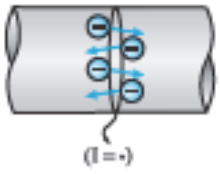
بخش ۱ جریان الکتریکی

۱) جریان الکتریکی

چه موقعی جریان داریم؟ زمانی در یک سیم جریان الکتریکی برقرار می‌شود که از هر مقطع دلخواه در سیم بار خالصی منتقل شود.

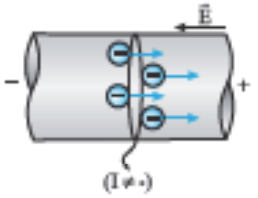


شکل (۱)

حرکت الکترون‌ها در غیاب میدان الکتریکی: در یک رسانا، الکترون‌های آزاد به طور نامنظم (کاتوره‌ای) در همهٔ جهت‌ها با سرعت‌هایی از مرتبهٔ $10^6\ m/s$ حرکت می‌کنند. در شرایطی که یک رسانا در میدان الکتریکی قرار ندارد، مطابق شکل (۱)، تعداد الکترون‌هایی که در یک جهت از یک مقطع دلخواه رسانا عبور می‌کنند، با تعداد الکترون‌هایی که در جهت مخالف از همان مقطع عبور می‌کنند، برابر است؛ بنابراین بار خالصی از هیچ مقطعی از رسانا عبور نمی‌کند و جریان صفر است.

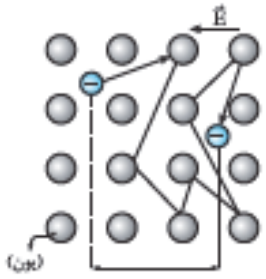
نیرو = صفر؛ جریان = صفر: در شرایط تعادل الکتروستاتیکی همهٔ نقاط یک رسانای منزوی هم‌پتانسیل‌اند و میدان الکتریکی در همهٔ نقاط رسانا صفر است؛ بنابراین نیروی خالصی به الکترون‌ها وارد نمی‌شود و جریان صفر است.

حرکت الکترون‌ها در حضور میدان الکتریکی: اگر مطابق شکل (۲)، دو سر رسانا را به اختلاف پتانسیل مشخصی وصل کنیم، یک میدان الکتریکی در داخل رسانا برقرار می‌شود و این میدان با نیرویی که به الکترون‌های آزاد وارد می‌کند، باعث رانش آن‌ها در خلاف جهت میدان می‌شود (طبق رابطهٔ $\vec{F} = q\vec{E}$، نیروی وارد بر بارهای منفی در خلاف جهت میدان است). در این صورت بار خالص شارش‌یافته از هر مقطع رسانا مخالف صفر خواهد بود و جریان الکتریکی در سیم برقرار می‌شود.



شکل (۲)

سرعت سوق: شکل‌های (۱) و (۲) تصویر ساده‌شده‌ای از حرکت الکترون‌ها هستند. الکترون‌ها (چه در غیاب میدان و چه در حضور میدان) به طور زیگزاگ و اتفاقی حرکت می‌کنند. میدان الکتریکی به حرکت اتفاقی الکترون‌ها جهت می‌دهد و باعث می‌شود الکترون‌ها با سرعت متوسطی به نام «سرعت سوق» در خلاف جهت میدان الکتریکی جابه‌جا شوند. سرعت سوق الکترون‌ها در یک رسانا بسیار کم و در حدود $1\ mm/s$ است.



شکل (۳)

جریان الکتریکی متوسط: اگر بار خالص Δq در مدت Δt از مقطعی از رسانا عبور کند، جریان الکتریکی متوسط آن از رابطهٔ زیر به دست می‌آید:

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$ رابطهٔ (۱)

یکای جریان «کولن بر ثانیه $\frac{C}{s}$» است که آن را به اختصار «آمپر (A)» می‌نامیم.

جریان مستقیم (dc):[1] منظور از جریان مستقیم، جریانی است که همواره در یک جهت از رسانا عبور می‌کند. طبق نظر کتاب درسی، جریان‌های مستقیم، هم جهت ثابتی دارند و هم مقدار ثابتی.[2]

آمپرساعت: اگر در رابطهٔ $\Delta q = I\Delta t$، I برحسب آمپر و t برحسب ساعت جای‌گذاری شوند، q برحسب یکای «آمپرساعت (A.h)» به دست می‌آید. هر آمپرساعت ۳۶۰۰ کولن است:

$$1\,A.h = 1\,A \times 3600\,s = 3600\,A.s = 3600\,C$$

۱- اختصار یافتهٔ 'direct current'

۲- در واقعیت، جریانی که همواره در یک جهت از یک قسمت از مدار می‌گذرد، مستقیم است، چه اندازهٔ آن ثابت باشد، چه متغیر.

استراتژی و نکات لازم برای حل تست‌های این بخش:

۱ با آن‌که الکترون‌ها در خلاف جهت میدان الکتریکی و از پتانسیل کم‌تر به بیشتر شارش می‌یابند، اما طبق یک قرارداد سنتی، **جریان الکتریکی را در خلاف جهت شارش الکترون‌ها در نظر می‌گیرند.**

۲ زمانی که الکترون‌های داخل یک سیم در اثر نیروی الکتریکی به حرکت درآیند، می‌گوییم جریان برقرار شده است و به حرکت الکترون‌ها در اثر حرکت مکانیکی جریان گفته نمی‌شود. *(مثلاً یک گلوله باروتی را پرت کنید به یک سمت، این اسمش جریان نیست!)*

۳ هر کمیتی که ثابت باشد، مقدار متوسط و لحظه‌ای آن برابرند. در این فصل، بیشتر با جریان‌های ثابت سروکار داریم. بنابراین جریان الکتریکی در هر لحظه برابر جریان الکتریکی متوسط است. (جریان الکتریکی را با آمپرسنج اندازه می‌گیرند.)

$$I=\overline{I} \Rightarrow I=\frac{\Delta q}{\Delta t}$$

تست جریانی که از درون رشتهٔ یک لامپ می‌گذرد، برابر $0/1\,A$ آمپر است. چند الکترون در $1\,ms$ از آن می‌گذرد؟ *(اولین المپیاد فیزیک ایران)*

۱) $6/25\times10^{14}$ ۲) $1/6\times10^{14}$ ۳) $1/6\times10^{15}$ ۴) $6/25\times10^{16}$

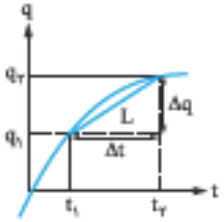
پاسخ گزینهٔ «۱» رابطه‌های $\Delta q=I\Delta t$ و $\Delta q=ne$ را روی هم بریزید! جواب بگیرید!

$$I\Delta t=ne \Rightarrow 0/1\times(1\times10^{-3})=n\times1/6\times10^{-19} \Rightarrow n=6/25\times10^{14}$$

۴ در رساناهای فلزی، نوع بار حامل‌های بار (همان الکترون‌ها) منفی است؛ اما در الکترولیت‌ها و گازهای یونیزه‌شده، حامل‌های بار ممکن است از نوع منفی (الکترون‌ها و یون‌های منفی) یا از نوع مثبت (یون‌های مثبت) و یا هر دوی آن‌ها باشند.

۵ شیب خط قاطع بر نمودار $q-t$ بین دو لحظه برابر جریان الکتریکی متوسط در بازهٔ زمانی بین دو لحظه است. در شکل (۴):

$$\text{شیب پاره‌خط } L=\frac{\Delta q}{\Delta t} \Rightarrow \text{شیب پاره‌خط } L=\overline{I}$$



شکل (۴)

تست نمودار بار عبوری از یک مقطع رسانا برحسب زمان مطابق شکل زیر است. جریان متوسط عبوری از رسانا در کدام‌یک از بازه‌های زمانی زیر بیشتر است؟

۱) صفر تا t_1

۲) صفر تا t_2

۳) صفر تا t_3

۴) t_1 تا t_2

پاسخ گزینهٔ «۱»

$$\begin{cases}\overline{I}_{(t_1\text{ تا }0)}=\text{شیب پاره‌خط } L_1\\ \overline{I}_{(t_2\text{ تا }0)}=\text{شیب پاره‌خط } L_2\\ \overline{I}_{(t_3\text{ تا }0)}=\text{شیب پاره‌خط } L_3\\ \overline{I}_{(t_4\text{ تا }t_3)}=\text{شیب پاره‌خط } L_4\end{cases} \Rightarrow \overline{I}_{(t_1\text{ تا }0)}>\overline{I}_{(t_2\text{ تا }0)}>\overline{I}_{(t_3\text{ تا }0)}>\overline{I}_{(t_4\text{ تا }t_3)}$$

۶ باتری‌ها انرژی شیمیایی ذخیره‌شده در خود را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کنند و چون انرژی شیمیایی ذخیره‌شده در یک باتری محدود است، ظرفیت یک باتری در برقراری جریان در یک مدار نیز محدود است. این ظرفیت معمولاً با یکای «آمپر ـ ساعت $(A.h)$» بیان می‌شود.

نمونه وقتی می‌گوییم آمپر ـ ساعت یک اتومبیل ۶۰ است، یعنی این باتری می‌تواند:

- جریان $1\,A$ را در مدت $60\,h$ تحویل دهد.
- جریان $10\,A$ را در مدت $6\,h$ تحویل دهد.
- جریان $60\,A$ را در مدت $1\,h$ تحویل دهد.

نتیجه هر چه باتری جریان بیشتری را تحویل دهد، عمر مفید آن کوتاه‌تر می‌شود.

تست آمپر ـ ساعت باتری‌های A و B به ترتیب ۵۰ و ۶۰ است. باتری A به طور متوسط جریان ۲ A و باتری B به طور متوسط جریان ۳ A را فراهم می‌کنند. عمر باتری A ..... از عمر باتری B است.

۱) ۸۰ ساعت بیشتر ۲) ۸۰ ساعت کم‌تر ۳) ۵ ساعت بیشتر ۴) ۵ ساعت کم‌تر

پاسخ گزینهٔ «۳» زمان تخلیهٔ باتری A برابر است با:

$$\Delta q_A = I_A \Delta t_A \Rightarrow ۵۰ = ۲\Delta t_A \Rightarrow \Delta t_A = ۲۵\,h$$

و زمان تخلیهٔ باتری B:

$$\Delta q_B = I_B \Delta t_B \Rightarrow ۶۰ = ۳\Delta t_B \Rightarrow \Delta t_B = ۲۰\,h$$

پس باتری A، ۵ h بیشتر از باتری B عمر می‌کند:

$$\Delta t_A - \Delta t_B = ۲۵ - ۲۰ = ۵\,h$$

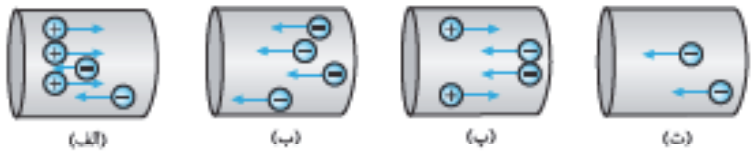
پرسش‌های چهارگزینه‌ای

مفاهیم جریان

۱- در یک سیم مسی حامل جریان، جهت جریان الکتریکی چگونه است؟

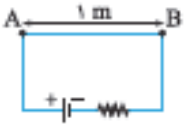
۱) در جهت میدان الکتریکی و از پتانسیل بیشتر به کم‌تر
۲) در جهت میدان الکتریکی و از پتانسیل کم‌تر به بیشتر
۳) در خلاف جهت میدان الکتریکی و از پتانسیل بیشتر به کم‌تر
۴) در خلاف جهت میدان الکتریکی و از پتانسیل کم‌تر به بیشتر

۲- فرض کنید بارهای مثبت و منفی با سرعت‌های برابر و به طور پیوسته از چهار ناحیه که در شکل‌های زیر رسم شده، عبور می‌کنند؛ جریان الکتریکی به ترتیب در کدام ناحیه بیشینه و در کدام ناحیه کمینه است؟ *(برگرفته از کتاب فیزیک برای دانش‌پویان و مهندسان نوشتهٔ سروی)*



۱) (الف)، (پ) ۲) (الف)، (ت) ۳) (ب)، (پ) ۴) (ب)، (ت)

۳- در شکل زیر، الکترون‌های آزاد که جریان الکتریکی را ایجاد می‌کنند، فاصلهٔ AB را در چه زمانی و در چه جهتی می‌پیمایند؟ (سرعت حرکت کاتوره‌ای الکترون‌ها را $۱۰^۶\ m/s$ و سرعت سوق آن‌ها را $۱\ mm/s$ در نظر بگیرید.)



