پاسخ مسئله‌ها

۱ - در شکل (۴ ـ ۹) نیروهای وارد بر مکعب و سطح شیبدار نشان داده شده است. برای نمایش بهتر نیروها، مکعب و سطح شیبدار جدا از هم رسم شده است. نیروهای وارد بر سطح شیبدار به ترتیب زیر است.

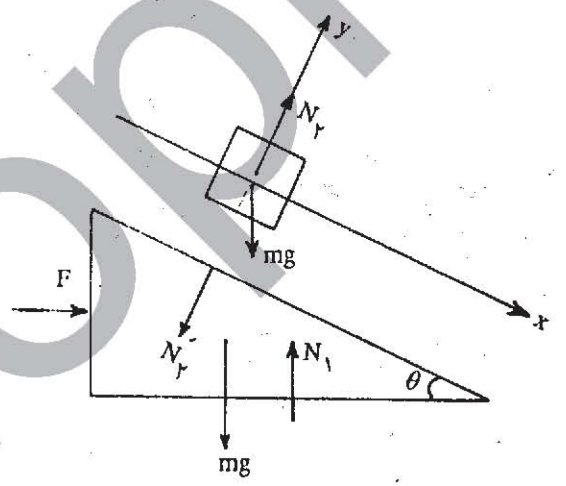
Mg وزن سطح شیبدار که از کرهٔ زمین بر سطح شیبدار وارد می‌شود

N_1 نیرویی که کف ترازو بر سطح شیبدار وارد می‌کند.

N'_2 نیرویی که مکعب بر سطح شیبدار وارد می‌کند. چون مکعب و سطح شیبدار اصطکاک ندارند، نیرویی که این دو بر هم وارد می‌کنند، بر سطح تماس عمود است.

F نیرویی که بدنهٔ قائم کفهٔ ترازو بر سطح شیبدار وارد می‌کند.

نیروهای وارد بر مکعب چنین است



شکل (۴ ـ ۹)

$m\,g$ وزن مکعب که از طرف کرهٔ زمین بر مکعب وارد می‌شود

N_2 نیرویی که سطح شیبدار بر مکعب وارد می‌کند. این نیرو و N'_2 کنش و واکنش هستند. چون مکعب روی سطح شیبدار به پایین می‌لغزد، در راستای محور y شتاب ندارد، یعنی

$$a_y = 0 \rightarrow N_2 - mg\cos\theta = m\,a_y = 0$$

$$N_2 = m_2 g \cos\theta \qquad (۱ - ۴)$$

چون سطح شیبدار حرکت ندارد، باید برآیند نیروهای وارد بر آن در دو راستای افقی و قائم صفر باشد. پس داریم:

$$N_1 - Mg - N'_2 \cos\theta = 0 \qquad (۲ - ۴)$$

$$F - N'_2 \sin\theta = 0 \qquad (۳ - ۴)$$

از طرفی داریم:

$$N_2 = N'_2 \qquad (۴ - ۴)$$

از رابطه‌های (۴ ـ ۱)، (۴ ـ ۲) و (۴ ـ ۴) داریم

$$N_1 = Mg + m_2 g \cos^2\theta$$

واکنش نیروی N_1، نیرویی است که سطح شیبدار بر ترازو وارد می‌کند و آنچه ترازوی فنری نشان می‌دهد، همین نیرو است. چون اندازهٔ دو نیروی کنش و واکنش برابراند، پس عددی که ترازوی فنری نشان می‌دهد، همان N_1 است.

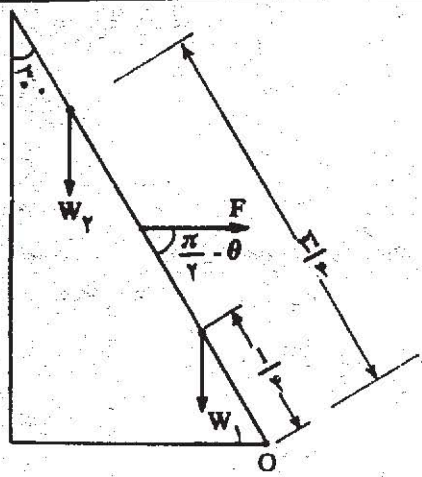
۲ ـ وزن قسمت پهن میله را W_1 و قسمت باریک آن را W_2 فرض می‌کنیم. چون قطر قسمت پهن دو برابر قسمت باریک است، و طول دو قسمت یکسان است حجم قسمت پهن چهار برابر باریک است. چون جنس دو قسمت یکسان است، پس وزن قسمت پهن میله نیز چهار برابر وزن قسمت باریک است.

