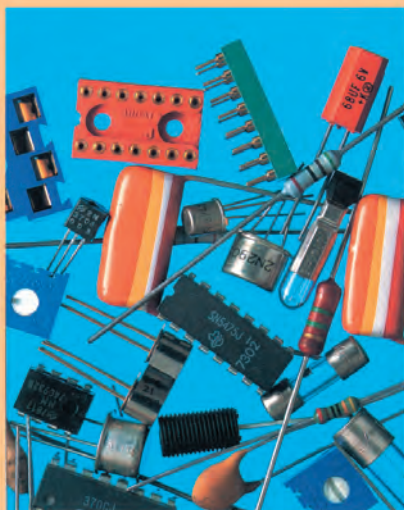


## جریان الکتریکی و مدارهای جریان مستقیم

### دانسته‌های قبلی

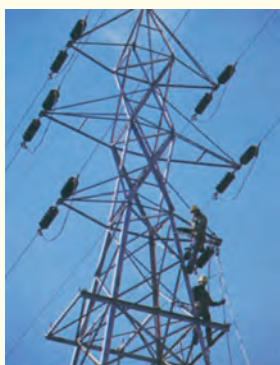
دانش آموزان در فیزیک ۱ و آزمایشگاه با مطالب رسانا، نارسانا، الکترون آزاد، پایداری بار، القای بار الکتریکی، آذرخش یا تخلیه‌ی الکتریکی، اختلاف پتانسیل الکتریکی، مولد، مدار الکتریکی، جریان الکتریکی، مقاومت الکتریکی، قانون اهم و ... در سطح مقدماتی آشنا شده‌اند و در فصل قبل با مفاهیم میدان الکتریکی، اختلاف انرژی پتانسیل و اختلاف پتانسیل الکتریکی آشنا شده‌اند.

برای ایجاد انگیزه و درگیر کردن دانش آموزان با موضوع درس و تعیین سطح کلاس در ارتباط با موضوع درس، پرسش‌هایی مانند پرسش‌های زیر را مطرح می‌کنیم:



شکل بالا تعدادی از قطعات مورد استفاده در مدارهای الکتریکی و الکترونیکی را نشان می‌دهد.

۹۹

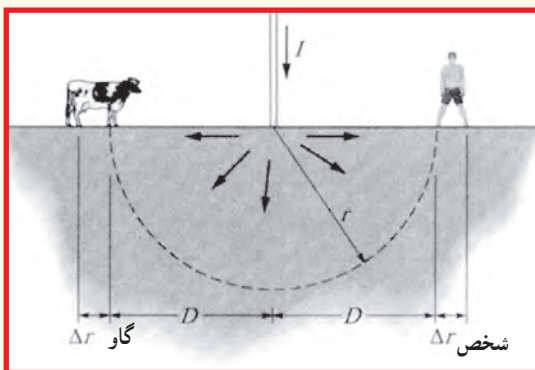


شکل (۱)

پرسش: اگر برق ساختمانی که شما در آن زندگی می‌کنید، ناگهان قطع شود، چه اتفاقی می‌افتد؟ چرا بسیاری از وسایل از کار می‌افتند؟ انرژی الکتریکی از کجا می‌آید؟ این انرژی چگونه به منزل شما می‌رسد؟

مهم‌ترین ویژگی انرژی الکتریکی نسبت به دیگر انرژی‌ها چیست؟  
[اشاره به قابلیت تبدیل آسان آن به بقیه‌ی شکل‌های انرژی و انتقال آسان آن با کمترین اتلاف]

پرسش: اگر به اندازه‌ی کافی به محل اصابت صاعقه به زمین نزدیک باشید، بخشی از باری که در زمین شارش می‌کند می‌تواند از بدن شما بگذرد. این شارش می‌تواند موجب فلج شدن یا حتی مرگ شود. با وجود این، روش ساده‌ای برای کاهش خطر جریان، وجود دارد. حیوانات حتی بیش از انسان در معرض خطر جریان قرار دارند، اما نمی‌توانند با این روش، این خطر را کم کنند. آیا می‌دانید چگونه می‌توان خطر این جریان را کم کرد؟ در شکل (۲-ب). شخص و گاو در فاصله‌ی یکسانی از مرکز صاعقه قرار دارند، احتمال برق گرفتگی برای کدام یک بیشتر است؟



شکل (۲)

پرسش: آیا تا کنون پرنده‌ای که روی سیم فشار قوی برق نشسته است را دیده‌اید؟ پرنده می‌تواند بدون آسیب دیدن روی سیم حامل جریان زیاد برق بنشیند و آسیب نبیند؛ اما بهتر است به این فکر نیفتد که یک پایش را روی سیم مجاور بگذارد. به نظر شما چرا وقتی پرنده، روی یک سیم می‌نشیند، دچار برق گرفتگی نمی‌شود، اما اگر پایش را روی سیم مجاور قرار دهد، بلافاصله دچار برق گرفتگی می‌شود؟



با مطالعه‌ی این فصل می‌توانید روش مناسبی برای جلوگیری از این خطر ارائه کنید یا روش ارائه شده را درک نمایید.



شکل (۳)

### ۱-۳- جریان الکتریکی

راهنمای تدریس: فعالیت ۱ به شما کمک می‌کند تا بتوانید وارد بحث اصلی کتاب یعنی حرکت کاتوره‌ای الکترون‌ها و حرکت جهت‌دار بارهای الکتریکی و سرانجام مبحث جریان الکتریکی شوید.

