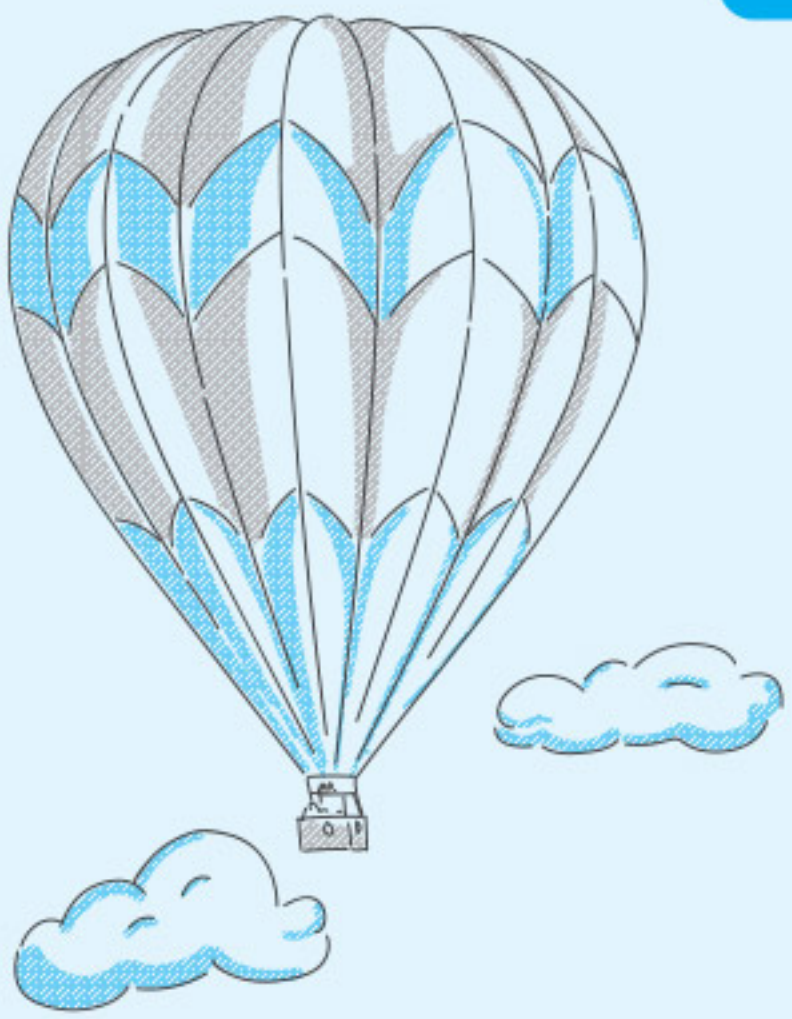
فصل ۲



# ویژگی‌های فیزیکی مواد

## ایستگاه‌های آموزشی

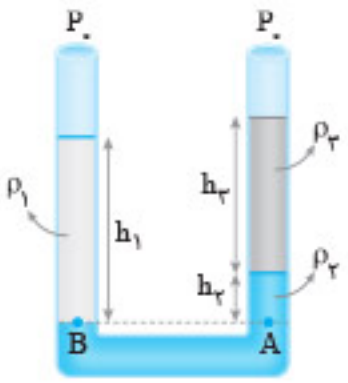

۱. حالت‌های ماده ۱۴تست
۲. نیروهای بین مولکولی ۲۱تست
۳. فشار جسم جامد ۱۰تست
۴. فشار در شاره‌ها ۴۰تست
۵. فشار هوا ۸تست
۶. تعادل مایع‌های مخلوط‌نشدنی در لوله‌های U شکل ۳۲تست
۷. فشارسنج شاره‌ها (مانومتر) ۲۷تست
۸. شناوری ۹تست
۹. شاره در حرکت و اصل برنولی ۲۲تست


## آزمون‌ها


آزمون مبحثی ۱ ۱۰تست
آزمون مبحثی ۲ ۱۰تست
آزمون پایانی فصل ۲۰تست
هایپرتست ۲۰تست

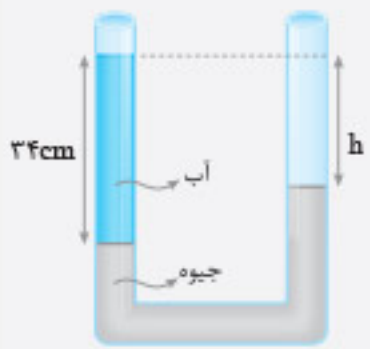

**مشاوره:** این فصل از دو قسمت تشکیل شده است: ۱) دربارهٔ حالت‌های ماده، نیروهای بین مولکولی و ویژگی‌های آن‌ها است. بیشتر تست‌های مطرح شده در این قسمت از مفاهیم و شکل‌های آن‌هاهستند. ۲) مفهوم فشار و کاربردهای آن، شناوری و اصل برنولی. برای درک بهتر این قسمت باید مفاهیم نقاط هم‌فشار به خوبی درک شود و تست‌های متنوعی حل شود.

# ایستگاه ۶: تعادل مایع‌های مخلوط نشدنی در لوله‌های U شکل




اگر یک یا چند مایع را در لوله‌های U شکل بریزیم و به تعادل برسند، می‌توانیم فشار نقاط هم‌تراز در یک مایع را برابر یکدیگر در نظر بگیریم. مثلاً در شکل مقابل سه مایع در حال تعادلند و می‌توان فشار دو نقطهٔ A و B را که در یک مایع $\rho_2$ و در یک تراز افقی‌اند، مساوی یکدیگر قرار داد و نوشت:

$$P_B = P_A \Rightarrow \rho_1 g h_1 + P_0 = \rho_2 g h_2 + \rho_3 g h_3 + P_0 \Rightarrow \rho_1 h_1 = \rho_2 h_2 + \rho_3 h_3$$

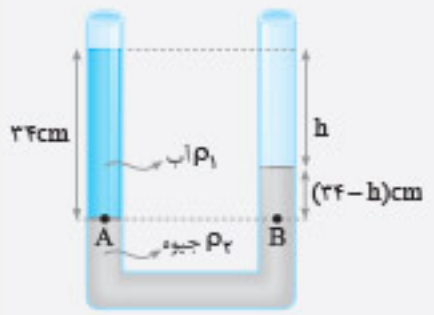



**تست:** **مطابق شکل درون لولهٔ U شکل، آب و جیوه به حال تعادل قرار دارند. h چند سانتی‌متر است؟** $(\rho_{آب} = 1\,g/cm^3 ,\ \rho_{جیوه} = 13/6\,g/cm^3)$ (ریاضی خارج ۹۲)

۱) ۲۷/۵
۲) ۲۹
۳) ۳۰
۴) ۳۱/۵

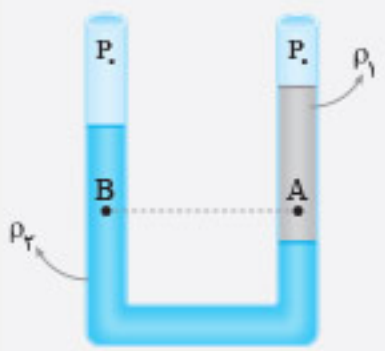
**پاسخ:** گزینهٔ «۴»

فشار در دو نقطهٔ A و B یکسان است و می‌توان نوشت:




$$P_A = P_B \Rightarrow \rho_1 g h_1 + P_0 = \rho_2 g h_2 + P_0$$
$$\Rightarrow \rho_1 h_1 = \rho_2 h_2 \Rightarrow 1 \times 34 = 13/6(34 - h)$$
$$\Rightarrow 2/5 = 34 - h \Rightarrow h = 31/5\,cm$$

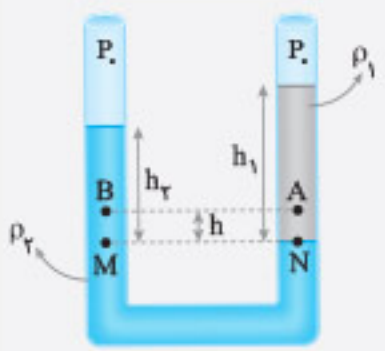
**تذکر:** اگر دو نقطه در شاخه‌های لولهٔ U شکل هم‌تراز باشند اما در یک مایع نباشند، فشار در این دو نقطه الزاماً یکسان نیست.




**تست:** **در شکل مقابل، درون لولهٔ U شکل دو مایع مخلوط نشدنی با چگالی‌های $\rho_1$ و $\rho_2$ ریخته شده و فشار در نقاط A و B درون دو مایع به‌ترتیب $P_A$ و $P_B$ است. کدام گزینه درست است؟** (تجربی خارج ۹۵)

۱) $P_B < P_A ,\ \rho_2 > \rho_1$
۲) $P_B > P_A ,\ \rho_2 > \rho_1$
۳) $P_B < P_A ,\ \rho_2 < \rho_1$
۴) $P_B > P_A ,\ \rho_2 < \rho_1$

**پاسخ:** گزینهٔ «۱»




• **روش اول** **گام اول** دقت کنید که دو نقطهٔ A و B در یک مایع قرار ندارند، اما دو نقطهٔ N و M که در یک مایع و هم‌ترازند را درنظر می‌گیریم. فشار این دو نقطه یکسان است و برای کل ارتفاع دو مایع می‌توان نوشت:

$$P_M = P_N \Rightarrow \rho_2 h_2 = \rho_1 h_1 \xrightarrow{h_1 > h_2} \rho_2 > \rho_1$$

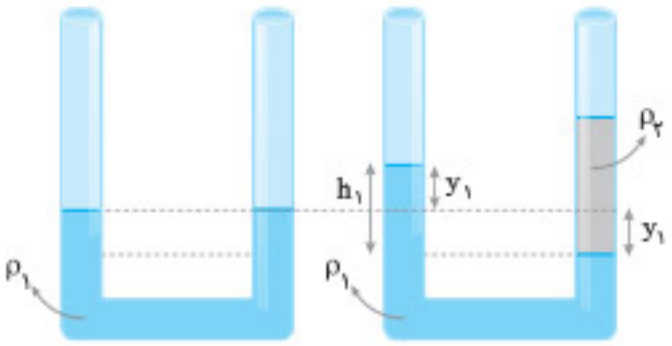
یعنی مایعی که چگالی بیشتری دارد، پایین‌تر قرار می‌گیرد.

**گام دوم** اکنون دوباره فشار M و N را برابر می‌گیریم و به‌صورت زیر می‌نویسیم:

$$P_M = P_N \Rightarrow \rho_2 g h + P_B = \rho_1 g h + P_A \Rightarrow P_A - P_B = (\rho_2 - \rho_1) g h \xrightarrow{\rho_2 > \rho_1} P_B < P_A$$

: **روش دوم** اگر از M تا B بالا رویم فشار به اندازهٔ $\rho_2 gh$ کم می‌شود و اگر از N تا A بالا رویم فشار به اندازهٔ $\rho_1 gh$ کم می‌شود. چون $\rho_2 > \rho_1$ است پس کاهش فشار از M تا B بیشتر از کاهش فشار از N تا A است؛ بنابراین فشار B کمتر از فشار A است.

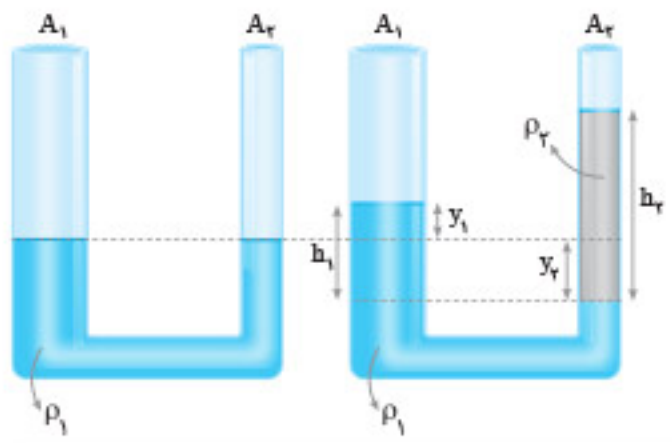
**توجه:** اگر در لولهٔ U شکل مایعی با چگالی $\rho_1$ در حال تعادل باشد، در صورتی که مایعی با چگالی $\rho_2$ (به شرطی که $\rho_2 > \rho_1$ باشد) در یکی از لوله‌ها بریزیم، یا هر کار دیگری که سطح مایع $\rho_1$ در دو لوله جابه‌جا شود، می‌توان گفت که حجم مایع جابه‌جا شده در دو لوله یکسان است $(V_1 = V_2)$ و برای محاسبهٔ مقدار جابه‌جایی مایع $\rho_1$ در هر لوله می‌توان دو حالت زیر را در نظر گرفت:




• **حالت اول** مساحت مقطع دو شاخه یکسان باشد:

در این حالت اگر سطح مایع $\rho_1$ در یک شاخه به اندازهٔ $y_1$ پایین رود، سطح مایع $\rho_1$ در شاخهٔ دیگر به همان اندازهٔ $y_1$ بالا می‌رود.

**تذکر:** اختلاف سطح مایع $\rho_1$ در دو لوله به اندازهٔ $2y_1$ می‌شود. $h_1 = 2y_1$




• **حالت دوم** مساحت مقطع دو شاخه متفاوت باشد:

با توجه به شکل می‌توان نوشت:

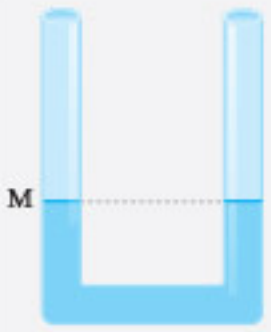
$$\overbrace{V_1 = V_2}^{\text{حجم مایع جابه‌جا شده}} \Rightarrow A_1y_1 = A_2y_2 \xrightarrow{A_1 \neq A_2} y_2 = \frac{A_1}{A_2} \times y_1$$

اگر اختلاف سطح مایع $\rho_1$ در دو شاخه را $h_1$ بنامیم، داریم:

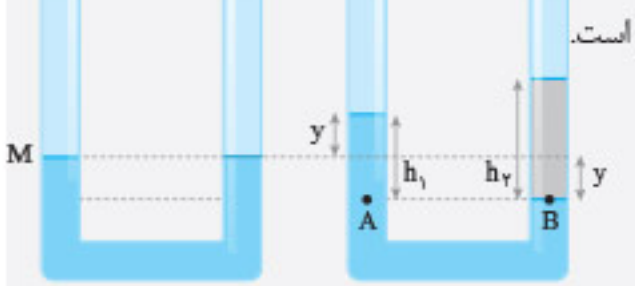
$$h_1 = y_1 + y_2 \Rightarrow h_1 = y_1 + \frac{A_1y_1}{A_2}$$

**تست:** **در شکل مقابل، در لولهٔ U شکل آب ریخته شده و نقطهٔ M روی لوله نشانه‌گذاری شده است. اگر در قسمت راست لوله، روی آب به ارتفاع 5cm نفت بریزیم، در لولهٔ سمت چپ، سطح آب چند سانتی‌متر از نقطهٔ M بالاتر می‌رود؟ (سطح مقطع لولهٔ راست و چپ برابر است، $\rho_{آب} = 1g/cm^3$ و $\rho_{نفت} = 0/8g/cm^3$)** (ریاضی ۹۱)

۱) ۱
۲) ۲
۳) ۲/۵
۴) ۴




پاسخ: گزینهٔ «۲»




با توجه به این‌که سطح مقطع در دو لوله یکسان است، ارتفاع آب جابه‌جا شده در دو شاخه یکسان است.

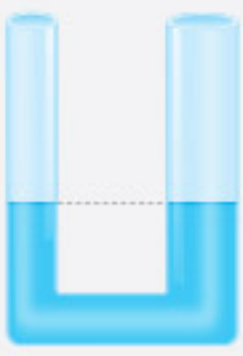
$$y_1 = y_2 = y \quad , \quad h_1 = 2y \quad , \quad h_2 = 5cm$$

با توجه به این‌که $P_A = P_B$ است می‌توان نوشت: $\rho_1gh_1 + P_0 = \rho_2gh_2 + P_0$

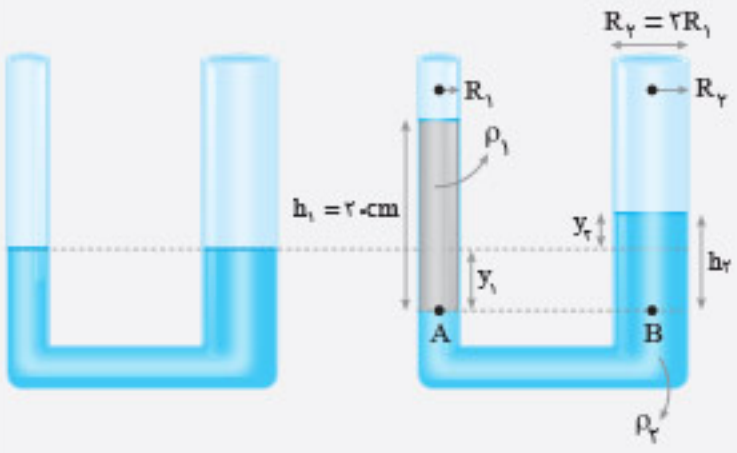
$$\rho_1h_1 = \rho_2h_2 \Rightarrow 1 \times 2y = 0/8 \times 5 \Rightarrow y = 2cm$$

**مطابق شکل مقداری جیوه در لولهٔ U شکل ریخته شده است. اگر به ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر از مایعی به چگالی $3/4g/cm^3$ در شاخهٔ باریک‌تر بریزیم، سطح جیوه در شاخهٔ پهن‌تر نسبت به حالت اول چند سانتی‌متر جابه‌جا می‌شود؟ ($\rho = 13/6g/cm^3$ و قطر شاخهٔ پهن‌تر ۲ برابر قطر شاخهٔ باریک‌تر است.)**

۱) ۴
۲) ۵
۳) ۳
۴) ۱



پاسخ: گزینهٔ «۴»




با توجه به شکل $h_1 = 20cm$، ارتفاع ستون مایع و $h_2$، ارتفاع ستون جیوه و $y_1$ ارتفاعی است که سطح جیوه در شاخهٔ باریک‌تر پایین می‌رود و $y_2$ ارتفاعی است که سطح جیوه در شاخهٔ پهن‌تر بالا می‌رود.

می‌دانیم حجم مایع جابه‌جا شده در دو شاخه برابر است و داریم:

حجم مایع جابه‌جا شده: $V_1 = V_2 \Rightarrow A_1y_1 = A_2y_2$

$$\xrightarrow{A=\pi R^2} \pi R_1^2 \times y_1 = \pi R_2^2 \times y_2$$

$$\xrightarrow{R_2=2R_1} R_1^2y_1 = 4R_1^2 \times y_2 \Rightarrow y_1 = 4y_2 \Rightarrow h_2 = y_1 + y_2 = 5y_2$$

اکنون فشار دو نقطهٔ A و B را برابر می‌گیریم تا $y_2$ را حساب کنیم:

$$\rho_2h_2 = \rho_1h_1 \Rightarrow 13/6 \times 5y_2 = 3/4 \times 20 \Rightarrow y_2 = 1cm, y_1 = 4cm$$

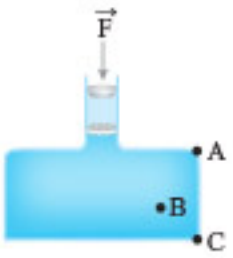
بنابراین شاخهٔ پهن‌تر 1cm جابه‌جا می‌شود.

## اصل پاسکال

**تذکر:** این قسمت به‌طور مستقیم در کتاب درسی مطرح نشده، اما چون در دورهٔ اول دبیرستان به آن اشاره شده و می‌توان از مفاهیم درسی نیز آن را نتیجه گرفت، اصل پاسکال را در این قسمت مطرح کرده‌ایم.

اگر به یک نقطه از مایعی محصور، تراکم ناپذیر و ساکن فشاری وارد شود، این فشار به تمام نقاط دیگر مایع نیز وارد می‌شود.

در شکل ابتدا ظرف پر از مایع است. اگر به پیستون (جرم پیستون ناچیز) نیروی $F$ وارد شود $(P=\frac{F}{A})$ باعث می‌شود فشاری به مایع محصور وارد شود؛ در نتیجه داریم:




- **حالت اول**

$$P_{1_A}, P_{1_B}, P_{1_C}$$

- **حالت دوم**

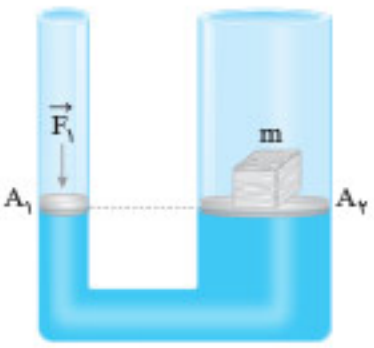
$$P_{2_A}=P_{1_A}+P \quad , \quad P_{2_B}=P_{1_B}+P \quad , \quad P_{2_C}=P_{1_C}+P \quad , \quad P=\frac{F}{A}$$ فشار اضافه‌شده

می‌توان نتیجه گرفت:

$$\Delta P_A=\Delta P_B=\Delta P_C=P=\frac{F}{A}$$

## کاربرد اصل پاسکال

اصل پاسکال در بالابر هیدرولیکی، ترمز ماشین و پرس هیدرولیکی کاربرد دارد. در شکل اگر نیروی $F_1$ به پیستون $A_1$ وارد شود و جسمی به جرم $m$ روی پیستون $A_2$ باشد، در صورتی که پیستون‌ها در یک سطح قرار داشته و در حال تعادل باشند، داریم:




$m_1$: جرم پیستون $A_1$ , $m_2$: جرم پیستون $A_2$

$$A_2=\pi R_2^2 \, , \, A_1=\pi R_1^2$$

$$P_1=P_2 \Rightarrow \boxed{\frac{F_1+m_1g}{A_1}=\frac{mg+m_2g}{A_2}}$$

**توجه:** اگر جرم پیستون‌ها ناچیز فرض شود در این صورت می‌توان نوشت:

$$\frac{F_1}{A_1}=\frac{mg}{A_2}$$

**تست: در یک بالابر هیدرولیکی قطر پیستون بزرگ ۵ برابر قطر پیستون کوچک است. اگر جرم پیستون کوچک و بزرگ به‌ترتیب ۲/۵kg و ۱۰kg باشد و وزنه ۱۰۰kg روی پیستون بزرگ قرار داشته باشد، اندازهٔ نیروی F که به پیستون کوچک وارد می‌شود چند نیوتون باشد تا دو پیستون هم تراز در حال تعادل باشند؟ $(g=10N/kg)$**

۱) ۴۰ ۲) ۱۹ ۳) ۴۴ ۴) ۲۹

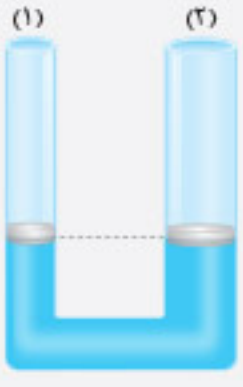
**پاسخ:** گزینهٔ «۲»

با توجه به اینکه دو پیستون هم‌تراز هستند، طبق اصل پاسکال می‌توان نوشت:

$$A=\pi R^2 \Rightarrow \frac{A_2}{A_1}=(\frac{R_2}{R_1})^2=(\frac{5R_1}{R_1})^2=25 \Rightarrow A_2=25A_1$$

$$\frac{F+m_1g}{A_1}=\frac{m_2g+mg}{A_2} \Rightarrow \frac{F+25}{A_1}=\frac{1000+100}{25A_1} \Rightarrow F+25=40+4 \Rightarrow F=44-25=19N$$

**در شکل روبه‌رو ارتفاع مایع در هر دو ظرف یکسان است و پیستون‌های (۱) و (۲) بدون اصطکاک‌اند. اگر روی هر پیستون، وزنه‌ای به جرم $m$ قرار دهیم، بعد از برقراری تعادل** (ریاضی خارج ۹۳)




۱) ارتفاع مایع در هر دو لوله یکسان می‌ماند.

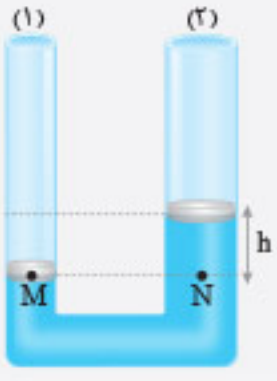
۲) ارتفاع مایع در لولهٔ (۲) بیشتر خواهد شد.

۳) ارتفاع مایع در لولهٔ (۱) بیشتر خواهد شد.

۴) بسته به چگالی مایع، گزینه‌های «۲» یا «۳» ممکن است درست باشند.

