظه می شود که در این حالت زاویه θ منفی است، زیرا پرتوهای تابیده که



شکل (۱۳-۳۹)

بیشتر بالای خط موازی با محور آینه قرار داشتند، اکنون زیر آن خط قرار دارند. بنابراین

برای آینه کاو، نمودار تغییرات زاویه θ با تغییرات فاصله ناظر از آینه مشابه نمودار شکل (۱۳-۴۰) خواهد بود. هنگامی که ناظر بسیار از آینه دور شود، تصویرش در کانون خواهد بود و زاویه θ به مقدار معینی که در شکل (۱۳-۳۹) با θ_0 نشان داده شده است، میل می‌کند. به این ترتیب ملاحظه می‌شود که گزینه (الف) که نمودار آن ترکیبی از نمودارهای دو آینه است، پاسخ درست است.



شکل (۱۳-۴۰)

۱۳- در شکل (۱۳-۴۱) فنر قائم و

وزنه آویخته به آن نشان داده شده

است. وضعیت ۱، مربوط به حالتی

است که فنر طول عادی خود را دارد

و وزنه را از این حالت رها می‌کنیم.

در ابتدا چون هنوز فنر کش نیامده است، تنها نیروی وزن mg بر جسم وارد می‌شود. این

نیرو به وزنه شتابی روبه پایین می‌دهد و وزنه به

طرف پایین سرعت می‌گیرد. با پایین رفتن وزنه فنر

کش می‌آید و علاوه بر نیروی وزن، نیروی

کشسانی رو به بالا نیز بر وزنه وارد می‌شود. در

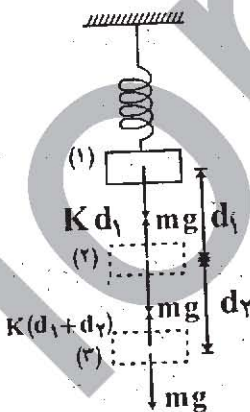
نتیجه شتاب وزنه کم می‌شود، یعنی سرعت، رو به

پایین آن با آهنگ کمتر زیاد می‌شود. وضعیت (۲)

مربوط به حالتی است که طول فنر آن قدر کش آمده

است که نیروی کشسانی فنر با نیروی وزن برابر

شده است. در این حالت داریم:



شکل (۱۳-۴۱)

$$mg = kd_1$$

$$d_1 = \frac{2 \times 10}{400} = 0.05 \text{ m} = 5 \text{ cm}$$

اگر چه در این حالت، برآیند نیروهای وارد بر وزنه صفر است، اما چون وزنه رو به پایین سرعت دارد، در آن نقطه نمی ایستد و پایین تر می رود. با پایین رفتن وزنه، افزایش طول فنر از d_1 بیشتر می شود و بر اثر آن نیروی کشش فنر از نیروی وزن بیشتر خواهد شد و برآیند نیروهای وارد بر وزنه رو به بالا خواهد شد. این نیرو شتابی رو به بالا به وزنه می دهد که چون خلاف جهت سرعت وزنه است، کند کننده است. پس سرعت وزنه کمتر می شود، اما همچنان رو به پایین می رود. کند شدن سرعت که آهنگ آن با پایین رفتن وزنه بیشتر می شود، زیرا نیروی کشسانی فنر به تدریج زیرتر می شود، تا جایی ادامه دارد که سرعت وزنه صفر شود. این حالت وضعیت ۳ نامیده شده است. برای به دست آوردن d_2 از بقای انرژی استفاده می کنیم. چون در تمام مسیر حرکت وزنه، نیروهای وزن و کشسانی فنر به وزنه وارد می شود و این نیروها پایستار است، پس انرژی مکانیکی ثابت می ماند. مبنای انرژی پتانسیل گرانشی را وضعیت ۱ می گیریم. در این وضعیت که فنر طول عادی خود را دارد، انرژی پتانسیل کشسانی فنر را نیز صفر می گیریم. در این وضعیت وزنه سرعت ندارد، پس انرژی جنبشی وزنه نیز صفر است. در وضعیت ۳ باز هم انرژی جنبشی صفر است. انرژی پتانسیل گرانشی کم و انرژی پتانسیل کشسانی زیاد شده است و باید مجموع آنها معادل انرژی مکانیکی در وضعیت ۱ باشد. داریم:

$$U_{1g} + U_{1e} + K_1 = U_{3g} + U_{3e} + K_3$$

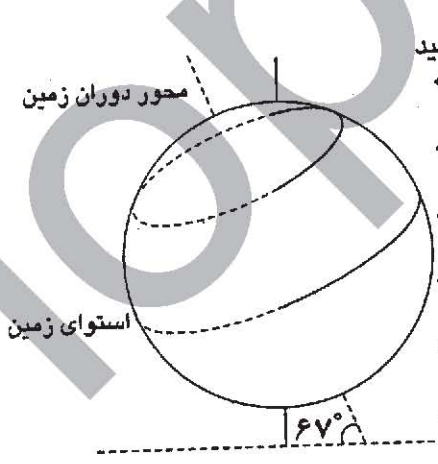
$$0 + 0 + 0 = -mg(d_1 + d_2) + \frac{1}{2}K(d_1 + d_2)^2 + 0$$

$$d_1 + d_2 = \frac{2mg}{K} = \frac{2 \times 2 \times 10}{400} = 0.1 \text{ m} = 10 \text{ cm}$$

$$d_2 = 10 - d_1 = 10 - 5 = 5 \text{ cm}$$

اگر چه سرعت وزنه در وضعیت ۳ صفر است، اما برآیند نیروهای وارد بر آن به طرف بالاست و وزنه را به طرف بالا سرعت می دهد. از بقای انرژی مکانیکی پیداست که وزنه حداکثر تا وضعیت ۱ بالا خواهد رفت. پس با رها کردن وزنه، حداکثر تا ۱۰ cm پایین می آید و سپس به جال اول بر می گردد و این حرکت تکرار می شود. به این ترتیب گزینه (د) درست است.

۱۴- در شکل (۱۳-۴۲) کره زمین نشان داده شده است. هر نقطه‌ای واقع بر سطح زمین در مدت ۲۴ ساعت یک دایره طی می کند که هر چه عرض جغرافیایی آن نقطه بیشتر باشد، شعاع آن دایره کوچک تر است. بخشی از



شکل (۱۳-۴۲)

این دایره‌ها که مقابل نور خورشید خورشید قرار می گیرد، روز و بقیه شب است. در این شکل دایره‌های مربوط به نقطه‌ای واقع بر استوای زمین و نیز نقطه‌ای در نیم کره شمالی نشان داده شده است. مدت روز برای نقطه‌ای واقع بر استوای زمین ۱۲ ساعت و

برای نقاط در نیم کره شمالی کمتر از ۱۲ ساعت است. در این شکل کمان خط چنین متناسب با طول شب و کمان با خط پر متناسب با طول شب است. چون در ایران که در نیم کره شمالی واقع است، بلندترین شب، با نام یلدا، آخرین شب پاییز است، پس این شکل مربوط به پاییز و زمستان نیم کره شمالی است. در چنین شبی دایره مربوط به نقاط با عرض جغرافیایی بیش از ۶۷° تماماً در قسمت تاریک قرار می‌گیرند، یعنی طول شب برای آن نقاط بیش از ۲۴ ساعت است. پس این اتفاق در پاییز و زمستان رخ می‌دهد. بنابراین گزینه (ب) درست است.

