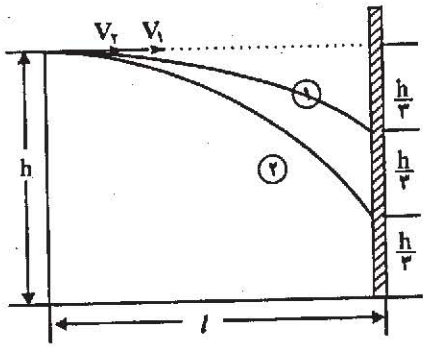
حل سئوال‌های مرحلهٔ اول

بخش اول - سئوال‌های چندگزینه‌ای

۱- در شکل (۱۲-۲۳) برخورد دو پرتابه با دیوار قائم نشان داده شده است. هنگامی که جسمی پرتاب می‌شود، با چشم پوشی از نیروی مقاومت هوا، تنها نیروی وزن بر آن وارد می‌گردد، که در راستای قائم و به طرف پایین است. شتاب حاصل از این نیرو نیز در راستای قائم و اندازهٔ آن g است.



شکل (۱۲-۲۳)

بنابراین در راستای افقی نیرو و به تبع آن شتاب وارد بر پرتابه‌ها صفر است و نتیجه می‌گیریم که حرکت پرتابه‌ها در راستای افقی یکنواخت است. این نتیجه از آنجا به دست می‌آید که حرکت دو بعدی پرتابه‌ها را می‌توان ترکیبی از دو حرکت در راستای قائم و در راستای افقی در نظر گرفت و هر کدام را مستقلاً بررسی کرد. به عبارت دیگر هر یک از پرتابه‌ها فاصلهٔ افقی l تا دیوار را با سرعت یکسان می‌پیماید و در عین حال، با شتاب g به طرف پایین سقوط می‌کند. چون سرعت اولیهٔ دو پرتابه یکسان نیست، مدت زمانی که دو پرتابه طول افقی l را می‌پیمایند یکسان نیست. در نتیجه زمان حرکت شتابدار در راستای قائم نیز یکسان نیست و مقداری که دو پرتابه پایین می‌آیند، برابر نیست. زمانی که هر کدام از پرتابه‌ها فاصلهٔ افقی l را می‌پیماید، از رابطه‌های زیر به دست می‌آید.

$$t_1 = \frac{l}{V_1} \qquad t_2 = \frac{l}{V_2}$$

حرکت در راستای قائم با سرعت اولیهٔ صفر انجام شده است. اگر مبداء مختصات قائم را در محل پرتاب بگیریم، برای جابه جایی هر کدام از پرتابه‌ها در راستای قائم داریم:

$$y_1 = -\frac{1}{2}gt_1^2 = -\frac{h}{3}$$

$$y_2 = -\frac{1}{2}gt_2^2 = -2\frac{h}{3}$$

با جایگذاری زمان‌های حرکت t_1 و t_2 در این رابطه‌ها، داریم:

$$\frac{h}{3} = \frac{g}{2}\left(\frac{l}{V_1}\right)^2 \qquad 2\frac{h}{3} = \frac{g}{2}\left(\frac{l}{V_2}\right)^2$$

از تقسیم دو رابطهٔ بالا بر هم نسبت سرعت‌ها به دست می‌آید. داریم:

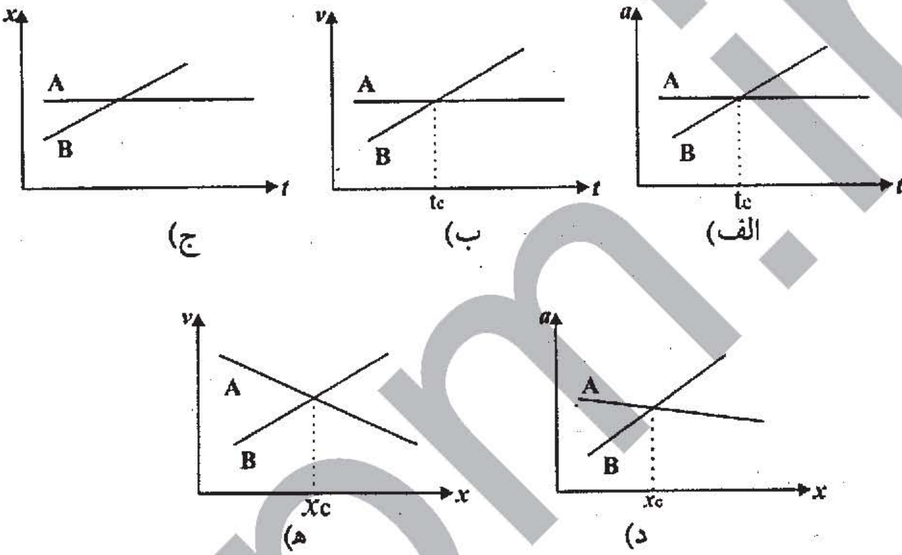
$$\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^2 = 2 \rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \sqrt{2}$$

به این ترتیب گزینهٔ (الف) درست است.

۲- در چه شرایطی دو خودرو تصادف می‌کنند؟ اگر یکی از آنها پشت سر دیگری باشد، لازم است سرعت خودروی پشتی از خودروی جلویی زیادتر باشد تا به تدریج فاصله‌اش را با آن کم کند و در نقطه‌ای که به آن می‌رسد، به علت سرعت بیشتر با آن تصادف کند. ممکن است دو خودرویی که تصادف می‌کنند، به طرف هم حرکت کنند. در این صورت با هر سرعتی که هر کدام از آنها داشته باشند، به تدریج فاصله اشان کم می‌شود و از روبرو با هم تصادف می‌کنند. از بررسی این دو نوع تصادف نتیجه می‌شود که شرط قطعی برای تصادف آن است که دو خودرو در یک لحظه، در یک محل

از جاده باشند.

نمودارهای شکل (۱۲-۱)، عیناً در شکل (۱۲-۲۴) تکرار شده‌اند. ملاحظه می‌شود که



شکل (۱۲-۲۴)

تنها نموداری که شرط تصادف را دارد، نمودار (ج) است. در اینجا بهتر است نمودارهای دیگر نیز تجزیه و تحلیل شود.

در نمودار (الف) شتاب دو خودرو برحسب زمان نشان داده شده است. در لحظهٔ t_c شتاب دو خود رو یکسان است، اما جا و سرعت دوخودرو معلوم نیست. بنابراین تصادف حتمی نیست. در نمودار (ب) سرعت هر کدام از خودروها برحسب زمان رسم شده است. از این نمودار پیدا است که با گذشت زمان، سرعت خودروی B زیادتر می‌شود تا در لحظهٔ t_c، سرعتش با سرعت خودروی A برابر می‌شود. اما معلوم نیست که در این لحظه دو خودرو در کجا هستند. چون ممکن است در چنین لحظه‌ای خودروها

در دو نقطه از جاده باشند، بنابراین در این مورد هم، وقوع تصادف حتمی نیست. در نمودارهای (د) و (ه) در یک محل از جاده شتاب و یا سرعت دو خودرو با هم برابر است، اما زمان این برابری معلوم نیست. چون ممکن است برابری شتاب و یا سرعت در یک محل از جاده، x_c در زمان‌های متفاوت روی داده باشد، این نمودارها هم نشانهٔ حتمی یک تصادف نیست. بنابراین تنها گزینهٔ (ج) درست است.

۳- منظور از طرح این گونه سئوال‌ها آن است که دانش‌آموز بتواند بر اساس تخمین و توجه به بزرگی و کوچکی اعداد نسبت به یکدیگر، اطلاعاتی هرچند تقریبی به دست آورد و مرتبه بزرگی آن‌ها را مشخص کند. در بدن انسان، عناصر شیمیایی متفاوتی مانند اکسیژن، ئیدروژن، کربن، آهن، کلسیم،... وجود دارد. با آن که مقدار بعضی از این عناصر بسیار کم است و نسبت بسیار کوچکی از وزن بدن را تشکیل می‌دهند، اما کم و زیاد شدن آنها، در سلامت بدن بسیار مؤثر است. برای بدست آوردن مرتبه بزرگی تعداد الکترون‌ها در بدن انسان، می‌توان فرض کرد که بدن انسان از آب ساخته شده است و سایر مولکول‌ها کسر ناچیزی هستند. یک مولکول آب از دو اتم ئیدرژن هرکدام با یک الکترون و یک اتم اکسیژن با ۸ الکترون تشکیل شده است. پس هر مولکول آب ۱۰ الکترون دارد. هر مول آب که به تعداد عدد آووگادرو مولکول دارد، ۱۸ گرم جرم دارد. جرم متعارف یک انسان را می‌توان ۹۰ kg گرفت. بنابراین داریم:

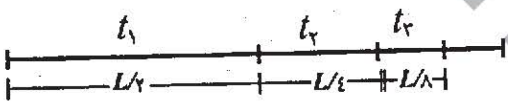
$$N_m = \frac{۹۰ \times ۱۰^{۳}}{۱۸} = ۵ \times ۱۰^{۳}$$ تعداد مول آب در هر انسان

$$N_w = N_m N_a = ۵ \times ۱۰^{۳} \times ۶ \times ۱۰^{۲۳} = ۳۰ \times ۱۰^{۲۶}$$ تعداد مولکول آب در هر انسان

$$N_e = ۱۰ N_w = ۳۰ \times ۱۰^{۲۶} \times ۱۰ = ۳ \times ۱۰^{۲۸}$$ تعداد الکترون در هر انسان

بنابراین مرتبه بزرگی تعداد الکترون در هر انسان 10^{28} است. پس گزینهٔ (ب) درست است.

۴- در شکل (۱۲-۲۵)، مسیر یک متحرک که روی خط راست حرکت می‌کند نشان داده شده است و $\frac{1}{2}$ مسیر، $\frac{1}{4}$ مسیر، $\frac{1}{8}$ مسیر،... نیز روی آن مشخص شده است.



شکل (۱۲-۲۵)

در این شکل t_1 مدت زمانی است که $\frac{1}{2}$ مسیر و t_2 $\frac{1}{4}$ مسیر و t_3 $\frac{1}{8}$ مسیر و... پیموده شده است. سرعت متوسط این متحرک از تقسیم طول مسیر یعنی l، بر کل زمانی که تمام مسیر پیموده می‌شود، به دست می‌آید. پس لازم است مجموع تمام زمان‌های t_1، t_2، t_3، ... را بدست آوریم. داریم:

$$t_1 = \frac{\frac{l}{2}}{V} = \frac{l}{2V}$$

$$t_2 = \frac{\frac{l}{4}}{\frac{V}{2}} = \frac{l}{2V}$$

$$t_3 = \frac{\frac{l}{8}}{\frac{V}{4}} = \frac{l}{2V}$$

چون هر بار باقی مانده مسیر نصف می‌شود، همواره یک نیم مسیر برای پیمودن وجود دارد، یعنی تعداد نیمه‌های مسیر بی نهایت است. بنابراین زمان‌های t_1، t_2، t_3، ... یک مجموعه با تعداد بی نهایت است. چون هر کدام از زمان‌ها $\frac{l}{2V}$ است، جمع تعداد

بی‌نهایت ازاین زمان‌ها نیز بی نهایت خواهد شد. پس این متحرک در زمان بی نهایت تمام طول مسیر را می‌پیماید و در نتیجه سرعت متوسط آن صفر خواهد شد. به این ترتیب پاسخ (د) درست است.

۵- راستای حرکت گلوله‌ها را منطبق بر محور x فرض می‌کنیم و سرعت اولیهٔ آنها را در جهت آن می‌گیریم. چون نیروی وارد بر هر گلوله در خلاف جهت سرعت است، جهت نیرو نیز خلاف جهت محور x است. چون جهت شتاب، همان جهت نیرو است، پس جهت شتاب نیز خلاف جهت محور x است. می‌دانیم هرگاه جهت سرعت و شتاب برخلاف هم باشد، حرکت کند شونده است. پس هر یک از گلوله‌ها با طی مسافت معینی، می‌ایستد. در این مسئله، سرعت اولیه، V_i، و سرعت نهایی V_f، معلوم است و قصد داریم جابه جایی گلوله را از جایی با سرعت V_i تا جایی با سرعت V_f به دست آوریم. پس باید از رابطه مستقل از زمان در حرکت با شتاب ثابت استفاده کنیم. داریم:

$$a=\frac{-F}{m}$$

$$V_f^2-V_i^2=2a(x_f-x_i)=2\frac{-F}{m}(x_f-x_i)$$

$$0-V_i^2=-\frac{2}{m}F\Delta x$$

$$\frac{1}{2}mV_i^2=F\Delta x$$

در رابطه‌های بالا F اندازهٔ نیروی وارد بر گلوله هاست که برای همهٔ گلوله‌ها برابر است و چون جهت نیرو بر خلاف جهت محور x است، علامت منها پیش از آن گذارده‌ایم. در آخرین رابطه $\frac{1}{2}mV_i^2$، انرژی جنبشی گلوله، در لحظه‌ای است که نیروی F بر آن وارد

می‌شود. از این رابطه پیداست که هر چه انرژی جنبشی گلوله بیشتر باشد، با یک نیروی معین F که بر خلاف جهت سرعت بر آن وارد شود، گلوله جابه‌جایی بیشتری خواهد داشت، یعنی پیش از توقف، مسافت بیشتری می‌پیماید. بدین ترتیب گزینهٔ (هـ) درست است.

۶- در این سؤال مدت زمان توقف مورد نیاز است، یعنی زمانی که سرعت گلوله از V_i به $V_f = ۰$ می‌رسد.

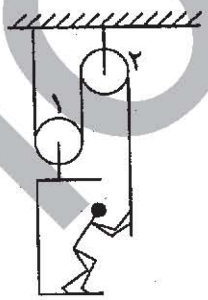
پس باید از رابطه‌ای که تغییرات سرعت با زمان را به دست می‌دهد استفاده کرد. داریم.

$$V_f = at + V_i \rightarrow ۰ = -\frac{F}{m}t + V_i$$

$$Ft = mV_i$$

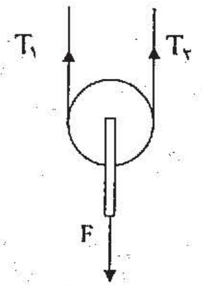
در رابطهٔ دوم mV_i اندازه حرکت گلوله در لحظه‌ای است که نیرویی بر خلاف جهت سرعت بر آن وارد می‌شود. از این رابطه پیداست که هر چه اندازه حرکت گلوله بیشتر باشد، با یک نیروی معین که بر خلاف جهت سرعت بر آن وارد شود، زمان بیشتری برای متوقف کردن گلوله لازم است. به این ترتیب گزینهٔ (د) درست است.