**پاسخ:** گزینهٔ «۲»

با توجه به رابطهٔ فشار داریم:




$$P=\frac{F}{A} \Rightarrow P_1=\frac{mg}{A_1} \, , \, P_2=\frac{mg}{A_2}$$

$$P_2<P_1$$

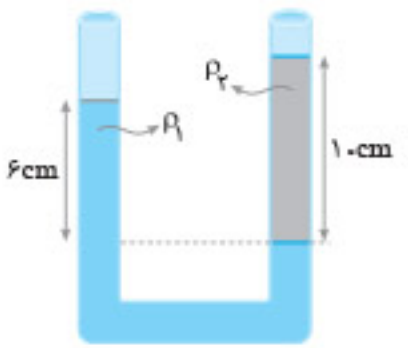
$$P_M=P_N+\rho gh$$

$A_2>A_1$ است؛ پس می‌توان گفت:

یعنی باید ارتفاع مایع در لولهٔ (۲) بالا رود

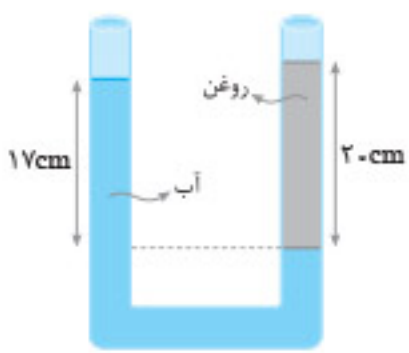
# پرسش‌های چهارگزینه‌ای

۲۵۱. در شکل مقابل، دو مایع مخلوط‌نشدنی در لولهٔ U شکل در حال تعادل هستند. اگر $\rho_2 = 1000\ kg/m^3$ باشد، $\rho_1$ چند کیلوگرم بر متر مکعب است؟ $(g = 10\ m/s^2)$



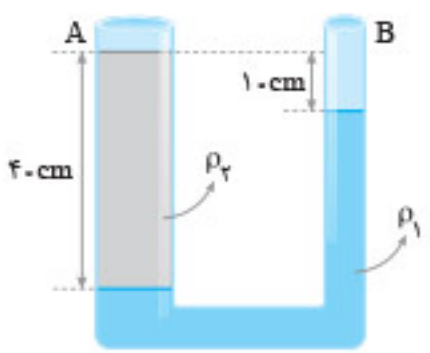

۱) ۶۰۰
۲) ۵۰۰۰
۳) $\frac{5000}{3}$
۴) $\frac{10000}{3}$

۲۵۲. مطابق شکل، آب و روغن در یک لولهٔ U شکل به حالت تعادل قرار دارند. چگالی روغن ..... درصد از چگالی آب ..... است. (تجربی ۸۶ با تغییر)



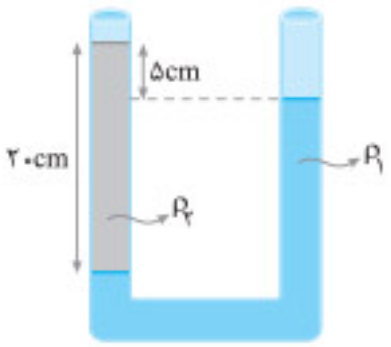

۱) ۱۵، بیشتر
۲) ۱۵، کمتر
۳) ۸۵، کمتر
۴) ۸۵، بیشتر

۲۵۳. در شکل مقابل، قطر لولهٔ A دو برابر قطر لولهٔ B است. $\frac{\rho_1}{\rho_2}$ کدام است؟



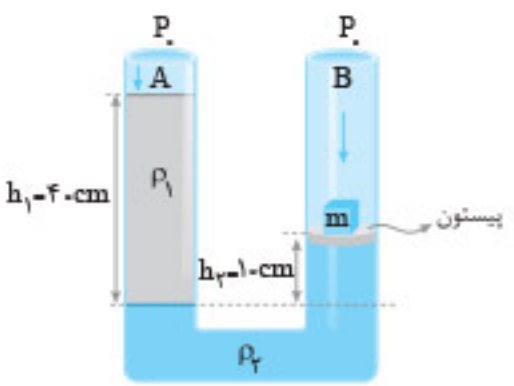

۱) ۲
۲) $\frac{3}{4}$
۳) $\frac{1}{2}$
۴) $\frac{4}{3}$

۲۵۴. در داخل لولهٔ U شکل مقابل، دو مایع به چگالی $\rho_1$ و $\rho_2$ ریخته‌ایم. نسبت $\frac{\rho_2}{\rho_1}$ کدام است؟



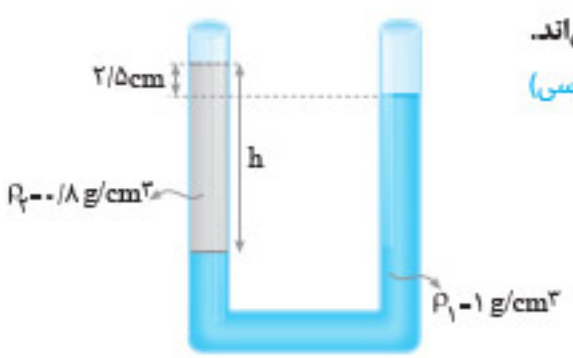

۱) $\frac{5}{4}$
۲) $\frac{3}{4}$
۳) $\frac{1}{2}$
۴) $\frac{1}{4}$

۲۵۵. در شکل مقابل، سطح مقطع شاخهٔ B برابر با $10\ cm^2$، $\rho_1 = 0/8\ g/cm^3$ و $\rho_2 = 1\ g/cm^3$ است. اگر مجموعه درحال تعادل باشد، مجموع جرم وزنهٔ m و جرم پیستون چند کیلوگرم است؟ $(g = 10\ m/s^2)$



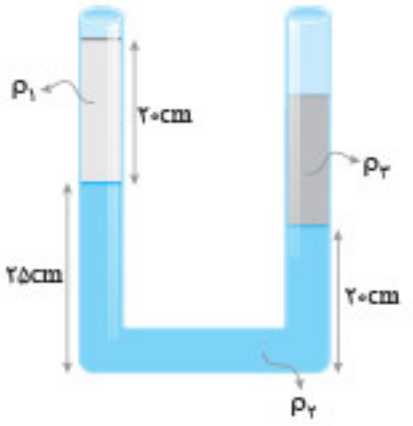

۱) ۴/۲
۲) ۰/۴۲
۳) ۲/۲
۴) ۰/۲۲

۲۵۶. دو مایع مخلوط‌نشدنی با چگالی‌های $\rho_1 = 1\ g/cm^3$ و $\rho_2 = 0/8\ g/cm^3$ مطابق شکل در حال تعادل‌اند. h چند سانتی‌متر است؟ (برگرفته از کتاب درسی)



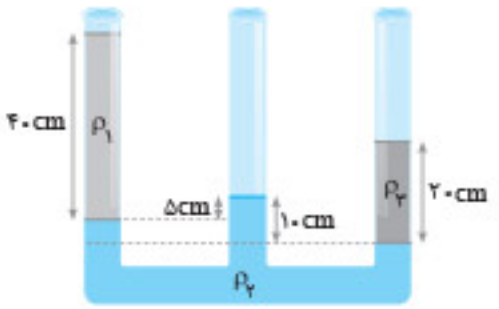

۱) ۸
۲) ۱۰
۳) ۱۲/۵
۴) ۷

**۲۵۷.** در شکل مقابل، سه مایع مخلوط نشدنی به چگالی‌های $\rho_1 = 0/8\,g/cm^3$، $\rho_2 = 2/4\,g/cm^3$ و مایع سوم با چگالی $\rho_3$ به حالت تعادل قرار دارند. اگر سطح مقطع لوله $2cm^2$ باشد، جرم مایع سوم چند گرم است؟ (تجربی خارج ۱۴۰۰)



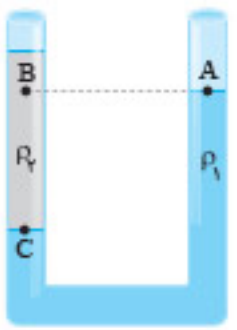

۱) ۵۶
۲) ۴۸
۳) ۴۲
۴) ۳۵

**۲۵۸.** در شکل مقابل، سه مایع مخلوط‌نشدنی در ظرف در حال تعادل‌اند. $\frac{\rho_3}{\rho_1}$ کدام است؟



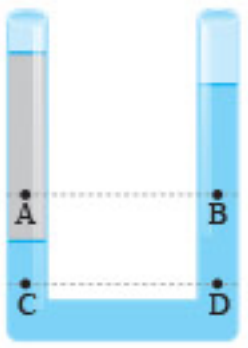

۱) ۲
۲) $\frac{1}{2}$
۳) ۴
۴) $\frac{1}{4}$

**۲۵۹.** در شکل مقابل، دو مایع مخلوط‌نشدنی با چگالی‌های $\rho_1$ و $\rho_2$ در ظرف قرار دارند. اگر فشار در نقاط نشان‌داده‌شده $P_A$، $P_B$ و $P_C$ باشد، کدام رابطه درست است؟



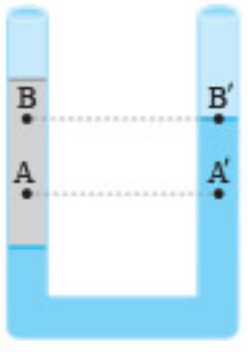

۱) $P_C = P_A > P_B$
۲) $P_C > P_A > P_B$
۳) $P_C > P_B = P_A$
۴) $P_C > P_B > P_A$

**۲۶۰.** در شکل مقابل، درون لوله دو مایع مخلوط‌نشدنی قرار دارند. اگر فشار در نقاط نشان‌دادهشدهٔ درون مایع‌ها را با هم مقایسه کنیم، کدام رابطه درست است؟ (تجربی ۹۵)



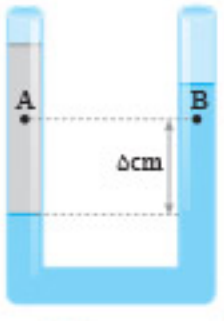

۱) $P_C < P_D\,,\ P_A = P_B$
۲) $P_C < P_D\,,\ P_A < P_B$
۳) $P_C = P_D\,,\ P_A = P_B$
۴) $P_C = P_D\,,\ P_A > P_B$

**۲۶۱.** مطابق شکل، دو مایع مخلوط‌نشدنی آب و نفت در یک لولهٔ U شکل در حال تعادل‌اند. اگر اختلاف فشار بین دو نقطهٔ A و $A'$ را با $\Delta P_1$ و اختلاف فشار بین دو نقطهٔ B و $B'$ را با $\Delta P_2$ نمایش دهیم، کدام‌یک از گزینه‌های زیر درست است؟ (ریاضی خارج ۹۰)



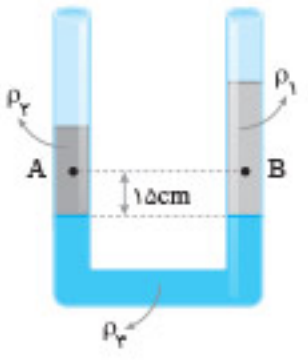

۱) $\Delta P_1 < \Delta P_2$
۲) $\Delta P_1 = \Delta P_2 \neq 0$
۳) $\Delta P_1 = \Delta P_2 = 0$
۴) $\Delta P_1 > \Delta P_2$

**۲۶۲.** در شکل مقابل، دو مایع مخلوط‌نشدنی به چگالی‌های $800\,kg/m^3$ و $1000\,kg/m^3$ در یک لولهٔ U شکل قرار دارند. اگر فشار در نقطه‌های A و B به ترتیب $P_A$ و $P_B$ باشد، کدام رابطه در SI برقرار است؟ $(g = 10\,m/s^2)$ (تجربی خارج ۹۴)



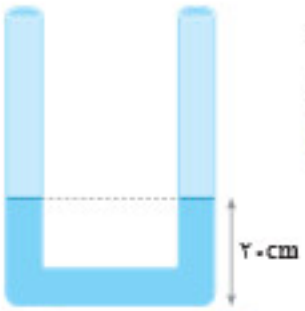

۱) $P_A = P_B$
۲) $P_A = \frac{4}{5}P_B$
۳) $P_A = P_B - 100$
۴) $P_A = P_B + 100$

**۲۶۳.** مطابق شکل، سه مایع درون لولهٔ U شکل در حال تعادل‌اند. اختلاف فشار بین دو نقطهٔ A و B $(P_B - P_A)$ چند پاسکال است؟ $(\rho_2 = 3/4\,g/cm^3\,,\ \rho_1 = 2/8\,g/cm^3$ و $g = 10\,m/s^2)$



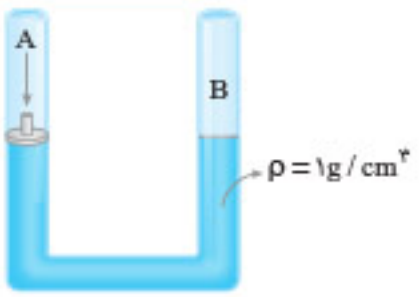

۱) $-900$
۲) $-450$
۳) $900$
۴) $450$

## جابه‌جایی مایع در لولهٔ U شکل




**۲۶۴.** در شکل مقابل، ارتفاع آب در هر شاخهٔ لوله، برابر با ۲۰cm است. درون یکی از شاخه‌ها به آرامی روغن می‌ریزیم تا طول ستون روغن ۲۵cm شود. در حالت تعادل، ارتفاع آب در شـــاخهٔ مقابل چند سانتی‌متر خواهد شد؟ (چگالی آب و روغن به‌ترتیب $1g/cm^3$ و $0/6g/cm^3$ است.) (تجربی خارج ۹۰)

۱) ۲۵
۲) ۲۷/۵
۳) ۳۵
۴) ۳۷/۵

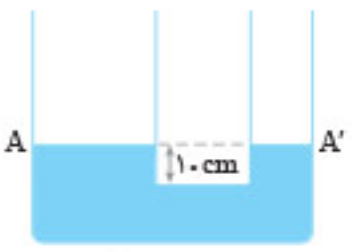



**۲۶۵.** در شکل مقابل جرم پیستون ناچیز و مایع در دو شاخهٔ لولهٔ U شکل در تعادل و قطر مقطع هر شاخه 2cm اســـت. اگر در شاخهٔ A بر پیستون نیروی F وارد کنیم و مقدار آن را تا 0/314N زیاد کنیم، پیستون چند سانتی متر پایین می‌رود؟

۱) ۲/۵
۲) ۵
۳) ۷/۵
۴) ۱۰

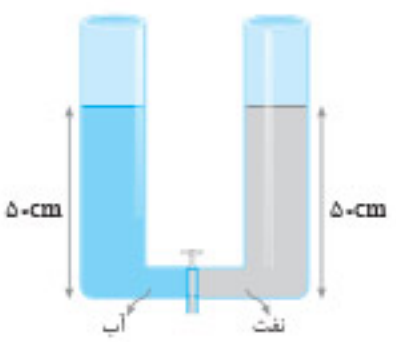
**۲۶۶.** در یک لولهٔ U شکل، تا ارتفاع معینی جیوه وجود دارد. اگر در یکی از شاخه‌ها روی جیوه آب بریزیم تا ستون آب به 21/6cm برسد، سطح جیوه در شاخهٔ مقابل نسبت به وضعیت اولیه چند سانتی‌متر بالا می‌رود؟ (سطح مقطع لوله یکسان و چگالی آب و جیوه به‌ترتیب $1g/cm^3$ و $13/5g/cm^3$ است.) (تجربی ۹۰)

۱) ۰/۸
۲) ۱/۶
۳) ۰/۴
۴) ۳/۲



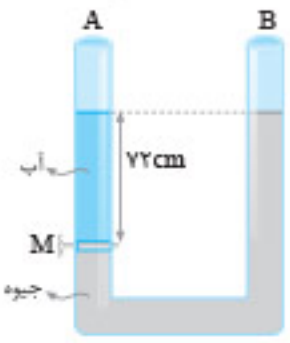

**۲۶۷.** در دو لولهٔ استوانه‌ای مرتبط به هم تا سطح $AA'$ آب وجود دارد و قطر قاعدهٔ یکی از استوانه‌ها ۳ برابر قطر قاعدهٔ استوانهٔ دیگر است. اگر از لولهٔ سمت چپ تا ارتفاع ۵ سانتی‌متر نفت اضافه کنیم، آب در لولهٔ باریک چند سانتی‌متر نسبت به حالت اول بالا می‌رود؟ ($\rho_{آب}=1g/cm^3$ ، $g=10m/s^2$ و $\rho_{نفت}=0/8g/cm^3$) (تجربی ۹۸)

۱) ۱/۲
۲) ۳/۶
۳) ۴
۴) ۵



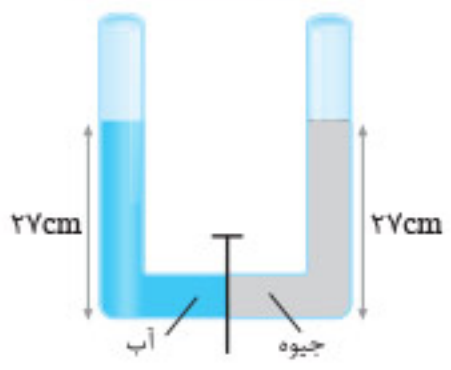

**۲۶۸.** در شـــکل روبه‌رو، قطر قاعدهٔ دو استوانه برابر است. اگر شیر ارتباط بین دو ظرف را باز کنیم سطح آب چند سانتی‌متر پایین می‌آید؟ ($\rho_{آب}=1000kg/m^3$ ، $\rho_{نفت}=800kg/m^3$) (ریاضی ۹۵)

۱) ۱۰
۲) ۵
۳) ۴
۴) ۲/۵



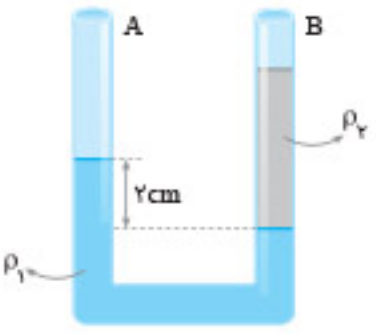

**۲۶۹.** در شکل روبه‌رو، در شاخهٔ A شیر M بسته است و سطح آزاد جیوه و آب در دو شاخه یکسان است. اگر شیر را باز کنیم، پس از تعادل، سطح جیوه در شاخهٔ A چند سانتی‌متر جابه‌جا می‌شود؟ ($\rho_{آب}=1g/cm^3$ ، $\rho_{جیوه}=13/6g/cm^3$)

۱) ۶۶/۷
۲) ۳۳/۳
۳) ۲۶
۴) ۴۶




**۲۷۰.** دو ظرف استوانه‌ای مشابه به‌وسیلهٔ لولهٔ بسیار باریک با حجم ناچیز به یکدیگر مرتبط‌اند و مطابق شکل، در یک استوانه آب و در دیگری جیوه قرار دارد. اگر شیر ارتباطی بین دو ظرف را باز کنیم، سطح جیوه در لوله چند سانتی‌متر پایین می‌آید؟ ($\rho_{آب}=1g/cm^3$ ، $\rho_{جیوه}=13/5g/cm^3$) (تجربی خارج ۹۸)

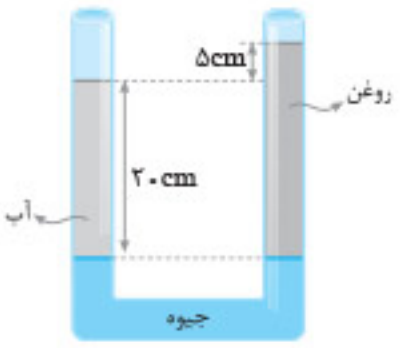
۱) ۲
۲) ۵
۳) ۱۲/۵
۴) ۲۵




**۲۷۱.** در شکل روبه‌رو، مایع‌ها در حال تعادل‌اند. اگر نیمی از جرم مایع $\rho_2$ را از لوله خارج کنیم، سطح مایع $\rho_1$ در شاخهٔ B چند سانتی‌متر جابه‌جا می‌شود؟

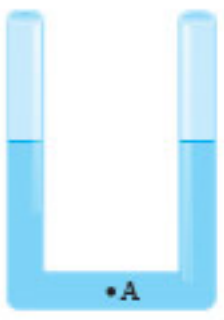
۱) ۲
۲) ۱
۳) ۰/۵
۴) صفر

**۲۷۲.** در شـــکل روبه‌رو، دو سطح جیوه در یک تراز قرار دارند و سیستم به حالت تعادل است. تقریباً چند سانتی‌متر به ارتفاع ســـتون آب اضافه کنیم تا ســـطح آزاد آب و روغن در یک تراز قرار گیرند؟ ($\rho_{جیوه} = ۱۳/۶ g/cm^۳$ ، $\rho_{آب} = ۱ g/cm^۳$) (تجربی خارج ۸۹)



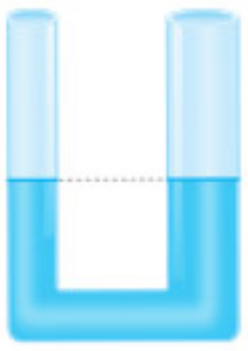

۱) ۴/۵
۲) ۴/۹
۳) ۵/۴
۴) ۹/۴

**۲۷۳.** در شـــکل مقابل، سطح مقطع لوله در هر طرف برابر $۲cm^۲$ است و در لوله، جیوه ریخته شده است. اگر در یکی از شاخه‌ها روی جیوه ۶۸g آب بریزیم فشار در نقطهٔ A چند ســـانتی‌متر جیوه افزایش می‌یابد؟ (چگالی جیوه و آب به ترتیب $۱۳/۶ g/cm^۳$ و $۱ g/cm^۳$ است.) (تجربی خارج ۹۳)




۱) ۱/۲۵
۲) ۲/۵۰
۳) ۳/۷۵
۴) ۴/۵۰

**۲۷۴.** مطابق شـــکل، در یک لولهٔ U شـــکل که مســـاحت قاعدهٔ لولهٔ سمت راســـت و چپ آن به ترتیب $۵cm^۲$ و $۲cm^۲$ اســـت، آب وجود دارد. در لولهٔ سمت چپ، چند گرم روغن بریزیم تا ســـطح آب در لولهٔ سمت راست ۴cm بالا رود؟ ($\rho_{روغن} = ۰/۸ g/cm^۳$ ، $\rho_{آب} = ۱ g/cm^۳$ و $g = ۱۰ m/s^۲$) (ریاضی خارج ۹۶)



۱) ۱۷/۵
۲) ۲۸
۳) ۳۵
۴) ۷۰

## کاربرد اصل پاسکال

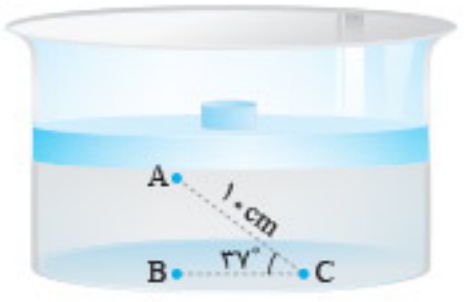
**۲۷۵.** در یک بالابر هیدرولیکی که در آن ســـطح مایع زیر پیســـتون‌ها در یک تراز و مایع در حال تعادل است، قطر پیستون بزرگ ۱۰ برابر قطر پیستون کوچک است. فشار زیر پیستون بزرگ چند برابر فشار زیر پیستون کوچک است؟ (ریاضی ۹۳)

۱) ۱۰۰
۲) ۱۰
۳) ۵
۴) ۱

**۲۷۶.** در شکل روبه‌رو، فشار در نقاط A و B درون مایع برابر با $P_A$ و $P_B$ است. وزنه‌ای را روی پیستون قرار می‌دهیم. اگر در اثر این عمل، افزایش فشار در آن نقاط $\Delta P_A$ و $\Delta P_B$ باشد، کدام رابطه درست است؟ (ریاضی ۹۰)

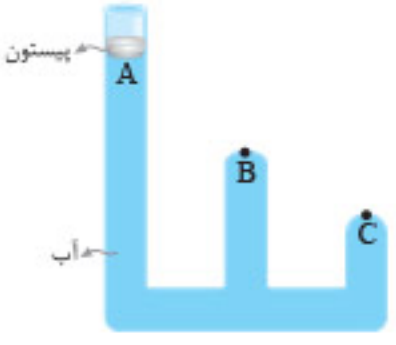
۱) $\Delta P_B < \Delta P_A \, , P_B = P_A$
۲) $\Delta P_B = \Delta P_A \, , P_B < P_A$
۳) $\Delta P_B > \Delta P_A \, , P_B > P_A$
۴) $\Delta P_B = \Delta P_A \, , P_B > P_A$

**۲۷۷.** در شکل زیر، مایعی به چگالی ρ توسط پیستونی به سطح مقطع A تحت فشار قرار گرفته است و اختلاف فشار بین نقاط A و B برابر $P_{AB}$ و بین نقاط A و C برابر $P_{AC}$ است. اگر نیرویی معادل ۸۰N به پیستون وارد کنیم، اختلاف فشار بین نقاط مذکور چگونه تغییر خواهد کرد؟



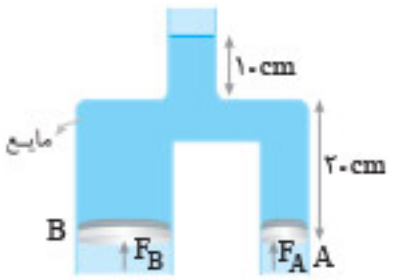

۱) $P'_{AC} = P_{AC} + \frac{۸۰}{A} \, , \; P'_{AB} = P_{AB} + \frac{۸۰}{A}$
۲) $P'_{AC} = P_{AC} + \frac{۱۰۰}{A} \, , \; P'_{AB} = -P_{AB} + \frac{۱۰۰}{A}$
۳) $P'_{AC} = P_{AC} - \frac{۸۰}{A} \, , \; P'_{AB} = P_{AB} - \frac{۸۰}{A}$
۴) تغییری نخواهند کرد.