۱۵- شکل (۱۳-۴۳) وزنه‌ها و

قرقره‌ها را از بالا نشان می‌دهد که

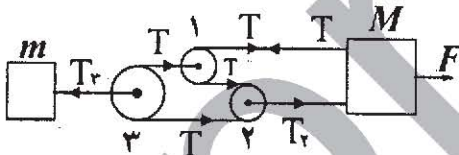
روی صفحه افقی قرار دارند. نخ

بلندی را که یک سر آن به M بسته

شده و سپس دور هر سه قرقره گشته

و سر دیگرش به محور قرقره ۱ وصل

است در نظر بگیرید



شکل (۱۳-۴۳)

چون جرم قرقره‌ها قابل چشم‌پوشی است، نیروی کشش در تمام طول این نخ یکسان

است که آن را T گرفته‌ایم. اکنون به نیروهایی که به قرقره ۱ وارد می‌شود توجه می‌کنیم.

به محور این قرقره نیروی T و به دو کناره آن نیز دو نیروی T در جهت مخالف وارد

می‌شود. چون جرم قرقره قابل چشم‌پوشی است، پس باید برآیند نیروهای وارد بر آن

صفر باشد، در غیر این صورت شتاب قرقره بسیار زیاد خواهد بود که غیر فیزیکی است.

پس داریم:

$$2T - T = 0 \rightarrow T = 0$$

با چشم پوشی از جرم قرقره ۲، برای نیروهایی که به آن قرقره وارد می شود داریم:

$$T_2 - 2T = 0 \rightarrow T_2 = 0$$

از آن چه گفته شد، نتیجه می شود که در راستای افقی تنها نیروی F بر جسم به جرم M وارد می شود و دو نخ که به آن بسته شده اند، نیرویی به آن وارد نمی کنند. با چشم پوشی از جرم قرقره ۳ نیز داریم:

$$T_3 - 2T = 0 \rightarrow T_3 = 0$$

بنابراین نتیجه می شود که جسم با جرم m حرکت نمی کند و به جسم با جرم M تنها نیروی F وارد می شود و شتاب $\frac{F}{M}$ به آن می دهد. پس گزینه (ج) درست است.

۱۶- شکل (۱۳-۴۴) قرقره و

وزنه ها را از بالا نشان می دهد. فرض

کنید جرم m_1 نسبت به قرقره دارای

شتاب a به طرف راست باشد. در

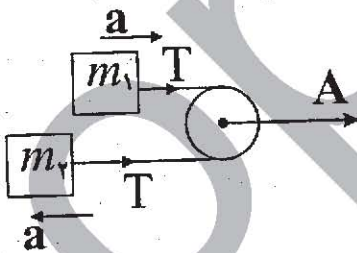
این صورت جرم m_2 نسبت به قرقره

دارای شتاب a به طرف چپ خواهد

بود. تساوی اندازه این دو شتاب

نسبت به قرقره از آنجا نتیجه

می شود که نخ طول ثابتی دارد و لازم



شکل (۱۳-۴۴)

است جابه جایی دو جرم نسبت به قرقره هم اندازه باشد، زیرا به جا به جایی دو جرم

نسبت به قرقره با شتاب آن ها نسبت به قرقره متناسب است. برای استفاده از قانون دوم

نیوتون که نیروهای وارد بر جسم را به شتاب آن ربط می دهد، باید شتاب جسم ها را نه

نسبت به قرقره که خود دارای شتاب است، بلکه نسبت به سطح افقی که شتاب ندارد، به حساب آوریم. داریم:

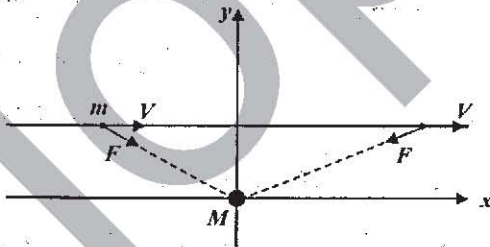
$$T = (A+a)m_1 \quad \rightarrow \quad \frac{T}{m_1} + \frac{T}{m_2} = 2A$$

$$T = (A-a)m_2$$

$$T = \frac{2A}{\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2}} = \frac{2Am_1m_2}{m_1+m_2}$$

اما شتاب جرم m_1 نسبت به ناظر ساکن همان $A+a$ است و از رابطه اول مقدار آن $\frac{T}{m_1}$ است. داریم:

$$\frac{T}{m_1} = \frac{2Am_2}{m_1+m_2}$$

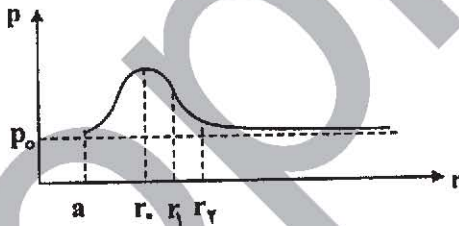


شکل (۱۳-۴۵)

بنابراین گزینه (الف) درست است.
 ۱۷- در شکل (۱۳-۴۵) نیروی گرانشی وارد بر m در نقطه‌ای از مسیر نشان داده شده است. نیروی گرانشی F در راستای خطی است که m را به M وصل می‌کند. مؤلفه لاین نیرو بر سرعت عمود است و اثرش آن است که راستای سرعت را تغییر

می دهد. اما فرض شده است که سرعت m آن قدر زیاد است که مسیر حرکت m تغییر نمی کند و موازی محور x می ماند. مولفه x این نیرو، پیش از آن که m به محور y برسد، با سرعت V هم جهت است، پس شتاب حاصل از آن تند کننده است. بنابراین سرعت m تا هنگامی که به محور y می رسد، دائماً زیاد می شود. پس از گذر m از محور y ، همان طور که از شکل پیداست، مولفه x نیروی وارد بر m در خلاف جهت سرعت آن است و شتاب حاصل از آن کند کننده است. پس سرعت m پس از عبور آن از محور y ، دائماً کم می شود. این تغییرات سرعت مشابه نموداری است که در گزینه (ج) رسم شده است. پس گزینه (ج) درست است.