۷- ابزار شکل (۱۲-۲) مجدداً در شکل (۱۲-۲۶) تکرار شده است. دو قرقره‌ای که در ابزار به کار رفته است با شماره‌های ۱ و ۲ مشخص شده است. برای به دست آوردن پاسخ، لازم است نیروهای وارد بر قسمتهای مختلف ابزار را معین کنیم و سپس رابطه‌ای میان نیروها برقرار کنیم. در شکل (۱۲-۲۷) قرقرهٔ ۱ و نیروهای وارد بر آن مشخص



شکل (۱۲-۲۶)

شده است. نیروی F از طرف قابی که کارگر روی آن ایستاده است بر محور قرقره وارد می‌شود. نیروی $T_۱$ و $T_۲$ به ترتیب از طناب سمت چپ و طناب سمت راست بر دو کنارهٔ قرقره وارد می‌شود. می‌دانیم که اگر طناب با شیار قرقره اصطکاک نداشته باشد، نیروهای $T_۱$ و $T_۲$ با یکدیگر برابرند (برای توضیح بیشتر به پاسخ سئوال چهارگزینه‌ای شمارهٔ ۱، اولین المپیاد فیزیک - جلد اول المپیادهای

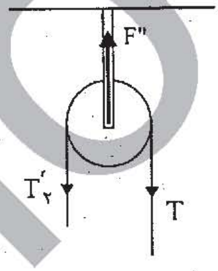


شکل (۱۲-۲۷)

فیزیک ایران مراجعه شود) چون از جرم قرقره چشم پوشیده‌ایم، باید برآیند نیروهای وارد بر قرقرهٔ شمارهٔ ۱ صفر باشد، در غیر این صورت شتاب قرقره بی نهایت خواهد شد که غیر فیزیکی است. داریم:

$$T_۱ + T_۲ = ۲T_۲ = F \to T_۲ = \frac{F}{۲}$$

اکنون نیروهای وارد بر قرقرهٔ شماره ۲ را بررسی می‌کنیم. این قرقره و نیروهای وارد بر آن در شکل (۱۲-۲۸) نشان داده شده است. نیروی $T'_۲$ عکس‌العمل نیروی T از طرف دست کارگر که طناب را می‌کشد، واردمی شود. از طرف سقفی که قرقرهٔ ۲ به آن آویخته شده است، نیز نیروی F'' به محور قرقره وارد می‌شود. با چشم پوشی از اصطکاک میان طناب و شیار قرقره، نیروی‌های T و $T'_۲$ با هم برابرند. با استفاده از قانون سوم نیوتون

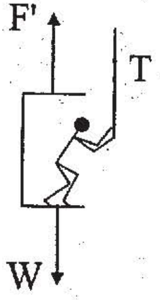


شکل (۱۲-۲۸)

نیز برابری $T_۲$ و $T'_۲$ نتیجه می‌شود. از مجموع این ملاحظات داریم:

$$T=\frac{F}{۲}$$

برای بدست آوردن پاسخ، لازم است نیروهای وارد بر کارگر و قابی را که روی آن ایستاده است نیز بررسی کنیم. در شکل (۱۲-۲۹) این نیروها مشخص شده است. در این شکل نیروی T' عکس العمل نیروی T درشکل(۱۲-۲۸)و نیروی F' عکس العمل نیروی F در شکل (۱۲-۲۷) است. نیروی W وزن کارگر و قاب است که از طرف کرهٔ زمین بر آنها وارد می‌شود. برای آن که شخص به طرف بالا حرکت کند، باید مجموع نیروهای به طرف بالا ، یعنی T' و F' ، از نیروی به طرف پایین یعنی W بیشتر باشد. پس داریم:



(شکل ۱۲-۲۹)

$$F'+T'>W$$

اکنون اگربه جای F'، معادل آن F و به جای T'، معادل آن T را قرار دهیم داریم:

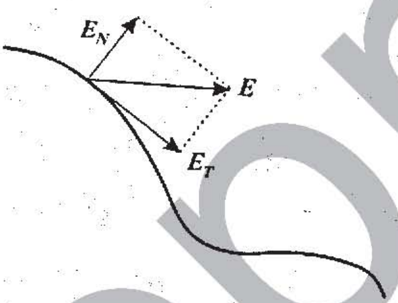
$$F+T=۲T+T>W \quad \rightarrow \quad T>\frac{W}{۳}$$

بنابراین کارگر باید حداقل با نیروی $\frac{W}{۳}$ طناب را پایین بکشد تا بتواند با این وسیله خود را بالا بکشد. در نتیجه گزینه (ج) درست است.

۸- می‌دانیم اجسام رسانا بار الکتریکی آزاد دارند. در رساناهای فلزی، بار الکتریکی آزاد، الکترون است (گازها و مایعات رسانا، علاوه بر الکترون‌ها، بارهای مثبت نیز آزاد

دارند) بار الکتریکی آزاد، با کوچکترین نیروی الکتریکی حرکت می‌کند. هنگامی که مقداری بار الکتریکی، مثبت یا منفی، به یک جسم رسانا اضافه می‌کنیم، تعادل میان بارهای الکتریکی مثبت و منفی موجود در جسم به هم می‌خورد و میدان الکتریکی در نقاط مختلف رسانا به وجود می‌آید. این میدان الکتریکی بارهای آزاد را چنان جا به جا می‌کند که در حالت تعادل میدان الکتریکی در تمام نقاط درون جسم رسانا صفر شود. زیرا اگر در نقاط درون جسم رسانا میدان الکتریکی صفر نباشد، بارهای آزاد تحت تأثیر این میدان حرکت می‌کنند و در نتیجه حالت تعادل که به معنی بی‌حرکت ماندن بارهاست، به وجود نیامده است.

علاوه بر آن در سطح جسم رسانا میدان الکتریکی باید بر سطح رسانا عمود باشد. اگر چنین نباشد، مطابق شکل (۱۲-۳۰) میدان الکتریکی مولفه‌ای مماس بر سطح رسانا، E_T، دارد و این مولفه بارهای الکتریکی آزاد را در سطح رسانا جا به جا می‌کند که با حالت تعادل مغایرت دارد. اثر میدان الکتریکی عمود برسطح رسانا، E_N، بر بارهای آزاد، بیرون کشیدن بار آزاد از سطح رسانا و یا فرو بردن آن درون رساناست که اگر E_N زیاد بزرگ نباشد در هر دو حالت با نیروهای مولکولی خنثی می‌شود. پس وجود E_N مغایرتی با حالت تعادل ندارد.



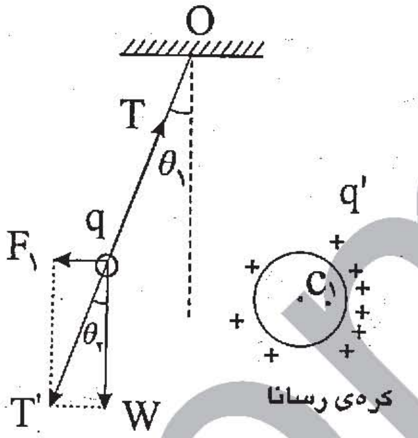
شکل (۱۲-۳۰)

نحوهٔ جابه جایی بار آزاد در رساناها، و توزیع نهایی آنها بستگی به شکل رسانا دارد.

برای رسانای کروی شکل، در حالت تعادل بار الکتریکی به طور یکنواخت بر سطح کره توزیع می‌شود.

در اجسام نارسانا، به علت نبودن بار آزاد، بار الکتریکی به هر صورت که به آن داده شود، به همان صورت خواهد ماند.

در شکل (۱۲-۳۱) کرهٔ نارسانا با بار q' را به بار نقطه‌ای q که از نقطه‌ای آویخته است نزدیک کرده‌ایم. چون q و q' بنا به فرض هر دو مثبت هستند، این بارها یکدیگر را می‌رانند. اثر نیروی رانش بر بار q آن است که نخ آویخته به اندازهٔ زاویه θ_1 از حالت قائم منحرف می‌شود.

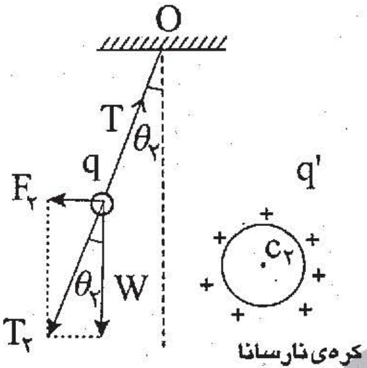


شکل (۱۲-۳۱)

اثر نیروی رانش بر بار q' روی کرهٔ رسانا، آن است که بارها را به طرف دورتر کره از بار نقطه‌ای q می‌راند، یعنی توزیع یک نواخت آن را که بیش از نزدیک نزدیک شدن به بار q داشت، برهم می‌زند.

در شکل (۱۲-۳۲) کرهٔ نارسانا با بار q' و توزیع یک نواخت روی سطح آن نشان داده شده است که به بار نقطه‌ای q آویخته با یک نخ، نزدیک کرده‌ایم. در این جا نیز بارهای مثبت یکدیگر را می‌رانند، اما نیروی رانش وارد بر بارهای کرهٔ نارسانا، نمی‌تواند توزیع بار را بر هم زند، زیرا کرهٔ نارسانا، بارهای آزاد ندارد. در حالت تعادل زاویهٔ نخ با راستای قائم به نحوی است که برآیند سه نیروی W، وزن جسم کوچکی که بار نقطه‌ای

q روی آن است F، نیروی رانش وارد بر بار نقطه‌ای q از طرف کره با بار q' و T کشش نخ، صفر باشد. چون همواره نیروی کشش نخ قابل انعطاف در راستای نخ است، پس باید برآیند دو نیروی W و F در راستای نخ قرار گیرد. بنابراین زاویهٔ میان نخ و راستای قائم، بستگی به نیرویی که بر بار نقطه‌ای q وارد می‌شود دارد. اگر بخواهیم این نیرو را به طور دقیق به دست آوریم، باید بارهای q' را که روی سطح کره توزیع شده است، به قسمت‌های کوچک تقسیم کنیم به طوری که بتوان هر قسمت را یک بار نقطه‌ای به حساب آورد. اما در اینجا محاسبهٔ دقیق این نیرو مورد نظر نیست و تنها ملاحظات کیفی دریافتن پاسخ کافی است. در کرهٔ نارسانا با توزیع بار یکنواخت q' بر سطح آن، می‌توان فرض کرد که بار نقطه‌ای q' در مرکز کره، یعنی نقطهٔ c_2 (شکل ۱۲-۳۲) قرار دارد. در کرهٔ رسانا که بار q' بیشتر در طرف دورتر کره نسبت به بار نقطه‌ای q توزیع شده است، می‌توان فرض کرد که بار q' در نقطه‌ای به طرف چپ مرکز آن، مثلاً c_1 (شکل ۱۲-۳۱) قرار دارد. هنگامی که کره‌ها را از طرف راست به بار نقطه‌ای q نزدیک می‌کنیم، وقتی مرکز کره‌ها در یک وضعیت نسبت به خط قائمی که از نقطهٔ O می‌گذرد، می‌رسد، فاصلهٔ نقطهٔ c_2 از بار q کمتر است از فاصلهٔ نقطهٔ c_1 از بار q. پس نیرویی که از طرف کرهٔ



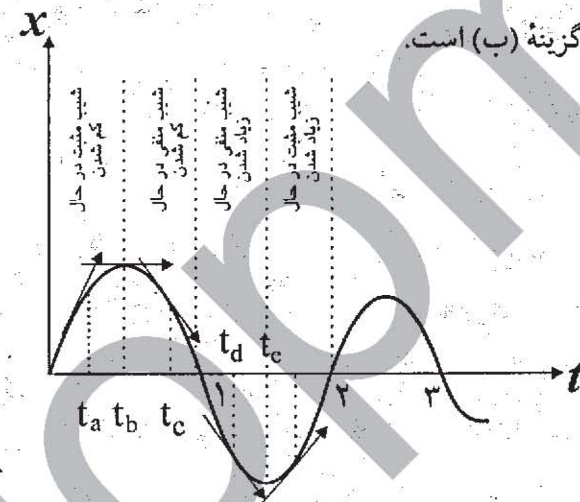
شکل (۱۲-۳۲)

نارسانا بر بار q وارد می‌شود، بیشتر است از نیرویی که کرهٔ رسانا بر بار q وارد می‌کند. به عبارت دیگر نیروی $F_۱$ از نیروی $F_۲$ کوچکتر است. با توجه به شکل‌های (۱۲-۳۱) و (۱۲-۳۲) داریم:

$$\frac{F_۱}{W} = tag\,\theta_۱ \qquad\qquad \frac{F_۲}{W} = tag\,\theta_۲$$

$$F_۱ < F_۲ \rightarrow tag\,\theta_۱ < tag\,\theta_۲ \rightarrow \theta_۱ < \theta_۲$$

بنابراین زاویهٔ انحراف نخ آویخته در حالتی که کرهٔ نارسانا را به بار q نزدیک می‌کنیم، بیشتر است. پس پاسخ درست گزینهٔ (ب) است.



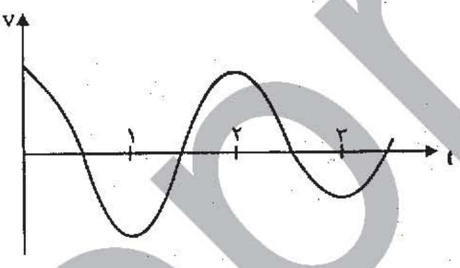
شکل (۱۲-۳۳)

۹- نمودار مکان - زمان جسم در شکل (۱۲-۳۳) تکرار شده است. می‌دانیم سرعت متحرکی که بر روی یک خط راست حرکت می‌کند، عبارت است از شیب نمودار مکان - زمان آن متحرک.

در شکل (۱۲-۳۳) در چند نقطه، خط مماس بر نمودار، رسم شده است. در لحظهٔ $t=۰$ شیب نمودار مثبت است. با گذشت زمان شیب نمودار همچنان مثبت است، اما کم می‌شود تا در لحظهٔ t_b، شیب صفر می‌شود. پس از این لحظه، کاهش شیب ادامه می‌یابد و منفی می‌شود. در لحظه $t_۱$، شیب منفی نمودار، بزرگترین اندازه را دارد و پس ازآن

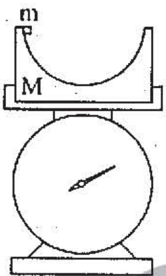
شیب افزایش می‌یابد، یعنی اندازهٔ آن شروع به کم شدن می‌کند. این افزایش شیب منفی تا لحظهٔ t_e ادامه می‌یابد و در آنجا شیب مجدداً صفر می‌شود. پس از آن افزایش شیب ادامه می‌یابد و شیب مثبت می‌شود. روی نمودار علامت شیب و کم و یا زیاد شدن آن با گذشت زمان نیز مشخص شده است. با توجه به این توضیحات، نمودار سرعت – زمان متحرک مانند شکل (۱۲–۳۴) خواهد بود که مشابه نموداری است که در گزینهٔ (ب) رسم شده است.

پس پاسخ درست گزینهٔ (ب) است. در اینجا بد نیست درباره سه گزینهٔ دیگر نیز توضیحات کوتاهی داده شود. در گزینهٔ (الف) هیچ گاه سرعت منفی نشده است، در حالی که در نمودار مکان – زمان متحرک، شیب منفی وجود دارد. در گزینهٔ (ج)، سرعت در لحظهٔ $t = ۰$ صفر رسم شده است، در حالی که در نمودار مکان – زمان متحرک در این لحظه سرعت مثبت است. در گزینهٔ (د)، ضمن آنکه سرعت کم و زیاد می‌شود، روند افزایشی دارد و هیچ گاه منفی نشده است. به این ترتیب دلایل نادرست بودن سایر گزینه‌ها نیز مشخص است.