**۲۷۸.** در شکل روبه‌رو، سطح مقطع پیستون A ، $۱۰cm^۲$ است. اگر ۰/۱N نیروی عمودی بر پیستون وارد کنیم، فشار در نقطهٔ B ..... و در نقطهٔ C .....




۱) کمتر از ۱۰۰Pa ـ کمتر از نقطهٔ B افزایش می‌یابد.
۲) ثابت می‌ماند ـ نیز ثابت می‌ماند.
۳) بیشتر از ۱۰۰Pa ـ بیشتر از نقطهٔ B افزایش می‌یابد.
۴) ۱۰۰Pa افزایش ـ نیز ۱۰۰Pa افزایش می‌یابد.

**۲۷۹.** در شکل مقابل، قطر مقطع پیستون B، دو برابر قطر مقطع پیستون A و جرم پیستون‌ها ناچیز است. نیرویی که برای نگه‌داشتن پیستون B لازم است بر آن وارد شود، چند برابر نیرویی است که باید برای نگه داشتن پیستون A وارد شود؟

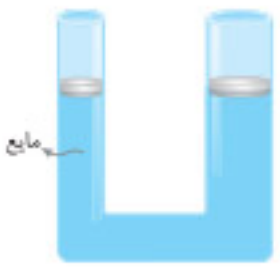



۱) ۱
۲) ۲
۳) ۴
۴) باید چگالی مایع معلوم باشد.

**۲۸۰.** در شکل زیر، قطر مقطع پیستون سرنگ سه برابر قطر مقطع لولهٔ باریک‌تر آن است. اگر نیروی ۹N را به پیستون وارد کنیم، حداقل با چه نیرویی برحسب نیوتون می‌توان جلوی خروج آب از سرنگ را گرفت؟

۱) ۲۷
۲) ۹
۳) ۳
۴) ۱

**۲۸۱.** در شکل روبه‌رو، اگر با اعمال نیروی $F = 8N$ بر پیستون کوچک، پیستون کوچک ۱۰cm و پیستون بزرگ ۲mm جابه‌جا شود، در صورتی که وزن پیستون‌ها ناچیز باشد، نیروی وارد بر پیستون بزرگ چند نیوتون است؟




۱) ۴۰۰
۲) ۳۰۰
۳) ۵۰۰
۴) ۴۰

**۲۸۲.** در شکل روبه‌رو، سطح قاعدهٔ ظرف $20cm^2$ و سطح مقطع قسمت باریک آن $0/5cm^2$ است. اگر $1cm^3$ آب به آب درون ظرف اضافه کنیم، بر نیروی واردشده از طرف آب بر کف ظرف، چند نیوتون اضافه می‌شود؟ $(\rho_{آب} = 1g/cm^3 \ , \ g = 10m/s^2)$

۱) ۰/۴
۲) ۰/۲
۳) ۰/۰۲
۴) ۰/۰۱

## آزمون مبحثی ۱

زمان پیشنهادی: ۱۳ دقیقه

**۲۸۳.** کدام‌یک از عبارت‌های زیر نادرست است؟ (برگرفته از کتاب درسی)

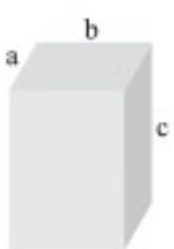
الف) پدیدهٔ پخش در مایعات به دلیل حرکت نامنظم مولکول‌های مایع و برخورد آن‌ها با ذرات ماده است.
ب) تراکم‌ناپذیری مایع به دلیل فاصلهٔ بسیار کم بین مولکول‌های مایع است.
پ) فاصلهٔ میانگین مولکول‌های هوا در شرایط معمولی در حدود ۳۵Å است.
ت) پدیدهٔ پخش در گازها سریع‌تر از مایعات رخ می‌دهد.

۱) الف ـ ب
۲) پ
۳) ب ـ ت
۴) هیچ‌کدام

**۲۸۴.** بین دو مولکول از یک ماده در فاصلهٔ خیلی کم و در فاصلهٔ زیاد از هم به ترتیب چه نیرویی ایجاد می‌شود؟ (فاصله‌های ذکرشده در حد مولکولی است.) (ریاضی ۸۶)

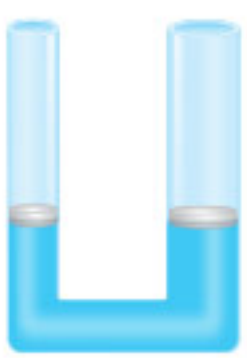
۱) پیوسته رانشی
۲) پیوسته ربایشی
۳) رانشی و ربایشی
۴) ربایشی و رانشی

**۲۸۵.** در مکعب مستطیل شکل مقابل، اگر ابعاد a، b و c به نسبت ۱، ۲ و ۳ باشد و مکعب را روی وجوه مختلف روی سطح افقی قرار دهیم، بیشترین فشاری که به سطح وارد می‌کند، چند برابر کمترین فشار است؟ (ریاضی خارج ۹۷)




۱) ۱/۵
۲) ۲
۳) ۳
۴) ۶

**۲۸۶.** در شکل روبه‌رو سطح مقطع پیستون بزرگ ۳ برابر سطح مقطع پیستون کوچک و وزن هر دو پیستون، ناچیز است. وزنهٔ چند گرمی روی پیستون کوچک قرار دهیم تا سطح آب در شاخهٔ سمت چپ ۱۵ سانتی‌متر پایین بیاید؟ (مساحت مقطع پیستون کوچک $6cm^2$ و $\rho_{آب} = 1g/cm^3$ است.)



۱) ۹۰
۲) ۱۲۰
۳) ۲۵۰
۴) ۶۰

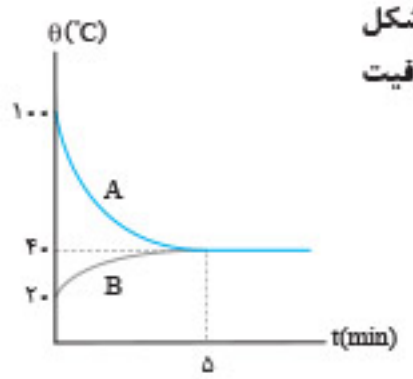
**۸۲۵.** ۸۰ گرم آب با دمای $15^\circ C$ را با ۲۰ گرم آب با دمای $45^\circ C$ مخلوط می‌کنیم. پس از برقراری تعادل گرمایی، گرمکنی الکتریکی را داخل مجموعه قرار می‌دهیم. اگر اتلاف انرژی ناچیز باشد، پس از ۲۱۰ ثانیه دمای مجموعه به $81^\circ C$ می‌رسد. توان گرمکن چند وات است؟ $(c_{آب} = 4200 J/kg.^\circ C)$

۱) ۲۰۰ ۲) ۱۲۰ ۳) ۲۲۰ ۴) ۲۴۰

**۸۲۶.** یک شمش آلومینیم به حجم $200 cm^3$ و چگالی $2/7 g/cm^3$ با دمای $100^\circ C$ را درون $540 cm^3$ آب $20^\circ C$ می‌اندازیم. پس از برقراری تعادل گرمایی، دمای آب تقریباً به چند درجهٔ سلسیوس می‌رسد؟ (چگالی آب $1 g/cm^3$ و گرمای ویژهٔ آب و آلومینیم به ترتیب $4/2 J/g.^\circ C$ و $0/9 J/g.^\circ C$ و از مبادلهٔ گرما بین آب و ظرف صرف نظر شود.) (تجربی خارج ۸۹)

۱) ۲۸ ۲) ۳۴ ۳) ۴۶ ۴) ۵۳

**۸۲۷.** هنگامی که دو جسم A و B را در تماس گرمایی با هم قرار می‌دهیم، نمودار دمای آن‌ها برحسب زمان مطابق شکل روبه‌رو است. اگر تغییر دمای دو جسم فقط در اثر تبادل گرما بین دو جسم باشد، ظرفیت گرمایی A چند برابر ظرفیت گرمایی B است؟




۱) $\frac{1}{3}$ ۲) ۳ ۳) ۸ ۴) $\frac{1}{8}$

# ایستگاه ۶: تغییر حالت جامد ـ مایع

## ذوب (تبدیل جامد به مایع)

اگر به جسم جامدی گرما دهیم، دمای آن افزایش می‌یابد. اگر عمل گرما دادن را برای جامدهای خالص و بلورین ادامه دهیم، دمای جسم به مقدار مشخصی می‌رسد. در این زمان دما ثابت مانده و جسم شروع به ذوب شدن نموده و به مایع تبدیل می‌شود؛ این دمای ثابت را نقطهٔ ذوب یا دمای گذار جامد به مایع می‌نامند.

**توجه:** ۱) عمل ذوب فرایندی گرماگیر است.
۲) نقطهٔ ذوب به جنس جسم و فشار وارد بر آن بستگی دارد.
۳) معمولاً افزایش فشار وارد بر جسم سبب بالا رفتن نقطهٔ ذوب جسم می‌شود، اما در برخی مواد مانند یخ، افزایش فشار باعث کاهش نقطهٔ ذوب می‌شود.
۴) برخلاف جامدهای خالص و بلورین، جامدهای بی‌شکل مانند شیشه و جامدهای ناخالص مانند قیر، نقطهٔ ذوب مشخص ندارد.
این مواد پیش از ذوب شدن، خمیری شکل می‌شوند و در گستره‌ای از دما به‌تدریج ذوب می‌شوند.
۵) وجود ناخالصی در جسم جامد، باعث پایین رفتن نقطهٔ ذوب آن می‌شود.
۶) حجم جامدهای بلوری هنگام ذوب شدن افزایش می‌یابد، زیرا حجمی که بلور با آرایش منظم مولکول‌ها در حالت جامد اشغال می‌کند، نسبت به حجمی که در حالت مایع که آرایش مولکولی نامنظم دارد، اشغال می‌کند، کمتر است.
۷) در دمای ذوب، هر جسم جامدی با مایع خود در تعادل گرمایی است.

### گرمای نهان ذوب

مقدار گرمایی که به یکای جرم جسم جامد داده می‌شود تا در نقطهٔ ذوب (بدون تغییر دما) به مایع تبدیل شود را گرمای نهان ذوب می‌گویند.
مقدر گرمای لازم برای ذوب جسم جامد، از رابطهٔ زیر به دست می‌آید:

$$Q_F = mL_F$$

$Q_F$: گرمای لازم برای ذوب (J)، $m$: جرم جسم (kg)، $L_F$: گرمای نهان (ویژه) ذوب $(\frac{J}{kg})$

**تذکر:** اگر جسمی به جرم $M$ در دمای ذوب نباشد، ابتدا باید به اندازهٔ $Q = Mc\Delta T$ به آن گرما بدهیم تا به دمای ذوب برسد و سپس به اندازهٔ $Q = mL_F$ گرما بدهیم تا جرم $m$ از آن را ذوب کند.

**توجه:** گرمای نهان ذوب به جنس جسم بستگی دارد.

## انجماد (تبدیل مایع به جامد)

فرایند انجماد عکس فرایند ذوب است. زمانی‌که مایع به دمای معینی (دمای انجماد) می‌رسد، با از دست دادن گرما، بدون تغییر دما از فاز مایع به فاز جامد تبدیل می‌شود.

**تذکر:** اندازهٔ گرمای انجماد برابر با گرمای ذوب است:
(علامت منفی یعنی مایع گرما از دست می‌دهد.)

$$Q = -mL_F$$

**توجه:** ناخالصی باعث پایین آمدن نقطهٔ انجماد می‌شود.

**تست:** مقدار گرمایی که ۵۰ گرم یخ $-۲۰^\circ C$ را به آب $۷۰^\circ C$ تبدیل می‌کند، چند گرم یخ $۰^\circ C$ را می‌تواند ذوب کند؟ $(L_F = ۸۰c_{آب} = ۱۶۰c_{یخ})$

۱) ۱۰۰ ۲) ۲۰۰ ۳) ۵۰ ۴) ۸۰

**پاسخ:** گزینهٔ «۱»

مقدار گرمایی که یخ $-۲۰^\circ C$ به آب $۷۰^\circ C$ تبدیل می‌کند، برابر مقدار گرمایی است که یخ صفر درجهٔ سلسیوس را ذوب می‌کند. بنابراین با توجه به طرحوارهٔ زیر می‌توان نوشت:

یخ $-۲۰^\circ C$ $\xrightarrow{Q_۱}$ یخ $۰^\circ C$ $\xrightarrow{Q_F}$ آب $۰^\circ C$ $\xrightarrow{Q_۲}$ آب $۷۰^\circ C$

$$c_{آب} = ۲c_{یخ}\ ,\ L_F = ۸۰c_{آب} = ۱۶۰c_{یخ}$$

$$Q_۱ + Q_F + Q_۲ = Q'_F \Rightarrow m_۱c_{یخ}\Delta\theta_۱ + m_۱L_F + m_۱c_{آب}\Delta\theta_۲ = m_۲L_F$$

$$\Rightarrow m_۱\, c_{یخ}\Delta\theta_۱ + m_۱ \times ۱۶۰c_{یخ} + m_۱ \times ۲c_{یخ} \times \Delta\theta_۲ = m_۲ \times ۱۶۰\, c_{یخ}$$

$$\Rightarrow ۵۰\times(۰-(-۲۰)) + ۵۰\times۱۶۰ + ۵۰\times۲\times(۷۰-۰) = m_۲ \times ۱۶۰ \Rightarrow m_۲ = ۱۰۰g$$

**چند کیلوژول گرما به ۱kg یخ $-۲۰^\circ C$ بدهیم تا نصف یخ ذوب شود؟** $(L_F = ۳۳۶kJ/kg, c_{یخ} = ۲/۱kJ/kg.K)$

۱) ۳۷۸ ۲) ۳۳۶ ۳) ۲۱۰ ۴) ۱۶۸

**پاسخ:** گزینهٔ «۳»

برای این‌که نصف جرم یخ ذوب شود، ابتدا باید دمای $m_۱ = ۱kg$ یخ از $-۲۰^\circ C$ به $۰^\circ C$ برسد و پس از آن نصف جرم آن، یعنی $\frac{m_۱}{۲} = ۰/۵kg$ از یخ $۰^\circ C$ ذوب شود. بنابراین با توجه به طرحوارهٔ زیر داریم:

یخ $-۲۰^\circ C$ $\xrightarrow{Q_۱}$ یخ $۰^\circ C$ $\xrightarrow[\text{(نصف جرم یخ)}]{Q_F}$ آب $۰^\circ C$

$$Q_T = Q_۱ + Q_F = m_۱c\Delta\theta + (\frac{m_۱}{۲})\times L_F \xrightarrow{m_۱=۱kg} Q_T = ۱\times۲/۱\times(۰-(-۲۰)) + ۰/۵\times۳۳۶ = ۴۲ + ۱۶۸ = ۲۱۰kJ$$

**۵۰۰g آب $۱۰^\circ C$ را درون یک یخ‌ساز با توان الکتریکی ۵۰۰W قرار می‌دهیم. بعد از چند ثانیه، تمام آب به یخ $-۱۰^\circ C$ تبدیل می‌شود؟** $(L_F = ۳۳۶J/g, c_{آب} = ۴/۲J/g.^\circ C, c_{یخ} = ۲/۱J/g.^\circ C)$

۱) ۳۶۳ ۲) ۲۷۳ ۳) ۳۴۲ ۴) ۳۹۹

**پاسخ:** گزینهٔ «۴»

**گام اول** با توجه به طرحوارهٔ زیر، مقدار گرمایی که یخ‌ساز باید از آب بگیرد را به دست می‌آوریم.

آب $۱۰^\circ C$ $\xrightarrow[\text{تغییر دما}]{Q_۱=mc_{آب}\Delta\theta}$ آب $۰^\circ C$ $\xrightarrow[\text{انجماد}]{Q_۲=-mL_F}$ یخ $۰^\circ C$ $\xrightarrow[\text{تغییر دما}]{Q_۳=mc_{یخ}\Delta\theta}$ یخ $-۱۰^\circ C$

$$Q = Q_۱ + Q_۲ + Q_۳ \Rightarrow Q = mc_{آب}(۰-۱۰) - mL_F + mc_{یخ}(-۱۰-۰) \xrightarrow[c_{آب}=۴/۲J/g.^\circ C, c_{یخ}=۲/۱J/g^\circ C]{m=۵۰۰g, L_F=۳۳۶J/g}$$

$$Q = -۵۰۰\times۴/۲\times۱۰ - ۵۰۰\times۳۳۶ - ۵۰۰\times۲/۱\times۱۰ \Rightarrow Q = -۵۰۰\times(۴۲+۳۳۶+۲۱) = -۵۰۰\times۳۹۹J$$

**گام دوم** با استفاده از رابطهٔ $P = \frac{Q}{t}$، زمان انجماد آب را به دست می‌آوریم:

$$P = \frac{|Q|}{t} \xrightarrow[P=۵۰۰W]{|Q|=۵۰۰\times۳۹۹J} ۵۰۰ = \frac{۵۰۰\times۳۹۹}{t} \Rightarrow t = ۳۹۹s$$

**اگر از ۱۸۰g آب صفر درجهٔ سلسیوس ۴۰/۲kJ گرما گرفته شود، چند گرم آب یخ‌نزده باقی می‌ماند؟** $(L_F = ۳۳۵kJ/kg)$ (تجربی خارج ۹۲)

۱) ۱۲۰ ۲) ۶۰ ۳) ۴۰ ۴) ۳۵

**پاسخ:** گزینهٔ «۲»

**گام اول** ابتدا جرمی از آب $۰^\circ C$ را که به یخ $۰^\circ C$ تبدیل می‌شود، به دست می‌آوریم:

$$Q = -m'L_F \Rightarrow -۴۰/۲ = -m'\times۳۳۵ \Rightarrow m' = ۰/۱۲kg = ۱۲۰g$$ جرم آب یخ زده

**گام دوم** جرم آب باقی‌مانده را می‌یابیم:

$$\text{جرم آب باقی‌مانده} = m - m' = ۱۸۰ - ۱۲۰ = ۶۰g$$

## محاسبهٔ دمای تعادل همراه با ذوب یا انجماد

اگر $m_۱$ گرم یخ صفر درجهٔ سلسیوس را در $m_۲$ گرم آب $\theta_۱$ درجهٔ سلسیوس قرار دهیم، برای محاسبهٔ دمای تعادل و وضعیت نهایی آب و یخ مراحل زیر را طی می‌کنیم:

۱ فرض می‌کنیم دمای تعادل، صفر درجهٔ سلسیوس باشد.

۲ مقدار گرمایی را که آب از دست می‌دهد تا به دمای $۰^\circ C$ برسد، محاسبه می‌کنیم. $(|Q_۲|)$

۳ مقدار گرمایی را که یخ نیاز دارد تا کاملاً ذوب شده و به آب $0^\circ C$ برسد، محاسبه می‌کنیم. $(Q_1)$

۴ مقدار $|Q_2|$ را با $Q_1$ مقایسه می‌کنیم. در این‌جا سه حالت می‌تواند رخ دهد:

• **حالت اول** اگر $|Q_2| < Q_1$ باشد، در این‌صورت تمام جرم یخ ذوب نمی‌شود و مخلوط آب و یخ خواهیم داشت. بنابراین دمای تعادل $\theta = 0^\circ C$ است.

برای محاسبهٔ جرم یخ ذوب شده و جرم یخ باقی‌مانده، داریم:

$m_1'$ جرم یخ ذوب شده است.)

$$|Q_2| = Q_F = m_1' L_F$$

$$m = m_1 - m_1' \quad \begin{matrix} \rightarrow \text{جرم یخ ذوب‌شده} \\ \leftarrow \text{جرم یخ باقی‌مانده} \end{matrix}$$

$m_1$: جرم کل یخ

: **حالت دوم** اگر $|Q_2| = Q_1$ باشد، در این‌صورت تمام جرم یخ ذوب می‌شود و دمای تعادل $\theta = 0^\circ C$ است.

: **حالت سوم** اگر $|Q_2| > Q_1$ باشد، در این‌صورت تمام جرم یخ ذوب می‌شود و دمای تعادل $\theta > 0^\circ C$ است.

**تذکر:** مراحل فوق برای حالتی است که از تبادل گرما با محیط صرف‌نظر می‌کنیم.

**تست:** **۱۰۰ گرم یخ $0^\circ C$ را داخل ۲۰۰ گرم آب $30^\circ C$ می‌اندازیم. دمای تعادل چند درجهٔ سلسیوس است؟** $(L_F = 80\ cal/g, c_{آب} = 1\ cal/g.^\circ C)$

۱) ۳۰ ۲) ۱۵ ۳) ۱۰ ۴) صفر

پاسخ: گزینهٔ «۴»

(در این قسمت تبدیل واحد نیاز نیست.)

$$Q = mc\Delta\theta \Rightarrow cal = (g \times \frac{cal}{g^\circ C} \times {}^\circ C)$$

$$Q = mL_F \Rightarrow cal = g \times \frac{cal}{g}$$

آب $30^\circ C$ $\xleftarrow{Q_2 < 0}$ آب $0^\circ C$

یخ $0^\circ C$ $\xrightarrow{Q_1 > 0}$ آب $0^\circ C$

$$|Q_2| = |m_2 c\Delta\theta| = 200 \times 1 \times 30 = 6000\ cal$$

$$Q_1 = m_1 L_F = 100 \times 80 = 8000\ cal$$

اگر گرماها را مقایسه کنیم، داریم:

$$|Q_2| < Q_1 \Rightarrow \text{(مخلوط آب و یخ داریم)} \Rightarrow \theta = 0$$

**در ظرفی یک قطعه یخ $0^\circ C$ وجـــود دارد. اگر ۸۰۰ گرم آب $20^\circ C$ در ظرف وارد کنیم. پس از برقراری تعادل گرمایی $\frac{1}{3}$ جرم قطعهٔ یخ در ظرف باقی می‌ماند. جرم اولیهٔ قطعه یخ چند گرم بوده است؟** $(c_{آب} = 4200\ J/kg^\circ C, L_F = 336\ kJ/kg)$ (تجربی ۹۸)

۱) ۲۰۰ ۲) $\frac{800}{3}$ ۳) ۳۰۰ ۴) ۶۰۰

پاسخ: گزینهٔ «۳»

مخلوط آب و یخ داریم، بنابراین دمای تعادل $\theta = 0^\circ C$ است.