۱۸- نمودار تغییرات فشار هوای درون بادکنک بر حسب شعاع آن در شکل (۱۳-۴۶) نشان داده شده است. از این نمودار نتیجه می شود که اگر شعاع بادکنک از r_0 بیشتر باشد، با افزایش شعاع، فشار بادکنک کاهش می یابد. در



شکل (۱۳-۴۶)

صورتی که اگر شعاع بادکنک کمتر از r_0 باشد، با افزایش شعاع، فشار بادکنک نیز زیاد می شود. روی نمودار شکل (۱۳-۴۶) شعاع دو بادکنک با اندازه های r_1 و r_2 مشخص شده است که هر دو از r_0 بزرگترند. ملاحظه می شود که فشار هوای درون بادکنک کوچکتر با شعاع r_1 ، از فشار هوای بادکنک بزرگتر با شعاع r_2 بیشتر است. اگر این دو

بادکنک با یک لوله به هم راه داده شوند، هوا از جایی که فشارش بیشتر است به جایی که فشارش کمتر است می‌رود. یعنی هوا از بادکنک کوچکتر به بادکنک بزرگتر می‌رود. این شرایط با آن چه در گزینه (ج) آمده است مطابقت دارد. پس گزینه (ج) درست است.

۱۹- دو جسم یکسان و میله

میان آن‌ها مجدداً در شکل

(۱۳-۴۷) نشان داده شده

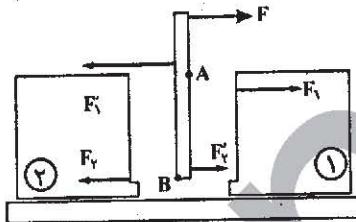
است، اما برای آن که بتوان

نیروهای وارد بر اجسام و

میله را به خوبی مشخص

کرد، دو جسم ۱ و ۲ با فاصله

رسم شده‌اند. هنگامی که به بالای



شکل (۱۳-۴۷)

میله نیروی F به طرف راست وارد می‌کنیم، نقطه A از میله به جسم ۱ و نقطه B از آن به جسم ۲ نیرو وارد می‌کند. این نیروها را به ترتیب F_1 و F_2 نامیده‌ایم. عکس العمل این نیروها یعنی F'_1 و F'_2 بر میله وارد می‌شود. پیش از وارد کردن نیروی F به میله، میله ساکن بوده است و هم چنین در آستانه حرکت یعنی به فاصله زمانی بسیار کوتاهی پس از وارد کردن نیروی F به میله نیز شتاب میله صفر است، پس باید برآیند نیروهای وارد بر آن صفر باشد. داریم:

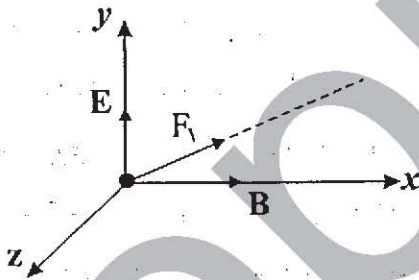
$$F + F'_2 - F'_1 = 0 \rightarrow F'_1 = F'_2 + F$$

از رابطه بالا پیداست که $F'_1 > F'_2$ ، پس $F_1 > F_2$ است. در نتیجه نیروی وارد بر جسم

۱ بیشتر از نیروی وارد بر جسم ۲ است. چون دو جسم مشابه‌اند، بنابراین جسم ۱ زودتر حرکت می‌کند. ملاحظه می‌شود که گزینه (الف) درست است.

۲۰- در شکل (۱۳-۴۸) میدانهای الکتریکی E و مغناطیسی B نشان داده شده‌اند. ابتدا که بار الکتریکی مثبت ساکن است، تنها از طرف میدان الکتریکی E بر آن نیرو وارد می‌شود که در جهت میدان الکتریکی است. بنابراین ذره در جهت مثبت محور z سرعت می‌گیرد. پس از آن که ذره بار دار سرعت پیدا کرد، میدان مغناطیسی

نیز بر آن نیرو وارد می‌کند، زیرا میدان مغناطیسی تنها بر بار متحرک نیرو وارد می‌کند. این نیرو عمود بر صفحه‌ای است که از میدان مغناطیسی B و سرعت V درست می‌شود. این صفحه در ابتدا صفحه xy است و در نتیجه نیروی مغناطیسی وارد بر ذره ابتدا در امتداد محور z است. چون نیروی

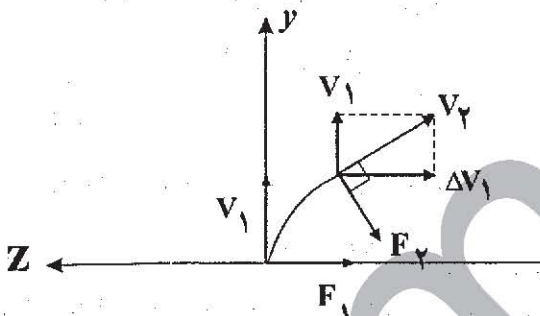


شکل (۱۳-۴۸)

مغناطیسی از رابطه $\vec{F} = q\vec{V} \times \vec{B}$ به دست می‌آید، نیرو در جهت منفی محور z خواهد بود. این نیرو سبب می‌شود که مسیر حرکت ذره که ابتدا روی محور y بود، به طرف منفی محور z منحرف شود.

در مدت زمان کوتاه Δt ، نیروی F_1 ، سرعت ذره را از \vec{V}_1 به $\vec{V}_2 = \vec{V}_1 + \Delta\vec{V}_1$ تغییر می‌دهد. داریم:

$$\Delta \vec{V}_1 = \vec{a} \Delta t = \frac{\vec{F}_1}{m} \Delta t$$

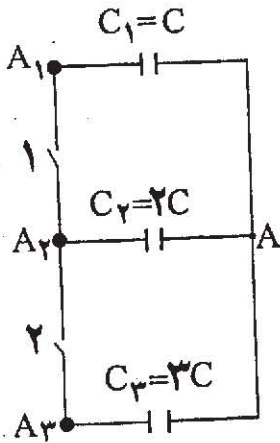


شکل (۱۳-۴۹)

از رابطه بالا نتیجه می شود که $\Delta \vec{V}_1$ و \vec{F}_1 با یکدیگر هم جهت اند. چون \vec{F}_1 روی صفحه YZ است، پس $\Delta \vec{V}_1$ نیز روی همان صفحه است. علاوه بر آن \vec{V}_1 نیز روی صفحه YZ است و در نتیجه \vec{V}_2 نیز روی همان صفحه است.

