جمهوری اسلامی ایران
وزارت آموزش و پرورش

دفترچه سوالات به همراه پاسخنامه تشریحی
مرحله دوم
ششمین دوره‌ی المپیاد فیزیک سال ۱۳۷۱

مدت آزمون (دقیقه)	تعداد سوالات	
	مساله‌های تشریحی	سوالات چند گزینه‌ای
۲۱۰	۱۰	-

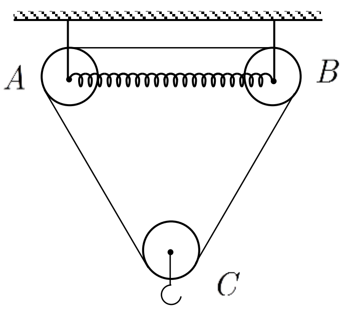
توضیحات مهم — **استفاده از ماشین حساب ممنوع است.**

تذکرات آزمون:

ضمن آرزوی موفقیت برای شما دانش‌پژوه گرامی، خواهشمند است قبل از پاسخ به سؤالات آزمون به موارد زیر توجه کنید:

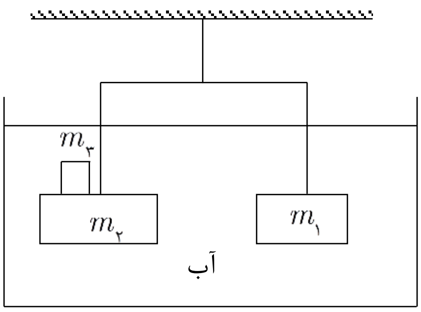
- این آزمون شامل **۱۰ سوال تشریحی** و وقت آن **۲۱۰ دقیقه** است.
- نمره‌ی هر سوال در ابتدای آن نوشته شده است.
- استفاده از ماشین‌حساب در این آزمون مجاز است.
- همراه داشتن تلفن همراه (حتی خاموش) در طول زمان آزمون مجاز **نیست**.
- فقط داوطلبانی می‌توانند دفترچه‌ی سؤالات را با خود ببرند که تا پایان آزمون در جلسه حضور داشته باشند.
- جمع‌آوری و آماده‌سازی دفترچه‌ی سوالات این آزمون توسط **کمیته‌ی علمی ماخ** انجام شده است.

۱- دستگاه شکل (۶-۱) تشکیل شده است از:
سه قرقره که شعاع هر کدام $5\ cm$ است، یک فنر به ثابت $200\ N/cm$ که طول آن در حالت تعادل $60\ cm$ است، قطعه‌ای طناب که به دور قرقره‌ها بسته شده است.
قرقره‌های A و B می‌توانند در راستای افقی جابه‌جا شوند. طول طناب چقدر باشد تا اگر وزنهٔ ۱۰۰ نیوتونی به قلاب آویزان کنیم، قرقره‌ها در سه رأس یک مثلث متساوی الاضلاع قرار گیرند.
فرض می‌شود که فنر به حالت افقی است و وزن‌های فنر، طناب، قرقره‌ها، و قلاب، و نیز نیروهای اصطکاک ناچیز هستند.



شکل (۶-۱)

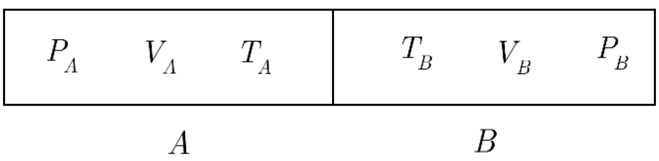
۲- مطابق شکل (۶-۲) جرم‌های $m_1 = m_2 = 19/5kg$ را بـه دو سر میله‌ای مـی‌آویزیـم. m_1 از آهـن بـه چـگالی $\rho_1 = 7/8g/cm^3$ و m_2 از جـنسی بـه چگالی ρ_2 است. ریسمانی را به وسط میله می‌بندیم و وزنه‌ها را وارد آب به چگالی $\rho' = 1g/cm^3$ می‌کنیم.
برای آنکه میله افقی قرار گیرد باید یک قطعه آهن به جرم $m_3 = \frac{117}{136}kg$ روی m_2 قرار دهیم. ρ_2 را محاسبه کنید.



شکل (۶-۲)

۳- قانون‌های اول و دوم کپلر در مورد حرکت سیاره‌های منظومهٔ شمسی به شرح زیر است:
قانون اول - سیاره‌ها در مدارهای بیضی شکل حرکت می‌کنند، به طوری که خورشید در یکی از دو کانون هر مدار قرار دارد.
قانون دوم - شعاع حامل هر سیاره (یعنی پاره‌خطی که سیاره را به خورشید وصل می‌کند) در زمان‌های مساوی، سطح‌های مساوی را جاروب می‌کند.
الف) در چه نقطه‌ای از مسیر، سرعت سیاره حداکثر است؟
ب) اگر نیروی گرانشی خورشید که بر سیاره وارد می‌شود ناگهان صفر شود، حرکت سیاره چگونه خواهد شد؟
ج) آیا در حالت (ب) باز هم قانون دوم کپلر درست خواهد بود؟
هر مورد را بادلیل ثابت کنید.

۴- مخزنی با دیواره‌های کاملاً عایق گرمایی و با ظرفیت گرمایی ناچیز، مطابق شکل (۶-۳)، به وسیلهٔ یک تیغه به دو بخش نامساوی A و B تقسیم شده است. A و B در آغاز حاوی مقدارهای نامساوی از یک گاز کامل هستند.
شرایط آغازی فشار، حجم، و دمای هر بخش در شکل مشخص شده است. تیغهٔ بین دو بخش را بدون آنکه انرژی کل دستگاه تغییر کند بر می‌داریم. دما و فشار پایانی گاز را برحسب کمیت‌های آغازی محاسبه کنید.
راهنمایی- مقدار ثابت در قانون عموی گاز کامل با تعداد مول‌های گاز بستگی مستقیم دارد.