شکل (۱۲–۳۴)

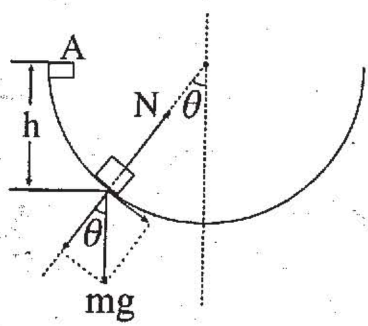
۱۰- شکل (۱۲-۳۵) همان شکل (۱۲-۵) است که در اینجا تکرار شده است. این نوع از ترازو که برای اندازه‌گیری نیرو به کار می‌رود، نیرویی را نشان می‌دهد که از طرف اجسام در راستای قائم بر کف آن واردمی شود. در این مورد، نیروی مورد نظر از طرف نیم کره به جرم M بر کف ترازو وارد می‌شود. عکس‌العمل این نیرو، نیرویی است که کف ترازو، بر سطح زیرین نیم کره وارد می‌کند. چون نیروهای عمل و عکس‌العمل بنا به قانون سوم نیوتون با هم برابرند، می‌توان برای یافتن عددی که ترازو نشان می‌دهد، نیروی واردبر سطح زیرین نیم کره را به دست آورد. برای



شکل (۱۲-۳۵)

این کار نیروهای وارد بر جسم کوچک m و نیم کره را جداگانه بررسی می‌کنیم. در شکل (۱۲-۳۶) جرم کوچک به جرم m که روی یک دایره به شعاع R حرکت می‌کند، نشان داده شده است. این دایره روی صفحهٔ قائم قرار دارد. نیروهای وارد بر جسم کوچک، mg، وزن و N نیروی سطح درونی نیم کره است. نیروی سطح نیم کره در راستای شعاع، یعنی عمود بر سطح نیم کره گرفته شده است. در حالت کلی، نیرویی که دو جسم در محل تماس بر هم وارد می‌کنند، بر سطح تماس عمود نیست. مولفه‌ای از نیروی سطح که مماس بر سطح تماس باشد، نیروی اصطکاک نام دارد. چون در این سئوال

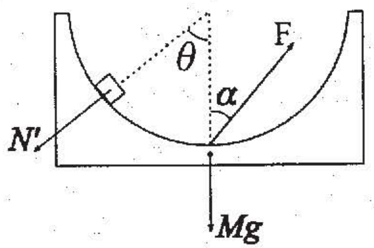
سطح نیم کره بدون اصطکاک در نظر گرفته شده است، پس نیروی سطح نباید مولفهٔ مماس بر سطح تماس داشته باشد. بنابراین نیرویی که سطح نیم کره بر جسم m وارد می‌کند، تنها مولفهٔ عمود بر سطح دارد که در شکل (۵-۳۶) نیز به همین صورت نشان داده شده است.



شکل (۱۲-۳۶)

نیروی وزن mg را در دو راستای شعاع و عمود بر آن، یعنی مماس برسطح نیم کره تجزیه کرده‌ایم. می‌دانیم حرکت جرم m، دایره‌ای است، یعنی سرعت جسم m همواره مماس بر دایره است. این حرکت دایره‌ای، یک نواخت نیست، زیرا علاوه بر نیروی شعاعی، یعنی نیرویی عمود بر سرعت، نیرویی مماس بر دایره، یعنی هم جهت با سرعت نیز بر آن وارد می‌شود. می‌دانیم در حرکت غیر یک نواخت بر خط راست، نیرو نیز بر مسیر حرکت منطبق است و چنین نیروی که بر مسیر مماس است، اندازهٔ سرعت را تغییر می‌دهد. در حرکت در مسیر خمیده نیز نیروی مماس بر مسیر، یعنی نیروی مماس هم راستا با سرعت، عیناً مانند حرکت بر خط راست، اندازهٔ سرعت را تغییر می‌دهد. دلیل این امر آن است که برای بدست آوردن سرعت لحظه‌ای، دو زمان بسیار نزدیک به هم را در نظر می‌گیریم و جا به جایی در این بازه زمانی بسیار کوچک را بر آن تقسیم می‌کنیم. در بازهٔ زمانی بسیار کوچک، جا به جایی روی یک مسیر خمیده نیز بسیار کوچک است و خمیدگی آن قابل چشم پوشی است و می‌توان آن را جابه جایی مستقیم گرفت. بنابراین برای تغییر در

اکنون نیروهای وارد بر نیم کره به جرم M را که بر کف ترازو قرار دارد بررسی می‌کنیم. نیم کره و نیروهایی که بر آن وارد می‌شود، در شکل (۱۲-۳۷) نشان داده شده است. نیروی Mg وزن نیم کره، نیروی F از طرف کف ترازو و نیروی N' عکس العمل نیروی N است که از طرف جسم کوچک بر نیم کره وارد می‌شود. چون نیم کره حرکت ندارد، باید برآیند نیروهای وارد بر آن در هر دو راستای افقی و قائم صفر باشد.



شکل (۱۲-۳۷)

در راستای افقی $N' Sin\,\theta = F_h = F\,Sin\,\alpha$

در راستای قائم $N' Cos\,\theta + Mg = F_V = F\,Cos\,\alpha$

با توجه به این که N و N' عمل و عکس العمل هستند، مقدارشان مساوی است و داریم:

$$۳mg\,Cos\,\theta\,Sin\,\theta = F\,Sin\,\alpha$$

$$۳mg\,Cos^{۲}\theta + Mg = F_V = F\,Cos\,\alpha$$

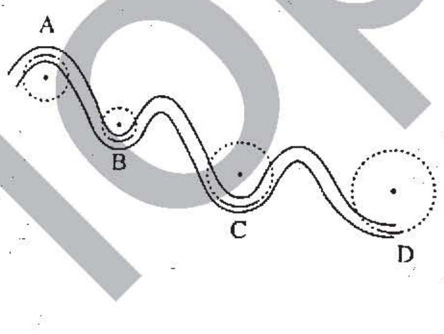
طرف چپ رابطهٔ اول، جز در حالت خاص $\theta = \frac{\pi}{۲}$ (شروع حرکت) و $\theta = ۰$ (پایین‌ترین نقطهٔ مسیر)، صفر نیست، پس طرف دوم رابطه هم صفر نیست. در نتیجه زاویهٔ α جز در آن دو حالت صفر نیست و به همین علت نیروی F در راستای قائم رسم نشده است. همان طور که پیشتر گفته شد، عددی که ترازو نشان می‌دهد مولفهٔ قائم F، یعنی F_V

است که نیروی متغیری است. بیشترین مقدار آن هنگامی است که $Cos^{۲}\theta = ۱$، یعنی $\theta=۰$ باشد. در این حالت داریم:

$$F_V = F(M + ۳m)g$$

چون در این حالت $\theta=۰$ است، طرف چپ رابطهٔ اول و در نتیجه طرف راست آن صفر است و باید $\alpha=۰$ باشد. یعنی در این حالت نیروی F که از طرف کف ترازو بر سطح زیرین نیم کره وارد می‌شود در راستای قائم است. به همین علت در آخرین رابطه F_V و F را برابر گرفته‌ایم. ملاحظه می‌شود که پاسخ درست گزینهٔ (د) است.

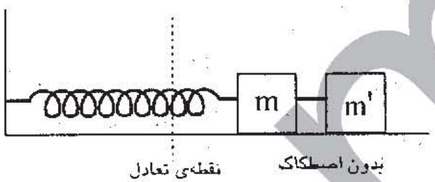
۱۱- مسیر اتومبیل، مجدداً در شکل (۱۲-۳۸) نشان داده شده است. اگر چه اندازهٔ سرعت اتومبیل ثابت است، اما به علت آن که اتومبیل در یک مسیر خمیده حرکت می‌کند، جهت سرعت تغیر می‌کند و در نتیجه حرکت اتومبیل شتاب دار است. چهار نقطهٔ A، B، C و D سرپیچ‌های جاده قرار ارند. حرکت اتومبیل در این پیچ‌ها را می‌توان قسمت کوچکی از یک دایره گرفت که هر چه پیچ جاده تندتر باشد، شعاع آن دایره کوچک‌تر است. این دایره‌ها نیز در شکل (۱۲-۳۸) نشان داده شده است. می‌دانیم شتاب حرکت در یک مسیر دایره‌ای، در صورتی که اندازهٔ سرعت ثابت باشد،



شکل (۱۲-۳۸)

روی شعاع دایره، به طرف مرکز و دارای اندازهٔ $\frac{V^2}{r}$ است که V اندازهٔ سرعت و r شعاع دایره است. بنابراین، با توجه به این که در تمام مسیر V ثابت است، در هر پیچی که شعاع r کوچک‌تر است، شتاب اتومبیل بزرگ‌تر خواهد بود. از روی شکل (۱۲-۳۸) پیداست که در نقطهٔ B، شعاع r از تمام نقاط دیگر کوچک‌تر است. پس در این نقطه، شتاب اتومبیل بیشترین مقدار را دارد. در نتیجه پاسخ درست، گزینهٔ (ب) است.

۱۲- دستگاه فنر و دو وزنهٔ m و m' که روی سطح افقی بدون اصطکاک نوسان می‌کنند، در شکل (۱۲-۳۹) نشان داده شده است. برای این که دستگاه نوسان کند، کافی است که یک عامل خارجی وزنه‌ها را روی سطح افقی در راستای طول فنر بکشد، به طوری که طول فنر از حالت عادی بیشتر شود و سپس آن را رها کند. پس از رها شدن وزنه‌ها، نیروی باز گردانندهٔ فنر به آنها شتاب می‌دهد و سرعت وزنه‌ها را زیادتر می‌کند. با حرکت وزنه‌ها به طرف نقطهٔ تعادل، طول فنر به طول عادی آن نزدیک می‌شود. هنگامی که وزنه‌ها به نقطهٔ تعادل برسند، دیگر نیروی بازگردانندهٔ فنر به آنها وارد نمی‌شود و سرعت وزنه‌ها در این نقطه بیشترین است. از این پس وزنه‌ها به علت سرعتی که دارند، فنر را می‌فشارند و با این کار نیروی بازگردانندهٔ فنر در خلاف جهت سرعت وزنه‌ها به آنها وارد می‌شود و سرعت آن‌ها را کم می‌کند، تا سرانجام در نقطه‌ای که فنر بیشترین فشردگی را دارد،



شکل (۱۲-۳۹)

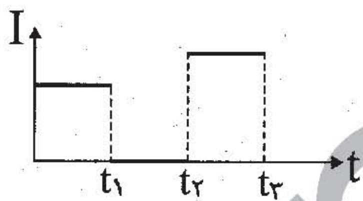
وزنه‌ها برای یک لحظه خواهند ایستاد.

در این حرکت نوسانی وزنه – فنر، انرژی موجود در دستگاه میان انرژی جنبشی وزنه و انرژی کش سانی فنر توزیع می‌شود. انرژی جنبشی وزنه مربوط به سرعت آن و انرژی کش‌سانی فنر مربوط به تغییر طول فنر است. در دو انتهای حرکت که سرعت وزنه‌ها صفر است، انرژی جنبشی صفر و تمام انرژی دستگاه به صورت انرژی کش سانی فنر است. در نقطهٔ تعادل که تغییر طول فنر و در نتیجه انرژی کش سانی فنر صفر است، تمام انرژی به صورت جنبشی است و در نتیجه سرعت وزنه‌ها در گذر از نقطهٔ تعادل بیشترین است.

در لحظه‌ای که وزنهٔ m' را جدا می‌کنیم، جرم‌ها در دورترین فاصله از نقطهٔ تعادل هستند، پس سرعت آنها و در نتیجه انرژی جنبشی آن‌ها صفر است و تمام انرژی دستگاه به صورت کش سانی است که به تغییر طول فنر بستگی دارد. از این پس نوسان ادامه پیدا می‌کند، اما تنها وزنهٔ m به فنر بسته شده است. هنگام رسیدن وزنهٔ m به انتهای دیگر نوسان، باز هم تمام انرژی دستگاه به صورت کش سانی است. چون حرکت وزنه‌ها روی سطح افقی بدون اصطکاک در نظر گرفته شده است، بقای انرژی مکانیکی برقرار است، یعنی همواره مجموع انرژی جنبشی و انرژی کش سانی ثابت است. پس در انتهای دیگر نوسان انرژی کش سانی فنر، با مقدار آن در لحظهٔ جداکردن وزنهٔ m' برابر است. از این بحث نتیجه می‌گیریم که حداکثر فشردگی فنر، با حداکثر کشیدگی آن برابر است. آشکار است که با ادامهٔ نوسان، وزنهٔ m، حداکثر تا همان جایی که وزنهٔ m' را جدا کردیم می‌رسد، زیرا در این حالت باز هم باید تمام انرژی دستگاه که به صورت کش‌سانی است، همان مقدار قبلی باشد. ملاحظه می‌شود که دامنهٔ نوسانی پس از جدا

کردن وزنهٔ m همان مقدار قبلی می‌ماند. تنها تفاوت به وجود آمده آن است که هنگام گذر وزنهٔ m از نقطهٔ تعادل، سرعتش نسبت به وضعی که وزنهٔ که m' همراه آن بود، بیشتر می‌شود، زیرا باید با جرم کمتر مقدار انرژی جنبشی همان مقدار باشد. به این ترتیب پاسخ درست گزینهٔ (ج) است.

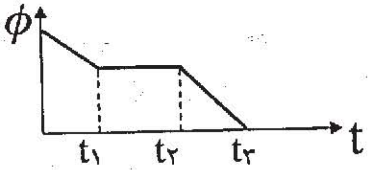
۱۳- می‌دانیم جریان القایی در یک مدار بسته، با آهنگ تغییر شار مغناطیسی که از آن مدار بسته می‌گذرد، برابر است. جریان القایی که در مدار مورد نظر به وجود آمده است، در شکل (۱۲-۴۰) نشان داده شده است. از این شکل پیدا



شکل (۱۲-۴۰)

است که در بازهٔ زمانی صفر تا t_1، شار مغناطیسی که از مدار بسته می‌گذرد، با آهنگ ثابتی تغییر کرده است، یعنی در این بازهٔ زمانی، تغییرات شار مغناطیسی خطی بوده است. در لحظهٔ t_1، شار مغناطیسی به هر مقداری رسیده باشد، تا زمان t_2، همان مقدار مانده است، زیرا در بازهٔ زمانی t_1تا t_2 جریان القایی صفر است. پس از این و تا لحظهٔ t_3، شار مغناطیسی مجدداً با آهنگ ثابتی تغییر کرده است، یعنی در این بازهٔ زمانی نیز تغییرات شار مغناطیسی خطی بوده است. چون جریان القایی در بازهٔ زمانی صفر تا t_1از جریان القایی در بازهٔ زمانی t_2تا t_3، کمتر است، نتیجه می‌گیریم تغییرات شار مغناطیسی دربازهٔ زمانی اول، کندتر از تغییرات شار مغناطیسی در بازهٔ زمانی دوم بوده است. با این توضیحات تغییرات شار مغناطیسی نموداری مشابه شکل (۱۲-۴۱) خواهد بود. توجه

کنید که جریان القایی مثبت با آهنگ منفی تغییرات شار مغناطیسی به وجود آمده است که علامت منفی در رابطهٔ زیر به همان معنی است.

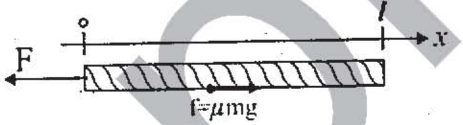


$$\xi = -\frac{d\phi}{dt}$$

نمودار (۱۲-۴۱) مشابه نمودار گزینهٔ (ج) است. پس پاسخ درست، گزینهٔ (ج) است.