در شکل (۱۳-۴۹)، بردارهای \vec{F}_1 ، \vec{V}_1 ، $\Delta \vec{V}_1$ و \vec{V}_2 روی صفحه YZ نشان داده شده اند. در این لحظه به علت تغییر سرعت از \vec{V}_1 به \vec{V}_2 ، جهت نیروی مغناطیسی نیز تغییر می کند. به آسانی می توان دریافت که این نیرو باز هم در صفحه YZ خواهد ماند. اگر این روش برای زمان های کوتاه بعدی ادامه داده شود، می توان دریافت که سرعت ذره باردار همیشه روی صفحه YZ خواهد ماند. چون سرعت همواره بر مسیر مماس است، پس مسیر ذره نیز روی صفحه YZ خواهد بود. با توجه به این که نیروی مغناطیسی وارد بر بار همواره بر سرعت بار عمود است، مسیر ذره به طرف محور Z خم می شود و ذره مسیری مشابه نمودار گزینته (ج) می پیماید. پس گزینته (ج) درست است.

۲۱- خازن های شکل (۱۳-۱۶) مجدداً در شکل (۱۳-۵۰) رسم شده اند چون خازن C_1 بار q دارد، دو صفحه آن اختلاف پتانسیل دارند، یعنی $V_A \neq V_B$ اما چون خازن C_2



شکل (۱۳-۵۰)

بار ندارد، پس دو صفحه آن هم پتانسیل هستند، یعنی $V_A = V_{A2}$. از این دو رابطه نتیجه می شود که $V_{A1} \neq V_{A2}$. هنگامی که کلید ۱ را می بندیم بخشی از بار خازن C_1 به خازن C_2 منتقل می شود. به طوری که $V_{A1} = V_{A2}$ شود. پس از این کلید ۱ را باز می کنیم.

با همان روش می توان دریافت که پیش از بستن کلید ۲، $V_{A2} \neq V_{A3}$. بنابراین با بستن کلید ۲، مقداری از بار خازن C_2 به خازن C_3 منتقل می شود به طوری

که $V_{A2} = V_{A3}$ شود. اما اکنون با کم شدن بار خازن C_2 ، مجدداً $V_{A2} \neq V_{A1}$. بستن مجدد کلید ۱ پس از بازکردن کلید ۲، پتانسیل نقطه A_1 و A_2 را برابر می کند. اگر بستن و باز کردن کلیدها را ادامه دهیم، سرانجام به حالتی می رسیم که $V_{A1} = V_{A2} = V_{A3}$ ، یعنی بازکردن و بستن کلیدها تغییری در بارهای خازن ها نمی دهد. در این حالت اختلاف پتانسیل میان صفحات هر سه خازن یکی است. داریم:

$$\frac{q_1}{C_1} = \frac{q_2}{C_2} = \frac{q_3}{C_3} \quad \rightarrow \quad \frac{q_1}{C} = \frac{q_2}{2C} = \frac{q_3}{3C}$$

$$C_1 = C \quad C_2 = 2C \quad C_3 = 3C$$

از طرفی چون بار خازن ها از بار اولیه خازن C_1 تامین شده است، باید مجموع بار خازن ها همان q باشد. داریم:

$$q_1 + q_2 + q_3 = q$$

از دو رابطه بالا نتیجه می شود:

$$q_1 = \frac{q}{6} \quad q_2 = \frac{q}{3} \quad q_3 = \frac{q}{2}$$

به این ترتیب گزینه (د) درست است.

۲۲- در شکل (۱۳-۵۱) آونگ ساده‌ای نشان داده

شده است. به گلوله این آونگ ضربه‌ای می‌زنیم به

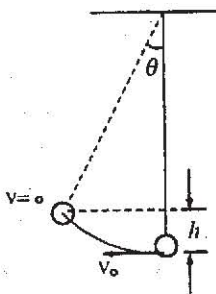
طوری که گلوله سرعت V_0 پیدا می‌کند. گلوله با

داشتن این سرعت حداکثر تا جایی می‌رود که

افزایش انرژی پتانسیل آن به اندازه انرژی جنبشی

اولیه آن باشد. زاویه آونگ با راستای قائم را در این

حالت θ می‌گیریم. با استفاده از بقای انرژی مکانیکی



شکل (۱۳-۵۱)

داریم:

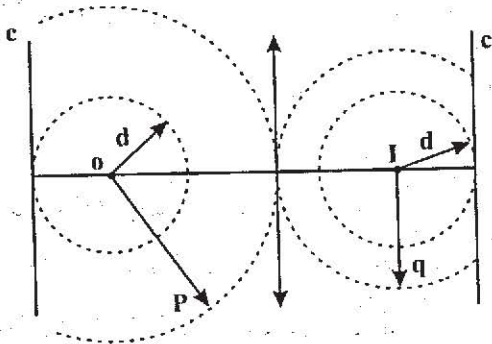
$$\frac{1}{2} m V_0^2 = mgh = mg(l - l \cos \theta) = mgl \left[2 \sin^2 \frac{\theta}{2} \right]$$

$$\sin^2 \frac{\theta}{2} = \frac{V_0^2}{4gl}$$

برای آن که آونگ مورد نظر، آونگ ساده باشد، باید $\theta < \theta_0$ باشد. داریم:

$$\theta_0 > \theta \rightarrow \sin^2 \left(\frac{\theta_0}{2} \right) > \sin^2 \left(\frac{\theta}{2} \right) = \frac{V_0^2}{4gl} \rightarrow l > \frac{V_0^2}{4g \sin^2 \left(\frac{\theta_0}{2} \right)}$$

بنابراین گزینه (ب) درست است.



شکل (۱۳-۵۲)

۲۳- در شکل (۱۳-۵۲) عدسی و پرده‌های دو طرف آن نشان داده شده‌اند. به مرکز O ، دو دایره به شعاع‌های d و p رسم می‌کنیم. انرژی نورانی که از نقطه روشن S گسیل می‌شود، روی سطح کره پخش می‌شود. اگر انرژی گسیل شده از O در واحد زمان S باشد، انرژی تابیده به واحد سطح پرده C در واحد زمان، l_c ، از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$l_c = \frac{S}{4\pi d^2}$$

از طرف دیگر انرژی تابیده به واحد سطح عدسی در مرکز آن در واحد زمان، l_l چنین است.

$$l_l = \frac{S}{4\pi p^2}$$

انرژی نورانی که از O به سطح عدسی تابیده است، پس از عبور از آن در نقطه I جمع می‌شود و I مانند یک نقطه نورانی می‌شود. اگر نقطه I یک منبع نورانی باشد که در واحد زمان انرژی S' گسیل کند، باید انرژی رسیده به واحد سطح عدسی از این منبع همان

مقداری باشد که از عدسی عبور کرده است. داریم:

$$l_l = \frac{S'}{4\pi q^2} \rightarrow S' = S \frac{q^2}{p^2}$$

از چنین منبعی انرژی نورانی به پرده C' می‌رسد. واحد سطح پرده C' در واحد زمان انرژی $l_{c'}$ را دریافت می‌کند. داریم:

$$l_{c'} = \frac{S'}{4\pi d^2} = S \frac{q^2}{4\pi p^2 d^2}$$

اکنون می‌توان نسبت روشنایی روی پرده C' به روشنایی روی پرده C را بدست آورد.

$$\frac{l_{c'}}{l_c} = \frac{\frac{S q^2}{4\pi p^2 d^2}}{\frac{S}{4\pi d^2}} = \frac{q^2}{p^2}$$

بنابراین گزینه (ج) درست است.