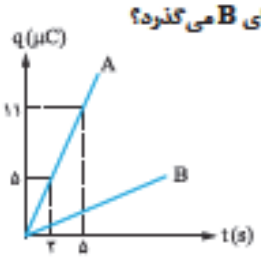
۱) ۱μs و از A به B
۲) ۱μs و از B به A
۳) $۱۰^۲$ s و از A به B
۴) $۱۰^۲$ s و از B به A

جریان متوسط

۴- بار الکتریکی گذرنده از یک مدار برحسب زمان در SI به صورت $q = t^۲ + at + ۸$ است. جریان متوسط گذرنده از مدار در بازهٔ زمانی بین $t = ۲\ s$ و $t = ۵\ s$ صفر است. a کدام است؟

۱) ۳− ۲) ۷− ۳) ۳ ۴) ۷

۵- شکل زیر، نمودار تغییرات بار الکتریکی گذرنده از دو رسانای A و B را برحسب زمان نشان می‌دهد. اگر جریان متوسط گذرنده از رسانای A، ۳ برابر جریان متوسط گذرنده از رسانای B باشد، در فاصلهٔ زمانی بین ۲ و ۵ ثانیه چند میکروکولن بار از رسانای B می‌گذرد؟



۱) ۲
۲) ۴
۳) ۶
۴) ۱۸

۶- از یک سیم رسانا جریان ثابت $I = ۵\ A$ در یک جهت عبور می‌کند. بار داخل سیم در مدت ۱۵ چند کولن تغییر می‌کند؟

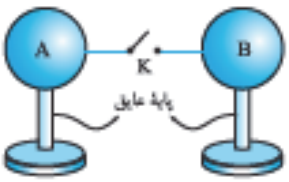
۱) ۰/۵ ۲) ۲ ۳) ۵۰ ۴) صفر

اگر تست بعدی رو حل می‌کنی، سعی کن محاسباتو تقریبی انجام بدی!

۷- جو زمین توسط پروتون‌های پرتو کیهانی به طور دائم بمباران می‌شود. اگر به طور متوسط ۱۵۰۰ پروتون در هر ثانیه به هر متر مربع از سطح زمین برخورد کند، جریان الکتریکی که به سطح زمین برخورد می‌کند، تقریباً چند آمپر است؟ (بار الکترون C $1/6\times10^{-19}$، شعاع کرهٔ زمین $6000\ km$ و $\pi=3$ در نظر گرفته شوند.) *(برگرفته از کتاب «مبانی فیزیک»، نوشتهٔ دیوید هالیدی)*

۱) ۰/۱ ۲) ۱ ۳) 2×10^{5} ۴) $6/5\times10^{17}$

۸- در شکل زیر، بار کرهٔ رسانای A برابر $+4\ \mu C$ و بار کرهٔ رسانای B برابر $-12\ \mu C$ و شعاع کره‌ها برابر است. اگر کلید K را ببندیم، به مدت $0/2\ ms$، جریان الکتریکی در سیم برقرار می‌شود. جریان متوسط عبوری از سیم در این مدت چند آمپر است؟



۱) 4×10^{-5}

۲) 8×10^{-5}

۳) 4×10^{-2}

۴) 8×10^{-2}

۹- در یک پیل الکتروشیمیایی در هر دقیقه 3×10^{19} یون H^+ و 3×10^{19} یون Cl^- از هر مقطع الکترولیت عبور می‌کند. جریان متوسط برقرارشده در الکترولیت چند آمپر است؟ ($e=1/6\times10^{-19}\ C$؛ راهنمایی: به طور خالص، یون‌های H^+ به سمت کاتد و یون‌های Cl^- به سمت آند حرکت می‌کنند.)

۱) صفر ۲) ۰/۰۸ ۳) ۰/۱ ۴) ۰/۱۶

۱۰- ولتاژ باتری یک ماشین حساب $3\ V$ و جریانی که هنگام روشن‌بودن از آن عبور می‌کند، $0/2\ mA$ است. اگر این ماشین حساب ۲ ساعت روشن باشد، به ترتیب چند میلی‌کولن بار از مدار آن می‌گذرد و باتری چند میلی‌ژول انرژی به این مدار می‌دهد؟ *(برگرفته از مثال کتاب، درسی با تغییر)*

۱) ۷۲، ۲۴ ۲) ۱۴۴، ۴۸ ۳) ۴۳۲۰، ۱۴۴۰ ۴) ۷۶۴۰، ۲۸۸۰

آمپر-ساعت

۱۱- باتری خودرویی $70\ A.h$ است. اگر از باتری این خودرو در ۵ ساعت اول جریان متوسط خروجی $4\ A$ و در ۱۰ ساعت بعد جریان متوسط خروجی $3\ A$ گرفته شود، در پایان بار الکتریکی قابل انتقال توسط باتری چند کولن می‌شود؟

۱) $3/6\times10^{4}$ ۲) $3/6\times10^{5}$ ۳) $7/2\times10^{4}$ ۴) $7/2\times10^{5}$

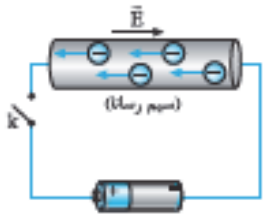
۱۲- حداکثر باری که باتری خودروهای A و B می‌توانند از مدار عبور دهند، به ترتیب $2q$ و q و جریان متوسط خروجی از آن‌ها به ترتیب I و $1/5\ I$ است. مدت زمانی که طول می‌کشد تا باتری خودروی A به طور کامل تخلیه شود، چند برابر مدت زمانی است که طول می‌کشد تا باتری خودروی B به طور کامل تخلیه شود؟

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

بخش ۲ مقاومت الکتریکی

۲) مقاومت الکتریکی

مقاومت الکتریکی: شکل (۵) ساده‌ترین مدار ممکن را نشان می‌دهد که در آن یک سیم رسانای قطور توسط سیم‌های رابط به یک باتری وصل است. با بستن کلید k دو سر رسانا اختلاف پتانسیل معینی برقرار می‌شود و الکترون‌ها در خلاف جهت میدان سوق پیدا می‌کنند. اتم‌های درون رسانا به طور مداوم نوسان می‌کنند و با برخورد به الکترون‌ها بخشی از انرژی آن‌ها را می‌گیرند. بنابراین، هر رسانایی در برابر حرکت بارهای الکتریکی مخالفتی از خود نشان می‌دهد و اصطلاحاً می‌گوییم رسانا دارای **مقاومت الکتریکی** است. همین مقاومت باعث می‌شود اگر کلید k را باز کنیم و ارتباط باتری با سیم را قطع کنیم، جریان الکتریکی بلافاصله صفر شود.



شکل (۵)

توجه باتری و پایانه‌هایش را با نماد « —|▮|+— » نشان می‌دهیم که جلوتر به این موضوع می‌پردازیم.

قانون آهم: برای بیشتر فلزات و بسیاری از رساناهای غیرفلزی در دمای ثابت، **نسبت اختلاف پتانسیل به جریان عبوری مقدار ثابتی است.** این مقدار ثابت **«مقاومت الکتریکی»** نام دارد و با R نشان داده می‌شود.

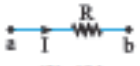
رابطهٔ (۲) $R = \frac{V}{I}$

- یکای مقاومت الکتریکی «ولت بر آمپر (V/A)» است و به اختصار «اهم (Ω)» نامیده می‌شود.
- رسانایی را که مقاومت الکتریکی دارد، در اصطلاح «مقاومت» می‌نامیم و با نماد مداری « —WWW— » نشان می‌دهیم.
- مقاومت یک رسانا را می‌توان با وسیله‌ای به نام «اهم‌متر» اندازه گرفت.

مقاومت اهمی: **هر رسانایی که از قانون اهم پیروی کند «مقاومت اهمی» یا «رسانای اهمی» نام دارد.** بعضی از مواد رسانا نیز، مانند انواع و اقسام دیودها[۱]، از قانون اهم پیروی نمی‌کنند و اصطلاحاً «غیراهمی» هستند.

استراتژی و نکات لازم برای حل تست‌های این بخش:

۱ چون جهت جریان الکتریکی در یک رسانا از پتانسیل بیشتر به کم‌تر است، در شکل (۶)، پتانسیل الکتریکی نقطهٔ a از نقطهٔ b بیشتر است و طبق قانون اهم می‌توان نوشت: $V_a - V_b = RI$



شکل (۶)

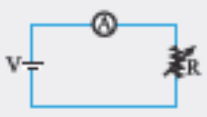
نتیجهٔ ۱ **هرگاه در جهت جریان الکتریکی از رسانایی به مقاومت R عبور کنیم، پتانسیل الکتریکی به اندازهٔ RI کاهش می‌یابد.**

نمونه در شکل (۶)، اگر از نقطهٔ a به سمت b حرکت کنیم، می‌توانیم بنویسیم: $V_a - RI = V_b$

نتیجهٔ ۲ **هرگاه در خلاف جهت جریان الکتریکی از رسانایی به مقاومت R عبور کنیم، پتانسیل الکتریکی به اندازهٔ RI افزایش می‌یابد.**

نمونه در شکل (۶)، اگر از نقطهٔ b به سمت a حرکت کنیم، می‌توان نوشت: $V_b + RI = V_a$

تست **در مدار شکل زیر، اگر مقاومت متغیر R را ۲۰ درصد کاهش دهیم، عددی که آمپرسنج نشان می‌دهد ..... می‌یابد و اگر مقاومت R را ۲۵ درصد افزایش دهیم، عددی که آمپرسنج نشان می‌دهد ..... می‌یابد.**



۱) ۲۰ درصد افزایش، ۲۵ درصد کاهش
۲) ۲۵ درصد افزایش، ۲۰ درصد کاهش
۳) ۲۰ درصد کاهش، ۲۵ درصد افزایش
۴) ۲۵ درصد کاهش، ۲۰ درصد افزایش

۱- در مورد دیودها کمی جلوتر بیشتر صحبت می‌کنیم.

پاسخ گزینهٔ «۲» **گام اول** اولاً که آمپرسنج هیچ نقشی به جز نمایش جریان گذرا از مدار ندارد. ثانیاً ولتاژ دو سر مقاومت ثابت است.

بنابراین در حالتی که مقاومت ۲۰ درصد کاهش می‌یابد، داریم:

$$I=\frac{V}{R}\Rightarrow\frac{I'}{I}=\frac{R}{R'}\Rightarrow\frac{I'}{I}=\frac{R}{R-\frac{۲۰}{۱۰۰}R}=\frac{R}{۰/۸R}=\frac{۱}{۰/۸}\Rightarrow\frac{I'}{I}=۱/۲۵$$

$$\frac{\Delta I}{I}\times۱۰۰=\frac{I'-I}{I}\times۱۰۰=\frac{۱/۲۵I-I}{I}\times۱۰۰=۰/۲۵\times۱۰۰=٪۲۵$$

گام دوم برای حالتی که مقاومت ۲۵ درصد افزایش می‌یابد، جریان گذرنده از آمپرسنج I'' می‌شود و داریم: $R''=R+\frac{۲۵}{۱۰۰}R=۱/۲۵R$

$$\frac{I''}{I}=\frac{R}{R''}\Rightarrow\frac{I''}{I}=\frac{R}{۱/۲۵R}\Rightarrow\frac{I''}{I}=\frac{۱}{۱/۲۵}=۰/۸$$

$$\frac{\Delta I}{I}\times۱۰۰=\frac{I''-I}{I}\times۱۰۰=\frac{۰/۸I-I}{I}\times۱۰۰=-۰/۲\times۱۰۰=٪(-۲۰)$$

۲ مقاومت الکتریکی یک رسانا به اختلاف پتانسیل دو سر آن و جریان عبوری از آن بستگی ندارد.

