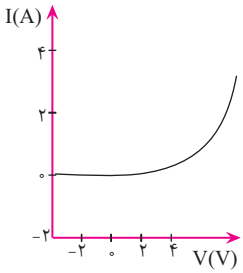


ب. قطعاتی که با تغییر اختلاف پتانسیل دو سر آن‌ها و در نتیجه تغییر جریانی عبوری، مقاومتشان تغییر می‌کند، رسانای غیر اهمی نامیده می‌شوند. نمودار $I-V$ چنین وسایلی به شکل زیر است:

بر اساس رفتار قطعات گروه (الف)، قانونی به نام قانون اهم، تعریف می‌شود که به‌صورت زیر است:

«جریان عبوری از یک وسیله همواره با اختلاف پتانسیل اعمال‌شده به آن رابطهٔ مستقیمی دارد.»

قانون اهم به این معنی است که در وسیله‌های گروه (الف)، هرچه اختلاف پتانسیل دو سر وسیله افزایش یابد، جریان عبوری از آن نیز به همان نسبت افزایش می‌یابد تا نسبت $\frac{V}{I}$ که نشان‌دهندهٔ مقاومت وسیله است، ثابت باقی بماند. بر اساس قانون اهم، وسیله‌های رسانشی گروه (الف) و (ب) را صورت زیر دسته‌بندی می‌کنیم:

۱. گروه (الف) قطعات اهمی ← از قانون اهم پیروی می‌کنند ← مانند اغلب فلزات و بسیاری از رساناهای غیرفلزی در دمای ثابت.

۲. گروه (ب) قطعات غیراهمی ← از قانون اهم پیروی نمی‌کنند ← مانند دیودها.

تیپ A: کاربرد رابطهٔ مقاومت الکتریکی $(R=\frac{V}{I})$

مثال:

۱. اختلاف پتانسیل الکتریکی بین دو سر سیمی به مقاومت ۱۰Ω برابر با ۸ ولت است. در هر ثانیه چند الکترون از مقطع این سیم عبور می‌کند؟ $e=۱/۶\times۱۰^{-۱۹}C$

پاسخ:

معلومات:
$V=۸V$
$R=۱۰\Omega$
$\Delta t=۱s$

مجهول:
$n=?$

رابطه اصلی:
$q=ne$

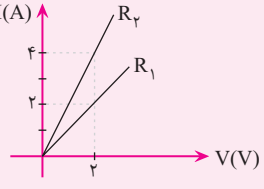
رابطه کمکی:
$R=\frac{V}{I}$
$\Delta q=I\Delta t$

حل تشریحی:
$V=IR\rightarrow ۸=I\times۱۰\rightarrow I=۰/۸A$
$\Delta q=I\Delta t\rightarrow \Delta q=۰/۸\times۱\rightarrow \Delta q=۰/۸C$
$q=ne\rightarrow ۰/۸=n\times۱/۶\times۱۰^{-۱۹}\rightarrow n=۵\times۱۰^{۱۸}$

تیپ B: نمودار جریان الکتریکی برحسب اختلاف پتانسیل

مثال:

۱. در شکل روبه‌رو، نمودار تغییرات جریان الکتریکی عبوری برحسب اختلاف پتانسیل دو سر دو مقاومت مجزای $R_۱$ و $R_۲=۳\Omega$ نشان داده شده است. در این صورت $R_۱$ چند اهم است؟



پاسخ:

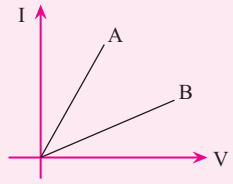
معلومات:
$I_۱=۲A$
$I_۲=۴A\ ,\ R_۲=۳\Omega$

مجهول:
$R_۱=?\Omega$

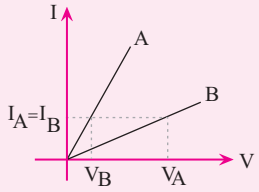
رابطه:
$V=IR$

حل تشریحی:
با توجه به نمودار داریم:
$V_۱=V_۲$
$V_۱=I_۱R_۱\rightarrow V_۱=۲R_۱$
$V_۲=I_۲R_۲\rightarrow V_۲=۴\times۳\rightarrow V_۲=۱۲V$
$\xrightarrow{V_۱=V_۲} ۲R_۱=۱۲\rightarrow R_۱=۶\Omega$

۲. مطابق شکل، نمودار $I-V$ برای یک رسانای فلزی در دو دمای متفاوت رسم شده است. در کدام حالت، دما بیشتر است؟



پاسخ: در رساناهای فلزی با افزایش دما، مقاومت الکتریکی افزایش می‌یابد. بنابراین دمای حالتی بیشتر است که مقاومت آن بزرگ‌تر باشد.



$$\left.\begin{matrix} R=\frac{V}{I} \\ I_A=I_B \\ V_A>V_B \end{matrix}\right\} \Rightarrow R_A>R_B \Rightarrow \theta_A>\theta_B$$

توجه: R (مقاومت الکتریکی) با V (ولتاژ) نسبت مستقیم دارد و چون $V_A>V_B$، بنابراین $R_A>R_B$ خواهد بود.