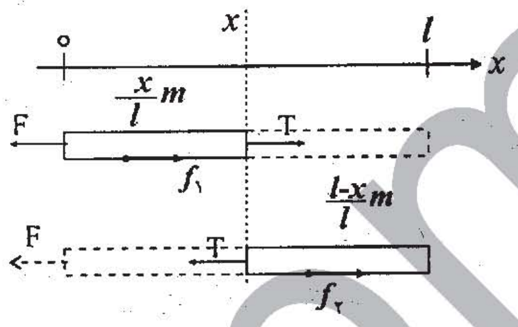
شکل (۱۲-۴۱)

۱۴- در شکل (۱۲-۴۲) ریسمان همگن به طول l و جرم m نشان داده شده است. این ریسمان روی سطح افقی با ضریب اصطکاک μ قرار دارد و با نیروی افقی F کشیده می‌شود. چون بنا به فرض $F > \mu mg$ است، برآیند نیروهای افقی وارد بر ریسمان، شتابی در جهت نیروی F به آن می‌دهد. اگر ریسمان را از نقطه‌ای به مختصات x قطع کنیم، به طوری که نیروی F بر تکهٔ کوچک‌تری از ریسمان وارد شود، شتاب آن تکه تغییر خواهد کرد. پیش از قطع کردن ریسمان، دو تکهٔ چپ و راست محل بریدن، بر یکدیگر نیروی معینی وارد می‌کردند که با قطع ریسمان این نیرو از میان



شکل (۱۲-۴۲)

می‌رود. اگر یک عامل خارجی در محل بریدگی به تکهٔ سمت چپ نیرویی وارد کند به طوری که در وضعیت حرکت آن تکه تغییری نسبت به قبل از بریدگی به وجود نیاید، آن نیرو را کشش در آن نقطه می‌نامند. آشکار است که پیش از بریدن ریسمان، چنین نیرویی از طرف تکهٔ سمت چپ به تکهٔ سمت راست وارد می‌شد. پس از بریدن ریسمان در مختصات x، وضعیت حرکت تکهٔ سمت راست نیز تغییر می‌کند. ممکن است عامل خارجی در محل بریدگی نیرویی به تکهٔ سمت راست وارد کند تا این تکه، همان حرکت قبلی را داشته باشد. چنین نیرویی پیش از قطع ریسمان، از طرف تکهٔ چپ بر آن وارد می‌شده است و



شکل (۱۲-۴۳)

آشکار است که این نیرو نیز کشش ریسمان آن در نقطه است. در شکل (۱۲-۴۳) برای نشان دادن نیروها دو تکهٔ ریسمان را جدا از هم نشان داده‌ایم. در این شکل نیروی اصطکاک وارد بر هر کدام از دو تکهٔ راست و چپ نیز نشان داده شده است. چون نیروی اصطکاک متناسب با نیرویی است که در راستای عمود بر سطح تماس بر جسم وارد می‌شود، پس نیروی اصطکاک وارد بر هر کدام از دو تکهٔ ریسمان، متناسب با وزن آن‌هاست. پس:

$$f_1 = \mu \frac{x}{l} mg \qquad f_2 = \mu \frac{l-x}{l} mg$$

از دو رابطهٔ بالا پیداست جمع نیروی اصطکاک همان طور که انتظار داریم، μmg خواهد

شد. با استفاده از شکل (۱۲-۴۲) برای شتاب ریسمان داریم:

$$a=\frac{\sum F}{m}=\frac{F-\mu mg}{m}$$

اکنون بنا به تعریف، باید نیروی T در شکل (۱۲-۴۳) را طوری بر تکهٔ چپ وارد کنیم تا شتاب آن a شود.

با توجه به نیروهایی که بر این تکه وارد می‌شود، داریم:

$$F-\mu\frac{x}{l}mg-T=\frac{x}{l}m\left[\frac{F-\mu mg}{m}\right]$$

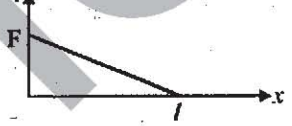
$$T=F\left(1-\frac{x}{l}\right)$$

می‌توان نیروی کشش T را با ملاحظه حرکت تکهٔ راست نیز به دست آورد. با توجه به شکل (۱۲-۴۳) داریم:

$$T-\mu\frac{l-x}{l}mg=\frac{l-x}{l}m\left[\frac{F-\mu mg}{m}\right]$$

$$T=F\left(1-\frac{x}{l}\right)$$

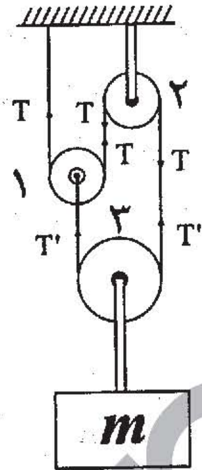
همان که انتظار داریم، همان رابطهٔ قبلی به دست می‌آید. علت آن است که نیرویی دو تکهٔ چپ و راست ریسمان در محل بریدگی برهم وارد می‌کنند، نیروهای عمل و



شکل (۱۲-۴۴)

عکس‌العمل هستند و طبق قانون سوم نیوتون باید با هم مساوی باشند. تغییرات نیروی کشش T بر حسب x در شکل (۱۲-۴۴)
رسم شده است که مشابه نمودار گزینهٔ (الف) است. پس پاسخ درست گزینهٔ (الف) است.

۱۵- شکل (۱۲-۴۵)، همان شکل (۱۲-۱۰) است. برای توضیح بهتر، قرقره‌ها شماره گذاری شده است. نیروی کشش را در دو طرف نخی که از شیار قرقرهٔ شمارهٔ ۱ گذشته است به طور مساوی T گرفته‌ایم. پیشتر توضیح داده شده است که اگر نخ با شیار قرقره اصطکاک نداشته باشد، نیروی کشش نخ در دو طرف قرقره یکسان است. هم چنین نیروی کشش را در نخی که به محور قرقرهٔ ۱ بسته شده است T' گرفته‌ایم.



شکل (۱۲-۴۵)

چون از وزن قرقره‌ها چشم پوشیده‌ایم، باید برآیند نیروهای وارد بر قرقره شمارهٔ ۱ صفر باشد.

پس داریم: $$T' = ۲T$$

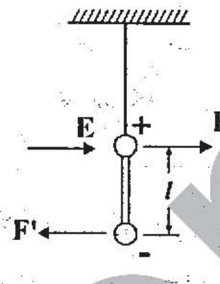
اکنون به نیروی کشش نخی که از شیار قرقره شمارهٔ ۲ گذشته است، توجه می‌کنیم. نیروی کشش در نخ سمت چپ این قرقره، همان T است، پس نیروی کشش در نخ سمت راست نیز T است، زیرا از نیروی اصطکاک نخ با شیار قرقره، چشم پوشیده‌ایم و در این صورت باید کشش نخ در دو طرف قرقره یکسان باشد. در تکه نخی که از کناره‌های

راست قرقره‌های ۱ و ۲ گذشته است، باید نیروی کشش یکسان باشد، زیرا در نخ بدون جرم، نیروی کشش در همه جای آن یکسان است. پس داریم:

$T = T'$

با مقایسه این رابطه و رابطهٔ قبلی، تنها پاسخ قابل قبول $T = T' = 0$ است. بنابراین نتیجه می‌گیریم که نیروی کشش در نخی که از شیار قرقرهٔ شماره ۳ گذشته است، صفر است. پس تنها نیرویی که به جرم m وارد می‌شود، وزن آن، یعنی mg است و این نیرو به آن شتاب g می‌دهد. پس پاسخ درست گزینهٔ (د) است.

۱۶- آونگ مرکب مورد نظر در شکل (۱۲-۴۶) نشان داده شده است. می‌دانیم نیروی میدان الکتریکی بر بار مثبت، در جهت میدان الکتریکی و بر بار منفی در خلاف جهت آن است. در شکل (۱۲-۴۶) نیروهای وارد بر دو گلولهٔ باردار نیز نشان داده شده است. چون میدان الکتریکی یکنواخت است، یعنی در تمام فضایی که بارها قرار دارند، اندازه و جهت یکسانی دارد و اندازهٔ دوبار مثبت و منفی نیز برابر است، نیروی وارد بر دو گلوله، هم اندازه و هم راستا است. بنابراین بر این بارها که دو قطبی الکتریکی نام دارد، یک زوج نیرو وارد می‌شود. در هر زوج نیرو، برآیند نیروها صفر است، اما گشتاوری که وارد می‌کنند، صفر نیست. پس این زوج نیرو، دو قطبی التریکی را در جهت عقربه‌های ساعت می‌چرخاند. برای تعیین حالت تعادل نهایی، باید دو نیروی دیگری را که بر این دو قطبی وارد می‌شود در نظر بگیریم. این دو نیرو عبارت است از وزن دو قطبی و نیروی کشش



شکل (۱۲-۴۶)

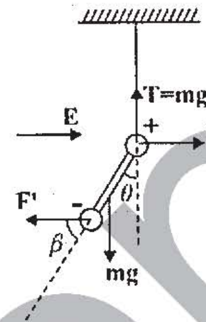
نخی که دو قطبی را به آن آویخته‌ایم. در حالت تعادل نهایی، باید:

الف) برآیند نیروها صفر باشد.

ب) برآیند گشتاورها صفر باشد.

چون برآیند زوج نیروی F و F' صفر است، پس برای تحقق شرط (الف)، باید برآیند دو نیروی وزن دو قطبی و نیروی کشش نخ نیز صفر باشد. آشکار است که شرط لازم برای آن که برآیند دو نیرو صفر باشد آن است که دو نیرو هم راستا باشند، زیرا برآیند دو نیروی غیر هم راستا، هیچ گاه صفر نیست.

از طرفی می‌دانیم نیروی وزن در راستای قائم است، پس نیروی کشش نخ نیز باید در راستای قائم باشد. چون نیروی کشش نخی که قابل انعطاف باشد، همواره در راستای نخ است، پس در حالت تعادل نهایی، راستای نخ باید قائم بماند. اگر فرض کنیم حالت تعادل نهایی مانند شکل (۱۲-۴۶) است، شرط (ب) یعنی صفر شدن گشتاور نیروها نیز تحقق یافته است، زیرا در این شکل گشتاور دو نیروی وزن و کشش نخ صفر است، اما گشتاور زوج نیروی F و F' صفر نیست. پس در حالی که راستای نخ قائم می‌ماند، دو قطبی چنان می‌چرخد که شرط (ب) نیز تحقق یابد. با توجه به این که دو قطبی در جهت عقربه‌های ساعت می‌گردد، حالت تعادل باید مطابق شکل (۱۲-۴۷) باشد. در این شکل نیروهای وزن و کشش نخ نیز نشان داده شده‌اند. همان طور که از شکل پیداست، گشتاور این دو نیرو، دو قطبی را در خلاف



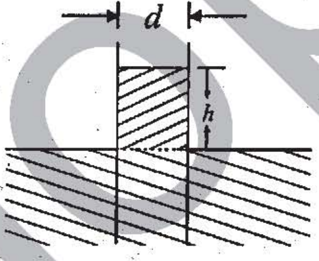
شکل (۱۲-۴۷)

جهت عقربه ساعت می‌گرداند. پس امکان این که برآیند گشتاورها صفر باشد، وجود دارد. اندازهٔ گشتاور زوج نیروی F و F' و نیز گشتاور دو نیروی وزن و کشش نخ چنین است.

$$\tau = F\,l\,Sin\beta \qquad\qquad \tau' = mg\frac{l}{۲}Sin\,\theta$$

در رابطهٔ اول F و l مقدار ثابتی دارند، اما β می‌تواند تغییر کند. از رابطهٔ دوم پیداست که هر چه دو قطبی سبک‌تر باشد، برای آن که گشتاور τ' با گشتاور τ اندازهٔ برابر داشته باشد، باید زاویه θ بزرگتر باشد. اما از سوی دیگر داریم $\beta = \frac{\pi}{۲} - \theta$. پس با بزرگ شدن زاویهٔ θ، (به علت کوچک‌تر بودن m) زاویه β کوچک‌تر می‌شود تاتساوی τ و τ' برقرار شود. آشکار است که اگر وزن دو قطبی بسیار کم باشد، τ' حتی با $\theta = \frac{\pi}{۲}$ بسیار کوچک می‌شود و برای کوچک شدن هم زمان τ، باید زاویهٔ β بسیار کوچک شود، یعنی دو قطبی در حالتی نزدیک به افقی قرار گیرد. با توجه به شکل (۱۲-۴۷) نتیجه می‌گیریم که پاسخ (ب) گزینهٔ درست است.

۱۷- در شکل (۱۲-۴۸) لولهٔ مویین که آب در آن نسبت به سطح آزاد مایع بالاتر رفته است، نشان داده شده است. انرژی پتانسیل ناشی از تماس آب با دیوارهٔ درونی لوله $E_۱$ و انرژی پتانسیل گرانشی مربوط به بالا آمدن آب $E_۲$ است. چون $E_۱$ متناسب با سطح تماس آن قسمت از آب است که بالاتر از سطح آزاد آب قرار دارد، داریم:



شکل (۱۲-۴۸)

$$E_{۱} = -\beta[h(\pi\alpha)]$$

انرژی پتانسیل گرانشی ستونی از آب به ارتفاع h، یعنی $E_{۲}$ برابر است با:

$$E_{۲} = mg\frac{h}{۲} = (\pi\frac{d}{۲})^{۲} h\rho g\frac{h}{۲} = \frac{\pi d^{۲}\rho g}{۸}h^{۲}$$

رابطهٔ بالا براین اساس نوشته شده است که گرانیگاه ستون آب در ارتفاع $\frac{h}{۲}$ از سطح آزاد آب قرار دارد. مجموع دو انرژی پتانسیل چنین است:

$$E = E_{۱} + E_{۲} = \frac{\pi d^{۲}\rho g}{۸}h^{۲} - \beta\pi d h$$

در حالت تعادل دستگاه، E باید کمینه شود، یعنی تغییرات آن نسبت به تغییر h صفر شود. داریم:

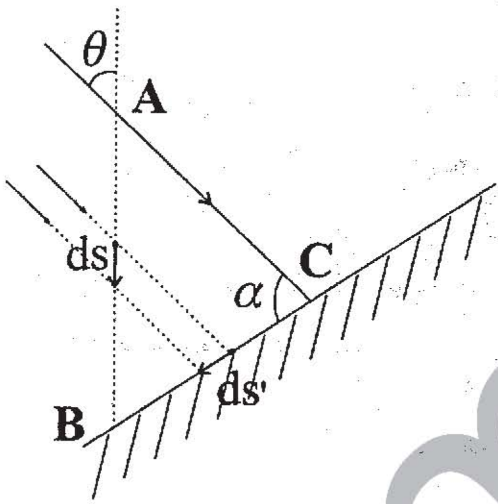
$$\frac{dE}{dh} = \frac{\pi d^{۲}\rho g}{۴}h - \beta\pi d = \pi d(\frac{d\rho g}{۴}h - \beta) = ۰$$

$$h = \frac{۴\beta}{\rho g}\frac{۱}{d}$$

از آخرین رابطه، ملاحظه می‌شود که ارتفاع ستون آب، h، با قطر لولهٔ مویین، d، نسبت عکس دارد، زیرا β، ρ و g ثابت مانده و تنها قطر لوله دوبرابر شده است. پس باید ارتفاع ستون آب نصف شود. بنابراین پاسخ درست گزینهٔ (ب) است.

۱۸- در شکل (۱۲-۴۹) سطح شیب دار و پرتوهای نور خورشید نشان داده شده است. می‌دانیم برای به دست آوردن سرعت گلوله، V، باید جابه جایی کوچکی مانند ds از

مسیر گلوله را بر زمان dt که این جابه‌جایی انجام می‌شود تقسیم کنیم. چون خورشید از زمین بسیار دور است، پرتوهای آن که به هر نقطه‌ای از زمین می‌رسند موازی هستند. در مدت زمانی که گلوله جابه جایی ds را انجام می‌دهد، سایهٔ آن روی سطح شیب دار جابه جایی ds' را انجام می‌دهد. سرعت سایهٔ گلوله روی سطح شیب دار از تقسیم ds' بر همان زمان dt به دست می‌آید. پس داریم:



شکل (۱۲-۴۹)

$$V=\frac{ds}{dt} \qquad V'=\frac{ds'}{dt}$$

$$\frac{V}{V'}=\frac{ds}{ds'}$$

از شکل (۱۲-۴۹) پیداست که نسبت ds به ds' از اندازهٔ ds مستقل است. یعنی اگر ds را بزرگتر یا کوچک‌تر انتخاب کنیم، ds' نیز به همان نسبت بزرگ یا کوچک خواهد شد. از این جا می‌توان نتیجه گرفت که نسبت V به V' به زمان بستگی ندارد و مقدار ثابتی است. برای به دست آوردن این نسبت می‌توان جابه جایی گلوله را ضلع AB گرفت. در این صورت جا به جایی سایه ضلع BC خواهد شد. با استفاده از رابطه‌ای که میان اضلاع

یک مثلث و زاویه‌های آن برقرار است، داریم:

$$\frac{AB}{\sin\alpha}=\frac{BC}{\sin\theta}$$

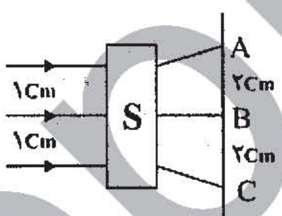
$$\frac{V}{V'}=\frac{AB}{BC}=\frac{\sin\alpha}{\sin\theta}$$

چون بنا به فرض $\alpha>\theta$، پس $\frac{\sin\alpha}{\sin\theta}>1$ است. نتیجه آن که:

$$\frac{V}{V'}=cte>1$$

ملاحظه می‌شود که نمودار گزینهٔ (ج) با این رابطه مطابقت دارد، پس گزینه (ج) درست است.