$$W_1 = 4W_2$$

چون وزن دو قسمت $50N$ است پس:

$$W_1 = 40N \qquad W_2 = 10N$$

در شکل (۴ ـ ۱۰) نیروهای وزن دو قسمت و نیروی F که به وسط میله وارد کرده‌ایم نشان داده شده است. از طرف لولا نیز بر میله نیرو وارد می‌شود ولی چون برای محاسبهٔ گشتاور، محل لولا را انتخاب می‌کنیم، این نیرو تأثیری ندارد. چون شرایطی که نیروی دیوار بر میله صفر است، موردنظر می‌باشد، از طرف دیوار نیرویی بر میله وارد نشده است. چون میله در حال تعادل است، گشتاور نیروهای وارد بر میله نسبت به نقطهٔ O صفر است. داریم:



شکل (۴ ـ ۱۰)

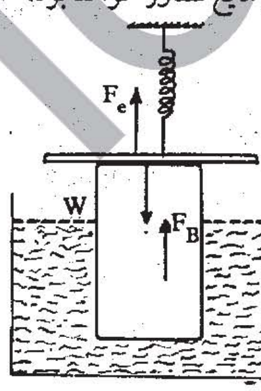
$$W_2 \times \frac{3l}{4}\sin\theta + W_1 \times \frac{l}{4}\sin\theta - F\frac{l}{2}\cos\theta = 0 \qquad \frac{3l}{4} \qquad \frac{l}{4}$$

$$\frac{10\times 3}{4}\times\frac{1}{2} + \frac{40\times 1}{4}\times\frac{1}{2} - \frac{F}{2}\sqrt{\frac{3}{2}} = 0$$

$$F = \frac{35\sqrt{3}}{3}$$

۳ ـ در حالت اول $\frac{h}{2} = 15\ \mathrm{cm}$ از استوانهٔ فلزی در مایع شناور است. پس از گذاردن وزنه که وزن آن را W فرض می‌کنیم، $\frac{2}{3}h = 20\ \mathrm{cm}$ از استوانه داخل مایع شناور خواهد بود.

در شکل (۴ ـ ۱۱) تغییر نیروهای وارد بر استوانه نشان داده شده است. این نیروها به ترتیب زیر است.



شکل (۴ ـ ۱۱)

($W = mg$) وزن وزنه‌ای که روی استوانه قرار داده‌ایم

(F_B) تغییر نیروی ارشمیدس به علت افزایش حجم مایع جابه‌جا شده

(F_e) تغییر نیروی فنر به دلیل افزایش طول فنر

$$F_B = \Delta h \times \pi r^{۲} \rho g = ۵\times ۱۰^{-۲} \times ۳/۱۴ \times ۲۵ \times ۱۰^{-۴} \times ۱/۸ \times ۱۰^{۳} \times ۹/۸$$

$$F_B = ۶/۹۳ \text{ N}$$

$$F_e = k\,\Delta h = ۲ \times ۵ \times ۱۰^{-۲} = ۰/۱$$

چون استوانه قبل از گذاردن وزنه در حال تعادل بوده است و پس از گذاردن وزنه نیز در حال تعادل خواهد بود، مجموع نیروهای اضافه شده به استوانه، باید صفر باشد.

$$F_e + F_B - W = ۰$$

$$W = ۶/۹۳ + ۰/۱ = ۷/۰۳ \text{ N}$$

$$m = \frac{W}{g} = ۰/۷۱۷ \text{ kg}$$

۴ - در ابتدا حجم دو محفظهٔ گاز با هم برابر است.

الف - در شکل (۴ ـ ۱۲) دو محفظهٔ گاز پس از جابه‌جایی پیستون نشان داده شده است. داریم:

$$V_۱ P_۱ = (\ell + d) A P_۱ = \ell A P_۰ \qquad (۵ - ۴)$$

$$V_۲ P_۲ = (\ell - d) A P_۲ = \ell A P_۰ \qquad (۶ - ۴)$$

چون پیستون در حال تعادل است، میان فشار $P_۱$ و $P_۲$، رابطهٔ زیر برقرار است

$$P_۱ + \frac{W}{A} = P_۲ \qquad (۷ - ۴)$$

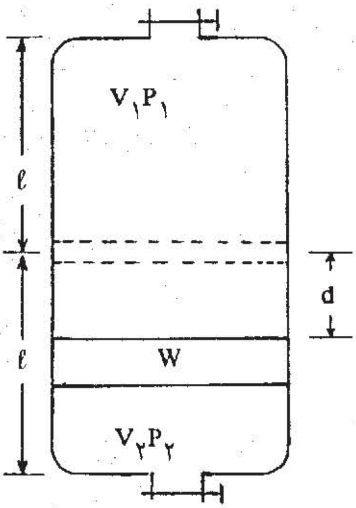
از رابطه (۴ ـ ۵) و (۴ ـ ۶) داریم:

