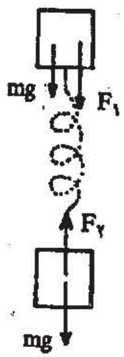
۱

پاسخ سؤالهای چندگزینه‌ای و مسایل کوتاه



شکل (۸ـ۲۷)

شکل (۸ـ۲۶)

۱ـ هنگامی که قطعه بالایی را در دست نگه داشته‌ایم، فنر کشیده شده و نسبت به حالت عادی طول بیشتری دارد. نیروهای وارد بر دو سر فنر کشیده شده در شکل (۸ ـ ۲۶) نشان داده شده است. واکنش دو نیروی F'_1 و F'_2 به دو سر فنر، به دو قطعه بالایی و پایینی وارد شده و در شکل (۸ـ۲۷) نشان داده شده است.

چون جسم پایینی در حال تعادل و نیروی دو سر فنر با هم برابر است، داریم:

$$F_1 = F_2 = mg \qquad (۱ - ۸)$$

هنگامی که جسم بالایی را رها می‌کنیم، هرکدام از دو جسم تحت تأثیر دو نیروی وارد بر آن شتاب می‌گیرند. شتاب دو جسم بلافاصله پس از رهاکردن آنها، چنین است.

$$mg - F_2 = ma_2 \approx 0 \rightarrow a_2 \approx 0 \qquad (۲ - ۸)$$

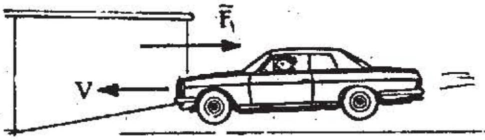
$$F_1 + mg = ma_1 \rightarrow a_1 > g \qquad (۳ - ۸)$$

در رابطه (۸ ـ ۲) از رابطه (۸ ـ ۱) استفاده شده است. از رابطه (۸ ـ ۲) پیداست که در مدت بسیار کوتاه پس از رها کردن جسم بالایی، قطعه پایینی تقریباً در جای خود می‌ماند. از رابطه (۸ ـ ۳) پیداست که در همین مدت کوتاه، جسم بالایی به طرف پایین سرعت می‌گیرد و از جایی که رها شده بود، پایینتر می‌آید. بنابراین فاصله دو جسم از آنچه هنگام رها شدن داشتند، کمتر می‌شود. به این ترتیب گزینهٔ (الف) درست است. احتیاج به توضیح ندارد که گزینه‌های (ب) و (ج) درست نیست.

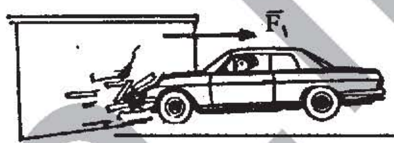
۲ـ هنگامی که یک تکه گل را به طرف یک دیوار پرتاب می‌کنید، گل پس از برخورد به دیوار معمولاً به آن می‌چسبد و تغییر شکل می‌دهد. در این صورت گل که پیش از برخورد به دیوار دارای انرژی جنبشی بوده در نهایت انرژی جنبشی ندارد. این برخورد کاملاً غیرکشسان است.

اگر یک توپ را به طرف یک دیوار پرتاب کنیم، معمولاً توپ با همان سرعتی که به دیوار خورده است، از دیوار برمی‌گردد. دراین صورت انرژی جنبشی توپ همان مقدار قبل از برخورد می‌ماند. این برخورد کاملاً کشسان است.

در شکل (۸ ـ ۲۸) یک اتومبیل که با سرعت V به طرف یک دیوار محکم در حرکت است، نشان داده‌شده است.از لحظه تماس‌اتومبیل با دیوار، نیرویی از طرف آن بر اتومبیل وارد می‌شود و این نیرو به اتومبیل شتاب‌داده و سبب کندشدن آن می‌شود.این‌نیرو نیز در شکل نشان‌داده شده است.



شکل (۸ ـ ۲۸)



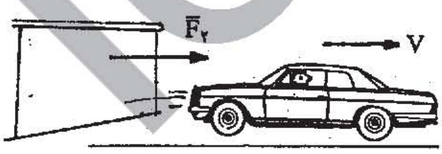
شکل (۸ ـ ۲۹)

در برخورد کاملاً غیرکشسان همان طور که یک تکه گل به دیوار می‌چسبد، سرانجام اتومبیل متوقف می‌شود. (به شکل «۸ ـ ۲۹» نگاه کنید). بنابراین در این حالت سرعت اتومبیل از V به صفر می‌رسد و در تمام این مدت که چندان طولانی نیست، و آن را مدت زمان برخورد می‌نامند، دیوار بر اتومبیل نیرو وارد می‌کند. اگرچه مقدار این نیرو متغیر است ولی می‌توان یک یک مقدار متوسط $\bar{F}$ برای آن در نظر گرفت. اگر مدت زمان برخورد را Δt و جرم اتومبیل را M فرض کنیم داریم:

$$\bar{F}_1 = M\,\bar{a}_1 = M\frac{\Delta V_1}{\Delta t} = M\frac{0 - V}{\Delta t} = -M\frac{V}{\Delta t} \qquad (۴ - ۸)$$

از رابطه (۸ ـ ۴) پیداست که علامت $\bar{F}$ و V مخالف‌یکدیگراست‌واین‌موضوع‌ازشکلهای (۸ ـ ۲۸) و(۸ ـ ۲۹) نیز مشخص است.

اکنون حالتی را درنظر بگیرید که مانند شکل (۸ ـ ۳۰) اتومبیل پس از برخورد به دیوار، همانند یک توپ که به دیوار می‌زنیم، با همان سرعت از دیوار دور می‌شود. این برخورد کاملاً کشسان است.



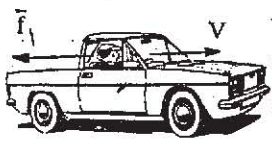
شکل (۸ ـ ۳۰)

اگر مانند حالت قبل مدت‌زمان برخورد را Δt بگیریم، داریم:

$$\bar{F}_2 = M\,\bar{a}_2 = M\frac{\Delta V_2}{\Delta t} = M\frac{V - (-V)}{\Delta t} = -2M\frac{V}{\Delta t} \qquad (۵ - ۸)$$

مقایسه دو رابطه (۸-۴) و (۸-۵) نشان می‌دهد که در برخورد کاملاً کشسان، متوسط نیرویی که از طرف دیوار بر اتومبیل وارد می‌شود، دوبرابر حالتی است که در برخورد کاملاً غیرکشسان باشد.

اکنون یک سرنشین را دورن اتومبیل درنظر بگیرید. چون سرنشین نیز به هرحال درون اتومبیل قرار دارد، همواره کم و بیش همان سرعت اتومبیل را دارد. در برخورد کاملاً غیرکشسان، سرعت سرنشین از V به صفر می‌رسد. برای این تغییر سرعت باید از قسمتی از اتومبیل به وی نیروی متوسط $\bar{f}_1$ وارد شود که در شکل (۸ - ۳۱) نشان داده شده است داریم:



شکل (۸ - ۳۱)

$$\bar{f}_1 = m\,\bar{a}_1 = m\,\frac{0 - V}{\Delta t} = -m\,\frac{V}{\Delta t} \qquad (۸ - ۶)$$

در رابطه بالا m جرم سرنشین است.

اگر برخورد اتومبیل با دیوار کاملاً کشسان باشد، یعنی اتومبیل با همان سرعت از دیوار برگردد، سرنشین نیز باید با همان سرعت V از دیوار دور شود. در این حالت نیروی متوسط $\bar{f}_2$ بر سرنشین وارد می‌شود که از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$\bar{f}_2 = m\,\bar{a}_2 = m\,\frac{V - (-V)}{\Delta t} = -2m\,\frac{V}{\Delta t} \qquad (۸ - ۷)$$

ملاحظه می‌شود که نیروی وارد بر سرنشین (از قسمتی از اتومبیل) نیز در برخورد کاملاً کشسان، دو برابر حالتی است که برخورد کاملاً غیرکشسان باشد. چون میزان ضایعه وارد بر سرنشین با نیروی وارد بر روی رابطه دارد، ایمنی بیشتر در حالتی است که نیروی کمتری به وی وارد شود. درنتیجه برخورد کاملاً غیرکشسان اتومبیل با یک دیوار ساکن محکم برای سرنشین ایمن‌تر است. به این ترتیب گزینه (ب) درست و گزینهٔ (الف) نادرست است.

۳ـ اگر موتور اتومبیل به مدت t ثانیه کار کند، بیشترین انرژی مصرف شده pt خواهد بود. اگر هیچ بخشی از این انرژی تلف نشود، تمام آن به انرژی جنبشی اتومبیل تبدیل شده است.

دراین صورت:
$$\frac{1}{2}mV^2 = pt \rightarrow t = \frac{mV^2}{2p}$$

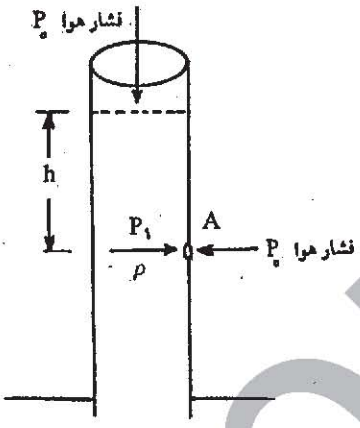
چون درعمل بخشی از این توان مصرف‌شده تلف می‌شود، برای رسیدن به سرعت V مدت زمان بیشتری لازم است. بنابراین کمترین زمان $\frac{mV^2}{2p}$ خواهدبود. به این ترتیب گزینه (د) درست است.

۴ـ یک ورقه لاستیکی را در نظر بگیرید که اطراف آن را گرفته و می‌کشیم. اگر دست خود را روی این لاستیک بگذاریم و فشار دهیم، سطح لاستیک فرو می‌رود ولی پاره نمی‌شود. علت این است که مولکولهای لاستیک نیرویی به هم وارد می‌کنند و به عبارت دیگر به یکدیگر

می‌چسبند و این نیرو مانع از آن است که لاستیک پاره شود. اگر نیروی وارد بر لاستیک را زیاد کنیم، سرانجام ممکن است لاستیک پاره شود. یعنی مولکولهای لاستیک دیگر قادر به نگهداشتن یکدیگر نیستند. رویه مایعات نیز چنین وضعی را دارد. هنگامی که دست خود را در آب فرو می‌بریم، رویه آب را که مانند یک ورقه لاستیکی است پاره می‌کنیم. اگر یک سبد را که سوراخهای آن نسبتاً ریز است در آب فرو برده و بیرون بیاوریم، یک لایه نازک آب سوراخهای سبد را می‌پوشاند و مانند آن است که سوراخها را با نایلون پوشانده‌ایم. در اینجا نیز نیرویی که مولکولهای آب به هم وارد می‌کنند، سبب می‌شود که یک لایه نازک آب، مانند یک ورقه نایلون یا لاستیک تشکیل شود.

نیرویی را که مولکولهای یک مایع در سطح مایع به هم وارد می‌کنند و سبب می‌شود که رویه آن مانند یک ورقه لاستیک عمل کند، کشش سطحی می‌نامند.

در شکل (۸ ـ ۳۲) یک لوله مویین و سوراخی در آن نشان داده شده است. می‌دانیم که آب در لوله مویین بالا می‌رود. همان‌طور که آب یک ورقه نایلون مانند در سوراخهای ریز سبد درست می‌کرد، در سوراخ A نیز این ورقه تشکیل می‌شود. اگرقرارباشد آب از سوراخ A بیرون بریزد، باید آبهای پشت آن این ورقه را پاره کنند.



شکل (۸ ـ ۳۲)

بااستفاده از شکل (۸ ـ ۳۲) برای فشار دوطرف این رویه که در محل سوراخ A تشکیل می‌شود داریم:

فشار در سمت راست $= P_0$

فشار در سمت چپ $= P_0 + \rho gh$

اگر مساحت سوراخ S باشد، برآیند نیروهای وارد بر این رویه چنین است: $F = PS = \rho ghS$

اگر این نیرو که به طرف راست است، زیاد باشد، ممکن است این رویه پاره شود. دراین صورت مایع از سوراخ بیرون می‌ریزد. درحالت تعادل که آب تا ارتفاع معینی در لوله مویین بالا رفته است، این نیرو برای پاره کردن رویه کافی نیست و آب بیرون نمی‌ریزد. آشکار است که هوا نیز از سوراخ وارد لوله مویین نمی‌شود. بنابراین گزینه (د) درست است. پاسخ (هـ) به این دلیل درست نیست که در محل سوراخ لوله وجود ندارد تا مایع به آن بچسبد. چون فشار هوای وارد بر سوراخ از بیرون، کمتر از فشار وارد بر آن از درون مایع است، قاعدتاً باید این تفاوت فشار آب را بیرون بدهد. پاسخ (و) نیز نادرست است.

۵ـ هنگامی که گاز را متراکم می‌کنیم، درحقیقت مقداری انرژی به گاز می‌دهیم، زیرا روی گاز کار انجام می‌دهیم. وقتی انرژی گاز افزایش می‌یابد، دمای آن مقداری بالا می‌رود. ولی گاز با دمای بالاتر از محیط، گرما از دست می‌دهد و سرانجام به همان دمای محیط می‌رسد. اگر گاز را به طور ناگهانی متراکم کنیم، بلافاصله پس از آن فرصت از دست رفتن گرما وجود ندارد و درنتیجه دمای گاز از دمای محیط بالاتر خواهد بود. اگر دمای محیط را $T_۱$ و حجم اولیه گاز را $V_۱$ بگیریم، داریم:

$$\frac{P_۱ V_۱}{T_۱} = \frac{P_۲ V_۲}{T_۲} \qquad (۸ - ۸)$$

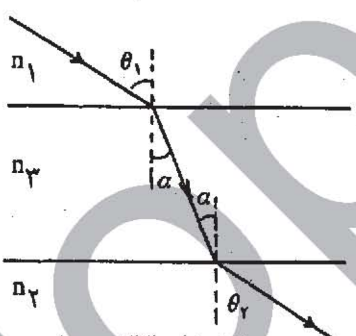
در رابطه (۸ ـ ۸) $V_۲$ حجم بعدی گاز است که $\frac{۱}{۲} V_۱$ است. داریم:

$$P_۲ = P_۱ \frac{V_۱}{V_۲} \frac{T_۲}{T_۱} = ۲P_۱ \frac{T_۲}{T_۱}$$

چون بلافاصله پس از تراکم گاز، دمای گاز بالاتر از محیط است، پس $\frac{T_۲}{T_۱} > ۱$ است و

درنتیجه داریم: $P_۲ > ۲P_۱$

درنتیجه گزینه (ج) درست است.



شکل (۸ ـ ۳۳)

۶ـ در شکل (۸ ـ ۳۳) دو محیط با ضریب شکست $n_۱$ و $n_۲$ که توسط لایه‌ای با ضریب شکست $n_۳$ از هم جدا شده‌اند، نشان داده شده است.

برای مرز تماس دو محیط $n_۱$ و $n_۳$ داریم:

$$n_۱ \operatorname{Sin} \theta_۱ = n_۳ \operatorname{Sin} \alpha \qquad (۹ ـ ۸)$$

برای مرز تماس دو محیط $n_۳$ و $n_۲$ داریم:

$$n_۳ \operatorname{Sin} \alpha = n_۲ \operatorname{Sin} \theta_۲ \qquad (۱۰ ـ ۸)$$

بااستفاده از رابطه‌های (۸ ـ ۹) و (۸ ـ ۱۰) داریم:

$$n_۱ \operatorname{Sin} \theta_۱ = n_۲ \operatorname{Sin}\theta_۲ \qquad (۱۱ - ۸)$$

از رابطه (۸ ـ ۱۱) آشکار است که زاویه $\theta_۲$ به ضخامت و نیز ضریب شکست محیط میانی دو محیط $n_۱$ و $n_۲$ بستگی ندارد و تنها به زاویه $\theta_۱$، $n_۱$ و $n_۲$ بستگی دارد. بنابراین هنگامی که لایه با ضریب شکست $n_۳$ را با لایه دیگری به ضریب شکست $n'_۳$ جایگزین می‌کنیم، تغییری در زاویه $\theta_۲$ به وجود نخواهد آمد. درنتیجه گزینه (ب) درست است.

۷ـ منشور و مسیر پرتو نورانی در آن در شکل (۸ ـ ۳۴) نشان داده شده است. اکنون به توضیح

هریک از گزینه‌ها می‌پردازیم:

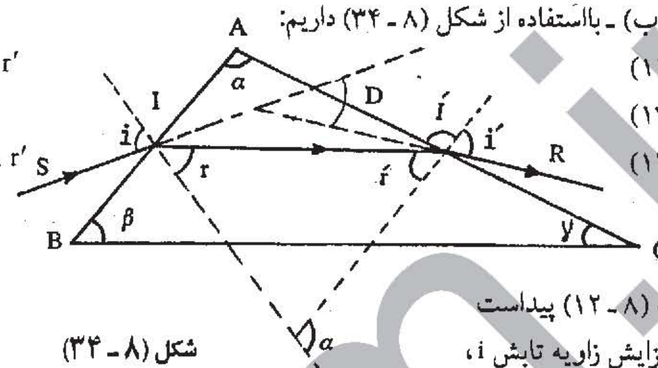
گزینه الف ـ انحراف پرتو نور خروجی از منشور، نسبت به پرتو نور ورودی به منشور، یعنی زاویه میان SI و I′R زاویه انحراف نام‌دارد. این زاویه در شکل (۸ ـ ۳۴) با D نشان‌داده‌شده‌است. بنابراین گزینه (الف) درست‌نیست.

