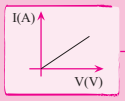
فصل ۲: جریان الکتریکی و مدارهای جریان مستقیم

- درس اوّل: جریان الکتریکی، مقاومت الکتریکی و قانون اهم
- درس دوم: عوامل مؤثر بر مقاومت الکتریکی – انواع مقاومت‌ها
- درس سوم: نیروی محرکهٔ الکتریکی و مدار تک‌حلقه
- درس چهارم: توان در مدار الکتریکی
- درس پنجم: ترکیب مقاومت‌ها

جریان الکتریکی و مقاومت الکتریکی

- جریان الکتریکی متوسط: $I=\frac{\Delta q}{\Delta t}$
- مقاومت الکتریکی و قانون اهم: $R=\frac{V}{I}$
  - نمودار I-V رسانای اهمی: 

عوامل مؤثر بر مقاومت الکتریکی و انواع مقاومت‌ها

- عوامل مؤثر بر مقاومت الکتریکی: $R=\rho\frac{L}{A}$
  - تغییر مقاومت و مقاومت ویژه با دما: $\rho=\rho_0[1+\alpha(T-T_0)]$ ، $R=R_0[1+\alpha(T-T_0)]$
- انواع مقاومت‌ها
  - مقاومت پیچه‌ای: رئوستا - پتانسیومتر
  - مقاومت ترکیبی: تلرانس $R=ab\times10^{n}\ \Omega\pm$
  - مقاومت‌های خاص: ترمیستور، مقاومت‌های نوری (LDR)، دیود (یک‌سوکنندهٔ جریان)

منبع نیروی محرکهٔ الکتریکی (باتری)

- نیروی محرکهٔ الکتریکی: $\varepsilon=\frac{\Delta W}{\Delta q}$
- انواع باتری‌ها
  - آرمانی: $r=0$
  - واقعی: $r\neq0$
- اختلاف پتانسیل دو سر باتری
  - آرمانی: $\Delta V=\varepsilon$
  - واقعی
    - جریان از پایانهٔ مثبت خارج شود: $\Delta V=\varepsilon-Ir$
    - جریان به پایانهٔ مثبت وارد شود: $\Delta V=\varepsilon+Ir$
- افت پتانسیل در مقاومت الکتریکی: $\Delta V=-IR$

مدارهای تک‌حلقه

- قاعدهٔ حلقه: در هر دورزدن کامل حلقه‌ای از مدار، جمع جبری اختلاف پتانسیل‌های اجزای مدار باید صفر شود
- محاسبهٔ جریان الکتریکی در مدارهای تک‌حلقه: $I=\frac{\sum\varepsilon}{\sum R+\sum r}$

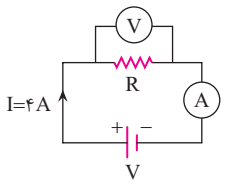
توان الکتریکی در مدارهای الکتریکی

- تعریف عمومی توان: $P=I\Delta V$
  - $P>0$: انرژی تولید می‌شود
  - $P<0$: انرژی مصرف می‌شود
- توان مصرفی در یک مقاومت
  - $P=I\Delta V$
  - $P=RI^2$
  - $P=\frac{(\Delta V)^2}{R}$
- توان مصرفی در یک مقاومت
  - توان تولیدی: $P=\varepsilon I$
  - توان مصرفی: $P=rI^2$
  - توان خروجی: $P=\varepsilon I-rI^2$

ترکیب مقاومت‌ها

- به‌هم بستن متوالی: $I=I_1=I_2=\dots$ ، $V=V_1+V_2+\dots$ ، $R_{eq}=R_1+R_2+\dots$
- به‌هم بستن موازی: $V=V_1=V_2=\dots$ ، $I=I_1+I_2+\dots$ ، $\frac{1}{R_{eq}}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\dots$
- به‌هم بستن مقاومت‌ها
- قاعدهٔ انشعاب: مجموع جریان‌هایی که به هر گره وارد می‌شود، برابر مجموع جریان‌هایی است که از آن گره خارج می‌شود.

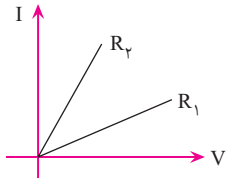
۷. **از مدار روبه‌رو در مدت ۲ دقیقه جریان ۴A می‌گذرد و انرژی‌ای که مولد به مدار می‌دهد ۱۹۶۰J است.**



الف. اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت (R) چند ولت است؟

ب. مقاومت الکتریکی (R) چند اهم است؟

۸. **در شکل مقابل نمودار $I-V$ مربوط به دو نوع رسانا نشان داده شده است مقاومت کدام رسانا بیشتر است؟ توضیح دهید.**

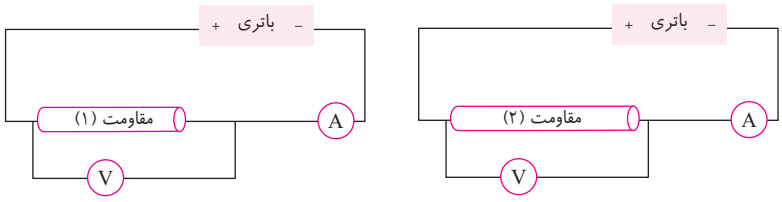


درس دوم: عوامل مؤثر بر مقاومت الکتریکی – انواع مقاومت‌ها

عوامل مؤثر بر مقاومت الکتریکی

آزمایش‌ها نشان می‌دهد که اندازهٔ یک مقاومت به جنس مقاومت، طول و سطح مقطع آن بستگی دارد. برای بررسی چگونگی بستگی اندازهٔ مقاومت به این عوامل، آزمایش‌های زیر را انجام می‌دهیم:

الف. رابطه مقاومت با طول: سیم‌هایی از یک جنس (مثلاً کنستانتان یا نیکروم) با قطر یکسان و طول متفاوت را مطابق شکل در مدار قرار می‌دهیم. با اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت با ولت‌سنج و همچنین جریان گذرنده از مقاومت با آمپرسنج و استفاده از رابطهٔ $R=\frac{V}{I}$، مقاومت دو سیم (۱) و (۲) را به‌دست می‌آوریم.



نتیجهٔ آزمایش این است که مقاومتی (سیمی) که طول بیشتری دارد، اندازهٔ (مقاومت) بزرگ‌تری را خواهد داشت. بنابراین اندازهٔ مقاومت و طول آن رابطهٔ مستقیم دارند.

ب. رابطهٔ مقاومت و سطح مقطع: دو سیم هم‌جنس و هم‌طول، ولی با سطح مقطع‌های متفاوت را مطابق شکل در مدار قرار می‌دهیم. با اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت و جریان گذرنده از آن و استفاده از رابطهٔ $R=\frac{V}{I}$، مقاومت دو سیم (۱) و (۲) را به‌دست می‌آوریم. نتیجهٔ آزمایش این است که سیمی که سطح مقطع بزرگ‌تری دارد، مقاومت کمتری خواهد داشت. بنابراین اندازهٔ مقاومت با سطح مقطع آن رابطهٔ عکس دارد.

پ. رابطهٔ مقاومت با جنس: دو سیم هم‌طول و با قطر یکسان، ولی با دو جنس متفاوت را در مدار قرار می‌دهیم. بااندازه‌گیری اختلاف پتانسیل دوسر مقاومت و جریان گذرنده از آن و استفاده از رابطهٔ $R=\frac{V}{I}$ مقاومت دوسیم را به‌دست می‌آوریم.

نتیجه آزمایش این است که مقاومت به جنس سیم بستگی‌دارد.

بنا بر آزمایش‌هایی که با محاسبات نظری تأیید شدند، نتیجه می‌گیریم که مقاومت جسم (R) در دمای ثابت به طول (L)، مساحت مقطع (A) و جنس آن بستگی دارد:

الف. مقاومت سیم (R) با طول سیم (L) رابطهٔ مستقیم دارد.

ب. مقاومت سیم (R) با مساحت مقطع سیم (A) رابطهٔ عکس دارد.

پ. مقاومت سیم (R) به جنس سیم بستگی دارد.

با توجه به عوامل مؤثر بر مقاومت الکتریکی رابطهٔ زیر را خواهیم داشت:

نام یکا	یکا	نام کمیت	نماد
اهم	Ω	مقاومت الکتریکی	R
متر	m	طول رسانا	L
مترمربع	m^2	مساحت مقطع جسم	A
اهم متر	$\Omega.m$	مقاومت ویژه	ρ

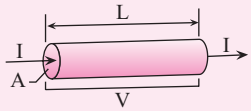
$$R = \rho \frac{L}{A}$$

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

مثال:

با استدلال توضیح دهید که چرا مقاومت به طول و سطح مقطع جسم بستگی دارد؟

پاسخ: مطابق شکل از سیمی به طول L و سطح مقطع A تحت اختلاف پتانسیل V، جریان I می‌گذرد.



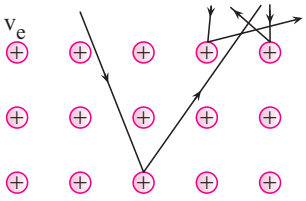
هرچه جسم بلندتر شود، الکترون‌ها هنگام عبور از آن برخوردهای بیشتری باهم پیدا می‌کنند و بنابراین مقاومت الکتریکی جسم بیشتر می‌شود.

کوچک‌ترشدن سطح مقطع جسم را می‌توان به کوچک‌ترشدن سطح مقطع یک لوله تشبیه کرد که شاره‌ای در آن جریان دارد و با کوچک‌ترشدن مقطع عبور، مقدار شارهٔ عبوری کاهش می‌یابد که به معنی افزایش مقاومت در برابر عبور شاره است.

توجه: ۱. کمیت ρ که به آن مقاومت ویژه گفته می‌شود، به ساختار الکترونی ماده و دمای آن بستگی دارد.

۲. رساناها خوب الکتریکی، مقاومت ویژهٔ بسیار کم و عایق‌های خوب، مقاومت ویژهٔ بسیار زیاد دارند. همچنین موادی مانند ژرمانیم و سیلسیم، مقاومت ویژه‌ای بین مقاومت ویژه رساناها و نارساناها دارند. به این دسته از مواد نیم‌رسانا می‌گویند.