نمونه اگر ولتاژ دو سر رسانا ۲ برابر شود، جریان عبوری از آن هم ۲ برابر می‌شود، طوری که نسبت آن‌ها، یعنی مقاومت الکتریکی رسانا، تغییر نمی‌کند:

$$R=\frac{V}{I}\begin{matrix}\rightarrow\text{۲ برابر}\\\rightarrow\text{۲ برابر}\end{matrix}\Rightarrow\text{۱ برابر}$$

۳ در یک رسانای اهمی نمودار تغییرات جریان برحسب اختلاف پتانسیل دو سر رسانا، در دمای ثابت، خطی است راست که شیب آن، برابر عکس مقاومت الکتریکی رسانا است.

برای نمونه، در شکل (۷) داریم: $m=\frac{I}{V}=\frac{۱}{R}$ (شیب خط)

شکل (۷)

نتیجه هر چه مقاومت الکتریکی یک رسانا بزرگ‌تر باشد، شیب نمودار جریان برحسب ولتاژ دو سر آن، کوچک‌تر است. $(R\uparrow\Rightarrow m\downarrow)$

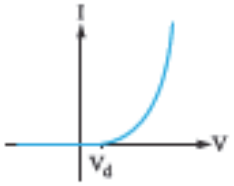
تست نمودار جریان عبوری از دو مقاومت **A** و **B** برحسب اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت **A** و **B**، مطابق شکل است. مقاومت **B** چند برابر مقاومت **A** است؟ *(سراسری ریاضی ـ ۸۵)*

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

پاسخ گزینهٔ «۱» $R=\frac{V}{I}\Rightarrow\frac{R_B}{R_A}=\frac{\frac{V_B}{I_B}}{\frac{V_A}{I_A}}=\frac{V_B}{V_A}\times\frac{I_A}{I_B}=\frac{۲۰}{۱۰}\times\frac{۲}{۲}=۲$

توجه شیب نمودار **A** دو برابر شیب نمودار **B** است (چرا؟). پس مقاومت **A**، $\frac{۱}{۲}$ برابر مقاومت **B** است.

۴ دیودها مانند مقاومت‌ها از اجزای مدارهای الکترونیکی هستند که نمودار $I-V$ آن‌ها تقریباً مطابق شکل (۸) است.



شکل (۸)

این نمودار نشان می‌دهد اگر اختلاف پتانسیل دو سر دیود از V_d بیشتر شود، جریان از آن عبور می‌کند و در صورتی که ولتاژ دو سر دیود کم‌تر از V_d باشد، جریانی از دیود عبور نمی‌کند.[۱] دیودها انواع و اقسام مختلفی دارند که «دیود نوری (LED)» از آن جمله است.[۲]

۱ـ توجه بفرمایید که فعلاً به سازوکار عملکرد دیود، کاری نداریم.

۲ـ اگر ولتاژ دو سر دیودهای نوری بزرگ‌تر از V_d باشد، طوری که از دیود جریان عبور کند، دیود از خود نوری تابش می‌کند که رنگ آن، وابسته به جنس مواد به کار رفته در دیود است.

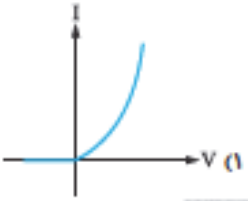
پرسش‌های چهارگزینه‌ای

رسانای اهمی و غیراهمی

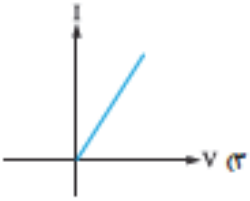
۱۳- کدام‌یک از وسایل زیر ممکن است یک رسانای اهمی باشد؟

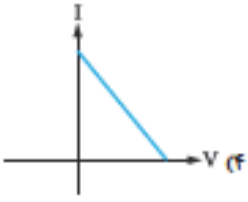
۱) دیود نورگسیل ۲) خازن ۳) المنت اجاق برقی ۴) بلوک سیمانی

۱۴- نمودار تغییرات جریان برحسب اختلاف پتانسیل دو سر یک دیود نورگسیل، مطابق کدام‌یک از نمودارهای زیر است؟

۱) 

۲)

۳) 

۴) 

قانون اهم

۱۵- معادلهٔ جریان الکتریکی گذرنده از یک مقاومت ۲۵ اهمی در SI به صورت $I = 2t^2 - 6t - 4$ است. در چه لحظه‌ای برحسب ثانیه، اختلاف پتانسیل الکتریکی دو سر مقاومت برابر $100\ V$ می‌شود؟

۱) ۱ ۲) ۲ ۳) ۳ ۴) ۴

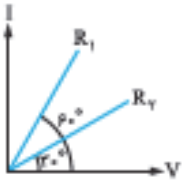
۱۶- در شکل زیر، پتانسیل نقطهٔ a برابر $-5\ V$ است و در هر دقیقه $1/5 \times 10^{21}$ الکترون از نقطهٔ a به نقطهٔ b می‌روند. پتانسیل نقطهٔ b چند ولت است؟ $(e = 1/6 \times 10^{-19}\ C)$

۱) -13 ۲) -9 ۳) -1 ۴) $+3$

۱۷- اگر اختلاف پتانسیل دو سر یک رسانای اهمی در دمای ثابت افزایش یابد، مقاومت آن و سرعت سوق حامل‌های بار در آن به ترتیب (از راست به چپ) چگونه تغییر می‌کنند؟

۱) ثابت می‌ماند، ثابت می‌ماند. ۲) ثابت می‌ماند، افزایش می‌یابد. ۳) افزایش می‌یابد، ثابت می‌ماند. ۴) افزایش می‌یابد، افزایش می‌یابد.

۱۸- نمودار تغییرات جریان برحسب اختلاف پتانسیل دو سر رساناهای R_1 و R_2 به شکل مقابل است. R_2 چند برابر R_1 است؟ (طول مقیاس‌های روی دو محور ($1\ V$ و $1\ A$) هم‌اندازه انتخاب شده‌اند.)



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

۳) اثر جنس و ابعاد رسانا در مقاومت آن

عوامل مؤثر در مقاومت: مقاومت الکتریکی سیمی به طول L و مساحت مقطع A از رابطهٔ مقابل به دست می‌آید:

رابطهٔ (۳) $R = \rho \frac{L}{A}$

که ρ «مقاومت ویژهٔ» رساناست که به جنس (ساختار اتمی) و دمای سیم بستگی دارد و یکای آن «اهم‌متر $(\Omega\,m)$» است.

⚠ ρ را با چگالی جسم که همین نماد را دارد اشتباه نگیرید!

مقایسهٔ مقاومت ویژهٔ مواد مختلف: هر چه مقاومت ویژهٔ جسمی کم‌تر باشد، آن جسم رسانای بهتر و هر چه مقاومت ویژهٔ جسمی بیشتر باشد، آن جسم عایق بهتری است. مقاومت ویژهٔ موادی مانند «زرمانیم» و «سیلیسیم» نه به کوچکی مقاومت ویژهٔ اجسام رسانا و نه به بزرگی مقاومت ویژهٔ اجسام نارساناست. این مواد را «نیم‌رسانا» می‌گویند.

استراتژی و نکات لازم برای حل تست‌های این بخش:

۱ رابطهٔ (۳) را در حالت مقایسه‌ای خود می‌توان به شکل روبه‌رو نوشت:

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{\rho_2}{\rho_1} \times \frac{L_2}{L_1} \times \frac{A_1}{A_2}$$

اگر شعاع مقطع سیم r و قطر آن D باشد، آن‌گاه:

$$A = \pi r^2 \Rightarrow \frac{R_2}{R_1} = \frac{\rho_2}{\rho_1} \times \frac{L_2}{L_1} \times \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 = \frac{\rho_2}{\rho_1} \times \frac{L_2}{L_1} \times \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2$$

تست طول سیم مسی **A** دو برابر طول سیم مسی **B** است و قطر مقطع سیم **A** نصف قطر مقطع سیم **B** است. مقاومت الکتریکی سیم **A** چند برابر مقاومت الکتریکی سیم **B** است؟ *(سراسری تجربی ـ ۹۰)*

۱) $\frac{۱}{۲}$ ۲) ۲ ۳) ۴ ۴) ۸

پاسخ گزینهٔ «۴» چون سیم‌های **A** و **B** هم‌جنس هستند، مقاومت ویژهٔ آن‌ها برابر است و داریم: $\rho_A = \rho_B$

$$\frac{R_A}{R_B} = \frac{L_A}{L_B} \times (\frac{D_B}{D_A})^۲ = \frac{۲L_B}{L_B} \times (\frac{D_B}{\frac{۱}{۲}D_B})^۲ = ۲ \times ۴ = ۸$$

۳ فرض کنید سیمی به طول $L_۱$ و مساحت مقطع $A_۱$ را مانند شکل (۹) از دستگاهی مثل پرس عبور می‌دهیم، طوری‌که طول آن به $L_۲$ و مساحت مقطع آن به $A_۲$ برسد. در این عمل، جرم و در نتیجه حجم سیم ثابت می‌ماند و داریم:

شکل (۹)

$$V_۱ = V_۲ \Rightarrow A_۱L_۱ = A_۲L_۲ \Rightarrow \frac{L_۲}{L_۱} = \frac{A_۱}{A_۲} \Rightarrow \frac{R_۲}{R_۱} = \frac{L_۲}{L_۱} \times \frac{A_۱}{A_۲} = \frac{L_۲}{L_۱} \times \frac{L_۲}{L_۱} \Rightarrow \frac{R_۲}{R_۱} = (\frac{L_۲}{L_۱})^۲$$

نتیجه اگر با ثابت‌ماندن جرم یک سیم، طول آن **n** برابر شود، مقاومت آن $n^۲$ برابر می‌شود: $L_۲ = nL_۱ \Rightarrow R_۲ = n^۲R_۱$

تست سیم فلزی که مقطع آن مربعی به ضلع **a** است، از دستگاه خاصی عبور می‌دهیم تا بدون تغییر جرم به سیمی که مقطع آن دایره‌ای به قطر **a** است، تبدیل شود. با این کار، مقاومت الکتریکی سیم چند برابر می‌شود؟

۱) $\frac{\pi}{۴}$ ۲) $\frac{۴}{\pi}$ ۳) $\frac{\pi^۲}{۱۶}$ ۴) $\frac{۱۶}{\pi^۲}$

پاسخ گزینهٔ «۴» زیروند ۱ را برای سیم با مقطع مربع و زیروند ۲ را برای سیم با مقطع دایره در نظر می‌گیریم. چون جرم سیم پس از عبور از دستگاه تغییر نمی‌کند، داریم:

$$m_۱ = m_۲ \Rightarrow \rho_۱V_۱ = \rho_۲V_۲ \xrightarrow{(\rho_۱ = \rho_۲)} V_۱ = V_۲ \Rightarrow A_۱L_۱ = A_۲L_۲$$

$$(a^۲)L_۱ = (\frac{\pi a^۲}{۴}) \times L_۲ \Rightarrow \frac{L_۲}{L_۱} = \frac{۴}{\pi}$$

در نتیجه:

$$\frac{R_۲}{R_۱} = \frac{L_۲}{L_۱} \times \frac{A_۱}{A_۲} = \frac{۴}{\pi} \times \frac{a^۲}{\frac{\pi a^۲}{۴}} = \frac{۴}{\pi} \times \frac{۴}{\pi} \Rightarrow \frac{R_۲}{R_۱} = \frac{۱۶}{\pi^۲}$$

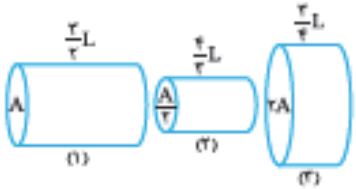
پرسش‌های چهارگزینه‌ای

بیشتر تست‌های این قسمت به شکل مقایسه‌ای مطرح می‌شه. توجه بفرمایید.