گزینه (ب) ـ بااستفاده از شکل (۸ ـ ۳۴) داریم:

$$\mathrm{Sin}\, i = n\, \mathrm{Sin}\, r' \qquad (۸ - ۱۲)$$

$$r + r' = \alpha \qquad (۸ - ۱۳)$$

$$\mathrm{Sin}\, i' = n\, \mathrm{Sin}\, r' \qquad (۸ - ۱۴)$$



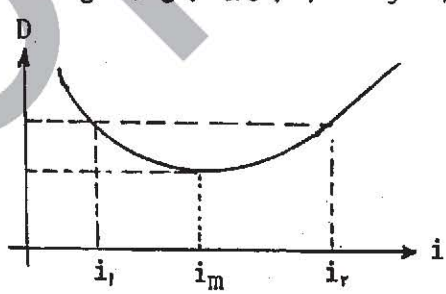
شکل (۸ ـ ۳۴)

از رابطه (۸ ـ ۱۲) پیداست که با افزایش زاویه تابش i، زاویه r نیز زیادتر می‌شود و بااستفاده از رابطهٔ (۸ ـ ۱۳) می‌توان دریافت که زاویه r′ کوچکتر و درنتیجه با استفاده از رابطه (۸ ـ ۱۴)، زاویهٔ i′ نیز کوچکتر می‌شود. با کوچک شدن زاویه i′ زاویه AI′R نیز کوچکتر می‌شود. بنابراین گزینه (ب) درست نیست.

گزینه (ج) ـ از شکل (۸ ـ ۳۴) داریم:

$$D = (i - r) + (i' - r') = i + i' - \alpha$$

چون زاویه‌های i و i′ از طریق رابطه‌های مثلثاتی (۸ـ۱۲) و (۸ـ۱۴) به یکدیگر مربوط‌اند، نمی‌توان تغییرات زاویه انحراف را نسبت به زاویه تابش i به صورت یک رابطه ریاضی به دست آورد. ولی می‌توان این تغییرات را از راه آزمایش و یا محاسبه عددی برای زاویه‌های مختلف تابش به دست آورد. نمودار تغییرات زاویه انحراف D نسبت به زاویه تابش i در شکل (۸ـ۳۵) نشان داده‌شده‌است.



شکل (۸ ـ ۳۵)

از شکل (۸ ـ ۳۵) پیداست که به ازای دو زاویه تابش i_1 و i_2، زاویه انحراف یکسان است. فرض کنید نور با زاویه تابش i_1 از سمت چپ به منشور بتابد و با زاویهٔ خروجی i'_1 از

سمت راست منشور خارج شود و زاویه انحراف D باشد.

اگر نور خروجی را روی خودش برگردانیم، در حقیقت مانند آن است که نور با زاویه تابش i'_1 به سمت راست منشور تابیده است. مطابق اصل بازگشت نور، در این حالت نور با زاویه خروجی i_1 از سمت چپ منشور خارج می‌شود و زاویه انحراف در این حالت نیز همان مقدار D خواهد بود. ازآنجا که تاباندن نور از سمت چپ یا راست تفاوتی ندارد، بنابراین می‌توان به‌جای برگرداندن نور روی خودش، نور را با زاویه i'_1 از همان سمت چپ به منشور تاباند. آشکار است که نور از سمت راست با زاویه i_1 خارج می‌شود. به این ترتیب دو زاویه تابش که برای هر دو آنها زاویه انحراف یکسان است، زاویه‌های و رودی و خروجی نور به منشوراست.

بنابراین زاویه‌های تابش i_1 و i_2 که مطابق شکل (۸ - ۳۵)، زاویه انحراف برای آنها یکسان است، زاویه‌های ورودی و خروجی نور به منشور است. به عبارت دیگر اگر نور با زاویه i_1 به منشور بتابد، با زاویه i_2 خارج می‌شود و برعکس.

هنگامی که، زاویه انحراف کمترین مقدار را دارد دو زاویه i_1 و i_2، یکی می‌شود که در شکل با i_m نشان داده شده است. بنابراین هنگامی که نور در عبور از منشور کمترین انحراف را دارد، زاویه‌های i و i' در شکل (۸ - ۳۴) برابرند. از رابطه‌های (۸ - ۱۲) و (۸ - ۱۴) پیداست که در این حالت $r = r'$ است. دراین صورت پرتو II' با دو سطح AB و AC زاویه‌های یکسانی می‌سازند. بنابراین گزینه (ج) درست است.

گزینه (د) ـ هنگامی که II' با BC موازی باشد، بااستفاده از شکل (۸ - ۳۴) داریم:

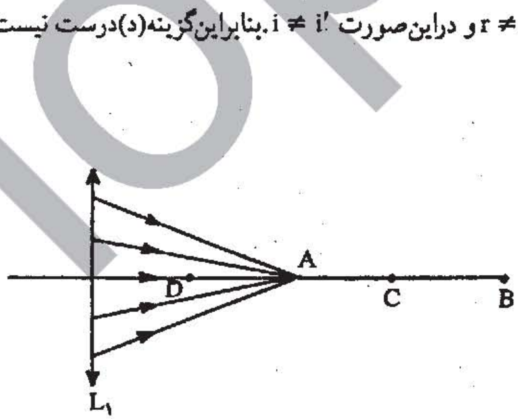
$$r + \beta = 90$$

$$r' + \gamma = 90$$

چون درحالت‌کلی $\beta \neq \gamma$ پس $r \neq r'$ و دراین‌صورت $i \neq i'$. بنابراین‌گزینه(د)درست نیست.

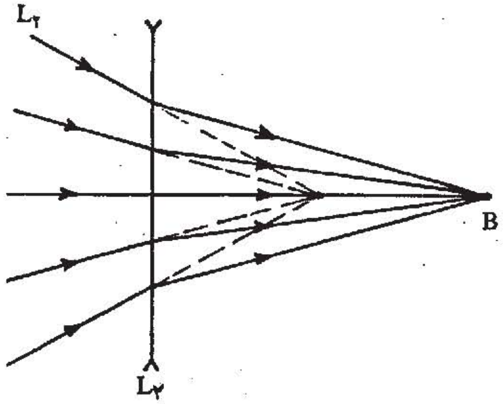
۸ـ فرض می‌کنیم عدسی L_1 همگرا باشد. این عدسی همگرا مانند شکل (۸ - ۳۶) نورها را در نقطه A کانونی می‌کند.

اگر فرض کنیم عدسی L_2 نیز همگراست، با قرار دادن دو عدسی در کنار هم، همگرایی دو عدسی بر هم افزوده می‌شود و باید نورها در نقطه‌ای نزدیکتر به عدسیها مثلاً نقطه D کانونی شود.



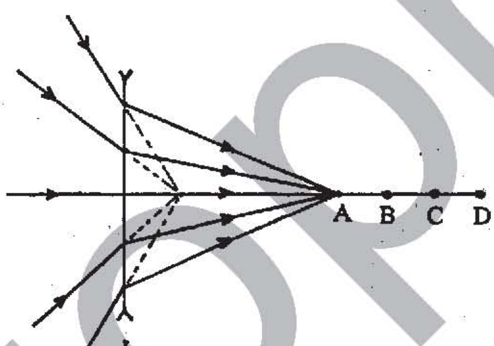
شکل (۸ - ۳۶)

چون در این حالت نورها در نقطه C که نسبت به نقطه A فاصله بیشتری از عدسی دارد، کانونی شده است، عدسی L_2 نمی‌تواند همگرا باشد وباید واگرا باشد. دراین صورت برای آنکه عدسی L_2 به تنهایی نورها را در نقطه B کانونی کند، باید نورهای ورودی مانند شکل (۸ ـ ۳۷) همگرا باشند. به این ترتیب پاسخهای (ب) و (ج) درست است.



شکل (۸ ـ ۳.۷)

اگرچه پاسخ درست رایافته‌ایم ولی باید نشان داد آنچه در مسئله گفته شده است، تنها با همین شرایط اتفاق می‌افتد. فرض کنید عدسی L_1 واگراست. این عدسی باید مانند شکل (۸ ـ ۳۸) نورهای ورودی همگرا را در نقطه A کانونی کرده باشد. چون عدسی L_2 به تنهایی نورها را در نقطه B که نسبت به نقطه A در فاصله دورتری از عدسی قرار دارد کانونی می‌کند، عدسی L_2 هم باید واگرا باشد.زیرا اگر عدسی L_2 همگرا باشد، نورهای همگرای ورودی را باز هم بیشتر همگرا می‌کند و آنها را در نقطه‌ای نزدیک عدسی کانونی می‌کند. هنگامی

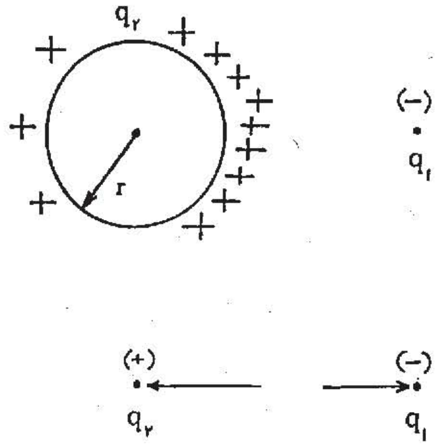


شکل (۸ ـ ۳۸)

که دو عدسی را در کنار هم می‌گذاریم، یک عدسی با واگرایی بیشتری به‌دست می‌آید. این عدسی مرکب، باید نورهای ورودی را بیش از هریک از دو عدسی واگرا کند و در نتیجه باید نورها در نقطه‌ای دورتراز نقطه B نسبت به‌عدسی مثلاً نقطه D کانونی شوند و نه نقطه C که نسبت به‌عدسی نزدیکتر ازنقطه B است. بنابراین آنچه در ابتدای پاسخ فرض شد تنها راه‌حل مسئله‌است. چون سایر پاسخها درتمام یا قسمتی از آن با پاسخ درست متفاوت است، هیچ‌یک

از پاسخهای دیگر درست نیست.

۹ـ در شکل (۸ ـ ۳۹) بار نقطه‌ای منفی q_1 یک بار در فاصله d از مرکز کره رسانا با بار q_2 و بار دیگر در فاصله d از بار نقطه‌ای q_2 قرار گرفته است. دراینجا بار q_2 در هر دو حالت مثبت فرض شده است. اگر بار q_1 را حذف کنیم، بار q_2 به طور یکنواخت روی کره رسانا، پخش می‌شود ولی وجود بار q_1 در نزدیکی کره رسانا، توزیع یکنواخت آن را برهم می‌زند و همان‌طور که در شکل نشان داده شده



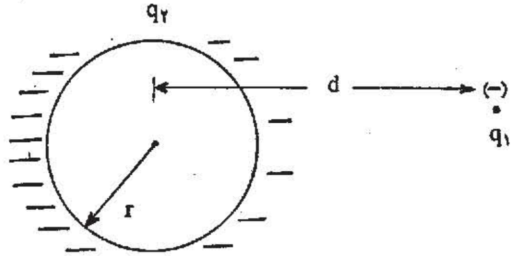
شکل (۸ – ۳۹)

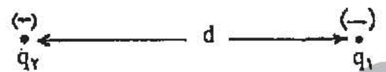
است، بار مثبت کره بیشتر به طرفی از کره که به بار q_1 نزدیکتر است، آمده است. درباره جابه‌جایی بارهای مثبت روی کره رسانا، بعداً توضیح دقیقتری خواهیم داد. نیروی الکتریکی میان دو بار نقطه‌ای q_1 و q_2 از قانون کولن به دست می‌آید، یعنی:

$$F_1 = K \frac{q_1 q_2}{d^2}$$

رابطه بالا را نمی‌توان برای نیروی میان بار نقطه‌ای q_1 و بار q_2 که روی کره توزیع شده است به کار برد، زیرا بار q_2 در فاصله مشخصی از بار q_1 قرار ندارد. در چنین حالتی باید بار q_2 را به قسمتهای کوچکی که هرکدام را بتوان یک بار نقطه‌ای درنظر گرفت تقسیم کرد. این قسمتها هرکدام در فاصله مشخصی از بار q_1 قرار دارند که البته این فاصله‌ها با یکدیگر متفاوت است. سپس نیروی بار نقطه‌ای q_1 بر هر کدام از این قسمتها را از قانون کولن به دست آورده و برآیند نیروها را حساب کرد. اگر بار q_2 به طور یکنواخت روی کره توزیع شده باشد، قسمتهای کوچکی که از تقسیم بار q_2 به دست می‌آید به طور متقارن در اطراف مرکز کره قرار دارند و می‌توان تصور کرد که اگر همه آن قسمتها را در مرکز کره قرار دهیم نیروی بار q_1 برکره تفاوتی نکند، یعنی فاصله مؤثر بار q_1 با بار توزیع شده روی کره، همان d است. حقیقت نیز همین است و با محاسبات پیشرفته می‌توان درستی این تصور را نشان داد. ولی هنگامی که توزیع بار روی کره یکنواخت نیست ، مثلاً مانند شکل (۸ ـ ۳۹) بار ←

بیشتری به طرفی که به بار q_1 نزدیکتر است کشیده شده است، فرض بالا درست نیست. در این حالت فاصله مؤثر بار q_2 از بار q_1 کمتر از d است و در نتیجه نیروی وارد بر کره بیشتر از حالتی است که تمام بار q_2 در نقطه‌ای به فاصله d متمرکز شده باشد.

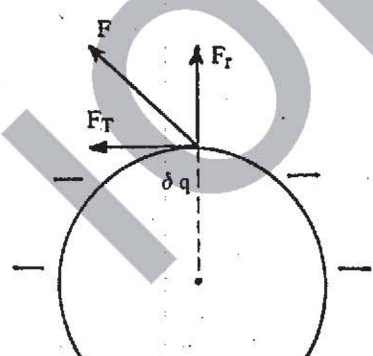




شکل (۸ ـ ۴۰)

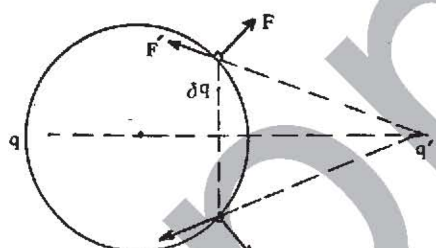
شکل (۸ ـ ۳۹) و توضیحات داده شده، درستی پاسخ (ج) را نشان می‌دهد. در شکل (۸ ـ ۴۰) علامت بار q_1 و q_2 در دو حالت یکسان فرض شده است. در اینجا بارهای منفی روی کره، بیشتر به پشت کره که از بار q_1 فاصله بیشتری دارد رانده می‌شود و می‌توان نتیجه گرفت که فاصله مؤثر بار q_1 و q_2 از d بیشتر است و بنابراین نیروی میان آنها کمتر از حالتی است که بار q_2 در نقطه‌ای به فاصله d از بار q_1، متمرکز شده باشد. این حالت، درستی پاسخ (ب) را نشان می‌دهد. چون تمام پاسخهای دیگر، با این دو پاسخ مغایر است، هیچ‌کدام درست نیست.