تغییر مقاومت ویژه (ρ) با دما



در یک رسانای فلزی با افزایش دما، ارتعاشات کاتوره‌ای اتم‌ها و یون‌ها، با وجود ثابت‌بودن تعداد حامل‌های بار (الکترون‌های آزاد)، افزایش می‌یابد و مطابق شکل، سبب افزایش برخورد الکترون‌های آزاد با شبکهٔ اتمی رسانای فلزی می‌شود و به این ترتیب مقاومت رسانا در برابر عبور جریان زیاد می‌شود.

آزمایش نشان می‌دهد که مقاومت ویژهٔ (ρ) فلزات در یک گستردهٔ دمایی نسبتا بزرگ تقریباً به طور خطی با دما تغییر می‌کند که به صورت زیر نوشته می‌شود.

نام یکا	یکا	نام کمیت	نماد
اهم متر	$\Omega.m$	مقاومت ویژه در دمای T	ρ
اهم متر	$\Omega.m$	مقاومت ویژه در دمای $T_\circ$	$\rho_\circ$
کلوین یا سلسیوس	K یا $^\circ C$	دمای رسانا	T یا θ
کلوین یا سلسیوس	K یا $^\circ C$	دمای مرجع	$T_\circ$ یا $\theta_\circ$
بر درجهٔ کلوین یا بر درجهٔ سلسیوس	K^{-1} یا $\frac{1}{^\circ C}$	ضریب دمایی مقاومت ویژه	α

$$\rho = \rho_\circ \left[1 + \alpha (T - T_\circ)\right]$$

توجه : ۱. در رساناهای فلزی با افزایش دما، مقاومت سیم افزایش می‌یابد و با توجه به جدول ۲-۲ کتاب درسی درمی‌یابیم که ضریب دمایی مقاومت ویژهٔ (α) رساناهای فلزی مثبت است. در حالی که در نیم رساناها با افزایش دما از مقاومت کاسته می‌شود و در نتیجه ضریب دمایی مقاومت ویژه (α) در نیم رساناها منفی است.

۲. طبق رابطهٔ $R=\rho\frac{L}{A}$ ، مقاومت (R) با مقاومت ویژه (ρ) رابطهٔ مستقیم دارد. بنابراین از رابطهٔ $\rho=\rho_{\circ}[1+\alpha(T-T_{\circ})]$ می‌توان رابطهٔ $R=R_{\circ}[1+\alpha(T-T_{\circ})]$ را نتیجه گرفت.

۳. دمای مرجع $(T_{\circ})$ را معمولاً دمای اتاق درنظر می‌گیریم: $T_{\circ}=20^{\circ}C=293K$

تیپ A: کاربرد رابطهٔ مقاومت الکتریکی $(R=\rho\frac{l}{A})$ و رابطهٔ مقاومت با دما

مثال:

۱. مقاومت الکتریکی یک سیم فلزی به طول $12km$ و قطر مقطع $2mm$ برابر 25Ω است.

الف. مقاومت ویژهٔ این فلز را حساب کنید.

ب. اگر دمای سیم از $20K$ به $120K$ برسد، مقاومت الکتریکی آن چند اهم می‌شود؟ $(\alpha=4\times10^{-3}K^{-1})$

پاسخ:

معلومات
$L=12km$
$D=2mm$, $R=24\Omega$
$T_1=20K$, $T_2=120K$

مجهول
الف) $\rho=?$
ب) $R=?$

رابطه
$R=\rho\frac{L}{A}$
$R=R_{\circ}[1+\alpha(T-T_{\circ})]$

حل تشریحی

الف.
$A=\pi r^2=\frac{\pi D^2}{4}\Rightarrow A=\frac{3(2\times10^{-3})^2}{4}=3\times10^{-6}m^2$
$R=\rho\frac{L}{A}\rightarrow 24=\rho\frac{12\times10^3}{3\times10^{-6}}$
$\rightarrow\rho=6\times10^{-3}\Omega.m$

ب.
$R=R_{\circ}[1+\alpha(T-T_{\circ})]$
$R=24[1+4\times10^{-3}(120-20)]\rightarrow R=33/6\Omega$

۲. مقاومت ویژهٔ مس $1/7\times10^{-8}\Omega.m$ و مقاومت ویژهٔ نیکروم (آلیاژ نیکل و کروم) $100\times10^{-8}\Omega.m$ است. مقاومت الکتریکی چه طولی از یک سیم مسی برابر مقاومت سیمی از نیکروم با طول $51cm$ است؟ (سطح مقطع دو سیم را یکسان فرض کنید.)

پاسخ:

معلومات
$\rho_{مس}=1/7\times10^{-8}\Omega\cdot m$
$\rho_{نیکروم}=100\times10^{-8}\Omega\cdot m$
$A_{مس}=A_{نیکروم}$, $R_{مس}=R_{نیکروم}$
$L_{نیکروم}=51cm$

مجهول
$L_{مس}=?$

رابطه
$R=\rho\frac{L}{A}$

حل تشریحی
$R_{مس}=R_{نیکروم}$, $R=\rho\frac{L}{A}$
$\left(\rho\frac{L}{A}\right)_{مس}=\left(\rho\frac{L}{A}\right)_{نیکروم}$
$\left(1/7\times\cancel{10^{-8}}\times\frac{L}{\cancel{A}}\right)_{مس}=\left(100\times\cancel{10^{-8}}\times\frac{51}{\cancel{A}}\right)_{نیکروم}$
$L_{مس}=\frac{100\times51}{1/7}\rightarrow L_{مس}=3000cm$

۳. یک گرم‌کنندهٔ برقی را که دمای آن صفر درجهٔ سلسیوس است، به اختلاف پتانسیل $۱۰۰\,V$ وصل می‌کنیم و جریان $۲A$ از آن می‌گذرد. چند ثانیه بعد جریان کاهش یافته و به $۱/۵A$ می‌رسد. دمای نهایی سیم را حساب کنید. (ضریب دمایی مقاومت در این گسترهٔ دمایی به طور متوسط $۴/۵\times۱۰^{-۴}\,°C$ است.)

پاسخ:

معلومات

$\theta_۱ = ۰°C$

$V = ۱۰۰V$

$I_۱ = ۲A \;,\; I_۲ = ۱/۵A$

$\alpha = ۴/۵\times۱۰^{-۴}$

مجهول

$\theta_۲ = ?$

رابطهٔ اصلی

$R_۲ = R_۱(۱+\alpha\Delta\theta)$

رابطهٔ کمکی

$R = \frac{V}{I}$

حل تشریحی

$R_۱ = \frac{V_۱}{I_۱} \rightarrow R_۱ = \frac{۱۰۰}{۲} \;,\; R_۱ = ۵۰\Omega$

$R_۲ = \frac{V_۲}{I_۲} \rightarrow R_۲ = \frac{۱۰۰}{۱/۵} \;,\; R_۲ = \frac{۲۰۰}{۳}\Omega$

$R_۲ = R_۱(۱+\alpha\Delta\theta) \rightarrow \frac{۲۰۰}{۳} = ۵۰\left[۱+۴/۵\times۱۰^{-۴}(\theta-۰)\right]$

$\rightarrow \frac{۱}{۳} = ۴/۵\times۱۰^{-۴}\theta \rightarrow \theta = \frac{۱۰^{۴}}{۳\times۴/۵} \rightarrow \boxed{\theta = ۷۴۰/۷°C}$

همان‌طور که مشاهده می‌کنید با گذشت زمان، بر اثر عبور جریان، دمای سیم افزایش یافته و مقاومت زیاد می‌شود و جریان عبوری کاهش می‌یابد.

۴. دمای یک رسانا برابر $۳۰°C$ و ضریب دمایی آن $۵\times۱۰^{-۳}K^{-۱}$ است. دمای این مقاومت را به چند درجه سلسیوس برسانیم تا مقاومت آن در دمای جدید، ٪۶۰ مقاومت اولیه آن شود؟

پاسخ:

معلومات

$\theta_۱ = ۳۰°C$

$\alpha = ۵\times۱۰^{-۳}K^{-۱}$

$R_۲ = \frac{۶۰}{۱۰۰}R_۱$

مجهول

$\theta_۲ = ?$

رابطه

$R_۲ = R_۱(۱+\alpha\Delta\theta)$

$\Delta\theta = \theta_۲ - \theta_۱$

حل تشریحی

$R_۲ = \frac{۶۰}{۱۰۰}R_۱ \quad$ یا $\quad R_۲ = ۰/۶R_۱$

$R_۲ = R_۱(۱+\alpha\Delta\theta) \rightarrow$

$۰/۶\cancel{R_۱} = \cancel{R_۱}(۱+۵\times۱۰^{-۳}\Delta\theta) \rightarrow ۰/۶ = ۱+۵\times۱۰^{-۳}\Delta\theta$

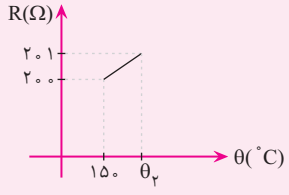
$\rightarrow \Delta\theta = \frac{-۰/۴}{۵\times۱۰^{-۳}} \rightarrow \Delta\theta = -۸۰°C$

$\Delta\theta = \theta_۲ - \theta_۱ \rightarrow -۸۰ = \theta_۲ - ۳۰ \rightarrow \theta_۲ = -۵۰°C$

تیپ B: کاربرد نمودار مقاومت ویژه (ρ) برحسب دما (T)

مثال:

نمودار روبه‌رو، تغییرات مقاومت الکتریکی یک رسانا را برحسب دما نشان می‌دهد. اگر $\alpha = \frac{۱}{۱۰۰۰}$ باشد، $\theta_۲$ چند درجه سلسیوس است؟



توجه: در مسائل نموداری معلومات از روی نمودار خوانده می‌شود.