۱۹- درشکل (۱۲-۵۰) باریکه‌های نور و نقاط روشن که روی پرده به وجود آورده‌اند، دیده می‌شود. در این شکل مشاهده می‌شود که باریکه‌های نور پس از عبور از ابزار نوری S واگرا شده‌اند. پس، ابزار نوری S می‌تواند یک عدسی واگرا باشد.



شکل (۱۲-۵۰)

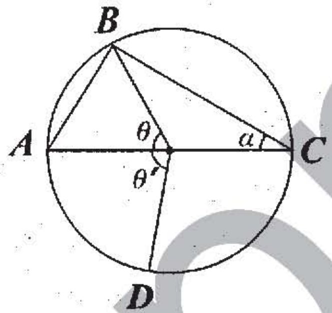
علاوه بر آن ممکن است ابزار نوری S یک عدسی همگرا باشد که پرتوهای موازی پس از عبور از آن درکانون عدسی جمع شده و سپس واگرا شده باشند. در این صورت کانون عدسی باید جایی میان ابزار نوری S و پرده باشد. بنابراین ابزار نوری S ممکن است عدسی واگرا و یا همگرا باشد. پس گزینهٔ (ج) درست است.

۲۰- در خانه‌ای که ۵ نفر زندگی می‌کنند و هرکدام روزانه ۲۰۰ لیتر آب مصرف می‌کنند، در هر ۲۴ ساعت ۱۰۰۰ لیتر آب مصرف می‌شود. آبی که با چکه کردن شیر هدر می‌رود، از رابطهٔ زیر به دست می‌آید.

$V = ۲۴ \times ۶۰ \times ۶۰ \times ۰/۱ \times ۱۰^{-۳} = ۸/۶۴$ لیتر

این مقدار آب نزدیک به یک درصد آب مصرفی روزانهٔ خانواده است. پس گزینهٔ (ب) درست است.

۲۱- مسیر حرکت متحرک که یک دایره است، در شکل (۱۲-۵۱) نشان داده شده است. اگر متحرک در لحظهٔ $t=۰$ در نقطهٔ A باشد، فاصلهٔ متحرک از نقطهٔ A، و در لحظهٔ t در نقطهٔ B برابر با وتر AB است. با توجه به شکل داریم:



شکل (۱۲-۵۱)

$$AB = ۲R\,Sin\,\alpha = ۲RSin\frac{\theta}{۲}$$

چون سرعت متحرک ثابت است، کمان‌های مساوی، در زمانهای مساوی طی می‌شود. اگر طول کمان پیموده شده از نقطهٔ A را S و اندازهٔ سرعت را V بنامیم، داریم:

$$S = Vt$$

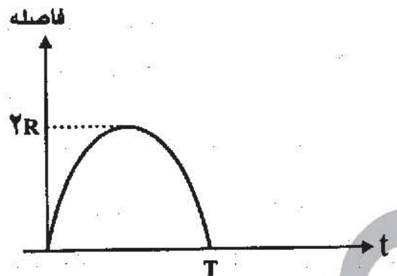
می‌دانیم زاویهٔ مرکزی روبه روی کمان S بر حسب رادیان $\frac{S}{R}$ است. پس:

$$\frac{S}{R} = \theta = \frac{V}{R}t = \omega t$$

اکنون اگر مقدار θ را از این رابطه در رابطهٔ قبل بگذاریم، داریم:

$$AB = ۲R\,Sin\frac{\omega}{۲}t$$

از شکل (۱۲-۵۱) پیداست که زاویهٔ θ هنگامی که متحرک در نقطهٔ A است، از صفر شروع و هنگامی که متحرک به نقطهٔ C می‌رسد، تا مقدار π رادیان زیاد می‌شود. چون فاصلهٔ متحرک از نقطهٔ A مورد نظر است و این مقدار همواره مثبت است، با عبور متحرک از نقطهٔ C، و مثلاً رسید به نقطهٔ D،

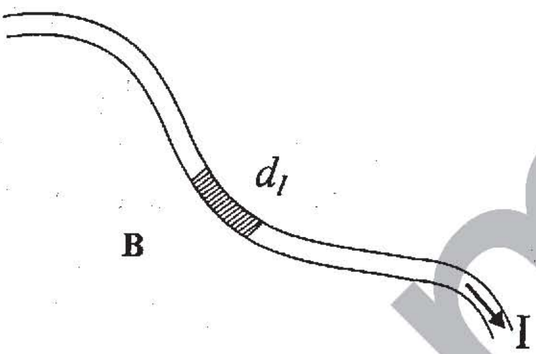


شکل (۱۲-۵۲)

باید به جای زاویهٔ θ که در این حالت بزرگتر از π رادیان است، زاویهٔ θ' را قرار داد به‌طوری که همواره سینوس آن مثبت باشد. نمودار تغییرات فاصلهٔ متحرک از نقطهٔ ثابت A در مدت زمانی که متحرک یک دور دایره را می‌پیماید، در شکل (۱۲-۵۲) نشان داده شده است. هنگامی که متحرک دورهای بعدی را می‌زند، همین نمودار تکرار می‌شود و نموداری مانند آنچه در گزینهٔ (د) آمده است، به وجود می‌آید. پس گزینهٔ (د) درست است.

۲۲- می‌دانیم که بر سیم حامل جریان، از طرف میدان مغناطیسی نیرو وارد می‌شود. این میدان مغناطیسی ممکن است مربوط به یک آهن ربای دائمی باشد و یا توسط یک سیم دیگر حامل جریان به وجود آمده باشد. اگر بخواهیم نیروی وارد بر یک سیم حامل جریان را به دست آوریم، در صورتی که در نقاط مختلف سیم حامل جریان،

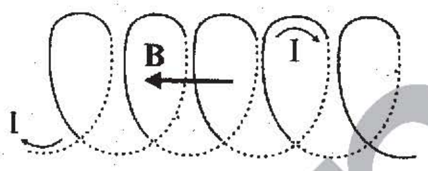
میدان مغناطیسی متفاوت باشد، باید سیم حامل جریان را به قطعات کوچک قسمت بندی کنیم، به طوری که میدان مغناطیسی در محل هر قطعهٔ کوچک را بتوان یک نواخت در نظر گرفت. در ین صورت می‌توان نیروی وارد بر این قطعهٔ کوچک را به دست آورد. پس از آن لازم است برآیند نیروهای وارد بر این قطعات کوچک را محاسبه کرد تا نیروی وارد بر کل سیم به دست آید. فرض کنید می‌خواهیم نیرویی را که بر سیم نشان داده شده در شکل (۱۲-۵۳) وارد می‌شود، به دست آوریم. هم چنین فرض کنید میدان مغناطیسی در محل نقاط مختلف سیم یکنواخت



شکل (۱۲-۵۳)

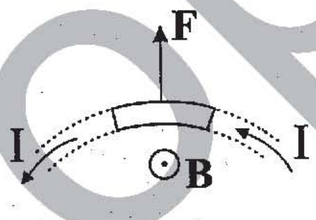
نیست. مطابق آنچه گفته شد، قسمت کوچکی از سیم به طول dl را در نظر گرفته‌ایم. نیروی وارد بر این قطعهٔ کوچک با کل میدان مغناطیسی در محل این قطعه متناسب است. این میدان مغناطیسی ممکن است مربوط به آهن رباهای دائمی نزدیک سیم یا حاصل سیم‌های دیگر حامل جریان در اطراف باشد که هیچ کدام نشان داده نشده‌اند. اما علاوه بر آنها، باید میدان مغناطیسی حاصل از خود این سیم به جز میدان مربوط به قطعه کوچک مورد نظر نیز به حساب آورده شود. به عبارت دیگر میدان مغناطیسی همهٔ سیم‌های حامل جریان از جمله سیم مورد نظر، در نیروی وارد بر قطعهٔ کوچک موثر است، تنها میدان مغناطیسی حاصل از خود قطعهٔ کوچک باید در نظر گرفته نشود. ممکن

است تصور شود که حذفُ یا عدم حذف میدان مغناطیسی مربوط به قطعهٔ کوچک، اهمیتی ندارد، زیرا میدان مغناطیسی مربوط به آن به علت کوچکی طولش، قابل چشم پوشی است. اما این طور نیست، زیرا اگر چه طول قطعه کوچک است، اما به علت نزدیکی نقطهٔ مورد نظر به سیم، میدان مغناطیسی مربوط به آن کوچک و قابل چشم پوشی نیست، زیرا میدان مغناطیسی با عکس فاصله از سیم حامل جریان متناسب است. در شکل (۱۲-۵۴) قسمتی از یک سیم لوله نشان داده شده است.



شکل (۱۲-۵۴)

می‌دانیم میدان مغناطیسی در داخل یک سیم لوله بلند، یک نواخت و بیرون آن تقریباً صفر است. اگر بخواهیم نیرویی را که بر قوس کوچکی از یک حلقهٔ سیم لوله وارد می‌شود، به دست آوریم، باید میدان مغناطیسی مربوط به تمام حلقه‌ها به جز همین قوس کوچک را در محل این قوس در نظر بگیریم. می‌دانیم میدان مغناطیسی سیم لولهٔ کامل متناسب با جریانی است که از آن می‌گذرد. اگر میدان مغناطیسی مربوط به این قوس کوچک را حذف کنیم، می‌توان نشان داد که میدان مغناطیسی باز هم با I متناسب است، اما نصف میدان مغناطیسی سیم لولهٔ کامل است. بنابراین می‌توان گفت، در محل این قوس کوچک، نیمی از میدان توسط این قوس

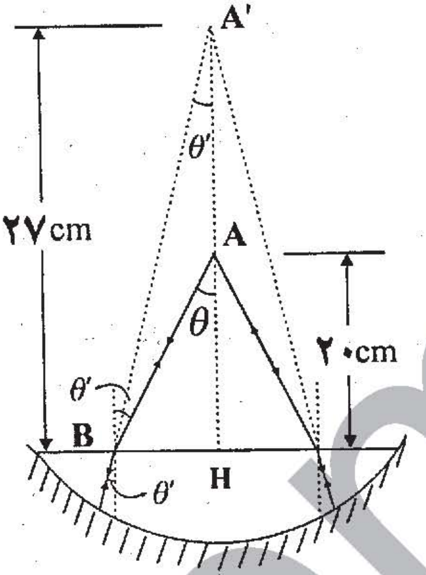


شکل (۱۲-۵۵)

کوچک و نیمی دیگر توسط بقیهٔ سیم لوله درست می‌شود. در شکل (۱۲-۵۴) با توجه به جهت جریان، جهت میدان مغناطیسی نیز مشخص شده است. در شکل (۱۲-۵۵) این قوس کوچک و میدان مغناطیسی در محل آن به طرف بیرون صفحه کاغذ، نشان داده شده است. با استفاده از قاعدهٔ دست راست می‌توان جهت نیروی وارد بر این قوس کوچک را تعیین کرد که به طرف بیرون خواهد بود. چون این نیرو بر قوس کوچک عمود است، در راستای شعاع حلقه قرار خواهد داشت. می‌دانیم نیروی وارد بر سیم حامل جریان با میدان مغناطیسی و نیز جریانی که از سیم می‌گذرد، متناسب است. در نتیجه با حاصل ضرب آنها متناسب خواهد بود. چون خود میدان مغناطیسی با جریان سیم لوله متناسب است، پس نیروی وارد بر قوس کوچک با I^2 متناسب است. به آسانی می‌توان نشان داد که جریان در هر جهت که از سیم لوله بگذرد، نیروی وارد بر قوس کوچک از یک حلقه همواره به طرف بیرون است. پس گزینهٔ (ج) درست است.

۲۳- آینهٔ مقعری که گودی آن از مایع پرشده است، در شکل (۱۲-۵۶) نشان داده شده است. از نقطهٔ نورانی A پرتوهایی به سطح مایع بر می‌خورد. این پرتوها در سطح آزاد مایع شکسته و وارد آن می‌شوند و به سطح باز تابندهٔ آینه می‌رسند. پرتوها پس از بازتاب از سطح آینه مجدداً در سطح آزاد مایع می‌شکنند و از آن بیرون می‌آیند و مجدداً در نقطهٔ A جمع می‌شوند، زیرا بنابه فرض تصویر نقطهٔ نورانی A در این ابزار نوری برخودش منطبق است. در شکل (۱۲-۵۶) بخشی از این پرتوها نشان داده شده است. چون تصویر نقطهٔ نورانی A بر خودش منطبق است، باید مسیر رفت نور از A تا سطح بازتابندهٔ آینه با مسیر برگشت نور از سطح بازتابندهٔ آینه تا تصویر، برهم منطبق باشند. در این صورت نوری که در مایع، به سطح آینه برخورده است، روی خودش بازتاب کرده

است. پس پرتوهای نور بر سطح آینه عمود بوده است. می‌دانیم که عمود بر سطح یک کره بر شعاع کره منطبق است و از مرکز آن می‌گذرد. پس امتداد پرتوهایی که در مایع به سطح آینه برخورده است، از مرکز آینه می‌گذرد. امتداد این پرتوها در نقطهٔ A' به هم رسیده‌اند، پس A' مرکز کره است که فاصلهٔ آن تا گودترین قسمت مایع



شکل (۱۲-۵۶)

۲۸cm فاصله دارد. اگر آینه وجود نداشت، مسیر پرتوهای نورانی پس از ورود به مایع ادامه می‌یافت. اگر چشم انسان در زیر سطح آزاد مایع قرار داشت و این پرتوها را دریافت می‌کرد، چنین به نظرش می‌رسید که این پرتوها از نقطهٔ A' آمده‌اند، زیرا اگر تمام محیط بالاتر از سطح آزاد مایع، از همین مایع پرشده بود و پرتوهای نورانی واقعاً از نقطهٔ A' می‌آمدند، برای چشم از نظر دریافت پرتوها تفاوتی نمی‌کرد. از قانون شکست پرتوها در سطح آزاد مایع داریم:

$$Sin\,\theta = n\,Sin\,\theta'$$

اگر تنها پرتوهایی را در نظر بگیریم که زاویهٔ θ برای آنها کوچک است، یعنی پرتوهایی که

نزدیک محور آینه قرار دارند (این پرتوها پیرا محوری نام دارند)، می‌توان به جای سینوس زاویه، تانژانت آن را قرار داد. داریم:

$$tg\,\theta = n\,tg\,\theta'$$

از دو مثلث AHB و $A'HB$ داریم:

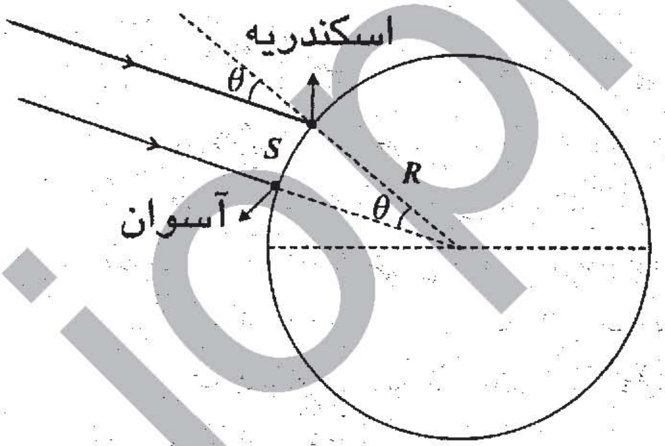
$$tg\,\theta = \frac{BH}{AH} \qquad tg\,\theta' = \frac{BH}{A'H}$$

از ترکیب دو رابطهٔ بالا، به دست می‌آید:

$$A'H = n\,AH \rightarrow n = \frac{A'H}{AH} = \frac{۲۷}{۲۰} = ۱/۳۵$$

پس گزینهٔ (الف) درست است.