اکنون درباره توزیع بار روی کره رسانا توضیح می‌دهیم. فرض کنید مطابق شکل (۸ ـ ۴۱) بار منفی q را روی یک کره رسانا قرار داده‌ایم. بار قسمت کوچکی از سطح کره را δq فرض می‌کنیم. بقیه بارهای روی کره بر بار δq نیرو وارد می‌کنند که در شکل با F نشان داده شده است. نیروی F را می‌توان در راستای شعاع و در راستای مماس بر کره تجزیه کرد که به ترتیب با F_r و F_T نشان داده شده است. نیروی شعاعی F_r بارهای منفی را به طرف بیرون کره می‌راند و اگر این نیرو به اندازه کافی بزرگ باشد، بارها از کره کنده می‌شوند ولی درحالتی که F_r بسیار بزرگ



شکل (۸ ـ ۴۱)

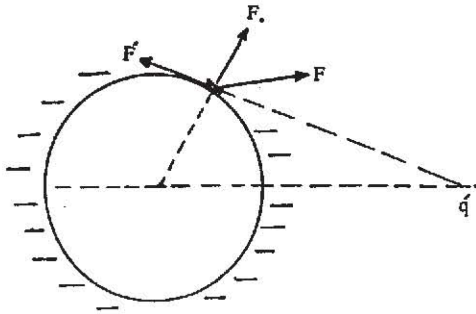
نیست، بارها از کره جدا نمی‌شوند. نیروی F_T بارها را روی سطح کره به حرکت درمی‌آورد. چون اجسام رسانا دارای الکترون آزاد هستند، یعنی در آنها تعدادی الکترون وجود دارد که با نیروی بسیار کمی به راه می‌افتند، نیروی F_T سبب حرکت بارهای منفی روی سطح کره می‌شوند. هرقسمت دیگری از سطح کره را که در نظر بگیریم چنین وضعی دارد. حرکت بارهای منفی روی سطح کره آنقدر ادامه پیدا می‌کند تا حالت تعادل به وجود آید. در حالت تعادل بارهای الکتریکی روی کره ساکن خواهند ماند. آشکار است که در این حالت توزیع بار طوری است که در تمام نقاط سطح کره تنها نیروی F_r وجود دارد و همه جا نیروی F_T صفر شده است. با توجه به تقارن موجود در کره، آشکار است که در حالت تعادل باید بارالکتریکی به طور یکنواخت روی سطح کره توزیع شده‌باشد. در چنین حالتی، برای نقاط بیرون کره می‌توان فرض کرد که تمام بار کره در مرکز آن جمع شده باشد. اگر بار الکتریکی q' در نزدیکی کره رسانا با بار q قرار داده شود، توزیع یکنواخت بار روی سطح کره برهم می‌خورد. در این حالت مطابق شکل (۸ ـ ۴۲) بر بار قسمت کوچکی از سطح کره، علاوه بر نیروی F که از بقیه بارهای روی کره بر آن وارد می‌شود، نیروی F' نیز از طرف بار q' بر آن وارد می‌شود.



شکل (۸ ـ ۴۲)

اکنون به آسانی پیداست که نیروی وارد بر بار δq مؤلفه‌ای مماس بر سطح کره دارد و این مؤلفه بارها را روی سطح کره و به طرفی که از بار q' دور شود به حرکت درمی‌آورد. اگر δq را دور خطی که q' را به مرکز کره وصل می‌کند، بگردانیم، یک حلقه به وجود می‌آید. نیروی وارد بر بارهای منفی که روی این حلقه قرار دارد، همان وضعیت نیروی وارد بر بار δq را دارد. بنابراین بارهای الکتریکی منفی از قسمتی از کره که نزدیک q' است، به طرفی از کره

که نسبت به بار q' دورتر است می‌رود. جابه‌جایی بار تا هنگامی ادامه دارد که حالت تعادل ایجاد شود. در شکل (۸ - ۴۳) نیروهای وارد بر بار قسمت کوچکی از کره نشان داده شده است. همان‌طور که از شکل پیداست نیروی وارد بر بار δq از طرف بقیه بارهای روی کره، دیگر شعاعی نیست، زیرا توزیع بار روی کره یکنواخت نیست، ولی برآیند نیروهای وارد بر δq شعاعی است و بارالکتریکی δq در جای خود می‌ماند.



شکل (۸ - ۴۳)

اگر بار q' و بار q روی کره علامت مخالف هم داشته باشند، بار الکتریکی روی قسمتی از کره که به بار q' نزدیک است بیشتر جمع می‌شود. توجیه موضوع کاملاً شبیه حالتی است که علامت دو بار یکسان باشد.

۱۰ـ دو بار الکتریکی نقطه‌ای با علامت مخالف که در فاصله بسیار دوری از یکدیگر قرار دارد را درحالت سکون، درنظر بگیرید. فرض کنید یکی از بارها، مثلاً بار منفی را رها می‌کنیم تا به طرف بار مثبت که درجای خود نگهداشته شده است، برود. آشکار است که بار منفی هرچه به بار مثبت نزدیکتر می‌شود، سرعت و درنتیجه انرژی جنبشی‌اش زیادتر می‌شود. چون از ابتدا دو بار دارای انرژی نبودند، افزایش انرژی جنبشی را به کاهش انرژی دیگری که انرژی پتانسیل الکتریکی می‌نامیم، نسبت می‌دهیم. بنابراین بار $-q'$ و $+q$ در فاصله نزدیک هم انرژی پتانسیل الکتریکی کمتری نسبت به حالتی که در فاصله دورتر از هم قرار داشتند، دارند. اگر بار q' مثبت باشد دراین‌صورت برای‌آنکه آن را در فاصله d از بار $+q$ قرار دهیم، باید روی آن کار انجام دهیم. دراین حالت کار انجام شده روی بار $+q'$، یعنی انرژی صرف شده برای آوردن آن به فاصله d از بار $+q$، انرژی پتانسیل الکتریکی دو بار را به همان اندازه افزایش داده است.

اگر انرژی پتانسیل دو بار را هنگامی که بسیاراز هم دورند، صفر فرض کنیم، دو بار با علامت مخالف هم در فاصله نزدیک انرژی پتانسیل منفی و دوبار با علامت یکسان در فاصله نزدیک انرژی پتانسیل مثبت دارند. اگر بار q' را ۱+ کولن بگیریم، انرژی پتانسیل آن

را در فاصله d از بار q، پتانسیل الکتریکی بار q در نقطه‌ای به فاصله d از آن می‌نامند. آشکار است که پتانسیل الکتریکی نقاط اطراف بار نقطه‌ای مثبت، مثبت و اطراف بار نقطه‌ای منفی، منفی است. پتانسیل الکتریکی بار نقطه‌ای در فاصله d از آن چنین است:

$$U = k\frac{q}{d} \qquad (۸-۱۵)$$

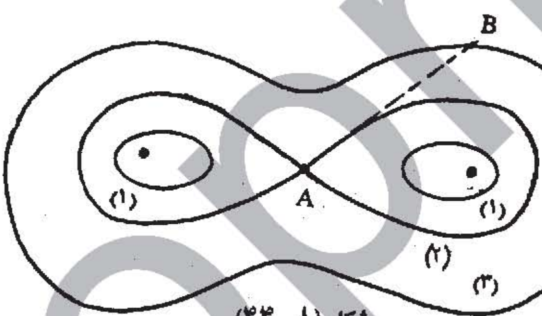
اگر در فضا بارهای الکتریکی q_1، q_2، ... وجود داشته باشد، پتانسیل نقطه‌ای که به ترتیب به فاصله d_1، d_2، ... از بارهای الکتریکی باشد، پتانسیل آن نقطه از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$U = K\left(\frac{q_1}{d_1} + \frac{q_2}{d_2} + \dots\right) \qquad (۸-۱۶)$$

اگر در چنین نقطه‌ای بار الکتریکی q قرار گیرد، انرژی پتانسیل الکتریکی آن از رابطه (۸-۱۶) و باتوجه به تعریف پتانسیل به ترتیب زیر به دست می‌آید:

$$E = Uq = Kq\left(\frac{q_1}{d_1} + \frac{q_2}{d_2} + \dots\right) \qquad (۸-۱۷)$$

در شکل (۸-۴۴) مکان هندسی نقاط هم پتانسیل دو بار نقطه‌ای مشابه Q + با خطهای بسته نشان داده شده است. مکان هندسی نقاط هم‌پتانسیل، سطحهای بسته‌ای هستند که تقاطع آنها با صفحه کاغذ به شکل منحنیهای شکل (۸-۴۴) نشان داده شده است.



شکل (۸-۴۴)

تمام نقاط دو منحنی شماره (۱)، انرژی پتانسیل یکسانی دارند. نقاط منحنی شماره (۲) نیز انرژی پتانسیل یکسانی دارند و چون فاصله نقاط این منحنی از بارهای Q + بیشتر است، پتانسیل الکتریکی نقاط منحنی شماره (۲) از نقاط منحنی شماره (۱) کمتر است. به همین ترتیب نقاط منحنی شماره (۳) پتانسیل الکتریکی کمتری دارد. اگر انرژی پتانسیل الکتریکی روی منحنی‌های شماره (۱)، (۲) و (۳) را به ترتیب با U_1، U_2 و U_3 نشان دهیم، داریم:

$$U_1 > U_2 > U_3 \qquad (۸-۱۸)$$

از رابطه (۸-۱۷) پیداست که انرژی پتانسیل الکتریکی الکترون و بارهای مثبت Q +، منفی است و مقدار آن Ue − است که e اندازه بارالکتریکی الکترون است.

اگر انرژی الکتریکی الکترون در نقطه A (روی منحنی شماره ۲) را با $E_۲$ و در نقطه B (روی منحنی شماره ۳) با $E_۳$ نشان دهیم داریم:

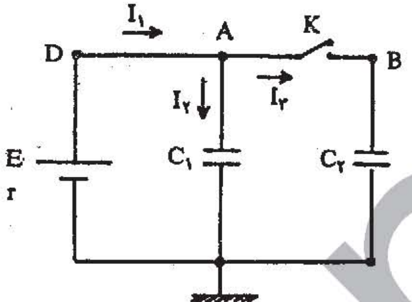
$$E_۲ = -U_۲ e \qquad E_۳ = -U_۳ e$$

باتوجه به رابطه (۸ ـ ۱۸) داریم:

$$E_۲ < E_۳ \qquad (۸ ـ ۱۹)$$

به این ترتیب در انتقال الکترون از نقطه A به B ، انرژی الکتریکی آن افزایش می‌یابد و درنتیجه گزینه (ج) درست است. علاوه بر آن چون بارهای مثبت Q + نیروی ربایشی به الکترون وارد می‌کنند و آن را به طرف A می‌کشانند، گزینه (د) نیز درست است.

۱۱ـ مدار موردنظر در شکل (۸ ـ ۴۵) نشان داده شده است. پیش از بستن کلید K ، خازن $C_۱$ پر است، بنابراین اختلاف پتانسیلی دو سر آن E ، یعنی همان نیروی محرکه باتری است. خازن $C_۲$ خالی است، یعنی اختلاف پتانسیل دو سر آن صفر است.



شکل (۸ ـ ۴۵)

اگر پتانسیل قطب منفی باتری را صفر فرض کنیم، داریم:

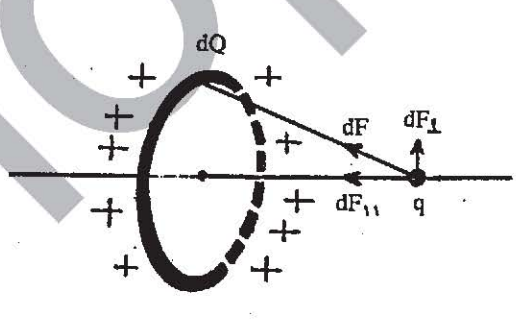
$$V_A = E \qquad V_B = ۰$$

هنگامی که کلید K را می‌بندیم، نقطه A با پتانسیل بالاتر به نقطه B با پتانسیلی پایینتر وصل شده است. درچنین حالتی جریان الکتریکی از پتانسیل بالاتر به طرف پتانسیل پایینتر به وجود می‌آید. بنابراین $I_۳ \neq ۰$ خواهد بود و خازن $C_۲$ شروع به پرشدن می‌کند. اگر مقاومت موجود میان دو نقطه A و B را (مربوط به سیمهای رابطه و کلید بسته) صفر فرض کنیم، جریان $I_۳$ بینهایت خواهد شد، زیرا میان دو نقطه با اختلاف پتانسیل معین، یک مقاومت صفر قرار داده‌ایم. چون این فرض منطقی نیست، برای این قسمت مقاومت کوچکی فرض می‌کنیم تا جریان بینهایت‌نشود.دراین صورت پس از بستن کلید، تاهنگامی که جریان $I_۳$ وجود دارد، دو نقطه A و B ، اختلاف پتانسیل کمی خواهند داشت.

فرض کنید جریان $I_۳$ ، تماماً توسط خازن $C_۱$ تأمین شود، یعنی بارهای الکتریکی که خازن $C_۲$ را پر می‌کنند، از خازن $C_۱$ آمده باشند و درنتیجه جریان $I_۱$ صفر فرض شده باشد. دراین صورت خازن $C_۱$ خالی شده و جریان $I_۲$ در خلاف جهتی که در شکل نشان داده شده است، به وجود می‌آید. با این کار $I_۲ < ۰$ خواهد بود و پتانسیل نقطه A از مقدار اولیه E

پایینتر می‌آید. پیش از قطع کلید پتانسیل نقطه A و D یکسان بود و با پایین رفتن پتانسیل نقطه A، (به علت خالی شدن خازن C_1)، میان دو نقطه A و D اختلاف پتانسیل به وجود آمده و جریان I_1 نیز برقرار خواهد شد. بنابراین نمی‌توان فرض کرد که جریان I_3 تماماً از خالی شدن خازن C_1 به وجود آمده است. به این ترتیب $I_2 > 0$ و $I_1 \neq 0$ خواهد بود. ممکن است فرض کنیم باری که خازن C_2 را پر می‌کند، تماماً از باتری آمده است، یعنی $I_1 I = _3$ و درنتیجه $I_2 = 0$ است. این فرض نیز نادرست است، زیرا وجود جریان I_1، پتانسیل نقطه D را به علت افت داخلی از مقدار E پایینتر می‌آورد و درنتیجه پتانسیل نقطه A نیز باید از مقدار اولیه E کمتر شود. برای کمتر شدن پتانسیل نقطه A، باید بار خازن C_1 خالی شود، یعنی جریان I_2 نمی‌تواند صفر باشد و درخلاف جهتی که در شکل نشان داده شده است خواهد بود. به این ترتیب در آغاز کار $I_3 \neq 0$، $I_2 > 0$ و $I_1 \neq 0$ است. پس از گذشت زمان طولانی، هر دو خازن کاملاً پر شده و جریان در مدار متوقف می‌شود. در این حالت پتانسیل خازن C_1 که به علت از دست دادن بار، کمتر از مقدار E شده بود، مجدداً به مقدار اولیه E برمی‌گردد. برای این کار، باید پس از زمان معینی، خالی شدن خازن C_1 متوقف شده و پس از آن شروع به پرشدن کرده باشد. درنتیجه از زمان معینی به بعد، $I_2 > 0$ شده باشد. ملاحظه می‌شود که پاسخهای (ب) و نیز (ج) درست است.

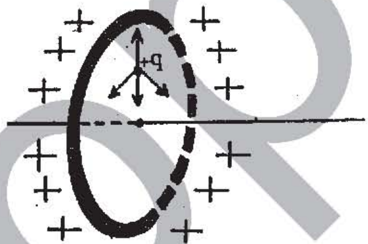
۱۲ـ در شکل (۸ ـ ۴۶) یک حلقه با بار مثبت نشان داده شده است و فرض می‌کنیم بار به طور یکنواخت روی حلقه توزیع شده باشد. اگر یک بار نقطه‌ای منفی q را در مرکز حلقه قرار دهیم، نیروی وارد بر آن صفر خواهد بود، زیرا فاصله بار منفی q از تمام نقاط یکسان است و از هر طرف نیروی



شکل (۸ ـ ۴۶)

مساوی بر آن وارد می‌شود. اکنون اگر بار q را روی محور حلقه، از مرکز آن دور کنیم دیگر برآیند نیروهای وارد بر q صفر نیست. در شکل (۸ ـ ۴۶) نیروی قسمت کوچکی از بار حلقه، dQ بر بار q نشان داده شده است که چون علامت بارهای Q و q مخالف هم هستند، نیروی dF، جاذبه است. این نیرو را به دو مؤلفه $dF_\perp$، عمود بر محور حلقه و $dF_\parallel$، منطبق بر محور حلقه تجزیه کرده‌ایم. اگر نیروی مربوط به قسمت‌های دیگر بارحلقه بر بار q را درنظر بگیریم و آنها را نیز به مؤلفه‌های عمود بر محور حلقه و منطبق بر آن تجزیه کنیم، برآیند نیروهای وارد بر بار q، منطبق بر محور حلقه و به طرف مرکز حلقه خواهد بود. زیرا، برآیند نیروهای عمود بر محورحلقه، به علت تقارن، صفر خواهند شد. این نیرو که به علت دور کردن بار q از مرکز حلقه به وجود آمده است، بار q را به طرف مرکز حلقه می‌راند. اگر بار q را از طرف دیگر نیز از مرکز حلقه دور کنیم، همین اتفاق رخ خواهد داد. بنابراین بار q در راستای محور حلقه دارای تعادل پایدار است یعنی از هر طرف که آن را از تعادل خارج کنیم، به طرف نقطه تعادل برمی‌گردد.

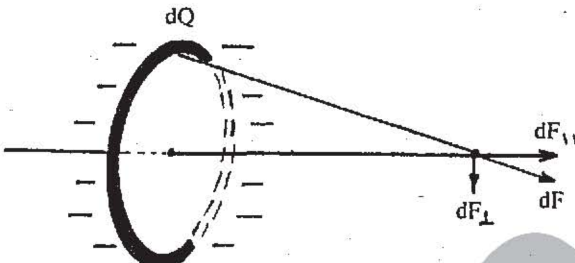
در شکل (۸ ـ ۴۷) همان حلقه با بار مثبت Q نشان داده شده است. اکنون اگر بار منفی q را در راستای شعاع حلقه از مرکز دور کنیم، دیگر نیروی وارد بر آن صفر نخواهد بود. زیرا بار q به قسمتی از بار مثبت حلقه نزدیکتر شده و از قسمتی دیگر دور شده است. در این حالت قسمت بزرگتر نیروی جاذبه بزرگتری بر بار q وارد می‌کند و آن را به طرف خود می‌کشد. با کشیده شدن بار q به یک طرف، نیروی جاذبه بزرگتری بر آن وارد شده و بیشتر آن را از مرکز دور می‌کند. بنابراین در راستای شعاع، بار q تعادل ناپایدار دارد زیرا با خارج کردن از حالت تعادل در مرکز، دیگر به مرکز حلقه یعنی نقطه تعادل باز نخواهد گشت. به این ترتیب بار مثبت حلقه و بار نقطه‌ای منفی در مرکز حلقه، در راستای محور حلقه دارای تعادل پایدار و در راستای شعاع حلقه دارای تعادل ناپایدار است.