پاسخ:

معلومات

$R_0 = 200\Omega$

$R = 201\Omega$

$\alpha = \frac{1}{1000} K^{-1}$

$\theta_1 = 15°C$

مجهول

$\theta_2 = ?$

رابطه

$R = R_0(1+\alpha\Delta\theta)$

$\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$

حل تشریحی

$R = R_0(1+\alpha\Delta\theta)$

$\rightarrow R = R_0 + R_0\alpha\Delta\theta$

$\rightarrow \Delta\theta = \frac{R - R_0}{R_0(\alpha)}$

$\rightarrow \Delta\theta = \frac{201-200}{200\times10^{-3}} \rightarrow \Delta\theta = \frac{10}{2} = 5°C$

$\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1 \rightarrow 5 = \theta_2 - 150 \rightarrow \theta_2 = 155°C$

تیپ C: رابطهٔ نسبتی مقاومت الکتریکی $\left(\frac{R_1}{R_2} = \frac{\rho_1}{\rho_2}\times\frac{L_1}{L_2}\times\frac{A_2}{A_1}\right)$

مثال:

۱. اگر طول رسانایی را دو برابر و شعاع مقطع آن را نیز دو برابر کنیم، مقاومت رسانا چند برابر می‌شود؟

پاسخ:

معلومات

$L_2 = 2L_1$

$r_2 = 2r_1$

مجهول

$\frac{R_2}{R_1} = ?$

رابطه

$R = \rho\frac{L}{A}$

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

حل تشریحی

$R = \rho\frac{L}{A} \rightarrow \frac{R_2}{R_1} = \frac{\rho_2}{\rho_1}\times\frac{L_2}{L_1}\times\frac{A_1}{A_2} \xrightarrow[\rho_1=\rho_2]{A=\pi r^2}$

$\Rightarrow \frac{R_2}{R_1} = \frac{2\cancel{L_1}}{\cancel{L_1}}\times\left(\frac{\pi\cancel{r_1}}{\pi 2\cancel{r_1}}\right)^2 \rightarrow \frac{R_2}{R_1} = 2\times\frac{1}{4}$

$\Rightarrow \frac{R_2}{R_1} = \frac{1}{2} \Rightarrow R_2 = \frac{1}{2}R_1$

۲. یک سیم فلزی را به چهار قسمت مساوی تقسیم می‌کنیم و در کنارهم قرار می‌دهیم. مقاومت الکتریکی سیم جدید چند برابر سیم اولیه خواهد بود؟

پاسخ:

معلومات

$L_2 = \frac{1}{4}L_1$

$A_2 = 4A_1$

$\rho_1 = \rho_2$

مجهول

$\frac{R_2}{R_1} = ?$

رابطه

$R = \rho\frac{L}{A}$

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

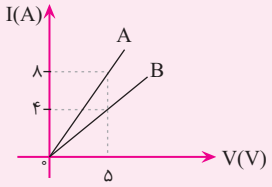
حل تشریحی

طول هر یک از سیم‌های جدید $\frac{1}{4}$ سیم اولیه است. همچنین، سطح مقطع سیم جدید، چهار برابر دومی سطح مقطع سیم اولیه است، بنابراین:

$R = \rho\frac{L}{A} \rightarrow \frac{R_2}{R_1} = \frac{\rho_2}{\rho_1}\times\frac{L_2}{L_1}\times\frac{A_1}{A_2} \xrightarrow{\rho_1=\rho_2}$

$\frac{R_2}{R_1} = \frac{\frac{1}{4}\cancel{L_1}}{\cancel{L_1}}\times\frac{\cancel{A_1}}{4\cancel{A_1}} = \frac{1}{16} \rightarrow \frac{R_2}{R_1} = \frac{1}{16} \rightarrow R_2 = \frac{1}{16}R_1$

۳. نمودار تغییرات جریان بر حسب ولتاژ دو سر رساناهای A و B مطابق شکل زیر است. اگر هر دو رسانا هم جنس و هم طول باشند، قطر مقطع سیم A چند برابر قطر مقطع سیم B است؟



پاسخ:

معلومات
$I_A = ۸A \ , \ I_B = ۴A$
$V_A = V_B = ۵V$
$L_A = L_B \ , \ \rho_A = \rho_B$

مجهول
$\frac{D_A}{D_B} = ?$

رابطهٔ اصلی
$R = \rho\frac{L}{A} \ , \ A = \pi r^۲ = \frac{\pi D^۲}{۴}$

رابطهٔ کمکی
$R = \frac{V}{I}$

حل تشریحی

$$\begin{cases} R_A = \frac{V_A}{I_A} = \frac{۵}{۸}\Omega \\ R_B = \frac{V_B}{I_B} = \frac{۵}{۴}\Omega \end{cases} \Rightarrow \frac{R_A}{R_B} = \frac{\frac{۵}{۸}}{\frac{۵}{۴}} = \frac{۴}{۸} = \frac{۱}{۲}$$

$$R = \rho\frac{L}{A} \ , \ \frac{R_A}{R_B} = \frac{\rho_A}{\rho_B} \times \frac{L_A}{L_B} \times \frac{A_B}{A_A}$$

$$\xrightarrow{A=\pi r^۲=\pi\frac{D^۲}{۴}} \frac{R_A}{R_B} = ۱\times۱\times\left(\frac{\frac{\pi}{۴}D_B}{\frac{\pi}{۴}D_A}\right)^۲ \rightarrow \frac{۱}{۲} = \left(\frac{D_B}{D_A}\right)^۲ \Rightarrow \frac{D_A}{D_B} = \sqrt{۲}$$

۴. مقاومت سیمی ۱۰ اهم است. آن را از ابزاری می‌گذرانیم تا بدون تغییر جرم، سطح مقطع آن $\frac{۱}{۴}$ برابر شود. مقاومت آن پس از عبور از این ابزار چند اهم خواهد بود؟

پاسخ:

معلومات
$R_۱ = ۱۰\Omega$
$m_۲ = m_۱$
$A_۲ = \frac{۱}{۴}A_۱$

مجهول
$R_۲ = ?$

رابطهٔ اصلی
$R = \rho\frac{L}{A} \ , \ \frac{R_۲}{R_۱} = \frac{\rho_۲}{\rho_۱} \times \frac{L_۲}{L_۱} \times \frac{A_۱}{A_۲}$

رابطهٔ کمکی
$R = \frac{V}{I}$

حل تشریحی

با توجه به ثابت‌بودن جرم، بر اساس رابطهٔ چگالی $\rho = \frac{m}{V}$ که در کتاب فیزیک دهم خواندید، حجم مقاومت نیز ثابت می‌ماند. بنابراین داریم:

$$V = A \times L \xrightarrow{V_۲ = V_۱} A_۲ L_۲ = A_۱ L_۱$$

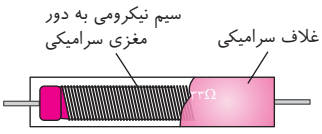
$$L_۲ \times \frac{۱}{۴}\cancel{A_۱} = \cancel{A_۱} L_۱ \Rightarrow \frac{L_۲}{L_۱} = ۴$$

$$R = \rho\frac{L}{A} \ , \ \frac{R_۲}{R_۱} = \frac{\rho_۲}{\rho_۱} \times \frac{L_۲}{L_۱} \times \frac{A_۱}{A_۲} \underset{\rho_۱ = \rho_۲}{\Rightarrow} \frac{R_۲}{۱۰} = ۱\times۴\times\frac{\cancel{A_۱}}{\frac{۱}{۴}\cancel{A_۱}} \Rightarrow R_۲ = ۱۶۰\Omega$$

انواع مقاومت – کدگذاری رنگی مقاومت‌های کربنی

در بسیاری از مدارها، بخصوص در وسایل الکترونیکی از مقاومت‌ها برای کنترل جریان و ولتاژ استفاده می‌شود. انواع اصلی مقاومت‌ها بر دو نوع است:

۱. مقاومت‌های پیچه‌ای:



شامل پیچه‌ای از یک سیم نازک هستند که معمولاً جنس آنها از آلیاژهایی مانند نیکروم (آلیاژ نیکل و کروم) یا منگانین (آلیاژ مس ـ نیکل ـ منگنز) است. این پیچه‌ها عموماً به دور هسته‌ای از جنس سرامیک، پلاستیک یا شیشه پیچیده شده و در غلافی از جنس سرامیک قرار دارند.

مقاومت‌های پیچه‌ای برای داشتن مقاومت‌های پایین بسیار دقیق و نیز توان‌های بالا استفاده می‌شوند.

بیشینهٔ توان الکتریکی که این مقاومت‌ها، می‌توانند تحمل کنند (بدون آنکه بسوزند)، روی آن‌ها نوشته شده است.

توجه: یکی از انواع مشهور مقاومت‌های پیچه‌ای رئوستا نام دارد که با تغییرات مقاومت، جریان را در مدار تنظیم و کنترل می‌کند. در مدارهای الکترونیکی وسیله‌ای به نام پتانسیومتر همان وظیفهٔ رئوستا را انجام می‌دهد.

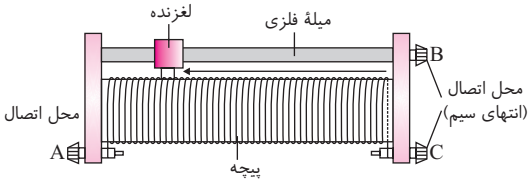
تصویری از یک پتانسیومتر (مقاومت متغیر)

ساختار رئوستا (مقاومت متغیر)

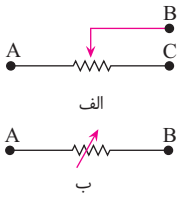
یک رئوستا از سیمی با مقاومت ویژهٔ نسبتاً زیاد ساخته شده است. در یکی از انواع رئوستا، این سیم روی استوانه‌ای نارسانا پیچیده شده و با استفاده از دکمه‌ای لغزنده که بالای استوانه قرار دارد و انتهای آن با سیم در تماس است، می‌تواند قسمت دلخواهی از سیم را در مسیر جریان قرار دهد و بنابراین مقدار مقاومت را تغییر دهد و به این ترتیب جریان را در مدار تنظیم و کنترل می‌شود. رئوستا دو خروجی دارد که می‌توانیم از هرکدام از آن‌ها، خروجی مورد نظر را دریافت کنیم:

الف. اگر خروجی از B باشد، با تغییر مکان لغزنده مقاومت می‌تواند تغییر کند.