با توجه به این‌که $\frac{1}{3}$ جرم یخ باقی مانده، بنابراین $\frac{2}{3}$ جرم آن ذوب شده است و گرمای لازم برای ذوب شدن را از آب گرفته است.

$$Q_1 = |Q_2| \Rightarrow \frac{2}{3} m_1 \times L_F = m_2 c\Delta\theta$$

$$\Rightarrow \frac{2}{3} \times m_1 \times 336 \times 10^3 = \frac{8}{10} \times 4200 \times 20 \Rightarrow m_1 = 0/3\ kg = 300\ g$$

آب $0^\circ C$ $\xleftarrow{Q_2 < 0}$ آب $20^\circ C$

یخ $0^\circ C$ $\xrightarrow{Q_1 > 0}$ آب $0^\circ C$

$\frac{2}{3}$ جرم یخ

**درون گرماسنجی که ظرفیت گرمایی آن $168\ J/^\circ C$ است، $1kg$ آب $4^\circ C$ ریخته‌ایم. اگر یک قطعه یخ به جرم $160g$ و دمای اولیهٔ $-8^\circ C$ درون ظرف بیاندازیم، پس از تعادل گرمایی، چند گرم یخ در گرماسنج باقی می‌ماند؟** $(L_F = 336\ J/g, c_{یخ} = 2/1\ J/g.^\circ C, c_{آب} = 4/2\ J/g.^\circ C)$

۱) صفر ۲) ۴۸ ۳) ۱۱۶ ۴) ۱۶۰

پاسخ: گزینهٔ «۳»

چون پس از تعادل گرمایی، در گرماسنج یخ باقی‌مانده است، دمای تعادل $\theta = 0^\circ C$ است. بنابراین طبق طرحوارهٔ زیر و با استفاده از قانون پایستگی انرژی، جرم یخ باقی‌مانده را به دست می‌آوریم. دقت کنید، چون در ابتدا در گرماسنج آب $4^\circ C$ ریخته‌ایم، لذا آب و گرماسنج در تعادل گرمایی‌اند و دمای اولیهٔ آن‌ها $4^\circ C$ است.

$$\text{گرماسنج} \begin{cases} C_1 = 168\ J/^\circ C \\ \theta_1 = 4^\circ C \end{cases} \quad \text{آب} \begin{cases} m_2 = 1kg = 1000g \\ c_2 = 4/2\ J/g.^\circ C \\ \theta_2 = 4^\circ C \end{cases} \quad \text{یخ} \begin{cases} m_3 = 160g \\ c_3 = 2/1\ J/g.^\circ C \\ \theta_3 = -8^\circ C \\ L_F = 336\ J/g \end{cases}$$

$$\boxed{\text{گرماسنج}(4^\circ C)} \xrightarrow[\text{تغییر دما}]{Q_1=C\Delta\theta} \boxed{\text{گرماسنج}(0^\circ C)}$$

$$\boxed{\text{آب}(4^\circ C)} \xrightarrow[\text{تغییر دما}]{Q_2=m_2c_2\Delta\theta} \boxed{\text{آب}(0^\circ C)}$$

$$\boxed{\text{یخ}(-8^\circ C)} \xrightarrow[\text{کل جرم یخ تغییر دما می‌دهد.}]{Q_3=m_3c_3\Delta\theta} \boxed{\text{یخ}(0^\circ C)} \xleftarrow[\text{بخشی از جرم یخ ذوب می‌شود.}]{Q'_3=m'_3L_F} \boxed{\text{آب}(0^\circ C)}$$

$$Q_1+Q_2+Q_3+Q'_3=0 \Rightarrow C_1(0-4)+m_2c_2(0-4)+m_3c_3(0-(-8))+m'_3L_F=0$$

$$\Rightarrow -168\times4-1000\times4/2\times4+160\times2/1\times8+m'_3\times336=0 \Rightarrow m'_3=44g$$

همان‌طور که مشاهده می‌کنید، از ۱۶۰g جرم اولیهٔ یخ، مقدار ۴۴g آن ذوب شده است؛ بنابراین جرم یخ باقی‌مانده برابر است با:

$$m=m_3-m'_3=160-44=116g$$

**توجه:** اگر مقداری یخ $(-\theta)$ درجهٔ سلسیوس را درون مقدار زیادی آب $0^\circ C$ قرار دهیم، پس از تعادل گرمایی، مقداری آب به یخ $0^\circ C$ تبدیل می‌شود و به جرم یخ افزوده می‌شود.

**تست:** **۱۶۰۰ گرم یخ $-20^\circ C$ را در استخر آب صفر درجهٔ سلسیوس می‌اندازیم. اگر تبادل گرما فقط بین آب و یخ صورت گیرد، پس از تعادل گرمایی جرم یخ باقی‌مانده چند گرم است؟** $(L_F=336\,kJ/kg \ , \ c_{یخ}=2100\,J/kg.K)$

۱) ۱۶۵۰ ۲) ۱۷۰۰ ۳) ۱۸۰۰ ۴) ۱۸۵۰

پاسخ: گزینهٔ «۳»

در این سؤال، یخ $-20^\circ C$ با گرفتن گرما از آب صفر درجهٔ سلسیوس به یخ صفر درجهٔ سلسیوس تبدیل می‌شود، بنابراین بخشی از جرم آب $0^\circ C$ به یخ $0^\circ C$ تبدیل می‌شود. اگر به اعداد $L_F$ و $c_{یخ}$ دقت کنید مشخص است که $L_F=160c_{یخ}$ و برای راحتی محاسبه از این تساوی استفاده می‌کنیم:

$$Q_{یخ}=Q_{آب} \Rightarrow m_1c\Delta\theta=m'_2L_F \Rightarrow 1600\times c_{یخ}\times20=m'_2\times160c_{یخ} \Rightarrow m'_2=200g \qquad (m'_2=\text{جرم آب تبدیل‌شده به یخ } 0^\circ C)$$

$$m_{کل\,یخ}=m_1+m'_2=1600+200=1800g$$

**تست:** **حداقل چند گرم آب $50^\circ C$ را با ۱۵۰g یخ $-20^\circ C$ مخلوط کنیم تا دمای تعادل صفر درجهٔ سلسیوس شود؟** $(L_F=336J/g \ , \ c_{یخ}=2/1J/g.^\circ C \ , \ c_{آب}=4/2J/g.^\circ C)$

۱) ۲۸/۴ ۲) ۳۰ ۳) ۳۱/۶ ۴) ۳۴

پاسخ: گزینهٔ «۲»

با توجه به این‌که دمای تعادل صفر درجهٔ سلسیوس است، برای شرط حداقل جرم آب در حالت تعادل، باید مخلوط آب و یخ داشته باشیم. بنابراین کافیست یخ $-20^\circ C$ به یخ $0^\circ C$ تبدیل شود.

$$\boxed{\text{یخ}-20^\circ C} \xrightarrow{Q_1} \boxed{\text{یخ}\,0^\circ C} \ , \ \boxed{\text{آب}\,0^\circ C} \xleftarrow{Q_2} \boxed{\text{آب}\,50^\circ C}$$

$$Q_1+Q_2=0 \Rightarrow m_1c_{یخ}\Delta\theta_1+m_2c_{آب}\Delta\theta_2=0 \Rightarrow 150\times2/1\times(0-(-20))+m_2\times4/2\times(0-50)=0 \Rightarrow m_2=30g$$

**توجه:** اگر در این تست، حداکثر جرم آب مورد نظر می‌بود، باید کل یخ $(-\theta)$ درجهٔ سلسیوس و آب $\theta$ درجهٔ سلسیوس به آب $0^\circ C$ تبدیل شود. در این حالت رابطهٔ تعادل گرمایی آن به صورت مقابل است: $Q_1+Q_F+Q_2=0$

## پرسش‌های چهارگزینه‌ای

۸۲۸. **کدام‌یک از جمله‌های زیر نادرست است؟**

۱) برخلاف جامدهای بلورین، جامدهای بی‌شکل مانند شیشه، نقطهٔ ذوب کاملاً مشخصی ندارند.

۲) وقتی به یک جامد بلورین گرما می‌دهیم، در هنگام ذوب، دمایش افزایش نمی‌یابد.

۳) نقطهٔ ذوب یک جامد بلورین فقط به جنس آن بستگی دارد.

۴) هنگامی که یک جامد بلورین ذوب می‌شود، به استثنای چند مورد خاص، حجم آن افزایش می‌یابد.

۸۲۹. **جسمی پس از ذوب، ازدیاد حجم پیدا می‌کند. افزایش فشار وارد بر جسم باعث می‌شود که نقطهٔ ذوب آن .....**

۱) بالا برود. ۲) پایین آید.

۳) تا فشار معین بالا رود و سپس پایین آید. ۴) ثابت باقی بماند.

۸۳۰. **اگر گرمای ویژهٔ آب و یخ به ترتیب $4200\,J/kg.K$ و $2100\,J/kg.K$ و همچنین $L_F=335000\,J/kg$ باشد، چند کیلوژول گرما لازم است تا ۲۰۰ گرم یخ $-5^\circ C$ به آب $50^\circ C$ تبدیل شود؟** (تجربی خارج ۹۵)

۱) ۱۱/۳۲ ۲) ۱۱۱/۱ ۳) ۱۱۳/۲ ۴) ۱۱۱۱۰۰

**۸۳۱.** به 1kg یخ صفر درجهٔ سلسیوس، ۱۰۰kJ حرارت می‌دهیم. اگر گرمای نهان ذوب یخ 335 J/g باشد، دمای نهایی چند درجهٔ سلسیوس است؟

۱) صفر ۲) ۳/۳۵ ۳) ۲۵ ۴) ۴۰

**۸۳۲.** مساحت دریاچه‌ای $500km^2$ است. در زمستان لایه‌ای از یخ صفر درجهٔ سلسیوس به ضخامت متوسط 10 cm سطح دریاچه را می‌پوشاند. دریاچه در بهار چند مگاژول انرژی برای ذوب یخ جذب می‌کند؟ ($L_F = 336kJ/kg$ ، $\rho_{یخ} = 0/9 g/cm^3$) (تجربی ۹۳)

۱) $1/512\times10^{7}$ ۲) $1/512\times10^{10}$ ۳) $1/512\times10^{13}$ ۴) $1/512\times10^{16}$

**۸۳۳.** ۲۰ گرم یخ در دمای صفر درجهٔ سلسیوس (نقطهٔ ذوب) قرار دارد. چند ژول گرما لازم است تا آن را ذوب کرده و دمای آب حاصل را به ۵۰ درجهٔ فارنهایت برساند؟ ($L_F = 336 J/g$ ، $c_{آب} = 4/2 J/g.^\circ C$) (ریاضی ۱۴۰۰)

۱) ۱۰۹۲۰ ۲) ۹۰۵۰ ۳) ۸۱۹۰ ۴) ۷۵۶۰

**۸۳۴.** یک قطعه یخ صفر درجهٔ سیلسیوس به جرم 55/5 kg روی یک سطح افقی با تندی اولیهٔ 6 m/s توسط ضربه‌ای به حرکت درمی‌آید و پس از مدتی از حرکت می‌ایستد. اگر همهٔ گرمای حاصل از اصطکاک به یخ برسد، تقریباً چند گرم از آن ذوب می‌شود؟ ($L_F = 333 kJ/kg$) (ریاضی خارج ۸۵)

۱) ۳ ۲) ۳۰ ۳) ۱۵۰ ۴) ۳۰۰

**۸۳۵.** یک کیلوگرم یخ و 4kg آب در فشار یک جو در تعادل گرمایی قرار دارند. به این مجموعه، 546 kJ گرما می‌دهیم. بعد از رسیدن به تعادل، دمای آب چند درجهٔ سلسیوس خواهد شد؟ ($L_F = 336kJ/kg$ ، $c_{آب} = 4/2 J/g.^\circ C$) (ریاضی خارج ۸۹)

۱) صفر ۲) ۱۰ ۳) ۴۰ ۴) ۱۰۰

**۸۳۶.** به ۲۰۰g یخ $-10^\circ C$، مقداری گرما با آهنگ 1/05 kJ/min به مدت ۱۲ دقیقه می‌دهیم. دمای نهایی چند درجهٔ سلسیوس است؟ ($c_{یخ} = 2100 J/kg.^\circ C$ ، $L_F = 336 kJ/kg$ ، $c_{آب} = 4200 J/kg.^\circ C$) (ریاضی خارج ۹۷)

۱) صفر ۲) ۵ ۳) ۱۰ ۴) ۱۵

**۸۳۷.** درون یک کیلوگرم آب با دمای $30^\circ C$، چند گرم یخ صفر درجهٔ سلسیوس بیندازیم تا پس از تعادل گرمایی، آب با دمای $20^\circ C$ حاصل شود؟ ($c_{آب} = 4200 J/kg.K$ ، $L_F = 336kJ/kg$ و تبادل گرمایی فقط بین آب و یخ انجام می‌شود.) (ریاضی خارج ۹۲)

۱) ۱۰۰ ۲) ۲۰۰ ۳) ۱۲۵ ۴) ۱۷۵

**۸۳۸.** ۱۰۰ گرم یخ $0^\circ C$ را داخل 400 g آب $30^\circ C$ می‌اندازیم. اگر تبادل گرما فقط بین آب و یخ باشد، پس از برقراری تعادل گرمایی دمای آب چند درجهٔ سلسیوس است؟ ($L_F = 336000 J/kg$ ، $c_{آب} = 4200 J/kg.K$) (تجربی خارج ۹۴)

۱) صفر ۲) ۴ ۳) ۸ ۴) ۱۲

**۸۳۹.** در ظرفی با ظرفیت گرمایی ناچیز، ۴۰۰ گرم یخ $-10^\circ C$ وجود دارد. یک گرمکن الکتریکی با توان 700 W و بازدهٔ ۷۵ درصد درون یخ قرار می‌دهیم. پس از چند ثانیه تمام یخ درون ظرف ذوب می‌شود؟ ($c_{یخ} = 2100 J/kg.^\circ C$ ، $L_F = 336000 J/kg$)

۱) ۲۴۹ ۲) ۲۷۲ ۳) ۲۵۶ ۴) ۲۷۴

**۸۴۰.** به مقداری یخ صفر درجهٔ سلسیوس در فشار 1atm، گرما می‌دهیم و آن را به آب با دمای ۲۰ درجهٔ سلسیوس تبدیل می‌کنیم. چند درصد گرمای داده شده، صرف ذوب کردن یخ شده است؟ ($c_{یخ} = 2100 J/kg.^\circ C$ ، $L_F = 336 kJ/kg$ ، $c_{آب} = 4200 J/kg.^\circ C$) (تجربی ۱۴۰۰)

۱) ۹۰ ۲) ۸۰ ۳) ۸۵ ۴) ۷۵

## تغییر حالت جامد به مایع با دمای تعادل صفر درجهٔ سلسیوس

**۸۴۱.** سه گوی فلزی با جرم یکسان از جنس آلومینیم، آهن و مس با دمای اولیهٔ $\theta$ را روی یک قطعه یخ بزرگ با دمای $0^\circ C$ قرار می‌دهیم. اگر تبادل گرما فقط بین گوی‌ها و یخ باشد، کدام گوی یخ بیشتری ذوب می‌کند؟ ($c_{Al} > c_{Fe} > c_{Cu}$)

۱) آهن ۲) مس
۳) آلومینیم ۴) هر سه گوی مقدار یکسانی یخ ذوب می‌کنند.

**۸۴۲.** دو قطعه فلز مس با جرم‌های $m_1$ و $m_2$ به ترتیب دارای دماهای $50^\circ C$ و $20^\circ C$ هستند. آن‌ها را جداگانه روی قطعات بزرگ یخ $0^\circ C$ قرار می‌دهیم. اگر جرم یخی که $m_1$ ذوب می‌کند، دو برابر جرم یخی باشد که $m_2$ ذوب می‌کند، نسبت $\frac{m_1}{m_2}$ کدام است؟

۱) $\frac{2}{3}$ ۲) $\frac{3}{2}$ ۳) $\frac{5}{4}$ ۴) $\frac{4}{5}$

**۸۴۳.** ظرفی محتوی 1000 g آب و 200 g یخ $0^\circ C$ در تعادل گرمایی است. یک قطعه فلز به گرمای ویژهٔ 400 J/kg.K و دمای $250^\circ C$ را درون ظرف می‌اندازیم. جرم فلز حداقل چند گرم باشد تا یخی در ظرف باقی نماند؟ ($L_F = 336000 J/kg$ ، $c_{آب} = 4200 J/kg.K$، اتلاف گرما ناچیز است.) (ریاضی ۹۶)

۱) ۳۷۵ ۲) ۶۷۲ ۳) ۸۶۰ ۴) ۹۵۰

**۸۴۴.** حداقل چند گرم یخ $-20^\circ C$ را داخل 200 g آب صفر درجه بیندازیم تا تمام آب یخ ببندد؟ ($L_F = 3/36\times10^5 J/kg$ ، $c_{یخ} = 2100 J/kg.K$) (ریاضی ۸۸)

۱) ۱۶۰ ۲) ۱۲۰۰ ۳) ۳۶۰ ۴) ۱۶۰۰

**۸۴۵.** قطعه یخی به جرم 400 g را که دمای آن $-10^\circ C$ است، درون ظرفی که مقدار زیادی آب صفر درجهٔ سلسیوس دارد، می‌اندازیم. چند گرم آب یخ می‌زند؟ (گرمای ویژهٔ یخ، $0/5 cal/g.^\circ C$ و گرمای نهان انجماد آب، 80 cal/g است.)

۱) ۲/۵ ۲) ۱۲/۵ ۳) ۲۵ ۴) ۵۰

**۸۴۶.** اگر ۹۰ درصد گرمایی را که ۸۰۰ گرم آب ۵۰ درجهٔ سلسیوس از دست می‌دهد تا به آب صفر درجهٔ سلسیوس تبدیل شود، به یک قطعه یخ صفر درجهٔ سلسیوس بدهیم، چند گرم از یخ ذوب می‌شود؟ $(c_{آب} = ۴۲۰۰\ J/kg.K \ ,\ L_F = ۳۳۶۰۰۰\ J/kg)$ (تجربی خارج ۹۸)

۱) ۵۰۰ ۲) ۴۵۰ ۳) ۵۰ ۴) ۴۵

**۸۴۷.** در ظرفی که عایق گرما است، یک قطعهٔ یخ °C۰ وجود دارد. اگر ۸۰۰ گرم آب °C۵۰ در ظرف بریزیم، پس از برقراری تعادل گرمایی، ۱۰۰ g یخ در ظرف باقی می‌ماند. جرم اولیهٔ یخ چند گرم بوده است؟ (تبادل گرما فقط بین آب و یخ صورت می‌گیرد. $c_{آب} = ۴۲۰۰\ J/kg.K$ و $L_F = ۳۳۶۰۰۰\ J/kg$) (ریاضی ۹۵)

۱) ۳۰۰ ۲) ۴۰۰ ۳) ۵۰۰ ۴) ۶۰۰

**۸۴۸.** ۸۰۰ g یخ صفر درجهٔ سلسیوس را با ۸۰۰ g آب °C۶۰ مخلوط می‌کنیم. اگر فقط بین یخ و آب، تبادل گرما صورت گیرد و $c_{آب} = ۴۲۰۰ J/kg.K$ و $L_F = ۳۳۶۰۰۰ J/kg$ باشد تا برقراری تعادل چند کیلوگرم آب صفر درجهٔ سلسیوس ایجاد می‌شود؟ (تجربی خارج ۹۱)

۱) ۰/۲ ۲) ۰/۶ ۳) ۱/۲ ۴) ۱/۴

**۸۴۹.** ۸۰۰ گرم یخ صفر درجهٔ سلسیوس را با ۸۰۰ g آب ۲۰ درجهٔ سلسیوس مخلوط می‌کنیم. اگر گرما فقط بین آب و یخ مبادله شود، بعد از برقراری تعادل گرمایی چند گرم آب و با چه دمایی بر حسب درجهٔ سلسیوس خواهیم داشت؟ $(c_{آب} = ۴/۲ J/g.K \ ,\ L_F = ۳۳۶ J/g)$ (ریاضی ۹۷)

۱) ۱۰۰۰، صفر ۲) ۱۲۰۰، صفر ۳) ۱۶۰۰، ۲ ۴) ۱۶۰۰، ۴

**۸۵۰.** جرم برابر از یخ °C۰ را با آب °C۳۰ مخلوط می‌کنیم. پس از تعادل گرمایی، ..... $(L_F = ۸۰ c_{آب})$

۱) تمام یخ، آب می‌شود. ۲) $\frac{۵}{۸}$ جرم یخ، آب می‌شود. ۳) $\frac{۳}{۸}$ جرم یخ، آب می‌شود. ۴) $\frac{۱}{۲}$ جرم یخ، آب می‌شود.

**۸۵۱.** ۵۰۰ g یخ °C۰ را درون ۵۰۰ g آب با دمای °C۹۰ می‌اندازیم. پس از برقراری تعادل گرمایی، چه خواهیم داشت؟ (اتلاف گرما ناچیز است، $L_F = ۳۳۶ J/g$ و $c_{آب} = ۴/۲ J/g.°C$)

۱) ۱۰۰۰ گرم آب °C۰ ۲) ۱۰۰ g یخ، درون ۹۰۰ g آب °C۰
۳) ۱۰۰۰ گرم آب °C۵ ۴) ۲۰۰ g یخ، درون ۸۰۰ g آب °C۵

**۸۵۲.** درون یک ظرف آلومینیمی به جرم ۳۴۰ g قطعه یخی به جرم ۱۰۰ g و دمای °C۱۰− می‌اندازیم. دمای اولیهٔ ظرف آلومینیمی چند °C باشد تا پس از تعادل، نصف جرم یخ ذوب شود؟ ( $L_F = ۳۰۰۰۰۰ J/kg$ ، $c_{یخ} = ۲۰۰۰ J/kg.°C$ و $c_{آلومینیم} = ۱۰۰۰ J/kg.°C$ )

۱) ۵ ۲) ۲۵ ۳) ۱۰ ۴) ۵۰

# ایستگاه ۷: تغییر حالت مایع - بخار

## تبخیر (تبدیل مایع به بخار)

تبدیل مایع به بخار را تبخیر می‌نامیم. تبخیر به دو حالت زیر انجام می شود:

الف) تبخیر سطحی ب) تبخیر ناشی از جوشیدن

**الف. تبخیر سطحی:** تبخیر سطحی در هر دمایی رخ می‌دهد و تا پیش از رسیدن مایع به نقطهٔ جوش، تبخیر به‌طور پیوسته از سطح مایع انجام می‌شود. در این پدیده، تندی برخی از مولکول‌های مایع به حدی می‌رسد که از سطح مایع فرار می‌کنند.

**تذکر:** تبخیر سطحی فرایندی گرماگیر است.

### عوامل مؤثر در آهنگ تبخیر سطحی

۱ دما ۲ مساحت سطح مایع ۳ فشار هوای بالای سطح مایع ۴ رطوبت هوا ۵ وزش باد

### ب. تبخیر ناشی از جوشیدن

وقتی به مایعی گرما می‌دهیم، (در فشار و دمایی معین) مایع شروع به جوشیدن می‌کند. هنگامی که مایع به جوش کامل می‌رسد، آهنگ تبخیر مایع به بیشترین مقدار خود می‌رسد. در این مرحله، دمای مایع ثابت می‌شود. به این دمای ثابت نقطهٔ جوش می‌گوییم. در مرحلهٔ جوشیدن، کل مایع در فرایند تبخیر شرکت می‌کند.

**توجه:** ۱ نقطهٔ جوش هر مایع به جنس و فشار آن بستگی دارد. ۲ افزایش فشار بر مایع، سبب بالا رفتن نقطهٔ جوش آن می‌شود. ۳ ناخالصی در مایع، معمولاً نقطهٔ جوش مایع را بالا می‌برد.

### گرمای نهان تبخیر

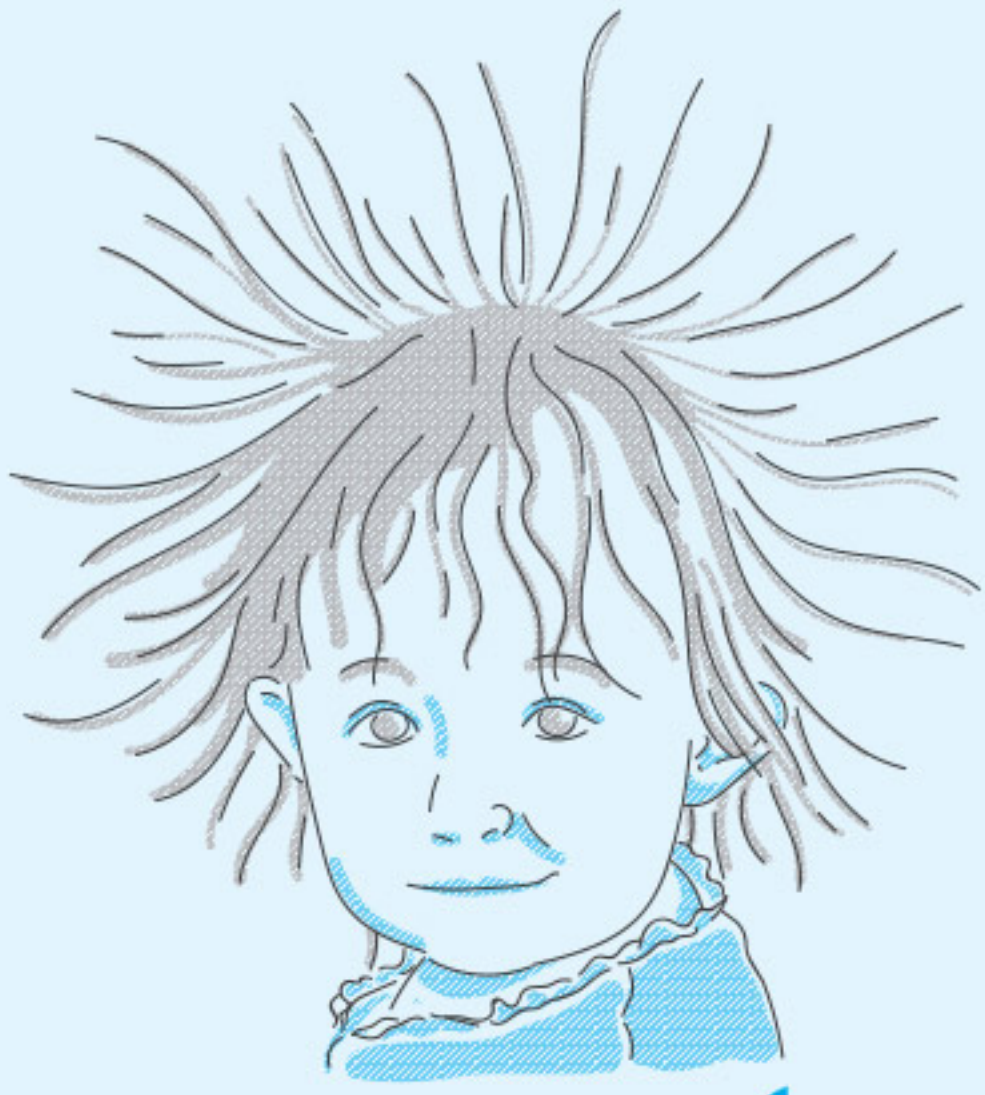
مقدار گرمایی که به یکای جرم مایع داده می‌شود تا در نقطهٔ جوش (بدون تغییر دما) به بخار (گاز) تبدیل شود، گرمای نهان تبخیر می‌گویند. مقدار گرمای لازم برای تبخیر از رابطهٔ زیر به دست می‌آید:

$$Q = mL_V$$

$Q$: گرمای لازم برای تبخیر (J)، $m$: جرم مایع (kg)، $L_V$: گرمای نهان تبخیر $(\frac{J}{kg})$

**توجه:** ۱ گرمای نهان تبخیر هر مایع به جنس و دمای آن بستگی دارد. ۲ گرمای نهان تبخیر آب با افزایش دما کاهش می‌یابد. ۳ تبخیر فرایندی گرماگیر است.