**هدف فعالیت ۱:** نحوه‌ی تولید شارش بار الکتریکی موقت و دائم، بررسی حرکت واقعی بارهای الکتریکی (الکترون‌های آزاد) معادل بودن فرض جابه‌جایی بارهای مثبت و منفی (الکترون‌ها) در توزیع نهایی بار (اشاره به جهت واقعی حرکت بارها و جهت قراردادی)

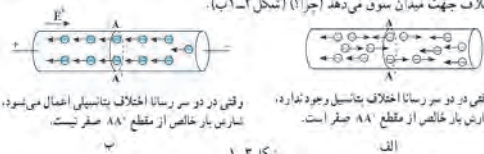
#### فصل ۳

#### جریان الکتریکی و مدارهای جریان مستقیم

در فصل دوم، مفهوم‌های بار الکتریکی، میدان الکتریکی و اختلاف پتانسیل بین دو نقطه از میدان الکتریکی را معرفی کردیم و به بررسی بارهای از ویژگی‌های بار الکتریکی ساکن پرداختیم. در این فصل آثار ناشی از حرکت بارهای الکتریکی - یعنی پدیده‌ی شارش بار - در مواد رسانا را بررسی خواهیم کرد و خواهیم دید که شارش بار در رسانا سبب انتقال انرژی در آن می‌شود. این انرژی به انرژی‌های دیگر نظیر انرژی درونی، انرژی مکانیکی و انواع دیگر انرژی تبدیل می‌شود.

#### ۱-۳-۱- جریان الکتریکی

در فیزیک ۱ دیدیم که رسانایی فلزها به دلیل وجود الکترون‌های آزاد است که در داخل آن‌ها با سرعت‌های متفاوت به طور کاتوره‌ای در حرکت‌اند. نا زمانی که اختلاف پتانسیل الکتریکی به دو سر رسانا اعمال شده باشد، الکترون‌های آزادی که در بازه‌ی زمانی  $\Delta t$  از مقطع  $AA'$  (شکل ۱-۳-۱ الف) از راست به چپ در حرکت‌اند، با الکترون‌های آزادی که در همان بازه‌ی زمانی از همان مقطع از چپ به راست حرکت می‌کنند، برابری؛ یعنی، به طور متوسط بار خالصی که از مقطع  $AA'$  با هر مقطع فرضی دیگر رسانا می‌گذرد، در یک بازه‌ی زمانی صفر است. هنگامی که دو سر رسانا را به باتری وصل و به این وسیله به دو سر آن اختلاف پتانسیل اعمال می‌کنیم، یک میدان الکتریکی در داخل رسانا ایجاد می‌شود. این میدان به الکترون‌های آزاد درون رسانا نیرو وارد می‌کند و آن‌ها را به خلاف جهت میدان سوق می‌دهد (چرا؟) (شکل ۱-۳-۱ ب).

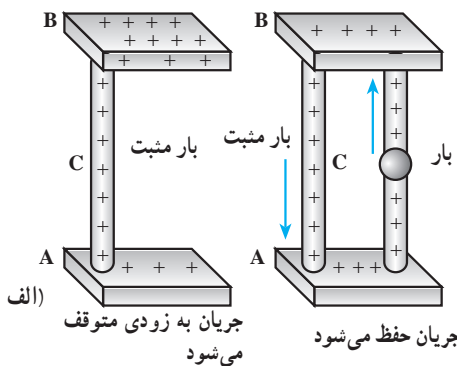


الف) وقتی در دو سر رسانا اختلاف پتانسیل وجود ندارد، شارش بار خالص از مقطع  $AA'$  صفر است.  
ب) وقتی در دو سر رسانا اختلاف پتانسیل اعمال می‌شود، شارش بار خالص از مقطع  $AA'$  صفر نیست.

شکل ۱-۳-۱

۱۰۰

### فعالیت ۱



شکل (۴)

دو صفحه‌ی رسانای A و B را که دارای بار مثبت هستند، به یکدیگر وصل می‌کنیم (شکل ۴-الف).

الف) بار الکتریکی از کدام صفحه به دیگری منتقل می‌شود؟

ب) با توجه به مفهوم «الکترون‌های آزاد» بارهای مثبت جابه‌جا می‌شوند یا الکترون‌ها؟

پ) اگر فرض کنیم بارهای مثبت جابه‌جا شده‌اند، آیا در توزیع نهایی بارها، تأثیری می‌گذارد؟

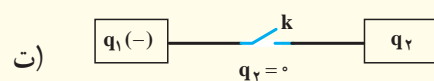
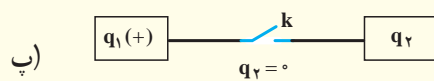
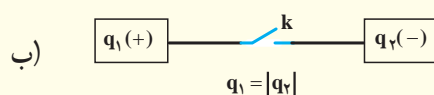
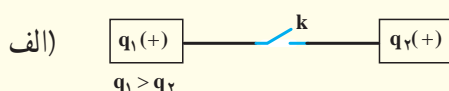
ت) آیا عمل انتقال بار الکتریکی برای مدت طولانی ادامه می‌یابد؟

ث) اگر بخواهیم شارش بار الکتریکی پایداری بین دو صفحه ایجاد شود، چه کاری باید انجام دهیم؟ آیا می‌توانیم با قرار دادن ایزاری مانند پمپ بار الکتریکی، جریان دائمی برقرار کنیم؟ به نظر شما این ابزار چه وسیله‌ای می‌تواند باشد؟ (منبع تغذیه‌ی ولتاژ - مولد الکتریکی و یا یک مولد وان دوگراف)

## پمپ کردن بارهای الکتریکی

در این دانشتنی؛ شرایط شارش بار پایا (پایدار) در یک مدار الکتریکی آورده شده است.