۲۴- در شکل (۱۲-۵۷)، نصف النهاری که از شهرهای آسوان و اسکندریه می‌گذرد نشان داده شده است. پرتوهایی که از خورشید به این دو شهر می‌تابند، موازی هم هستند، زیرا از یک نقطهٔ دور که خورشید در آن جاست آمده‌اند. در لحظه‌ای که پرتو نور خورشید در آسوان



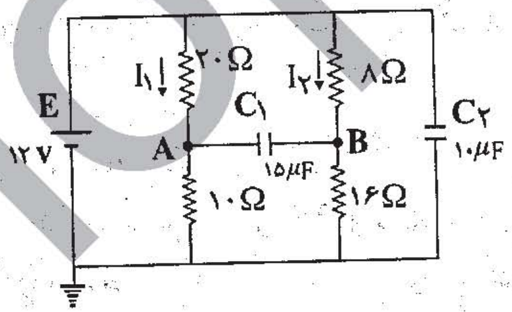
شکل (۱۲-۵۷)

بر زمین عمود است، یعنی امتداد آن از مرکز زمین می‌گذرد، پرتوهای نور خورشید در اسکندریه، با خط عمود بر سطح زمین زاویهٔ θ می‌سازد که حدود ۷ درجه است. ازاین شکل پیداست که زاویهٔ میان دو شعاعی از کرهٔ زمین که از آسوان و اسکندریه می‌گذرد نیز θ است و قوس مقابل به این زاویه فاصلهٔ میان دو شهر است. می‌دانیم زاویهٔ مرکزی بر حسب رادیان از تقسیم طول کمان بر شعاع دایره به دست می‌آید. پس داریم:

$$\theta = \frac{S}{R} \rightarrow S = R\theta = ۶۴۰۰ \times ۷\frac{۳/۱۴}{۱۸۰} \simeq ۷۸۰ \text{ km}$$

در رابطهٔ بالا، ضریب $\frac{۳/۱۴}{۱۸۰}$ برای تبدیل درجه به رادیان است، زیرا نیم دایره که ۱۸۰ درجه است، برابر با π=۳/۱۴ رادیان است. پس گزینهٔ (ب) درست است.

۲۵- مداری که در شکل (۱۲-۵۸) رسم شده است، همان مدار شکل (۱۲-۱۶) است. پیش از آن که خازن‌های $C_۱$ و $C_۲$ پر شوند، جریانی از آنها می‌گذرد و این جریان‌ها سبب پرشدن خازن‌ها می‌شود. پس از گذشت زمان کافی هر دو خازن کاملاً پر می‌شوند و دیگر جریانی از آنها نمی‌گذرد. روی شکل تنها جریان‌های $I_۱$ و $I_۲$ در شاخه هایی که در آنها مقاومت وجود دارد رسم شده است و روی شاخه هایی که خازن در آن هاست، علامت جریان گذارده نشده است. بنابراین شکل مربوط به زمانی است که خازن‌ها پر شده‌اند. قطب منفی باتری را متصل به زمین گرفته‌ایم، یعنی می‌توان این نقطه را



شکل (۱۲-۵۸)

مبنای پتانسیل الکتریکی گرفت و آن را صفر فرض کرد. بااین فرض پتانسل قطب مثبت باتری ۱۲V خواهد شد. برای محاسبه جریان I_1 و I_2 داریم:

$$I_1 = \frac{12}{20 + 10} = 0/4 \ \text{A}$$

$$I_2 = \frac{12}{8 + 16} = 0/5 \ \text{A}$$

برای به دست آوردن اختلاف پتانسیل نهایی خازن c_1، باید اختلاف پتانسل دو سر آن، یعنی میان دو نقطهٔ A و B را محاسبه کرد. برای این کار باید پتانسیل هر یک از دو نقطهٔ A و B را نسبت به زمین به دست آورد و سپس آن‌ها را از یکدیگر کم کرد.

$$V_A - 0 = 10 \times 0/4 = 4 \ \text{V}$$

$$V_B - 0 = 16 \times 0/5 = 8 \ \text{V}$$

در این دو رابطه، از این مفهوم استفاده کرده‌ایم که اختلاف پتانسیل دو سر یک مقاومت، عبارت است از مقاومت ضرب در جریانی که از آن می‌گذرد و چون یک سر از هر دو مقاومت 10Ω و 12Ω به زمین وصل است، پتانسیل آن سر را صفر گرفته‌ایم.

$$V_{AB} = V_B - V_A = 8 - 4 = 4 \ \text{V}$$

پس گزینه (ب) درست است.

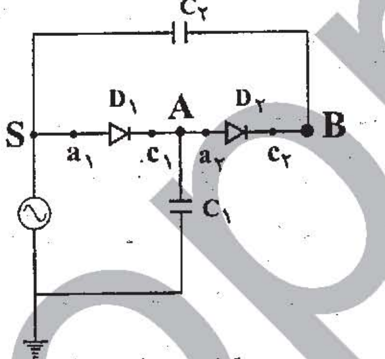
۲۶- فشار جو در سطح زمین $10^5 \text{p}a$ است، یعنی بر هر متر مربع از سطح زمین نیروی 10^5N وارد می‌شود. این نیرو به این علت وارد می‌شود که روی سطح موزد نظر ستونی از هوا به مساحت یک متر مربع و ارتفاع از سطح زمین تا بالای جو، قرار دارد. چنین

ستونی از هوا معادل وزن خود بر سطح زمین نیرو وارد می‌کند. پس می‌توان گفت وزن چنین ستونی از هوا $10^5 N$ است. برای به دست آوردن وزن کل هوای اطراف زمین، کافی است، وزن این ستون را در مساحت سطح کرهٔ زمین ضرب کنیم.

$$W = Mg = ۱۰^۵ \times [۴ \times ۳/۱۴ \times (۶۴۰۰)^۲ \times ۱۰^۶] = ۵ \times ۱۰^{۱۹} \mathrm{N}$$

$$M = \frac{W}{g} \simeq ۰/۵ \times ۱۰^{۱۹} \ \mathrm{kg}$$

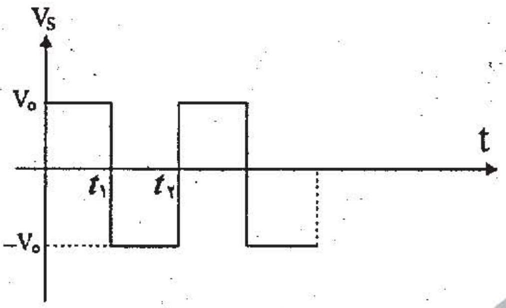
در رابطهٔ بالا شعاع کرهٔ زمین را ۶۴۰۰km گرفته‌ایم. ملاحظه می‌شود که گزینهٔ (ج) درست است.



شکل (۱۲-۵۹)

۲۷- مدار مورد نظر در شکل (۱۲-۵۹) نشان داده شده است. هم چنین ولتاژ نقطهٔ S بر حسب زمان در شکل (۱۲-۶۰) نشان داده شده است. در بازهٔ زمانی صفر تا t_1 که ولتاژ نقطهٔ S مقدار ثابت V_0 است، از دیود D_1 جریان می‌گذرد. زیرا خالی بودن خازن c_1، به معنای آن است که اختلاف پتانسیل دو سر آن صفر است و در نتیجه ولتاژ نقطهٔ A در ابتدا صفر است. پس برای دیود D_1، شرط $V_{c_1} > V_{a_1}$ برقرار نیست. جریانی که در این مدت از دیود D_1 می‌گذرد، خازن c_1 را پر می‌کند، یعنی ولتاژ نقطهٔ A را بالا می‌برد. در این مدت از دیود D_2 جریانی نمی‌گذرد، زیرا با خالی بودن خازن c_2، اختلاف پتانسیل دو سر آن صفر است، یعنی ولتاژ نقطهٔ B، همان ولتاژ نقطهٔ S است. پس برای

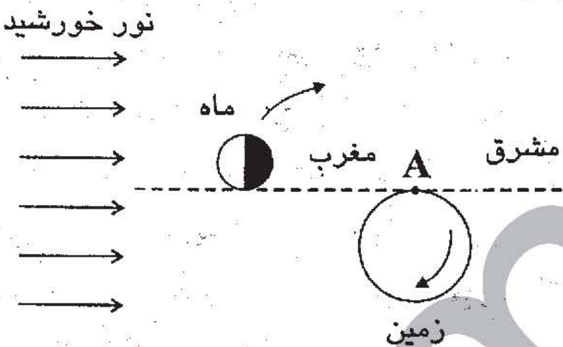
دیود $D_۲$، شرط $V_{a_۲} < V_{c_۲}$ برقرار است. به این ترتیب در لحظهٔ $t_۱$، خازن $c_۱$ باردار شده است ولی خازن $c_۲$ هم چنان خالی است. در بازهٔ زمانی $t_۱$ تا $t_۲$ از دیود $D_۱$ جریانی نمی‌گذرد. زیرا $V_{c_۱} > ۰$ (به



شکل (۱۲-۶۰)

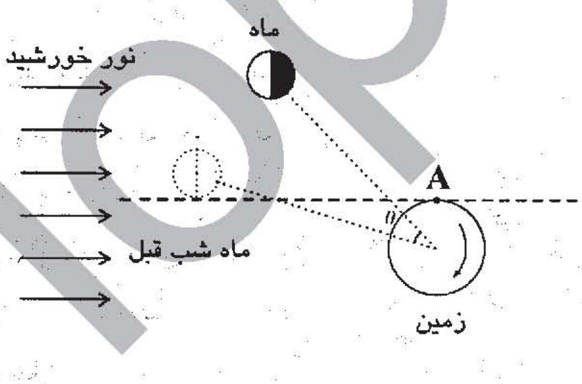
علت باردار بودن خازن $c_۱$) و $V_{a_۱} < ۰$ (چون ولتاژ نقطهٔ S منفی شده است) پس $V_{a_۱} > V_{c_۱}$ است. اما از دیود $D_۲$ جریان می‌گذرد و خازن $c_۲$ را پر می‌کند. زیرا $V_{a_۲}$ حداکثر برابر با $V_۰$ است، در حالی که $V_{c_۲} = -V_۰$ و در نتیجه شرط $V_{a_۲} > V_{c_۲}$ برقرار نیست. در زمان‌های بعدی که $V_s = V_۰$ است، خازن $c_۱$ حداکثر تا میزان $V_۰$ باردار می‌شود و پس از آن دیگر از دیود $D_۱$ جریانی نمی‌گذرد. پس از این در زمان‌هایی که $V_s = -V_۰$ می‌شود، اختلاف پتانسیل دو سر خازن $c_۲$، برابر با $۲V_۰$ می‌شود. زیرا در این زمان‌ها از $D_۲$ جریان می‌گذرد، پس $V_{c_۲} = V_{a_۲} = V_۰$ ($a_۲$ به خازن $c_۱$ وصل است که تا ولتاژ $V_۰$ باردار شده است) یعنی یک صفحهٔ خازن دارای ولتاژ $V_۰$ است و صفحه دیگر آن به نقطهٔ S وصل است که ولتاژ آن $-V_۰$ است و تفاوت این دو برابر با $۲V_۰$ می‌شود. بنابراین خازن $c_۲$ تا $۲V_۰$ باردار می‌شود. به این ترتیب با گذشت زمان زیاد، اختلاف پتانسیل خازن $c_۱$ برابر با $V_۰$ و خازن $c_۲$، برابر با $۲V_۰$ خواهد شد. ملاحظه می‌شود که گزینهٔ (ج) درست است.

۲۸- در شکل (۱۲-۶۱) کرهٔ زمین و کرهٔ ماه در موقعیت شب اول ماه نشان داده شده است. در این شکل محور چرخش زمین به دور خود، عمود بر صفحه کاغذ فرض شده است. با توجه به جهت چرخش زمین به دور محور خود، نقطهٔ A از زمین در حال غروب است، زیرا اندکی بعد، نقطهٔ A به طرفی خواهد رفت که خورشید دیده نمی‌شود. برای تجسم بهتر، همراه چرخش زمین،



شکل (۱۲-۶۱)

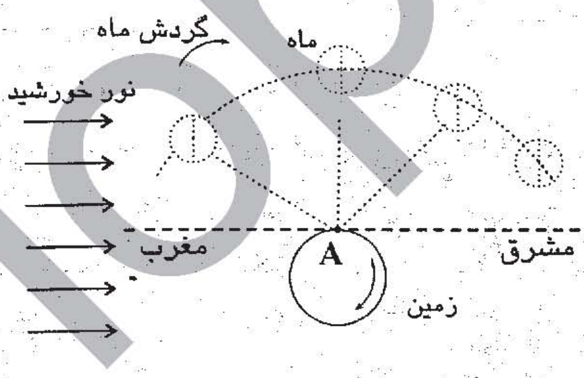
افق متصل به نقطهٔ A را نیز بچرخانید. آشکار است که با فرورفتن خورشید در مغرب، ماه نیز به فاصلهٔ کمی در طرف مغرب به زیر افق می‌رود، یعنی ماه هم غروب می‌کند. با توجه به آن که نیمهٔ تاریک ماه رو به زمین قرار دارد، هنگام غروب، جز یک هلال بسیار باریک از ماه دیده نمی‌شود. پس از تقریباً ۲۴ ساعت، یعنی به هنگام



شکل (۱۲-۶۲)

غروب آفتاب وضعیت خورشید و زمین مانند روز قبل است، اما به علت آن‌که در این مدت ماه به دور زمین و چرخیده است، موقعیت ماه نسبت به زمین و خورشید تفاوت کرده است. این وضعیت در شکل (۱۲-۶۲) نشان داده شده است. در این حالت، پس از غروب آفتاب، ماه در طرف مغرب و کمی بالای افق مشاهده می‌شود. در این وضعیت هلال ماه کمی پهن‌تر دیده می‌شود. آشکار است که تفاوت موقعیت ماه در دو حالت، مربوط به حرکت ماه در مدت ۲۴ ساعت است. در این مدت ماه حدود $\frac{۱}{۳۰}$ مسیر خود را پیموده است. پس زاویهٔ θ، حدود ۱۲° است. بنابراین شب بعد برای آن‌که ماه نیز غروب کند، یعنی زیر افق برود، باید پس از غروب خورشید افق متصل به نقطهٔ A از زمین، حدود ۱۲° دیگر بگردد. زمان لازم برای این کار حدود $\frac{۱}{۳۰}$ شبانه روز، یعنی حدود ۴۸ دقیقه است. از آن جا که مدت واقعی گردش ماه به دور زمین مقداری از ۳۰ روز کم‌تر است، این زمان کمی بیش از ۴۸ دقیقه است. پس گزینهٔ (ب) درست است.