۱۹ـ از سیم بلندی به طول ۴ km و مقاومت ۲ Ω، جریان ۵ A عبور می‌کند. اختلاف پتانسیل بین دو نقطه از سیم که به فاصلهٔ ۱۰ متری از یکدیگر قرار دارند، چند ولت است؟

۱) $۲/۵ \times ۱۰^{-۲}$ ۲) ۱ ۳) ۱۰ ۴) ۲۵

۲۰ـ به دو سر رساناهای استوانه‌ای‌شکل مسی در شکل‌های زیر، اختلاف پتانسیل یکسان V را اعمال می‌کنیم. کدام گزینه، مقایسهٔ درستی بین بزرگی جریان گذرا از رساناهاست؟



۱) $I_۲ > I_۱ > I_۳$
۲) $I_۳ > I_۱ > I_۲$
۳) $I_۳ > I_۲ > I_۱$
۴) $I_۱ > I_۲ > I_۳$

۲۱- ابعاد یک مکعب‌مستطیل فلزی ۱، ۲ و ۴ سانتی‌متر است. این مکعب‌مستطیل را می‌توان از هر یک از دو وجه موازی آن در مدار قرار داد. نسبت بزرگ‌ترین مقاومت به کوچک‌ترین مقاومت آن چند است؟ (سراسری ریاضی ـ ۹۶)

۱) ۴ ۲) ۸ ۳) ۱۶ ۴) ۲۴

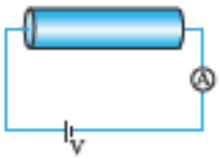
۲۲- جرم دو سیم مسی A و B با هم برابر است ولی قطر مقطع سیم A، $\sqrt{2}$ برابر قطر مقطع سیم B است. اگر مقاومت الکتریکی سیم B برابر $10\,\Omega$ باشد، مقاومت الکتریکی سیم A چند اهم است؟ (سراسری ریاضی ـ ۹۰)

۱) ۲/۵ ۲) ۵ ۳) ۱۲/۵ ۴) ۲۰

۲۳- سیم آلختی را به چهار قسمت مساوی تقسیم می‌کنیم و در کنار هم قرار می‌دهیم. مقاومت الکتریکی سیم جدید چند برابر قبلی است؟

۱) ۱۶ ۲) $\frac{1}{16}$ ۳) $\frac{1}{4}$ ۴) ۴

۲۴- در مدار شکل زیر، اگر رشته سیم را با رشته سیمی از همان جنس که طول آن ۲۵ درصد بیشتر است، تعویض کنیم، عددی که آمپرسنج نشان می‌دهد، ۲۰ درصد کاهش می‌یابد. جرم قطعه‌سیم تعویض‌شده نسبت به جرم قطعه‌سیم اولیه چند درصد و چگونه تغییر کرده است؟



۱) ۲۰ درصد کاهش یافته است.
۲) ۲۰ درصد افزایش یافته است.
۳) ۲۵ درصد کاهش یافته است.
۴) ۲۵ درصد افزایش یافته است.

۲۵- مقطع سیم A دایره‌ای به شعاع r و مقطع سیم B مربعی به ضلع r است. در صورتی که سطح مقطع هر دو سیم یکنواخت و مقاومت ویژهٔ سیم A دو برابر سیم B و مقاومت الکتریکی هر دو سیم برابر باشد، طول سیم A تقریباً چند برابر B است؟ ($\pi = 3$)

۱) $\frac{1}{6}$ ۲) ۶ ۳) $\frac{2}{3}$ ۴) $\frac{3}{2}$

۲۶- دو کابل رسانای هم‌طول و هم‌جنس A و B مفروض‌اند. شعاع مقطع کابل توپر A برابر ۲ mm و شعاع خارجی مقطع کابل توخالی B برابر ۲ mm و شعاع داخلی آن برابر ۱ mm است. مقاومت سیم A چند برابر B است؟ (برگرفته از کتاب مبانی فیزیک، نوشتهٔ دیوید هالیدی، و رفقا!)

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

خواستون باشه یکی و مقاومت ویژهٔ یک جسم، هر دو رو با ρ نشون می‌دیم، ولی این دو هیچ ربطی به هم ندارند!

۲۷- از سیمی به طول ۲۵ متر که اختلاف پتانسیل ۳ ولت در دو سر آن برقرار است، جریان ۱/۲ آمپر عبور می‌کند. اگر مقاومت ویژهٔ سیم $1/8\times10^{-8}\ \Omega.m$ و چگالی آن $8\ g/cm^3$ باشد، جرم سیم چند گرم است؟ (سراسری ریاضی ـ ۹۶، خارج از کشور)

۱) ۱۸ ۲) ۳۶ ۳) ۵۴ ۴) ۷۲

۲۸- دو سیم هم‌طول مسی و آلومینیمی، در یک دمای معین، دارای مقاومت الکتریکی مساوی‌اند. اگر چگالی مس و آلومینیم به ترتیب $9\ g/cm^3$ و $2/7\ g/cm^3$ و مقاومت ویژهٔ مس $\frac{1}{2}$ برابر مقاومت ویژهٔ آلومینیم باشد، جرم سیم آلومینیمی چند برابر سیم مسی است؟ (سراسری ریاضی ـ ۹۶)

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

۲۹- رشته سیمی به طول L، جرم m، مقاومت ویژهٔ ρ و چگالی ρ′ مفروض است. مقاومت الکتریکی این رشته سیم کدام است؟

۱) $\frac{\rho}{\rho'}\frac{L}{m}$ ۲) $\frac{\rho}{\rho'}\frac{L^2}{m}$ ۳) $\rho\rho'\frac{L}{m}$ ۴) $\rho\rho'\frac{L^2}{m}$

۳۰- دو سیم فلزی A و B دارای طول و مقاومت الکتریکی مساوی‌اند. اگر جرم سیم B، $\frac{2}{3}$ جرم سیم A بوده و چگالی آن $\frac{1}{3}$ چگالی سیم A باشد، مقاومت ویژهٔ سیم B چند برابر مقاومت ویژهٔ سیم A است؟ (سراسری تجربی ـ ۹۵)

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

وقتی جرم سیم تغییر نمی‌کند، حجم اون هم تغییری نمی‌کنه. در حل تست‌های زیر به این نکته توجه کنید.

۳۱- طول یک سیم فلزی ۱۰ سانتی‌متر و قطر مقطع آن $2\,mm$ است. اگر سیم را از ابزاری عبور دهیم تا بدون تغییر جرم، مقاومت الکتریکی آن ۱۶ برابر شود، طول آن چند سانتی‌متر می‌شود؟ *(سراسری تجربی ـ ۹۳)*

۱) ۲/۵ ۲) ۴۰ ۳) ۸۰ ۴) ۱۶۰

۳۲- قطعه‌سیمی از جنس مس را ذوب می‌کنیم و با آن سیمی به شعاع نصف سیم اولیه می‌سازیم. مقاومت الکتریکی سیم جدید چند برابر مقاومت الکتریکی قطعه‌سیم اولیه است؟

۱) ۲ ۲) ۴ ۳) ۸ ۴) ۱۶

۳۳- سیم فلزی را از دستگاهی خاص عبور می‌دهیم. پس از عبور از دستگاه، جرم سیم ۲۰ درصد کاهش یافته و سطح مقطع آن نصف می‌شود. مقاومت الکتریکی سیم حاصل چند برابر مقاومت الکتریکی سیم اولیه است؟

۱) ۰/۵ ۲) ۱ ۳) ۱/۶ ۴) ۳/۲

۳۴- دو رشته سیم فلزی هم‌طول و هم‌جرم A و B در اختیار داریم. این دو رشته سیم را ذوب کرده و با یکدیگر مخلوط می‌کنیم و از آن یک رشته سیم جدید، هم‌طول با رشته سیم‌های اولیه می‌سازیم. اگر چگالی فلز A، نصف چگالی فلز B باشد، مقاومت رشته سیم حاصل، چند برابر مقاومت رشته سیم A است؟ (فرض کنید مقاومت ویژهٔ فلزهای A، B و مخلوط آن‌ها با یکدیگر برابر است.)

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

دوتا تست مناسبتی ذوب هم ببینید!

۳۵- میلهٔ استوانه‌ای‌شکل یک برقگیر آهنی به طول $6\,m$ در اتصال با زمین، در کنار ساختمانی قرار دارد. اندازه‌گیری‌ها در محل نشان می‌دهد که در قوی‌ترین آذرخش‌ها، بار $2/5\,C$ در زمان $60\,\mu s$ از ابر به زمین تخلیه می‌شود. اگر بخواهیم بیشترین ولتاژ قابل تحمل برقگیر ۷۵ ولت باشد، کم‌ترین مساحت مقطع (قاعدهٔ) میله را چند میلی‌متر مربع باید بگیریم؟ (مقاومت ویژهٔ آهن را $10^{-7}\,\Omega.m$ و اثر نوک تیز برقگیر را به شکل هندسی آن نادیده بگیرید.)

۱) ۳۰ ۲) $\frac{100}{3}$ ۳) ۳۰۰ ۴) $\frac{1000}{3}$

۳۶- سطح مقطع سیم رسانایی $1\,mm^2$ و مقاومت ویژه‌اش $10^{-8}\,\Omega.m$ است. اگر بار الکتریکی با آهنگ ثابت $2\,C/s$ از سیم عبور کند، بزرگی میدان الکتریکی در سیم چند ولت بر متر است؟

۱) صفر ۲) 2×10^{-2} ۳) 5×10^{-2} ۴) 2×10^{2}

۴) تغییر مقاومت ویژه با دما

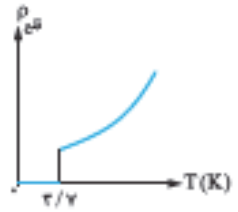
عوامل مؤثر بر مقاومت الکتریکی:

۱ **دامنهٔ ارتعاش اتم‌ها:** هر چه دامنهٔ ارتعاش اتم‌های یک جسم بیشتر باشد تعداد برخوردهای حامل‌های بار با اتم‌ها بیشتر می‌شود که در نتیجهٔ آن مقاومت جسم افزایش می‌یابد.

۲ **تعداد حامل‌های بار:** فرض کنید با ثابت‌ماندن ولتاژ دو سر یک ماده، تعداد حامل‌های بار در آن ماده افزایش می‌یابد. این به معنی افزایش جریان و کاهش مقاومت الکتریکی آن ماده است.

نکته افزایش دما در رساناهای فلزی باعث افزایش مقاومت الکتریکی و در اکثر نیم‌رساناها باعث کاهش مقاومت الکتریکی ماده می‌شود.

ابررسانایی: مقاومت ویژهٔ رساناهای فلزی با کاهش دما کم می‌شود و مقاومت ویژهٔ بعضی از مواد رسانا مثل جیوه و قلع، در دمای خاصی به طور ناگهانی صفر می‌شود و در دماهای پایین‌تر از این دما هم‌چنان صفر می‌ماند. در این حالت می‌گوییم جسم خاصیت «ابررسانایی» پیدا کرده است. شکل (۱۰) نمودار مقاومت ویژهٔ قلع را برحسب دمای کلوین نشان می‌دهد. این شکل نشان می‌دهد که قلع در دماهای پایین‌تر از $3/7\,K$، خاصیت ابررسانایی پیدا می‌کند.



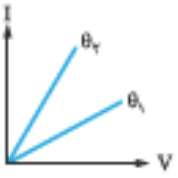
شکل (۱۰)

پرسش‌های چهارگزینه‌ای

۳۷- مقاومت الکتریکی لامپ معمولی با رشتهٔ تنگستن: *(سراسری تجربی ـ ۹۴)*

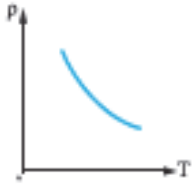
۱) پس از روشن‌شدن لامپ، کاهش می‌یابد.
۲) پس از روشن‌شدن لامپ، به صفر می‌رسد.
۳) هنگامی که لامپ خاموش است، صفر است.
۴) هنگام روشن‌بودن، بیشتر از هنگام خاموش‌بودن است.

۳۸- نمودار جریان عبوری از یک فلز برحسب اختلاف پتانسیل دو سر آن در دماهای θ_1 و θ_2 به شکل زیر است. کدام‌یک از مقایسه‌های زیر درست است؟



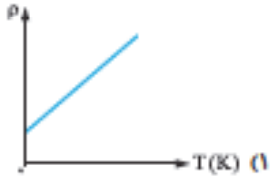
۱) $\theta_1 = \theta_2$
۲) $\theta_1 > \theta_2$
۳) $\theta_2 > \theta_1$
۴) هر سه گزینه ممکن است.