پرسش: در هر یک از شکل‌های (۵)، با بستن کلید  $k$ ، بارهای الکتریکی از کدام جسم به دیگری منتقل می‌شود؟ اجسام و سیم‌های رابط، رسانا هستند و اندازه‌ی اجسام با هم برابر است.



شکل (۵)

پاسخ: می‌دانیم در رساناها، الکترون‌های آزاد جابه‌جا می‌شوند. یعنی وقتی بین دو جسم اختلاف پتانسیل وجود داشته باشد، هسته‌ها، جابه‌جا نمی‌شوند بنابراین:

الف) الکترون‌ها از جسم (۲) به جسم (۱) آن قدر جا به جا می‌شوند تا بار دو جسم یکی شود  $(\frac{q_1 + q_2}{2})$ .

ب) الکترون‌ها از جسم (۲) به جسم (۱) جابه‌جا می‌شوند و چون اندازه‌ی دو بار یکسان است در نهایت هر دو جسم بدون بار می‌شوند.

پ) از جسم (۲) آن قدر الکترون به سمت (۱) جابه‌جا می‌شود تا بار هر دو جسم یکی شود، یعنی  $(\frac{+q_1}{2})$

ت) از جسم (۱) الکترون به سمت (۲) آن قدر جابه‌جا می‌شود تا بار دو جسم یکسان شود یعنی هر دو جسم دارای بار منفی  $\frac{q_1(-)}{2}$  شوند.

## فعالیت ۲



در این حالت، بار خالصی که از هر مقطع عبور می‌کند صفر نیست و می‌گوییم در رسانا شارش بار وجود دارد. به عبارت دیگر، در آن جریان الکتریکی برقرار شده است. در کتاب فیزیک ۱ و آزمایشگاه دیدیم که جریان الکتریکی در خلاف جهت شارش الکترون‌ها است، یعنی جریان الکتریکی در جهت میدان الکتریکی است و چون پتانسیل در جهت میدان کاهش می‌یابد، جهت جریان الکتریکی از پتانسیل بیش‌تر به پتانسیل کم‌تر است. بار شارش شده در واحد زمان را شدت جریان متوسط گویند. اگر در بازه‌ی  $\Delta t$  بار  $\Delta q$  در رسانا شارش کرده باشد، شدت جریان متوسط از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$\bar{I} = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad (۱-۳)$$

همان‌طور که می‌دانید، یکای شدت جریان، آمپر نام دارد. اگر در تمام بازه‌های زمانی شدت جریان متوسط ثابت باشد، جریان را مستقیم می‌نامند. در این صورت، شدت جریان لحظه‌ای با شدت جریان متوسط برابر می‌شود. در این حالت، رابطه‌ی (۱-۳) به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$I = \frac{q}{t} \quad (۲-۳)$$

در این رابطه،  $q$  بار شارش شده در مدت  $t$  برحسب کولن و  $I$  برحسب آمپره و  $t$  شدت جریان برحسب آمپر است.

در رابطه‌ی  $q=It$  اگر  $I$  برحسب آمپر و  $t$  برحسب ساعت باشد، مقدار  $q$  برحسب آمپر ساعت به دست می‌آید.

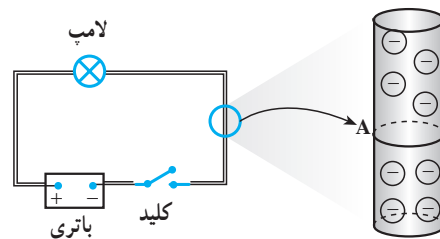
### فعالیت ۱-۳

بار ذخیره شده در باتری‌های اتومبیل را معمولاً با آمپر ساعت مشخص می‌کنند. منظور از این اصطلاح پشته‌ی بار الکتریکی است که در باتری ذخیره می‌شود. اگر بار الکتریکی باتری یک اتومبیل ۶۰ آمپر ساعت باشد و در مدت ۱ ساعت از آن جریان بگیریم، شدت جریان متوسط را برآورد کنید.

برای آن که جریان الکتریکی برقرار شود، باید بار در یک مسیر بسته شارش کند. این مسیر بسته را مدار الکتریکی می‌نامیم. مدارهای الکتریکی‌ای که در این فصل بررسی می‌کنیم، شامل رساناهای فلزی (سیم یا لامپ رشته‌ای)، منبع تأمین انرژی الکتریکی (باتری یا پیل یا منبع تغذیه)، کلید قطع و

۱۰۱

وقتی شما تلویزیون، کامپیوتر و یا یک لامپ را روشن می‌کنید، شما یک مدار الکتریکی را کامل می‌کنید. شکل (۶)، یک مدار ساده، شامل یک باتری، یک لامپ و کلید و قطع و وصل را نشان می‌دهد. الف) وقتی کلید  $k$  باز است، قسمتی از سیم‌های رابط را در نظر گرفته و در مورد حرکت الکترون‌های آزاد آن بحث کنید.



شکل (۶)

توجه: الکترون‌های آزاد در طول رسانای فلزی با حرکت کاتوره‌ای و سرعت‌هایی از مرتبه‌ی  $10^{10}$  km/s در حال حرکت اند. اگر یک صفحه‌ی فرضی مانند صفحه‌ی  $A$  را در نظر بگیریم، الکترون‌های آزاد با سرعت‌های بسیار زیاد در هر دو جهت از آن عبور می‌کنند. بنابراین هیچ انتقال خالصی از بار الکتریکی در سیم وجود ندارد.