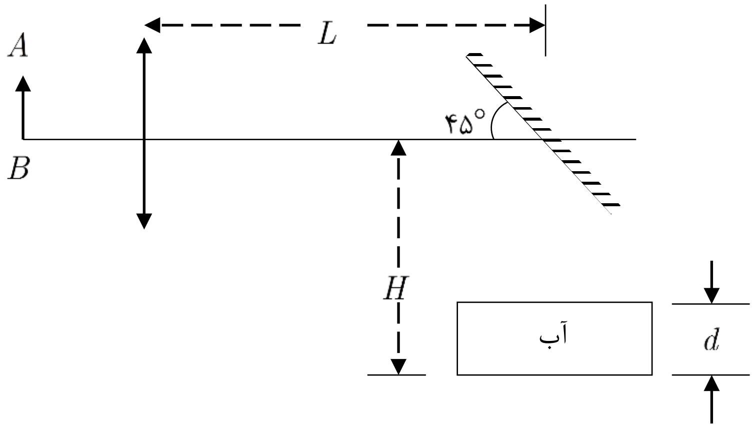


شکل (۶-۳)

۵- ساختمان فلز آهن را می‌توان به این صورت در نظر گرفت که اتم‌های آهن در رأس‌های مکعب‌هایی قرار دارند که در کنار و روی هم تمام فلز را پر می‌کنند و علاوه بر آن در مرکز هر مکعب نیز یک اتم آهن قرار دارد. اگر اتم گرم آهن ۵۶ گرم، عدد آووگادرو ۶×۱۰^{۲۳}، و چگالی آهن $۷/۹ \quad g/cm^۳$ باشد، ضلع هر یک از این مکعب‌ها چند سانتی‌متر است؟

۶- بنا به تعریف جسم سیاه جسمی است که تمام تابش گرمایی که بر سطح آن می‌تابد را جذب می‌کند. جسم سیاهی که در دمای ثابت T (برحسب کلوین) نگاه داشته شود خود نیز تابش گرمایی دارد. بنابر قانون استفان - بولتزمان، انرژیی که در واحد زمان از واحد سطح جسم سیاه در دمای T تابش می‌شود برابر است با: $p=\sigma T^۴$ که در آن σ (سیگما) یک ثابت جهانی است.
با فرض آنکه خورشید و سیارهٔ مریخ هر دو جسم سیاه باشند، می‌خواهیم دمای متوسط سطح مریخ را به دست آوریم. دمای سطح خورشید T کلوین، شعاع متوسط آن R کیلومتر، و فاصلهٔ متوسط مریخ تا خورشید d کیلومتر است. مریخ تحت اثر تابش خورشید طوری گرم می‌شود که در حالت تعادل، توان تابشی که از خورشید دریافت می‌کند با توان تابشی که خودش به اطراف تابش می‌کند، برابر باشد. با فرض آن که دمای مریخ در تمام سطح آن تقریباً یکسان باشد، دمای سطح مریخ، T' ، را حساب کنید. اگر $R=۷\times ۱۰^۵ km$، $d=۲۲۰۵\times ۱۰^۵ km$ و $T=۵۸۸۰k$ باشد، مقدار عددی T' را نیز حساب کنید. ($\sqrt{۲}\approx ۱/۴$)

۷- شی AB به فاصلهٔ $۳۶cm$ از یک عدسی به فاصلهٔ کانونی $۳۰\ cm$ قرار دارد. آینهٔ تختی در فاصلهٔ $L=۱m$ از عدسی و در پشت آن و تحت زاویهٔ ۴۵° نسبت به محور اپتیکی عدسی قرار دارد (شکل ۶-۴). در چه فاصلهٔ (H) از محور اپتیکی، ظرف آبی قرار دهیم تا تصویر نهایی در ته ظرف تشکیل شود. ارتفاع آب داخل ظرف $d=۲۰\ cm$ و ضریب شکست آن $\frac{۴}{۳}$ است.



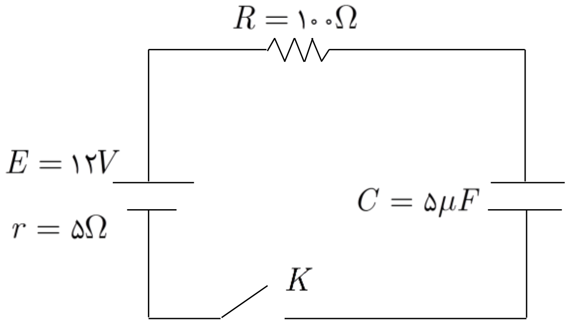
شکل (۶-۴)

۸- با سیمی به طول L_0 و مقاومت R و ظرفیت گرمایی mc و ضریب انبساط طولی λ یک حلقهٔ دایره‌ای ساخته‌ایم و یک منبع ولتاژ، جریان I را از حلقه عبور می‌دهد. حلقه در یک میدان مغناطیسی B که راستای آن عمود بر سطح حلقه است قرار دارد. اگر حلقه به نحوی عایق‌بندی شده باشد که تمام گرمای تولید شده صرف بالا بردن دمای آن شود، نیروی محرکهٔ منبع ولتاژ که مقاومت داخلی آن ناچیز فرض می‌شود، چقدر باشد تا جریان I را ثابت نگه دارد؟

۹- از یک سیم‌پیچ که طول آن نسبت به قطرش زیاد است و n حلقه در واحد طول دارد، جریان I می‌گذرد. یک حلقهٔ دایره شکل به شعاع R داخل سیم‌پیچ قرار داده‌ایم به طوری که تمام حلقه در میدان مغناطیسی یکنواخت حاصل از سیم‌پیچ قرار دارد. از حلقه جریان i می‌گذرد. نیروی وارد بر حلقهٔ جریان از طرف میدان مغناطیسی سیم‌پیچ را پیدا کنید.