$$(\ell + d)\, p_۱ = (\ell - d)\, p_۲ \qquad (۸ - ۴)$$

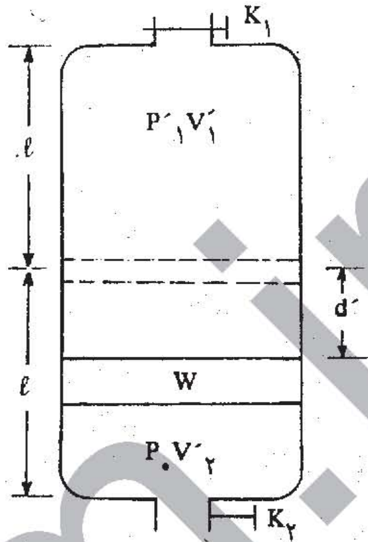
اگر $p_۲$ را از رابطهٔ (۴ ـ ۷) در رابطهٔ (۴ ـ ۸) قرار دهیم داریم:

$$(\ell + d)\, p_۱ = (\ell - d) \left[p_۱ + \frac{W}{A}\right] \qquad (۹ - ۴)$$

با قرار دادن $p_۱$ از رابطهٔ (۴ ـ ۵) در رابطهٔ (۴ ـ ۹) داریم:



شکل (۴ ـ ۱۲)



شکل (۴ ـ ۱۳)

$$\ell p_\circ = (\ell - d)\left[\frac{\ell p_\circ}{\ell + d} + \frac{W}{A}\right]$$

$$\ell p_\circ (\ell + d) = (\ell - d)\left[\ell p_\circ + \frac{W}{A}(\ell + d)\right]$$

$$d^2 + \frac{\ell p_\circ}{W} d - \ell^2 = 0$$

$$d = -\frac{\ell p_\circ}{W} \pm \sqrt{\frac{\ell^2 p_\circ^2 A^2}{W^2} + \ell^2} \qquad (۱۰ـ۴)$$

چون در رابطه (۴ ـ ۱۰)، $\Delta > 0$ است معادله همواره جواب دارد و چون باید $d > 0$ باشد، جواب قابل قبول چنین است.

$$d = \frac{\ell}{W}\left[\sqrt{p_\circ^2 A^2 + W^2} - p_\circ A\right]$$

ب ـ پس از باز کردن شیر پایینی k_2، فشار هوای محفظهٔ پایینی $p_\circ$ خواهد شد. در شکل(۴ ـ ۱۳) وضعیت حجم و فشار دو محفظه نشان داده شده است. داریم

$$p'_1 V'_1 = p'_1 (l + d') A = p_\circ l A \qquad (۱۱ـ۴)$$

فشار گاز در محفظهٔ بالایی به اضافهٔ فشار حاصل از پیستون باید با فشار هوای خارج برابر باشد، یعنی:

$$p'_1 + \frac{W}{A} = p_0 \qquad (۱۲ - ۴)$$

از دو رابطهٔ (۴ ـ ۱۱) و (۴ ـ ۱۲) داریم:

$$(p_0 - \frac{W}{A})\ (\ell + d') = p_0\ \ell$$

$$\ell p_0 - \ell\frac{W}{A} + d'\ (p_0 - \frac{W}{A}) = p_0\ \ell$$

$$d' = \frac{W\frac{\ell}{A}}{p_0 - \frac{W}{A}} = \frac{W\ell}{p_0 A - W}$$

ج – برای آن که پس از باز کردن شیر پایینی پیستون به ته ظرف سقوط نکند، باید

$$d' < \ell \Rightarrow \quad \frac{Wl}{p_0 A - W} < \ell$$

$$W < p_0\ A - W$$

$$W < \frac{p_0\ A}{۲}$$

۵ – در حالی که مقاومتها به طور موازی بسته شده‌اند، گرمای تولید شده در مدت ۱۵ دقیقه چنین است.

$$Q_1 = m\ c\ (\theta_2 - \theta_1) + m'\ L = ۱۵۰۰ \times ۱\ (۱۰۰ - ۲۰) + ۱۰۰ \times ۵۳۹$$

$$Q_1 = ۱۷۳/۹ \times ۱۰^{۳}\ \text{cal}$$

اگر مقاومت هر کدام از دو سیم گرمکن را R و اختلاف پتانسیل برق شهر را V فرض کنیم، توان اجاق الکتریکی در حالتی که دو سیم گرمکن آن به طور موازی بسته شده‌اند، چنین است.

$$P_1 = ۲\ \frac{V^2}{R} = \frac{Q_1}{t_1} = \frac{۱۷۳/۹ \times ۱۰^{۳}}{۹۰۰} = ۱۹۳/۱\ \text{cal / s}$$

$$\frac{V^2}{R} = ۹۶/۶\ \text{cal/s}$$

الف - هنگامی که سیمهای گرمکن را به طور متوالی می‌بندیم، مقاومت آنها R ۲ خواهد بود و توان در این حالت چنین است.

$$p_۲ = \frac{V^۲}{۲\,R} = ۴۸/۳ \text{ cal/s}$$

چون توان در این حالت چهار بار از حالت اول کوچکتر و زمان ۴ بار بزرگتر شده است، بنابراین انرژی مصرف شده معادل حالت اول است. پس آب به جوش آمده و همان ۱۰۰g از آن بخار خواهد شد.