تمرین‌های امتحانی

۱. جاهای خالی را با عبارت مناسب پر کنید.

الف. با اعمال اختلاف پتانسیل در دو سر یک رسانا درون آن یک ..... برقرار می‌شود.

ب. آمپر - ساعت یکای ..... است.

پ. با اعمال میدان الکتریکی به یک فلز، الکترون‌ها با سرعتی موسوم به ..... خلاف جهت میدان حرکت می‌کنند.

ت. نسبت اختلاف پتانسیل دو سر یک رسانا به ..... که از آن می‌گذرد، در دمای ثابت مقداری ..... است.

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

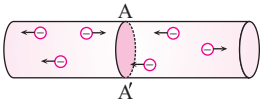
الف. مقاومت الکتریکی در اثر برخورد الکترون‌های متحرک با یکدیگر و با اتم‌های جسم رسانا به‌وجود می‌آید.

ب. همهٔ رساناها از قانون اهم پیروی می‌کنند.

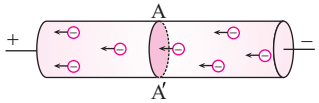
پ. یکای مقاومت الکتریکی ولت بر آمپر یا اهم است.

ت. جریان الکتریکی متوسط برابر نسبت $\frac{\Delta q}{\Delta t}$ است.

۳. شکل‌های زیر سیم رسانایی را نشان می‌دهد که الکترون‌های آزاد درون آن در حرکت هستند. در کدام یک از شکل‌های زیر شارش بار از مقطع AA' صفر نیست؟ چرا؟



(الف)



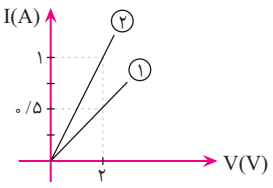
(ب)

۴. $2/5\times10^{21}$ الکترون در مدت ۴ دقیقه در یک رسانا شارش کرده است. اگر اختلاف پتانسیل دو سر آن $100\,V$ باشد:

الف. جریان الکتریکی گذرنده را محاسبه کنید.

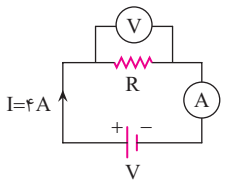
ب. مقاومت الکتریکی رسانا را محاسبه کنید. $(e=1/6\times10^{-19}\,C)$

۵. دو سر رسانای فلزی به مقاومت‌های R_1 و R_2 را به ولتاژهای مختلفی وصل می‌کنیم. نمودار شدت جریان برحسب ولتاژهای آن‌ها مطابق شکل زیر است. نسبت $\frac{R_2}{R_1}$ را محاسبه کنید.



۶. از یک باتری ۱۰۰ آمپر - ساعتی، به مدت $5\,h$ جریان $12\,A$ می‌گیریم. بار باقی‌مانده در باتری چند آمپر - ساعت است؟

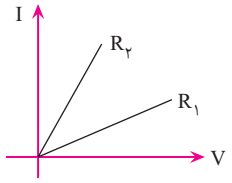
۷. **از مدار روبه‌رو در مدت ۲ دقیقه جریان ۴A می‌گذرد و انرژی‌ای که مولد به مدار می‌دهد ۱۹۶۰J است.**



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.**

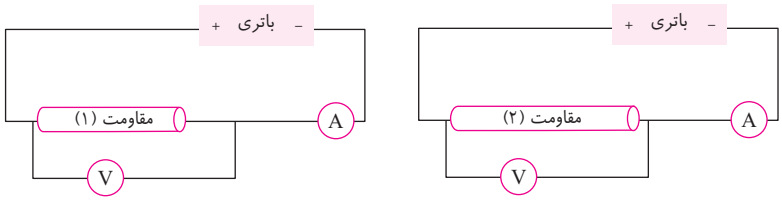


درس دوم: عوامل مؤثر بر مقاومت الکتریکی – انواع مقاومت‌ها

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

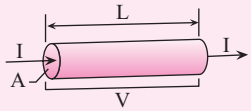
$$R = \rho \frac{L}{A}$$

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

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.



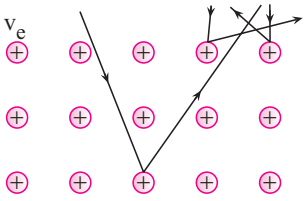
هرچه جسم بلندتر شود، الکترون‌ها هنگام عبور از آن برخوردهای بیشتری باهم پیدا می‌کنند و بنابراین مقاومت الکتریکی جسم بیشتر می‌شود.

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

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