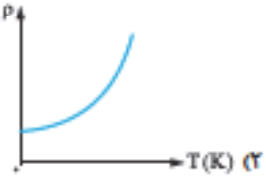
۳۹- نمودار مقاومت ویژه بر حسب دما در یک جسم مطابق شکل روبه‌رو است. این جسم از چه ماده‌ای ممکن است ساخته شده باشد؟

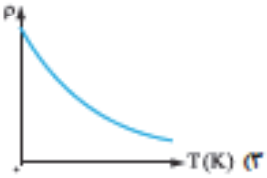


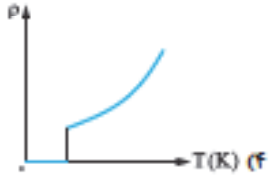
۱) نیکروم
۲) سیلیسیم
۳) نقره
۴) جیوه

۴۰- نمودار مقاومت ویژهٔ قلع بر حسب دما مطابق کدام‌یک از نمودارهای زیر است؟

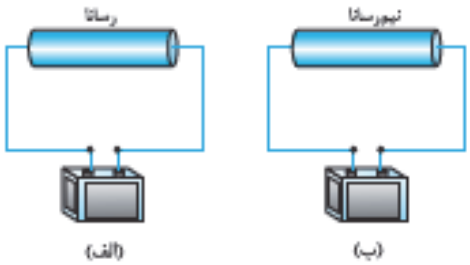
۱) 

۲) 

۳) 

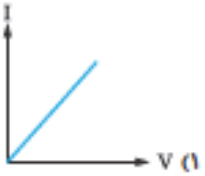
۴) 

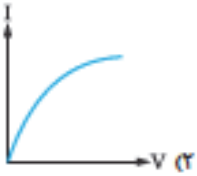
۴۱- در مدارهای شکل زیر، اگر دمای محیط افزایش یابد، سرعت سوق الکترون‌ها در قطعهٔ رسانا شکل (الف) و قطعهٔ نیم‌رسانا شکل (ب) به ترتیب چگونه تغییر می‌کند؟ (اختلاف پتانسیل دو سر قطعه‌ها ثابت فرض می‌شود.)

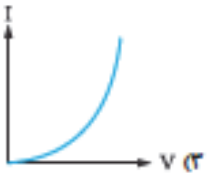


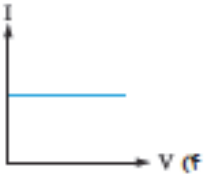
۱) افزایش، افزایش
۲) افزایش، کاهش
۳) کاهش، افزایش
۴) کاهش، کاهش

۴۲- مقاومت الکتریکی یک قطعهٔ کربنی با افزایش دما کاهش می‌یابد. اگر اختلاف پتانسیل الکتریکی دو سر آن را به آرامی افزایش دهیم، کدام‌یک از نمودارهای زیر می‌تواند نمودار تغییرات جریان برحسب ولتاژ باشد؟ *(نوزدهمین المپیاد فیزیک ایران)*

۱) 

۲) 

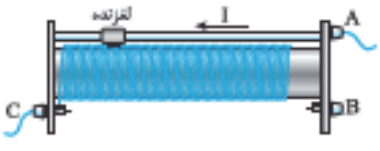
۳) 

۴) 

۵) مقاومت‌های متغیر

مقاومت‌های متغیر با تنظیم دستی: نوعی از مقاومت هستند که مقدار آن‌ها را می‌توان به طور دستی کنترل کرد. مقاومت‌های متغیر را با نمادهای نشان می‌دهند و بر دو نوع‌اند: ۱) رئوستا ۲) پتانسیومتر

رئوستا: رئوستا از سیمی با مقاومت ویژهٔ نسبتاً زیاد ساخته شده که دور یک هستهٔ عایق پیچیده شده است و مطابق شکل (۱۱) با حرکت یک لغزنده می‌توانیم طول مشخصی از سیم رسانا را وارد مدار کرده و مقاومت آن را تغییر دهیم. به طور نمونه، در شکل (۱۱)، جریان از سر A به رئوستا وارد و از سر C خارج می‌شود و در نتیجه، با جابه‌جایی لغزنده به سمت راست طول و متعاقب آن مقاومت سیمی که از آن جریان عبور می‌کند، بیشتر می‌شود.



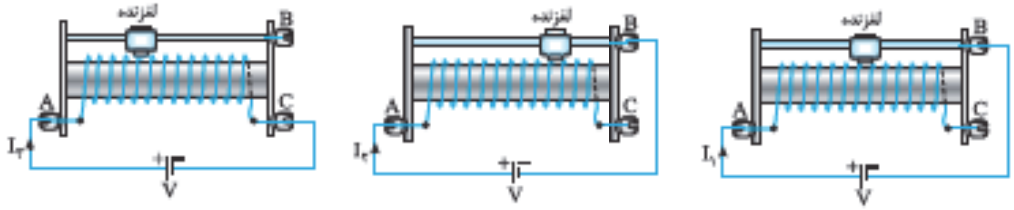
شکل (۱۱)

پتانسیومتر: شکل ۱۲ ـ الف یک پتانسیومتر را نشان می‌دهد. اگر کلاهک پتانسیومتر را بردارید، یک صفحهٔ دیسک‌مانند مطابق شکل‌های ۱۲ ـ ب یا ۱۲ ـ پ را خواهید دید. دور این صفحه یک مقاومت پیچه‌ای (شکل ب) یا یک مقاومت ترکیبی قرار دارد که یک سر این مقاومت به A و یک سر آن به C وصل است. سر B به یک بازوی متحرک وصل است که این بازو می‌تواند توسط یک محور روی دیسک بچرخد. هر چه بازو را بیشتر در جهت ساعت‌گرد، حرکت دهیم مقاومت بین دو نقطهٔ A و B بیشتر و مقاومت بین دو نقطهٔ B و C کم‌تر می‌شود.

(الف) (ب) (پ)
شکل (۱۲)

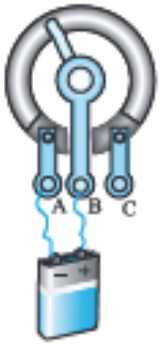
پرسش‌های چهارگزینه‌ای

۴۳- یک رئوستا را مطابق شکل‌های زیر به ولتاژ یکسانی وصل می‌کنیم. کدام مقایسه بین جریان مدارها درست است؟



۱) $I_1 > I_2 > I_3$
۲) $I_2 > I_1 > I_3$
۳) $I_3 > I_2 > I_1$
۴) $I_3 > I_1 > I_2$

۴۴- ولتاژ دو سر یک باتری ثابت و برابر ۱۲ V است. اگر این باتری را مطابق شکل روبه‌رو به پایه‌های A و B یک پتانسیومتر وصل کنیم، جریان ۳A و اگر پایانه‌های باتری را به پایه‌های B و C وصل کنیم، جریان ۲A از مدار می‌گذرد. اگر پایانه‌های باتری را به پایه‌های A و C وصل کنیم، چه جریانی (برحسب آمپر) از مدار عبور می‌کند؟



۱) ۱/۲
۲) ۱/۵
۳) ۱
۴) ۰/۷۵

پاسخ‌نامهٔ تشریحی

۱- گزینه ۱ رجوع کنید به درس‌نامهٔ (۱)!

۲- گزینه ۲ **هر چه بار خالص عبوری از مقطع رسانا (در واحد زمان)، بزرگ‌تر باشد، جریان الکتریکی بیشتر است.**

در فصل قبل با استدلال بیان کردیم که حرکت بارهای منفی در یک جهت معادل حرکت بارهای مثبت در جهت مخالف است؛ بنابراین حرکت بارها در شکل (الف)، معادل حرکت ۵ بار مثبت به سمت راست و در شکل (پ)، معادل حرکت ۴ بار مثبت به سمت راست است. در مورد شکل‌های (ب) و (ت) هم که ابهامی ندارند؛ پس جریان الکتریکی در ناحیهٔ «الف»، بیشینه و در ناحیهٔ «ت»، کمینه است.

۳- گزینه ۴ هنگامی که جریان در مدار برقرار نیست ($V_{AB}=0$)، الکترون‌های آزاد در سیم AB، به شکل زیگزاگ و به صورت کاتوره‌ای ($v\approx 10^6\ m/s$) به اتم‌های اطراف می‌کوبند ولی در نهایت، به پیش نمی‌روند! هنگامی که جریان الکتریکی برقرار است ($V_{AB}\neq 0$)، الکترون‌های آزاد هم‌چنان به صورت زیگزاگ (با همان سرعت بالا) حرکت می‌کنند ولی این حرکت زیگزاگ با سرعت حرکت حلزونی در خلاف جهت میدان الکتریکی درون مدار (از پتانسیل کم‌تر به بیشتر)، سوق می‌یابد ($v_d=1\ mm/s$).

$$d=v_d\Delta t \xrightarrow[(d=AB=1\ m)]{(v_d=1\ mm/s=10^{-3}\ m/s)} (1=10^{-3}\ \Delta t \Rightarrow \Delta t=10^{3}\ s)\ ,\ (V_A>V_B \Rightarrow \text{الکترون‌های آزاد از B به A سوق می‌یابند.})$$

۴- گزینه ۲ مقدار بار الکتریکی گذرنده از مدار را در لحظات ۲ و ۵ ثانیه به دست می‌آوریم:

$$t_1=2\ s \Rightarrow q_1=(2)^2+2a+8=12+2a\ ,\ t_2=5\ s \Rightarrow q_2=(5)^2+5a+8=33+5a$$

اکنون با استفاده از رابطهٔ جریان متوسط داریم:

$$I=\frac{\Delta q}{\Delta t}=\frac{q_2-q_1}{t_2-t_1}=0 \Rightarrow q_2-q_1=0 \Rightarrow q_2=q_1 \Rightarrow 33+5a=12+2a \Rightarrow 3a=-21 \Rightarrow a=-7$$

۵- گزینه ۱ از روی نمودار می‌توان فهمید که در فاصلهٔ زمانی ۲ تا ۵ ثانیه مقدار بار الکتریکی گذرنده از رسانای A برابر است با:

$$\Delta q_A=q_{2A}-q_{1A}=11-5=6\ \mu C$$

از طرفی:

$$I=\frac{\Delta q}{\Delta t} \Rightarrow \frac{\bar{I}_A}{\bar{I}_B}=\frac{\Delta q_A}{\Delta q_B}\times\frac{\Delta t_B}{\Delta t_A} \xrightarrow[(\Delta t_A=2\Delta t_B)]{(I_A=2I_B)} 2=\frac{6}{\Delta q_B}\times 1 \Rightarrow \Delta q_B=\frac{6}{2}=2\ \mu C$$

۶- گزینه ۴ اگر مطابق شکل روبه‌رو در یک مدت معین Δt الکترون از مقطع A وارد سیم رسانا شوند، در همان مدت Δt الکترون از مقطع B خارج می‌شوند؛ بنابراین بار داخل سیم تغییر نمی‌کند.

۷- گزینه ۱ مساحت کرهٔ زمین برابر است با:

$$A=4\pi R_e^2=4\times 3\times(6000\times 10^3)^2=432\times 10^{12}\ m^2$$

بنابراین تعداد پروتون‌هایی که در هر ثانیه بر سطح زمین فرود می‌آیند برابر است با:

$$n=1500\times 432\times 10^{12}=648\times 10^{15}$$

باری که این تعداد پروتون حمل می‌کنند برابر است با:

$$q=ne=648\times 10^{15}\times 1/6\times 10^{-19}=0/10368\ C$$

جریان، برابر بار منتقل‌شده در ۱s است، پس:

$$I=\frac{q}{t}=\frac{0/10368}{1s}=0/10368\ A=0/10\ A$$

تذکر گزینه‌ها به اندازهٔ کافی از هم فاصله دارند و می‌توانید از تقریب‌های بزرگ‌تری استفاده کنید. مثلاً اگر $A=5\times 10^{14}\ m^2$ در نظر گرفته شود، $I=0/12\ A$ به دست می‌آید که ① نزدیک‌ترین گزینه به آن خواهد بود.