فصل ۱



# الکتریسیتهٔ ساکن

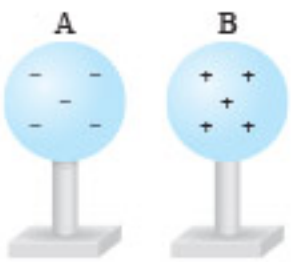
## ایستگاه‌های آموزشی


۱. مفاهیم اولیهٔ الکتریسیتهٔ ساکن ۲۵ تست
۲. قانون کولن ۲۹ تست
۳. برهم‌نهی نیروهای الکتروستاتیکی در یک بُعد ۲۷ تست
۴. برهم‌نهی نیروهای الکتروستاتیکی در دو بُعد ۲۴ تست
۵. میدان الکتریکی ۲۰ تست
۶. برهم‌نهی میدان‌های الکتریکی در یک بُعد ۲۲ تست
۷. برهم‌نهی میدان‌های الکتریکی در دو بُعد ۲۲ تست
۸. خطوط میدان الکتریکی ۲۲ تست
۹. انرژی پتانسیل الکتریکی و پتانسیل الکتریکی ۴۵ تست
۱۰. میدان الکتریکی و جسم رسانا و ۱۱. چگالی سطحی بار الکتریکی رسانا ۲۳ تست
۱۳. خازن و ۱۴. بررسی ویژگی‌های خازن در دو حالت ۵۳ تست


## آزمون‌ها


آزمون مبحثی ۱ ۱۰ تست
آزمون مبحثی ۲ ۱۰ تست
آزمون مبحثی ۳ ۱۵ تست
آزمون پایانی فصل ۲۵ تست
هایپرتست ۳۰ تست

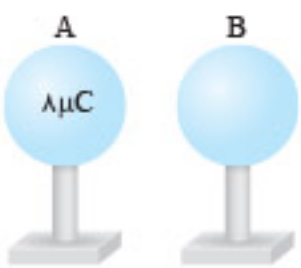

**مشاوره:** این فصل علاوه بر این‌که پرمحتوی و شامل مطالب گوناگون است، پیش نیاز مطالب مربوط به جریان الکتریکی و مغناطیس است که در فصل‌های بعدی مطرح می‌شوند. برای تسلط کافی بر مفاهیم و پاسخ به تست‌های این فصل، نیاز به آشنایی و تسلط بر قواعد جمع برداری و مفاهیم بحث کار و انرژی است. در بخش‌های مربوط به برهم‌نهی نیرو و میدان الکتریکی، با چالش‌های جدی‌تری مواجه خواهید شد.




**۱۲۷۸. در شکل روبه‌رو بار کرهٔ A برابر $-۶\mu C$ است. اگر دو کرهٔ رسانا به هم وصل شوند، اندازهٔ بار کرهٔ B، $\frac{۱}{۴}$ برابر می‌شود. بار کرهٔ B قبل از بستن کلید چند میکروکولن بوده است؟**

۱) ۴ ۲) ۶

۳) ۱۲ ۴) گزینهٔ «۱» و «۳» درست هستند.




**۱۲۷۹. در شکل مقابل کره‌ها رسانا و مشابه هستند. اگر کرهٔ A را به کرهٔ B تماس دهیم، مجموع بار دو کره $۴/۸\mu C$ می‌شود. اگر قبل از تماس دو کره به یکدیگر، کرهٔ B را به زمین متصل می‌کردیم چه تعداد الکترون جابه‌جا می‌شد؟ $(e = ۱/۶\times ۱۰^{-۱۹} C)$**

۱) $۲\times ۱۰^{۱۳}$ ۲) $۲\times ۱۰^{۱۹}$

۳) $۳\times ۱۰^{۱۳}$ ۴) $۳\times ۱۰^{۱۹}$

## ایستگاه۲: قانون کولن

نیروی الکتریکی (الکتروستاتیکی) بین دو بار نقطه‌ای که در راستای خط مستقیم بین آن‌ها اثر می‌کند، با **حاصل‌ضرب** بزرگی آن‌ها **متناسب** است و با **مجذور فاصلهٔ** بین آن‌ها نسبت **وارون** (معکوس) دارد.

$$F \propto \frac{|q_۱||q_۲|}{r^۲}$$

اگر فاصلهٔ دو بار نقطه‌ای، $r$ و اندازه‌های بارها، $|q_۱|$ و $|q_۲|$ باشد، بزرگی نیروی الکتریکی بین دو بار از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید:

$$F = k\frac{|q_۱||q_۲|}{r^۲}$$

(F: نیرو (N)، k: ثابت کولن، $|q_۱|$ و $|q_۲|$: اندازهٔ بار (C)، r: فاصلهٔ دو بار (m))

در این رابطه $k$ را ثابت کولن می‌نامیم و برابر است با:

$$k \simeq ۹\times ۱۰^{۹} N.m^۲ / C^۲$$

**تذکر:** $\varepsilon_۰$ ثابت گذردهی الکتریکی خلأ و برابر $\varepsilon_۰ = ۸/۸۵\times ۱۰^{-۱۲} C^۲ / N.m^۲$ است و $k = \frac{۱}{۴\pi\varepsilon_۰}$ می‌باشد.

**ترازوی پیچشی کولن:** وسیله‌ای است که با آن می‌توان قانون کولن را بررسی کرد.

**تذکر:** بارهایی را نقطه‌ای (ذره‌ای) در نظر می‌گیریم که ابعاد جسمی که بار الکتریکی در آن قرار دارد، در برابر فاصلهٔ بارها ناچیز و قابل صرف‌نظر باشد. همچنین اگر در اجسام کروی، بار الکتریکی به صورت یکنواخت توزیع شده باشد، می‌توان همهٔ بار جسم را در مرکز آن و به‌صورت نقطه‌ای در نظر گرفت.

### ویژگی‌های نیروی الکتریکی دو بار نقطه‌ای

۱ خلاف جهت یکدیگرند.

۲ بزرگی یکسان دارند.

۳ از قانون سوم نیوتون پیروی می‌کنند.

۴ نیروی الکتریکی بین بارهای ناهمنام، ربایشی(جاذبه) و نیروی الکتریکی بارهای همنام، رانشی(دافعه) است.

$$F_{۲۱} = F_{۱۲} \ , \ \vec{F}_{۲۱} = -\vec{F}_{۱۲}$$

$$F_{۲۱} = F_{۱۲} \ , \ \vec{F}_{۲۱} = -\vec{F}_{۱۲}$$

**نکته:** بزرگی نیروی الکتریکی که هر بار بر بار دیگر وارد می‌کند یکسان است، هر چند اندازهٔ بارها یکسان نباشد.

**تست:** **دو بار الکتریکی نقطه‌ای $q_1 = 5\mu C$ و $q_2 = -20\mu C$ در فاصلهٔ $30cm$ از یکدیگر قرار دارند. نیروی الکتریکی که $q_2$ بر $q_1$ وارد می‌کند، چند نیوتون و در کدام جهت است؟ $(k = 9\times10^9 N.m^2/C^2)$**

۱) ۱۰، به طرف $q_2$ ۲) ۰/۱۰، به طرف $q_2$ ۳) ۱۰، به طرف $q_1$ ۴) ۰/۱۰، به طرف $q_1$

**پاسخ:** گزینهٔ «۱»

بنابر قانون کولن می‌توان نوشت:

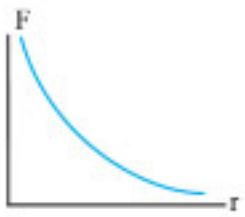
$$F = k\frac{|q_1||q_2|}{r^2}$$

بزرگی نیروی الکتریکی که دو بار به هم وارد می‌کنند یکسان است:

$$F_{21} = F_{12} = F = 9\times10^9 \times \frac{20\times10^{-6}\times5\times10^{-6}}{(0/3)^2} \Rightarrow F = 10N$$

چون $q_1$ و $q_2$ ناهمنام‌اند، نیروی $q_2$ بر $q_1$ $(F_{21})$ به طرف $q_2$ است و نیروی $q_1$ بر $q_2$ $(F_{12})$ به طرف $q_1$ است.

**نکته:** نمودار نیروی بین دو بار الکتریکی نقطه‌ای برحسب فاصلهٔ آن‌ها از یکدیگر مطابق شکل است:




**تکنیک:** چون در بیشتر مسائل، بارهای الکتریکی برحسب $\mu C$ و فاصله‌های آن‌ها برحسب سانتی‌متر است، می‌توان برای این واحدها قانون کولن را ساده‌تر کرد و نوشت:

$$F = 9\times10^9 \times \frac{|q_1q_2|\times10^{-12}}{d^2\times10^{-4}} \Rightarrow F_{(N)} = \frac{90\times|q_1q_2|}{d^2} \begin{matrix}\rightarrow \mu C \\ \rightarrow cm\end{matrix}$$

**یادت باشه:** فقط وقتی که $q$ برحسب $\mu C$ و $d$ برحسب $cm$ باشه می‌تونی از این رابطه استفاده کنی. اسم این روش را، تکنیک ۹۰ می‌گذاریم و در برخی پاسخ‌ها از تکنیک ۹۰ نیز استفاده می‌کنیم.

**نکته:** اگر دو بار الکتریکی نقطه‌ای $q_1$ و $q_2$ در فاصلهٔ $r$ از یکدیگر نیرویی به بزرگی $F$ بر هم وارد کنند و همچنین دو بار $q'_1$ و $q'_2$ در فاصلهٔ $r'$ نیرویی به بزرگی $F'$ بر هم وارد کنند، برای مقایسهٔ بزرگی نیروی الکتریکی آن‌ها در دو حالت می‌توان نوشت:

$$\frac{F'}{F} = \frac{|q'_1||q'_2|}{|q_1||q_2|}\times(\frac{r}{r'})^2$$

**تست:** **دو بار الکتریکی نقطه‌ای از فاصلهٔ یک متری بر هم نیروی $F$ وارد می‌کنند. این دو بار از فاصلهٔ چند متری بر هم نیروی $2F$ وارد می‌کنند؟**

۱) $\frac{1}{4}$ ۲) $\frac{1}{2}$ ۳) $\sqrt{2}$ ۴) $\frac{\sqrt{2}}{2}$

**پاسخ:** گزینهٔ «۴»

- **روش اول** **روش فرمولی:** برای این‌که نیروی بین دو بار افزایش یابد، باید فاصلهٔ آن‌ها کاهش یافته باشد.

$$\frac{F'}{F} = \frac{|q'_1q'_2|}{|q_1q_2|}\times(\frac{r}{r'})^2 \xrightarrow[q_2=q'_2]{F'=2F,\ q_1=q'_1} \frac{2F}{F} = (\frac{r}{r'})^2 \xrightarrow{r=1m} r' = \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{2}}{2}m$$

- **روش دوم** چون نیروی بین دو بار ۲ برابر شده است، باید فاصلهٔ دو بار $\sqrt{\frac{1}{2}}$ برابر یعنی $\frac{\sqrt{2}}{2}$ متر شود.

**نکته:** اگر دو بار مساوی و همنام باشند، هر قدر (به اندازهٔ $x$) از یکی کم کنیم و به دیگری اضافه کنیم، مقدار بار یکی کم و دیگری به همان اندازه زیاد می‌شود.

$$\frac{F'}{F} = \frac{(q-x)(q+x)}{q^2}\times(\frac{r}{r'})^2$$

**تست:** **دو بار مساوی، هر یک برابر با $Q$ بر یکدیگر نیروی $F$ وارد می‌کنند. اگر نصف یکی از بارها را برداشته و به دیگری اضافه کنیم در همان فاصلهٔ قبلی، نیروی بین دو بار چند $F$ می‌شود؟**

۱) $\frac{3}{4}$ ۲) $\frac{4}{3}$ ۳) $\frac{9}{16}$ ۴) $\frac{16}{9}$

**پاسخ:** گزینهٔ «۱»

بر اساس نکته‌ای که مطرح کردیم، در این سؤال داریم:

$$\left.\begin{matrix}q_1 = q_2 = Q \\ q'_2 = Q + \frac{Q}{2} = \frac{3}{2}Q \\ q'_1 = Q - \frac{Q}{2} = \frac{Q}{2}\end{matrix}\right\} \Rightarrow \frac{F'}{F} = \frac{|q'_1q'_2|}{|q_1q_2|}\times(\frac{r}{r'})^2 \xrightarrow[r=r']{\text{جایگذاری بارها}} \frac{F'}{F} = \frac{\frac{Q}{2}\times\frac{3}{2}Q}{Q\times Q} = \frac{3}{4}$$

**نکته:** اگر دو بار ناهمنام و هم‌اندازه باشد، هر قدر(به اندازهٔ $x$) که از یکی کم کنیم و به دیگری اضافه کنیم، هر اندازه که از بار اول کم می‌شود به همان مقدار از بار دوم نیز کم می‌شود و برای مقایسهٔ نیروی الکتریکی آن‌ها می‌توان نوشت:

$$\frac{F'}{F} = \frac{(q-x)^2}{q^2}\times(\frac{r}{r'})^2$$

**تست: دو ذره با بار الکتریکی هم‌اندازه و ناهمنام، در فاصلهٔ r بر هم نیروی F وارد می‌کنند. اگر $\frac{۱}{۲}$ بار یکی از آن‌ها را به دیگری انتقال دهیم و به اندازهٔ ۲r به فاصلهٔ آن‌ها بیفزاییم، چه نیرویی بر هم وارد می‌کنند؟**

۱) $\frac{۲}{۳}F$ ۲) $\frac{۳}{۴}F$ ۳) $\frac{۱}{۱۶}F$ ۴) $\frac{۱}{۳۶}$

پاسخ: گزینهٔ «۴»

**گام اول** چون دو بار مخالف یکدیگرند، باید این‌طوری محاسبه کنیم:

قبل از انتقال بار: $q_۱=q\ ,\ q_۲=-q$ پس از انتقال بار از یکی به دیگری: $q_۱'=\frac{۱}{۲}q\ ,\ q_۲'=\frac{۱}{۲}q+(-q)=-\frac{q}{۲}$

**گام دوم** برای مقایسهٔ نیروی بین دو بار در دو حالت داریم:

$$\frac{F'}{F}=\frac{|q_۱'q_۲'|}{|q_۱q_۲|}\times(\frac{r}{r'})^۲\xrightarrow{r'=۲r+r=۳r}\frac{F'}{F}=\frac{|\frac{۱}{۲}q\times\frac{۱}{۲}q|}{|q\times q|}\times(\frac{r}{۳r})^۲=\frac{۱}{۳۶}\Rightarrow F'=\frac{۱}{۳۶}F$$

**دو بار الکتریکی q و $-۳q$ در فاصلهٔ d، بر یکدیگر نیروی $\vec{F}$ وارد می‌کنند. اگر $-۳q$ به بار q اضافه کنیم و در راستای خط واصل دو بار، ۲d به فاصلهٔ آن‌ها بیفزاییم، نیروی الکتریکی آن‌ها چند برابر $\vec{F}$ می‌شود؟**

۱) $\frac{۲}{۹}$ ۲) $-\frac{۲}{۹}$ ۳) $\frac{۲}{۳}$ ۴) $-\frac{۲}{۳}$

پاسخ: گزینهٔ «۲»

**گام اول** از رابطهٔ مقایسه‌ای نیروی الکتریکی بین دو بار می‌توانیم استفاده کنیم و بنویسیم:

$$\frac{F'}{F}=\frac{|q_۱'||q_۲'|}{|q_۱||q_۲|}\times(\frac{r}{r'})^۲$$

در حالت اول $q_۱=q$ و $q_۲=-۳q$ اســت. اما در حالت دوم $q_۱'=-۳q+q=-۲q$ و $q_۲'=-۳q$ است. چون به فاصلهٔ اولیه به اندازهٔ ۲d اضافه شده، پس $r=d$ و $r'=d+۲d=۳d$ است. با جایگذاری در رابطهٔ فوق داریم:

$$\frac{F'}{F}=\frac{|۲q\times۳q|}{|q\times۳q|}\times(\frac{d}{۳d})^۲=\frac{۲}{۹}$$

**گام دوم** اما چون در سوال نسبت $\frac{\vec{F'}}{\vec{F}}$، یعنی مقایسهٔ بردار نیروها با یکدیگر، مدنظر است باید در نظر داشته باشیم در حالت اول نیروی دو بار جاذبه و در حالت دوم دافعه است. از این‌رو جهت نیروی وارد بر هر یک از آن‌ها در حالت دوم مخالف حالت اول می‌شود و باید بنویسیم: $\vec{F'}=-\frac{۲}{۹}\vec{F}$

**اگر بدون تغییر مقدار بارها، فاصلهٔ دو بار الکتریکی ۲۵ درصد افزایش یابد، نیروی الکتریکی بین آن‌ها چند درصد کاهش می‌یابد؟**

۱) ۲۰ ۲) ۲۵ ۳) ۳۶ ۴) ۶۴

پاسخ: گزینهٔ «۳»

$$r'=۱/۲۵r=\frac{۵}{۴}r$$

$$\frac{F'}{F}=(\frac{r}{r'})^۲\Rightarrow\frac{F'}{F}=(\frac{r}{\frac{۵}{۴}r})^۲=\frac{۱۶}{۲۵}$$

$$F'=۰/۶۴F$$

بنابراین نیرو ۳۶ درصد کاهش می‌یابد.

# پرسش‌های چهارگزینه‌ای

## قانون کولن در مورد نیروی بین دو بار

**۱۲۸۰. کدام گزینه، یکای ثابت گذردهی الکتریکی خلأ را در SI به درستی نشان می‌دهد؟**

۱) $N.m/C$ ۲) $N.m^۲/C^۲$ ۳) $C^۲/N.m^۲$ ۴) $C/N.m$

**۱۲۸۱. بار الکتریکی $q_۱$ از فاصلهٔ r بر بار الکتریکی $q_۲$ نیروی F وارد می‌کند. اگر اندازهٔ $q_۲$ چهار برابر $q_۱$ باشد، اندازهٔ نیرویی که $q_۲$ بر $q_۱$ وارد می‌کند، چند F است؟**

۱) $\frac{۱}{۴}$ ۲) ۱ ۳) ۲ ۴) ۴

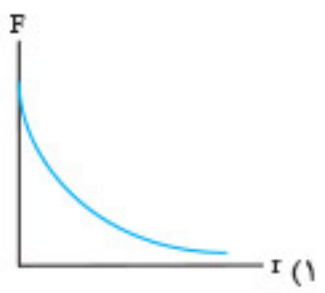
**۱۲۸۲.** دو بار الکتریکی نقطه‌ای $q_1$ و $q_2 = 5q_1$ در فاصلهٔ $3m$ از هم قرار دارند و نیروی دافعهٔ $0/02N$ به یکدیگر وارد می‌کنند. $q_1$ چند میکروکولن است؟ $(k = 9\times10^9 N.m^2/C^2)$ (تجربی خارج ۹۱)

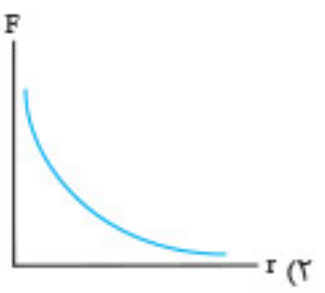
۱) ۱۰ ۲) ۵ ۳) ۴ ۴) ۲

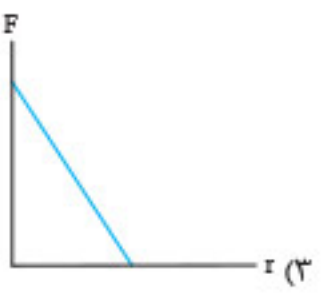
**۱۲۸۳.** در اتم هلیم فرض کنید فاصلهٔ دو پروتون هسته از یکدیگر $2\times10^{-15}m$ و فاصلهٔ یکی از الکترون‌های اتم تا پروتون‌های هسته $2\times10^{-10}m$ باشد. نیروی الکتریکی ربایشی بین پروتون و الکترون مدار تقریباً چند برابر نیروی الکتریکی رانشی بین دو پروتون درون هسته است؟ $(e = 1/6\times10^{-19}C)$، $(k = 9\times10^9 N.m^2/C^2)$ (برگرفته از کتاب درسی)

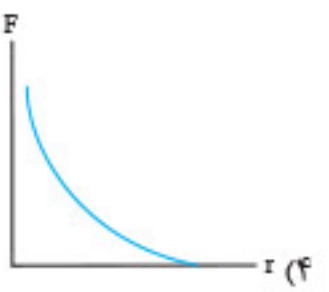
۱) $10^{10}$ ۲) $10^5$ ۳) $10^{-5}$ ۴) $10^{-10}$

**۱۲۸۴.** نمودار نیروی الکتریکی بین دو بار نقطه‌ای برحسب فاصلهٔ بین دو بار، مطابق کدام گزینه است؟ (برگرفته از کتاب درسی)

۱) 


۲) 


۳) 


۴) 


**۱۲۸۵.** دو ذره با بارهای الکتریکی $q_1$ و $q_2$ در فاصلهٔ $30cm$ از یکدیگر ثابت شده‌اند و بر هم نیروی $F$ وارد می‌کنند. این دو بار الکتریکی از فاصلهٔ چند سانتی‌متری بر هم نیروی $4F$ وارد می‌کنند؟

۱) ۲۴ ۲) ۱۲ ۳) ۷/۵ ۴) ۱۵

**۱۲۸۶.** نیروی بین دو بار الکتریکی $q_1$ و $q_2$ که به فاصلهٔ $r$ از یکدیگر قرار دارند $F$ است. اگر اندازهٔ یکی از بارها و همچنین فاصلهٔ بین دو بار نیز، نصف شود نیروی بین آن‌ها چند برابر می‌شود؟ (ریاضی خارج ۸۷)

۱) ۱ ۲) ۲ ۳) $\frac{1}{2}$ ۴) $\frac{3}{2}$

**۱۲۸۷.** اگر اندازهٔ بارهای هر یک از دو بار الکتریکی نقطه‌ای را ۳ برابر کنیم و فاصلهٔ بین آن‌ها را نیز ۳ برابر کنیم، نیروی الکتریکی بین آن‌ها چند برابر می‌شود؟ (ریاضی ۹۸)

۱) $\frac{1}{3}$ ۲) ۱ ۳) ۳ ۴) ۹

**۱۲۸۸.** دو بار الکتریکی هم‌اندازهٔ $q$ در فاصلهٔ $r$ از یکدیگر نیروی $F$ بر هم وارد می‌کنند. اگر به هر یک از بارها ٪۱۰ آن‌ها را بیافزاییم و فاصلهٔ دو بار را به $2r$ برسانیم، نیروی بین دو بار چند $F$ می‌شود؟

۱) ۴/۸۴ ۲) ۰/۱ ۳) ۱/۲۱ ۴) ۰/۳۰۲۵

**۱۲۸۹.** دو بار نقطه‌ای $q$ در فاصلهٔ $r$ نیروی $F$ را به هم وارد می‌کنند. چند درصد از یکی از بارها را برداریم و به دیگری اضافه کنیم، تا وقتی فاصلهٔ دو بار ۲۵ درصد افزایش یابد، نیرویی که به هم وارد می‌کنند، ۵۲ درصد کاهش یابد؟ (تجربی خارج ۹۷)

۱) ۲۵ ۲) ۵۰ ۳) ۴۰ ۴) ۷۵

**۱۲۹۰.** دو بار الکتریکی نقطه‌ای $q_1 = 2\mu C$ و $q_2 = -2\mu C$ به فاصلهٔ $r$ از یکدیگر قرار دارند. اگر نصف یکی از بارها را برداریم و به دیگری اضافه کنیم و دو بار را به فاصلهٔ $\frac{r}{2}$ از هم قرار دهیم، بزرگی نیرویی که دو بار به یکدیگر وارد می‌کنند، در مقایسه با حالت قبل چند برابر می‌شود؟