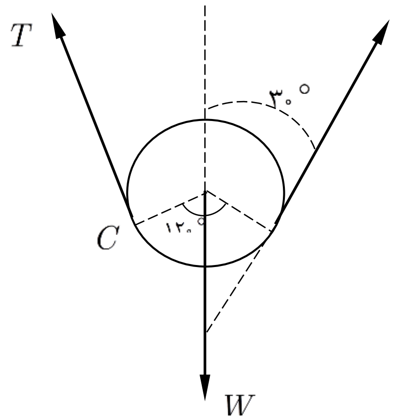
۱۰- مداری مطابق شکل (۶-۵) در اختیار داریم. در حالی که خازن C بار الکتریکی ندارد، کلید k را می‌بندیم. پس از مدت زمان کافی، خازن پر شده و جریان در مدار متوقف می‌شود.

انرژی گرمایی تولید شده در مقاومت R را در زمان پر شدن خازن به دست آورید. این مسأله صرفاً باید براساس معلومات کتاب فیزیک سال سوم دبیرستان حل شود. (از مفهوم نیروی محرکه استفاده کنید.)

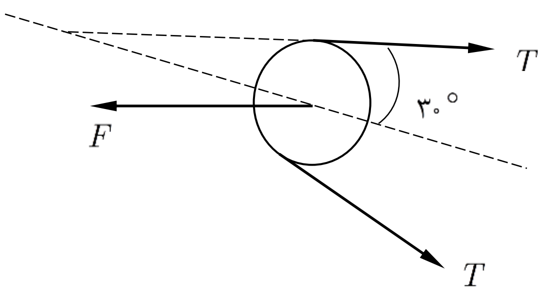


شکل (۶-۵)

۱- در شکل (۶-۶) قرقرهٔ پایینی که وزنه w به آن آویخته شده، نشان داده شده است. چون نخ بدون جرم است، نیروی کشش نخ در همهٔ نقاط آن یکسان است. (به توضیحات سوال چهار گزینه‌ای شمارهٔ ۱ اولین المپیاد، صفحهٔ ۲۶ مراجعه شود). چون قرقرهٔ C در حال تعادل است، باید برآیند نیروهای وارد بر آن صفر باشد. پس داریم:



شکل (۶-۶)



شکل (۶-۷)

$$۲T\cos ۳۰^\circ = w$$

در شکل (۶-۷) قرقرهٔ بالایی A نشان داده شده است. از مشابهت دو شکل (۶-۶) و (۶-۷) پیداست که برآیند نیروهای کشش نخ در این حالت نیز برابر با w است و روی نیمساز زاویهٔ میان دو نخ قرار دارد. با آویختن وزنهٔ w به قرقرهٔ C ، این قرقره پایین می‌آید و دو قرقرهٔ A و B به طرف هم می‌روند و در نتیجه فنر فشرده می‌شود. نیروی F در شکل (۶-۷) نیرویی است که فنر فشرده بر قرقرهٔ A وارد کرده است. چون این قرقره نیز در حال تعادل است، پس باید نیروی F با مؤلفهٔ افقی نیروهای کشش نخ برابر باشد. پس داریم:

$$F = w\cos ۳۰ = ۱۰۰\sqrt{\frac{۳}{۲}} = ۵۰\sqrt{۳}$$

با توجه به قانون هوک برای کاهش طول فنر داریم:

$$\Delta l = \frac{F}{k} = \frac{۵۰\sqrt{۳}}{۲۰۰} = \frac{\sqrt{۳}}{۴} = ۰/۴۲۵\,\mathrm{cm}$$

اگر هر ضلع مثلث متساوی الاضلاع را l بنامیم داریم:

$$l = l_\circ - \Delta l = ۶۰ - ۰/۴۲۵ = ۵۹/۵۷۵$$

از شکل (۶-۶) پیداست که $\frac{۱}{۳}$ محیط هر قرقره به توسط طناب پوشیده شده است. بنابراین طول طناب مجموع سه ضلع مثلث، به علاوه یک محیط قرقره خواهد بود.

$$L = ۳l + ۲\pi r = ۱۷۸/۷۲۵ + ۳/۱۴ \times ۱۰ = ۲۱۰/۱۲۵cm$$

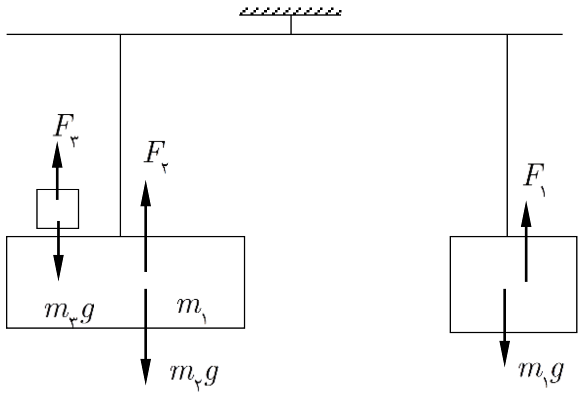
۲- در شکل (۶-۸) نیروهای وارد بر هر کدام از وزنه‌ها در آب نشان داده شده است.
برآیند نیروهای وارد بر $m_۱$ چنین است:

$$w'_۱ = m_۱g - F_۱ = m_۱g - \frac{m_۱}{\rho_۱}\rho' g$$

برآیند نیروهای وارد بر وزنه‌های $m_۲$ و $m_۳$ به ترتیب برابر است با:

$$w'_۲ = m_۲g - F_۲ = m_۲g - \frac{m_۲}{\rho_۲}\rho' g$$

$$w_۳ = m_۳g - F_۳ = m_۳g - \frac{m_۳}{\rho_۱}\rho' g$$



شکل (۶-۸)