شکل (۸ ـ ۴۷)

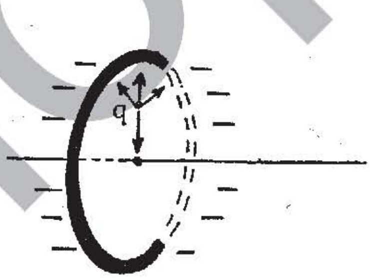
اگر بار Q منفی و بار q مثبت باشد، نیز همین وضعیت رخ می‌دهد. در نتیجه پاسخهای (ب) و (د) درست است. اکنون پاسخهای (الف) و (ج) را بررسی می‌کنیم.

در شکل (۸ ـ ۴۸) یک حلقه با بار منفی Q نشان داده شده است. اگر بار نقطه‌ای منفی q را در مرکز حلقه قرار دهیم، برآیند نیروهای وارد بر بار q صفر است و q در مرکز حلقه در تعادل خواهد بود. اگر q را روی محور از مرکز دور کنیم، برآیند نیروهای وارد بر آن دیگر صفر نیست. از



شکل (۸ ـ ۴۸)

شکل (۸ ـ ۴۸) و باتوجه به توضیحات پیش پیداست که نیروی وارد بر بار q، روی محور حلقه است اما جهت آن طوری است که بار q را از مرکز حلقه دور می‌کند. اگر بار q به طرف دیگر مرکز حلقه برده شود، باز هم همین اتفاق رخ می‌دهد. به این ترتیب تعادل بار q در مرکز حلقه در راستای محور حلقه، تعادل ناپایدار است زیرا با خارج کردن بار از تعادل، دیگر بار q به نقطه تعادل برنمی‌گردد. اگر بار q را روی شعاع حلقه جا به جا کنیم، باتوجه به شکل (۸ ـ ۴۹) نیروهای وارد بر بار q آن را به طرف مرکز حلقه برمی‌گردانند. دراینصورت بار q در راستای شعاع دارای تعادل پایدار است زیرا اگر آن را در این راستا از تعادل خارج کنیم، به طرف نقطه تعادل برمی‌گردد. اگر بار Q و q هر دو مثبت باشند نیز همین اتفاق خواهد افتاد.

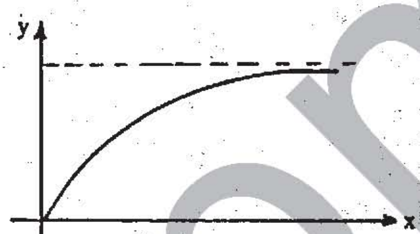


شکل (۸ ـ ۴۹)

بنابراین پاسخهای (الف) و (ج) تعادل موردنظر را ایجاد نمی‌کند و در نتیجه درست نیستند.

جهت میدان مغناطیسی در همه مدارها براین اساس تعیین و روی شکل مشخص شده است. در مدار (الف) میدان مغناطیسی هر دو قسمت سیم‌پیچ هم جهت است، بنابراین شار مغناطیسی آنها برهم افزوده می‌شود. در این مدار شار مغناطیسی متناسب با $۷۲ = ۲ \times ۶^۲$ است. در مدار (ب) شار مغناطیسی متناسب با $۱۶ = ۱ \times ۴^۲$ است. در مدار (ج) شار مغناطیسی دو قسمت سیم‌پیچ از هم تفریق می‌شود و چون تعداد حلقه‌ها در دو قسمت یکسان است، شار مغناطیسی صفر است. در مدار (د) شار مغناطیسی متناسب $۳۶ = ۱ \times ۶^۲$ است. در مدار (ه) شار دو قسمت بالا و راست سیم‌پیچ به دلیل ناهم‌جهت بودن میدان مغناطیسی در آن دو قسمت یکدیگر را خنثی می‌کنند و تنها شار مربوط به قسمت سمت چپ می‌ماند که متناسب با $۸ = ۲ \times ۲^۲$ است. به این ترتیب بیشترین شاری که از هسته، آهنی می‌گذرد، مربوط به مدار (الف) است.

۱۴ـ شکل (۸ ـ ۹) مجدداً در شکل (۸ ـ ۵۱) رسم شده است. اکنون درستی یا نادرستی هریک از سؤالها را بررسی می‌کنیم.

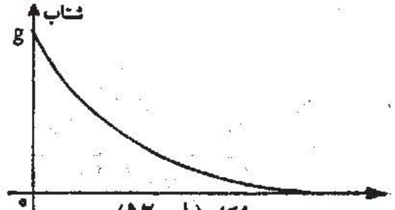


شکل (۸ ـ ۵۱)

الف ـ هنگامی که یک چترباز از ارتفاع بالا به پایین می‌پرد، در آغاز سرعت وی صفر است. دراین حالت تنها نیروی وارد بر چتربازنیروی وزن او رو به پایین است. این نیرو به چترباز شتاب داده و سرعت رو به پایین او زیاد می‌شود. دراینجانیروی مقاومت هوانیزدرکارمی‌آیدولی مقدارآن کوچک است زیرا نیروی مقاومت به سرعت بستگی دارد و در ابتدا سرعت کوچک است. در این حالت نیروی وزن از مقاومت بیشتر است و هنوز چترباز به طرف پایین شتاب دارد و سرعتش زیادتر می‌شود. با گذشت زمان دائماً سرعت زیاد می‌شود و بر مقاومت هوا افزوده می‌شود و درنتیجه برآیند نیروهای وارد بر چتربازکوچکتر می‌شود و افزایش سرعت، کمتر می‌شود. هنگامی که نیروی مقاومت هوا با نیروی وزن برابر شود، شتاب چترباز صفر شده و سرعت دیگر تغییر نمی‌کند. این سرعت را سرعت حد می‌نامند. به این ترتیب سرعت چترباز از صفر شروع و به تدریج تا حد معینی زیاد شده و از آن پس، سرعت ثابت می‌ماند. بنابراین نمودار تغییرات سرعت چترباز برحسب زمان نموداری مشابه شکل

(۸ ـ ۵۱) خواهد بود و سؤال (الف) درست است.

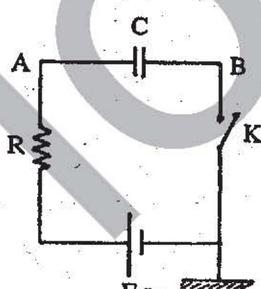
ب ـ همان‌طور که در قسمت قبل توضیح داده شد، ابتدا تنها نیروی وزن بر چترباز وارد می‌شود و شتاب g به وی می‌دهد. بنابراین در لحظه $t = 0$، شتاب چترباز صفر نیست. با افزایش نیروی مقاومت هوا، برآیند نیروهای وارد بر چترباز کوچک و درنتیجه شتاب وی کمتر می‌شود و سرانجام شتاب به صفر می‌رسد. بنابراین نمودار تغییرات شتاب چترباز برحسب زمان، مانند شکل (۸ ـ ۵۲) خواهد بود. درنتیجه سؤال (ب) درست نیست.



شکل (۸ ـ ۵۲)

ج ـ هنگامی که گلوله فلزی را داخل آتش قرار می‌دهیم، دمای آتش بسیار بالا و دمای گلوله پایین است. به علت تفاوت دمای بسیار زیاد میان آتش و گلوله، گرما با سرعت زیادی به گلوله منتقل می‌شود. گرمای منتقل شده به گلوله، دمای آن را بالا می‌برد و درنتیجه از تفاوت دمای آتش و گلوله کاسته می‌شود. به این علت سرعت انتقال گرما از آتش به گلوله کم می‌شود و افزایش دمای گلوله کندتر انجام می‌شود. با دریافت گرمای بعدی و باافزایش دمای گلوله، سرعت انتقال گرما به گلوله باز هم کمتر می‌شود. سرانجام هنگامی که دمای گلوله با آتش یکسان شد، انتقال گرما متوقف و دمای گلوله در مقدار مشخصی ثابت می‌شود. به این ترتیب دمای گلوله از مقدار کمی شروع و به تدریج تا یک مقدار نهایی بالا می‌رود و در آغاز افزایش دما سریع و در لحظات نهایی افزایش دما کند خواهد بود و نمودار تغییرات دما برحسب زمان مشابه نمودار (۸ ـ ۵۱) خواهد بود. بنابراین سؤال (ج) درست است.

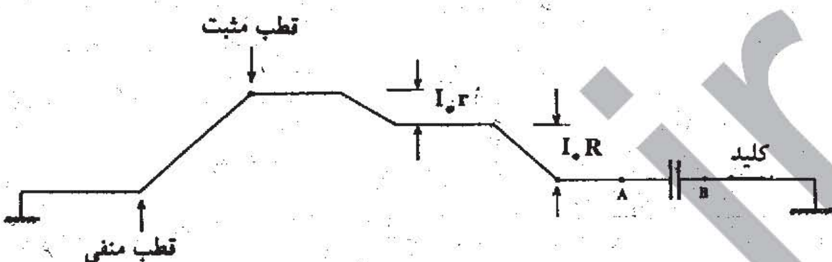
د ـ شکل (۸ ـ ۱۰) مجدداً در شکل (۸ ـ ۵۳) رسم شده است. قطب منفی باتری را به زمین وصل کرده و پتانسیل آن را صفر فرض می‌کنیم. چون در ابتدا خازن بار الکتریکی ندارد، اختلاف پتانسیل آن صفر است، یعنی نقطه A و نقطه B هم پتانسیل هستند و درنتیجه پتانسیل نقطه A نیز صفر است. بنابراین در ابتدا جریان مدار از رابطه زیر به دست می‌آید:



شکل (۸ ـ ۵۳)

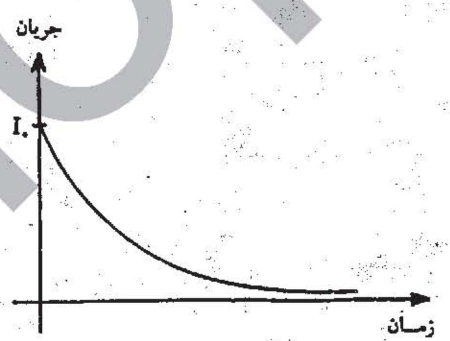
$$I_0 = \frac{E}{R + r}$$

نمودار پتانسیل نقاط مختلف مدار در شکل (۸ ـ ۵۴) نشان داده شده است.



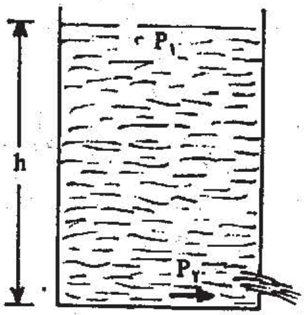
شکل (۸ ـ ۵۴)

با عبور جریان از مدار، بارالکتریکی روی صفحات خازن انباشته می‌شود و اختلاف پتانسیل خازن که قبلاً صفر بود، افزایش می‌یابد. چون یک صفحه خازن به پتانسیل ثابت صفر متصل است، با افزایش بار خازن و درنتیجه اختلاف پتانسیل میان صفحات آن، باید پتانسیل نقطه A بالا رود. با بالا رفتن پتانسیل نقطه A و توجه به اینکه پتانسیل قطب مثبت باتری در شکل (۸ ـ ۵۴) مقدار ثابتی است، باید جریان مدار از مقدار $I_{\circ}$ کمتر شود. جریان مدار باز هم بر بار صفحات خازن می‌افزاید و پتانسیل نقطه A را بالاتر می‌برد و جریان مدار باز هم کمتر می‌شود. هنگامی بار خازن به حدی افزایش یافت که پتانسیل نقطه A با پتانسیل قطب مثبت باتری یکسان شد، جریان مدار متوقف می‌شود. بنابراین جریان مدار از بیشترین مقدار $I_{\circ}$ شروع شده و با گذشت زمان کم شده و به صفر می‌رسد. نمودار جریان مدار برحسب زمان در شکل (۸ ـ ۵۵) رسم شده است که با شکل (۸ ـ ۵۱) یکسان نیست. بنابراین سؤال (د) درست نیست.



شکل (۸ ـ ۵۵)

هـ ـ یک مخزن آب که در پایین آن سوراخ کوچکی وجود دارد در شکل (۸ـ۵۶) نشان داده شده است. فشار در سطح آب را p_1 و در پایین مخزن p_2 می‌گیریم. اگر چگالی آب را ρ فرض کنیم، داریم:



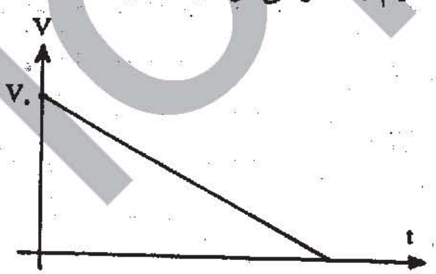
$$\Delta p = p_2 - p_1 = \rho gh$$

شکل (۸ ـ ۵۶)

چون سطح آب با هوای آزاد ارتباط دارد، $p_1 = p_0$ است که p_0 فشار جو است. بنابراین:

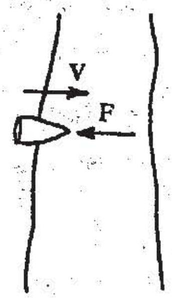
$$p_2 = p_0 + \rho gh$$

به این ترتیب هرچه ارتفاع آب در مخزن زیادتر باشد، فشار در پایین آن مخزن بیشتر خواهد بود. هنگامی که در پایین مخزن سوراخی ایجاد کنیم، آب از آن با سرعت V بیرون می‌ریزد. می‌توان نشان داد که هرچه فشار p_2 بیشتر باشد، سرعت بیرون ریختن آب بیشتر است. در ابتدا که مخزن پر است، p_2 و در نتیجه V بیشترین مقدار خواهد بود. هرچه آب از سوراخ بیرون می‌ریزد، ارتفاع آب و در نتیجه فشار p_2 کمتر می‌شود و آشکار است که سرعت خروج آب از سوراخ کمتر می‌شود. نمودار سرعت بیرون ریختن آب از سوراخ نسبت به زمان در شکل (۸ ـ ۵۷) نشان داده شده است. بنابراین باتوجه به تفاوت آن با شکل (۸ ـ ۵۱) سؤال (هـ) نادرست است.

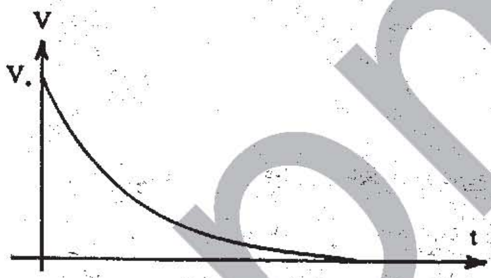


شکل (۸ ـ ۵۷)

و ـ فرض می‌کنیم گلوله‌ای باسرعت V_0 به تنه یک درخت می‌خورد. گلوله با داشتن سرعت در تنه درخت فرومی‌رود. با فرورفتن گلوله در درخت، نیروی مقاومتی از طرف درخت بر گلوله وارد می‌شود که در خلاف جهت حرکت گلوله است و در شکل (۸ ـ ۵۸) نشان داده شده است. اگرچه نیروی F مقدار ثابتی نداشته و به سرعت بستگی دارد و ممکن است شکل بستگی آن به سرعت بسیار پیچیده باشد، ولی جهت آن همواره خلاف جهت سرعت است. بنابراین نیروی F شتابی به گلوله می‌دهد که از سرعت آن می‌کاهد. به‌این ترتیب سرعت گلوله با پیش رفتن در درخت، به تدریج کم شده و سرانجام به صفر می‌رسد و گلوله در درخت ثابت می‌شود. شکل (۸ ـ ۵۹) نمودار تغییرات سرعت گلوله را برحسب زمان نشان می‌دهد که چون با شکل (۸ ـ ۵۱) یکسان نیست، سؤال (و) نادرست است.