ب - در حالتی که یکی از سیمهای گرمکن در اجاق باشد، مقاومت آن R و توان آن $\frac{V^۲}{R}$ است. در این حالت داریم

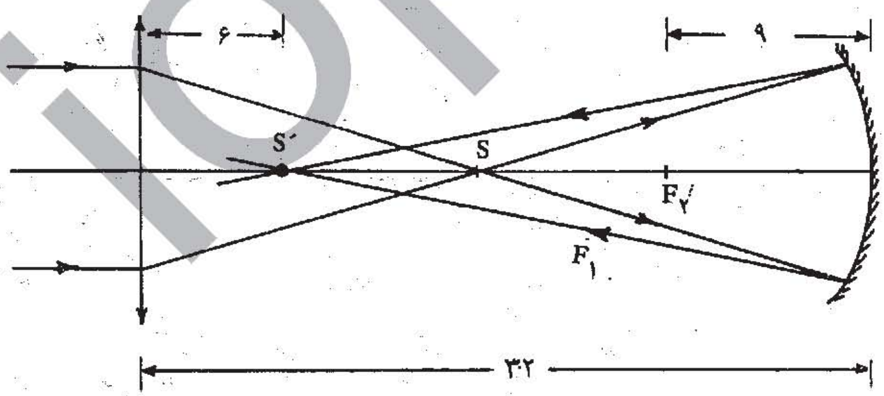
$$Q_۳ = P_۳\, t_۳ = m\, c\, (\theta_۲ - \theta_۱)$$

$$۹۶/۶ \times t_۳ = ۱۵۰۰ \times ۱ \times (۱۰۰ - ۲۰)$$

$$t_۳ = ۱۲۴۲ \text{ s} = ۲۰/۷ \text{ دقیقه}$$

۶ - پرتوهای موازی با محور عدسی در کانون آن جمع می‌شوند و آینهٔ مقعر از این نقطهٔ نورانی تصویری حقیقی می‌دهد. محل تشکیل این تصویر حقیقی می‌تواند در یکی از دو طرف عدسی و به فاصلهٔ ۶ سانتی‌متری آن باشد. در یک حالت تصویر حقیقی نهایی میان عدسی و آینه است و در حالت دیگر خارج از فاصله آن دو است.

الف - در حالتی که تصویر حقیقی نهایی میان عدسی و آینه تشکیل شود، پرتوهای نور مانند شکل (۴ ـ ۱۴) است.



شکل (۴ ـ ۱۴)

نقطهٔ نورانی s که در کانون عدسی است، در آینه به عنوان یک جسم حقیقی تصویری در 's می‌دهد. از شکل پیداست که

$$p = ۳۲ - f_1$$

$$q = ۳۲ - ۶ = ۲۶$$

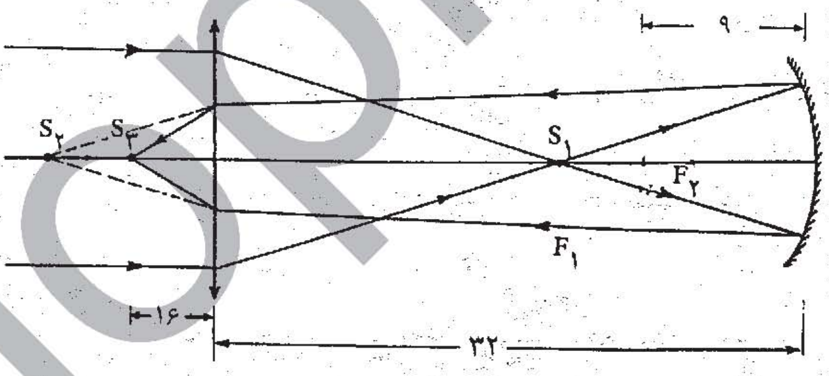
برای آینه داریم:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f_1}$$

$$\frac{1}{۳۲ - f_1} + \frac{1}{۲۶} = \frac{1}{۹}$$

$$f_1 = ۱۸/۸ \text{ cm}$$

ب - در این حالت مطابق شکل (۴ - ۱۵) آینه از نقطهٔ نورانی s_1 تصویری می‌دهد (نقطهٔ s_2) که در سمت دیگر عدسی قرار دارد. این تصویر به عنوان جسم مجازی برای عدسی عمل می‌کند و باید تصویر این جسم مجازی در عدسی، (نقطه s_3) در فاصلهٔ ۶ سانتیمتری عدسی تشکیل شود.