چون ریسمان به وسط میله بسته شده و میله در حال تعادل است، پس باید برآیند نیروهای وارد بر سه میله برابر باشد. داریم:

$$m_۱g-\frac{m_۱}{\rho_۱}\rho' g=(m_۲g-\frac{m_۲}{\rho_۲}\rho' g)+(\mathrm{m}_۳\,g\frac{m_۳}{\rho_۳}\rho' g)$$

$$۱۹/۵+\frac{۱۹/۵}{۷/۸}\times ۱=(۱۹/۵-\frac{۱۹/۵}{\rho_۲}\times ۱)+(\frac{۱۱۷}{۱۳۶}-\frac{۱۱۷}{۱۳۶\times ۷/۸}\times ۱)$$

$$(۱۹/۵-\frac{۱۱۷}{۱۳۶})(۱-\frac{۱}{۷/۸})=۱۹/۵(۱-\frac{۱}{\rho_۲})$$

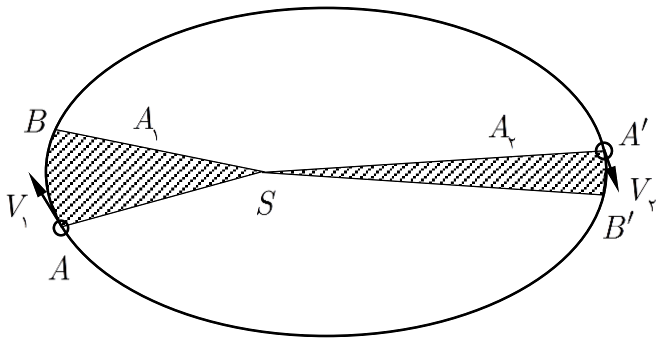
$$۱۶/۲۵=\frac{۱۹/۵\rho_۲-۱۹/۵}{\rho_۲}$$

$$۳/۲۵\rho_۲=۱۹/۵$$

$$\rho_۲=۶g/cm^۳$$

۳- در شکل (۶-۹) سیاره در دو قسمت از مسیر بیضی شکل نشان داده شده است.

الف) اگر مساحت دو قسمت هاشور خوردهٔ $A_۱$ و $A_۲$ مساوی باشد، طبق قانون دوم کپلر، سیاره دو کمان AB و $A'B'$ رادر زمان‌های مساوی می‌پیماید. چون طول کمان AB از طول کمان $A'B'$ بیشتر است، سرعت پیمودن کمان AB از سرعت پیمودن کمان $A'B'$ بیشتر است. بنابراین هنگامی که سیاره کمترین فاصله را با خورشید دارد، سرعت آن حداکثر است.

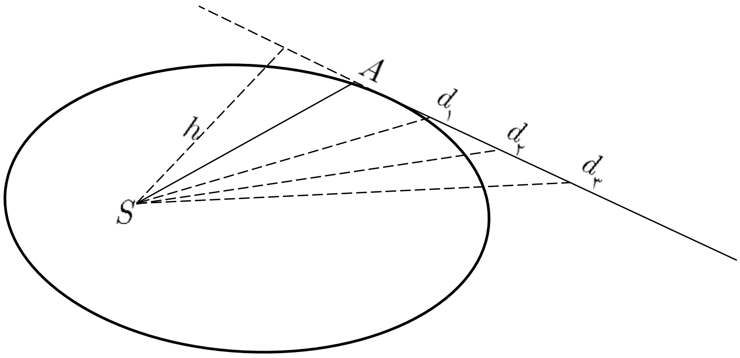


شکل (۶-۹)

ب) اگر نیروی گرانش خورشید بر سیاره صفر شود، شتاب سیاره از میان می‌رود و طبق قانون اول نیوتون، باید سیاره با سرعت ثابت روی یک خط راست حرکت کند.

ج) مسیر حرکت سیاره از این پس در شکل (۶-۱۰) نشان داده شده است.

نیروی خورشید بر سیاره در نقطهٔ A از مسیرش، از میان رفته است. از این پس سیاره در فاصله‌های زمانی مساوی فاصله‌های مساوی d_1 و d_2 و d_3 ، .... را می‌پیماید. در این حالت شعاع حامل سیاره، مثلث‌هایی را می‌پیماید، که قاعدهٔ آنها طول‌های مساوی d_1 و d_2 و d_3، ... و ارتفاع همهٔ آنها مقدار ثابت h است. آشکار است که چون مساحت همهٔ مثلث‌ها با هم برابر است، پس شعاع حامل سیاره در زمان‌های مساوی مساحت‌های مساوی جاروب می‌کند. بنابراین پس از صفر شدن نیروی گرانش خورشید بر سیاره نیز قانون دوم کپلر درست است.



شکل (۶-۱۰)

۴- چون ظرف دارای دیواره‌های عایق حرارتی است و انرژی کل دستگاه تغییر نمی‌کند، انرژی گرمایی که یک قسمت از دست داده است، با انرژی گرمایی که قسمت دیگر دریافت کرده است، برابر است. دمای نهای گاز را T و جرم آنها را m_A و m_B فرض می‌کنیم. داریم:

$$m_A C(T-T_A) = m_B C(T_B - T) \qquad (۶-۱)$$

اگر جرم مولکولی گاز را با M فرض کنیم، تعداد مول‌های موجود در هر قسمت چنین است:

$$n_A = \frac{m_A}{M} \qquad n_B = \frac{m_B}{M} \qquad (۶-۲)$$

در رابطه‌های بالا، تعداد مول‌های گاز در دو قسمت با n_A و n_B نشان داده شده است.

با استفاده از رابطه‌های (۶-۱) و (۶-۲) داریم:

$$\frac{n_A}{n_B} = -\frac{T-T_B}{T-T_A}$$

$$n_A T - n_A T_A = -n_B T + n_B T_B$$

$$T = \frac{n_A T_A + n_B T_B}{n_A + n_B} \qquad (۶-۳)$$

برای یک گاز کامل داریم:

$$\frac{PV}{T} = \text{مقدارثابت} \qquad (۶-۴)$$

چون مقدار ثابت در رابطهٔ (۶-۴) با تعداد مول‌های گاز متناسب است، می‌توان رابطهٔ (۶-۴) را به صورت زیر نوشت:

$$\frac{PV}{T} = nR \qquad (۶-۵)$$

در رابطهٔ (۶-۵)، n تعداد مول‌های گاز و R یک ضریب ثابت است. اگر رابطهٔ (۶-۵) را برای دو قسمت گاز بنویسیم داریم:

$$\frac{P_A V_A}{T_A} = n_A R \to n_A = \frac{P_A V_A}{T_A R} \qquad (۶-۶)$$

$$\frac{P_B V_B}{T_B} = n_B R \qquad n_B = \frac{P_B V_B}{T_B R} \qquad (۶-۷)$$

اگر n_A, n_B را از رابطه‌های (۶-۶) و (۶-۷) در رابطهٔ (۶-۳) قرار دهیم داریم:

$$T=\frac{P_AV_A+P_BV_B}{\frac{P_AV_A}{T_A}+\frac{P_BV_B}{T_B}}=\frac{P_AV_A+P_BV_B}{P_AV_AT_B+P_BV_BT_A}T_AT_B$$