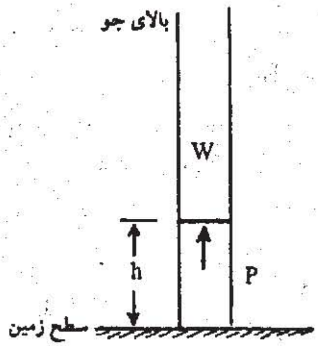
شکل (۸ ـ ۵۸)



شکل (۸ ـ ۵۹)

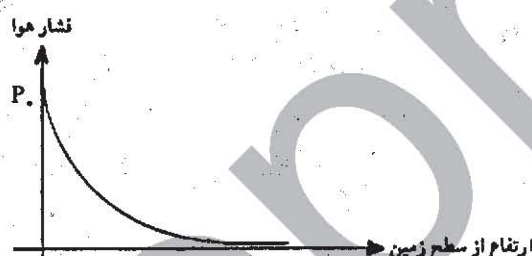
ز ـ هنگامی که یک گلوله را به درخت شلیک می‌کنیم، گلوله تا مقدار معینی در درخت فرو می‌رود. فرض کنید در لحظه $t = 0$ نوک گلوله در تماس با درخت قرار می‌گیرد. در آغاز سرعت گلوله زیاد است و آهنگ پیشروی آن در درخت زیاد است. باگذشت زمان و فرورفتن گلوله در درخت، سرعت گلوله کم می‌شود و آهنگ پیشروی گلوله در درخت کاهش می‌یابد. پس از مدتی سرعت گلوله صفر شده و دیگر در درخت فرو نمی‌رود. بنابراین پیشروی گلوله در درخت با زمان مشابه نمودار (۸ ـ ۵۱) است و به‌این ترتیب سؤال (ز) درست است.

ح ـ ستونی از هوا به سطح مقطع S و ارتفاع از سطح زمین تا بالای جو درنظر می‌گیریم. اگر در نقطه‌ای به ارتفاع h از سطح زمین فشار هوا p باشد، این فشار مربوط به وزن هوای ستونی است که بالای این ارتفاع قرار دارد. به شکل (۸ ـ ۶۰) نگاه کنید. اگر وزن ستون هوایی که بالای ارتفاع h قرار دارد را W بگیریم، فشار هوا در ارتفاع h چنین است: $P = \frac{W}{S}$



شکل (۸ ـ ٦٠)

اگر ارتفاع h را زیادتر بگیریم، آشکار است که وزن ستون هوایی که تا بالای جو قرار دارد، کمتر خواهد شد و درنتیجه با افزایش ارتفاع از سطح زمین فشار هوا کمتر می‌شود. تغییرات فشار هوا برحسب ارتفاع تقریباً مانند شکل (۸ ـ ۶۱) است. چون تغییرات فشار هوا با ارتفاع از سطح زمین با نمودار شکل (۸ ـ ۵۱) تفاوت دارد، پس سؤال (ح) نادرست است.



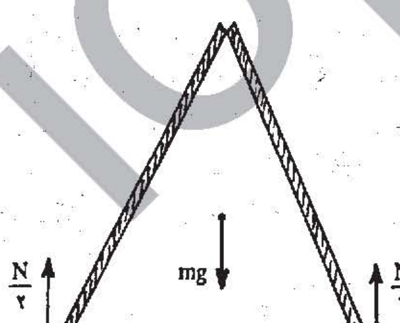
شکل (۸ ـ ٦١)

۱۵ـ الف ـ نردبان دوطرفه در شکل (۸ ـ ۶۲) نشان داده شده است. در راستای قائم نیروهای زیر بر نردبان وارد می‌شود:

۱ـ نیروی وزن نردبان، mg که از محل گرانیگاه بر آن وارد می‌شود.

۲ـ نیروی عمودی سطح زمین، N بر پایه‌های دو نردبان.

در اینجا به نیروی افقی که زمین بر نردبان وارد می‌کند، کاری نداریم. چون نردبان

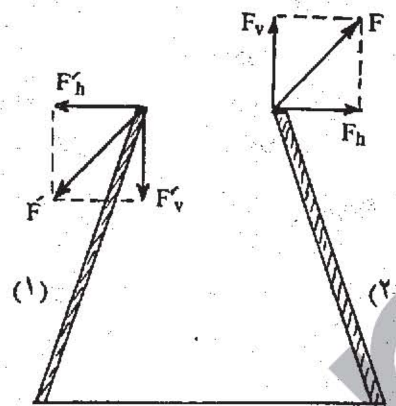


شکل (۸ ـ ٦٢)

درحال تعادل است. باید مجموع نیروهای وارد بر آن در هر راستایی و از جمله راستای قائم صفر باشد. داریم: $mg = N \qquad N = ۲۰ \times ۱۰ = ۲۰۰\ N$

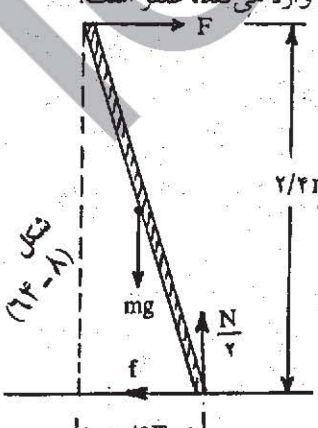
چون دو طرف نردبان کاملاً مشابه است، باید نیروی قائمی که از سطح زمین به پایه هریک از دو نردبان وارد می‌شود مساوی باشد، بنابراین نیروی عمودی سطح زمین بر هر نردبان $\frac{N}{۲} = ۱۰۰\ N$ است.

ب ـ در شکل (۸ ـ ۶۳) دو نردبان از لولا جدا شده و با فاصله کمی نسبت به هم نشان داده شده است. فرض کنید نیرویی که نردبان ۱ در محل لولا بر نردبان ۲ وارد می‌کند، F باشد. این نیرو به دو مؤلفه قائم F_v و افقی F_h تجزیه شده است. عکس‌العمل این نیرو، نیرویی است که نردبان ۲ بر نردبان ۱ وارد می‌کند و در شکل با F' نشان داده شده است. این نیرو نیز به دو مؤلفه قائم و افقی تجزیه شده است. اگر جای دو نردبان را عوض کنیم، نباید تفاوتی به وجود آید زیرا هر دو نردبان کاملاً مشابهند. اما با عوض کردن جای دو نردبان، مؤلفهٔ قائم نیروی وارد بر نردبان ۲ رو به پایین و نردبان ۱ رو به بالا خواهد بود. به این ترتیب عوض کردن جای نردبانها با یکدیگر نیرو را تغییر می‌دهد که درست نیست. تنها در شرایطی که مؤلفه قائم نیروی وارد بر نردبانها در محل لولا صفر باشد، یعنی نردبانها تنها نیروی افقی در محل لولا به هم وارد کنند، این تناقض از میان می‌رود و عوض کردن جای دو نردبان تغییری در نیروی وارد به آنها به وجود نمی‌آورد. بنابراین مؤلفه قائم نیرویی که هریک از دو نردبان در محل لولا به دیگری وارد می‌کند، صفر است.



شکل (۸ ـ ۶۳)

ج ـ نیروهای وارد بر یک نردبان در شکل (۸ ـ ۶۴) نشان داده شده است. چون نردبان درحالت تعادل است، باید گشتاور وارد بر آن حول هر محوری صفر باشد. اگر گشتاور نیروهای وارد بر نردبان را حول لولا حساب کنیم، داریم:



شکل (۸ ـ ۶۴)

$$f \times ۲/۴ = \frac{N}{۲} \times ۰/۶ + mg \times \frac{۰/۶}{۲}$$

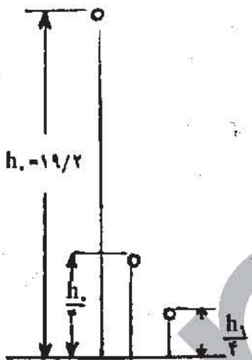
$$f = \frac{۱۰۰ \times ۰/۶ + ۲۰۰ \times ۰/۳}{۲/۴} = ۲۵N$$

د ـ با توجه به شکل (۸ ـ ۶۴)، چون نردبان درحال تعادل است، باید برآیند نیروهای افقی وارد بر آن صفر باشد. داریم:

$$f = F \rightarrow F = ۲۵N$$

۱۶ـ گلوله‌ای که در ارتفاع معینی نسبت به زمین قرار دارد، دارای انرژی پتانسیل گرانشی معینی است. هنگامی که گلوله رها می‌شود، به طرف زمین سرعت می‌گیرد و در لحظه تماس با زمین، تمام انرژی پتانسیل گرانشی آن به انرژی جنبشی تبدیل می‌شود. اگر در برخورد با زمین، انرژی تلف نشود، گلوله به همان ارتفاع اولیه برمی‌گردد و مجدداً تمام انرژی، به انرژی پتانسیل گرانشی تبدیل می‌شود. اگر در برخورد گلوله به زمین انرژی تلف شود، گلوله تا ارتفاع کمتری برمی‌گردد. انرژی پتانسیل گرانشی جسمی به جرم m و در ارتفاع h، چنین است:

$$U = mgh$$



شکل (۸ ـ ۶۵)

اگر انرژی تلف شود، در برگشت باید h کمتر شود زیرا m و g مقادیر ثابتی دارند. چون در هر برخورد گلوله با زمین $\frac{۳}{۴}$ انرژی آن تلف می‌شود، بنابراین پس از هر برخورد، تنها $\frac{۱}{۴}$ انرژی قبلی گلوله باقی می‌ماند و ارتفاعی که گلوله برمی‌گردد، $\frac{۱}{۴}$ ارتفاع قبلی است. باتوجه به شکل (۸ ـ ۶۵)، مسافتی که گلوله می‌پیماید مجموع مسافتهای زیر است:

$$h_۰ \text{ و } ۲h_۱ = ۲\frac{h_۰}{۴} \text{،} ۲h_۲ = ۲\frac{h_۱}{۴} \text{،} ۲h_۳ = ۲\frac{h_۲}{۴} \ldots\ldots$$

مسافتهای پیموده شده به جز $h_۰$، یک تصاعد هندسی با جمله اولیه $۲h_۱$ و قدر نسبت $\frac{۱}{۴}$ می‌سازند. بنابراین کل مسافت پیموده شده چنین است:

$$\ell = h_۰ + \frac{۲h_۱}{۱ - \frac{۱}{۴}} = ۱۹/۲ + \frac{۹/۶}{۱ - \frac{۱}{۴}} = ۱۹/۲ + ۱۲/۸ = ۳۲m$$

۱۷ـ گازی که بالای ستون جیوه هواسنج است، درحالت اول شرایط زیر را دارد:

$$p_۱ = ۷۶ - ۷۴ = ۲cm\ Hg \quad V_۱ = (۸۹ - ۷۴)S = ۱۵S \quad T_۱ = ۲۷۳ + ۲۷ = ۳۰۰K$$

در شرایط بعدی مشخصات هوای بالای ستون جیوه چنین است:

$$p_۲ = ? \qquad V_۲ = (۸۹ - ۷۵)S = ۱۴S \qquad T_۲ = ۲۷۳ + ۷ = ۲۸۰K$$

چون هوا گاز کامل فرض شده است داریم:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

$$\frac{2 \times 15S}{300} = \frac{P_2 \times 14S}{280} \rightarrow P_2 = 2\text{Cm Hg}$$

چون در حالت دوم ارتفاع ستون جیوه ۷۵Cm است و فشار هوای بالای آن نیز ۲Cm Hg است، پس فشار هوا در حالت دوم چنین است: $P = 2 + 75 = 77 \text{ Cm Hg}$

۱۸ـ یک ظرف آب را درنظر بگیرید که دمای آن با دمای محیط یکسان است. در این حالت ظرف آب و محیط هیچ گرمایی با یکدیگر مبادله نمی‌کنند، زیرا شرط لازم و کافی برای تبادل گرما میان دو جسم، تفاوت دما است.

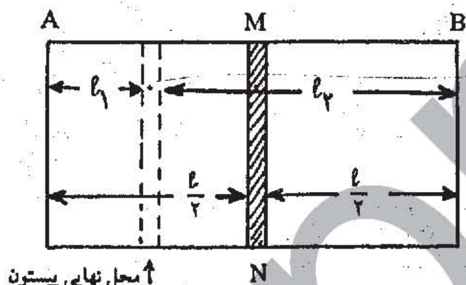
اکنون فرض کنید یک سیم گرمکن برقی در آب قرار داده و آن را روشن می‌کنیم. با این کار دمای آب به تدریج بالا می‌رود . اما پس از بالا رفتن دمای آب نسبت به دمای محیط، ظرف آب مقداری گرما به محیط می‌دهد که مقدار این گرما علاوه بر سایر شرایط به تفاوت دمای آب با محیط بستگی دارد. یعنی هرچه تفاوت دمای ظرف آب و محیط بیشتر باشد، انتقال گرما از ظرف آب به محیط بیشتر می‌شود. بنابراین با گذراندن جریان الکتریکی از سیم‌گرمکن، آب از یک طرف از سیم گرمکن گرما می‌گیرد که مقدار آن به توان سیم گرمکن بستگی دارد و از طرف دیگر به محیط گرما می‌دهد. در آغاز کار که دمای آب چندان بالا نرفته است، گرمایی که آب به محیط می‌دهد، زیاد نیست و از گرمایی که از سیم گرمکن می‌گیرد کمتر است. پس آب مقداری گرمای خالص دریافت می‌کند (تفاوت گرمای گرفته از سیم گرمکن و گرمای داده به محیط) و درنتیجه دمای آن بالا می‌رود. با افزایش دمای آب، گرمایی که به محیط می‌دهد، زیادتر می‌شود زیرا تفاوت دمای آن با محیط زیادتر شده است، اما گرمایی که از سیم گرمکن می‌گیرد تفاوتی نکرده است. بنابراین با گذشت زمان آهنگ افزایش دما کمتر می‌شود. تا هنگامی که دمای دریافت شده از سیم گرمکن بیشتر از دمای داده شده به محیط باشد، دمای آب بالا می‌رود و آن را به نقطه جوش نزدیکتر می‌کند. اگر مدت زیادی از روشن کردن سیم گرمکن بگذرد و آب به جوش نیاید، این به معنی آن است که دمای آب افزوده نمی‌شود. عدم افزایش دما نیز به معنای تساوی گرمای دریافت شده با گرمای داده شده توسط آب است. دراین صورت دما ثابت می‌ماند. اکنون اگر سیم گرمکن را خاموش کنیم، آب دیگر گرما از سیم گرمکن نمی‌گیرد ولی همچنان به علت تفاوت دما با محیط گرما

از دست می‌دهد. در مدت کوتاهی پس از خاموش کردن سیم گرمکن، دمای آب چندان پایین نمی‌آید و می‌توان فرض کرد آب همان مقدار گرمایی راکه در هنگام روشن بودن سیم گرمکن از دست می‌داده است، از دست بدهد. گرمای از دست داده نیز با گرمایی که از سیم می‌گرفته مساوی است. پس برای گرمای از دست داده در مدت t ثانیه داریم: $Q = Pt = ۱۰۰t$
این مقدار کاهش گرما باید دمای آب را یک درجه سلسیوس کاهش دهد. پس داریم:

$$Q = ۱۰۰t = mC(\Delta\theta) = ۴ \times ۴۲۰۰ \times ۱$$

$$t = ۱۶۸\ S$$

۱۹ـ مخزن شکل (۸ ـ ۱۳) مجدداً در شکل (۸ ـ ۶۶) نشان داده شده است. پس از واردکردن گاز در دو طرف پیستون و رها کردن آن، سرانجام پیستون در جایی خواهد ایستاد که فشار دو گاز در دو قسمت مخزن یکسان باشد. این فشار را P می‌گیریم. چون پیستون رسانای گرما است، دمای گاز در دو قسمت مخزن نیز سرانجام برابر خواهد بود که آن را T می‌گیریم. برای هریک از دو گاز، معادله حالت را در ابتدا و نیز پایان جا به جایی پیستون می‌نویسیم:



شکل (۸ـ ٦٦)

$$\text{گاز طرف A} \quad \frac{P_A V_A}{T_A} = \frac{P(\ell_۱ s)}{T}$$

$$\text{گاز طرف B} \quad \frac{P_B V_B}{T_B} = \frac{P(\ell_۲ s)}{T} = \frac{P(\ell - \ell_۱)s}{T}$$

از تقسیم دوطرف رابطه‌های بالا برهم، داریم:

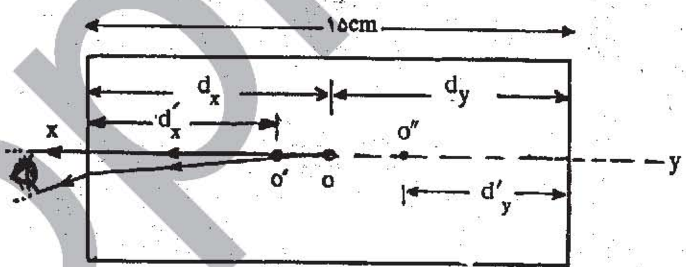
$$\frac{P_A\, V_A\, T_B}{P_B\, V_B\, T_A} = \frac{\ell_۱}{\ell - \ell_۱}$$

بااستفاده از مقادیر عددی، داریم:

$$\frac{۱۰ \times \frac{\ell s}{۲} \times ۱۰۰۰}{۵ \times \frac{\ell s}{۲} \times ۳۰۰} = \frac{\ell_۱}{۴۶ - \ell_۱}$$

$$۱۵۰۰\, \ell_۱ = ۴۶۰۰۰۰ - ۱۰۰۰۰\, \ell_۱ \qquad \ell_۱ = \frac{۴۶۰۰۰۰}{۱۱۵۰۰} = ۴۰ \text{ Cm}$$

۲۰- تیغه شیشه‌ای در شکل (۸ - ۶۷) نشان داده شده است. از نقطه o روی محور xy پرتوهای نور به بیرون تیغه می‌آید و با رسیدن به چشم، نقطه o درون تیغه دیده می‌شود. اگر پرتوهای نور که از نقطه o به چشم می‌رسد، به خط xy بسیار نزدیک باشد، رابطه تقریبی زیر میان d_x فاصله نقطه o تا سطح تیغه و d'_x فاصله تصویر o' از همان سطح وجود دارد.