ب. اگر خروجی از C باشد، بیشترین مقاومت ممکن به صورت ثابت ایجاد می‌شود.

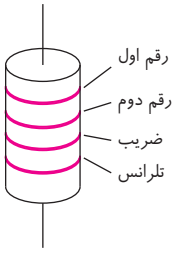


توجه: نماد یک رئوستا یا پتانسیومتر به عنوان یک مقاومت متغیر در مدار الکتریکی به این صورت است:



۲. مقاومت‌های ترکیبی:

معمولاً از کربن، برخی نیم‌رساناها و یا لایه‌های نازک فلزی ساخته شده‌اند، به‌طوری که در داخل پوششی پلاستیکی قرار دارند و در اندازه‌های خاص استانداردی تولید می‌شوند. مقدار این مقاومت‌ها یا روی آنها نوشته می‌شود یا عمدتاً به صورت کدهای رنگی نشان داده می‌شود (با ۳ یا ۴ حلقهٔ رنگی روی آنها مشخص شده است) و هر رنگ معرف عددی است که در جدول زیر آمده است.



رنگ	سیاه	قهوه‌ای	قرمز	نارنجی	زرد	سبز	آبی	بنفش	خاکستری	سفید	طلایی	نقره‌ای	بی‌رنگ
عدد	۰	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹			
ضریب	۱	$۱۰^{۱}$	$۱۰^{۲}$	$۱۰^{۳}$	$۱۰^{۴}$	$۱۰^{۵}$	$۱۰^{۶}$	$۱۰^{۷}$	$۱۰^{۸}$	$۱۰^{۹}$	$۱۰^{-۱}$	$۱۰^{-۲}$	
تلرانس											۵٪	۱۰٪	۲۰٪

چگونگی تعیین مقدار مقاومت‌های ترکیبی

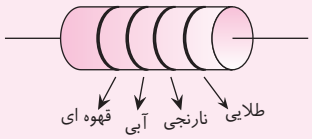
دو حلقهٔ اوّل (از آن طرفی که به یک سر مقاومت نزدیک‌تر است) به ترتیب رقم اول و رقم دوم مقاومت را نشان می‌دهند. رقم سوم ضریبی است که به صورت ۱۰^{n} در سطر سوم جدول مشخص شده است. حلقهٔ چهارم، یک حلقهٔ طلایی یا نقره‌ای است که تُلرانس نامیده می‌شود و مقدار مجاز انحراف از مقدار دقیق مقاومت را برحسب درصد مشخص می‌کند. نبود نوار چهارم به این معناست که تلرانس ۲۰ درصد است.

توجه: برای خواندن حلقه‌های رنگی، مقاومت را طوری دست می‌گیریم که حلقه تلرانس در سمت راست قرار گیرد و بقیه حلقه‌ها را از سمت چپ به راست می‌خوانیم.

$$R = \underbrace{a}_{\text{عدد حلقهٔ اول}} \underbrace{b}_{\text{عدد حلقهٔ دوم}} \times \underbrace{۱۰^{n}}_{\text{عدد حلقهٔ سوم}} \pm \underbrace{\text{تلرانس}}_{\text{عدد حلقهٔ چهارم}}$$

مثال:

۱. مقاومت کربنی شکل روبه‌رو چند کیلو اهم است؟



پاسخ:

معلومات: قهوه‌ای: حلقه اول
آبی: حلقه دوم
نارنجی: حلقه سوم

مجهول: $R = ?$

رابطه: $R = ab \times 10^n$

تشریحی:

$R = ab \times 10^n$

$R = 16 \times 10^3 \pm 20\% = 16k\Omega \pm 20\%$

۲. با توجه به کدهای رنگی مقاومت‌ها، در شکل زیر رنگ‌ها را به گونه‌ای قرار دهید که مقدار مقاومت $4100\,\Omega$ شود.

پاسخ:

معلومات: $R = 4100\Omega$
رنگ زرد ← عدد ۴
رنگ قرمز ← عدد ۲
رنگ قهوه‌ای ← عدد ۱

مجهول: $a = ?, b = ?, n = ?$

رابطه: $R = ab \times 10^n$

تشریحی:

$R = ab \times 10^n$, $R = 4100 = 41 \times 10^2$

$\rightarrow \begin{cases} a = 4 \rightarrow \text{زرد} \\ b = 1 \rightarrow \text{قهوه ای} \\ n = 2 \rightarrow \text{قرمز} \end{cases}$

مقاومت‌های خاص

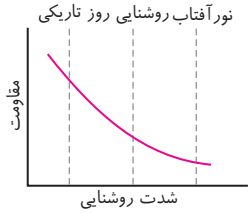
علاوه بر مقاومت‌های معمولی (ترکیبی و پیچه‌ای) انواع دیگری از مقاومت‌ها وجود دارند که برای اهداف خاص در مدارهای الکتریکی به‌کار می‌روند. در این بخش به توضیحی مختصر از آن‌ها می‌پردازیم.

الف. ترمیستورها: نوعی از مقاومت‌های از جنس نیم‌رسانا هستند که اندازهٔ مقاومت آن‌ها به دما بستگی دارد. ترمیستورها به عنوان حسگر دما در مدارهای حساس به دما مانند زنگ خطر آتش، دماپاها و دماسنج‌ها به‌کار می‌روند. نماد ترمیستور در مدار الکتریکی به شکل است.

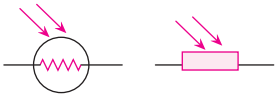
ترمیستور دیسکی

ترمیستور مهره‌ای

ب. مقاومت‌های نوری (LDR): نوعی از مقاومت‌ها هستند که از نیم‌رسانای خالص مانند سیلیسیوم ساخته می‌شوند و مقاومت آن‌ها به نور تابیده‌شده به آن‌ها بستگی دارد، به‌طوری که با افزایش شدت نور از مقاومتشان کاسته می‌شود. برای مثال مقاومت‌های نوری در تاریکی مقاومت چند اهمی دارند، درحالی که وقتی در معرض یک نور مناسب قرار می‌گیرند، مقاومت آن‌ها به چندصدم اهم می‌رسد. شکل روبه‌رو نمودار تغییرات مقاومت بر حسب شدت روشنایی (برحسب LUX) را نشان می‌دهد. از این ویژگی مقاومت‌ها در مدارهایی از جمله چشم‌های

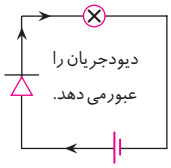


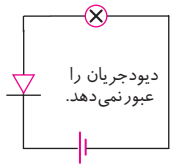
مقاومت بر حسب شدت روشنایی برای یک LDR نوری



الکترونیکی، دزدگیرها، کنترل‌کننده‌های خودکار و روشنایی خیابان‌ها استفاده می‌شود. مقاومت نوری در مدار با نماد نمایش داده می‌شود.

پ. دیودها: نوع خاصی از مقاومت‌ها هستند که هرگاه در مدار الکتریکی قرار گیرند، جریان الکتریکی را تنها از یک جهت عبور می‌دهند و مقاومت آن در برابر عبور جریان در آن جهت، ناچیز است؛ اما در برابر عبور جریان از طرف مخالف، مقاومت خیلی زیادی از خود نشان می‌دهند و تقریباً مانع عبور جریان در آن جهت می‌شوند. به‌همین دلیل دیودها را به عنوان یک‌سوکننده در نظر می‌گیرند.





دیودها در مدار با نماد نمایش داده می‌شوند. این پیکان در جهتی است که دیود جریان را از خود عبور می‌دهد. لازم به ذکر است که دیودها معمولاً از نیم‌رساناهایی مانند گالیم‌آرسناید ساخته می‌شوند. شکل مقابل دو حالت مختلف قرارگرفتن دیود را در مدار نشان می‌دهد:

یکی از معروف‌ترین انواع دیودها، دیودهای نورگسیل (LED) هستند که با عبور جریان از آن‌ها، نورگسیل می‌شود و مقداری از انرژی الکتریکی به انرژی نورانی تبدیل می‌شود. بسته به جنس نیم‌رسانای استفاده‌شده برای ساخت دیود نورگسیل، این دیودها می‌توانند طول موج‌های (رنگ‌های) مختلفی را تابش کنند. دیودهای نورگسیل معمولاً به شکل در مدار نمایش داده می‌شوند. شکل مقابل یک دیود نورگسیل را نشان می‌دهد.

مقایسه LED با لامپ روشنایی معمولی

۱. LED در مقایسه با لامپ‌های روشنایی معمولی توان الکتریکی کمی مصرف کرده و در عوض نور قابل ملاحظه‌ای تولید می‌کند به‌همین دلیل در چراغ خودروها، روشنایی منازل، تابلوهای تبلیغاتی و نمایشگرهای LED استفاده می‌شود.

۲. LEDها در مقایسه با لامپ‌های رشته‌ای عمر طولانی‌تری دارند.

۳. LEDها به دلیل نداشتن رشته، به هنگام تولید نور، انرژی گرمایی زیادی تولید نمی‌کنند.

تمرین‌های امتحانی

۱. کلمات مناسب را از داخل پرانتز انتخاب نمایید.

الف. با ثابت‌نگه‌داشتن دما و طول یک سیم رسانای اهمی اگر شعاع مقطع آن $\sqrt{2}$ برابر شود، مقاومت آن (دو برابر ـ نصف) می‌شود.

ب. در (نارسانا ـ نیم‌رسانا)ها با افزایش دما، مقاومت الکتریکی کاهش می‌یابد.

پ. در رساناهای فلزی افزایش دما سبب (افزایش - کاهش) مقاومت رسانا می‌شود.

ت. از دیود به عنوان (دماسنج - یک‌سوکننده) در مدار الکتریکی استفاده می‌شود.

۲. درستی یا نادرستی جملات زیر را تعیین کنید و صورت صحیح جملات نادرست را بنویسید.