شکل (۴ - ۱۵)

در عدسی $q_1 = ۶ \text{ cm}$ است و داریم:

$$\frac{1}{-p_1} + \frac{1}{۶} = \frac{1}{f_1}$$

$$P_1 = \frac{۶\ f_1}{f_1 - ۶}$$

چون تصویر s_1 در آینهٔ مقعر، یعنی s_2، برای عدسی جسم مجازی است، در رابطهٔ بالا $\frac{1}{-p_1}$ گذارده شده است تا P_1 صرفاً اندازهٔ فاصله s_2 از عدسی باشد. s_2 تصویر s_1 در آینه است و برای آینه داریم:

$$P_2 = ۳۲ - f_1$$

$$q_2 = ۳۲ + P_1 = \frac{۶\ f_1}{f_1 - ۶} + ۳۲ = \frac{۳۸\ f_1 - ۱۹۲}{f_1 - ۶}$$

$$\frac{1}{p_2} + \frac{f_1 - ۶}{۳۸\ f_1 - ۱۹۲} = \frac{1}{۹}$$

$$P_2 = \frac{۹\ (۳۸\ f_1 - ۱۹۲)}{۲۹\ f_1 - ۱۳۸} = \frac{۳۴۲\ f_1 - ۱۷۲۸}{۲۹\ f_1 - ۱۳۸}$$

$$f_1 = ۳۲ - p_2 = ۳۲ - \frac{۳۴۲\ f_1 - ۱۷۲۸}{۲۹\ f_1 - ۱۳۸} = \frac{۵۸۶\ f_1 - ۲۶۸۸}{۲۹\ f_1 - ۱۳۸}$$

$$۲۹\ f_1^{۲} - ۷۲۴\ f_1 + ۲۶۸۸ = ۰$$

$$f_1 = ۲۰/۴\ \text{cm}$$

۷ – در شکل (۴ ـ ۱۶) استوانهٔ شیشه‌ای و غلاف آن که رشته نوری را می‌سازند نشان داده شده است. برای آن که بتوان مسیر پرتو نور را مشخص کرد، باریکهٔ نور را به نقطه‌ای که با غلاف فاصله دارد، تابانده‌ایم ولی در عمل پرتو نور به مرز تماس استوانه با غلاف می‌تابد. برای شکست نور در ابتدای رشته داریم:

$$\sin \frac{\alpha}{۲} = n_1 \sin \beta \qquad (۱۳ - ۴)$$

نوری که وارد استوانه می‌شود، با زاویه و تابش γ به مرز تماس استوانه با غلاف بر می‌خورد.

چون زاویهٔ β و γ متمم یکدیگرند، رابطهٔ (۴ ـ ۱۳) را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\sin\frac{\alpha}{2} = n_1 \cos\gamma = n_1\sqrt{1-\sin^2\gamma} \qquad (۴-۱۴)$$

اگر قرار باشد نور در استوانه محصور بماند و وارد غلاف نشود، باید زاویهٔ γ از زاویهٔ حد C بیشتر باشد. داریم:

$$\gamma \geqslant C$$

$$\sin\gamma \geqslant \sin C \qquad (۴-۱۵)$$

اگر در رابطهٔ (۴ ـ ۱۴) به جای $\sin\gamma$، مقدار $\sin C$ را قرار دهیم از رابطهٔ (۴ ـ ۱۵) پیداست که کمیت زیر رادیکال بزرگتر شده است، پس:

$$\sin\frac{\alpha}{2} \leqslant n_1\sqrt{1-\sin^2 C} \qquad (۴-۱۶)$$

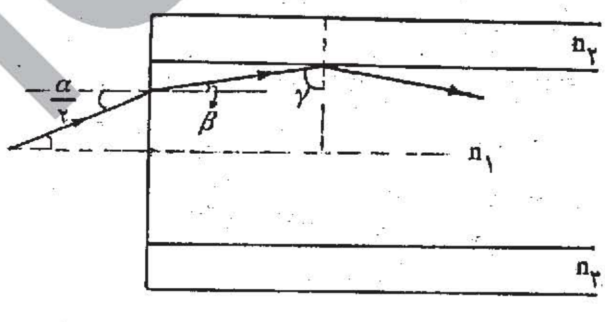
از طرفی داریم:

$$\sin C = \frac{n_2}{n_1} \qquad (۴-۱۷)$$

اگر به جای $\sin C$ مقدار آن را از رابطهٔ (۴ ـ ۱۷) در رابطهٔ (۴ ـ ۱۶) قرار دهیم داریم:

$$\sin\frac{\alpha}{2} \leqslant n_1\sqrt{1-\frac{n_2^2}{n_1^2}}$$

$$\sin\frac{\alpha}{2} \leqslant \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

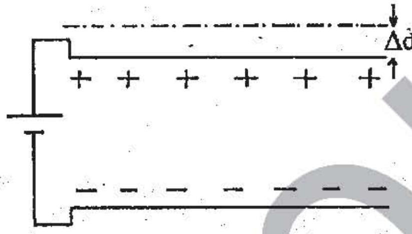


شکل (۴ ـ ۱۶)