اگر فشار نهایی گاز را پس از برداشتن دیوارهٔ p فرض کنیم، داریم:

$$\frac{PV}{T}=nR$$

که در آن $V=V_A+V_B$ و $n=n_A+n_B$ خواهد بود. پس برای فشار نهایی گاز داریم:

$$P=\frac{n_A+n_B}{V_A+V_B}TR \qquad (۶-۸)$$

اگر T را از رابطهٔ (۶-۳) در رابطه (۶-۸) قرار دهیم داریم:

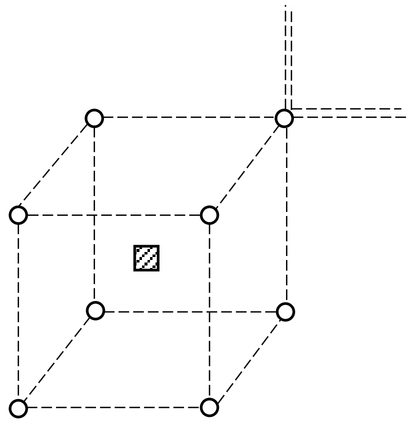
$$P=\frac{n_A+n_B}{V_A+V_B}\frac{n_AT_A+n_BT_B}{n_A+n_B}R=\frac{n_AT_A+n_BT_B}{V_A+V_B}R \qquad (۶-۹)$$

با استفاده از رابطه‌های (۶-۶) و (۶-۷) ، فشار نهایی گاز به صورت زیر خواهد شد.

$$P=\frac{P_AV_A+P_BV_B}{V_A+V_B}$$

۵- در شکل (۶-۱۱) یک مکعب وضوح بیشتر اتمی که در مرکز مکعب قرار دارد، با علامت دیگری نشان داده شده است. یکی از اتم‌هایی را که در یک رأس مکعب قرار دارد در نظر می‌گیریم. این اتم میان ۸ مکعب که یک رأس از هر کدام در آن محل قرار دارد مشترک است.

بنابراین می‌توان گفت به طور متوسط سهم هر مکعب از یک اتم آهنی که در یک رأس قرار دارد، $\frac{۱}{۸}$ است. چون هر مکعب ۸ رأس دارد، بنابراین به طور متوسط از اتم‌های آهن که در رأس‌های هر مکعب قرار دارند، یک اتم $\left(۸\times\frac{۱}{۸}=۱\right)$ آهن به هر مکعب تعلق دارد. علاوه بر آن یک اتم آهن نیز در مرکز مکعب است و به این ترتیب به هر مکعب ۲ اتم آهن تعلق دارد. جرم هر اتم آهن چنین است:



شکل (۹-۱۱)

$$m_A=\frac{M}{N_A}=\frac{۵۶}{۶\times ۱۰^{۲۳}}$$

اگر ضلع هر مکعب را $a\ cm$ فرض کنیم، تعداد مکعب‌های موجود در هر سانتیمتر مکعب چنین است:

$$n=\frac{۱}{a^۳}$$

جرم اتم‌های موجود در هر سانتیمتر مکعب که همان چگالی است، چنین است:

$$\rho=n\times ۲\times m_A=\frac{۱}{a^۳}\times ۲\times\frac{۵۶}{۶\times ۱۰^{۲۳}}$$

$$a^۳=\frac{۲\times ۵۶}{۷/۹\times ۶\times ۱۰^{۲۳}}=۲۳/۶۲۸\times ۱۰^{-۲۴}$$

$$a=۲/۸۷\times ۱۰^{-۸}cm$$

۶- در شکل (۶-۱۲) خورشید و مریخ به فاصلهٔ d از آن، نشان داده شده است. توان تابش شده از واحد سطح خورشید را $P_۱$ می‌نامیم. داریم:

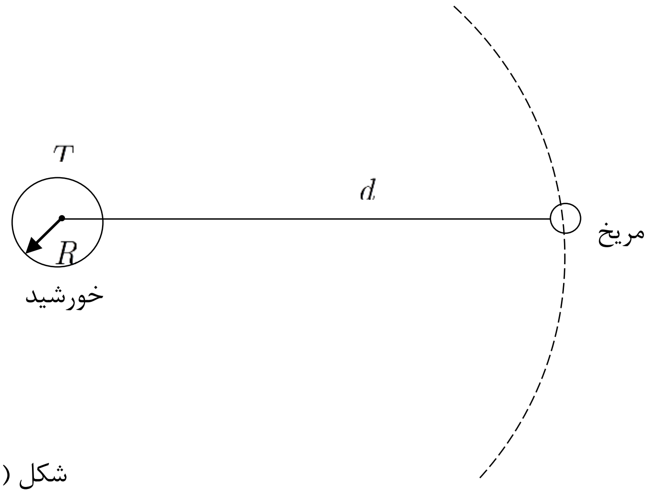
$$P_{۱s} = \sigma T^۴$$

توان تابش شده توسط کل سطح خورشید که کره‌ای به شعاع R است، چنین است.