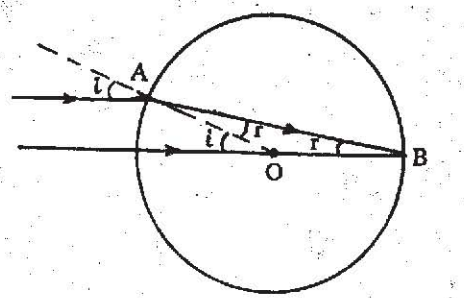


شکل (۸ - ٦٧)

$$\frac{d'_x}{d_x} = \frac{۱}{n} \qquad d'_x = ۶ \rightarrow d_x = \frac{۳}{۲} \times ۶ = ۹ \text{ Cm}$$

اکنون اگر ازطرف y به تیغه نگاه‌کنیم، نقطه o را در o'' و به فاصله d'_y از سطح تیغه خواهیم دید که میان آنها رابطه زیر برقرار است.

$$\frac{d'_y}{d_y} = \frac{۱}{n} \qquad d_y = ۱۵ - ۹ = ۶ \text{ Cm} \qquad d'_y = \frac{۶}{۳/۲} = ۴ \text{ Cm}$$



شکل (۸ ـ ۶۸)

۲۱ـ در شکل (۸ ـ ۶۸) دو پرتو نور که به کره شفاف تابیده، نشان داده شده است. پرتویی که از مرکز کره می‌گذرد، بدون شکست وارد کره می‌شود زیرا این پرتو بر سطح کره عمود است.

پرتو دیگر با زاویه تابش i بر کره تابیده است. زاویهٔ تابش i زاویه‌ای است میان پرتو و خطی که از مرکز کره می‌گذرد، زیرا خط عمود بر سطح کره از مرکز می‌گذرد. زاویه شکست r نیز در شکل نشان داده شده است. در مثلث AOB که متساوی‌الساقین است زاویه خارجی i با مجموع دو زاویه داخلی برابر است و داریم:

$$i = ۲r$$

از قانون شکست داریم:

$$\text{Sin } i = n \text{ Sin } r \qquad n = \frac{\text{Sin } i}{\sin \frac{i}{۲}}$$

اگر باریکه‌ای که به کره تابانده‌ایم، قطر کوچکی داشته باشد، بیشترین زاویه تابش i و درنتیجه زاویه شکست چندان نیست. در این حالت می‌توان به جای Sin i و sin r مقدار آنها را برحسب رادیان قرار داد. پس داریم:

$$n = \frac{i}{\frac{i}{۲}} = ۲$$

به این ترتیب ضریب شکست کره از شعاع کره مستقل است و هر باریکه‌ای که در راستای شعاع به آن بتابد، در نقطه مقابل سطح کره جمع می‌شود.

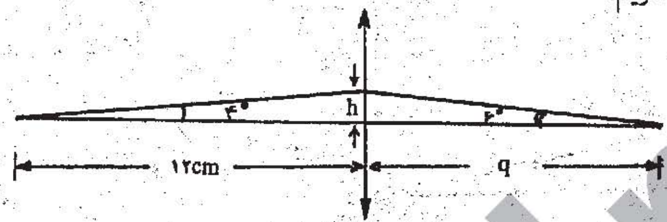
۲۲ـ باتوجه به شکل (۸ ـ ۶۹) داریم:

$$\text{Sin } ۴^\circ = \frac{h}{۱۲}$$

$$\text{Sin } ۶^\circ = \frac{h}{q}$$

چون زاویه‌ها کوچک هستند، می‌توان سینوس آنها را با خود زاویه‌ها (برحسب رادیان) برابر

گرفت درنتیجه داریم:



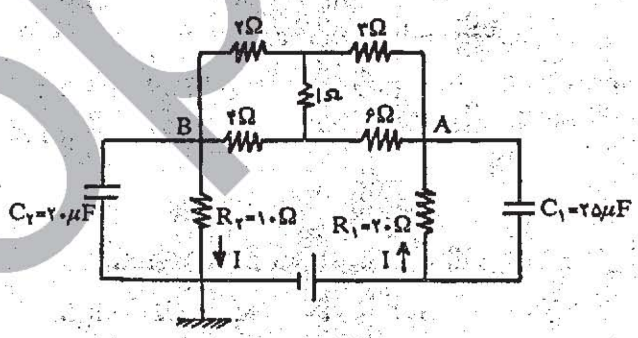
شکل (۸ ـ ۶۹)

$$\frac{h}{۱۲} \times ۱/۵ = \frac{h}{q}$$
$$q = ۸\ Cm$$

به این ترتیب از جسمی به فاصله ۱۲ Cm از عدسی، تصویری در ۸ سانتیمتری آن تشکیل شده است. از رابطه تصویر در عدسیها داریم:

$$\frac{۱}{p} + \frac{۱}{q} = \frac{۱}{f} \qquad \frac{۱}{۱۲} + \frac{۱}{۸} = \frac{۱}{f} \rightarrow f = ۴/۸\ Cm$$

۲۳ـ در مدار شکل (۸ ـ ۷۰) پس از آنکه مدت کافی از اتصال باتری به مدار بگذرد و خازنهای $C_۱$ و $C_۲$ پر شوند، دیگر از آنها جریانی نمی‌گذرد. در این حالت جریان I که از قطب مثبت باتری خارج می‌شود تنها وارد مقاومت $R_۲$ می‌شود و پس از رسیدن به نقطه A در مقاومتها توزیع شده و در نقطه B جمع شده و به همان میزان I وارد مقاومت $R_۱$ می‌شود.باتوجه‌به شکل



شکل (۸ ـ ۷۰)

برای اختلاف پتانسیل دو سر مقاومتهای $R_۱$ و $R_۲$ داریم:

$$V_A = IR_۱ = ۲۰\ I$$
$$V_B = IR_۲ = ۱۰.I$$

از شکل پیداست که اختلاف پتانسیل دو سر خازن $C_۱$ با V_A و اختلاف پتانسیل دو سر

خازن $C_۲$ با V_B برابر است. بنابراین:
$$V_{c_۱} = ۲۰ I \qquad V_{c_۲} = ۱۰ I$$

و برای انرژی در خازن داریم:
$$U_۱ = \frac{۱}{۲} C_۱ V_{c_۱}^{۲} \qquad U_۲ = \frac{۱}{۲} C_۲ V_{c_۲}^{۲}$$

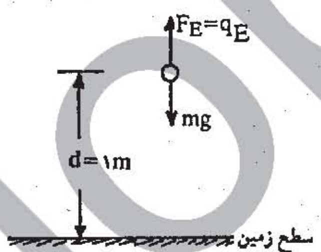
$$\frac{U_۱}{U_۲} = \frac{C_۱ \times (۲۰ I)^۲}{C_۲ \times (۱۰ I)^۲} = \frac{۲۵ \times ۱۰^{-۶} \times ۴۰۰}{۲۰ \times ۱۰^{-۶} \times ۱۰۰} = ۵$$

۲۴ـ اگر سطح کره زمین دارای بار الکتریکی باشد در اطراف آن میدان الکتریکی ایجاد می‌شود. برای به دست آوردن میدان الکتریکی اطراف کره زمین، می‌توان فرض کرد که تمام بار الکتریکی روی سطح زمین در مرکز آن جمع شده است. اگر این بار الکتریکی را Q و شعاع کرهٔ زمین را R فرض کنیم، میدان الکتریکی در سطح زمین چنین است.
$$E = K \frac{Q}{R^۲}$$

اگر نقطه‌ای به ارتفاع h از سطح زمین را درنظر بگیریم، میدان الکتریکی در آن نقطه عبارت است از:
$$E' = K \frac{Q}{(R + h)^۲}$$

اگر h را برابر با یک متربگیریم، به علت آنکه $R = ۶/۴ \times ۱۰^۶ \text{ m}$ است، E' با E تفاوت قابل ملاحظه‌ای ندارد و بنابراین می‌توان با تقریب خوبی فرض کرد در اطراف کره زمین و به فاصله نزدیک از سطح آن، میدان الکتریکی یکنواخت است. در این میدان الکتریکی یکنواخت، اختلاف پتانسیل دو نقطه A و B به فاصله d چنین است:
$$V_A - V_B = Ed$$

اگر قرار باشد یک ذره باردار در میدان الکتریکی اطراف کره زمین معلق بماند، باید مطابق شکل (۸ ـ ۷۱) نیروی وزن آن با نیروی الکتریکی وارد بر آن برابر باشد. داریم:



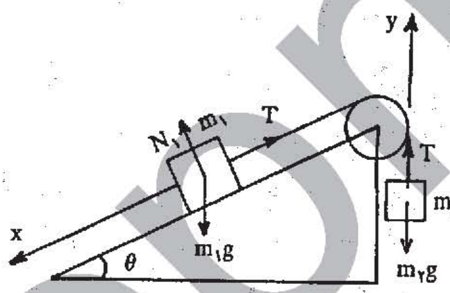
شکل (۸ ـ ۷۱)

$$qE = mg \rightarrow E = \frac{mg}{q}$$
$$V_A - V_B = \frac{mg}{q} d$$
$$V_A - V_B = \frac{۹ \times ۱۰^{-۲۰} \times ۱۰}{۱/۵ \times ۱۰^{-۱۹}} \times ۱ = ۶V$$

۲

حل مسئله‌ها

۱ـ در شکل (۸ – ۷۲) نیروهای وارد بر دو جرم m_1 و m_2 نشان داده شده است. نیروهای T که به دو جرم وارد شده است نیروی کشش نخ است که چون نخ بدون جرم است و نیز نخ با قرقره اصطکاک ندارد، مساوی گرفته شده است (برای توضیح به صفحه ۲۸ مراجعه شود) محور y را در راستای قائم فرض می‌کنیم و برای حرکت جرم m_2 که نیروهای وارد بر آن در راستای این محور است، داریم.



شکل (۸ ـ ۷۲)

$$T - m_2g = m_2a_2 \quad (۲۰ - ۸)$$

محور x را نیز به موازات سطح شیبدار که حرکت جرم m_1 در راستای آن است می‌گیریم و برای حرکت آن داریم.

$$m_1g\sin\theta - T = m_1a_1 \quad (۲۱ - ۸)$$

در رابطه (۸ – ۲۰) a_2 شتاب جرم m_2 در راستای محور y و به طرف بالاست. در رابطه (۸ – ۲۱) a_1 شتاب جرم m_1 و به طرف پایین سطح شیبدار است، زیرا در هر دو رابطه نیروها را با توجه به جهت مثبت انتخاب شده برای محور نوشته‌ایم. آشکار است که به هر اندازه که جرم m_2 بالا رود، جرم m_1 به همان اندازه پایین می‌آید زیرا طول نخ ثابت فرض شده است، پس داریم.

$$a_1 = a_2 \quad (۲۲ - ۸)$$

از سه رابطه بالا داریم:

$$a = \frac{m_1 \sin\theta - m_2}{m_1 + m_2} g \qquad (۲۳ - ۸)$$

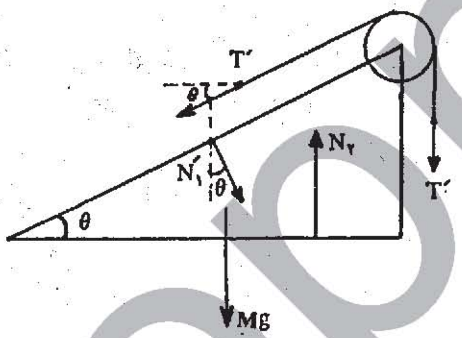
$$T = \frac{m_1 m_2 (1 + \sin\theta)}{m_1 + m_2} g \qquad (۲۴ - ۸)$$

چون جرم m_1 در راستای عمود بر سطح شیبدار حرکتی ندارد، باید نیروهای وارد بر آن در این راستا صفر باشد. باتوجه به شکل (۸ - ۷۲) داریم:

$$N_1 - m_1 g \cos\theta = 0$$

$$N_1 = m_1 g \cos\theta \quad (۲۵ - ۸)$$

در شکل (۸ - ۷۳) نیروهای وارد بر سطح شیبدار و قرقره و نخ روی آن نشان داده شده است. در این شکل Mg نیروی وزن سطح شیبدار و N_2 نیرویی است که کفه نیرو سنج بر آن وارد می‌کند. چون اصطکاک بین اجزای دستگاه صفر فرض شده است، این نیرو عمود بر سطح کفه در نظر گرفته شده است. دو نیروی T' واکنش دو نیروی T است که از طرف دو جرم m_1 و m_2 بر نخ وارد می‌شود و N'_1 نیز واکنش نیروی N_1 است که از طرف جرم m_1 برسطح شیبدار وارد می‌شود.



شکل (۸ - ۷۳)

سطح شیبدار حرکتی ندارد، یعنی شتابش صفر است. چون نخ با قرقره اصطکاک ندارد، قرقره نیز نمی‌گردد، بنابراین شتاب قرقره نیز صفر است و علاوه بر آن جرم نخ نیز صفر است. به این ترتیب باید برآیند نیروهای وارد بر مجموعه سطح شیبدار صفر باشد. اگر این برآیند را در راستای قائم به دست آوریم، داریم:

$$N_2 - Mg - N'_1 \cos\theta - T' - T' \sin\theta = 0$$

$$N_2 = Mg + N'_1 \cos\theta + T' (1 + \sin\theta) \qquad (۲۶ - ۸)$$

چون T' و N'_1 به ترتیب با T و N_1 مساوی هستند، می‌توان مقدار آنها را از رابطه‌های (۸ - ۲۴) و (۸ - ۲۵) در رابطه بالا قرار دارد. داریم:

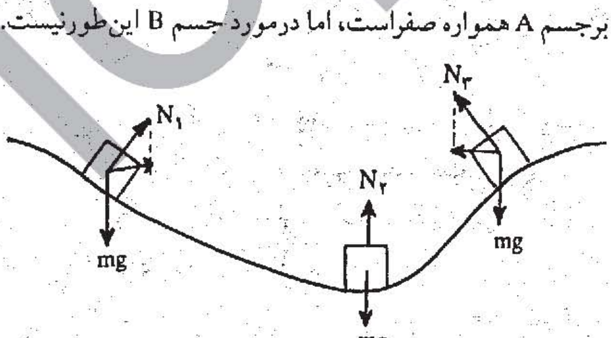
$$N_2 = Mg + m_1 g \cos^2\theta + \frac{m_1 m_2 (1 + \sin^2\theta)}{m_1 + m_2} g \quad (۲۷ - ۸)$$

واکنش N_2، نیرویی است که سطح شیبدار بر کفه نیروسنج وارد می‌کند و نیروسنج عددی برابر این نیرو را نشان می‌دهد. چون واکنش نیروی N_2 با خود آن هم اندازه است، پس نیروسنج عددی را که از رابطه (۸ - ۲۷) به دست می‌آید، نشان می‌دهد.

از رابطه (۸ - ۲۳) پیداست که اگر $m_1 \sin\theta > m_2$ باشد، شتاب حرکت مثبت است، یعنی همان طور که ما فرض کرده‌ایم، جرم m_2 بالا رفته و جرم m_1 روی سطح شیبدار پایین می‌آید. در حالی که اگر $m_1 \sin\theta < m_2$ باشد شتاب حرکت منفی است و برخلاف آنچه فرض کرده‌ایم، جرم m_2 پایین آمده و جرم m_1 روی سطح شیبدار بالا می‌رود. در این حال اندازه شتاب همان است که از رابطه یاد شده به دست می‌آید. توجه شود که مثبت یا منفی بودن شتاب تغییری در نیروی N_2 و درنتیجه عددی که نیروسنج نشان می‌دهد ندارد. این به آن دلیل است که در نیروی N_2 غیر از نیروهای مشخص دیگر تنها نیروی T دخالت دارد و این نیرو نیز به کوچک و بزرگ بودن m_1 و m_2 نسبت به یکدیگر بستگی ندارد.