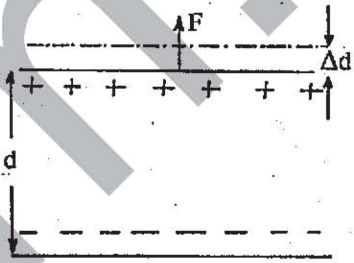
۸ – هنگامی که صفحات خازن به باتری وصل نیست، بار خازن در تغییر فاصلهٔ صفحات ثابت می‌ماند. در شکل (۴ ـ ۱۷) صفحات خازن قبل از تغییر فاصله، نشان داده شده است. آشکار است که برای زیاد کردن فاصلهٔ صفحات، باید یک عامل خارجی با کردن نیرو به یکی از صفحات، آن را جابه‌جا کند و در این جابه‌جایی کار انجام دهد. کار انجام شده توسط عامل خارجی در این جابه‌جایی، به افزایش انرژی خازن می‌انجامد.

انرژی خازن در حالت اول $U_1 = \frac{Q^2}{2C} = \frac{Q^2 d}{2\varepsilon_0 A}$

تغییر انرژی خازن در حالت اول $\Delta U_1 = \frac{Q^2}{2\varepsilon_0 A}\Delta d = W_1$ (۴ ـ ۱۸)



شکل (۴ ـ ۱۸)



شکل (۴ ـ ۱۷)

در حالت اول تنها فاصلهٔ صفحات تغییر می‌کند و بنابراین تغییر انرژی مربوط به آن است. در حالت دوم باتری به خازن متصل می‌ماند. در این صورت اختلاف پتانسیل دو سر خازن ثابت می‌ماند و چون ظرفیت خازن به علت تغییر فاصلهٔ صفحات، تغییر می‌کند، بار خازن نیز تغییر می‌کند. وضعیت خازن در این حالت در شکل (۴ ـ ۱۸) نشان داده شده است. داریم:

$$Q = CV = \frac{\varepsilon_0 A}{d} V \qquad (۴ ـ ۱۹)$$

با افزایش d ، بار خازن کم می‌شود. به عبارت دیگر مقداری از بارهای خازن به باتری بـر

می‌گردد. تغییر بار خازن را می‌توان با استفاده از رابطه (۴ ـ ۱۹) بدست آورد. داریم:

$$\Delta Q = -\frac{\varepsilon_\circ A}{d^2} V \Delta d \qquad (۲۰ - ۴)$$

علامت منفی در رابطهٔ (۴ ـ ۲۰) نشان دهنده کم شدن بار خازن است. هنگامی که باتری خازن را پر می‌کند، باتری انرژی به خازن می‌دهد، یعنی باتری کار مثبت انجام می‌دهد. هنگامی که فرایند عکس رخ می‌دهد، یعنی بار از خازن خالی شده و به باتری می‌رود، باتری انرژی دریافت می‌کند، یعنی کار منفی انجام می‌دهد. چون اختلاف پتانسیل دو سر باتری ثابت است، کار انجام شده در اثر عبور بار ΔQ از این اختلاف پتانسیل، با توجه به تعریف اختلاف پتانسیل از رابطهٔ زیر به دست می‌آید.

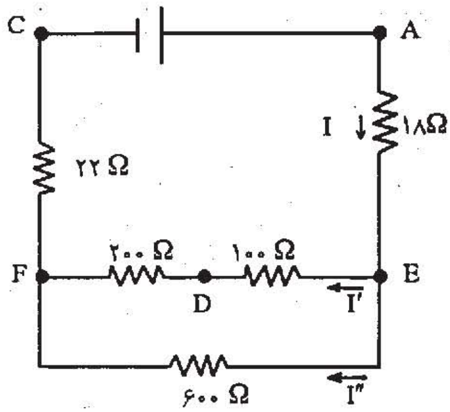
کار باتری در تغییر بار خازن $W_2 = V \Delta Q = -\frac{\varepsilon_\circ A}{d^2} V^2 \Delta d$

$$W_2 = -\frac{(\varepsilon_\circ A)^2 V^2}{d^2 \varepsilon_\circ A} \Delta V = -\frac{Q^2}{\varepsilon_\circ A} \Delta V$$

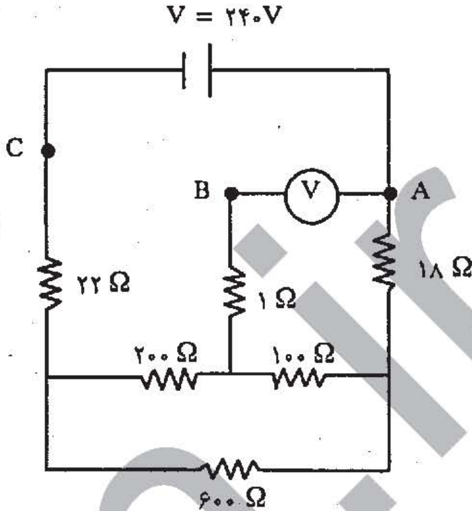
$$\frac{W_2}{W_1} = -2$$

در این حالت نیز عامل خارجی که فاصلهٔ صفحات را زیادتر می‌کند، باید کار انجام دهد که با حالت قبل یکسان است. اما در این حالت این کار به اضافهٔ مقداری از انرژی خازن که کمتر می‌شود، مجموعاً به باتری برگردانده می‌شود که همان W_2 است.