$$P_s = ۴\pi R^۲ P_{۱s} = ۴\pi R^۲ \sigma T^۴$$

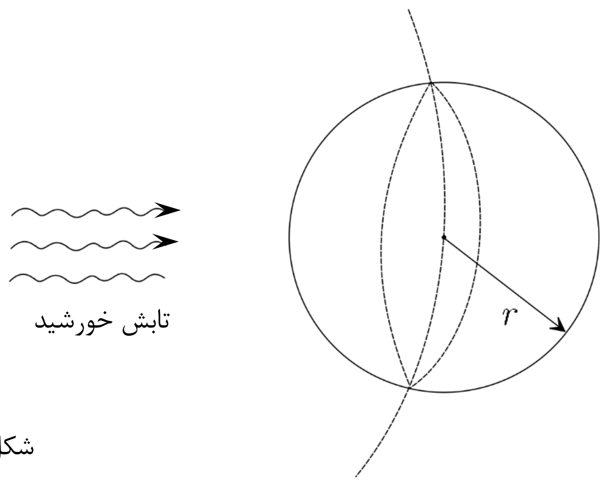
این انرژی در واحد زمان، در محل مریخ، روی کره‌ای به شعاع d توزیع شده است. بنابراین توانی که به واحد سطح این کره می‌رسد، چنین است:

$$P_{۱M} = \frac{P_s}{۴\pi d^۲} = \frac{R^۲\sigma T^۴}{d^۲}$$



شکل (۶-۱۲)

چون مریخ از خورشید فاصلهٔ زیادی دارد، می‌توان فرض کرد که یک نیمکره از مریخ در معرض تابش خورشید قرار دارد. توانی که این نیمکره جذب می‌کند، با توانی که دایرهٔ عظیمهٔ مریخ جذب می‌کند، برابر است، زیرا مساحت مؤثر نیمکره در برابر تابش خورشید، با مساحت دایرهٔ عظیمه آن برابر است. (به شکل (۶-۱۳) نگاه کنید)



شکل (۶-۱۳)

اگر شعاع مریخ را r فرض کنیم، توان تابیده به سطح مریخ چنین است.

$$P_M = \pi r^۲ P_{۱M} = \frac{\pi r^۲ R^۲ \sigma T^۴}{d^۲} \qquad (۶-۱۰)$$

چون مریخ را جسم سیاه فرض کرده‌ایم، تمام تون تابیده به مریخ توسط آن جذب می‌شود. بنابراین توان جذب شده توسط مریخ همان P_M است.

اگر دمای مریخ را که در تمام سطح آن یکسان است T' فرض کنیم، از تمام سطح کره‌ای به شعاع r انرژی تابش می‌شود. توان تابش شده از واحد سطح این کره چنین است.

$$P'_{1M} = \sigma T'^4$$

توان تابش شده از تمام سطح مریخ چنین است.

$$P'_M = 4\pi r^2 p'_{1M} = 4\sigma r^2 \sigma T'^4 \qquad (۶-۱۱)$$

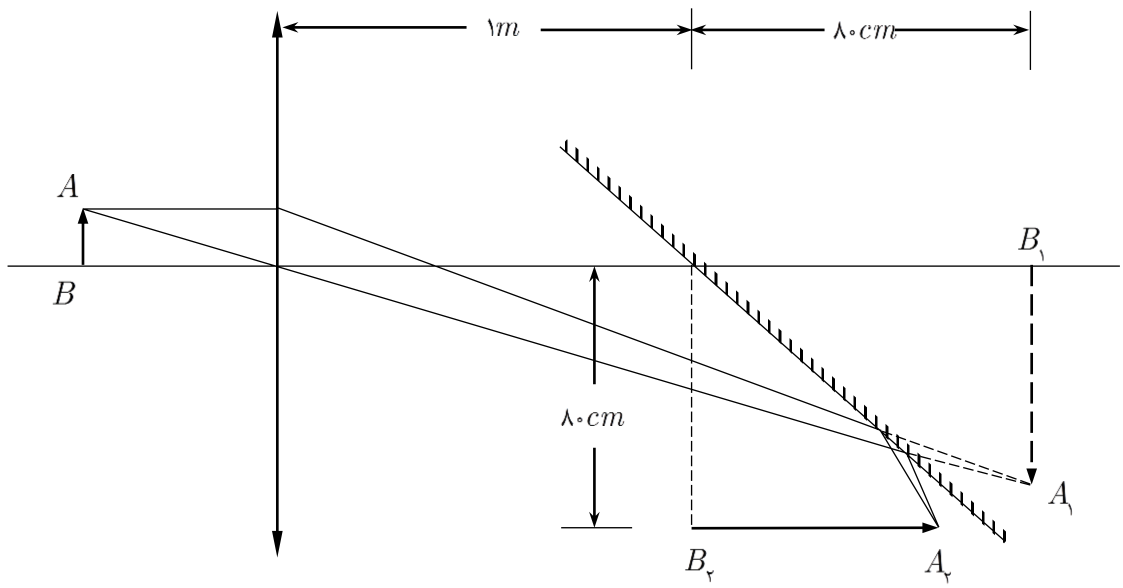
در حالت تعادل توان تابش شده و توان جذب شده برابر است. با برابر قرار دادن رابطه‌های (۶-۱۰) و (۶-۱۱) داریم:

$$4\pi r^2 \sigma T'^4 = \frac{\pi r^2 R^2 \sigma T^4}{d^2}$$

$$T'^4 = \frac{R^2 T^4}{4d^2}$$

$$T' = T\sqrt[4]{\frac{R^2}{4d^2}} = 5880\sqrt[4]{\frac{49\times 10^{16}}{4\times 484\times 10^{20}}} = 234^\circ k$$

۷- ابتدا فرض می‌کنیم آینهٔ تخت وجود ندارد. عدسی از جسم تصویری حقیقی می‌دهد، داریم:



شکل (۶-۱۴)

$$\frac{1}{p}+\frac{1}{q}=\frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{36}+\frac{1}{q}=\frac{1}{30}$$