الف. مقاومت ویژه (ρ) فقط به دمای ماده بستگی دارد.

ب. پتانسیومتر وسیله‌ای برای کنترل و تنظیم جریان در مدارهای الکترونیکی است.

پ. ضریب دمایی مقاومت ویژه برای نیم‌رساناها مثبت است.

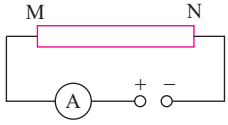
ت. تُلرانس، مقدار مجاز انحراف از مقدار دقیق مقاومت را با اعداد منفی مشخص می‌کند.

۳. اطلاعات مربوط به دو رسانای A و B با طول یکسان (در یک دمای معین) در جدول زیر داده شده است.

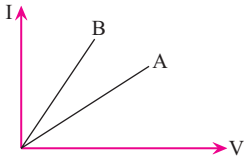
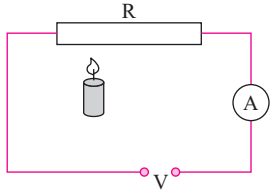
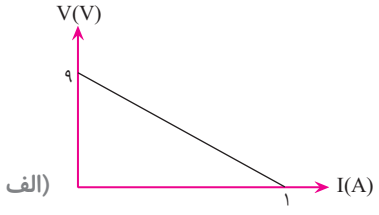
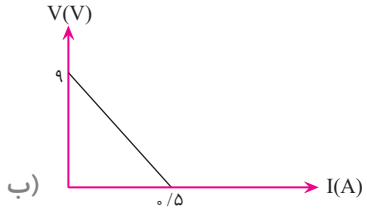
رسانا	مقاومت ویژه $P(\Omega m)$	سطح مقطع $A(m^2)$
A	۵×۱۰^{-۸}	۲×۱۰^{-۴}
B	۸×۱۰^{-۸}	۴×۱۰^{-۴}

الف. مقاومت دو رسانا را با هم مقایسه کنید.

ب. اگر در شکل روبه‌رو یک بار رسانای A و بار دیگر رسانای B را بین دو نقطهٔ M و N قرار دهیم، با ذکر دلیل مشخص کنید مقدار جریانی که آمپرسنج نشان می‌دهد، در کدام حالت بیشتر است؟ (دما را ثابت فرض کنید).

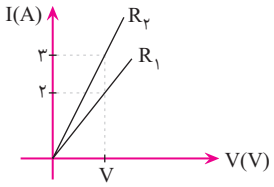


نمونه سؤال امتحانی فصل دوم

ردیف	سؤالات	بارم
۱	**از داخل کادر، کلمهٔ مناسب را برای کامل‌کردن جمله‌های زیر انتخاب کنید.** **آرمانی- بیشتر- واقعی- شیمیایی- آمپر- آمپر ساعت- ترکیبی- پیچه‌ای** **الف.** حداکثر باری که باتری خودرو می‌تواند از خود عبور دهد، معمولاً با یکای ..... مشخص می‌شود. **ب.** رئوستا از نوع مقاومت‌های ..... است که برای کنترل و تنظیم جریان به‌کار می‌رود. **پ.** اختلاف پتانسیل بین پایانه‌های باتری ..... برابر با نیروی محرکهٔ الکتریکی آن است. **ت.** جهت جریان الکتریکی در مدار از پایانه‌ای با پتانسیل ..... به پایانه‌ای با پتانسیل ..... است.	۱/۲۵
۲	**درستی یا نادرستی جملات زیر را تعیین کنید.** **الف.** در حضور میدان الکتریکی، الکترون‌های آزاد فلز با سرعتی به‌نام سرعت سوق در جهت میدان الکتریکی حرکت می‌کنند. **ب.** ضریب دمایی مقاومت ویژهٔ نیم‌رساناها منفی است. **پ.** وقتی یک باتری فرسوده می‌شود، نیروی محرکهٔ آن کاهش می‌یابد. **ت.** قاعدهٔ حلقه، نتیجه پایستگی انرژی الکتریکی است.	۱
۳	**شارش بار الکتریکی در مقطع رسانا را هنگام اعمال میدان الکتریکی در دو سر رسانا و در هنگام عدم حضور میدان مقایسه کنید.**	۰/۷۵
۴	**الف. شکل زیر نمودار $I-V$ را برای دو نوع رسانای A و B نشان می‌دهد. با ذکر دلیل بیان کنید کدام‌یک به‌عنوان سیم گرماده مناسب‌تر است؟**  **ب. نمودار مفهومی زیر را کامل کنید.** **عوامل مؤثر بر مقاومت رسانا** **طول رسانا** نسبت **۱.** ..... **۲.** ..... نسبت **وارون** **۳.** ..... نسبت **۴.**	۲
۵	**در مدار الکتریکی شکل زیر، اگر به کمک یک شمع روشن، مقاومت فلزی R را به‌تدریج گرم کنیم، توضیح دهید:** **الف.** مقاومت فلزی چگونه تغییر می‌کند؟ **ب.** مقداری که آمپرسنج نشان می‌دهد، چگونه تغییر می‌کند؟ 	۱
۶	**نمودار تغییرات ولتاژ دو قطب باتری بر حسب جریان عبوری از آن، برای دو باتری مختلف در شکل‌های (الف) و (ب) نشان داده شده است. توضیح دهید این دو باتری چه تشابه و چه تفاوتی با یکدیگر دارند؟**  	۱

پرسش‌های چهارگزینه‌ای فصل دوم

۱. نمودار روبه‌رو مربوط به مقاومت R_1 و R_2 است. نسبت $\frac{R_2}{R_1}$ کدام است؟



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

۲. دو سر رسانایی به مقاومت الکتریکی ۲۰Ω را به اختلاف پتانسیل V ولت وصل می‌کنیم. اگر در مدت ۱/۵ دقیقه تعداد $۴/۵\times۱۰^{۲۰}$ الکترون در رسانا شارش کند و $e=۱/۶\times۱۰^{-۱۹}C$ باشد، V چند ولت است؟

۱) ۲۵
۲) ۲۰
۳) ۱۲
۴) ۱۶

۳. کدام‌یک از نمودارهای زیر برای یک رسانای اهمی در دمای ثابت نادرست است؟

۱) R – V
۲) R – I
۳) I – V
۴) V – I

۴. اختلاف پتانسیل $۱/۵V$ را به دو سر سیمی به طول $۲۰cm$ و سطح مقطع ۰/۲۵ میلی‌متر مربع وصل می‌کنیم. شدت جریان گذرنده از سیم چند آمپر می‌شود؟ (مقاومت ویژهٔ سیم $۲/۵\times۱۰^{-۸}$ اهم بر متر است.)

۱) ۷/۵
۲) ۲/۵
۳) ۶
۴) ۱۵

۵. اختلاف پتانسیل دو سر هر یک از رساناهای هم‌جنس A و B برابر V است. اگر طول سیم A، سه برابر طول سیم B و شعاع مقطع آن، نصف شعاع مقطع B باشد، شدت جریان در سیم B چند برابر شدت جریان در سیم A است؟

۱) ۱۲
۲) ۶
۳) $\frac{۴}{۳}$
۴) $\frac{۳}{۴}$

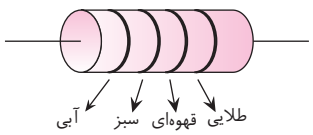
۶. در دمای $۲۰^\circ C$ مقاومت ویژهٔ رسانایی ۰/۹ مقاومت ویژهٔ آن در دمای صفر درجهٔ سلسیوس است. ضریب دمایی مقاومت ویژهٔ این رسانا چند $K^{-۱}$ است؟

۱) $-۱/۸\times۱۰^{-۳}$
۲) -۵×۱۰^{-۴}
۳) $۱/۸\times۱۰^{-۳}$
۴) ۵×۱۰^{-۴}

۷. مقاومت الکتریکی سیمی به طول L_1 و قطر مقطع d_1 با مقاومت الکتریکی سیم دیگری از همان جنس به طول $L_2=۳L_1$ و قطر مقطع d_2 برابر است. در این صورت نسبت $\frac{d_2}{d_1}$ برابر است با:

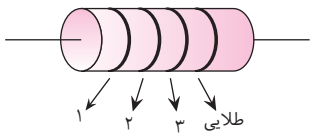
۱) $\sqrt{۳}$
۲) $\frac{\sqrt{۳}}{۳}$
۳) ۳
۴) $\frac{۱}{۳}$

۸. اندازهٔ مقاومت کربنی زیر چند اهم است؟ (کد رنگ‌های قهوه‌ای، سبز و آبی به ترتیب ۱، ۵ و ۶ است.)