۹ ـ مقاومتهای درون جعبه در شکل (۴ ـ ۱۹) نشان داده شده است. در بهترین حالت، مقاومت درونی ولتمتر،بسیار زیاد است و در نتیجه می‌توان آن را بی‌نهایت فرض کرد. در این صورت جریانی که از ولتمتر می‌گذرد بسیار ناچیز است و می‌توان آن را صفر فرض کرد. بنابراین از مقاومت $1\,\Omega$ جریانی نمی‌گذرد. بر این اساس دو نقطهٔ B و D اختلاف پتانسیلی ندارند و به جای اختلاف پتانسیل دو نقطهٔ A و B، می‌توان اختلاف پتانسیل دو نقطهٔ A و D را محاسبه کرد.



شکل (۴ – ۲۰)



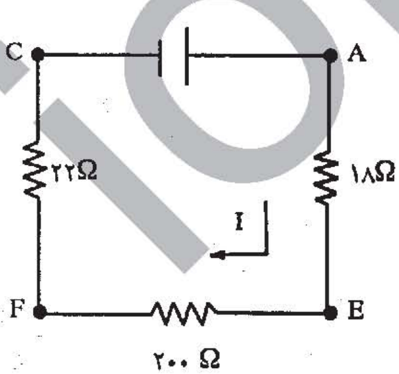
شکل (۴ ـ ۱۹)

مدار معادل در شکل (۴ ـ ۲۰) نشان داده شده است. معادل دو مقاومت ۱۰۰ و ۲۰۰ اهمی که به‌طور متوالی بسته شده‌اند، ۳۰۰ اهم است. این مقاومت با مقاومت ۶۰۰ اهمی به طور موازی بسته شده است و معادل آنها چنین است.

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{600} + \frac{1}{300} \longrightarrow R = 200\ \Omega$$

مدار معادل با این مقاومتها در شکل (۴ ـ ۲۱) رسم شده است. جریانی که از مدار می‌گذرد چنین است.

$$I = \frac{V}{\Sigma R} = \frac{240}{22 + 200 + 18} = 1\ A$$



شکل (۴ ـ ۲۱)

برای اختلاف پتانسیل دو نقطهٔ E و F از شکل (۴ ـ ۲۱) داریم:

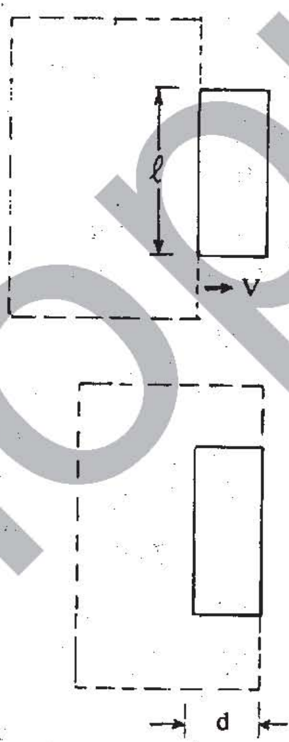
$$V_{EF} = 200 \times 1 = 200\ V$$

۱۰ – در شکل (۴ ـ ۲۲) موقعیت قطبهای آهنربا هنگامی که قاب فلزی وارد میدان مغناطیسی می‌شود، نشان داده شده است. از هنگامی که کنارهٔ راست قاب به لبهٔ چپ میدان مغناطیسی می‌رسد، تا زمانی که کناره راست قاب از لبهٔ راست میدان مغناطیسی می‌گذرد، شار مغناطیسی که از سطح قاب عبور می‌کند، در حال افزایش است. این زمان از رابطهٔ زیر به دست می‌آید

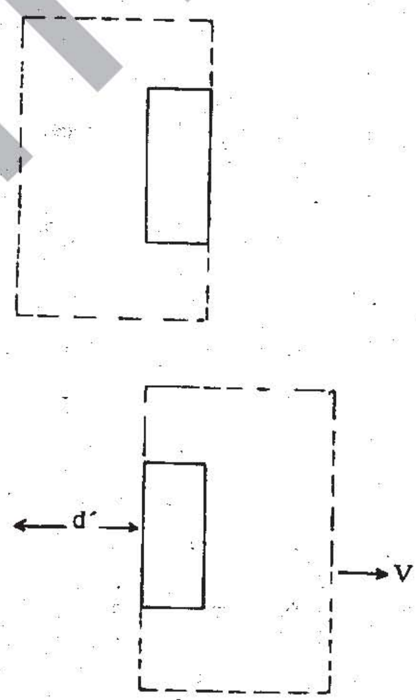
$$t_1 = \frac{d}{V} = \frac{۰/۰۳}{۳۰} = ۱۰^{-۳}\ s$$