۲۴- در دماسنج هایی که بر اساس انبساط یک مایع با افزایش دما کار می‌کنند، مانند دماسنج جیوه‌ای، یک مخزن به حجم V وجود دارد که آن را از جیوه پر می‌کنند. بالای مخزن یک لوله باریک به سطح مقطع S مانند شکل (۱۳-۵۳) وجود دارد که انبساط جیوه باعث می‌شود جیوه وارد لوله باریک شود. هر چه افزایش حجم جیوه بیشتر باشد، ارتفاع آن در لوله باریک بیشتر خواهد شد. از طرفی افزایش حجم جیوه به دو عامل حجم جیوه درون مخزن و نیز افزایش دما بستگی دارد. اگر افزایش دمای معینی، مثلاً یک درجه سلسیوس را در نظر بگیریم، هر چه V زیادتر باشد، ΔV نیز زیادتر خواهد



شکل (۱۳-۵۳)

بود. افزایش ارتفاع جیوه درون لوله باریک، علاوه بر آن که با ΔV متناسب است، با سطح مقطع لوله باریک، S ، نسبت عکس دارد. بنابراین هرچه V زیادتر و S کوچکتر باشد، به ازای افزایش دمای معین، تغییر ارتفاع جیوه درون لوله باریک، Δh ، بیشتر خواهد شد. با زیاد شدن Δh ، می توان تعداد بیشتری تقسیم بندی روی لوله رسم کرد. این به آن معناست که می توان با چنین دماسنجی، دما را با دقت بیشتری اندازه گیری کرد. پس برای افزایش

حساسیت دماسنج، باید هرچه می توان V را زیاد و S را کم کرد. چون افزایش حجم جیوه با ضریب انبساط حجمی β ، و افزایش دمای $\Delta\theta$ متناسب است، داریم:

$$\Delta V = V\beta\Delta\theta$$

$$\Delta h = \frac{\Delta V}{S} = \frac{V\beta\Delta\theta}{S} \rightarrow \frac{V}{S} = \frac{\Delta h}{\beta\Delta\theta}$$

در دماسنج مورد نظر باید به ازای $\Delta\theta = 0.1^\circ\text{C}$ ، $\Delta h = 1\text{mm}$ باشد. پس داریم:

$$\frac{V}{S} = \frac{10^{-3}}{0.18 \times 10^{-3} \times 0.1} = \frac{1}{0.018} \text{ m}$$

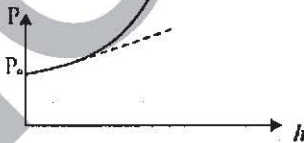
باید از میان گزینه ها، آن را انتخاب کرد که نسبت $\frac{V}{S}$ ، مقدار بالا را داشته باشد. با محاسبه زیر، تنها گزینه (الف) می تواند درست باشد.

$$\frac{V}{S} = \frac{1/1 \times 10^{-6}}{0.02 \times 10^{-6}} = \frac{1}{0.018} \text{ m}$$

۲۵- هنگامی که مقداری گاز را متراکم کنیم، یعنی فشار آن را بالا ببریم، حجمش کم می‌شود و این کاهش حجم قابل ملاحظه است. در مورد مایعات کاهش حجم با افزایش فشار، در فشارهای معمولی ناچیز و قابل چشم پوشی است، اما اگر فشار بسیار زیاد شود، دیگر نمی‌توان از کاهش حجم چشم پوشید. از طرفی با کاهش حجم چگالی زیاد می‌شود و با افزایش چگالی، تغییر فشار با یک ارتفاع معین بیشتر می‌شود. در عمق‌های زیاد اقیانوس، فشار بسیار زیاد است، بنابراین باید افزایش چگالی را به حساب آورد. رابطه فشار، p ، با عمق، h ، به شکل زیر است.

$$p = p_0 + \rho gh$$

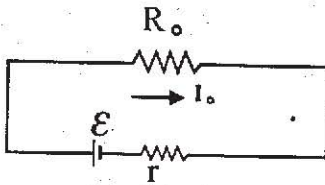
در رابطه بالا، p_0 ، فشار جو در سطح اقیانوس و ρ چگالی آب است. اگر ρ را ثابت بگیریم، که برای عمق‌های کم چنین است، تغییرات p نسبت به تغییرات h ، یعنی $\frac{\Delta p}{\Delta h}$ مقدار ثابتی است. اما اگر تغییرات ρ را برای عمق‌های زیاد به حساب آوریم، ملاحظه می‌شود که با افزایش h ، فشار به علت افزایش عمق



شکل (۱۳-۵۴)

و هم به علت افزایش چگالی زیاد می شود، پس $\frac{\Delta p}{\Delta h}$ برای عمق های زیاد باید بیش از مقدار آن برای عمق های کم باشد. نمودار تغییرات فشار با تغییرات عمق که با افزایش h باید بیشتر شود، مشابه شکل (۱۳-۵۴) خواهد شد. این نمودار مانند نمودار گزینه (ب) است. پس گزینه (ب) درست است.

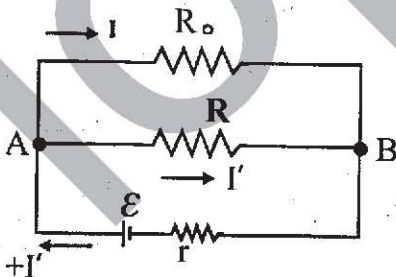
۲۶- پیش از بستن کلید K ، جریان در هر دو شاخه مدار صفر است. بلافاصله پس از



شکل (۱۳-۵۵)

شکل (۱۳-۱۸)، در عمل مانند شکل (۱۳-۵۵) خواهد بود که در آن شاخه وسط شامل سلف حذف شده است. مقدار I از رابطه زیر به دست می آید.

$$I_0 = \frac{\varepsilon}{R_0 + r}$$



شکل (۱۳-۵۶)

بستن کلید، جریان در شاخه ای که سلف وجود دارد، باز هم باید صفر بماند، زیرا در غیر این صورت در مدت زمان نزدیک به صفر، تغییر جریان در سلف، نیروی محرکه القایی بی نهایت خواهد داد که غیر فیزیکی است. پس، بلافاصله پس از بستن کلید، مدار

پس از گذشت زمان طولانی، تغییرات جریان از میان می رود و سلف دیگر نقشی در مدار ندارد و مانند یک قطعه سیم بدون مقاومت خواهد شد. در این صورت مدار شکل (۱۳-۱۸) مانند شکل (۱۳-۵۶) خواهد شد. اختلاف پتانسیل میان دو نقطه A و B از هر سه مسیر یکسان است.