ب) وقتی کلید  $k$  را می‌بندیم، در دو سر رسانا اختلاف پتانسیل به وجود می‌آید. در این حالت نیز همانند قسمت الف) قسمتی از سیم رابط را در نظر گرفته و حرکت الکترون‌های آزاد را توصیف کنید. انتظار داریم دانش‌آموزان به برقراری میدان الکتریکی در داخل رسانا اشاره کنند و براساس آن نیروی وارد بر بار الکتریکی ( $\vec{F}=q\vec{E}$ ) را توضیح دهند و سپس نتیجه بگیرند که در این حالت شارش آرامی از بارهای الکتریکی (الکترون‌ها) در خلاف جهت میدان الکتریکی به وجود می‌آید، یعنی جریان برقرار می‌شود. پ) جهت جریان الکتریکی از پتانسیل بیشتر به کمتر است یا بر عکس؟ توضیح دهید. دانش‌آموزان با استفاده از اطلاعاتی که از فیزیک ۱ و آزمایشگاه دارند و فعالیت‌های قبلی می‌توانند به این سؤال پاسخ دهند.



(ب)

$$\Delta q = ne \Rightarrow n = \frac{\Delta q}{e} = \frac{48^\circ\text{C}}{1/6 \times 10^{-19}\text{C}} = 3/0 \times 10^{21}$$

الکترون

توجه: در رساناهای فلزی، حاملان بار الکترون‌ها، هستند؛ جریان الکتریکی در فلز چیزی جز جریان الکترون‌ها نیست، در الکترولیت‌ها مانند نمک و آب، حاملان بار یون‌های مثبت و منفی هستند؛ جریان در چنین رسانایی جریان یون‌هاست. اما جهت جریان قراردادی به گونه‌ای است که به موجب آن جهت جریان الکتریکی جهت شارش بار مثبت فرضی است و براساس این قرارداد، جهت جریان قراردادی عکس حرکت بارهای واقعی در فلزهاست. اما انتقال بار منفی در یک جهت معادل است با انتقال بار مثبت در جهت مخالف. ما در قرارداد خود در مورد مشخص کردن جهت جریان از این هم‌ارزی استفاده می‌کنیم. بعد از معرفی یک کمیت باید به دانش‌آموزان حسی از مقادیر مختلف آن کمیت بدهیم. در جدول زیر برخی مقادیر جریان الکتریکی آورده شده است.



ب



الف

شکل (۷)

میدان الکتریکی در داخل سیم رسانا و اطراف آن، وقتی سیم حامل جریان الکتریکی است. خطوط میدان با پاشیدن تخم چمن روی صفحه‌ی کاغذ مرئی شده‌اند.

پس از انجام فعالیت‌های فوق، از دانش‌آموزان می‌خواهیم، شدت جریان را تعریف کنند و با کمک آن‌ها، شدت جریان متوسط، جریان مستقیم و لحظه‌ای را معرفی می‌کنیم.

مثال: در چراغ جلوی اتومبیل، جریانی ۸A از رشته‌ی لامپ عبور می‌کند. الف) چه مقدار بار الکتریکی در هر دقیقه از این رشته می‌گذرد؟ ب) در این مدت چند الکترون از آن عبور می‌کند؟

پاسخ:

$$\Delta q = I \Delta t = 8A \times 1 \times 60S = 480C$$

الف)

جدول (۱) برخی مقادیر جریان الکتریکی

آذرخش	$\sim 10^4 A$
خط انتقال فشار قوی	$\sim 10^3 A$
ترانسفورماتور بزرگ	$\sim 10^2 A$
آهنربای الکتریکی بزرگ	$200 A$
استارت اتومبیل	$100 A$
دینام اتومبیل	$30 A$
جرقه‌ی فیوز	$30 A$
تهویه‌ی مطبوع	$12 A$
مو خشک کن	$10 A$
به کار انداختن قلب با شوک الکتریکی	$1 A$
چراغ روشنایی معمولی	$1 A$
لامپ چراغ قوه	$0.5 A$
فیبر لاسیون قلب (کشنده)	$0.1 A$
جریانی که پوست بدن می‌تواند احساس کند	$1 \times 10^{-2} A$
ماشین حساب الکترونیکی	$1 \times 10^{-6} A$

## مشابه مکانیکی مدار سیم - باتری

در این دانستنی؛ مشابه مکانیکی یک مدار الکتریکی ساده توضیح داده می شود و نقش معادل تلمبه ی هیدرولیکی، آبراهه و ... در یک مدار الکتریکی، مورد بررسی قرار می گیرد.

مثال : شکل ۸ الکترون های رسانش یک سیم را در حال حرکت به سمت چپ نشان می دهد. جهت میدان الکتریکی و جهت جریان در سیم مشخص نمایید.

منفی در خلاف جهت میدان الکتریکی نیرو وارد می شود. از طرفی جهت جریان قراردادی نیز به سمت راست است. زیرا جهت جریان قراردادی جهت حرکت بارهای مثبت (به صورت فرضی) می باشد.