در این مدت نیروی محرکهٔ القایی چنین است:

$$E_1 = B\,L\,V = ۰/۵ \times ۰/۱ \times ۳۰ = ۱/۵\ V$$



شکل (۴ ـ ۲۲)

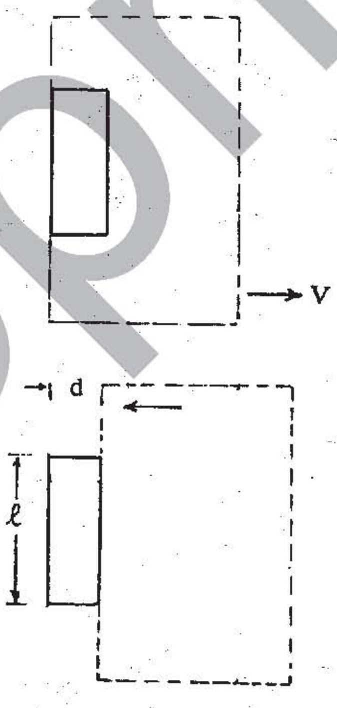


شکل (۴ ـ ۲۳)

در شکل (۴ ـ ۲۳) موقعیت آهنربا هنگامی که تمام مساحت میدان مغناطیسی توسط قاب پوشیده شده است، نشان داده شده است. از هنگامی که کنارهٔ راست قاب از لبهٔ سمت راست میدان مغناطیسی می‌گذرد، تا زمانی که کنارهٔ چپ قاب به لبهٔ چپ میدان می‌رسد، شار مغناطیسی که از سطح قاب می‌گذرد ثابت است و بنابراین در این مدت نیروی محرکهٔ القایی صفر است. این مدت با توجه به شکل (۴ ـ ۲۳) از رابطهٔ زیر به دست می‌آید.

$$t_{۲} = \frac{d'}{V} = \frac{۰/۰۶}{۳۰} = ۲ \times ۱۰^{-۳}\ s$$

در شکل (۴ ـ ۲۴) موقعیت قطبهای آهنربا هنگامی که قاب از میدان مغناطیسی بیرون می‌رود، نشان داده شده است. از هنگامی که کنارهٔ سمت چپ قاب به لبهٔ سمت چپ میدان مغناطیسی می‌رسد، تا زمانی که کنارهٔ سمت چپ قاب، به لبهٔ سمت راست میدان مغناطیسی می‌رسد، شار مغناطیسی که از سطح قاب می‌گذرد، در حال کاهش است. این زمان با توجه به شکل (۴ ـ ۲۴) از رابطهٔ زیر به دست می‌آید:



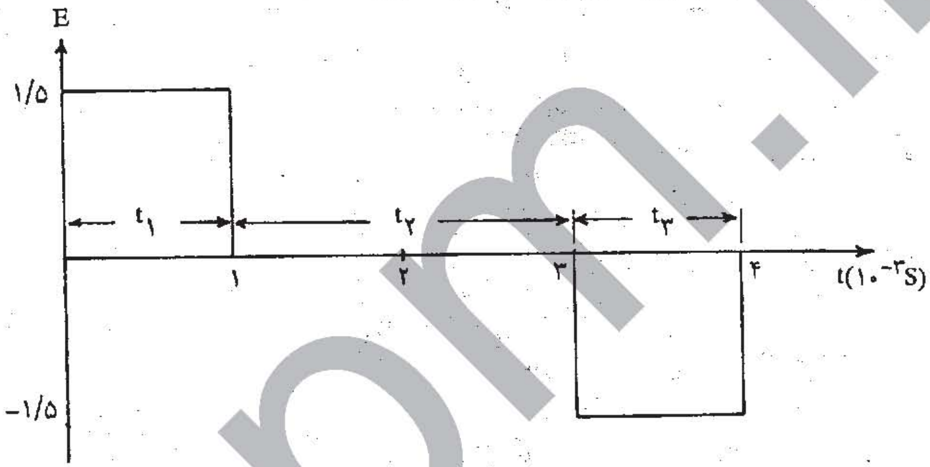
شکل (۴ ـ ۲۴)

$$t_۳ = \frac{d}{V} = \frac{۰/۰۳}{۳۰} = ۱۰^{-۳} s$$

در این مدت نیروی محرکهٔ القایی چنین است.

$$E_۲ = B\,L\,V = ۰/۵ \times ۰/۱ \times ۳۰ = ۱/۵$$

آشکار است که نیروی محرکهٔ $E_۱$ که با افزایش شار مغناطیسی از سطح قاب به وجود می‌آید، در خلاف جهت نیروی محرکهٔ القایی $E_۲$ است که در اثر کاهش شار مغناطیسی به وجود می‌آید. نمودار تغییرات نیروی محرکه در شکل (۴ ـ ۲۵) نشان داده شده است.



شکل (۴ ـ ۲۵)