داریم:

$$IR_s = I'R = \varepsilon - r(I + I')$$

$$I' = I \frac{R_s}{R}$$

$$IR_s = \varepsilon - r\left(I + I \frac{R_s}{R}\right) \rightarrow I \left[R_s + r\left(1 + \frac{R_s}{R}\right) \right] = \varepsilon$$

$$I = \frac{\varepsilon}{R_s + r + \frac{rR_s}{R}}$$

$$\frac{I_s}{I} = \frac{R_s + r + \frac{rR_s}{R}}{R_s + r} = 1 + \frac{rR_s}{R(R_s + r)}$$

این پاسخ با گزینه (ج) یکسان است. پس گزینه (ج) درست است.

۲۷- ابتدا انرژی ذخیره شده در خازن را حساب می‌کنیم. داریم:

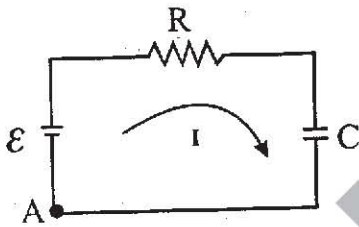
$$U = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2} \frac{(12 \times 10^{-6})^2}{C} = \frac{72 \times 10^{-12}}{C} \text{ J}$$

این مقدار از انرژی‌ای که باتری که به مدار داده کمتر است، زیرا به هنگام پر شدن خازن، باید از مدار جریان بگذرد و در نتیجه مقداری از کار باتری در مقاومتی که به هر حال در

مدار وجود دارد به گرما تبدیل می‌شود. پس:

$$\frac{72 \times 10^{-12}}{C} < 24 \times 10^{-6} \rightarrow C > 3 \times 10^{-6} \text{ F}$$

بنابراین ظرفیت خازن از $3\mu F$ بیشتر بوده است. پس گزینه (الف) درست است. ممکن است تصور شود که اگر یک باتری را با دو سیم رابط مستقیماً به دو سر یک خازن وصل کنیم، مقاومتی در مدار وجود نخواهد داشت که مقداری از انرژی گرفته شده از باتری در آن به گرما تبدیل شود. این تصور درست نیست و به هر صورت مقداری انرژی به گرما تبدیل می‌شود که در زیر توضیح داده می‌شود.



شکل (۱۳-۵۷)

پرکردن خازن، با قرار دادن آن در مدار می‌مانند شکل (۱۳-۵۷) مسیر است. نیروی محرکه باتری را \mathcal{E} گرفته‌ایم و R تمام مقاومت‌های موجود در مدار، از جمله مقاومت درونی باتری است. فرض کنید یک کولن بار از نقطه A در جهت I که

در مدار مشخص شده است، مدار را دور می‌زند. بنا به تعریف نیروی محرکه باتری، انرژی داده شده به واحد بار است، هنگامی که بار از قطب منفی به قطب مثبت می‌رود. پس انرژی داده شده به واحد بار توسط باتری \mathcal{E} است که آن را کار انجام شده توسط باتری می‌نامیم. پس از آن که خازن پر شد بار آن را Q می‌گیریم. آشکار است که این مقدار بار از باتری گذشته است و باتری $\mathcal{E}Q$ روی آن کار انجام داده است. هنگامی که خازن پر شد، جریان مدار به صفر می‌رسد و در نتیجه اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت R صفر می‌شود. در این صورت اختلاف پتانسیل خازن و باتری یکسان است. اما می‌دانیم اختلاف پتانسیل دو سر باتری که از آن جریان نگذرد، برابر با نیروی محرکه آن یعنی \mathcal{E} است. پس اختلاف پتانسیل دو سر خازن نیز \mathcal{E} است. انرژی خازن چنین است:

$$U = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2} Q \mathcal{E}$$

ملاحظه می شود که انرژی ذخیره شده در خازن $\frac{1}{2} Q \mathcal{E}$ کار انجام شده توسط باتری است و $\frac{1}{2} Q \mathcal{E}$ دیگر انرژی گرفته شده از باتری به گرما تبدیل شده است و مقدار مقاومت R تاثیری در آن ندارد. اکنون می توان مقدار دقیق ظرفیت خازن را حساب کرد. داریم:

$$U = \frac{1}{2} \times 24 \times 10^{-6} = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} \rightarrow C = \frac{(12 \times 10^{-6})^2}{24 \times 10^{-6}} = 6 \times 10^{-6} \text{ F} = 6 \mu\text{F}$$

۲۸- با بستن کلیدهای k_1 و k_2 (به شکل ۱۳-۱۹ نگاه شود)، کره فلزی C و دو پوسته کروی فلزی A و B به هم متصل می شوند و یک جسم رسانا را تشکیل می دهند که سطح خارجی آن پوسته کروی فلزی A است. می دانیم هرگاه به یک جسم رسانا، مانند فلز، بار الکتریکی بدهیم، هنگام تعادل، یعنی زمانی که بارها توزیع شده و ساکن شوند، بار تنها بر پوسته خارجی جسم رسانا جمع می شود. بنابراین بار کره فلزی C و پوسته فلزی B صفر می شود و مجموع بارها روی کره فلزی A جمع می شود.

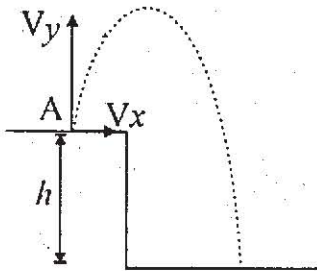
$$Q_A = -Q + 3Q + 4Q = 6Q$$

پس گزینه (ب) درست است.