الکترون های رسانش در حال حرکت

شکل (۸)

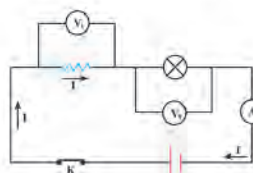
### فعالیت ۱-۳

هدف : آشنا شدن دانش آموزان بایکای دیگر بارالکتریکی.

$$q = It \rightarrow \epsilon \cdot Ah = I \times 1 \cdot h \Rightarrow I = \epsilon A$$

پاسخ : جهت حرکت خالص بارهای منفی به سمت چپ است. پس نیروی  $\vec{F} = q\vec{E}$  بر الکترون به سمت چپ وارد می شود، بنابراین میدان الکتریکی به سمت راست می باشد زیرا به بارهای

وصل، وسیله های اندازه گیری شدت جریان و اختلاف پتانسیل (آمپرسنج و ولتسنج) است. این قطعه ها را اجزای مدار الکتریکی می نامند و برای رسم هر یک نمادی را به طور قراردادی به کار می برند. شما در کتاب فیزیک ۱ با این نمادها آشنا شده اید. شکل ۲-۳ یک مدار الکتریکی و طرز قرار گرفتن آمپرسنج و ولتسنج را در این مدار نشان می دهد.



شکل ۲-۳

### ۲-۳ قانون اهم

همان طور که در فیزیک ۱ و آزمایشگاه دیدید، بنا به قانون اهم نسبت اختلاف پتانسیل دو سر رسانای فلزی به شدت جریانی که از آن می گذرد، در دمای ثابت، مقدار ثابتی است. این نسبت را مقاومت الکتریکی رسانا می نامند و یکای آن اهم یا نماد  $\Omega$  است.

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

(۲-۳)

مقاومت را با وسیله ای به نام اهم سنج اندازه می گیرند. این وسیله همراه با ولت سنج و آمپر سنج یک دستگاه را تشکیل می دهند که آوومتر (AVOmeire) ۸۰ برای آمپر، V برای ولت و  $\Omega$  برای اهم) نامیده می شود.

### ۳-۳ عوامل مؤثر در مقاومت رساناهای فلزی

مقاومت یک رسانای فلزی در دمای ثابت به طول، سطح مقطع و جنس آن بستگی دارد. برای بررسی رابطه ی مقاومت رسانا با عوامل یاد شده آزمایش ۱-۳ را انجام دهید.

## فعالیت ۳



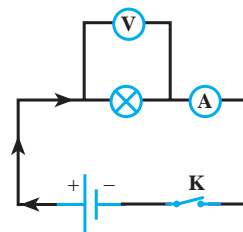
از دانش‌آموزان می‌خواهیم یک مدار الکتریکی که شامل اجزای زیر باشد را رسم کرده و نقش هر یک از اجزاء را از نظر انرژی و یا ... توضیح دهند. در صورتی که این اجزاء در آزمایشگاه مدرسه موجود است آن‌ها را در اختیار دانش‌آموزان قرار دهید تا به شکل عملی یک مدار را بسته و اثر جریان الکتریکی را ببینند و یا از قبل از دانش‌آموزان بخواهیم تا برای این جلسه اجزای مورد نیاز را تهیه و به کلاس بیاورند تا آزمایش فوق را انجام دهند.

یک مقاومت همانند لامپ رشته‌ای را با علامت اختصاری  $\otimes$ ، باتری یا پیل با علامت اختصاری  $+$   $-$ ، سیم‌های رابط با علامت خط، آمپرسنج با علامت  $(A)$ ، ولت‌سنج با علامت  $(V)$  و کلید قطع و وصل با علامت  $\text{---} \text{---}$  نشان می‌دهیم.

(این فعالیت بیشتر جنبه‌ی یادآوری دارد که دانش‌آموزان به هم بستن اجزای مدار، نقش هر یک از اجزاء و ابزارهای اندازه‌گیری در مدارها را به خاطر بیاورند و ضمناً مطالب مربوط به بند آخر صفحه ۱۰۱ و بند اول صفحه ۱۰۲ مرور شود).



شکل (۹)



شکل (۱۰)

## دانشتنی



در این دانشتنی؛ در مورد آندره ماری آمپر فرانسوی و نقش او در مورد تکمیل فرضیه‌ی اورستد مطالبی آورده شده است.

## فعالیت خارج از کلاس



از گروهی از دانش‌آموزان می‌خواهیم که در مورد زندگی و کارهای علمی آمپر تحقیق کنند و به کلاس ارائه کنند.



## ۳-۲- قانون اهم

آشنا می‌کنیم.

**مثال:** برای اندازه‌گیری مقاومت یک قطعه سیم دراز، شخصی این سیم را به قطب‌های یک باتری وصل می‌کند. اگر اختلاف پتانسیل دو سر باتری ۶ ولت باشد با استفاده از آمپرسنج جریان گذرنده از سیم  $3^\circ A$  به دست می‌آید. مقاومت این سیم چه مقدار است؟

$$R = \frac{V}{I} = \frac{6}{3} = 2 \text{ V/A}$$

دانش‌آموزان در فیزیک ۱ و آزمایشگاه با قانون اهم آشنا شده‌اند. در این جا می‌توانیم از دانش‌آموزان (گروه‌ها) بخواهیم در مورد قانون اهم بحث کنند نتیجه‌ی بحث خود را که بیشتر جنبه‌ی یادآوری دارد، به کلاس ارائه کنند و سپس با ارائه چند مثال مناسب که مقادیر کمیت‌های آن‌ها واقعی باشند. دانش‌آموزان را با مقدار مقاومت‌ها و جریان‌های گذرنده از آن‌ها

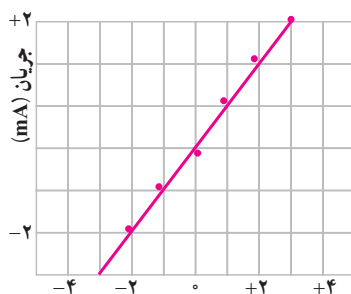
## فعالیت ۴



در صورتی که در مدرسه آومتر وجود دارد آن را به همراه چند مقاومت در اختیار دانش‌آموزان قرار می‌دهیم و از آن‌ها می‌خواهیم مقاومت‌ها را اندازه‌گیری کنند. و اگر آومتر وجود نداشت اندازه‌گیری را با آمپرسنج و ولت‌سنج انجام دهند (البته با برقرار کردن جریان در مقاومت).