۱) ۱ ۲) ۳ ۳) $\frac{1}{4}$ ۴) $\frac{1}{16}$

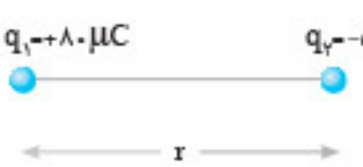
**۱۲۹۱.** دو بار همنام $q$ در فاصلهٔ $r$ از هم به یکدیگر نیروی $F$ را وارد می‌کنند. چند درصد از بار یکی بکاهیم و به دیگری بیفزاییم تا در همان فاصلهٔ قبلی نیروی بین آن‌ها $\frac{24}{25}F$ گردد؟

۱) ۵ ۲) ۴ ۳) ۲۵ ۴) ۲۰

**۱۲۹۲.** اگر اندازهٔ هریک از دو باری که به هم نیرو وارد می‌کنند، ۶۰ درصد کاهش یافته و فاصلهٔ بین آن‌ها نیز ۲۰ درصد کاهش یابد، نیروی الکتریکی‌ای که به هم وارد می‌کنند چند درصد تغییر می‌کند؟

۱) ۲۵ ۲) ۵۰ ۳) ۷۵ ۴) ۸۰

**۱۲۹۳.** مطابق شکل مقابل، دو بار الکتریکی در فاصلهٔ $r$، نیروی جاذبهٔ $F$ را بر یکدیگر وارد می‌کنند. اگر با ثابت بودن فاصله، ۲۵ درصد از بار $q_1$ را به $q_2$ انتقال دهیم، نیروی جاذبهٔ بین دو بار چند درصد و چگونه تغییر می‌کند؟ (تجربی خارج ۹۸)




۱) ۲۵، کاهش ۲) ۲۵، افزایش ۳) ۵۵، کاهش ۴) ۵۵، افزایش

**۱۲۹۴.** دو بار الکتریکی همنام $q_1 = 8\mu C$ و $q_2$ در فاصلهٔ $r$، نیروی $F$ را بر هم وارد می‌کنند. اگر ٪۲۵ از بار $q_1$ را برداشته به $q_2$ اضافه کنیم، بدون تغییر فاصلهٔ بارها نیروی متقابل بین آن‌ها ٪۵۰ افزایش می‌یابد. مقدار اولیهٔ $q_2$ چند میکروکولن است؟ (ریاضی ۸۹)

۱) ۱ ۲) ۲ ۳) ۳ ۴) ۴

**۱۲۹۵.** دو بار الکتریکی نقطه‌ای مثبت و هم‌اندازه در یک فاصلهٔ معین از یکدیگر به هم نیروی ۲۰N وارد می‌کنند. چنانچه از یکی از آن‌ها $3\mu C$ کاسته و به دیگری بیفزاییم، در همان فاصله نیروی ۱۵N به هم وارد می‌کنند. اندازهٔ بار اولیهٔ هر یک، چند میکروکولن بوده است؟

۱) ۴ ۲) ۰/۴ ۳) ۶ ۴) ۰/۶

**۱۲۹۶.** مطابق شکل زیر، بارهای الکتریکی مثبت و هم‌اندازهٔ q در جای خود ثابت شده‌اند و به یکدیگر نیروی الکتریکی به بزرگی F وارد می‌کنند. اگر تعدادی الکترون از جسم A به جسم B منتقل کنیم تا بار جسم B برابر $-2q$ شود، در این صورت بزرگی نیرویی که دو ذره به هم وارد می‌کنند، چند برابر F می‌شود؟ (تجربی خارج ۱۴۰۰)

۱) ۲ ۲) ۴ ۳) ۶ ۴) ۸

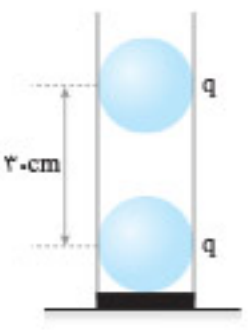
**۱۲۹۷.** بار الکتریکی نقطه‌ای $q_1$ و بار $q_2 = 2q_1$ در فاصلهٔ r از یکدیگر قرار دارند و به هم نیروی دافعه وارد می‌کنند. چند درصد از بار $q_2$ را به $q_1$ منتقل کنیم تا در همان فاصله، نیروی دافعهٔ بین بارهای الکتریکی بیشینه شود؟ (ریاضی خارج ۹۵)

۱) ۱۵ ۲) ۲۵ ۳) ۴۰ ۴) ۵۰

**۱۲۹۸.** بار الکتریکی $q_A = q$ بر بار $q_B = -2q$ در فاصلهٔ d از یکدیگر نیروی $\vec{F}$ را وارد می‌کند. اگر به اندازهٔ 3q به بار $q_B$ اضافه کنیم و در راستای خط واصل دو بار، 2d به فاصلهٔ بین دو بار بیفزاییم، بار $q_A$ چه نیرویی بر بار دیگر وارد می‌کند؟

۱) $\frac{\vec{F}}{8}$ ۲) $\frac{\vec{F}}{18}$ ۳) $-\frac{\vec{F}}{8}$ ۴) $\frac{-\vec{F}}{18}$

**۱۲۹۹.** در شکل روبه‌رو دو گلولهٔ کوچک باردار با جرم ۱۰g و بار q درون یک ظرف استوانه‌ای عایق قرار دارند و اصطکاک با دیواره ناچیز است، مقدار q چند میکروکولن است؟ $(k = 9\times10^9 N\cdot m^2/C^2 \ , \ g = 10 m/s^2)$




۱) $10^{-6}$
۲) $10^{-3}$
۳) ۱
۴) $10^6$

**۱۳۰۰.** در شکل مقابل دو گلولهٔ کوچک عایق، دارای بارهای $q_1 = 4\mu C$ و $q_2 = -2\mu C$ در فاصلهٔ 20cm از هم قرار دارند. اگر جرم هر گلوله 40g باشد، نیروی کشش نخ (T) چند نیوتون است؟ ( $g = 10 N/kg$ و جرم نخ ناچیز است و $k = 9\times10^9 N.m^2/C^2$ )

۱) ۱/۸ ۲) ۰/۴
۳) ۲/۲ ۴) ۱/۴

## تماس گلوله‌های فلزی

**۱۳۰۱.** دو گلولهٔ کوچک رسانا و هم‌اندازه، با بار الکتریکی $q_1 = 4\mu C$ و $q_2 = -6\mu C$ در فاصلهٔ d از یکدیگر، نیروی الکتریکی با بزرگی F را بر یکدیگر وارد می‌کنند. اگر دو گلوله را با هم تماس دهیم و آن‌ها را در فاصلهٔ $\frac{d}{2}$ از یکدیگر قرار دهیم، بزرگی نیروی الکتریکی بین آن‌ها چند F خواهد شد؟ (برگرفته از کتاب درسی)

۱) $\frac{25}{6}$ ۲) $\frac{25}{12}$ ۳) $\frac{1}{3}$ ۴) $\frac{1}{6}$

**۱۳۰۲.** دو کرهٔ فلزی مشابه دارای بارهای الکتریکی $q_1 = +5\mu C$ و $q_2 = +15\mu C$ در فاصلهٔ r، نیروی F بر یکدیگر وارد می‌کنند. اگر این دو کره را در یک لحظه با یکدیگر تماس دهیم، به طوری که فقط بین دو کره مبادلهٔ بار صورت گیرد و مجدداً به همان فاصلهٔ قبلی برگردانیم، نیروی دافعهٔ بین دو کره چگونه تغییر می‌کند؟ (تجربی ۹۱)

۱) ۲۵ درصد افزایش می‌یابد.
۲) ۲۵ درصد کاهش می‌یابد.
۳) تقریباً ۳۳ درصد کاهش می‌یابد.
۴) تقریباً ۳۳ درصد افزایش می‌یابد.

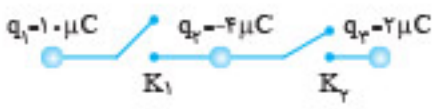
**۱۳۰۳.** دو گلولهٔ فلزی کوچک و مشابه که دارای بار الکتریکی می‌باشند، از فاصلهٔ 30cm، نیروی جاذبهٔ 4N بر یکدیگر وارد می‌کنند. اگر این دو گلوله را به هم تماس دهیم، بار الکتریکی هرکدام $+3\mu C$ خواهد شد. بار اولیهٔ گلوله‌ها برحسب میکروکولن کدام است؟ $(k = 9\times10^9 N.m^2/C^2)$ (ریاضی ۹۴)

۱) ۱۲ و ۶− ۲) ۱۰ و ۴− ۳) ۹ و ۳− ۴) ۸ و ۲−

**۱۳۰۴.** دو کرهٔ فلزی خیلی کوچک و مشابه دارای بار الکتریکی ناهمنام $q_1 > 0$ و $|q_2| > |q_1|$ هستند و در فاصلهٔ ۶۰ سانتی‌متری هم قرار دارند و بر هم نیروی الکتریکی ۰/۹ N وارد می‌کنند. اگر کره‌ها را به هم تماس دهیم و دوباره به همان فاصلهٔ قبلی از هم دور کنیم، نیروی الکتریکی ۱/۶ نیوتون به هم وارد می‌کنند. $q_1$ چند میکروکولن است؟ $(k = 9\times10^9 N.m^2/C^2)$ (تجربی خارج ۹۹)

۱) ۱ ۲) ۲ ۳) ۱۰ ۴) ۲۰

**۱۳۰۵.** در شکل مقابل سه گلولهٔ رسانا و مشابه یکدیگر قرار دارند و بارهای الکتریکی $q_1 = 10\mu C$ و $q_2 = -4\mu C$ و $q_3 = 2\mu C$ به‌طور یکنواخت در آن‌ها پخش شده است. اگر کلید $K_1$ را ببندیم و سپس باز کنیم و بعد از این، کلید $K_2$ را ببندیم و سپس باز کنیم، نیروی الکتریکی که گلولهٔ (۳) بر گلولهٔ (۲) وارد می‌کند، چند برابر می‌شود؟




۱) ۱ ۲) $\frac{5}{8}$ ۳) $\frac{6/25}{8}$ ۴) $\frac{3/5}{8}$

**۱۳۰۶.** دو گوی رسانای کوچک و یکسان دارای بار الکتریکی $q_1 < 0$ و $|q_2| > q_1$ هستند و در فاصلهٔ معینی از هم قرار دارند و نیروی الکتریکی $F$ را به هم وارد می‌کنند. اگر دو گوی را با هم تماس دهیم و در همان فاصله قرار دهیم، نیروی الکتریکی که به هم وارد می‌کنند، ۲۰ درصد کاهش می‌یابد. $\frac{|q_2|}{q_1}$ کدام است؟ (ریاضی ۱۴۰۰)

۱) ۲ ۲) ۴ ۳) ۵ ۴) ۱۰

**۱۳۰۷.** دو کرهٔ رسانای مشابه داریم که بار همنام دارند و در فاصله $r$ به هم نیروی $F$ وارد می‌کنند. اگر آن‌ها را به هم تماس‌داده و در همان فاصلهٔ قبل قرار دهیم، به هم نیروی $F'$ وارد می‌کنند، کدام گزینه صحیح است؟

۱) $F' = F$ ۲) $F' > F$ ۳) $F' \geq F$ ۴) $F' \leq F$

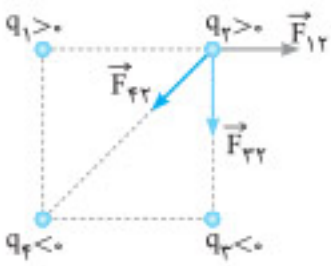
**۱۳۰۸.** دو کرهٔ رسانای کوچک و مشابه باردار، دارای بار مخالف بوده و در فاصله $d$ به هم نیروی $F$ وارد می‌کنند. اگر این دو کره را به هم تماس داده و در همان فاصلهٔ $d$ از هم قرار گیرند به هم نیروی $F'$ وارد می‌کنند، کدام گزینه برای مقایسهٔ نیروی $F$ و $F'$ درست است؟

۱) $F' < F$ ۲) $F' > F$ ۳) $F' = F$ ۴) هر سه گزینه می‌توانند درست باشند.

# ایستگاه ۳: برهم نهی نیروهای الکتروستاتیکی در یک بُعد

اگر $n$ ذرهٔ باردار الکتریکی به هم نیروی الکتریکی وارد کنند، بر هر ذره از طرف ذرات دیگر، $n-1$ نیروی الکتریکی اثر می‌کند. از آن‌جا که نیروی الکتریکی کمیتی برداری است، برای محاسبهٔ نیروی خالص (برایند) وارد بر هر ذرهٔ باردار باید از قواعد جمع برداری نیروهای وارد بر آن ذرهٔ باردار استفاده کنیم.

مثلاً در شکل مقابل، چهار بار الکتریکی در چهار رأس مربع بر یکدیگر نیرو وارد می‌کنند. در این‌جا تنها نیروهایی که بر بار $q_2$ وارد می‌شود را رسم کرده‌ایم. پس نیروهای خالص (برایند) وارد بر بار $q_2$ از جمع برداری سه نیرو به‌دست می‌آید:




$$\vec{F}_{T_2} = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{32} + \vec{F}_{42}$$

**اصل بر هم نهی نیروهای الکتروستاتیکی بیان می‌کند:**

«نیروی الکتریکی (خالص) وارد بر هر ذره، برایند نیروهایی است که هر یک از ذره‌های دیگر در غیاب سایر ذره‌ها بر آن وارد می‌کند.»

برای محاسبهٔ برایند چند نیروی الکتریکی روش‌های گوناگونی می‌تواند وجود داشته باشد که به حالت‌های بردارها نسبت به هم مربوط می‌شود. در این کتاب چگونگی محاسبهٔ برایند نیروی الکتریکی (خالص) را در دو حالت بررسی و بیان می‌کنیم:

## برهم نهی نیروهای الکتریکی در یک بُعد

اگر نیروهای وارد بر ذره، در یک راستا و روی یک محور مانند $x$ (یا $y$) قرار داشته باشند: برای جمع برداری آن‌ها، نیروهایی را که در جهت $+x$ هستند با علامت مثبت و نیروهایی را که در جهت $-x$ قرار دارند با علامت منفی در نظر می‌گیریم و آن‌ها را جمع (جبری) می‌کنیم.

مثلاً در شکل مقابل، فرض کنید نیروهای $\vec{F}_1$، $\vec{F}_2$ و $\vec{F}_3$ بر بار $q$ اثر می‌کنند. برای محاسبهٔ نیروی خالص وارد بر بار $q$ می‌توان نوشت:

$$\vec{F}_T = F_1\vec{i} + F_2\vec{i} - F_3\vec{i} \Rightarrow \vec{F}_T = (F_1 + F_2 - F_3)\vec{i}$$

دقت کنید که $\vec{F}_T$ (که گاهی آن را با $F_{net}$ نیز نمایش می‌دهیم) بردار نیروی خالص است و $F_1$، $F_2$ و $F_3$ بزرگی نیروهای $\vec{F}_1$، $\vec{F}_2$ و $\vec{F}_3$ هستند.

**تست:** سه بار الکتریکی ذره‌ای $q_A = q_B = -q_C = 10\mu C$ به ترتیب در مکان‌های $x_A = 0$ و $x_B = 6cm$ و $x_C = -6cm$ قرار دارند. نیروی خالص الکتریکی وارد بر بار $q_B$ چند نیوتون است؟ $(k = 9\times10^9 N.m^2/C^2)$

۱) $-187/5\vec{i}$ ۲) $-250\vec{i}$ ۳) $62/5\vec{i}$ ۴) $187/5\vec{i}$

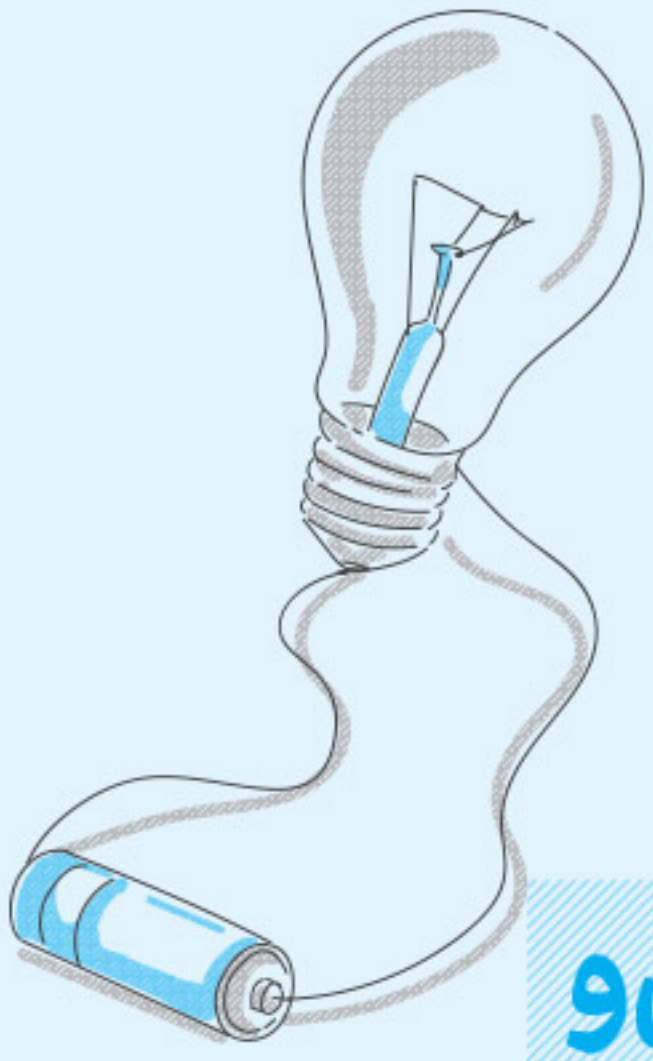
پاسخ: گزینهٔ «۴»

طبق مراحل زیر عمل می‌کنیم:

**گام اول** بار مورد نظر، $q_B$ است.

**گام دوم** نیروهای الکتریکی وارد بر $q_B$ را مطابق شکل رسم می‌کنیم:

فصل ۲



# جریان الکتریکی و مدارهای جریان مستقیم

## ایستگاه‌های آموزشی


۱. جریان الکتریکی — ۱۲ تست
۲. مقاومت الکتریکی و قانون اُهم — ۱۳ تست
۳. عوامل مؤثر بر مقاومت الکتریکی رسانا — ۲۰ تست
۴. اثر دما بر مقاومت الکتریکی — ۱۵ تست
۵. آشنایی با انواع مقاومت‌ها — ۱۵ تست
۶. نیروی محرکهٔ الکتریکی و مدارهای تک حلقهٔ ساده — ۳۰ تست
۷. مدار تک‌حلقه با بیش از یک باتری — ۱۶ تست
۸. توان در مدارهای الکتریکی — ۲۶ تست
۹. توان خروجی منبع نیروی محرکهٔ الکتریکی — ۲۴ تست
۱۰. به هم بستن متوالی مقاومت‌ها — ۱۴ تست
۱۱. قاعدهٔ انشعاب و به هم بستن موازی مقاومت‌ها — ۱۲۸ تست
۱۲. حداکثر توان قابل تحمل — ۴ تست


## آزمون‌ها


آزمون مبحثی ۱ — ۱۰ تست
آزمون مبحثی ۲ — ۱۰ تست
آزمون پایانی فصل — ۲۰ تست
هایپرتست — ۱۸ تست

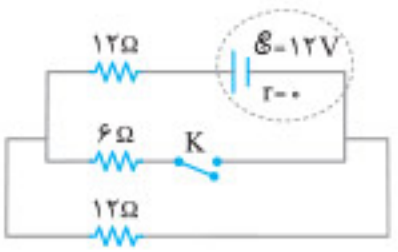

**مشاوره:** با توجه به تست های مطرح شده در کنکور می‌توان این فصل را به ۳ بخش تقسیم کرد:

بخش ۱: این بخش که از ایستگاه ۱ تا ۵ می باشد شامل مفاهیم جریان الکتریکی، مقاومت الکتریکی و عوامل مؤثر بر مقاومت و ... می‌باشد که با حل تست‌های مطرح شده در ایستگاه‌ها می‌توانیدبه تسلط کافی برسید.

بخش ۲: این بخش شامل مدار تک حلقه، ولت‌سنج، آمپرسنج، توان و ... می‌باشد. (ایستگاه ۶ - ۱۰) برای تسلط در این قسمت باید تست‌های متنوع حل شود و در محاسبات دقت فراوان داشت.

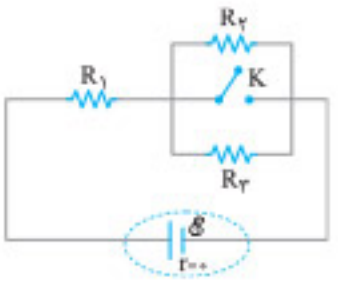
بخش ۳: شامل به هم بستن مقاومت‌ها و تحلیل ولتاژ، جریان و توان در مدارهای مختلف می‌باشد در این قسمت تشخیص سری و موازی مدار و استفاده از ویژگی آنها بسیار مهم می‌باشد. حل تست‌های متنوع در سطوح مختلف بسیار مهم می‌باشد.

**۱۹۷۵. در مدار مقابل، با بستن کلید، توان مصرفی مدار چگونه تغییر می‌کند؟** (تجربی خارج ۹۷)



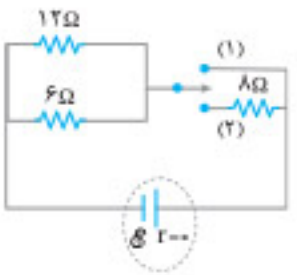

۱) ۳ وات کم می‌شود.
۲) ۶ وات کم می‌شود.
۳) ۳ وات زیاد می‌شود.
۴) ۶ وات زیاد می‌شود.

**۱۹۷۶. در مدار داده‌شده، با بستن کلید K، توان مصرفی مقاومت $R_1$ چند برابر می‌شود؟ $(R_1 = R_2 = R_3 = R)$**



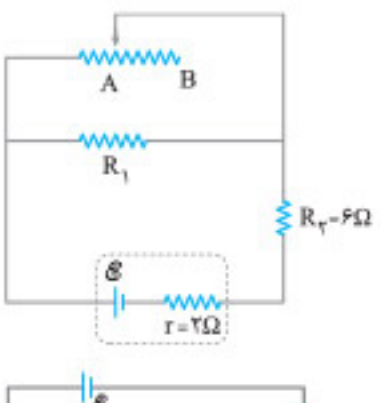

۱) $\frac{۲}{۳}$
۲) $\frac{۴}{۹}$
۳) $\frac{۳}{۲}$
۴) $\frac{۹}{۴}$

**۱۹۷۷. در مدار شکل مقابل، ابتدا کلید در حالت (۱) قرار دارد و توان خروجی باتری $P_1$ است. اگر کلید در حالت (۲) قرار گیرد، توان خروجی باتری $P_2$ می‌شود. $\frac{P_2}{P_1}$ چقدر است؟** (ریاضی خارج ۹۹)



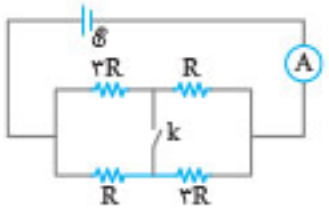

۱) ۲
۲) $\frac{۲}{۳}$
۳) $\frac{۱}{۲}$
۴) $\frac{۱}{۳}$

**۱۹۷۸. در مدار روبه‌رو، وقتی لغزندهٔ رئوستا از نقطهٔ A به نقطهٔ B برده شود، توان مصرفی مقاومت $R_1$ و توان خروجی مولد به ترتیب چه تغییری می‌کنند؟** (ریاضی ۹۶)




۱) کاهش ـ افزایش
۲) کاهش ـ کاهش
۳) افزایش ـ کاهش
۴) افزایش ـ افزایش

**۱۹۷۹. در مدار شکل مقابل، آمپرسنج آرمانی ۱/۲ آمپر را نشان می‌دهد. اگر کلید را وصل کنیم، از مسیر کلید، جریان الکتریکی چند آمپر می‌گذرد؟** (ریاضی خارج ۱۴۰۰)




۱) ۰/۲
۲) ۰/۴
۳) ۰/۶
۴) ۰/۸

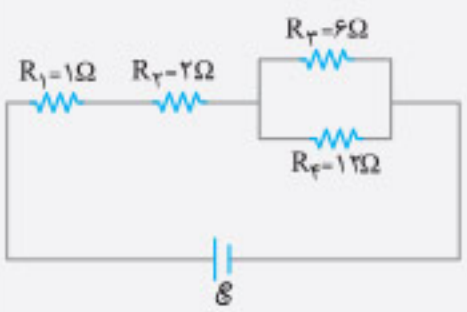
# ایستگاه ۱۲: حداکثر توان قابل تحمل

برای تعیین مقاومتی که بیشترین توان مصرفی در مدار را دارد، موارد زیر را انجام می‌دهیم:

۱ با توجه به قاعدهٔ تقسیم جریان، جریان عبوری از هر مقاومت را برحسب پارامتر x محاسبه می‌کنیم.