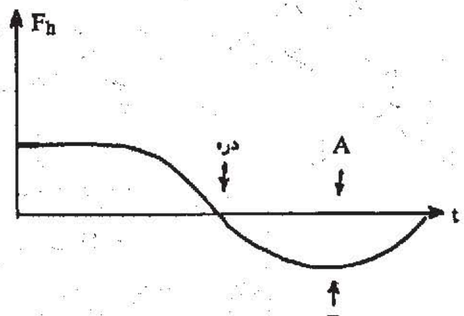
-۲

الف) بر هرکدام از دو جسم A و B دو نیرو، یکی از طرف کرهٔ زمین، وزن و دیگری نیرویی از طرف سطح تکیه‌گاه وارد می‌شود. چون نیروی وزن در هر دو مورد قائم است، بنابراین نیروی وزن، مؤلفه‌ای در راستای افقی ندارد. علاوه بر آن چون میان هر دو جسم با سطح، اصطکاک وجود ندارد، نیرویی که سطح بر هر یک از دو جسم وارد می‌کند، بر سطح تکیه‌گاه عمود است (اگر نیروی سطح برسطح عمودنباشد، مؤلفه‌ای مماس برسطح دارد که‌همان نیروی اصطحکاک است)بنابراین نیروی افقی وارد برجسم A همواره صفراست، اما درمورد جسم B این‌طورنیست. در شکل (۸ - ۷۴) جسم B در سه موقعیت از مسیر خود نشان داده شده است. اگر جهت مثبت محور افقی را به راست بگیریم، همان‌طور که از شکل



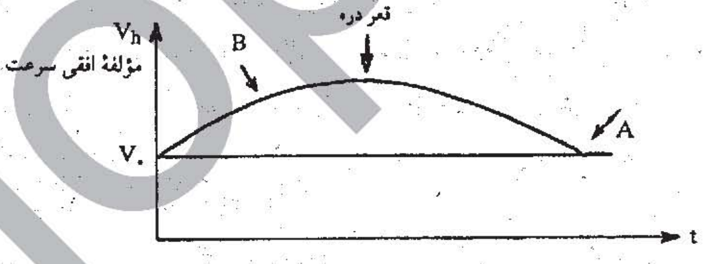
شکل (۸ - ۷۴)

پیداست نیروی افقی وارد برجسم B در ابتدای مسیر تا درّه مثبت، در قعر درّه صفر و از قعر درّه تا پایان مسیر منفی است. بنابراین نمودار مؤلفهٔ افقی نیروی وارد برجسم به‌ترتیبی است که در شکل (۸ – ۷۵) نشان داده شده است.



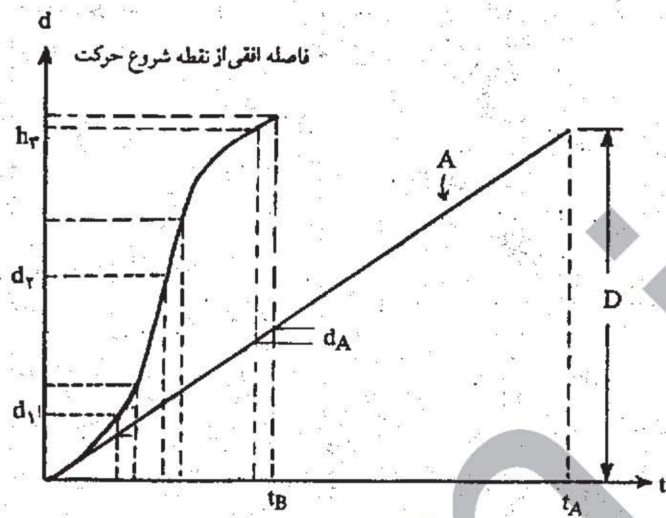
شکل (۸ ـ ۷۵)

ب) چون در تمام طول مسیر هیچ نیروی افقی برجسم A وارد نمی‌شود. حرکت آن یکنواخت بوده ومؤلفهٔ افقی سرعت جسم A در تمام طول مسیر ثابت و برابر V_0 خواهد بود.باتوجه به شکل (۸ – ۷۴)، در تمام مدتی که جسم B به طرف قعر درّه می‌رود، نیروی افقی در همان جهت سرعت به آن وارد می‌شود. این نیروی افقی، شتابی افقی به جسم B می‌دهد که بر سرعت آن می‌افزاید. بنابراین در فاصله ابتدای درّه تا قعر آن دائماً بر سرعت افقی جسم B افزوده می‌شود.
هنگامی که جسم B از قعر درّه به بالا می‌رود، نیروی افقی منفی که در خلاف جهت مؤلفهٔ افقی سرعت آن است برجسم B وارد می‌شود. این نیرو شتابی به جسم B می‌دهد که دائماً اندازه مؤلفهٔ افقی سرعت آن راکم می‌کند. بنابراین مؤلفهٔ افقی سرعت دو جسم A و B برحسب زمان، مشابه شکل (۸ – ۷۶) خواهد بود.



شکل (۸ ـ ٧٦)

ج) چون جسم A تمام مسیر را با سرعت یکنواخت V_0 می‌پیماید، فاصله افقی آن از نقطه شروع حرکت به طور خطی با زمان تغییر می‌کند. ولی جسم B در نیمه اول مسیر دائماً بر مؤلفهٔ افقی سرعتش اضافه می‌شود و بنابراین در یک فاصله زمانی مساوی فاصله افقی بیشتری را



شکل (۸ ـ ۷۷)

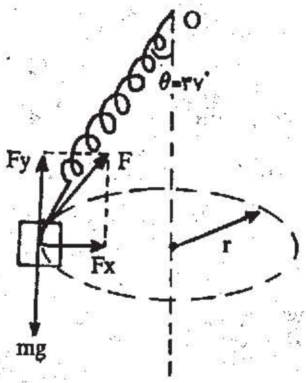
مـــی‌پیماید و بـــه علت زیاد شدن مؤلفه افقی سرعت، در فـــاصله‌های زمـــانی مساوی بـــعدی، بـــاز هـــم فاصله افقی بیشتری می‌پیماید. در نیمه دوم مسیر، باز هم مؤلفه افقی سرعت جسم B از سرعت جسم A بیشتر است ولی چون مرتّب از این مؤلفه سرعت کم می‌شود، با گذشت زمان در یک فاصلهٔ زمانی معیّن فاصله‌های افقی کمتری را می‌پیماید. بنابراین نمودار فاصله افقی دو جسم از نقطه شروع حرکت نسبت به زمان، مشابه شکل (۸ – ۷۷) خواهد بود. فاصله افقی که جسم B در سه زمان کوتاه مساوی می‌پیماید در شکل با $d_۱$، $d_۲$، $d_۳$ نشان داده شده است. در همین مدت زمان کوتاه جسم A، فاصله افقی d_A را پیموده است. در ابتدا که مؤلفهٔ افقی سرعت جسم B چندان زیاد نشده است، $d_۱$ با d_A چندان تفاوت ندارد ولی با گذشت زمان که مؤلفهٔ افقی سرعت جسم B زیادتر می‌شود، فاصله افقی $d_۲$ که در همان مدت زمان طی می‌شود، بیشتر شده است. در پایان مسیر که دوباره مولفه افقی سرعت جسم B کم می‌شود، فاصله افقی $d_۳$ که آنهم در همان مدت زمان طی شده کمتر شده است.

د) آشکار است که جسم B و جسم A هر دو فاصله افقی یکسانی را تا رسیدن به پایان مسیر می‌پیمایند. ولی چون سرعت افقی جسم B در تمام مسیر از سرعت افقی جسم A بیشتر است، جسم B زودتر به پایان مسیر می‌رسد. از شکل (۸ – ۷۷) نیز همین بر می‌آید زیرا یک فاصله افقی معین مثلاً D، توسط جسم A در مدت t_A و توسط جسم B در مدت t_B که کوچکتر از t_A است، پیموده شده است.

۳ـ در شکل (۸ ـ ۷۸) نیروهای وارد برجسم m نشان داده شده است. نیروی mg از طرف کره‌زمین و نیروی F از طرف فنر برجسم وارد شده است. نیروی کشسانی F را روی دو محور قائم و محور افقی تصویر می‌کنیم. داریم:

$F_y = F\cos\theta \quad F_x = F\sin\theta$

چون جسم روی یک دایره می‌گردد و حرکتش دایره‌ای یکنواخت است، شتاب آن، شعاعیً و به طرف مرکز دایره است. بنابراین برآیند نیروهای وارد برجسم باید در راستای شعاع و به طرف مرکز دایره باشد.از طرفی در راستای قائم شتاب صفر است و باید برآیند نیروهای وارد برجسم در راستای قائم صفر باشد. داریم:



شکل (۸ ـ ۷۸)

$F \times ۰/۸ = mg = ۲ \times ۱۰ \Rightarrow F = ۲۵\ N$

این نیرو سبب افزایش طول فنر می‌شود. با استفاده از قانون هوک داریم:

$F = K\Delta\ell \longrightarrow \Delta\ell = \frac{۲۵}{۲۵۰} = ۰/۱\ m$

چون‌طول‌اولیه‌فنر $\ell_\circ = ۰/۳\ m$ بوده‌است، هنگامی که‌فنر کش می‌آید، طول آن چنین خواهد بود:

$\ell = \ell_\circ + \Delta\ell = ۰/۳ + ۰/۱ = ۰/۴\ m$

از شکل (۸ ـ ۷۸) پیداست که نیروی F_x در راستای شعاع دایره‌ای است که جسم روی آن می‌گردد و این نیرو شتاب شعاعی را به وجود می‌آورد. داریم:

$F\sin\theta = mr\omega^۲ = m(\ell\sin\theta)\,\omega^۲$

$۲۵ \times ۰/۶ = ۲ \times (۰/۴ \times ۰/۶)\,\omega^۲$

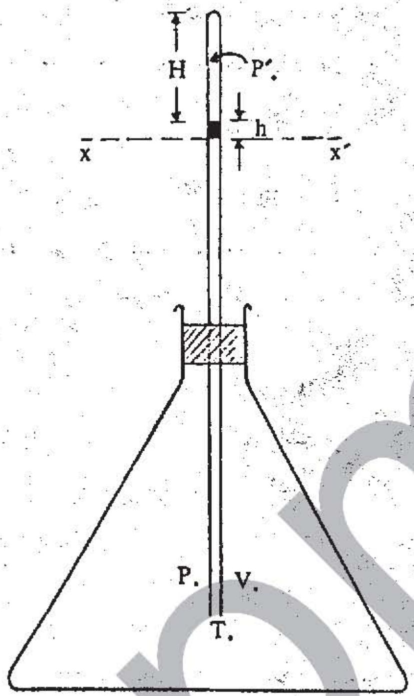
$\omega^۲ = \frac{۲۵}{۰/۸} = ۳۱/۲۵$

$w = \sqrt{۱۳/۲۵} = ۵/۶\ Rad/s$

با داشتن ω، می‌توان دوره حرکت جسم روی دایره را از رابطه زیر به دست آورد.

$T = \frac{۲\pi}{\omega} = \frac{۲ \times ۳/۱۴}{۵/۶} = ۱/۱۲\ s$

۴ ـ دماسنج موردنظر در شکل (۸ ـ ۷۹) نشان داده شده است. حجم و فشار گاز درون ظرف را در دمای $T_\circ$، با $V_\circ$ و $P_\circ$ نشان می‌دهیم. فشار هوای بالای ستون جیوه را نیز $P'_\circ$ می‌گیریم. اگر دمای هوای درون ظرف به اندازه ΔT تغییر کرده باشد، برای فشار و حجم جدید آن با استفاده از رابطه گاز کامل داریم:



شکل (۸ ـ ۷۹)

$$\frac{P_\circ V_\circ}{T_\circ} = \frac{PV}{T_\circ + \Delta T} \quad (۸ - ۲۸)$$

در رابطهٔ بالا P و V به‌ترتیب فشار و حجم گاز درون ظرف پس از تغییر دما است. چون تغییر حجم هوای درون ظرف نسبت به حجم آن کوچک فرض شده است، می‌توان با تقریب خوبی V را با $V_\circ$ برابر گرفت. بنابراین از رابطه (۸ ـ ۲۸) داریم:

$$P = P_\circ \frac{T_\circ + \Delta T}{T_\circ} \quad (۸ - ۲۹)$$

از رابطه (۸ ـ ۲۹) می‌توان تغییر فشار هوای درون ظرف را به دست آورد.

$$\Delta P = P - P_\circ = P_\circ \left(\frac{T_\circ + \Delta T}{T_\circ} - 1\right) = P_\circ \frac{\Delta T}{T_\circ} \quad (۸ - ۳۰)$$

تغییر حجم هوای درون ظرف سبب تغییر حجم هوای بالای ستون جیوه خواهد شد. چون انتقال گرما از هوای درون ظرف به هوای بالای ستون جیوه ناچیز فرض شده است، دمای هوای بالای ستون جیوه ثابت درنظر گرفته می‌شود و داریم:

$$P'_\circ \times HS = P'(H + \Delta H)S \qquad P' = P'_\circ \frac{H}{H + \Delta H} \quad (۸ - ۳۱)$$

در رابطه (۸ ـ ۳۱) ΔH تغییر ارتفاع هوای بالای ستون جیوه و S سطح مقطع لوله است. تغییر

فشار هوای بالای ستون جیوه چنین است:

$$\Delta P' = P' - P'_\circ = P'_\circ \left(\frac{H}{H+\Delta H} - 1\right) = P'_\circ \frac{-\Delta H}{H+\Delta H} \qquad (۸ - ۳۲)$$

با استفاده از شکل (۸ ـ ۷۹) می‌توان دریافت که در هر دمایی فشار هوای درون ظرف برسطح پایینی ستون جیوه باید با مجموع فشار هوای بالای ستون جیوه و نیز فشاری که خود ستون جیوه ایجاد می‌کند، برابر باشد. در دمای $T_\circ$ داریم:

$$P_\circ = P'_\circ + \rho gh \qquad (۸ - ۳۳)$$

پس از تغییر دما نیز باید مشابه رابطهٔ بالا برقرار باشد و داریم:

$$P = P' + \rho gh \qquad (۸ - ۳۴)$$

اگر طرفین رابطه‌های (۸ ـ ۳۳) و (۸ ـ ۳۴) را از هم کم کنیم، نتیجه زیر به‌دست می‌آید.

$$P - P_\circ = P' - P_\circ \rightarrow \Delta P = \Delta P' \qquad (۸ - ۳۵)$$

رابطه (۸ ـ ۳۵) را به‌روش دیگری نیز می‌توان به دست آورد. چون ستون جیوه همواره در حالت تعادل است، تغییر فشار در یک طرف، ستون جیوه را به طرفی خواهد راند تا مجدداً به حالت تعادل برسد. در این حالت هر تغییری که در فشار یک طرف ایجاد شده باشد، مثلاً مقداری برفشار افزوده شده باشد، باید همان تغییر فشار در طرف دیگر نیز به وجود آمده باشد، یعنی فشار طرف دیگر نیز به‌همان اندازه افزوده شده باشد.

اکنون با استفاده از رابطه‌های (۸ ـ ۳۰)، (۸ ـ ۳۲) و با توجه به رابطه (۸ ـ ۳۵) داریم:

$$P'_\circ \frac{-\Delta H}{H+\Delta H} = P_\circ \frac{\Delta T}{T_\circ}$$

$$-P'_\circ T_\circ \Delta H = HP_\circ \Delta T + P_\circ \Delta H \Delta T$$

$$\Delta H (P'_\circ T_\circ + P_\circ \Delta T) = -HP_\circ \Delta T \qquad (۸ - ۳۶)$$

چون تغییر حجم هوای درون ظرف نسبت به حجم آن کوچک است، از رابطه (۸ ـ ۲۸) پیداست که $\Delta T << T_\circ$ است. در رابطه (۸ ـ ۳۶) $P_\circ$ و $P'_\circ$ در حدود یکدیگرند، زیرا باتوجه به رابطهٔ (۸ ـ ۳۳) تفاوت آنها ρgh است و h نیز بسیار کوچک است. بنابراین می‌توان از $P_\circ \Delta T$ در برابر $P'_\circ T_\circ$ چشم پوشید، لذا داریم:

$$\Delta T = -\frac{P'_\circ T_\circ}{HP_\circ} \Delta H \qquad (۸ - ۳۷)$$

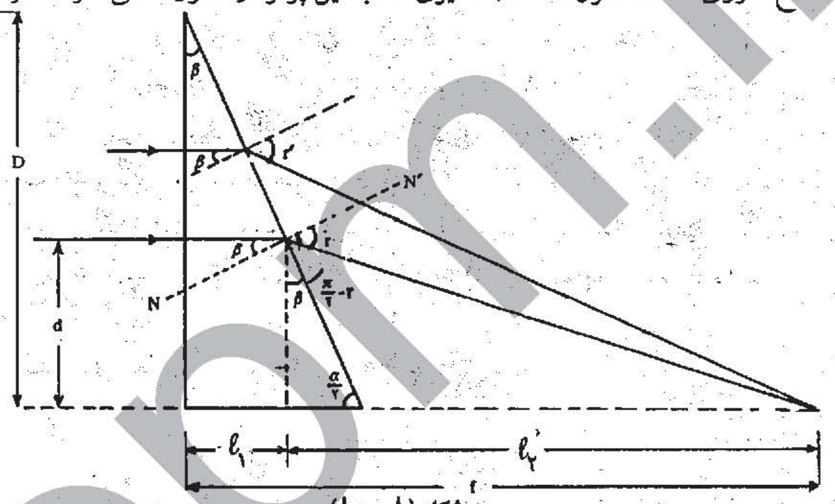
اگر در رابطه‌بالا، به‌جای $P'_\circ$ مقدار آن را از رابطه (۸ ـ ۳۳) قرار دهیم، داریم:

$$\Delta T = -\frac{(P_\circ - \rho gh)T_\circ}{HP_\circ} \Delta H \qquad (۸ - ۳۸)$$

رابطه (۸ ـ ۳۸)، رابطهٔ مورد نظر است که تغییرات دما را برحسب تغییرات ارتفاع هوای

بالای ستون جیوه به دست می‌دهد. توجه کنید که تغییرات دما و ارتفاع هوا، در دو جهت مخالف هم هستند زیرا، آشکار است که اگر دمای هوای درون ظرف بالا برود ($\Delta T > 0$)، افزایش فشار آن سبب بالا رفتن ستون جیوه می‌شود و در نتیجه ارتفاع هوای بالای ستون جیوه کم می‌شود، یعنی $\Delta H < 0$، خواهد بود.