۲۹- مطابق شکل (۱۳-۵۸) توپ از نقطه A پرتاب شده است. سرعت اولیه توپ از رابطه زیر به دست می آید:

$$V_0 = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$$

چون پس از برخورد توپ با زمین، مولفه x سرعت توپ تغییر نمی کند، برای آن که



شکل (۱۳-۵۸)

سرعت توپ پس از برخورد با زمین، با سرعت اولیه آن برابر باشد، باید مولفه لا سرعت توپ پس از برخورد با زمین با مولفه سرعت پرتاب یکی باشد. می دانیم با پرتاب توپ مولفه افقی سرعت توپ تغییر نمی کند، اما به علت شتاب گرانش g ، مولفه قائم

سرعت آن تغییر می کند. اگر مولفه قائم سرعت توپ را هنگام برخورد با زمین V'_y بگیریم، داریم:

$$V_y'^2 - V_y^2 = 2gh \rightarrow V_y' = \sqrt{2gh + V_y^2}$$

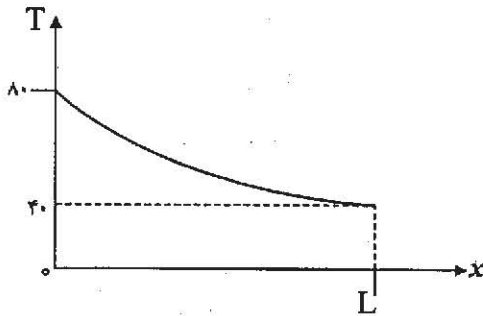
مولفه قائم سرعت توپ پس از برخورد با زمین، e برابر این مقدار است که باید با V_y برابر باشد. داریم:

$$eV_y' = V_y \rightarrow e\sqrt{2gh + V_y^2} = V_y$$

$$V_y^2(1 - e^2) = e^2(2gh) \rightarrow V_y = \frac{e\sqrt{2gh}}{\sqrt{1 - e^2}}$$

ملاحظه می شود که گزینه (د) درست است.

۳۰- هنگامی که دو جسم گرم و سرد در مجاورت یکدیگر قرار گیرند، گرما از جسم با دمای بالاتر به جسم با دمای پایین تر شارش می کند. هر چه اختلاف دمای جسم گرم و

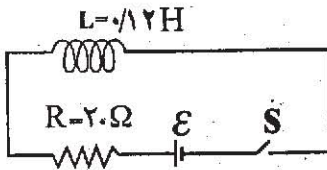


شکل (۱۳-۵۹)

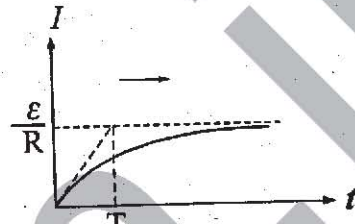
سرد بیشتر باشد، آهنگ شارش گرما بیشتر است. چون آب جاری در لوله، دمایی بالاتر از دمای محیط دارد، پس از آب به محیط گرما داده می‌شود. ابتدای لوله که دمای بالایی دارد، با آهنگ بیشتری گرما از دست می‌دهد و هر چه به طرف انتهای آن برویم، آهنگ شارش گرما به محیط کمتر می‌شود. بنابراین نمودار دمای آب بر حسب طول لوله، مانند شکل (۱۳-۵۹) خواهد بود که مانند نمودار گزینه (ج) است. نموداری که در گزینه (د) رسم شده است، در بعضی از نقاط لوله دمای آب کمتر از 40°C شده و سپس در انتهای لوله به 40°C رسیده است. این نمودار نمی‌تواند درست باشد، زیرا برای آن که دمای آب پس از عبور از نقاطی با دمای کمتر از 40°C در انتهای لوله به 40°C برسد، باید در این فاصله از محیط گرما بگیرد که ممکن نیست، زیرا دمای محیط از 40°C کمتر است و شارش گرما از محیط با دمای کمتر به محیط با دمای بیشتر غیر ممکن است. بنابراین گزینه (ج) درست است.

بخش دوم - مسئله‌های کوتاه

۱- مدار شکل (۱۳-۲۱) و نمودار تغییرات شدت جریان آن در شکل‌های (۱۳-۶۰) و (۱۳-۶۱) نشان داده شده است.



شکل (۱۳-۶۰)



شکل (۱۳-۶۱)

چون پیش از بستن کلید، جریانی از مدار نمی‌گذرد، بلافاصله پس از بستن کلید نیز، باید جریان صفر باشد. بنابراین اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت R ، صفر است. با این فرض باید نیروی محرکه القایی دو سر سیم پیچ با نیروی محرکه باتری برابر باشد. داریم:

$$\epsilon = L \frac{dI}{dt} \Big|_{t=0} \rightarrow \frac{dI}{dt} \Big|_{t=0} = \frac{\epsilon}{L} \quad (1)$$

پس از گذشت زمان طولانی، جریان به مقدار ثابتی می‌رسد و در این صورت نیروی محرکه القایی از میان می‌رود و سیم پیچ مانند یک سیم بدون مقاومت خواهد شد. جریان نهایی از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$I = \frac{\epsilon}{R}$$

از نمودار شکل (۱۳-۶۱) شیب نمودار در لحظه $t=0$ را به دست می‌آوریم. داریم:

$$\frac{dI}{dt} \Big|_{t=0} = \frac{\epsilon}{T} \quad (2)$$

با مساوی قرار دادن رابطه های ۱ و ۲ داریم:

$$\frac{\varepsilon}{L} = \frac{\varepsilon}{R} \frac{R}{T} \rightarrow T = \frac{L}{R} = \frac{0.12}{20} = 0.006 \text{ s} = 6 \text{ ms}$$

$$\Delta T = 5 \times 6 = 30 \text{ ms}$$

۲- الکترون اتم هیدروژنی که در حالت پایه قرار دارد، در لایه $n_1 = 1$ است. برای آن که این اتم هیدروژن یونیزه شود، باید الکترون به لایه $n_2 = \infty$ برود. از رابطه ریدبرگ داریم:

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) = R_H \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{\infty^2} \right) = R_H$$

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = 3 \times 10^8 \times 0.11 \times 10^9 = 33 \times 10^{14} \text{ Hz} \Rightarrow k = 33$$

۳- پیش از آن که محلول درون تشت را قلیایی کنیم، تا کربن دی اکسید درون آن حل شود، گاز درون لوله قائم مخلوطی از هیدروکربن نسوخته و کربن دی اکسید است. تعداد مول های این دو گاز را به ترتیب n_1 و n_2 و گاز مخلوط را n می گیریم.

$$n = n_1 + n_2 \rightarrow \frac{n_2}{n} = 1 - \frac{n_1}{n}$$

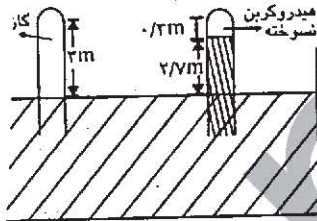
برای گاز کامل $\frac{PV}{n}$ مقدار ثابتی است که آن را α می گیریم. داریم:

$$\frac{PV}{n} = \alpha \rightarrow \frac{PV}{\alpha} = n$$

اگر فشار و حجم گاز مخلوط را P و V و فشار حجم هیدروکربن نسوخته را (پس از حل

شدن کربن دی اکسید در محلول قلیایی تشت) P_1 و V_1 بگیریم، از رابطه بالا نتیجه می شود:

$$1 - \frac{n_1}{n} = 1 - \frac{P_1 V_1}{PV}$$



شکل (۱۳-۶۲)

در شکل (۱۳-۶۲) لوله قائم درون تشت در حالت قبل و بعد از حل شدن کربن دی اکسید در محلول قلیایی نشان داده شده است. سطح مقطع لوله را A فرض می کنیم و همه فشارها را بر حسب ارتفاع ستون آب در نظر می گیریم.