۲ توان هر یک از مقاومت‌ها را با استفاده از رابطهٔ $P = RI^2$ محاسبه و با هم مقایسه می‌کنیم تا بیشترین توان مصرفی هر مقاومت را به دست آوریم.

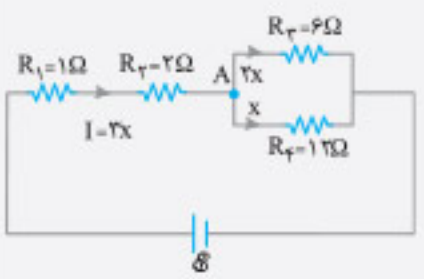
**تست: در مدار شکل روبه‌رو، اگر هیچ‌یک از مقاومت‌ها آسیب نبینند، توان مصرفی کدام مقاومت از بقیه بیشتر است؟**




۱) $R_1$
۲) $R_2$
۳) $R_3$
۴) $R_4$

پاسخ: گزینهٔ «۳»

کافی است جریان گذرنده از تک‌تک مقاومت‌ها را برحسب x حساب کرده و توان مصرفی آن‌ها را به‌دست می‌آوریم و با هم مقایسه کنیم. جریان عبوری از مقاومت $R_4 = 12\Omega$ را برابر x می‌گیریم و جریان بقیهٔ مقاومت‌ها را براساس آن مشخص می‌کنیم:




$$\frac{I_{R_3}}{I_{R_2}} = \frac{R_3}{R_4} \Rightarrow \frac{x}{I_{R_2}} = \frac{6}{12} \Rightarrow I_{R_2} = 2x$$

قاعدهٔ انشعاب در گرهٔ A: $I = I_{R_2} + I_{R_3} = x + 2x = 3x$

حالا با استفاده از رابطهٔ $P = RI^2$، توان مصرفی هرکدام از مقاومت‌ها را محاسبه می‌کنیم:

$$P_{R_1} = 1\times(3x)^2 = 9x^2$$
$$P_{R_2} = 2\times(3x)^2 = 18x^2$$
$$P_{R_3} = 6\times(2x)^2 = 24x^2$$
$$P_{R_4} = 12\times(x)^2 = 12x^2$$

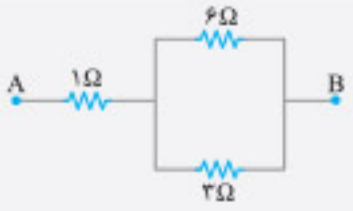
بنابراین مقاومت $R_3$، توان بیشتری نسبت به بقیه مصرف می‌کند.

**نکته:** برای محاسبهٔ بیشترین توان مصرفی در مدار، ابتدا باید مقاومتی که بیشترین توان مصرفی را دارد مشخص کنیم و سپس مراحل زیر را انجام دهیم:

۱) توان مقاومتی که دارای بیشترین توان مصرفی است را برابر با حداکثر توان قابل تحمل داده‌شده توسط مسئله قرار می‌دهیم و توان مصرفی مقاومت‌های دیگر را برحسب آن محاسبه می‌کنیم.

۲) با توجه به این‌که توان کل برابر با مجموع توان تک‌تک مقاومت‌هاست، حداکثر توان قابل تحمل در مدار را به دست می‌آوریم.

**تست: در مدار روبه‌رو، حداکثر توان قابل تحمل هر یک از مقاومت‌های مدار برابر ۱۲W است. حداکثر توانی که می‌توان بین نقطه‌های A و B گرفت تا هیچ‌یک از مقاومت‌ها آسیب نبینند، چند وات است؟**



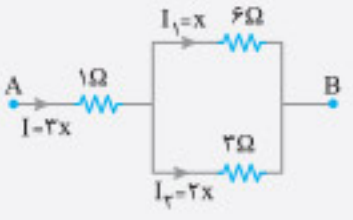

۱) ۱۸ ۲) ۲۴

۳) ۳۶ ۴) ۲۷

پاسخ: گزینهٔ «۴»

**گام اول** باید مقاومتی که بیشترین توان را مصرف می‌کند، بیابیم. به همین منظور، جریان هر سه مقاومت را بر حسب $x$ مشخص و سپس با استفاده از رابطهٔ $P = RI^2$ توان مصرفی مقاومت‌ها را به‌دست آورده و با هم مقایسه می‌کنیم.

اگر جریان مقاومت $R_1 = 6\Omega$ را $I_1 = x$ فرض کنیم، جریان مقاومت $R_2 = 3\Omega$ که نصف مقاومت $R_1$ و موازی با آن است برابر $I_2 = 2x$ می‌شود و جریان مقاومت $R_3 = 1\Omega$ برابر مجموع جریان‌های $I_1$ و $I_2$ یعنی، $I = x + 2x = 3x$ خواهد شد. حالا توان مصرفی مقاومت‌ها را حساب می‌کنیم:




$$\begin{cases} P_1 = R_1 I_1^2 = 6x^2 \\ P_2 = R_2 I_2^2 = 3\times(2x)^2 = 12x^2 \\ P_3 = R_3 I^2 = 1\times(3x)^2 = 9x^2 \end{cases}$$

**گام دوم** بنابراین مقاومت $R_2 = 3\Omega$ بیشترین توان را مصرف می‌کند، پس $P_2 = 12W$ قرار می‌دهیم و توان مصرفی بقیهٔ مقاومت‌ها را حساب می‌کنیم:

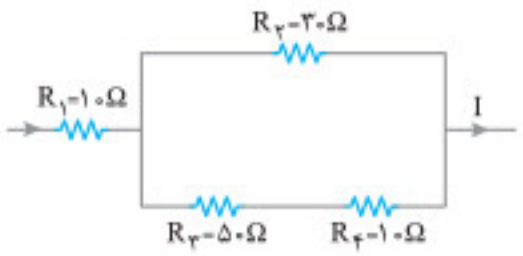
$$P_2 = 12W \Rightarrow 12x^2 = 12 \Rightarrow x^2 = 1 \Rightarrow \begin{cases} P_1 = 6x^2 = 6W \\ P_2 = 12x^2 = 12W \\ P_3 = 9x^2 = 9W \end{cases}$$

**گام سوم** در نهایت با جمع کردن توان همهٔ مقاومت‌ها، حداکثر توان قابل تحمل مدار به دست می‌آید:

$$P_{کل} = P_1 + P_2 + P_3 = 6 + 12 + 9 = 27W$$

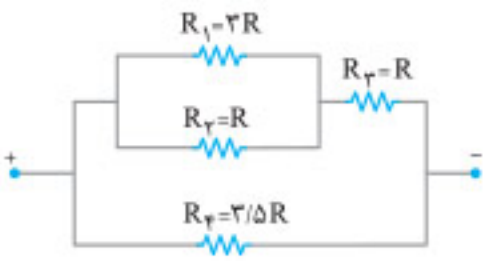
## پرسش‌های چهار گزینه‌ای

۱۹۸۰. **در شکل مقابل که قسمتی از یک مدار الکتریکی را نشان می‌دهد، توان مصرفی کدام مقاومت بیشتر است؟** (تجربی ۸۴)



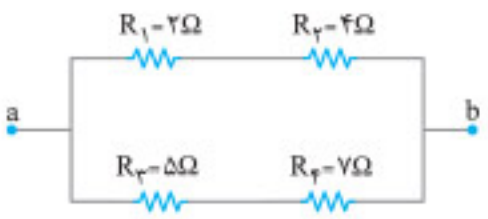

۱) $R_1$
۲) $R_2$
۳) $R_3$
۴) $R_4$

۱۹۸۱. **در مدار شکل مقابل، کدام مقاومت بیشتر از بقیه گرم می‌شود؟**



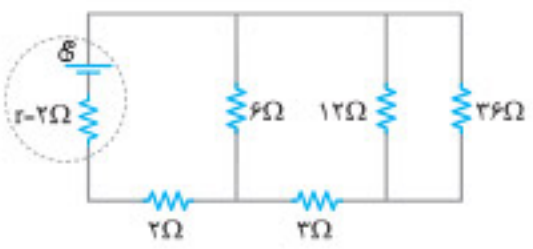

۱) $R_1$
۲) $R_2$
۳) $R_3$
۴) $R_4$

**۱۹۸۲.** در شکل مقابل، حداکثر توان الکتریکی مصرفی هر یک از مقاومت‌ها برای این‌که آسیب نبیند برابر ۱۶W است. بیشترین توان الکتریکی مصرفی بین دو نقطهٔ a و b در حالتی‌که هیچ‌یک از مقاومت‌ها آسیب نبیند، برابر چند وات است؟




۱) ۱۸
۲) ۲۴
۳) ۳۶
۴) ۴۸

**۱۹۸۳.** در مدار مقابل، اختلاف پتانسیل دو سر مقاومتی که بیشترین توان در آن تلف می‌شود، ۱۲ ولت است. $\mathcal{E}$ چند ولت است؟ (تجربی ۹۸)

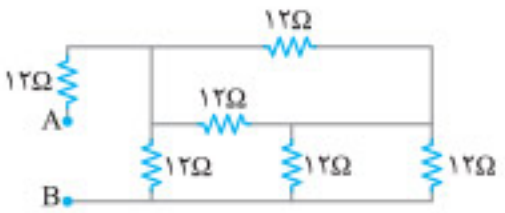



۱) ۱۲
۲) ۱۸
۳) ۲۰
۴) ۲۴

## آزمون مبحثی ۲

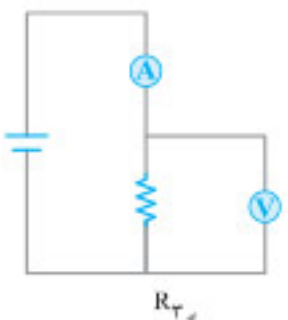
زمان پیشنهادی: ۱۳ دقیقه

**۱۹۸۴.** در شکل مقابل، مقاومت معادل بین دو نقطهٔ A و B چند اهم است؟



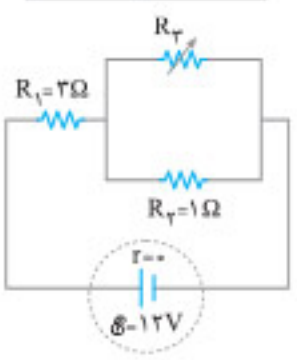

۱) ۶
۲) ۹
۳) ۱۸
۴) ۲۴

**۱۹۸۵.** در مدار شکل روبه‌رو، کدام گزینه درست است؟ (وسایل اندازه‌گیری ایده‌آل نیستند.)



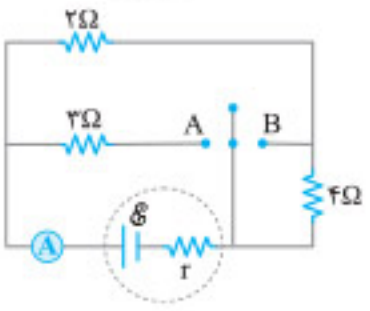

۱) اگر ولت‌سنج را حذف کنیم، آمپرسنج عدد بزرگ‌تری نشان خواهد داد.
۲) اگر آمپرسنج را حذف کنیم، ولت‌سنج عدد بزرگ‌تری نشان خواهد داد.
۳) اگر آمپرسنج را حذف کنیم، ولت‌سنج عدد کوچک‌تری نشان خواهد داد.
۴) اگر آمپرسنج و ولت‌سنج جابه‌جا شوند، آمپرسنج عدد بیشتری نشان خواهد داد.

**۱۹۸۶.** در مدار شکل روبه‌رو، اگر مقاومت متغیر $R_2$ را از صفر تا بی‌نهایت افزایش دهیم، جریان الکتریکی عبوری از مقاومت $R_2$ از ..... آمپر تا ..... آمپر تغییر می‌کند.



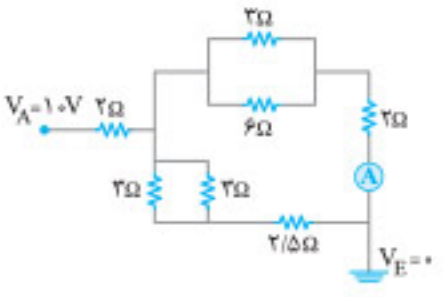

۱) ۳، صفر
۲) صفر، ۱/۵
۳) صفر، ۳
۴) ۱/۵، ۳

**۱۹۸۷.** در مدار شکل روبه‌رو، اگر کلید به نقطهٔ A وصل شود، آمپرسنج $I_A$ و اگر به نقطهٔ B وصل شود، $I_B$ را نشان می‌دهد. $\frac{I_A}{I_B}$ کدام است؟ (ریاضی خارج ۸۸)



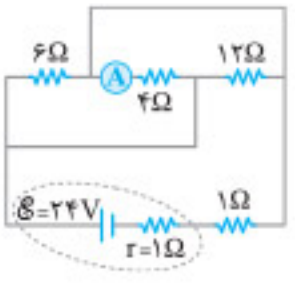

۱) ۱
۲) ۲
۳) $\frac{۱}{۲}$
۴) $\frac{۲}{۳}$

**۱۹۸۸.** شکل مقابل، قسمتی از یک مدار الکتریکی را نشان می‌دهد. آمپرسنج ایده‌آل چند آمپر را نشان می‌دهد؟



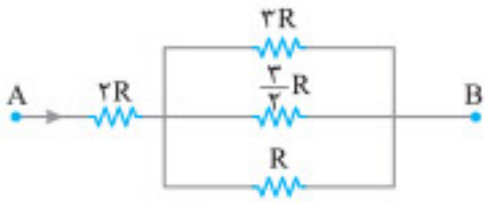

۱) ۱/۵
۲) ۲/۵
۳) ۱/۲۵
۴) ۲/۲۵

**۱۹۸۹.** در شکل روبه‌رو، آمپرسنج ایده‌آل چند آمپر را نشان می‌دهد؟



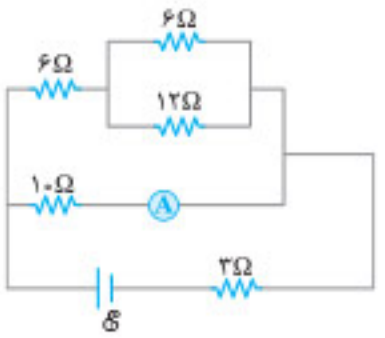

۱) $\frac{۳}{۴}$
۲) $\frac{۵}{۴}$
۳) $\frac{۳}{۲}$
۴) ۳

**۱۹۹۰.** در شکل مقابل، توان مصرفی مقاومت $2R$ چند برابر توان مصرفی مقاومت $3R$ است؟ (تجربی ۸۶)



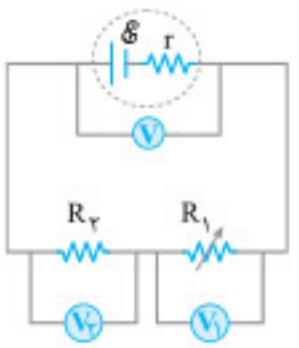

۱) ۶
۲) ۲۴
۳) $\frac{۱}{۶}$
۴) $\frac{۱}{۲۴}$

**۱۹۹۱.** در شکل مقابل، جریانی که آمپرسنج نشان می‌دهد $1\,A$ است. اگر مقاومت درونی مولد ناچیز باشد، نیروی محرکهٔ آن چند ولت است؟



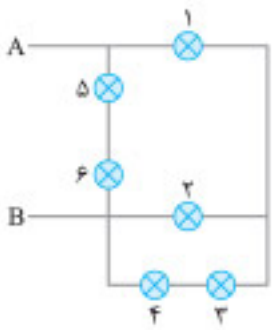

۱) ۲۰
۲) ۱۸
۳) ۱۶
۴) ۱۴

**۱۹۹۲.** در شکل مقابل، مقاومت متغیر $R_1$ را به تدریج کاهش می‌دهیم. مقادیری که $V_1$، $V$ و $V_2$ نشان می‌دهند به ترتیب از راست به چپ چگونه تغییر می‌کند؟ (ولت‌سنج‌ها ایده‌آل هستند.) (تجربی ۸۲)




۱) کاهش ـ کاهش ـ افزایش
۲) کاهش ـ افزایش ـ کاهش
۳) افزایش ـ کاهش ـ افزایش
۴) افزایش ـ کاهش ـ کاهش

**۱۹۹۳.** در مدار الکتریکی روبه‌رو، اگر اختلاف پتانسیل دو سر A و B را به‌تدریج افزایش دهیم، کدام لامپ زودتر آسیب می‌بیند؟ (لامپ‌ها کاملاً مشابه هستند.)




۱) (۱)
۲) (۲)
۳) (۳) و (۴)
۴) (۵) و (۶)

## هایپرتست

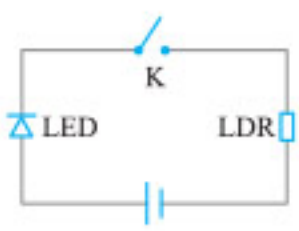
**۱۹۹۴.** معادلهٔ بار الکتریکی موجود در باتری یک خودرو به‌صورت $q = -at^2 + bt + 5$ است. در این رابطه، $t$ برحسب ساعت و $q$ برحسب آمپرساعت می‌باشد. اگر در لحظهٔ $t = 2h$ مقدار بار موجود در باتری $43\,Ah$ و در بازهٔ زمانی $t_1 = 0h$ تا $t_2 = 5h$، جریان الکتریکی متوسط خروجی از باتری $16\,A$ باشد، نسبت $\frac{a}{b}$ چقدر است؟

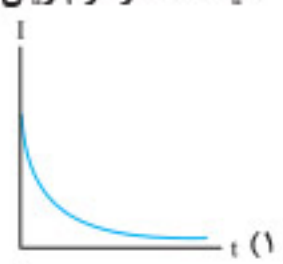
۱) $\frac{۱}{۲۱}$
۲) ۲۱
۳) $\frac{۶}{۵}$
۴) $\frac{۱}{۵}$

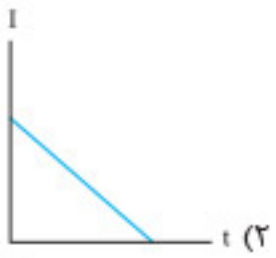
**۱۹۹۵.** یک مکعب مستطیل فلزی به ابعاد $3cm \times 4cm \times 5cm$ را به اختلاف پتانسیل $3/3 \times 10^{-4}\,V$ وصل می‌کنیم. اگر مقاومت ویژهٔ مکعب فلزی $2/2 \times 10^{-7}\,\Omega.m$ باشد، بیشترین جریان الکتریکی که از این مکعب مستطیل می‌گذرد، چند آمپر است؟

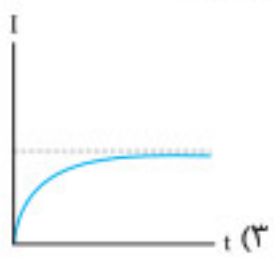
۱) ۳۶
۲) ۱۰
۳) ۱۰۰
۴) ۵۶/۲۵

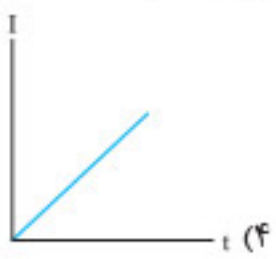
**۱۹۹۶.** در مدار شکل مقابل که در یک محیط معمولی قرار دارد، اگر فاصلهٔ مقاومت نوری از دیود نوری کم باشد، با بستن کلید K، نمودار جریان عبوری از مدار بر حسب زمان، مطابق با کدام گزینه خواهد بود؟



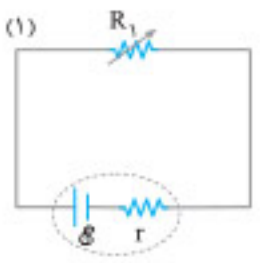

۱)


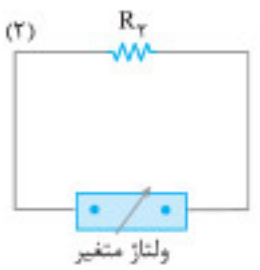

۲)


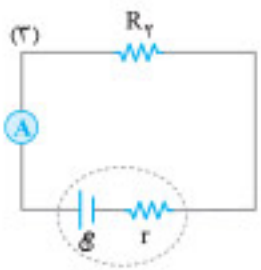

۳)


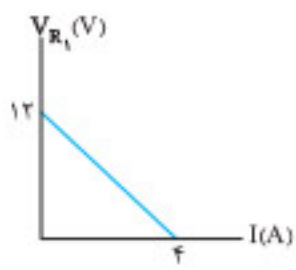

۴)


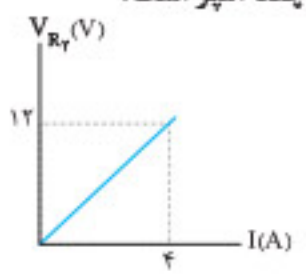
**۱۹۹۷.** نمودار ولتاژ برحسب جریان عبوری از مقاومت‌های $R_1$ و $R_2$ در مدارهای زیر رسم شده است. عددی که آمپرسنج ایده‌آل در مدار سوم نشان می‌دهد، چند آمپر است؟



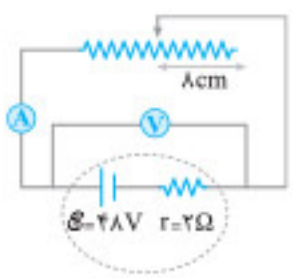



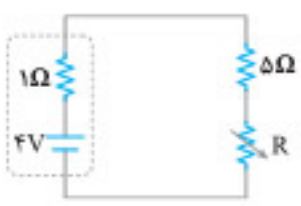

۱) ۲/۴ ۲) ۲ ۳) ۱/۲ ۴) ۱/۵

**۱۹۹۸.** در مدار شکل مقابل، حداکثر طول سیم رئوستا ۲۰cm است. هنگامی که حداکثر طول رئوستا در مدار قرار دارد، آمپرسنج ایده‌آل عدد ۴A را نشان می‌دهد. اگر لغزندهٔ رئوستا را در وضعیت نشان داده شده در شکل قرار دهیم، ولت‌سنج چند ولت را نشان می‌دهد؟




۱) ۴۸ ۲) ۳۲
۳) ۴۲ ۴) ۳۶

**۱۹۹۹.** در مداری مطابق شکل، توان مصرفی مقاومت ۵Ω برابر P است. اگر همزمان مقاومت رئوستا را ۶Ω کم کنیم و نیروی محرکهٔ مولد را نیز ۲V کاهش دهیم، توان مصرفی مقاومت ۵Ω باز هم برابر P می‌شود. مقاومت اولیهٔ رئوستا چند اهم است؟




۱) ۱ ۲) ۲۵ ۳) ۱۶ ۴) ۶

**۲۰۰۰.** در مدار شکل مقابل، توان مصرفی مقاومت متغیر برابر P است. اگر مقدار این مقاومت را ۶Ω کاهش دهیم، توان مصرفی آن پیشینه و برابر $P'$ می‌شود. در صورتی که $\frac{P'}{P}=\frac{۴}{۳}$ باشد، مقدار مقاومت درونی مولد چند اهم می‌تواند باشد؟

۱) ۶ ۲) ۳
۳) ۹ ۴) ۲

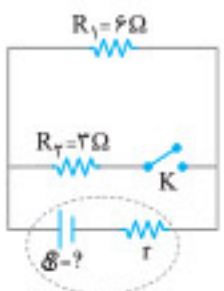
**۲۰۰۱.** در مدار شکل روبه‌رو، مقاومت رئوستا را یکبار برابر $R_1$ و بار دیگر برابر $R_2$ قرار می‌دهیم. در حالت اول با افزایش مقاومت $R_1$، توان مصرفی آن کاهش می‌یابد و در حالت دوم این توان به‌ازای افزایش $R_2$ افزایش می‌یابد. اگر مقاومت درونی در دو حالت یکسان باشد، کدام گزینه درست است؟

۱) $r>R_2, r\le R_1$ ۲) $R_1\le r\le R_2$
۳) $R_2\le r\le R_1$ ۴) $r\ge R_2, r\ge R_1$

**۲۰۰۲.** آمپرسنج غیرایده‌آل با مقاومت داخلی ۲۰Ω، حداکثر جریان ۵۰mA را می‌تواند اندازه‌گیری کند. برای این‌که با این آمپرسنج بتوان اختلاف پتانسیل ۲۰V را اندازه‌گیری کرد، باید .....