۸- گزینه ۳ این سؤال مشابه سؤالی است که در آزمون نهایی خرداد ۸۶ از دانش‌آموزان سال سوم ریاضی به عمل آمده است و ترکیبی از مباحث فصل گذشته و این فصل است. اگر بار هر کره را بعد از تماس با تماد q' نشان دهیم، خواهیم داشت:

$$q'_A=q'_B=q'=\frac{q_A+q_B}{2}=\frac{4-12}{2}=-4\ \mu C$$

میزان تغییر بار کرهٔ A برابر است با:

$$\Delta q_A=q'_A-q_A=-4-4=-8\ \mu C$$

بار کرهٔ B نیز به همین اندازه تغییر می‌کند.

$$\Delta q_B=q'_B-q_B=-4-(-12)=+8\ \mu C$$

اتفاقی که افتاده این است که $8\ \mu C-$ بار الکتریکی از کرهٔ B به کرهٔ A منتقل شده؛ از چه طریقی؟ از طریق سیم؛ بنابراین داریم:

$$\bar{I}=\frac{\Delta q}{\Delta t}=\frac{8\times 10^{-6}}{2\times 10^{-2}} \Rightarrow \bar{I}=4\times 10^{-4}\ A$$

۹- گزینه ۴ با توجه به پاسخ تست ۲، اندازهٔ بار خالص انتقال‌یافته در هر دقیقه برابر است با:

$$q=(n_{H^+}+n_{Cl^-})e=(3\times 10^{19}+3\times 10^{19})\times(1/6\times 10^{-19})=6\times 1/6\ C$$

و جریان متوسط برقرارشده در الکترولیت:

$$I=\frac{\Delta q}{\Delta t}=\frac{6\times 1/6}{60}=0/16\ A$$

(آقا چرا اون ۶ را در ۱/۶ ضرب کردی؟! چون می‌دونستیم آخر سر معاشیا همون ساده‌تر می‌شه! از کجا می‌دونستید؟! چون خودمون طراح تست بودیم!!)

۱۰- گزینه۳ باری که از مدار ماشین حساب می‌گذرد، برابر است با:

$$\Delta q = I\Delta t = (۰/۲)\times(۲\times۳۶۰۰) \Rightarrow \Delta q = ۱۴۴۰\,mC$$

بنا بر رابطهٔ فصل قبل و دقت به یکاها:

$$W_{\text{خارجی}} = W_{\text{باتری}} = q\Delta V \xrightarrow{(q=\Delta q=۱۴۴۰\,mC)} W_{\text{باتری}} = ۱۴۴۰\times۳ \Rightarrow W_{\text{باتری}} = ۴۳۲۰\,mJ$$

۱۱- گزینه۳ مقدار باری که توسط باتری از مدار منتقل می‌شود، برابر است با:

$$\Delta q = \bar{I}\Delta t \Rightarrow \Delta q = \Delta q_۱ + \Delta q_۲ \Rightarrow \Delta q = (\bar{I}_۱\Delta t_۱) + (\bar{I}_۲\Delta t_۲) = ۴\times۵ + ۳\times۱۰ = ۵۰\,A.h$$

در نتیجه مقدار بار قابل انتقال توسط باتری را می‌توان از رابطهٔ زیر به دست آورد:

$$q = q_۰ - \Delta q = ۷۰ - ۵۰ = ۲۰\,A.h = ۲۰\times(۱\,A)\times(۳۶۰۰\,s) = ۷۲۰۰۰\,C = ۷/۲\times۱۰^{۴}\,C$$

۱۲- گزینه۴ با توجه به رابطهٔ $\bar{I} = \frac{\Delta q}{\Delta t}$، داریم:

$$\Delta t = \frac{\Delta q}{\bar{I}} \Rightarrow \frac{\Delta t_A}{\Delta t_B} = \frac{\Delta q_A}{\Delta q_B}\times\frac{\bar{I}_B}{\bar{I}_A} \Rightarrow \frac{\Delta t_A}{\Delta t_B} = \frac{۲q}{q}\times\frac{۱/۵I}{I} = ۲\times۱/۵ \Rightarrow \frac{\Delta t_A}{\Delta t_B} = ۳$$

۱۳- گزینه۳ معمولاً المنت‌های اجاق برقی از سیم‌های رسانا ساخته می‌شوند و این رساناها از قانون اهم پیروی می‌کنند. قانون اهم در مواد نارسانایی مانند سیمان صدق نمی‌کند.

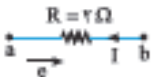
۱۴- گزینه۲ با توجه به شکل (۸) ۲ درست است.

۱۵- گزینه۴ فقط کافی است قانون اهم را برای مقاومت بنویسیم:

$$V = IR \Rightarrow ۱۰۰ = (۲t^{۲} - ۶t - ۴)\times۲۵ \Rightarrow ۲t^{۲} - ۶t - ۴ = \frac{۱۰۰}{۲۵}$$

$$\Rightarrow ۲t^{۲} - ۶t - ۴ = ۴ \Rightarrow ۲t^{۲} - ۶t - ۸ = ۰ \Rightarrow t^{۲} - ۳t - ۴ = ۰ \Rightarrow (t-۴)(t+۱) = ۰ \begin{cases} t = ۴\,s & \checkmark \\ t = -۱\,s & \times \end{cases}$$

۱۶- گزینه۴ جهت جریان در خلاف جهت حرکت الکترون‌ها و از b به a است و اندازهٔ آن برابر است با:



$$I = \frac{q}{t} = \frac{ne}{t} = \frac{(۱/۵\times۱۰^{۲۱})\times(۱/۶\times۱۰^{-۱۹})}{۶۰} = ۴\,A$$

با توجه به استراتژی (۱) درس‌نامهٔ (۲):

$$V_a + RI = V_b \Rightarrow -۵ + ۲\times۴ = V_b \Rightarrow V_b = +۳\,V$$

۱۷- گزینه۲ گام اول با افزایش ولتاژ دو سر رسانا، جریان عبوری از آن هم به همان نسبت افزایش می‌یابد، طوری که نسبت این دو که بیانگر مقاومت رساناست ثابت می‌ماند:

$$R = \frac{V}{I} \leftarrow \begin{matrix} \text{(ثابت)} \\ \text{(افزایش)} \\ \text{(افزایش)} \end{matrix} \begin{matrix} \\ \uparrow \\ \uparrow \end{matrix}$$

گام دوم افزایش اختلاف پتانسیل دو سر رسانا باعث می‌شود میدان الکتریکی درون رسانا قوی‌تر شود:

$$V = Ed \xrightarrow{(V\uparrow)} E\uparrow$$

این میدان بزرگ‌تر، نیروی الکتریکی بزرگ‌تری به الکترون‌ها وارد می‌کند. در نتیجه، شتاب حرکت الکترون‌ها بین برخوردهای متوالی با اتم‌ها و به دنبال آن، سرعت متوسط الکترون‌ها در راستای میدان افزایش می‌یابد.[۱]

۱۸- گزینه۴ در شرایط عنوان‌شده، می‌توانیم نسبت شیب‌ها را برابر نسبت تانژانت‌ها بگیریم. (چرا؟)

$$m = \frac{۱}{R} \Rightarrow \frac{m_۱}{m_۲} = \frac{\tan\alpha_۱}{\tan\alpha_۲} = \frac{R_۲}{R_۱} \Rightarrow \frac{\tan۶۰^{\circ}}{\tan۳۰^{\circ}} = \frac{R_۲}{R_۱} \Rightarrow \frac{\sqrt{۳}}{\frac{\sqrt{۳}}{۳}} = \frac{R_۲}{R_۱} \Rightarrow R_۲ = ۳R_۱$$

۱۹- گزینه۱ طبق رابطهٔ (۳)، مقاومت الکتریکی سیم با طول آن نسبت مستقیم دارد؛ لذا اگر طول سیم را با $L_۱$ نشان دهیم، مقاومت الکتریکی بین دو نقطه از سیم که به فاصلهٔ $L_۲ = ۱۰\,m$ از یکدیگر قرار دارند، به این ترتیب حساب می‌شود:

$$\frac{R_۲}{R_۱} = \frac{L_۲}{L_۱} \Rightarrow \frac{R_۲}{۲} = \frac{۱۰}{۴\times۱۰^{۳}} \Rightarrow R_۲ = ۵\times۱۰^{-۳}\,\Omega$$

جریان مثل ولتاژ نیست که بخواهد در طول رسانا تقسیم شود و از تمام قسمت‌های سیم، یک جریان واحد عبور می‌کند؛ در نتیجه، می‌توان نوشت:

$$V_۲ = R_۲I = (۵\times۱۰^{-۳})\times۵ \Rightarrow V_۲ = ۲/۵\times۱۰^{-۲}\,V$$

۱- این وضعیت شبیه وضعیت جریان آب در شلنگ است که افزایش فشار باعث افزایش جریان آب می‌شود.

۲۰- گزینه۱ روش اول گام اول مقاومت الکتریکی رساناها را مقایسه می‌کنیم:

$$R=\rho\frac{L}{A}\xrightarrow{(\rho=\rho_{\text{مس}})}R\propto\frac{L}{A}\quad(I)$$

$$\left(\frac{L_1}{A_1}=\frac{\frac{3L}{2}}{A}=\frac{3L}{2A},\ \frac{L_2}{A_2}=\frac{\frac{4L}{3}}{\frac{A}{2}}=\frac{8L}{3A},\ \frac{L_3}{A_3}=\frac{\frac{3L}{4}}{2A}=\frac{3L}{8A}\right)\xrightarrow{(\frac{8}{3}>\frac{3}{2}>\frac{3}{8})}\frac{L_2}{A_2}>\frac{L_1}{A_1}>\frac{L_3}{A_3}\xrightarrow{(I)}R_2>R_1>R_3\quad(II)$$

گام دوم با توجه به قانون اهم داریم:

$$V=RI\Leftrightarrow I=\frac{V}{R}\xrightarrow{(V\text{ یکسان})}I\propto\frac{1}{R}\xrightarrow{(II)}I_3>I_1>I_2$$

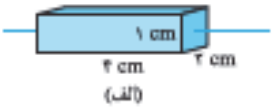
روش دوم گام اول (ترکیب تناسب‌ها و مقایسهٔ مستقیم)

$$V=RI\Leftrightarrow I=\frac{V}{R}\xrightarrow{(V\text{ یکسان})}I\propto\frac{1}{R}\xrightarrow[(\rho=\rho_{\text{مس}})]{(R=\rho\frac{L}{A})}I\propto\frac{A}{L}\quad(I)$$

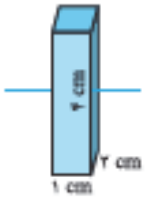
گام دوم

$$\left(\frac{A_1}{L_1}=\frac{A}{\frac{3L}{2}}=\frac{2A}{3L},\ \frac{A_2}{L_2}=\frac{\frac{A}{2}}{\frac{4L}{3}}=\frac{3A}{8L},\ \frac{A_3}{L_3}=\frac{2A}{\frac{3L}{4}}=\frac{8A}{3L}\right)\xrightarrow{(\frac{8}{3}>\frac{2}{2}>\frac{3}{8})}\frac{A_3}{L_3}>\frac{A_1}{L_1}>\frac{A_2}{L_2}\xrightarrow{(I)}I_3>I_1>I_2$$

۲۱- گزینه۳ زمانی که مکعب‌مستطیل، مطابق شکل (الف)، با بلندترین طول ($L_{max}=4\,cm$) و کوچک‌ترین سطح مقطع ($A_{min}=2\times1\,cm^2$) در مدار قرار بگیرد، بزرگ‌ترین مقاومت را خواهد داشت و اگر مطابق شکل (ب)، با کم‌ترین طول ($L_{min}=1\,cm$) و بزرگ‌ترین سطح مقطع ($A_{max}=4\times2\,cm^2$) در مدار قرار بگیرد، کوچک‌ترین مقاومت را خواهد داشت؛ لذا می‌توان نوشت:



(الف)