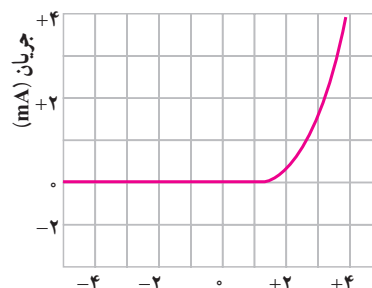
توجه: اغلب تصور می‌شود  $\frac{V}{I} = R$  بیانی از قانون اهم است. این درست نیست! این معادله مقاومت را تعریف می‌کند و در مورد همه‌ی رساناها، چه آن‌هایی که از قانون اهم پیروی می‌کنند و چه آن‌هایی که از قانون اهم پیروی نمی‌کنند، به کار می‌رود. وقتی اختلاف پتانسیل  $V$  را به دو سر وسیله‌ای همانند یک دیود که از قانون اهم پیروی نمی‌کند، وصل کنیم و جریان  $I$  از وسیله بگذرد. مقاومت وسیله در ولتاژ مشخص  $V$ ، برابر  $R = V/I$  است. اما اساس قانون اهم در این است که نمودار تغییرات جریان برحسب ولتاژ به صورت خطی باشد؛ یعنی  $R$

مستقل از  $V$  باشد. یک وسیله‌ی رسانا وقتی از قانون اهم پیروی می‌کند که مقاومت آن وسیله، مستقل از اندازه و قطبیت اختلاف پتانسیل باشد به عبارت دیگر جریانی که از وسیله می‌گذرد همواره با اختلاف پتانسیل اعمال شده به وسیله، نسبت مستقیم داشته باشد. شکل (۱۱) الف و ب نمودار جریان برحسب ولتاژ را برای دو وسیله‌ی متفاوت نشان می‌دهد. وسیله‌ی شکل (۱۱-الف) از قانون اهم پیروی می‌کند وسیله‌ی شکل (۱۱-ب) از قانون اهم پیروی نمی‌کند.



الف اختلاف پتانسیل (V)

الف



ب اختلاف پتانسیل (V)

ب

شکل (۱۱)

**مثال:** جدول زیر جریان  $I$  را که از دو وسیله به ازای چند مقدار اختلاف پتانسیل می‌گذرد، نشان می‌دهد. با استفاده از این داده‌ها تعیین کنید که کدام یک از این وسایل از قانون اهم پیروی نمی‌کند؟

وسیله‌ی (۱)

$I(A)$	$V(V)$
۴/۵۰	۲/۰۰
۰/۷۵	۳/۰۰
۹/۰۰	۴/۰۰

وسیله‌ی (۲)

$I(A)$	$V(V)$
۱/۵۰	۲/۰۰
۲/۲۰	۳/۰۰
۲/۸۰	۴/۰۰

**پاسخ:** با رسم نمودار جریان برحسب ولتاژ دو وسیله متوجه می‌شویم که نمودار جریان برحسب ولتاژ وسیله‌ی ۲ به صورت خط راست است و شیب آن مستقل از اندازه‌ی اختلاف پتانسیل اعمال شده است. بنابراین وسیله‌ی ۲ از قانون اهم پیروی می‌کند و وسیله‌ی ۱ از قانون اهم پیروی نمی‌کند.

**مثال:** مقاومت سیم در سیم‌پیچ موتور استارت اتومبیل  $3 \times 10^{-2} \Omega$  است این موتور به باتری ۱۲V اتومبیل وصل می‌شود. وقتی این موتور کار می‌کند، چه جریانی از آن می‌گذرد؟

(ج:  $400 A$ )

## دانستنی



### رفتار و عملکرد جریان الکتریکی در یک رسانا

در این دانستنی؛ رفتار الکترون‌های آزاد که همانند یک گاز، تمام حجم فلز را پر می‌کنند، بررسی می‌شود و جریان در رساناهای فلزی به مثابه روان شدن گاز الکترونی و روان شدن گاز الکترون در سیم فلزی مشابه جاری شدن آب در آبراهه با شیب ملایم در نظر گرفته می‌شود.

## دانستنی



### گئورک سیمون اهم

در این دانستنی؛ به اختصار فعالیت‌های علمی اهم بررسی می‌شود.

**مثال:** مقاومت یک جاروی برقی، یک سشوار (موخشک‌کن) و یک اتوی برقی به ترتیب  $9\Omega$ ،  $10\Omega$  و  $12\Omega$  است. اگر دو سر هر یک از این وسایل را به برق ۱۱۵V وصل کنیم، جریانی که از هر یک می‌گذرد را به دست آورید.