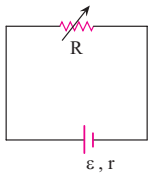
۱) ۶۵۱
۲) ۶۵۰
۳) ۶۵
۴) ۱۵۶

۹. مقاومت کربنی زیر ۲۰Ω است. رنگ نوارهای ۱، ۲ و ۳ مشخص‌شده روی مقاومت به ترتیب کدام است؟



۱) قرمز ـ قرمز ـ سیاه
۲) سیاه ـ قرمز ـ قرمز
۳) قرمز ـ سیاه ـ سیاه
۴) سیاه ـ سیاه ـ قرمز

۱۰. اگر در شکل زیر، R را از ۲r تا r کاهش دهیم، افت پتانسیل در باتری چند برابر می‌شود؟ (سراسری تجربی)

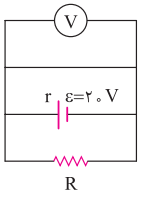


۱) $\frac{۳}{۲}$
۲) $\frac{۲}{۳}$
۳) ۲
۴) $\frac{۱}{۲}$

۱۱. یک باتری به نیروی محرکهٔ ۶ ولت را که مقاومت درونی آن r است، به مقاومت R می‌بندیم. جریانی به شدت ۰/۲A از آن عبور می‌کند. افت پتانسیل در مقاومت درونی باتری $\frac{۱}{۹}$ افت پتانسیل در مقاومت خارجی است $(Ir = \frac{۱}{۹}IR)$. مقاومت R چند اهم است؟ (سراسری ریاضی)

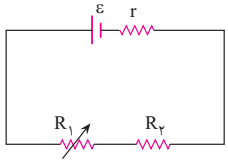
۱) ۱۵
۲) ۲۰
۳) ۲۷
۴) ۳۰

۱۲. در مدار روبه‌رو، ولت‌سنج ۱۸V را نشان می‌دهد. توان مصرفی مقاومت R چند برابر توان مصرفی باتری است؟



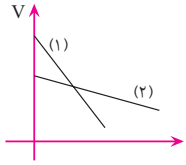
۱) ۰/۹
۲) $\frac{۱۰}{۹}$
۳) ۴/۵
۴) ۹

۱۳. در مدار شکل روبه‌رو، اگر مقاومت متغیر را به‌تدریج افزایش دهیم، به ترتیب اختلاف پتانسیل دو سر مولد و مقاومت چگونه تغییر می‌کنند؟



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

۱۴. نمودار اختلاف پتانسیل برحسب شدت جریان در دو سر باتری به شکل زیر است. اگر نیروی محرکه و مقاومت داخلی هر کدام $\varepsilon_۱$، $\varepsilon_۲$ و $r_۱$ و $r_۲$ باشد، در این صورت کدام گزینه صحیح است؟



۱) $r_۱ > r_۲ \ , \ \varepsilon_۱ > \varepsilon_۲$
۲) $r_۱ < r_۲ \ , \ \varepsilon_۱ < \varepsilon_۲$
۳) $r_۱ < r_۲ \ , \ \varepsilon_۱ > \varepsilon_۲$
۴) $r_۱ > r_۲ \ , \ \varepsilon_۱ < \varepsilon_۲$

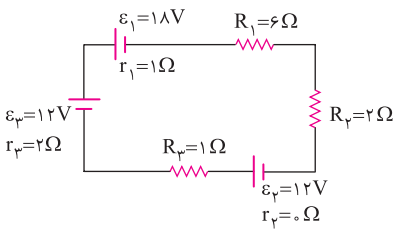
۱۵. مشخصات دو لامپ به صورت (۱۲V,۱۶W) و (۲۴V,۳۲W) است. اگر دو لامپ را به طور متوالی به اختلاف پتانسیل ۲۷V ببندیم، توان کل مصرفی چند وات است؟ (المپیاد فیزیک)

۱) ۱۲
۲) ۲۰
۳) ۲۷
۴) ۳۵

۱۶. دو لامپ A و B به گونه‌ای هستند که وقتی هر کدام به اختلاف پتانسیل V وصل می‌شوند، روشنی A بیشتر از B است. اگر دو لامپ فوق را به صورت متوالی به اختلاف پتانسیل V وصل کنیم: (المپیاد فیزیک)

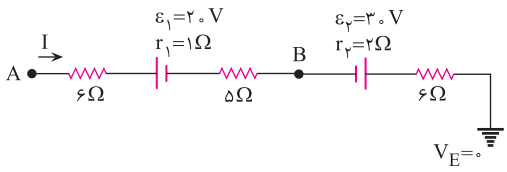
۱) لامپ B روشن‌تر از لامپ A است.
۲) لامپ A روشن‌تر از لامپ B است.
۳) روشنایی هر دو لامپ برابر است.
۴) روشنایی لامپ‌ها به متوالی یا موازی بستن آنها بستگی ندارد.

۱۷. در مدار شکل روبه‌رو، توان تولیدی مولد $\varepsilon_۳$ چند وات است؟



۱) ۱۲
۲) ۹
۳) ۶
۴) ۱۸

۱۸. شکل زیر قسمتی از یک مدار است. اگر $V_A = ۲۰V$ باشد، V_B چند ولت است؟



۱) -۲۶
۲) ۶
۳) -۱۲
۴) -۱۸

پاسخ تمرین‌های امتحانی درس اوّل

۱ الف. میدان الکتریکی ب. بار الکتریکی

پ. سوق ت. جریانی - ثابت

۲ الف. درست

ب. نادرست ← جملهٔ درست:رساناهایی وجود دارند که از قانون اهم پیروی نمی‌کنند. به این رساناها رساناهای غیراهمی می‌گویند.

پ. درست ت. درست

۳ الف. شکل (ب) - چون به دو سر رسانا اختلاف پتانسیل الکتریکی اعمال شده است و الکترون در خلاف جهت میدان الکتریکی شارش می‌کند.

۴ الف.

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

$$q=ne \rightarrow q=2/5\times10^{21}\times1/6\times10^{-19}$$

$$\rightarrow q=4\times10^{2}C$$

$$I=\frac{\Delta q}{\Delta t}\rightarrow I=\frac{400}{4\times60}\rightarrow I=\frac{5}{3}A$$

ب.

$$R=\frac{V}{I}\rightarrow R=\frac{100}{\frac{5}{3}}\rightarrow R=60\Omega$$

۵ اطلاعات مسئله از روی نمودار خوانده می‌شود.

$$(1)\ V_1=I_1R_1\rightarrow V_1=0/5R_1$$

$$(2)\ V_2=IR_2\rightarrow V_2=1\times R_2$$

$$\xrightarrow{V_1=V_2} 0/5R_1=R_2\rightarrow\frac{R_2}{R_1}=0/5$$

۶

$$\Delta q=I\Delta t\rightarrow\Delta q=12\times5\rightarrow\Delta q=60Ah$$

$$q=100-60\rightarrow q=40Ah$$

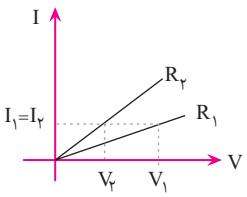
۷

$$\Delta q=I\Delta t\rightarrow\Delta q=4\times2\times60\rightarrow\Delta q=480C$$

$$W_{\text{خارجی}}=q\Delta V\rightarrow196=480\Delta V\rightarrow\Delta V=20V$$

$$V=IR\rightarrow2=4\times R\rightarrow R=0/5\Omega$$

۸



$$\left.\begin{aligned}R&=\frac{V}{I}\\I_1&=I_2\\V_1&=V_2\end{aligned}\right\}\Rightarrow$$

R مقاومت الکتریکی با V اختلاف پتانسیل الکتریکی (ولتاژ) نسبت مستقیم دارد، بنابراین $R_1>R_2$ خواهد بود.

پاسخ تمرین‌های امتحانی درس دوم

۱ الف. نصف ب. نیم‌رسانا

پ. افزایش ت. یک‌سوکننده

۲ الف. نادرست : مقاومت ویژه (ρ) به ساختار الکترونی ماده و دمای آن بستگی دارد.

ب. درست

پ. نادرست ← جملهٔ درست: ضریب دمایی مقاومت ویژه برای نیم‌رساناها منفی است.

ت. نادرست ← جملهٔ درست: تلرانس، مقدار مجاز انحراف از مقدار دقیق مقاومت را برحسب درصد مشخص می‌کند.

۳ الف.

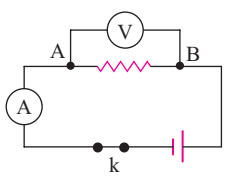
$$R=\rho\frac{L}{A}\ ,\ \frac{R_A}{R_B}=\frac{\rho_A}{\rho_B}\times\frac{L_A}{L_B}\times\frac{A_B}{A_A}$$

$$\frac{R_A}{R_B}=\frac{5\times10^{-8}}{8\times10^{-8}}\times\frac{L_A}{L_A}\times\frac{2\times10^{-4}}{2\times10^{-4}}$$

$$\rightarrow\frac{R_A}{R_B}=\frac{5}{4}\rightarrow R_A=\frac{5}{4}R_B\rightarrow R_A>R_B$$

ب. بر اساس رابطهٔ $R=\frac{V}{I}$، با وجود رسانای B در مدار، مقدار جریانی که آمپرسنج نشان می‌دهد بیشتر است.

۴ مداری مطابق شکل زیر طراحی می‌کنیم و بین دو نقطهٔ A و B سیم‌هایی هم‌طول و هم‌جنس، ولی با سطح مقطع‌های متفاوت قرار می‌دهیم و در هر حالت شدت جریان را اندازه می‌گیریم. در هر حالت طبق رابطهٔ $R=\frac{V}{I}$، مقاومت قطعه سیم به‌دست می‌آید. از مقدارهای به‌دست‌آمده می‌توان نتیجه گرفت که مقاومت یک رسانا با سطح مقطع آن نسبت عکس دارد.



۵ $R=\rho\frac{L}{A}$

$$\frac{R_A}{R_B}=\frac{L_A}{L_B}\times\frac{A_B}{A_A}\rightarrow\frac{R_A}{R_B}=\frac{3L_B}{L_B}\times\left(\frac{r_B}{r_A}\right)^2$$

$$\rightarrow\frac{R_A}{R_B}=3\times\left(\frac{\frac{D_B}{2}}{\frac{D_A}{2}}\right)^2\rightarrow\frac{R_A}{R_B}=3\times\left(\frac{D_B}{3D_B}\right)^2\rightarrow\frac{R_A}{R_B}=\frac{1}{3}$$

$$\rightarrow\boxed{R_B=3R_A}$$

---

۶ $R_2=R_1(1+\alpha\Delta T)\rightarrow$

$$10/33=10(1+0/0004\Delta T)\rightarrow\Delta T=80K$$

$$\Delta\theta=\theta_2-\theta_1\rightarrow 80=\theta_2-20$$

$$\rightarrow\boxed{\theta_2=100^\circ C}$$

---

۷ $V=IR\quad,\quad R=\rho\frac{L}{A}$

$$R=\rho\frac{L}{A}\rightarrow R=1\times10^{-7}\times\frac{200}{0/1\times10^{-6}}\rightarrow R=200\Omega$$

$$V=IR\rightarrow V=0/2\times200\Rightarrow V=40V$$

---

۸ $R=R_0(1+\alpha\Delta\theta)\rightarrow$

$$R-R_0=R_0\alpha\Delta\theta\rightarrow\alpha=\frac{R-R_0}{R_0\Delta\theta}$$

$$\alpha=\frac{20-10}{10\times2000}\rightarrow\alpha=5\times10^{-4}K^{-1}$$

---

۹ الف. ترکیبی

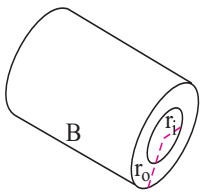
ب.