داریم:

$$1 - \frac{P_1 V_1}{PV} = 1 - \frac{(10 - 2/7) \times 0/3A}{10 \times 0/3A} = 0/927$$

$$\frac{n_2}{n} = \%92/7$$

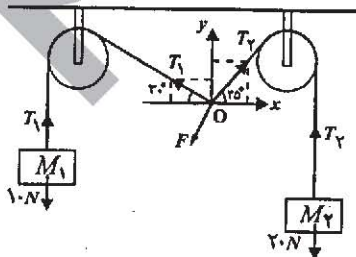
۴- باتوجه به شکل (۱۳-۲۴) ملاحظه می شود که سرعت جسم از لحظه $t=0$ تا $t=1.05$ مثبت است، یعنی در این مدت از محل اولیه دور می شود. در لحظه $t=1.05$ سرعت جسم صفر می شود و پس از آن سرعتش منفی است، یعنی به طرف محل اولیه بر می گردد. پس دورترین فاصله جسم تا محل اولیه، مقداری است که جسم در $t=1.05$

به آن جا رسیده است. با توجه به تعریف سرعت داریم:

$$V = \frac{dx}{dt} \Rightarrow dx = V dt$$

بنابراین در یک مدت زمان کوچک، جابه جایی محرک $V dt$ است. اگر روی محور زمان در شکل (۱۳-۲۴) زمان کوتاه dt را در نظر بگیریم، $V dt$ مساحت ستون زیر منحنی به پهنای dt خواهد بود. اگر برای زمان‌های کوتاه دیگر نیز این کار را انجام دهیم جابه جایی‌های پیاپی متحرک معلوم خواهد شد. اگر این جابه جایی‌ها را با یکدیگر جمع کنیم، جا به جایی کل به دست می‌آید که در این مدت باید کل مساحت زیر منحنی سرعت را حساب کنیم. برای این کار، خانه‌های مربع شکل زیر نمودار شکل (۱۳-۲۴) را می‌شماریم. اضلاع این خانه‌های مربع شکل ثانیه و متر بر ثانیه است و حاصل ضرب آن‌ها متر می‌شود که واحد جا به جایی است. تعداد خانه‌های زیر نمودار از $t=0$ تا $t=1.05$ تقریباً ۲۸ است. پس بیشترین فاصله متحرک از محل اولیه ۲۸m است.

۵- در شکل (۱۳-۶۳) وزنه‌های آویخته و قرقره‌ها نشان داده شده است. قسمت



شکل (۱۳-۶۳)

کوچکی از نخ در نقطه O را در نظر بگیرید. بر این قسمت از یک طرف نیروی کشش T_1 و

از طرف دیگر نیروی کشش T_2 وارد می شود و نیروی سومی هم، F ، وارد کرده ایم تا در حالت تعادل بماند. چون برآیند نیروهای T_1 ، T_2 و F صفر است پس داریم:

$$\vec{F} = -(\vec{T}_1 + \vec{T}_2)$$

چون وزنه ها در حال تعادل هستند، باید نیرویی که از نخ متصل به هر یک از وزنه ها، به آن وزنه وارد می شود، برابر با وزن آن ها باشد. پس داریم:

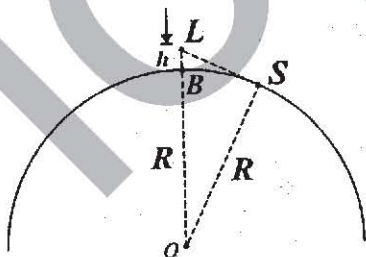
$$T_1 = 10\text{ N} \quad T_2 = 20\text{ N}$$

برای محاسبه برآیند دو نیروی کشش T_1 و T_2 آن ها را روی دو محور مختصات x و y تصویر می کنیم. داریم:

$$T_x = -T \cos 30^\circ + T_2 \cos 45^\circ = -10 \times \frac{\sqrt{3}}{2} + 20 \times \frac{\sqrt{2}}{2} = 5/5\text{ N}$$

$$T_y = T_1 \sin 30^\circ + T_2 \sin 45^\circ = 10 \times \frac{1}{2} + 20 \times \frac{\sqrt{2}}{2} = 19\text{ N}$$

$$F = \sqrt{T_x^2 + T_y^2} = 19/91 \approx 20\text{ N}$$



شکل (۶۴-۱۳)

۶- در شکل (۱۳-۶۴) قسمتی از کره زمین نشان داده شده است. فانوس دریایی در ارتفاع h از سطح دریا قرار دارد. شناگر در نقطه S از سطح دریاست و خط دید او که مماس بر سطح دریاست، از فانوس دریایی می گذرد. مثلث LOS قائم الزاویه است.

داریم:

$$SL^2 = (R+h)^2 - R^2 = h^2 + 2Rh = h(h+2R) \approx 2Rh$$

زیر $h \ll R$ است.

$$SL = \sqrt{2Rh} = \sqrt{2 \times 6400 \times 0.20} = 16 \text{ km}$$

شناگر فاصله پای فانوس دریایی، نقطه B ، تا نقطه S را شنا کرده است. ولی تفاوت این فاصله با SL بسیار ناچیز است، اما چون در شکل (۱۳-۶۴) ارتفاع فانوس دریایی بسیار بزرگتر از مقدار واقعی رسم شده است، به نظر می‌رسد که LS و BS یکسان نیستند.

۷- وضعیت لوله آزمایش در دو

حالت در شکل (۱۳-۶۵) نشان داده

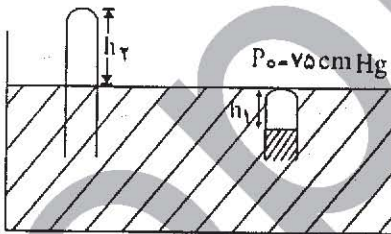
شده است. چون دما ثابت مانده

است داریم:

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

اگر فشار را بر حسب ارتفاع ستون

جیوه بستجیم، داریم:



شکل (۱۳-۶۵)

$$P_1 = 75 + 15 = 90 \text{ cmHg}$$

$$P_2 = 75 \text{ cmHg}$$

$$90 \times 15A = 75 \times h_2 A \rightarrow h_2 = 18 \text{ cm}$$