۵ ـ پرتو نوری را درنظر می‌گیریم که به فاصله d از محور مخروط به قاعده آن می‌تابد. این پرتو روی صفحه‌ای است که از محور مخروط می‌گذرد و در شکل (۸ ـ ۸۰) نشان داده شده است. تمام پرتوهایی که به‌همین فاصله از محور مخروط به قاعدهٔ آن می‌تابد (محل تابش آنها دایره‌ای به شعاع d روی قاعده مخروط است) مسیری مشابه این پرتو در مخروط طی خواهد کرد.



شکل (۸ ـ ۸۰)

چون این پرتو عمود بر قاعده مخروط به آن می‌تابد، بدون شکست وارد مخروط می‌شود. خط NN' را بر سطح مخروط عمود کرده‌ایم و پرتو نوری که وارد مخروط شده است با این خط زاویه β می‌سازد، زیرا دو ضلع این زاویه بر اضلاع زاویه β عمود است. این پرتو با زاویه r از مخروط خارج می‌شود و در نقطه‌ای به فاصله f از قاعده مخروط محور مخروط را قطع می‌کند. با استفاده از قانون شکست نور داریم:

$$\sin r = n \sin \beta \qquad (۸ـ۳۹)$$

پرتو نوری که به فاصله دیگری از مخروط به قاعده آن می‌تابد، با همان زاویه β به بدنه مخروط می‌خورد ولی چون این پرتو نیز در همان نقطه محور مخروط را قطع می‌کند، آشکار است که زاویه خروجی پرتو از مخروط تفاوت خواهد داشت و به‌جای r، زاویه r' خواهد بود. بنابراین در رابطه (۸ـ۳۸) n مقدار ثابتی نخواهد داشت و باید به نحوی باشد، تا همه پرتوها در یک نقطه محور مخروط را قطع کنند. با استفاده از شکل (۸ ـ ۸۰) داریم:

$$f = \ell_1 + \ell_2 \qquad (۸ـ۴۰)$$

با استفاده از شکل داریم:

$$\ell_1 = (D - d)\,\mathrm{tg}\,\beta \qquad (۴۱ - ۸)$$

$$\ell_2 = d\,\mathrm{tg}\,(\frac{\pi}{2} - r + \beta) = d\,\mathrm{cotg}\,(r - \beta) = \frac{d}{\mathrm{tg}\,(r - \beta)} \qquad (۴۲ - ۸)$$

چون زاویه رأس مخروط بسیار بزرگ و نزدیک ۱۸۰ است، پس β زاویه کوچکی است و می‌توان نوشت:

$$\sin\beta \simeq \mathrm{tg}\,\beta \simeq \beta$$

چون ضریب شکست n نیز چندان بزرگ نیست و حدود ۲ است، پس زاویه شکست r نیز کوچک است و می‌توان نوشت:

$$\sin r \simeq r$$

در نتیجه رابطه (۸ ـ ۳۹) را می‌توان به‌صورت زیر نوشت:

$$r = n\beta \qquad (۴۳ - ۸)$$

اکنون با استفاده از رابطه‌های (۸ ـ ۴۰) تا (۸ ـ ۴۳) داریم:

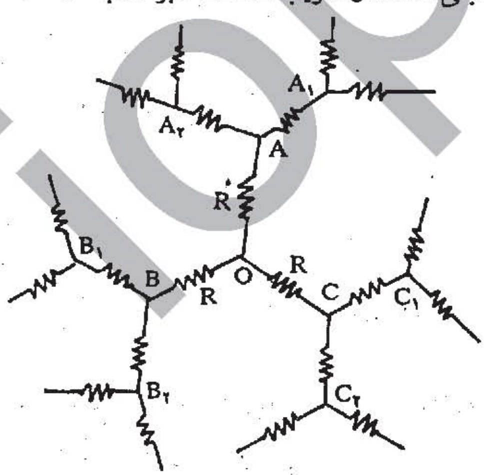
$$f = (D - d)\beta + d\frac{1}{(n - 1)\beta}$$

$$\frac{1}{(n - 1)} = \frac{\beta}{d}[f - (D - d)\beta]$$

$$n = \frac{d}{\beta}\frac{1}{f - (D - d)\beta} + 1 \qquad (۴۴ - ۸)$$

در رابطه (۸ ـ ۴۴) کمیتهای β، f و D مقادیر ثابتی هستند و ضریب شکست n برحسب d، فاصله از محور مخروط نشان داده شده است.

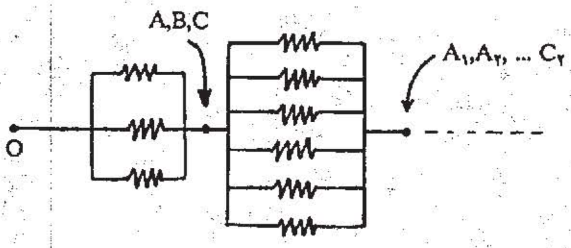
۶ ـ در شکل (۸ ـ ۸۱) قسمتی از مدار نشان داده شده است. از نقطه O سه مقاومت مشابه به نقاط A، B و C بسته شده است. به علت تقارن مدار، جریان در سه مقاومت R که میان نقطه O و سه نقطه مزبور بسته شده است، برابر است و بنابراین، پتانسیل نقاط یاد شده برابر است. در این صورت می‌توان بدون تغییر در مدار، این سه نقطه را به‌هم وصل کرد. به این ترتیب



شکل (۸ ـ ۸۱)

سه مقاومت مشابه میان نقطه O و سه نقطه دیگر که به‌هم وصل شده‌اند بسته شده است، یعنی سه مقاومت مشابه موازی شده‌اند.

با همین استدلال می‌توان دریافت که پتانسیل نقاط A_1، A_2، B_1، B_2، C_1 و C_2 نیز برابر است و می‌توان بدون تغییر در مدار، آنها را به‌هم وصل کرد. در این‌صورت ۶ مقاومت مشابه موازی شده‌اند.



شکل (۸ ـ ۸۲)

اگر این استدلال را ادامه دهیم، درمی‌یابیم که هر پله‌ای که جلو برویم، به تعداد دو برابر پله قبلی مقاومتهای مشابه موازی خواهیم داشت. این مقاومتهای موازی در شکل (۸ ـ ۸۲) نشان داده شده است و تعداد این پله‌ها بسیار زیاد است.

اکنون می‌توان دریافت که مقاومت میان نقطه O و سطح کره، از تعدادی مقاومت سری تشکیل شده است. داریم:

$$R_t = \frac{R}{۳} + \frac{R}{۶} + \frac{R}{۱۲} + \ldots\ldots = \frac{R}{۳}(۱ + \frac{۱}{۲} + \frac{۱}{۴} + \ldots.) \qquad (۸ـ۴۵)$$

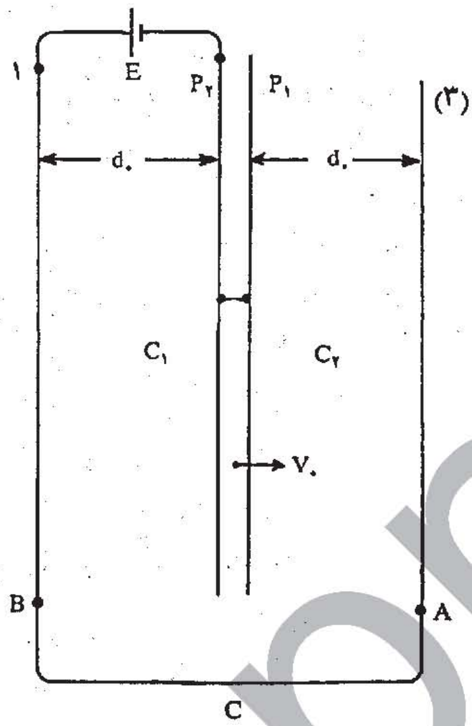
در رابطه (۸ ـ ۴۵)، یک تصاعد هندسی با قدر نسبت $\frac{۱}{۲}$ وجود دارد. اگر تعداد جملات این تصاعد را بینهایت بگیریم داریم:

$$(۱ + \frac{۱}{۲} + \frac{۱}{۴} + \ldots.) = \frac{۱}{۱ - \frac{۱}{۲}} = ۲$$

بنابراین مقاومت معادل چنین است.

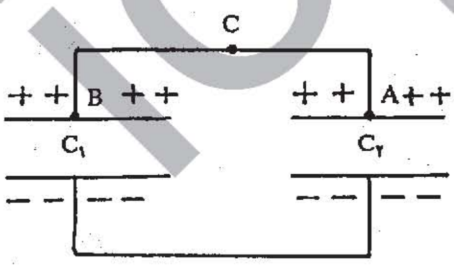
$$R_t \approx \frac{۲R}{۳}$$

در رابطه بالا علامت ≈ را به این دلیل به کار برده‌ایم که تعداد پله‌های شکل (۸ ـ ۸۲) بینهایت نیست و در نتیجه، مقدار مقاومت معادل دقیقاً برابر با $\frac{۲R}{۳}$ نخواهد بود.



شکل (۸ ـ ۸۳)

۷ ـ به جای صفحه ۲ که میان دو صفحه ۱ و ۳ قرار گرفته است، مطابق شکل (۸ ـ ۸۳) دو صفحه مشابه آن با فاصله کوچک و متصل به‌هم درنظر می‌گیریم. این دو صفحه را P_1 و P_2 می‌نامیم. صفحه (۱) و P_2 یک خازن تشکیل می‌دهند که به دو صفحه آن یک باتری به نیروی محرکه E وصل شده است. این خازن را C_1 می‌نامیم. دو صفحه (۳) و P_1 نیز یک خازن تشکیل می‌دهند که آن را C_2 می‌نامیم و به دو صفحه آن نیز همان باتری وصل شده است. زیرا صفحه (۳) از طریق سیم A C B به قطب مثبت باتری وصل شده است و صفحه P_1 نیز که به صفحه P_2 متصل است، به قطب منفی باتری وصل شده است. چون دو صفحه مثبت دو خازن (صفحات ۱ و ۳) به‌هم وصل شده است و دو صفحه منفی آنها نیز (صفحات P_1 و P_2) به یکدیگر متصل است، این دو خازن به‌طور موازی به یکدیگر وصل شده‌اند. بنابراین آنچه در شکل (۸ ـ ۸۳) آمده است را می‌توان با مدار شکل (۸ـ۸۴) نشان داد. در این‌شکل سیم A C B نیز نشان داده شده است. چون فاصله صفحات دو خازن C_1 و C_2 در ابتدا برابر با d_0 است، ظرفیت این خازنها برابر خواهد بود و در نتیجه بار هر دو یکسان است.



شکل (۸ ـ ۸۴)

چون پس از پر شدن خازنها، باتری را قطع می‌کنیم، در آغاز حرکت صفحه ۲، بار دو خازن برابراست.اگر مساحت هر صفحه را A بگیریم، بار هر خازن در آغاز حرکت صفحه ۲ چنین است:

$$Q = EC = E\frac{\varepsilon_\circ A}{d_\circ} \qquad (۸ - ۴۶)$$

با حرکت صفحه ۲ فاصله صفحات خازن $C_۱$ زیاد و فاصله صفحات خازن $C_۲$ کمتر می‌شود. در نتیجه ظرفیت دو خازن تغییر خواهد کرد و چون اختلاف پتانسیل دو خازن موازی همواره با یکدیگر برابر است، باید بار ذخیره شده روی دو خازن تغییر کند. علاوه برآن چون بارالکتریکی روی خازن نمی‌تواند به جای دیگری برود، تنها راه جابه‌جا شدن بارالکتریکی میان دو خازن است. از شکل (۸ - ۸۴) پیداست که برای تغییر بار الکتریکی یکی از خازنها، باید از سیم A C B بارالکتریکی بگذرد. فرض کنید فاصله صفحات خازن $C_۱$ به اندازه Δd بیشتر شود، در این‌صورت فاصله‌صفحات‌خازن $C_۲$ به‌همین‌اندازه‌کمترخواهد شد. ظرفیتهای جدید چنین است:

$$C'_۱ = \frac{\varepsilon_\circ A}{d_\circ + \Delta d} \qquad C'_۲ = \frac{\varepsilon_\circ A}{d_\circ - \Delta d}$$

تساوی اختلاف پتانسیل دو خازن با یکدیگر، ایجاب می‌کند که بارالکتریکی خازنی که ظرفیتش کم شده است کاهش یابد. بنابراین بار خازن $C_۱$ کم شده و به بارخازن $C_۲$ اضافه می‌شود. اگر بار جابه‌جا شده را ΔQ بگیریم، داریم:

$$\frac{Q - \Delta Q}{\varepsilon_\circ A/(d_\circ + \Delta d)} = \frac{Q + \Delta Q}{\varepsilon_\circ A/(d_\circ - \Delta d)}$$

$$(Q - \Delta Q)(d_\circ + \Delta d) = (Q + \Delta Q)(d_\circ - \Delta d)$$

$$۲Q\Delta d - ۲d_\circ \Delta Q = \circ$$

$$\Delta Q = \frac{Q}{d_\circ}\Delta d = \frac{E\varepsilon_\circ A}{d_\circ^۲}\Delta d \qquad (۸ - ۴۷)$$

در رابطه (۸ - ۴۷) از رابطه (۸ - ۴۶) استفاده شده است.

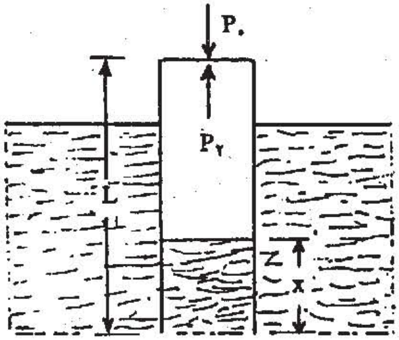
اگر بار جابه‌جا شده در مدت زمان Δt انجام شده باشد، داریم:

$$\Delta d = V_\circ \Delta t$$

$$\Delta Q = \frac{E\varepsilon_\circ A}{d_\circ^۲} V_\circ \Delta t$$

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{E\varepsilon_\circ A V_\circ}{d_\circ^۲}$$

۸ ـ هنگامی که لبه باز لولهٔ آزمایش با سطح مایع تماس پیدا می‌کند، هوای درون لوله که فشارش P_0 یعنی فشار جو است حجمی برابر با $V_1 = LA$ دارد. با فرو بردن لوله در مایع این هوا در لوله محبوس می‌شود و با توجه به شکل (۸ ـ ۸۵) نهایتاً حجم آن به مقدار $V_2\ A\ (L=-X)$ می‌رسد. فشار هوای محبوس درون لوله را می‌توان با استفاده از قانون گاز کامل به دست آورد، داریم:



شکل (۸ ـ ۸۵)

$$P_2V_2 = P_0V_1$$

$$P_2 = \frac{P_0 L A}{A(L-x)} = \frac{L}{L-X}P_0 \qquad (۴۸ ـ ۸)$$

چون لوله آزمایش درحالت تعادل است، باید برآیند نیروهای وارد برآن صفر باشد. نیروهای وارد برلوله چنین است:

الف ـ نیروی حاصل از فشار هوای بیرون به میزان P_0A که به طرف پایین است.

ب ـ نیروی وزن لوله آزمایش به‌اندازه Mg که آن نیز به طرف پایین است.

ج ـ نیروی حاصل از فشار هوای درون لوله به میزان P_2A که به‌طرف بالاست.

د ـ نیروی ارشمیدس که به علت ناچیز بودن ضخامت دیواره لوله، قابل چشم‌پوشی است.

بنابراین داریم:

$$P_0A + Mg = P_2A = \frac{L}{L-x}P_0A$$

در رابطه بالا، از رابطه (۸ ـ ۴۸) استفاده شده است.

$$(L-x)(P_0A + Mg) = LP_0A$$

$$x = \frac{LMg}{P_0A + Mg}$$

پایان