۲۹- منظور از طرح چنین سؤالی آن است که دانش‌آموزان به پدیده‌های فیزیکی اطراف خود دقت کنند و سعی کنند برای سؤالهایی که با مشاهدهٔ پدیده‌ها به ذهنشان می‌رسد، پاسخ مناسب پیدا کنند. در صورتی می‌توان به این

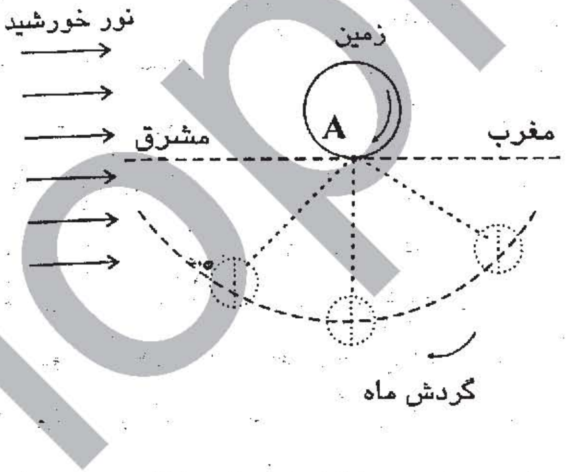


شکل (۱۲-۶۳)

سئوال پاسخ داد که به وضعیت حرکت ماه دقت کرده باشیم. به عبارت دیگر پاسخ این سئوال توجیه چیزی است که مشاهده کرده‌ایم.

در شکل (۱۲-۶۳) وضعیت ماه به هنگام غروب آفتاب، در چند شب متوالی نشان داده شده است. نیمی از ماه که مقابل به خورشید است، روشن و نیمهٔ دیگر تاریک است. از جایی که با نقطهٔ A در زمین مشخص شده است، بخشی از نیمهٔ روشن دیده می‌شود. این بخش روی نیمهٔ روشن ماه با کمان ضخیم‌تر مشخص شده است.

ملاحظه می‌شود که هنگام غروب خورشید در مغرب، یعنی سر شب، هلال‌های باریکی دیده می‌شود که در شب‌های بعد بزرگ‌تر می‌شود. در چهاردهم ماه، به هنگام غروب آفتاب، ماه در افق مشرق قرار دارد و چون تمام نیمهٔ روشن آن، رو به زمین است، به صورت بدر کامل دیده می‌شود. پس از چهاردهم ماه، هنگام غروب، ماه زیر افق است و مدتی پس از غروب خورشید، از مشرق طلوع می‌کند. در شکل (۱۲-۶۴)، وضعیت ماه در شب‌های مختلف در اواخر ماه نشان داده شده است. در این شکل، سطح افقی که از نقطهٔ A می‌گذرد، نسبت به شکل قبل 180° چرخانده شده است تا وضعیت ماه هنگام

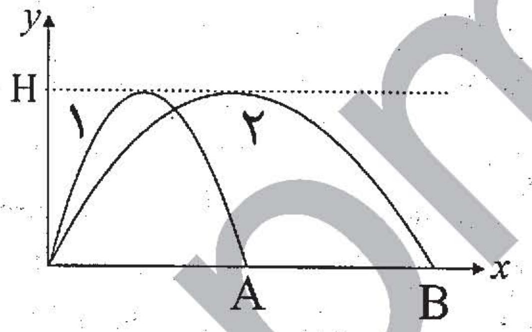


شکل (۱۲-۶۴)

طلوع خورشید بررسی شود. در اینجا نیز نیمهٔ ماه که مقابل به خورشید است، روش و نیمهٔ دیگر تاریک است.

آن قسمت از نیمهٔ روشن ماه که از نقطهٔ A دیده می‌شود، با کمان ضخیم‌تر مشخص شده است. ملاحظه می‌شود که هنگام طلوع آفتاب، هلال ماه در آسمان دیده می‌شود، یعنی بیش از طلوع آفتاب دیده می‌شود و این هلال بعداً کوچک می‌شود. آنچه توضیح داده شد، با گزینهٔ (الف) سازگار است.

۳۰- مسیر حرکت پرتابه‌ها در شکل (۱۲-۶۵) نشان داده شده است. می‌دانیم حرکت پرتابه را می‌توان ترکیبی از حرکت شتاب دار در راستای قائم و یک حرکت یک‌نواخت افقی دانست. چون ارتفاع اوج دو پرتابه یکسان است و ارتفاع اوج به سرعت اولیه در راستای قائم بستگی دارد، پس سرعت اولیهٔ دوپرتابه در راستای قائم یکسان است.



شکل (۱۲-۶۵)

از طرفی چون دو پرتابه هم زمان پرتاب شده‌اند و زمان رسیدن به اوج برای آن‌ها یکسان است دو پرتابه هم زمان به نقطهٔ اوج می‌رسند. آشکار است که برگشت از اوج به سطح افقی پرتاب نیز یکسان است. پس دو پرتابه هم زمان به نقاط A و B می‌رسند. اما چون سرعت اولیه پرتابه‌ها در راستای افقی یکسان نبوده است، در مدت زمان بالا رفتن وپایین آمدن پرتابه‌ها، پرتابهٔ ۲ در راستای افقی بیشتر جا به جا شده است. بنابراین گزینهٔ (الف) درست است.

بخش دوم - مسئله‌های کوتاه

۱- ابتدا انرژی‌ای که از خوردن $۲۰۰g$ کشمش جذب بدن می‌شود، بدست آوریم.

$$۲۰۰ \times ۱۳ \times ۱۰^{۳} = ۲۶ \times ۱۰^{۵} J$$

هنگامی که شخصی از کوه بالا می‌رود، در ابتدا و انتها، سرعت او صفر است، بنابراین در انرژی جنبشی وی تغییری وجود ندارد. اما انرژی پتانسیل گرانشی او با بالا رفتن از کوه زیاد می‌شود. کوه نورد این انرژی را از غذاهای انرژی زا تأمین می‌کند. کسی که غذاهای انرژی زا می‌خورد، انرژی آن را به روش‌های مختلف مصرف می‌کند و ممکن است مقداری از آن هم به صورت چربی در بدن بماند. به عنوان مثال وقتی عرق بدن خشک می‌شود، یعنی آبی که همراه با بعضی از مواد به صورت عرق از بدن خارج شده است، تبخیر می‌شود. مقداری از گرمای لازم برای تبخیر این آب، از انرژی مصرف شده توسط شخص تأمین می‌شود. هم چنین بخار آبی که همراه بازدم، از بدن خارج می‌شود، مقداری از انرژی غذاها را با خود از بدن خارج می‌کند. با این توضیحات معلوم می‌شود که تمام انرژی به دست آمده از غذاها نمی‌تواند صرف بالا رفتن از کوه شود، اما فرض شده است که چنین باشد. با این فرض هنگامی که کسی از کوه بالا می‌رود، افزایش انرژی پتانسیل گرانشی او برابر با انرژی کسب شده از غذا است.

$$U = mgh = ۶۵ \times ۱۰ h = ۲۶ \times ۱۰^{۵}$$

$$h = ۴۰۰۰ m = ۴ \text{ km}$$

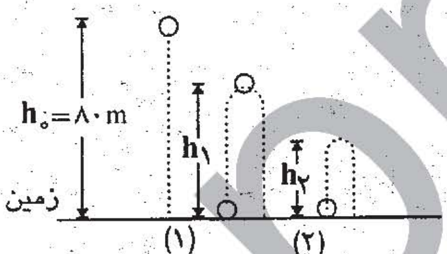
۲- پس از سقوط گلوله از ارتفاع $۸۰m$ و اولین برخورد آن با زمین، گلوله تا

ارتفاع $h_۱ = ۰/۳۶ \times ۸۰$ بالا می‌آید و مجدداً از این ارتفاع سقوط می‌کند. زمان بالا آمدن گلوله تا ارتفاع $h_۱$ و زمان سقوط از ارتفاع $h_۱$ تا زمین با هم برابر است. مجموع این دو زمان را $t_۱$ می‌نامیم. داریم:

$$h_۱ = \frac{۱}{۲} g \left(\frac{t_۱}{۲}\right)^۲$$

$$t_۱ = ۲\sqrt{\frac{۲h_۱}{g}}$$

در شکل (۱۲-۶۶) برخوردهای پیاپی گلوله با زمین نشان داده شده است که برای وضوح بیشتر، مسیر سقوط گلوله در نوبت‌های بعدی کمی به راست تغییر داده شده است. روی سطح زمین نوبت‌های برخورد گلوله با زمین مشخص شده است.



شکل (۱۲-۶۶)

در دومین برخورد گلوله تا ارتفاع $h_۲ = ۰/۳۶ h_۱$ بالا می‌رود و سپس از همین ارتفاع سقوط می‌کند. آشکار است که زمان بالا رفتن تا ارتفاع $h_۲$ و سپس سقوط از آن ارتفاع با هم برابر است. مجموع دو زمان را $t_۲$ می‌گیریم و داریم.

$$h_۲ = \frac{۱}{۲} g \left(\frac{t_۲}{۲}\right)^۲$$

$$t_۲ = ۲\sqrt{\frac{۲h_۲}{g}} = ۲\sqrt{\frac{۲(۰/۳۶ h_۱)}{g}} = ۲\sqrt{\frac{۲h_۱}{g}}\,(۰/۶)$$

با سقوط گلوله از ارتفاع $h_۲$، سومین برخورد آن با زمین صورت می‌گیرد. پس از آن تا ارتفاع $h_۳ = ۰/۳۶ h_۲$ بالا رفته و سپس از همان ارتفاع سقوط می‌کند. زمان بالا رفتن تا این ارتفاع و سپس سقوط از آن ارتفاع را $t_۳$ می‌گیریم و داریم.

$$h_۳ = \frac{۱}{۲} g \left(\frac{t_۳}{۲}\right)^۲$$

$$t_۳ = ۲\sqrt{\frac{۲h_۳}{g}} = ۲\sqrt{\frac{۲(۰/۳۶ h_۲)}{g}} = ۲\sqrt{\frac{۲(۰/۳۶^۲ h_۱)}{g}} = ۲\sqrt{\frac{۲h_۱}{g}}(۰/۶)^۲$$

اکنون می‌توان رابطهٔ میان زمان بالا رفتن و سپس سقوط کردن در هر نوبت را با نوبت بعدی برخورد با زمین مشخص کرد، داریم:

$$t_n = ۲\sqrt{\frac{۲h_۱}{g}}(۰/۶)^{n-۱} \qquad (n = ۱, ۲, ...)$$

این زمان‌ها یک تصاعد هندسی با قدر نسبت $r = ۰/۶$ تشکیل می‌دهد و می‌توان مجموع آن‌ها را به سادگی به دست آورد.

$$T = \sum_{۱}^{\infty} t_n = ۲\sqrt{\frac{۲h_۱}{g}}\left(\frac{۱}{۱-r}\right) = ۲\sqrt{\frac{۲(۰/۳۶ \times ۸۰)}{۱۰}}\left(\frac{۱}{۱-۰/۶}\right) = ۱۲ \text{ s}$$

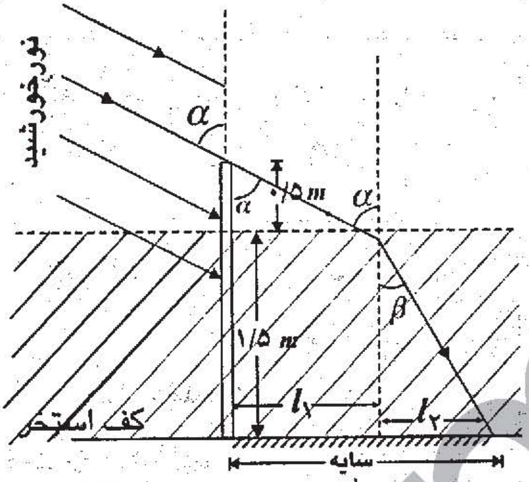
بر این زمان باید زمان سقوط از ارتفاع $h_۰ = ۸۰ m$ را نیز افزود. اگر این زمان را $t_۰$ بگیریم داریم:

$$h_۰ = \frac{۱}{۲} g t_۰^۲ \rightarrow t_۰ = \sqrt{\frac{۲h_۰}{g}} = \sqrt{\frac{۲ \times ۸۰}{۱۰}} = ۴ \text{ s}$$

$$t = T + t_۰ = ۱۶ \text{ s}$$

بنابراین پس از $t=16s$ گلوله روی زمین متوقف خواهد شد.

۳- در شکل (۱۲-۶۷) تیری که به طور قائم بر کف استخر نصب شده، نشان داده شده است. پرتوی از خورشید که پایین‌تر از لبهٔ میله باشد، به کف استخر نخواهد رسید، اما پرتوهای بالاتر از لبهٔ میله، به کف استخر می‌رسند. بنابراین طول سایه از پای میله تا جایی خواهد بود که اولین پرتو خورشید به کف استخر می‌رسد. با استفاده از شکل (۱۲-۶۷) می‌توان l_1 و l_2 را به دست آورد داریم.



شکل (۱۲-۶۷)

$$tg\,\alpha=\frac{l_1}{0/5}\rightarrow l_1=0/5tg\,\alpha$$

$$tg\,\beta=\frac{l_2}{1/5}\rightarrow l_2=1/5tg\,\beta$$

$$Cos\,\alpha=\sqrt{1-Sin^2\alpha}=\sqrt{1-(0/8)^2}=0/6$$

$$tg\,\alpha=\frac{0/8}{0/6}=\frac{4}{3}\rightarrow l_1=0/5\times\frac{4}{3}=\frac{2}{3}$$

$$Sin\,\alpha=n\,Sin\,\beta \qquad Sin\,\beta=\frac{\frac{4}{5}}{\frac{4}{3}}=\frac{3}{5}$$

$$Cos\,\beta=\sqrt{۱-Sin^{۲}\beta}=\sqrt{۱-(۰/۶)^{۲}}=۰/۸$$

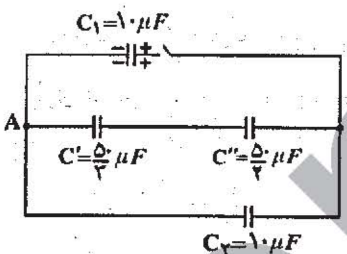
$$tg\,\beta=\frac{۰/۶}{۰/۸}=\frac{۳}{۴}\rightarrow l_{۲}=۱/۵\times\frac{۳}{۴}=\frac{۴/۵}{۴}$$

$$l=l_{۱}+l_{۲}=\frac{۲}{۳}+\frac{۴/۵}{۴}\simeq ۱/۷۹\ \text{m}$$

۴- مدار مورد نظر در شکل (۱۲-۶۸) نشان داده شده است. با بستن کلید بار خازن $c_{۱}$ میان سه خازن دیگر تقسیم می‌شود. به طوری که:

الف- اختلاف پتانسیل میان دو نقطهٔ A و B از هر سه شاخه یکسان شود.

ب - مجموع بار خازن‌ها، برابر با بار اولیه روی خازن $c_{۱}$ باشد.