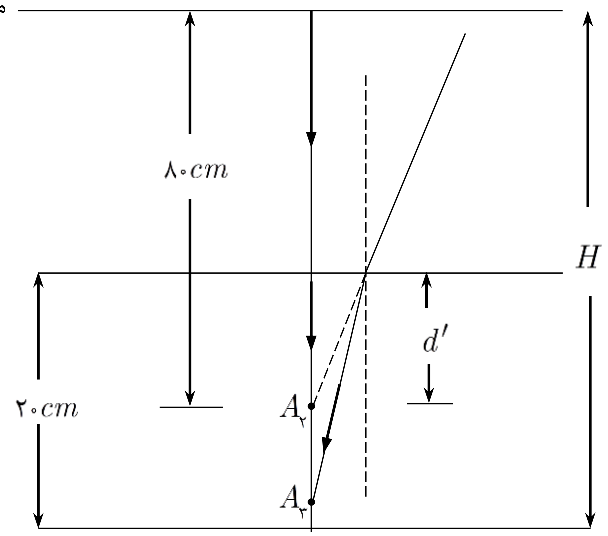
$$q=\frac{36\times 30}{36-30}=180cm$$

چون آینهٔ تخت به فاصلهٔ $1m$ از عدسی قرار دارد، آینه مانع از تشکیل تصویر حقیقی می‌شود و نورها پیش از آنکه در نقطهٔ A به هم برسند، از آینه باز می‌تابند. تصویر A_1B_1 در پشت آینهٔ تخت مانند یک جسم مجازی، در آینهٔ تخت تصویر حقیقی می‌دهد. از شکل (۶-۱۴) پیداست که تصویر حقیقی A_2B_2 به فاصلهٔ $80\ cm$ از محور عدسی تشکیل می‌شود. اکنون ظرف آب را زیر آینه در نظر می‌گیریم. نورهایی که از آینه بازتابیده و درن قطهٔ A_2 یکدیگر را قطع می‌کردند، با وارد شدن به آب تغییر مسیر داده و در نقطهٔ A_3 ته ظرف یکدیگر را قطع می‌کنند و

آخرین تصویر در ته ظرف تشکیل می‌شود. اگر نورها نزدیک به خط عمود باشند داریم:

$$\frac{d}{d'} = n$$

$$\frac{۲۰}{d'} = \frac{۴}{۳} \rightarrow d' = ۱۵cm$$



شکل (۶-۱۵)

با استفاده از شکل (۶-۱۵) داریم:

$$H = ۸۰ + ۵ = ۸۵cm$$

۸- به علت افزایش دما طول و در نتیجه سطح حلقه افزایش می‌یابد. اگر میدان مغناطیسی وجود نداشت، تغییر مساحت حلقه تأثیری نداشت و نیروی محرکهٔ لازم برای گذراندن جریان I از حلقه از قانون اهم برابر RI به دست می‌آمد.

چون حلقه در میدان مغناطیسی قرار دارد، از سطح آن شار مغناطیسی می‌گذرد که با تغییر مساحت حلقه، شار مغناطیسی نیز تغییر می‌کند. تغییر شار مغناطیسی نیروی محرکه‌ای در حلقه ایجاد می‌کند که با عامل مولد آن که همان نیروی محرکهٔ ایجاد کننده جریان I است مخالفت می‌کند. بنابراین نیروی محرکهٔ مدار جمع جبری نیروی محرکهٔ خارجی (مثلاً باتری) و نیروی محرکه القایی است و مجموع نیروی محرکه، جریان I در مدار ایجاد می‌کند. داریم:

$$E - \frac{d\varphi}{dt} = RI \qquad (۶\text{-}۱۲)$$

شار مغناطیسی که در هر لحظه از مدار می‌گذرد چنین است.

$$\varphi = BA = BA_\circ(۱ + ۲\lambda\Delta\theta)$$

انرژی گرمایی تولید شده در مدار، دمای آن را بالا می‌برد و داریم:

$$RI^۲t = mC\Delta\theta \rightarrow \Delta\theta = \frac{RI^۲t}{mC} \qquad (۶\text{-}۱۳)$$

اگر $\Delta\theta$ را از رابطه (۶-۱۳) در رابطه (۶-۱۲) قرار دهیم، داریم:

$$\varphi = B\pi(\frac{L_\circ}{۲\pi})^۲(۱ + ۲\lambda\frac{RI^۲t}{mC})$$

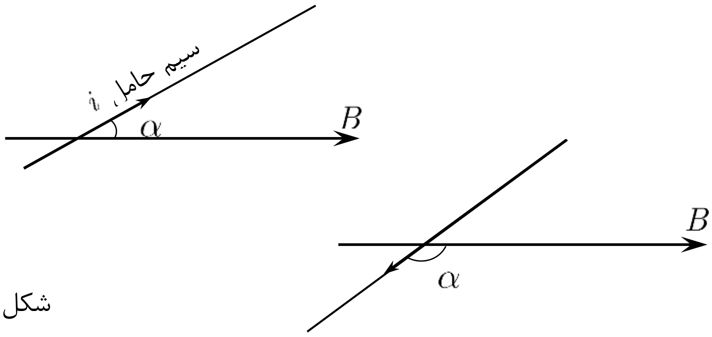
$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{BL_\circ^۲\lambda RI^۲}{۲\pi mC}$$

$$E = RI + \frac{d\varphi}{dt} = RI(۱ + \frac{BL_\circ^۲\lambda I}{۲\pi mC})$$

۹- در فضای داخلی سیم‌پیچ میدان مغناطیسی یکنواخت تولید می‌شود که راستای آن بر محور سیم‌پیچ منطبق است. نیرویی که از طرف میدان مغناطیسی B بر یک سیم به طول l که جریان i از آن می‌گذرد، چنین است:

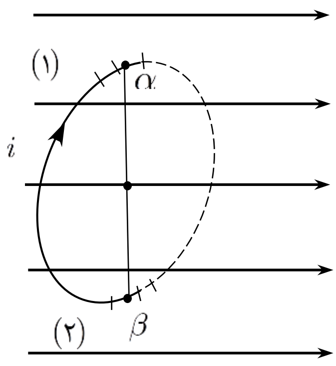
$$F = ilB\sin\alpha \qquad (۱۴-۶)$$

که در آن α زاویهٔ میان میدان مغناطیسی و جریان الکتریکی است. در شکل (۶ـ۱۶) یک سیم حامل جریان در یک میدان مغناطیسی برای دو حالت جریان نشان داده شده است. همان‌طور که از شکل (۶-۱۶) پیداست، زاویهٔ میان میدان مغناطیسی و جریان الکتریکی، زاویهٔ میان سیم و میدان مغناطیسی نیست، بلکه زاویه‌ای است که دو جهت مثبت میدان مغناطیسی و جریان الکتریکی با هم می‌سازند.