(ب)

$$\begin{cases}R_{max}=\rho\frac{L_{max}}{A_{min}}\\ R_{min}=\rho\frac{L_{min}}{A_{max}}\end{cases}\Rightarrow\frac{R_{max}}{R_{min}}=\frac{L_{max}}{L_{min}}\times\frac{A_{max}}{A_{min}}=\frac{4}{1}\times\frac{4\times2}{2\times1}\Rightarrow\frac{R_{max}}{R_{min}}=16$$

۲۲- گزینه۱ چون سیم‌ها هم‌جنس هستند، چگالی و هم‌چنین مقاومت ویژهٔ آن‌ها با هم برابر است و داریم:

$$m_A=m_B\Rightarrow V_A=V_B\Rightarrow L_AA_A=L_BA_B\Rightarrow\frac{L_A}{L_B}=\frac{A_B}{A_A}\xrightarrow{(A\propto d^2)}\frac{L_A}{L_B}=\frac{A_B}{A_A}=\left(\frac{d_B}{d_A}\right)^2=\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)^2=\frac{1}{2}$$

$$R=\rho\frac{L}{A}\xrightarrow{(\rho_A=\rho_B)}\frac{R_A}{R_B}=\left(\frac{L_A}{L_B}\right)\left(\frac{A_B}{A_A}\right)\Rightarrow\frac{R_A}{R_B}=\frac{1}{2}\times\frac{1}{2}\Rightarrow\frac{R_A}{10}=\frac{1}{4}\Rightarrow R_A=2/5\,\Omega$$

۲۳- گزینه۲ طول هر یک از سیم‌های جدید $\frac{1}{4}$ طول سیم اولیه است. هم‌چنین، سطح مقطع سیم چهارلای جدید، ۴ برابر سطح مقطع سیم اولیه است. با این حساب، نسبت مقاومت الکتریکی سیم جدید به مقاومت سیم اولیه برابر است با:

$$\frac{R_2}{R_1}=\frac{L_2}{L_1}\times\frac{A_1}{A_2}=\frac{\frac{1}{4}L_1}{L_1}\times\frac{A_1}{4A_1}\Rightarrow\frac{R_2}{R_1}=\frac{1}{16}$$

۲۴- گزینه۴ گام اول پس از تمویض رشته سیم، جریان ۲۰ درصد کاهش می‌یابد، پس:

$$I_2=I_1-\frac{20}{100}I_1=0/8\,I_1$$

از طرفی چون ولتاژ دو سر سیم ثابت است، داریم:

$$V=I_1R_1=I_2R_2\Rightarrow\frac{I_2}{I_1}=\frac{R_1}{R_2}\Rightarrow\frac{0/8I_1}{I_1}=\frac{R_1}{R_2}\Rightarrow\frac{R_1}{R_2}=0/8\quad(I)$$

گام دوم با نوشتن رابطهٔ (I) برحسب مشخصات فیزیکی مقاومت‌ها خواهیم داشت:

$$\frac{R_1}{R_2}=\frac{L_1}{L_2}\times\frac{A_2}{A_1}\Rightarrow0/8=\frac{L_1}{L_1+0/25L_1}\times\frac{A_2}{A_1}\Rightarrow0/8=\frac{L_1}{1/25\,L_1}\times\frac{A_2}{A_1}\Rightarrow\frac{A_2}{A_1}=1/25\times0/8\Rightarrow\frac{A_2}{A_1}=1\quad(II)$$

گام سوم اکنون با استفاده از رابطهٔ $m=\rho V$ خواستهٔ تست را به دست می‌آوریم:

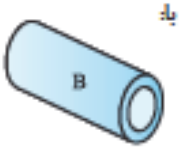
$$\frac{m_2}{m_1}=\frac{V_2}{V_1}\xrightarrow{(V=AL)}\frac{m_2}{m_1}=\frac{A_2}{A_1}\times\frac{L_2}{L_1}\xrightarrow{(II)}\frac{m_2}{m_1}=1\times1/25\Rightarrow m_2=1/25\,m_1$$

$$\frac{\Delta m}{m_1}\times100=\frac{m_2-m_1}{m_1}\times100=\frac{1/25\,m_1-m_1}{m_1}\times100=0/25\times100=\%25$$

۲۵- گزینه۴

$$\frac{R_A}{R_B}=\frac{\rho_A}{\rho_B}\times\frac{L_A}{L_B}\times\frac{A_B}{A_A}\Rightarrow1=\frac{2\rho_B}{\rho_B}\times\frac{L_A}{L_B}\times\frac{r^2}{\pi r^2}\xrightarrow{(\pi=3)}1=2\times\frac{L_A}{L_B}\times\frac{1}{3}\Rightarrow\frac{L_A}{L_B}=\frac{3}{2}$$

۲۶- گزینه۱ اگر شعاع داخلی کابل B را با r_i و شعاع خارجی آن را با r_0 نشان دهیم، سطح مقطع قسمت توپُر آن برابر است با:



$$A_B = \pi r_0^2 - \pi r_i^2 = \pi(r_0^2 - r_i^2)$$

بنابراین، می‌توان نوشت:

$$\frac{R_A}{R_B} = \frac{\rho_A}{\rho_B} \times \frac{L_A}{L_B} \times \frac{A_B}{A_A}$$

$$(\rho_A = \rho_B \ , \ L_A = L_B) \Rightarrow \frac{R_A}{R_B} = \frac{A_B}{A_A} = \frac{\pi(r_0^2 - r_i^2)}{\pi r_A^2} = \frac{2^2 - 1^2}{2^2} \Rightarrow \frac{R_A}{R_B} = \frac{3}{4}$$

توجه آن قسمت سیم B که جریان از آن عبور می‌کند، قسمت توپر آن است و به همین دلیل A_B معرف سطح مقطع قسمت توپر سیم B است.

۲۷- گزینه۲ گام اول مقاومت الکتریکی سیم و قانون اهم:

$$V = RI \Rightarrow 3 = R \times 1/2 \Rightarrow R = \frac{3}{1/2} = \frac{30}{12} = \frac{5}{2} = 2/5\,\Omega \quad (I)$$

گام دوم برای جلوگیری از تداخل نمادها، مقاومت ویژه را با ρ و چگالی را با ρ' نشان می‌دهیم.

$$R = \rho\frac{L}{A} \Rightarrow 2/5 = 1/8 \times 10^{-8} \times \frac{25}{A} \Rightarrow A = 1/8 \times 10^{-7}\ m^2$$

$$\text{(حجم سیم) } V = AL = (1/8 \times 10^{-7}) \times 25 = 4/5 \times 10^{-6}\ m^3 = 4/5 \times 10^{-6} \times 10^6\ cm^3 = 4/5\ cm^3$$

و بالاخره، جرم سیم:

$$\rho' = \frac{m}{V} \Rightarrow m = \rho' V = 8 \times 4/5 = 36\ g$$

۲۸- گزینه۱ مقاومت ویژه را با ρ و چگالی را با ρ' نشان می‌دهیم. هم‌چنین کمیت‌های مربوط به سیم مسی را با زیروند C و کمیت‌های مربوط به سیم آلومینیمی را با زیروند A می‌آوریم.

$$R_C = R_A \Rightarrow \rho_C \frac{L_C}{A_C} = \rho_A \frac{L_A}{A_A} \xrightarrow{(L_C = L_A)} \frac{1}{2}\rho_A \times \frac{1}{A_C} = \rho_A \times \frac{1}{A_A} \Rightarrow A_A = 2A_C$$

$$m = \rho' V = \rho' AL \Rightarrow \frac{m_A}{m_C} = (\frac{\rho'_A}{\rho'_C}) \times (\frac{A_A}{A_C}) \times (\frac{L_A}{L_C}) = (\frac{2/7}{9}) \times 2 \times 1 = \frac{3}{5}$$

۲۹- گزینه۴ از رابطهٔ اصلی مقاومت یعنی $R = \rho\frac{L}{A}$ شروع می‌کنیم. اگر صورت و مخرج کسر سمت راست را در L و سپس در ρ' ضرب کنیم، داریم:

$$R = \frac{\rho L}{A} = \rho\frac{L \times L}{A \times L} \xrightarrow{(V = AL)} R = \rho\frac{L^2}{V} = \rho\frac{\rho' L^2}{\rho' V} \xrightarrow{(m = \rho' V)} R = \rho\rho'\frac{L^2}{m}$$

۳۰- گزینه۴ گام اول سراغ مقایسهٔ مساحت مقطع سیم‌ها می‌رویم. (چگالی را با ρ' نشان می‌دهیم تا با نماد مقاومت ویژه اشتباه نشود.)

$$\rho' = \frac{m}{V} \xrightarrow{(V = AL)} \rho' = \frac{m}{AL} \Rightarrow \frac{\rho'_B}{\rho'_A} = (\frac{m_B}{m_A})(\frac{A_A}{A_B})(\frac{L_A}{L_B}) \xrightarrow[(L_A = L_B)]{(m_B = \frac{2}{3}m_A),\,(\rho_B = \frac{1}{2}\rho'_A)} \frac{1}{3} = \frac{2}{3} \times \frac{A_A}{A_B} \times 1 \Rightarrow \frac{A_A}{A_B} = \frac{1}{2} \quad (I)$$

گام دوم حالا مقایسهٔ مقاومت‌ها:

$$R = \rho\frac{L}{A} \Rightarrow \frac{R_B}{R_A} = (\frac{\rho_B}{\rho_A})(\frac{L_B}{L_A})(\frac{A_A}{A_B}) \xrightarrow[(I)]{(R_A = R_B),\,(L_A = L_B)} 1 = \frac{\rho_B}{\rho_A} \times 1 \times \frac{1}{2} \Rightarrow \frac{\rho_B}{\rho_A} = 2$$

۳۱- گزینه۲

$$\frac{R_2}{R_1} = (\frac{L_2}{L_1})^2 \Rightarrow 16 = (\frac{L_2}{10})^2 \Rightarrow \frac{L_2}{10} = 4 \Rightarrow L_2 = 40\ cm$$

۳۲- گزینه۴ وقتی سیم ذوب می‌شود و دوباره قالب می‌گیرد، جرم و در نتیجه حجم آن تغییر نمی‌کند. بنابراین می‌توان نوشت:

$$V_1 = V_2 \Rightarrow A_1 L_1 = A_2 L_2 \xrightarrow{(A = \pi r^2)} \frac{L_2}{L_1} = \frac{A_1}{A_2} = (\frac{r_1}{r_2})^2 \xrightarrow{(r_2 = \frac{1}{2}r_1)} \frac{L_2}{L_1} = 4$$

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{L_2}{L_1} \times \frac{A_1}{A_2} = 4 \times 4 = 16$$

۳۳- گزینه۴ زیروند ۱ برای سیم اولیه و زیروند ۲ را برای سیم پس از عبور از دستگاه در نظر می‌گیریم. جرم سیم پس از عبور از دستگاه ۲۰ درصد کاهش می‌یابد؛ پس:

$$m_2 = m_1 - \frac{20}{100}m_1 = 0/8\,m_1 \quad (I)$$

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{\rho_2}{\rho_1} \times \frac{V_2}{V_1} \xrightarrow{(\rho_2 = \rho_1)} \frac{m_2}{m_1} = \frac{V_2}{V_1} \xrightarrow{(V = AL)} \frac{m_2}{m_1} = \frac{A_2}{A_1} \times \frac{L_2}{L_1}$$

$$\xrightarrow{(A_2 = \frac{1}{2}A_1)} \frac{m_2}{m_1} = \frac{1}{2} \times \frac{L_2}{L_1} \xrightarrow{(I)} 0/8 = \frac{1}{2} \times \frac{L_2}{L_1} \Rightarrow \frac{L_2}{L_1} = 1/6 \quad (II)$$

با نوشتن رابطهٔ مقایسه‌ای برای مقاومت‌ها، داریم:

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{L_2}{L_1} \times \frac{A_1}{A_2} \xrightarrow{(II)} \frac{R_2}{R_1} = 1/6 \times 2 = 3/2$$

۳۴- گزینه۲ گام اول جرم دو رشته سیم فلزی با یکدیگر برابر $(m_A = m_B)$ و چگالی فلز A، نصف چگالی فلز B است $(\rho'_A = \frac{1}{2}\rho'_B)$؛ بنابراین