$$R=4600\Omega$$

$$R=\underset{\text{حلقهٔ اول (زرد)}}{\overset{a}{\downarrow}}\ \underset{\text{حلقهٔ دوم (آبی)}}{\overset{b}{\downarrow}}\times10^{\underset{\text{حلقهٔ سوم (قرمز)}}{\overset{n}{\downarrow}}}$$

---

۱۰ اگر شعاع داخلی کابل B را با r_i و شعاع خارجی، آن را با r_o نشان دهیم، سطح مقطع قسمت توپُر آن برابر است با:



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

$$R=\rho\frac{L}{A},\ \frac{R_A}{R_B}=\frac{\rho_A}{\rho_B}\times\frac{L_A}{L_B}\times\frac{A_B}{A_A}$$

$$\xrightarrow[L_A=L_B]{\rho_A=\rho_B}\frac{R_A}{R_B}=\frac{A_B}{A_A}=\frac{\pi(r_o^2-r_i^2)}{\pi r_A^2}=\frac{(2)^2-(1)^2}{(2)^2}$$

$$\rightarrow\frac{R_A}{R_B}=\frac{3}{4}$$

---

۱۱ **الف.** تا وقتی که لامپ روشنایی خاموش باشد، LDR مقاومت بالایی دارد و مانع روشن‌شدن لامپ LED می‌شود. با روشن‌شدن لامپ روشنایی از مقاومت LDR کاسته می‌شود و لامپ LED روشن می‌گردد.

ب. با تنظیم لامپ روشنایی به ترتیبی که LDR در معرض نور بیشتری قرار گیرد، شدت نور لامپ LED بیشتر می‌شود.

«توجه: از این ویژگی‌ها در تجهیزات گوناگونی از جمله چشم‌های الکترونیکی، دزدگیرها، کنترل‌کننده‌های خودکار و چراغ‌های روشنایی خیابان‌ها استفاده می‌شود.»

پاسخ تمرین‌های امتحانی درس سوم

۱ **الف.** کمتر ـ بیشتر　　**ب.** ژول بر کولن ـ ولت

پ. افزایش　　**ت.** مقاومت درونی

---

۲ **الف.** نادرست ← جملهٔ درست: اختلاف پتانسیل بین پایانه‌های باتری با نیروی محرکهٔ الکتریکی آن برابر است.

ب. درست

پ. نادرست ← جملهٔ درست: قاعدهٔ حلقه بیان می‌کند که مجموع پتانسیل‌های اجزای مدار در یک دورزدن کامل برابر صفر است.

ت. درست

---

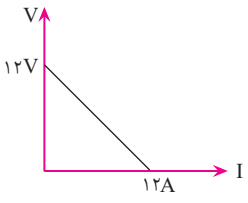
۳ **الف.** $+\varepsilon$　　**ب.** $-IR$

پ. $-\varepsilon-Ir$　　**ت.** $+IR$

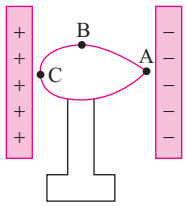
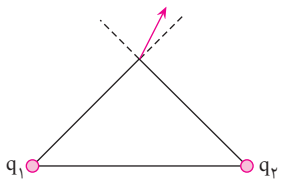
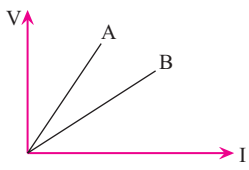
---

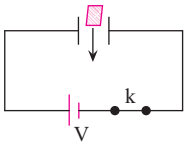
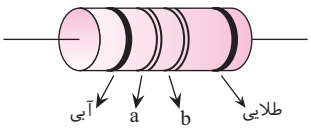
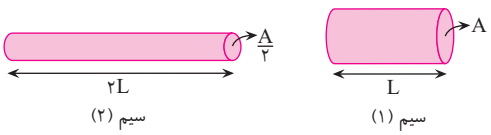
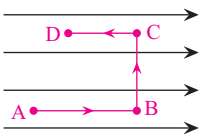
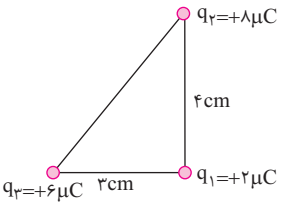
۴ محل برخورد با محور $\varepsilon=12V$

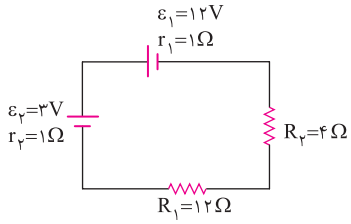
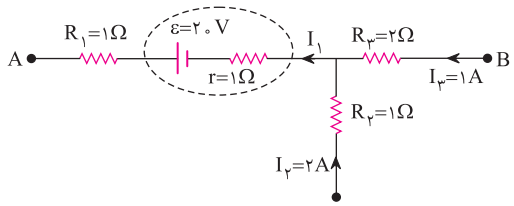
محل برخورد با محور $I:\ \frac{\varepsilon}{r}=\frac{12}{1}=12A$



آزمون نوبت اوّل

ردیف	سؤالات	بارم
۱	**عبارت مناسب را از داخل پرانتز انتخاب کنید.** **الف.** میدان الکتریکی به بار منفی در (خلاف جهت- جهت) خود نیرو وارد می‌کند. **ب.** اختلاف پتانسیل الکتریکی بین دو نقطه (مستقل از- وابسته به) اندازه و نوع بار الکتریکی است. **پ.** آمپر ـ ساعت یکای (بار الکتریکی- جریان الکتریکی) است. **ت.** جمع جبری (اختلاف پتانسیل دو سر- جریان گذرنده از) اجزای یک حلقهٔ بسته از مدار، صفر می‌شود.	۱
۲	**درستی یا نادرستی جملات زیر را تعیین کنید.** **الف.** میدان الکتریکی حاصل از ذرهٔ باردار q، با فاصله از بار رابطهٔ مستقیم دارد. **ب.** بار الکتریکی در یک رسانای منزوی، روی سطح خارجی آن منتقل می‌شود. **پ.** در نیم‌رساناها، افزایش دما سبب افزایش مقاومت ویژه می‌شود. **ت.** در یک مدار تک‌حلقه، جریان الکتریکی گذرنده از تمام اجزای مدار یکسان است.	۱
۳	**به سؤالات زیر پاسخ دهید.** **الف.** علت افزایش ظرفیت خازن را در اثر قراردادن دی‌الکتریک بین صفحه‌های آن توضیح دهید. **ب.** سرعت سوق چیست؟	۱/۵
۴	**خطوط میدان الکتریکی ناشی از دو ذرهٔ باردار ناهمنام q_1 و q_2 را در سه حالت زیر رسم کنید.** **الف.** $\|q_1\|=\|q_2\|$ **ب.** $\|q_1\|>\|q_2\|$ **پ.** $\|q_2\|>\|q_1\|$	۱/۵
۵	**در شکل روبه‌رو، جسم رسانای منزوی و خنثی که روی پایهٔ عایقی قرار دارد، بین دو صفحهٔ رسانای باردار موازی قرار گرفته است.**  **الف.** میدان الکتریکی درون جسم رسانا چقدر است؟ **ب.** پتانسیل الکتریکی نقاط A و B و C را با یکدیگر مقایسه کنید. (با ذکر دلیل)	۱
۶	**میدان الکتریکی حاصل از بارهای q_1 و q_2 در رأس مثلث‌های متساوی‌اضلاع مطابق شکل است. با ذکر دلیل، نوع بارهای q_1 و q_2 را مشخص کرده و بزرگی دو بار را با یکدیگر مقایسه کنید.** 	۱
۷	**نمودار $V-I$ برای دو رسانای مسی A و B (در یک دمای معین) که دارای طول‌های یکسان هستند، داده‌شده است. با ذکر دلیل معین کنید کدام‌یک از رساناها سطح مقطع بزرگ‌تری دارد؟** 	۱

ردیف	سؤالات	بارم
۸	**مطابق شکل، خازنی که بین صفحه‌های آن هوا است، در مدار قرار دارد. ابتدا کلید را باز کرده و سپس دی‌الکتریک را بین صفحه‌های خازن وارد می‌کنیم. جدول زیر را درمورد این خازن با کلمه‌های «کاهش، افزایش و ثابت» پر کنید.**  | ظرفیت | بار الکتریکی | اختلاف پتانسیل | انرژی ذخیره‌شده | | | | | |	۱
۹	**الف. مقاومت کربنی زیر، $۶۵\times۱۰^{۴}\ \Omega$ است. با توجه به کدهای رنگی در جدول زیر، رنگ حلقه‌های a و b را تعیین کنید.**  | رنگ | آبی | سبز | زرد | نارنجی | | کد | ۶ | ۵ | ۴ | ۳ | **ب. شکل زیر، دو سیم استوانه‌ای را نشان می‌دهد. سطح مقطع سیم (۲) نصف سیم (۱) و طول آن دو برابر طول سیم (۱) است. نسبت مقاومت سیم (۲) به مقاومت سیم (۱) چقدر است؟** 	۱/۵
۱۰	**ذرهٔ باردار مثبت در یک میدان الکتریکی یکنواخت مطابق شکل در مسیرهای $A\to B$ ، $B\to C$ و $C\to D$ جابه‌جا می‌شود.**  **الف.** در کدام مسیر، انرژی پتانسیل الکتریکی ذره افزایش می‌یابد؟ (با ذکر دلیل) **ب.** در کدام مسیر پتانسیل الکتریکی ثابت می‌ماند؟	۱
۱۱	**مطابق شکل، سه ذرهٔ باردار در سه رأس مثلث قائم‌الزاویه‌ای ثابت شده‌اند. برایند نیروهای الکتریکی وارد بر بار $q_۱$ را برحسب بردارهای یکه محاسبه کنید.** $\left(k=۹\times۱۰^{۹}\ \frac{N.m^{۲}}{C^{۲}}\right)$ 	۲
۱۲	**دو صفحهٔ رسانای موازی و هم‌اندازه به فاصلهٔ $۳cm$ از یکدیگر قرار دارند و اختلاف پتانسیل بین آن‌ها $۲۴V$ است. یک ذره با بار الکتریکی $q=-۲\mu C$ را در جهت خطوط میدان، بین دو صفحه جابه‌جا می‌کنیم.** **الف.** انرژی پتانسیل الکتریکی ذره چقدر و چگونه تغییر می‌کند؟ **ب.** اندازهٔ میدان الکتریکی بین دو صفحه را حساب کنید.	۱/۵
۱۳	**مقاومت الکتریکی یک سیم فلزی به طول ۱۰ کیلومتر و سطح مقطع $۱۰^{-۴}\ m^{۲}$ در دمای $۲۵^{\circ}C$ برابر با $۲۴\ \Omega$ است.** **الف.** مقاومت ویژهٔ این فلز را حساب کنید. **ب.** اگر دمای سیم از $۲۵K$ به $۱۲۵K$ برسد، مقاومت الکتریکی آن چقدر تغییر می‌کند؟ $(\alpha=۴\times۱۰^{-۳}\ K^{-۱})$	۲