شکل (۱۲-۶۸)

بار اولیه خازن را Q می‌گیریم. داریم:

$$Q=c_{۱}V_{۱}=۱۰\times۱۰^{-۶}\times۳۰۰=۳\times۱۰^{-۳}\ \text{C}$$

دو خازن c' و c'' به طور سری قرار گرفته‌اند، معادل آنها برابر است با:

$$\frac{۱}{c}=\frac{۱}{c'}+\frac{۱}{c''}=\frac{۲}{۵۰}+\frac{۳}{۵۰}=\frac{۵}{۵۰}\rightarrow c=۱۰\,\mu\text{F}$$

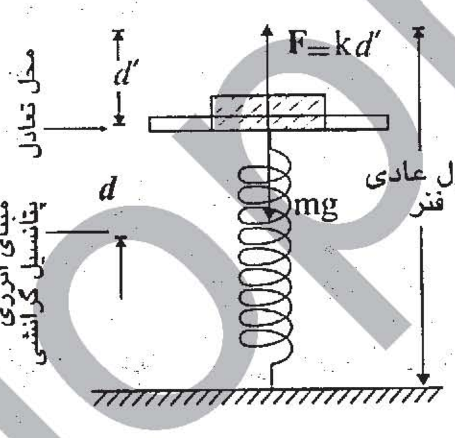
بنابراین در هر شاخه ازمدار، یک خازن $۱۰\mu\text{F}$ قرار گرفته است و در نتیجه سه شاخهٔ مدار با هم مشابه است. به آسانی می‌توان نتیجه گرفت که بار اولیهٔ Q در خازن $c_{۱}$، به

طور مساوی میان $c_۱$، c که معادل دو خازن c' و c'' است و نیز $c_۲$ تقسیم می‌شود. پس بار خازن c، $\frac{Q}{۳} = ۱۰^{-۳}\,\mathrm{C}$ خواهد شد. چون در خازن هایی که به طور سری قرار گرفته‌اند، بار تمام خازن‌ها با هم برابر است، پس بار خازن c' نیز همین مقدار ست. برای اختلاف پتانسیل این خازن داریم:

$$V' = \frac{\frac{Q}{۳}}{c'} = \frac{۱۰^{-۳}}{\frac{۵۰}{۳۰۰} \times ۱۰^{-۶}} = ۶۰\ \mathrm{V}$$

اگر ظرفیت خازن‌های شاخه‌ها باهم برابر نمی‌شد، لازم بود برای بار نهایی خازن در هر شاخه مقداری فرض کنیم و سپس با توجه به آنچه در بندهای الف و ب آمد، مقدار آنها را حساب کنیم.

۵- در شکل (۱۲-۶۹)، فنر قائم که روی آن سکه‌ای قرار دارد، نشان داده شده است. این مسئله را باید از راه انرژی حل کرد، زیرا حل آن با استفاده از نیرو و قانون‌های نیوتون پیچیده است. هنگامی که سکه را روی صفحهٔ متصل به فنر می‌گذاریم، فنر مقداری فشرده می‌شود، بنابراین طول عادی فنر از آنچه در شکل (۱۲-۶۹) نشان داده شده، بیشتر است. در حالت تعادل دو نیروی وارد بر سکه، یعنی وزن سکه به طرف پایین و نیروی فنر به طرف بالا هم اندازه‌اند. مقدار



شکل (۱۲-۶۹)

فشردگی فنر را در این حالت d' گرفته‌ایم. داریم:

$$mg = Kd' \rightarrow d' = \frac{mg}{K}$$

اکنون فرض کنید صفحه را به آرامی به اندازه، d نسبت به نقطهٔ تعادل پایین می‌بریم. در این صورت فشردگی کل فنر $d+d'$ خواهد شد. در این حالت نیروی کش سانی فنر که به سکه وارد می‌شود، بیش از نیروی وزن آن است. بنابراین هنگامی که صفحه را رها می‌کنیم، فنر باز شده و صفحه و سکهٔ روی آن را به طرف بالا می‌راند. پیش از آن که صفحه و سکهٔ روی آن به محل تعادل برسند، برآیند نیروهای وارد بر سکه به طرف بالاست، زیرا نیروی فنر به علت فشردگی بیش از d'، از نیروی وزن سکه بیشتر است. پس تا رسیدن صفحه و سکهٔ روی آن به محل تعادل، سکه به طرف بالا شتاب می‌گیرد و به علت آن سرعت سکه به طرف بالا بوده و مرتب زیاد می‌شود. پس از آن که صفحه و سکهٔ روی آن از محل تعادل بالاتر رفت، برآیند نیروهای وارد بر سکه به طرف پایین خواهد بود، زیرا نیروی فنر به علت فشردگی کمتر از d'، از نیروی وزن سکه کم‌تر است. بنابراین از این پس، شتاب سکه رو به پایین است و سرعت سکه به علت آن که شتاب در جهت مخالف سرعت است کم می‌شود.

هنگامی که سکه رو به بالا می‌رود، انرژی پتانسیل گرانشی آن زیاد می‌شود و به علت داشتن سرعت، انرژی جنبشی نیز به دست می‌آورد. افزایش انرژی مکانیکی سکه از محل کاهش انرژی پتانسیل کش سانی فنر تأمین می‌شود، زیرا انرژی پتانسیل کش‌سانی فنر تابعی از فشردگی آن است. هر چه d بیشتر باشد انرژی پتانسیل کش سانی فنر بیشتر می‌شود و می‌توان از محل آن انرژی پتانسیل گرانشی سکه و انرژی جنبشی آن را بیشتر

تأمین کرد. اگر d از حد معینی بیشتر باشد، سکه از صفحه جدا می‌شود. در این حالت هنگامی که فشردگی فنر به صفر می‌رسد، یعنی فنر طول عادی خود را به دست می‌آورد، سکه به طرف بالا سرعت دارد واز صفحه جدا می‌شود. برای این که چنین اتفاقی بیفتد، باید انرژی پتانسیل کش سانی فنر به علت فشردگی $d+d'$، آن قدر باشد که علاوه بر افزایش انرژی پتانسیل گرانشی سکه تا رساندن آن به ارتفاع $d+d'$ بالاتر از مبنای انرژی پتانسیل گرانشی، مقداری هم صرف دادن انرژی جنبشی به سکه شود. پس برای آن که سکه از صفحه جدا نشود، باید انرژی پتانسیل کش سانی فنر، حداکثر آن قدر باشد، تا هنگامی که سکه به ارتفاع $d+d'$ بالاتر از مبنای انرژی پتانسیل گرانشی می‌رسد سهمی برای انرژی جنبشی سکه نمانده باشد. با توجه به رابطهٔ انرژی پتانسیل کش‌سانی با فشردگی فنر و انرژی پتانسیل گرانشی با ارتفاع، داریم:

$$\frac{1}{2}K(d+d')^2 \le mg(d+d')$$

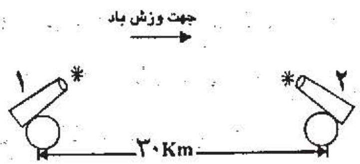
$$d+d' \le \frac{2mg}{K}$$

$$d \le \frac{mg}{K} - d' = \frac{2mg}{K} - \frac{mg}{K} = \frac{mg}{K} = \frac{18 \times 10^{-3} \times 10}{9} = 2 \times 10^{-2}\,\mathrm{m}$$

$$d \le 20\,\mathrm{mm}$$

۶- در شکل (۱۲-۷۰) توپخانه‌ها نشان داده شده‌اند. در این شکل فرض شده است باد از طرف توپخانهٔ (۱) به طرف توپخانهٔ ۲ می‌وزد. با شلیک هر گلوله، هم زمان با صدای انفجار، با آتش گرفتن باروت نور نیز تولید می‌شود. سرعت نور نسبت به صوت، بسیار زیاد است، بنابراین می‌توان فرض کرد، نور هر شلیک بلافاصله

توسط توپخانهٔ دیگر دیده می‌شود. یعنی شلیک هرتوپخانه و دیده شدن نور آن توسط توپخانه دیگر همزمان فرض می‌شود.



شکل (۱۲-۷۰)

محیط انتشار صوت، هواست. اگر باد نمی‌وزید، مدت زمانی که صدای شلیک توپخانهٔ ۱ به توپخانهٔ ۲ می‌رسید، با مدت زمان رسیدن صدای شلیک توپخانهٔ ۲ به توپخانهٔ ۱ برابر بود. اما چون باد می‌وزد، این زمان‌ها یکسان نیستند. چون فرض شده است باد از توپخانهٔ ۱ به طرف توپخانهٔ ۲ می‌وزد، محیط انتشار، یعنی هوا نیز به طرف توپخانهٔ ۲ حرکت می‌کند. در حالی که وقتی صدای شلیک توپخانهٔ ۲ به طرف توپخانهٔ ۱ می‌رود، وزش باد، محیط انتشار را به عقب بر می‌گرداند. اگر سرعت انتشار صوت را در هوا V و سرعت باد یعنی هوا را V' بگیریم، سرعت رسیدن صدای شلیک از توپخانهٔ ۱ به توپخانهٔ ۲، $V+V'$ و در جهت عکس $V-V'$ خواهد بود. بنابراین داریم:

$$(V+V')\times ۸۸ = ۳۰$$

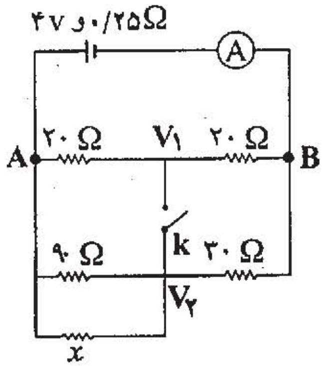
$$(V-V)\times ۹۲ = ۳۰$$

با تفریق دو معادله از یکدیگر داریم:

$$V = ۴۵V' \rightarrow V' = ۷/۴\times ۱۰^{-۳} \quad \text{km/s}$$

$$V' = ۷/۴\times ۱۰^{-۳}\times ۳۶۰۰ = ۲۶/۶۷\,\text{km/h}$$

۷- مدار مورد نظر مجدداً در شکل (۱۲-۷۱) رسم شده است. چون با بستن یا باز کردن کلید K، جریانی که از آمپرسنج می‌گذرد، تغییر نمی‌کند، پس باید دو نقطهٔ $V_۱$ و $V_۲$ هم پتانسیل باشند. در بالاترین شاخه از مدار، دو مقاومت یکسان ۲۰ اهمی قرار دارد. پس پتانسیل $V_۱$، متوسط پتانسیل نقاط A و B است. برای آن



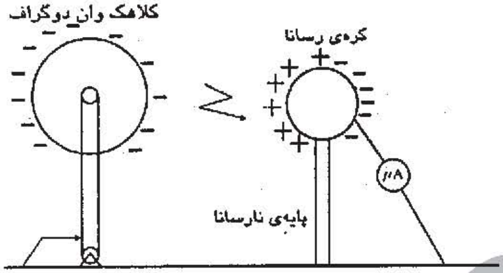
شکل (۱۲-۷۱)

که پتانسیل $V_۲$ نیز با پتانسیل $V_۱$ یکسان باشد، باید در شاخهٔ پایینی نیز پتانسیل $V_۲$، متوسط پتانسیل نقاط A و B باشد. در این صورت لازم است نقطه با پتانسیل $V_۲$ نیز میان دو مقاوت یکسان قرار داشته باشد، یعنی مقاومت معادل ۹۰Ω و X نیز ۳۰Ω باشد. داریم:

$$\frac{۱}{۳۰}=\frac{۱}{۹۰}+\frac{۱}{X} \rightarrow \frac{۱}{X}=\frac{۱}{۳۰}-\frac{۱}{۹۰}=\frac{۲}{۹۰} \rightarrow X=۴۵\ \Omega$$

۸- در شکل (۱۲-۷۲)، وان دوگراف (به صورت طرح واره) و کرهٔ رسانا نشان داده شده است. وان دوگراف دستگاهی است که با آن الکتریسیته ساکن روی یک کلاهک رسانا جمع می‌کنند. در این دستگاه یک تسمه لاستیکی با جسم دیگری شبیه نمد مالش داده می‌شود. در اثر مالش این دو با هم، روی هر کدام از آنها یک نوع بار الکتریکی به وجود می‌آید که به جنس دو جسمی که به یکدیگر مالش داده می‌شود، بستگی دارد.

فرض کنید، بار الکتریکی منفی از نمد به تسمهٔ پلاستیکی منتقل شود. در این صورت تسمه بار منفی و نمد بار مثبت پیدا می‌کند. به وسیلهٔ دست و یا یک موتور الکتریکی تسمه را که به صورت یک حلقه است می‌گردانند تا تمام نقاط



شکل (۱۲-۷۲)

تماس آن با نمد بار منفی به دست آورد. درون کلاهک بار منفی تسمه، به وسیلهٔ رسانایی شانه مانند، به کلاهک منتقل می‌شود و رویهٔ بیرونی کلاهک، بار منفی پیدا می‌کند. مقابل نمد نیز رسانای شانه مانند دیگری قرار دارد که به زمین وصل است و کمبود الکترون آن را با انتقال از زمین جبران می‌کنند. به این ترتیب می‌توان گفت وان دوگراف دستگاهی است که بار الکتریکی را از زمین به کلاهک دستگاه منتقل می‌کند.

با افزایش بار کلاهک، میدان الکتریکی در فضای اطراف آن بزرگ می‌شود. مولکول‌های هوا، گرد و غبار، بخار آب،... که اطراف کلاهک هستند، بر اثر این میدان الکتریکی قطبیده می‌شوند، یعنی بارهای مثبت و منفی آنها، از یکدیگر فاصله می‌گیرند. بارهای منفی موجود در مولکول‌ها از کلاهک که بار منفی دارد دور می‌شوند و بارهای مثبت مولکول‌ها به طرف کلاهک کشیده می‌شوند. فاصلهٔ بارهای مثبت و منفی از یکدیگر در حد ابعاد اتمی است، یعنی بسیار کوچک است. هنگامی که بار کلاهک به اندازهٔ کافی

زیاد شد، میدان الکتریکی به وجود آمده آن قدر بزرگ می‌شود که بارهای مثبت و منفی مولکول‌ها را از یکدیگر جدا می‌کند و به این ترتیب در فضای اطراف کلاهک بارهای مثبت و منفی آزاد به وجود می‌آید. این بارها با نیرویی که میدان الکتریکی به آن‌ها وارد می‌کند، حرکت می‌کنند و جریان الکتریکی به وجود می‌آید. هنگامی که این بارهای متحرک به مولکول‌های دیگر می‌خورند، انرژی آن‌ها به انرژی نورانی تبدیل می‌شود که آن را جرقه می‌نامیم. این پدیده، یعنی جدا شدن بارهای منفی و مثبت مولکول‌ها در اثر اعمال یک میدان الکتریکی قوی را «شکست» می‌نامند.

مطابق آن چه در شکل (۱۲-۷۲) نشان داده شده است، بارهای منفی کلاهک، الکترون‌های کرهٔ رسانا را به طرف دیگر کره می‌رانند. هنگامی که پدیدهٔ شکست رخ می‌دهد، بارهای مثبت مولکول‌ها به طرف کلاهک و بارهای منفی آن‌ها به طرف کرهٔ فلزی می‌روند. با این کار کرهٔ رسانا بار منفی مازاد به دست می‌آورد ولی آن را به زمین منتقل می‌کند و میکروآمپر متر عبور آن را نشان می‌دهد. از این توضیحات معلوم می‌شود که بار منفی یک چرخهٔ کامل از زمین به نمد، سپس به تسمهٔ لاستیکی و پس از آن به کلاهک منتقل می‌شود و با وقوع پدیدهٔ شکست به کره رسانا رفته و از طریق میکروآمپر به زمین بر می‌گردد. اکنون به انجام محاسبه می‌پردازیم.

با جرقه‌های پیاپی، جریان متوسط $I = ۳\mu A$ از میکروآمپرسنج می‌گذرد. داریم:

$$I = \frac{Q}{t} \rightarrow Q = It = ۳ \times ۱۰^{-۶} \times ۰/۵ = ۱/۵ \times ۱۰^{-۶}\ C$$

چون در هر جرقه، وان دوگراف کاملاً تخلیه می‌شود، پس باری که در هر جرقه از دست می‌دهد، همان Q است. کلاهک وان دوگراف و کرهٔ رسانا، مانند دوجوشن خازن

می‌مانند که ظرفیت آنها $30\,pF$ است. با استفاده از رابطهٔ میان بار خازن، ظرفیت و اختلاف پتانسیل آن داریم:

$$V=\frac{Q}{c}=\frac{1/5\times 10^{-6}}{30\times 10^{-12}}=50\times 10^{3}\ V$$