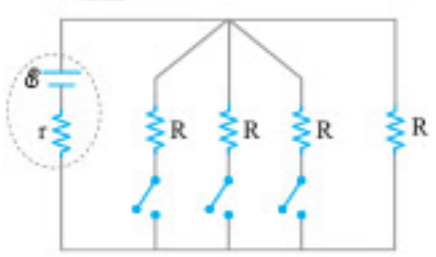
۱) مقاومت ۴۰ اهمی را به‌صورت متوالی با آن ببندیم.
۲) مقاومت ۳۸۰ اهمی را به‌صورت متوالی با آن ببندیم.
۳) مقاومت ۴۰ اهمی را موازی با آن ببندیم.
۴) مقاومت ۳۸۰ اهمی را موازی با آن ببندیم.

**۲۰۰۳.** در مدار مقابل، با بستن کلید K توان خروجی مولد بیشینه می‌گردد و قبل از بستن کلید، توان خروجی مولد ۵۴W است. نیروی محرکهٔ باتری چند ولت است؟



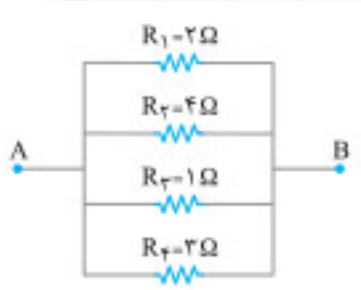

۱) ۱۶ ۲) ۱۸
۳) ۲۴ ۴) ۱۲

**۲۰۰۴.** در شکل روبه‌رو، تعدادی مقاومت مشابه به صورت موازی به هم بسته شده‌اند. با بستن کلیدها یکی پس از دیگری، توان تولیدی مولد و توان مصرفی هر مقاومت به‌ترتیب از راست به چپ چه تغییری می‌کنند؟




۱) کاهش، افزایش ۲) افزایش، کاهش
۳) کاهش، کاهش ۴) افزایش، افزایش

**۲۰۰۵.** در مدار شکل روبه‌رو، کدام‌یک از مقاومت‌ها را حذف کنیم تا مقاومت معادل مدار کمترین تغییر را داشته باشد؟

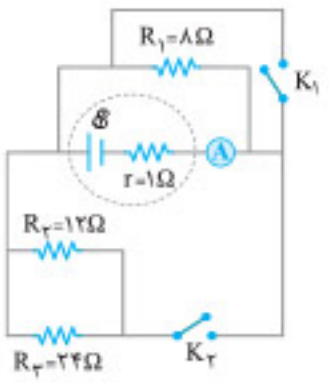



۱) $R_1$ ۲) $R_2$
۳) $R_3$ ۴) $R_4$

**۲۰۰۶.** چهار مقاومت ۴، ۵، ۸ و ۲۰ اهمی طوری به هم وصل شـــده‌اند که مقاومت معادل آن‌ها ۴Ω است. اگر دو سر مجموعه را به مولدی وصل کنیم و از مقاومت ۸ اهمی جریان ۵A عبور کند، از مقاومت ۲۰ اهمی جریان چند آمپر عبور می‌کند؟ (ریاضی خارج ۸۸)

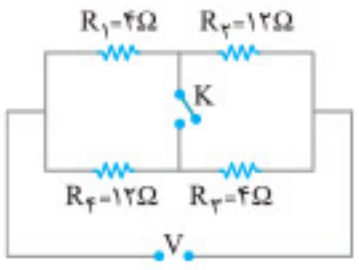
۱) ۱ ۲) ۲/۵ ۳) ۴ ۴) ۵

**۲۰۰۷.** در مدار شـــکل مقابل، اگر کلیدهای $K_1$ و $K_2$ باز باشند، آمپرسنج ۱A را نشان می‌دهد. اگر کلیدهای $K_1$ و $K_2$ بسته باشند، آمپرسنج چند آمپر را نشان می‌دهد؟



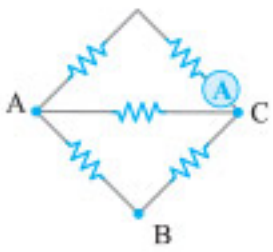

۱) ۵
۲) ۲/۲۵
۳) ۹
۴) ۱۰

**۲۰۰۸.** در مدار مقابل درصورتی که کلید باز باشد، از مقاومت $R_1$ جریان I می‌گذرد و وقتی کلید بسته است، از همان مقاومت، جریان $I'$ عبور می‌کند. نسبت $\frac{I'}{I}$ کدام است؟ (ریاضی ۹۱)



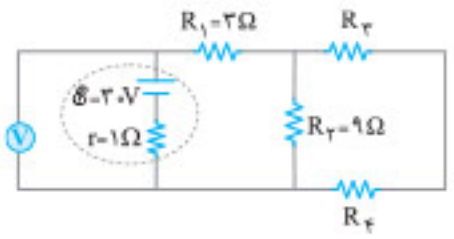

۱) ۲
۲) $\frac{۳}{۲}$
۳) $\frac{۷}{۱۹}$
۴) $\frac{۱}{۲}$

**۲۰۰۹.** در شکل مقابل، هریک از مقاومت‌ها، ۶ اهمی‌اند. یک باتری آرمانی یک بار بین دو نقطهٔ B و A و بار دوم بین دو نقطهٔ C و A بسته می‌شود. جریانی که آمپرسنج آرمانی نشان می‌دهد، در حالت دوم چند برابر حالت اول است؟ (تجربی خارج ۹۹)



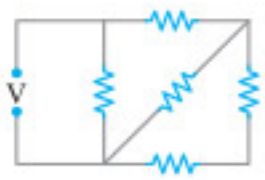

۱) $\frac{۱}{۳}$
۲) $\frac{۵}{۲}$
۳) $\frac{۵}{۳}$
۴) ۳

**۲۰۱۰.** در مدار مقابل، اگر ولت‌سنج آرمانی ۲۷ ولت را نشان دهد و توان مصرفی مقاومت $R_4$ برابر ۶ وات باشد، اندازهٔ مقاومت $R_2$ چند اهم است؟ (تجربی خارج ۹۹)




۱) ۶
۲) ۹
۳) ۱۲
۴) ۱۸

**۲۰۱۱.** در مدار مقابل، همهٔ مقاومت‌ها مشابه‌اند و هر مقاومت حداکثر توان ۲۰W را می‌تواند تحمل کند. حداکثر توان الکتریکی که ممکن است در این مدار مصرف شود تا هیچ مقاومتی آسیب نبیند، چند وات است؟ (ریاضی ۹۳)




۱) ۶۰
۲) ۴۰
۳) ۳۶
۴) ۳۲

# فصل دوم در یک نگاه

## ۱ جریان الکتریکی

۱ **مفهوم:** اگر اختلاف پتانسیل به دو سر رسانا وصل شود میدان الکتریکی درون رسانا ایجاد می‌شود که باعث حرکت الکترون آزاد در سیم و ایجاد جریان می‌شود.

۲ **سرعت سوق:** وقتی میدان الکترون درون رسانا ایجاد می‌شود، الکترون‌ها حرکت کاتوره‌ای خود را کمی تغییر می‌دهند و با سرعتی متوسط موسوم به سرعت سوق در خلاف جهت میدان به‌طور بسیار آهسته‌ای سوق پیدا می‌کنند.

۳ **جریان الکتریکی متوسط:**

$$I=\frac{\Delta q}{\Delta t}\ \begin{matrix}\to C\\ \to s\end{matrix}\ \Rightarrow \Delta q = I\,t \quad (A \leftarrow I=\frac{\Delta q}{\Delta t},\ \Delta q: Ah,\ I: A,\ t: h)$$

**جریان مستقیم:** جریانی که جهت آن با زمان تغییر نمی‌کند و مقدار آن ثابت می‌ماند.

## ۲ مقاومت الکتریکی و قانون اهم

۱ **قانون اهم:** $R=\frac{V}{I}$

مقاومت الکتریکی به اختلاف پتانسیل و جریان بستگی ندارد.

۲ **انواع رساناها:**

۱. **اهمی:** مقاومت با تغییر ولتاژ و جریان ثابت می‌ماند.

۲. **غیراهمی:** مقاومت با تغییر ولتاژ و جریان تغییر می‌کند.

۳ **عوامل مؤثر در مقاومت الکتریکی:**

رابطهٔ مقاومت با ابعاد هندسی و جنس رسانا: $R=\rho\frac{L}{A}$

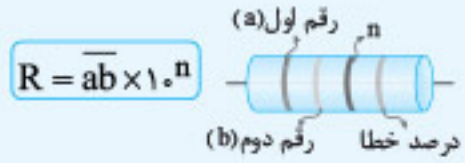
رابطهٔ مقاومت با دما:

$$\rho=\rho_1(1+\alpha\Delta T)$$
$$R_2=R_1(1+\alpha\Delta T)$$

۴ **انواع مقاومت:**

۱. **مقاومت‌های پیچه‌ای،** مانند رئوستا و پتانسیومتر

۲. **مقاومت‌های ترکیبی،**




۵ **مقاومت‌های خاص و دیودها:**

۱. **ترمیستور،** به‌عنوان حسگر دما استفاده می‌شود.

۲. **مقاومت‌های نوری (LDR)،** با افزایش شدت نور مقاومت آن کم می‌شود.

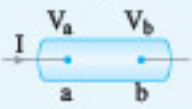
۳. **دیودها،** جریان را تنها در یک سو عبور می‌دهند.

## ۳ مدار تک حلقه

۱ **محاسبهٔ جریان:**

$$I=\frac{\text{جمع جبری نیروهای محرکهٔ باتری}}{\text{جمع کل مقاومت‌های درونی و خارجی}}$$

۲ **توان در مدار:**



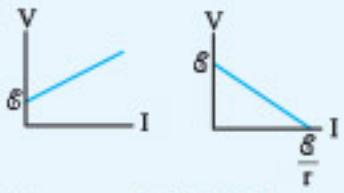

۱. $P>0$ ← این قسمت به مدار انرژی می‌دهد.

۲. $P<0$ ← این قسمت از مدار انرژی می‌گیرد.

$$P=I(V_b-V_a)$$

**توان مصرفی در مقاومت:** $P=VI=RI^2=\frac{V^2}{R}$

۳ **مولد:**




**اختلاف پتانسیل دو سر مولد:**

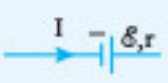
۱. جریان اصلی از قطب منفی وارد شود: $V=\mathcal{E}-Ir$

۲. جریان اصلی از قطب مثبت وارد شود: $V=\mathcal{E}+Ir$

**توان مولد:**

$P=\mathcal{E}I-rI^2$ ← توان مفید یا خروجی / توان اتلافی / توان ورودی مولد

۱. جریان اصلی از قطب منفی وارد شود:




۲. جریان اصلی از قطب مثبت وارد شود: $P=\mathcal{E}I+rI^2$

۴ **نمودار $P-I$ در مولد:**

۱. اگر $I=\frac{\mathcal{E}}{2r}$ ← $P_{max}=\frac{\mathcal{E}^2}{4r}$

۲. اگر در مدار توان خروجی مولد بیشینه باشد: $R=r$

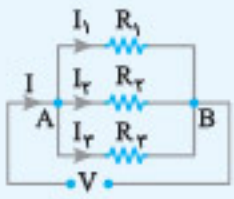
۳. اگر به ازای $R_1$ و $R_2$ در مدار توان خروجی مولد یکسان باشد، داریم: $r=\sqrt{R_1\times R_2}$

## ۴ به هم بستن مقاومت‌ها

۱. **حالت سری:**

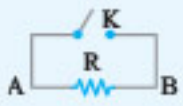
$$V=V_1+V_2+V_3$$
$$I=I_1=I_2=I_3$$
$$R_{eq}=R_1+R_2+R_3\Rightarrow R_{eq}>R_1,\ R_{eq}>R_2,\ R_{eq}>R_3$$

۲. **حالت موازی:**




$$V=V_1=V_2=V_3$$
$$I=I_1+I_2+I_3$$
$$\frac{1}{R_{eq}}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}\Rightarrow \begin{cases}R_{eq}<R_1\\ R_{eq}<R_2\\ R_{eq}<R_3\end{cases}$$

۳. **اتصال کوتاه** ← حذف می‌شود $R$ بسته $K\Rightarrow V_A=V_B\Rightarrow$



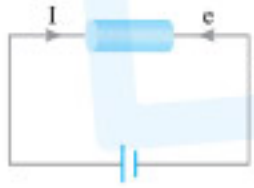
# آزمون پایانی فصل

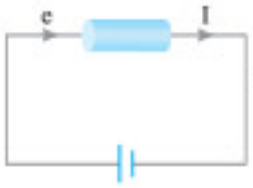
زمان پیشنهادی: ۲۵ دقیقه

**۲۰۱۲.** در کدام شکل، جهت حرکت الکترون‌ها و جهت جریان به درستی نشان داده شده است؟

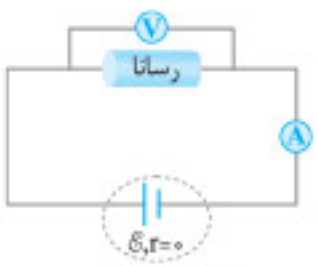
۱)


۲)


۳) 


۴) 


**۲۰۱۳.** در شکل مقابل، وقتی آمپرسنج عدد ۳A را نشان می‌دهد، ولت‌سنج عدد ۶ ولت را نشان می‌دهد و اگر عدد ولت‌سنج ۰/۴V افزایش یابد، عدد آمپرسنج فقط ۰/۲A تغییر می‌کند. این رسانا از چه نوعی است و اگر V = ۱۰V شود، آمپرسنج چه عددی را نشان می‌دهد؟

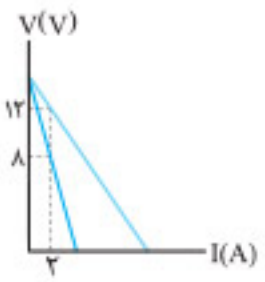



۱) اُهمی، ۳/۲A
۲) غیر اُهمی، ۵A
۳) اُهمی، ۵A
۴) غیر اُهمی، ۳/۲A

**۲۰۱۴.** سطح مقطع یک سیم استوانه‌ای فلزی همگن ۴ mm² و مقاومت الکتریکی آن برابر با ۸۰۰Ω است. سیم را ذوب کرده و از آن، سیم استوانه‌ای همگنی با مقاومت الکتریکی ۸Ω می‌سازیم. سطح مقطع این سیم جدید چند میلی‌متر مربع است؟

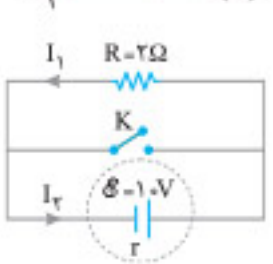
۱) ۴۰
۲) ۴۰۰
۳) ۲/۵
۴) ۲۵

**۲۰۱۵.** اختلاف پتانسیل دو سر یک باتری برحسب جریان، ابتدا هنگام خرید و سپس بعد از چند روز استفاده اندازه‌گیری شده و نمودار ولتاژ برحسب جریان در هر دو حالت رسم شده است. با توجه به این نمودارها مقاومت درونی باتری چند اُهم و چگونه تغییر کرده است؟



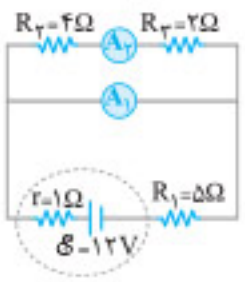

۱) ۲ اُهم افزایش یافته است.
۲) ۲ اُهم کاهش یافته است.
۳) ۴ اُهم افزایش یافته است.
۴) ۴ اُهم کاهش یافته است.

**۲۰۱۶.** در مدار مقابل، قبل از بستن کلید K، $I_1 = I_2 = 4A$ است. اگر کلید K را ببندیم، $I_1$ و $I_2$ به ترتیب از راست به چپ چه مقادیری در SI خواهند داشت؟




۱) ۲۰,۱
۲) ۴,۱
۳) صفر ، ۲۰
۴) صفر ، ۴

**۲۰۱۷.** در مدار شکل مقابل، آمپرسنج‌های ایده‌آل $A_1$ و $A_2$ به‌ترتیب از راست به چپ چند آمپر را نشان می‌دهند؟




۱) صفر، ۱
۲) ۱، صفر
۳) صفر، ۲
۴) ۲، صفر

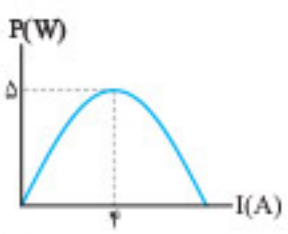
**۲۰۱۸.** مولدی را یک بار به مقاومت ۴Ω و بار دیگر به مقاومت ۹Ω وصل می‌کنیم. در هر دو حالت، در دو مقاومت در مدت معین به یک اندازه گرما تولید می‌شود. مقاومت درونی مولد چند اهم است؟

۱) ۲
۲) ۳
۳) ۴
۴) ۶

**۲۰۱۹.** دو لامپ معمولی ۱۰۰ واتی و ۲۲۰ ولتی را به طور متوالی به هم بسته و دو سر مجموعه را به ولتاژ ۲۲۰V وصل می‌کنیم. با فرض ثابت ماندن مقاومت الکتریکی آن‌ها، توان مجموعه چند وات است؟

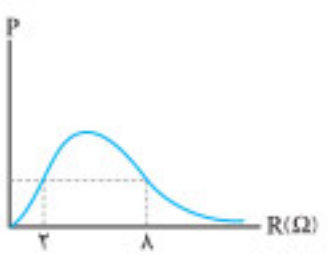
۱) ۲۵۰
۲) ۲۰۰
۳) ۱۰۰
۴) ۵۰

**۲۰۲۰.** نمودار تغییرات توان مفید یک مولد برحسب جریان الکتریکی گرفته شده از آن مطابق شکل است. نیروی محرکهٔ این مولد چند ولت است؟ (ریاضی ۸۰)



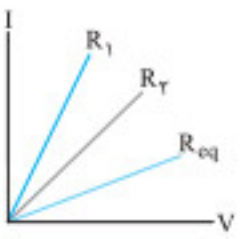

۱) ۰/۸
۲) ۱/۲
۳) ۲/۵
۴) ۵

**۲۰۲۱.** در شکل مقابل، نمودار توان خروجی یک مولد برحسب مقاومت معادل خارجی R نشان داده شده است. اگر نیروی محرکهٔ مولد ۱۶V باشد، حداکثر توان خروجی مولد چند وات است؟



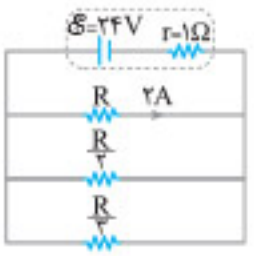

۱) ۴
۲) ۱۶
۳) ۸
۴) ۳۲

**۲۰۲۲.** شکل مقابل، نمودار تغییرات جریان الکتریکی برحسب اختلاف پتانسیل در دو سر مقاومت‌های $R_1$ ، $R_2$ و مقاومت معادل آن‌ها ($R_{eq}$) را نشان می‌دهد. کدام گزینه در مورد اندازهٔ دو مقاومت و نحوهٔ اتصال آن‌ها به یکدیگر می‌تواند صحیح باشد؟



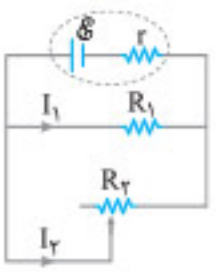

۱) $R_1 > R_2$ ـ متوالی
۲) $R_1 > R_2$ ـ موازی
۳) $R_1 < R_2$ ـ موازی
۴) $R_1 < R_2$ ـ متوالی

**۲۰۲۳.** در شکل روبه‌رو، مقاومت R چند اهم است؟



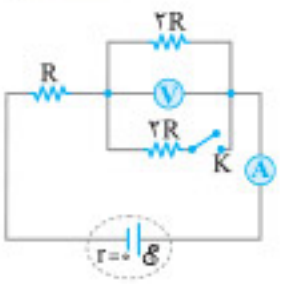

۱) ۶
۲) ۹
۳) ۱۱
۴) ۱۲

**۲۰۲۴.** در شکل مقابل، با حرکت رئوستا به سمت چپ، جریان‌های $I_1$ و $I_2$ به ترتیب از راست به چپ، چگونه تغییر می‌کند؟



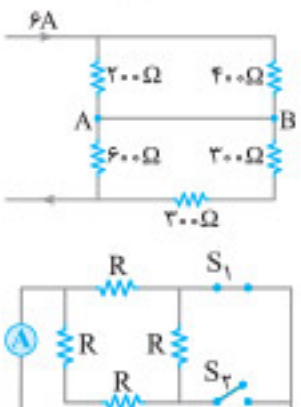

۱) افزایش ـ کاهش
۲) کاهش ـ افزایش
۳) کاهش ـ کاهش
۴) افزایش ـ افزایش

**۲۰۲۵.** در مدار شکل روبه‌رو، ابتدا کلید K باز است. اگر کلید را ببندیم، اعدادی که ولت‌سنج و آمپرسنج نشان می‌دهند به ترتیب از راست به چپ چند برابر می‌شوند؟ (ریاضی ۸۶)



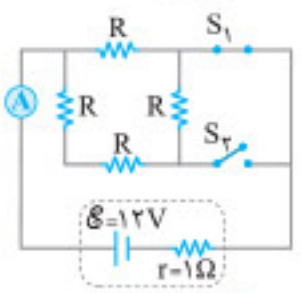

۱) صفر، ۲
۲) $\frac{۳}{۲}$ ، $\frac{۴}{۳}$
۳) $\frac{۳}{۴}$ ، $\frac{۲}{۳}$
۴) $\frac{۳}{۲}$ ، $\frac{۳}{۴}$

**۲۰۲۶.** در مدار مقابل، جریان عبوری از سیم اتصال بین A و B چند آمپر است؟ (مقاومت الکتریکی سیم‌های اتصال ناچیز است.) (ریاضی ۹۰)



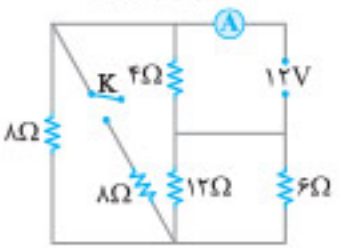

۱) صفر
۲) ۱
۳) ۳
۴) ۴

**۲۰۲۷.** در مدار شکل مقابل، ابتدا کلید $S_2$ باز و $S_1$ بسته است و در این حالت آمپرسنج ۳A را نشان می‌دهد. اگر کلید $S_1$ را باز و کلید $S_2$ را ببندیم، آمپرسنج چند آمپر را نشان می‌دهد؟



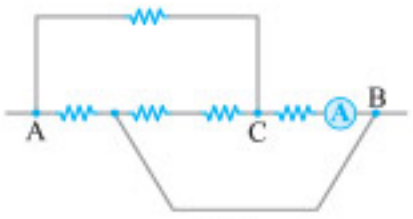

۱) ۱/۵
۲) ۲/۴
۳) ۳
۴) ۲

**۲۰۲۸.** در مدار شکل مقابل، با بسته شدن کلید K، جریان آمپرسنج آرمانی چگونه تغییر می‌کند؟



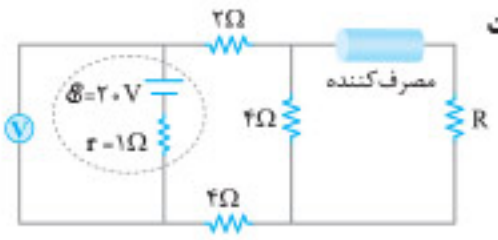

۱) ۲۵A /۰، کاهش می‌یابد.
۲) ۲۵A /۰، افزایش می‌یابد.
۳) ۵A /۰، افزایش می‌یابد.
۴) ۵A /۰، کاهش می‌یابد.

**۲۰۲۹.** در مدار شکل مقابل، تمامی مقاومت‌ها ۱۲ اُهمی هستند. یک باتری آرمانی را یکبار بین B و C و دفعهٔ بعدی بین A و B می‌بندیم. جریانی که آمپرسنج آرمانی نشان می‌دهد در حالت دوم چند برابر حالت اول است؟



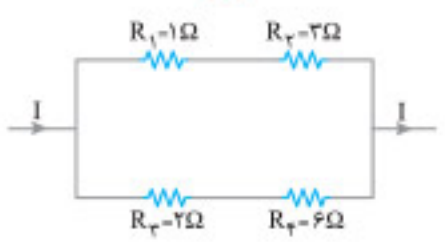

۱) ۲/۵
۲) ۰/۴
۳) $\frac{۱}{۳}$
۴) ۳

**۲۰۳۰.** در مدار مقابل، اگر ولت‌سنج آرمانی ۱۸V را نشان دهد و توان مصرفی مصرف‌کننده ۱W باشد، مقاومت R چند اُهم است؟




۱) ۲
۲) ۴
۳) ۶
۴) ۸

**۲۰۳۱.** شکل داده‌شده قسمتی از یک مدار الکتریکی است. توان مصرفی کدام مقاومت کمتر است؟




۱) $R_1$
۲) $R_2$
۳) $R_3$
۴) $R_4$