ردیف	سؤالات	بارم
۱۴	**با توجه به شکل مقابل، مطلوب است:** **الف.** انرژی مصرفی در مقاومت $R_۲$ در ۱۰ ثانیه؛ **ب.** توان تولیدی مولد $\varepsilon_۱$؛ **پ.** توان خروجی مولد $\varepsilon_۲$. 	۲
۱۵	**شکل زیر، قسمتی از یک مدار الکتریکی را نشان می‌دهد. اختلاف پتانسیل $V_B - V_A$ چند ولت است؟** 	۱
	جمع نمره	۲۰

پاسخ آزمون نوبت اوّل

۱ **الف.** خلاف جهت　　**ب.** مستقل از

پ. بار الکتریکی　　**ت.** اختلاف پتانسیل دو سر

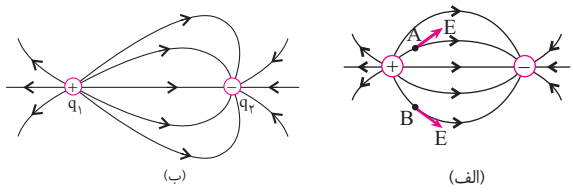
۲ **الف.** نادرست　　**ب.** درست

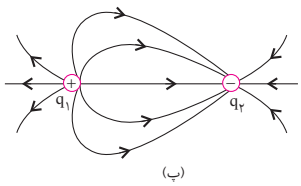
پ. نادرست　　**ت.** درست

۳ **الف.** با قراردادن دی‌الکتریک در داخل صفحات خازن، در اثر میدان بین صفحات، دی‌الکتریک قطبیده می‌شود و میدانی داخل مولکول دی‌الکتریک به‌وجود می‌آید که سبب تضعیف میدان اصلی بین صفحات می‌شود. تضعیف میدان طبق رابطهٔ $V = Ed$ سبب تضعیف اختلاف پتانسیل بین صفحات می‌شود. در نتیجه طبق رابطهٔ $C = \frac{Q}{V}$ چون Q ثابت است و V کاهش یافته است، C (ظرفیت خازن) افزایش می‌یابد.

ب. حرکت الکترون‌های آزاد یک رسانا در حضور میدان الکتریکی، با سرعتی به‌نام سرعت سوق انجام می‌شود.

۴



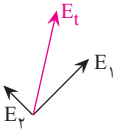


۵ **الف.** صفر است.

ب. اگرچه میزان تجمع بار بر روی نقاط نوک‌تیز بیشتر است، اما پتانسیل الکتریکی در همه جای سطح رسانا برابر است، بنابراین:

$$V_A = V_B = V_C$$

۶ با توجه به شکل، میدان حاصل از هر دو بار $q_۱$ و $q_۲$ به سمت بالا است:



و چون میدان بار $q_۱$ بیشتر بوده، میدان برایند به سمت میدان $E_۱$ منحرف شده است. بنابراین هر دو بار مثبت بوده و بار $q_۱$ اندازهٔ بزرگ‌تری دارد.

۷ شیب منحنی $V - I$ مقاومت را نشان می‌دهد. بنابراین برطبق نمودار:

$$R_A > R_B \Rightarrow \rho_A \frac{L_A}{A_A} > \rho_B \frac{L_B}{A_B} \xrightarrow[L_A = L_B]{\rho_A = \rho_B} \frac{۱}{A_A} > \frac{۱}{A_B}$$

$$\Rightarrow A_B > A_A$$

یعنی سیم مسی B سطح مقطع بزرگ‌تری دارد.

۸

ظرفیت	بار الکتریکی	اختلاف پتانسیل	انرژی ذخیره‌شده
افزایش	ثابت	کاهش	کاهش

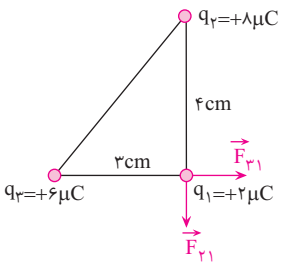
۹ **الف.** a ← سبز، b ← زرد

ب.

$$\frac{R_۲}{R_۱}=\frac{\rho_۲\frac{L_۲}{A_۲}}{\rho_۱\frac{L_۱}{A_۱}}\xrightarrow[L_۲=۲L_۱]{\rho_۲=\rho_۱,A_۱=۲A_۲}\frac{R_۲}{R_۱}=\frac{\frac{۲L_۱}{A_۲}}{\frac{L_۱}{۲A_۲}}=۴$$

۱۰ **الف.** در مسیر CD **ب.** در مسیر BC

۱۱



$$|F_{۲۱}|=\frac{k|q_۲||q_۱|}{r_{۲۱}^۲}=\frac{(۹\times۱۰^۹)(۸\times۱۰^{-۶})(۲\times۱۰^{-۶})}{۱۶\times۱۰^{-۴}}=۹۰\,N$$

$$\vec{F}_{۲۱}=|F_{۲۱}|(-\vec{j})=-۹۰\,\vec{j}$$

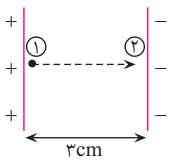
$$|F_{۳۱}|=\frac{k|q_۳||q_۱|}{r_{۳۱}^۲}=\frac{(۹\times۱۰^۹)(۶\times۱۰^{-۶})(۲\times۱۰^{-۶})}{۹\times۱۰^{-۴}}=۱۲۰\,N$$

$$\vec{F}_{۳۱}=|F_{۳۱}|\,\vec{i}=۱۲۰\,\vec{i}$$

$$\vec{F}_{T۱}=\vec{F}_{۳۱}+\vec{F}_{۲۱}=۱۲۰\,\vec{i}-۹۰\,\vec{j}$$

$$\Rightarrow|\vec{F}_{T۱}|=\sqrt{(۱۲۰)^۲+(۹۰)^۲}=۱۵۰\,N$$

۱۲ **الف.** بار $q=-۲\mu C$ را از نقطهٔ ۱ به نقطهٔ ۲ می‌بریم:



$$\Delta V_{۱-۲}=-۲۴\,V$$

$$\Delta V=\frac{\Delta U}{q}\Rightarrow\Delta U=q\Delta V=(-۲\times۱۰^{-۶})(-۲۴)=۴۸\times۱۰^{-۶}\,J$$

بنابراین انرژی پتانسیل الکتریکی به اندازهٔ ۴۸×۱۰^{-۶} ژول افزایش می‌یابد.

ب.

$$E=\frac{\Delta V}{d}=\frac{۲۴}{۳\times۱۰^{-۲}}=۸۰۰\,\frac{N}{C}$$

۱۳ **الف.**

$$R=\rho\frac{L}{A}\Rightarrow\rho=\frac{RA}{L}=\frac{(۲۴)(۱۰^{-۴})}{۱۰\times۱۰^۳}=۲۴\times۱۰^{-۸}\,\Omega.m$$

ب.

$$R=R_۰[۱+\alpha(T-T_۰)]\Rightarrow\Delta R=R_۰\alpha(T-T_۰)$$

$$\Rightarrow\Delta R=(۲۴)(۴\times۱۰^{-۳})(۱۰۰)=۹/۶\,\Omega$$

۱۴ در ابتدا جریان مدار را به‌دست می‌آوریم:

$$I=\frac{\sum\varepsilon}{\sum R+\sum r}=\frac{\varepsilon_۱-\varepsilon_۲}{R_۱+R_۲+r_۱+r_۲}=$$

$$\frac{۱۲-۳}{۱۲+۴+۱+۱}=\frac{۹}{۱۸}=\frac{۱}{۲}\,A$$

الف.

$$W_۲=R_۲I^۲t=(۴)\left(\frac{۱}{۲}\right)^۲(۱۰)=۱۰\,J$$

ب.

$$P_{\text{خروجی}\,۲}=\varepsilon_۲I-r_۲I^۲=(۳)\left(\frac{۱}{۲}\right)-(۱)\left(\frac{۱}{۲}\right)^۲=۱/۲۵\,W$$

پ.

$$P_{\text{تولیدی}\,۱}=\varepsilon_۱I=(۱۲)\left(\frac{۱}{۲}\right)=۶\,W$$

۱۵ قانون گره را می‌نویسیم:

$$I_۱=I_۲+I_۳\Rightarrow I_۱=۲+۱=۳\,A$$

اکنون از نقطهٔ B شروع می‌کنیم و با نوشتن اختلاف پتانسیل هر قطعه به نقطهٔ A می‌رسیم:

$$V_B-I_۳R_۳-I_۲r+\varepsilon-I_۱R_۱=V_A$$

$$V_B-(۱)(۲)-(۳)(۱)+۲۰-(۳)(۱)=V_A$$

$$\Rightarrow V_B+۱۲=V_A\Rightarrow V_B-V_A=-۱۲\,V$$