شکل (۶-۱۶)

در شکل (۶-۱۷) حلقهٔ دارای جریان i در میدان مغناطیسی یکنواخت حاصل از سیم‌پیچ نشان داده شده است. در اینجا نمی‌توان نیروی وارد بر حلقه را با استفاده از رابطهٔ (۶-۱۴) یکسره به دست آورد، زیرا زاویهٔ میان میدان مغناطیسی و جریان حلقه در نقاط مختلف حلقه متفاوت است. راه ساده برای محاسبهٔ نیروی وارد بر حلقهٔ آن است که حلقه را به تعداد زیادی قطعهٔ کوچک تقسیم کنیم و نیروی وارد بر هر قطعه را پیدا کرده و سپس برآیند نیروها را به دست آوریم. فرض کنیم نیروی وارد بر قطعهٔ (۱) $f_۱$ باشد. نیروی وارد بر قطعهٔ (۲)، $f_۲$ که درست مقابل آن است (خطی که دو قطعه را به هم وصل می‌کند، از مرکز حلقه می‌گذرد) با نیروی $f_۱$ هم اندازه است زیرا طول دو قطعه باهم برابر است و دو زاویهٔ α و β مکمل یکدیگرند و در نتیجه سینوس آنها با هم برابر است. ولی با استفاده از قانون دست راست جهت دو نیروی $f_۱$ و $f_۲$ خلاف یکدیگر است. بنابراین برآیند دو نیروی $f_۱$ و $f_۲$ صفر است. اگر همین استدلال را دربارهٔ هر دو قطعهٔ روبه‌روی هم به کار بریم، به این نتیجه می‌رسیم که نیروی وارد بر کل حلقه صفر است.



شکل (۶-۱۷)

۱۰- پس از گذشت مدت زمان طولانی از بستن کلید، خازن پر شده و جریان در مدار متوقف می‌شود. در این حالت اختلاف پتانسیل خازن با بار q، برابر با $\frac{q}{c}$ خواهد بود. اگر مدار را مطابق با شکل (۶-۱۸) در یک جهت دور بزنیم، داریم:

$$E = I(R+r)+\frac{q}{c} = ۰(۱۰۰+۵)+\frac{q}{c} = \frac{q}{c}$$
$$q = EC = ۱۲\times۵\times۱۰^{-۶} = ۶۰\times۱۰^{-۶}coul$$

انرژی ذخیره شده در خازن U_c چنین است.

$$U_c = \frac{q^۲}{۲c} = \frac{۳۶\times ۱۰^{-۱۰}}{۲\times ۵\times ۱۰^{-۶}} = ۳/۶\times ۱۰^{-۴} J$$

قبل از بستن کلید، هر دو صفحهٔ خازن بدون بار الکتریکی است. آنچه در عمل اتفاق می‌افتد این است که الکترون‌های صفحهٔ متصل به قطب مثبت آن را ترک کرده و پس از عبور از باتری روی صفحهٔ متصل به قطب منفی جمع می‌شوند. به این ترتیب تمام q کولن بار الکتریکی که در خازن ذخیره شده است، از باتری عبور کرده است. با توجه به تعریف نیروی محرکه، هر کولن بار الکتریکی که از باتری عبور می‌کند، به اندازهٔ E ژول انرژی از باتری می‌گیرد. بنابراین انرژی مصرف شده توسط باتری در مدتی که خازن پر شده است، برابر است با:

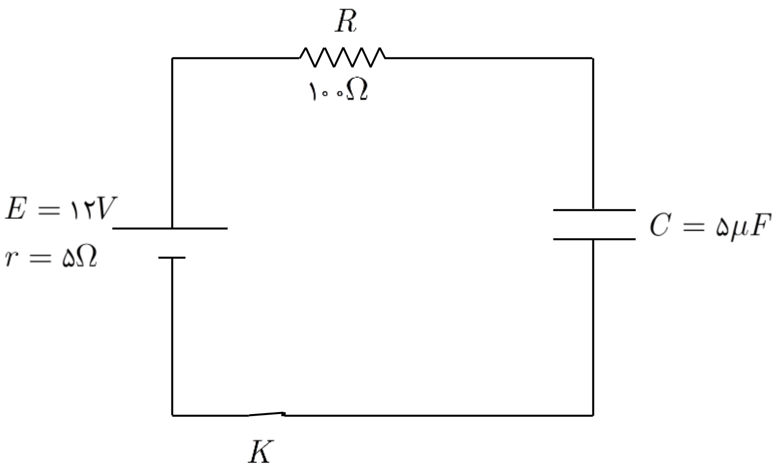
$$U = Eq = ۱۲\times ۶۰ \times ۱۰^{-۶} = ۷/۲\times ۱۰^{-۴} J$$

از این مقدار انرژی U_c در خازن ذخیره شده و بقیه در دو مقاومت R و r به گرما تبدیل شده است.

$$U_t = U - U_c = ۷/۲\times ۱۰^{-۴} - ۳/۶\times ۱۰^{-۴} = ۳/۶\times ۱۰^{-۴} J$$

چون انرژی گرمایی در رسانا با مقاومت آن متناسب است $(U_R = RI^۲t)$، پس انرژی گرمایی تولید شده در دو مقاومت، متنR و r است. پس داریم:

$$U_{tR} = U_t \frac{R}{rR} + = ۳/۶\times ۱۰^{-۴} \frac{۱۰۰}{۱۰۰+۵} = ۳/۴۲\times ۱۰^{-۴} J$$



شکل (۶-۱۸)