ج: ( $I_{\text{اتو}} = 9/6 A$  و  $I_{\text{سشوار}} = 11/5 A$  و  $I_{\text{جاروبرقی}} = 12/8 A$ )

**مثال:** در رابطه‌ی  $\frac{I}{V} = \frac{1}{R}$  اگر ولتاژ را دو برابر کنیم، جریان چگونه تغییر می‌کند؟

**پاسخ:** با دو برابر شدن اختلاف پتانسیل، جریان نیز دو برابر می‌شود و مقاومت تغییری نمی‌کند. مقاومت یک رسانا به ویژگی‌های ساختمانی آن مانند طول، سطح مقطع و جنس آن بستگی دارد و به اختلاف پتانسیل دو سر آن یا جریان گذرنده از آن بستگی ندارد (از تغییر دما صرف نظر شده است و رسانا را رسانای اهمی فرض می‌کنیم).

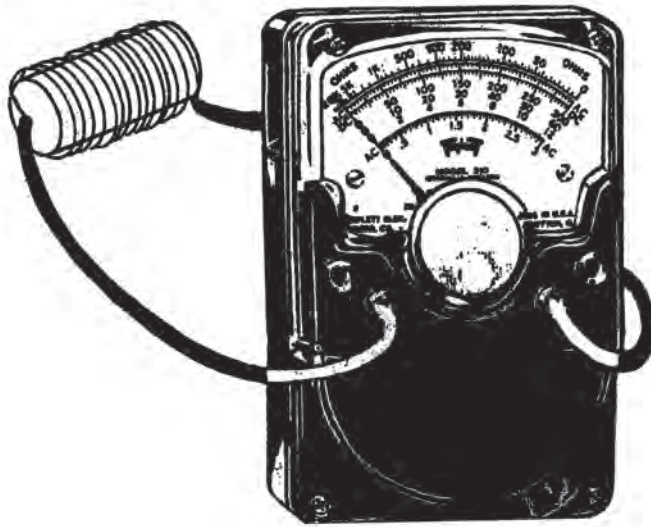
**مثال:** اختلاف پتانسیل پریزهای خانگی در کشور ما ۲۲۰V و در کشور آمریکا ۱۲۰V است. توضیح دهید که چرا نمی‌توانیم موخشک‌کنی که برای اختلاف پتانسیل ۱۲۰V طراحی شده است را به پریزهای برق ۲۲۰V وصل کنیم.

**پاسخ:** با توجه به رابطه‌ی  $\Delta V = RI$ ، هرگاه اختلاف پتانسیل افزایش یابد، جریان گذرنده از آن نیز افزایش می‌یابد بنابراین با اعمال اختلاف پتانسیل ۲۲۰V به موخشک‌کن که برای ۱۲۰V طراحی شده است، جریانی بیش از حد مجاز از دستگاه عبور می‌کند که ممکن است به آن آسیب برساند.

جبران کردند. پیشامد جالبی است که سه یکای مهم الکتریسته یعنی آمپر، ولت و اهم بنا به قرارداد بین‌المللی به نام سه دانشمند فرانسوی، ایتالیایی و آلمانی نام‌گذاری شده است. در حقیقت، اهم فیزیکدان آلمانی بود که رابطه‌ی بین این سه واحد الکتریکی را به صورت فرمول زیر بیان کرد:

$$\text{ولت} = \frac{\text{آمپر}}{\text{اهم}}$$

اگر چه در آلمان از اهم استقبال نشد، اما در انگلستان اکتشاف‌هایش را ارزنده شمردند و در سال ۱۸۴۱ او را به دریافت بهترین نشان علمی انجمن سلطنتی مفتخر کردند: گئورگ اهم در سال ۱۸۵۴ در سن ۶۷ سالگی در مونیخ درگذشت. در سال ۱۸۸۱، انجمن مهندسان برق جهان در پاریس جمع آمدند و به اتفاق آراء واحد مقاومت الکتریکی را «اهم» نام‌گذاری کردند. اگر چه او زنده نبود تا این افتخار را به چشم خود ببیند، اما دانشمندان با این کار سال‌های بی‌خبری و غفلت از اهمیت فرضیه اهم را



شکل ۱۲

اهم سنج: دستگاهی که برای اندازه‌گیری مقاومت رساناها به کار می‌رود. در اهم سنج از باتری برای ایجاد جریان در مقاومت استفاده می‌شود و براساس مقدار جریان، اندازه‌ی مقاومت به‌دست می‌آید.

### ۳-۳- عوامل مؤثر در مقاومت رساناهای فلزی

راهنمای تدریس: ابتدا با انجام فعالیت ۸ دانش‌آموزان حدس می‌زنند که مقاومت یک رسانای فلزی به چه عامل‌هایی بستگی دارد و سپس با انجام آزمایش ۳-۱ و اضافه کردن بندهایی به آن یا آزمایشی که خودشان طراحی کردند، رابطه‌ی بین مقاومت و متغیرهای مرتبط را به‌دست می‌آورند.

آزمایش ۱-۳ نشان می‌دهد که اگر سطح مقطع سیم در تمام طول آن یکسان باشد، رابطه‌ی مقاومت سیم با سایر ویژگی‌های آن به صورت زیر است.

$$R \propto \frac{1}{A} \quad (۴-۳)$$

در این رابطه،  $\rho$  مربوط به جنس سیم است و مقاومت ویژه‌ی رسانا نام دارد. مقاومت ویژه‌ی هر فلز، مقاومت قطعه‌ای از آن فلز است به طول یک متر و به سطح مقطع یک متر مربع.  $\rho$  طول سیم بر حسب متر و  $A$  سطح مقطع سیم بر حسب متر مربع است.