چگالی فلز مخلوط این دو فلز (ρ'_T) برابر است با: $\rho'_T = \frac{m_T}{V_T} = \frac{m_A + m_B}{V_A + V_B} = \frac{m_A + m_B}{\frac{m_A}{\rho'_A} + \frac{m_B}{\rho'_B}} = \frac{m_A + m_A}{\frac{m_A}{\rho'_A} + \frac{m_A}{2\rho'_A}} = \frac{2m_A}{\frac{3m_A}{2\rho'_A}} \Rightarrow \rho'_T = \frac{4}{3}\rho'_A$ (I)

گام دوم جرم سیم حاصل، ۲ برابر جرم هر یک از سیم‌های اولیه است؛ پس: $m_T = 2m_A \Rightarrow \rho'_T V_T = 2\rho'_A V_A \xrightarrow{(I)} (\frac{4}{3}\rho'_A)V_T = 2\rho'_A V_A$

$\Rightarrow \frac{V_T}{V_A} = \frac{6}{4} = \frac{3}{2} \xrightarrow{(V=AL)} \frac{A_T L_T}{A_A L_A} = \frac{3}{2} \xrightarrow{(L_T = L_A)} \frac{A_T}{A_A} = \frac{3}{2}$ (II)

گام سوم اگر مقاومت ویژهٔ سیم A را با ρ_A و مقاومت ویژهٔ سیم آلیاژ را با ρ_T نشان دهیم، داریم:

$\frac{R_T}{R_A} = \frac{\rho_T}{\rho_A} \times \frac{L_T}{L_A} \times \frac{A_A}{A_T} \xrightarrow[(L_T = L_A)\,,\,(II)]{(\rho_T = \rho_A)} \frac{R_T}{R_A} = 1 \times 1 \times \frac{2}{3} = \frac{2}{3}$

۳۵- گزینه۴ جریان در قوی‌ترین آذرخش‌ها باید در همان زمان، از برقگیر هم بگذرد؛ چون زمان شارش جریان در برقگیر ناچیز است، آن را یکنواخت (ثابت) فرض می‌کنیم:

$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{q}{t} = \frac{2/5}{60 \times 10^{-6}} = \frac{25 \times 10^{-1}}{6 \times 10^{-5}} = \frac{25}{6} \times 10^4\ A$

به کمک قانون اهم:

$V_{max} = R_{max} I \Rightarrow 75 = R_{max} \times \frac{25}{6} \times 10^4 \Rightarrow R_{max} = \frac{6 \times 75}{25} \times 10^{-4} = 18 \times 10^{-4}\ \Omega$

بیشترین مقاومت برقگیر (R_{max}) با کم‌ترین مساحت مقطع قاعده‌اش (A_{min}) به دست می‌آید:

$R_{max} = \rho \frac{L}{A_{min}} \Rightarrow 18 \times 10^{-4} = 10^{-7} \times \frac{6}{A_{min}} \Rightarrow A_{min} = \frac{1}{3} \times 10^{-2}\ m^2 \xrightarrow[(1\,cm^2 = 10^{-2}\,mm^2)]{(1\,m^2 = 10^4\,cm^2)} A_{min} = \frac{10}{3}\,cm^2 = \frac{1000}{3}\,mm^2$

۳۶- گزینه۲ رابطهٔ $|\Delta V| = Ed$ | این‌جا هم برقرار است که d فاصلهٔ دو نقطه در راستای خطوط میدان است. «آهنگ انتقال بار» هم به مفهوم جریان است.

$\Delta V = EL \Rightarrow E = \frac{V}{L} = \frac{RI}{L} \xrightarrow{(R = \frac{\rho L}{A})} E = \frac{\rho I}{A} = \frac{10^{-8} \times 2}{10^{-6}} = 2 \times 10^{-2}\ V/m$

۳۷- گزینه۴ وقتی لامپ را روشن می‌کنیم، دمای رشتهٔ آن بالاتر می‌رود و مقاومت آن افزایش می‌یابد.

۳۸- گزینه۲ شیب نمودار $I-V$ی رسانا با مقاومت آن نسبت عکس دارد. پس $R_2 > R_1$ و در نتیجه $\theta_2 > \theta_1$ است.

۳۹- گزینه۲ نمودار نشان می‌دهد که مقاومت ویژهٔ جسم در اثر افزایش دما کاهش یافته است؛ پس این جسم می‌تواند نوعی مادهٔ نیم‌رسانا مثل سیلیسیم باشد.

۴۰- گزینه۴ قلع در دماهای بسیار پایین ابررسانا است؛ یعنی مقاومت ویژهٔ قلع در دماهای نزدیک به $0\ K$ برابر صفر است. چاره‌ای جز انتخاب ④ نداریم!

۴۱- گزینه۴ با افزایش دما در هر دو قطعه، یون‌های داخل قطعه با دامنهٔ بیشتری نوسان می‌کنند و تعداد برخوردهای الکترون‌ها با یون‌ها افزایش می‌یابد؛ در نتیجه سرعت سوق الکترون‌ها کاهش می‌یابد.

بحث بهشتر در مدار شکل (الف) با افزایش دما، مقاومت رسانا افزایش و جریان مدار کاهش می‌یابد و این به دلیل کاهش سرعت سوق الکترون‌هاست؛ اما در مدار شکل (ب) با افزایش دما، مقاومت نیم‌رسانا کاهش و جریان مدار افزایش می‌یابد. چرا با وجود افزایش جریان، سرعت سوق الکترون‌ها کاهش می‌یابد؟ چون با افزایش دما تعداد الکترون‌های آزادشده (حامل‌های بار) به شدت افزایش می‌یابد و همین باعث افزایش جریان مدار (علی‌رغم کاهش سرعت سوق) می‌شود.

۴۲- گزینه۳ با افزایش اختلاف پتانسیل دو سر قطعهٔ کربنی، جریان گذرا از قطعه و در نتیجه، دمای آن افزایش و مقاومت آن کاهش می‌یابد؛ بنابراین، شیب خط مماس بر نمودار $I-V$ $(\frac{1}{R}$ = شیب)، باید به تدریج افزایش یابد. ③ را هر چه سریع‌تر بزنید!

۴۳- گزینه۱ گام اول به شکل (الف) توجه بفرمایید. جریان از پایهٔ A به رئوستا وارد و از طریق لنزنده، میله و پایهٔ B از رئوستا خارج می‌شود. وقتی لنزنده به سمت راست برده می‌شود، طولی از سیم‌پیچ رئوستا که از آن جریان می‌گذرد افزایش یافته و مقاومت رئوستا افزایش می‌یابد.

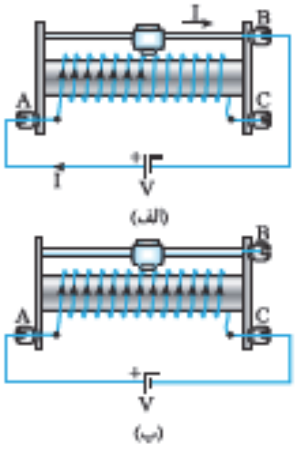
$R \propto L \xrightarrow{(L\uparrow)} R\uparrow$

هر چه مقاومت رئوستا بیشتر باشد، جریان مدار کم‌تر می‌شود. بنابراین: $I = \frac{V}{R} \xrightarrow[(R_2 > R_1)]{(V\ \text{ثابت})} I_2 < I_1$

گام دوم اگر مطابق شکل (ب) یک سر باتری را به پایهٔ A و سر دیگر را به پایهٔ C وصل کنیم، چه اتفاقی می‌افتد؟ در این صورت جریان مجبور است از پایهٔ A وارد رئوستا و از پایهٔ C خارج شود! یعنی از همهٔ سیم‌پیچ رئوستا جریان عبور می‌کند و به بیان دیگر رئوستا با همهٔ طول خود و با بیشترین مقاومت در مدار قرار می‌گیرد. در این شرایط جریان مدار به حداقل مقدار ممکن می‌رسد:

$I = \frac{V}{R} \Rightarrow I_{min} = \frac{V}{R_{max}}$

پس جریان مدار در این وضعیت کم‌تر از بقیهٔ حالت‌ها است: $I_1 > I_2 > I_3$



۴۴- گزینه ۱ گام اول وقتی مطابق شکل (الف)، پایانه‌های باتری به خروجی‌های A و B وصل می‌شوند، طولی از مادهٔ مقاومتی که در مدار قرار می‌گیرد، L_1 و مقاومت آن R_1 است و داریم: $R_1 = \frac{V}{I_1} = \frac{۱۲}{۳} = ۴\,\Omega$

(الف)

گام دوم وقتی مطابق شکل (ب)، پایانه‌های باتری به خروجی‌های B و C وصل می‌شوند، طولی از مادهٔ مقاومتی که در مدار قرار می‌گیرد L_2 و مقاومت آن R_2 است و داریم: $R_2 = \frac{V}{I_2} = \frac{۱۲}{۲} = ۶\,\Omega$

(ب)

گام سوم وقتی مطابق شکل (پ) پایانه‌های باتری به خروجی‌های A و C وصل می‌شود، جریان از پایهٔ A وارد مادهٔ مقاومتی می‌شود و از پایهٔ C خارج می‌شود. بنابراین، تمام طول مادهٔ مقاومتی (L) در مدار قرار می‌گیرد:

$L = L_1 + L_2$

مقاومت کل مادهٔ مقاومتی برابر مجموع مقاومت بین پایانه‌های A و B و بین پایانه‌های B و C است:

$$L = L_1 + L_2 \Rightarrow \rho\frac{L}{A} = \rho\frac{(L_1 + L_2)}{A} \Rightarrow \rho\frac{L}{A} = \rho\frac{L_1}{A} + \rho\frac{L_2}{A}$$

$$\Rightarrow R_{AC} = R_{AB} + R_{BC} \Rightarrow R_{AC} = R_1 + R_2 = ۴ + ۶ = ۱۰\,\Omega$$

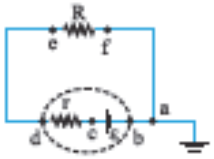
(پ)

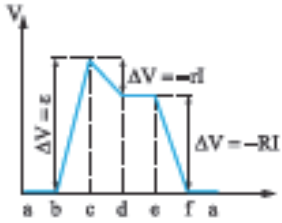
جریان مدار در این حالت برابر است با: $I = \frac{V}{R_{AC}} = \frac{۱۲}{۱۰} = ۱/۲\,A$

۴۵- گزینه ۲ بار منتقل‌شده برابر است با: $\Delta q = ne = (۵\times۱۰^{۱۸})\times(۱/۶\times۱۰^{-۱۹}) = ۰/۸\,C$

و کار لازم برای این انتقال: $\varepsilon = \frac{\Delta W}{\Delta q} \Rightarrow \Delta W = \varepsilon\Delta q = ۱۲\times۰/۸ = ۹/۶\,J$

۴۶- گزینه ۱ با توجه به نقاط نشان داده شده در شکل مدار، می‌توانیم بگوییم:





$V_a - V_b$ $\quad$ $V_b + \varepsilon - V_c$

$V_c - rI - V_d$ $\quad$ $V_d - V_e$

$V_e - RI - V_f$ $\quad$ $V_f - V_a$

تغییرات فوق در پتانسیل الکتریکی، فقط در نمودار ارائه‌شده در (۱) قابل مشاهده است.

توجه چون از مقاومت سیم‌های رابط صرف‌نظر می‌شود، تمام نقاط روی یک سیم پتانسیل الکتریکی یکسانی دارند. به طور مثال، در مورد نقاط a و b می‌توان گفت: $V_a - V_b - R_{ab}I \xrightarrow{(R_{ab}=۰)} V_a - V_b = ۰ \Rightarrow V_a = V_b$

۴۷- گزینه ۲ کلید در هنگامی که بسته است، مانند یک سیم رابط و هنگامی که باز است، مانند یک سیم قطع‌شده ـ که هیچ جریانی را از خود عبور نمی‌دهد ـ رفتار می‌کند. بنابراین، شاخه‌ای از مدار را که شامل کلید باز است، کاملاً می‌توان نادیده گرفت و از مدار حذف کرد.