### تمرین ۱-۳

طول و قطر سیم سی،  $A$  دو برابر طول و قطر سیم سی  $B$  است. مقاومت سیم  $A$  چند برابر مقاومت سیم  $B$  است؟

مقاومت ویژه‌ی پاره‌ای از رساناها = مانند تفره و مس = کم و پاره‌ای دیگر = مانند تنگستن و آهن = نسبتاً زیاد است.

### فعالیت ۲-۳

آزمایشی برای اندازه‌گیری مقاومت ویژه‌ی فلز طراحی کنید و توضیح دهید که چگونه می‌توانید دقت اندازه‌گیری را افزایش دهید.

گذراندن مقاومت‌ها: مقاومت‌های الکتریکی را برای مصرف‌های مختلف می‌سازند. کارخانه‌های سازنده برای سهولت در تولید، مقاومت‌های خاصی را به عنوان استاندارد انتخاب می‌کنند و می‌سازند و با حلقه‌های رنگی که در روی آن‌ها اندازه مقاومت‌ها را مشخص می‌کنند، به هر رنگ عدد خاصی را نسبت می‌دهند. در انتها نیز با یک حلقه‌ی طلایی یا نقره‌ای درصد خطا را مشخص می‌کنند. در این نوع مقاومت‌ها اغلب از کریلین هم استفاده می‌شود؛ به این دلیل آن‌ها را مقاومت کریلینی نیز می‌گویند.

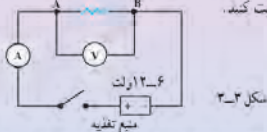
۱۰۴

### آزمایش ۱-۳

وسایلهای آزمایش: منبع تغذیه، سیم رابط، سیم‌های از جنس تنگستن، نیکروم (با ابعادهای مختلف دیگر)، آمپرسنج، ولتسنج، کلید.

۱- در مدار مطابق شکل ۳-۳ بین دو نقطه‌ی  $A$  و  $B$  قطعه‌ای با طول معین (مثلاً ۱/۵ متر) از سیم تنگستن یا نیکروم را قرار دهید. پس از بستن کلید، اختلاف پتانسیل دو سر سیم و شدت جریانی را که از مدار می‌گذرد، اندازه بگیرید و با استفاده از قانون اهم ( $\frac{V}{I} = R$ )، مقاومت قطعه سیم را به دست آورید.

در آزمایشی دیگر، از همان سیم تنگستن قطعه‌ای به طول  $\frac{1}{2}$  یا  $\frac{1}{3}$  طول قبلی را بین دو نقطه‌ی  $A$  و  $B$  قرار دهید و با اندازه‌گیری  $V$  و  $I$  مقاومت قطعه‌ی اخیر را به دست آورید، نتیجه را در جدول ثبت کنید.



۲- آزمایشی را با دو قطعه سیم هم طول و با سطح مقطع یکسان یکی از جنس تنگستن و دیگری از جنس نیکروم تکرار کنید و نتیجه را در جدول بنویسید.  
- این بار با انجام دادن دو آزمایش با سیم‌های هم طول از یک جنس ولی با سطح مقطع‌های متفاوت، به همان ترتیب، مقاومت هر یک از سیم‌ها را به دست آورید و ارقام را در جدول ثبت کنید.

نمادهای آزمایش	جنس سیم	طول سیم $l$	سطح مقطع سیم $A$	$I$	$V$	$\frac{V}{I} = R$

نتیجه‌های به دست آمده را با یک دیگر مقایسه کنید و به تلاش گزارش دهید.

۱۰۳

## فعالیت ۵



به نظر شما مقاومت یک رسانای فلزی در دمای ثابت به چه کمیت‌هایی بستگی دارد؟ آیا با طول، سطح مقطع، جنس، رنگ، و ... بستگی دارد؟ آزمایشی طراحی کنید که توسط آن بتوان ارتباط مقاومت فلزی یا متغیرهایی که حدس زده‌اید را بررسی کرد.

### آزمایش ۱-۳

نتیجه‌ی بند (۱): مقاومت رسانای فلزی با طول سیم رابطه‌ی مستقیم دارد ( $R \propto l$ ).

نتیجه‌ی بند (۲):

- مقاومت رسانای فلزی به جنس رسانا بستگی دارد.

- مقاومت رسانای فلزی با مساحت سطح مقطع نسبت

عکس دارد ( $R \propto \frac{1}{A}$ ).

توجه: بهتر است در هر بند به جای استفاده از دو مورد (مثلاً دو مورد تغییر طول)، تعداد بیشتری استفاده شود و برای هر بند جدولی مجزا رسم شود.

پس از انجام آزمایش ۱-۳ یا آزمایش طراحی شده، رابطه‌ی  $R = \rho \frac{l}{A}$  را بیان و مقاومت ویژه‌ی رسانا را معرفی می‌کنیم و توجه دانش‌آموزان را به مقادیرهای  $\rho$  برای فلزات مختلف در جدول ۲-۳ کتاب جلب می‌کنیم.

### تمرین ۱-۳

### فعالیت ۲-۳

مقاومت سیم رسانای موردنظر را توسط یک اهم‌تر، اندازه‌گیری می‌کنیم و سپس با استفاده از متروکولیس یا زیرسنج، طول سیم و هم‌چنین قطر آن را به‌دست می‌آوریم. با قرار دادن مقادیر اندازه‌گیری شده در رابطه‌ی  $R = \rho \frac{l}{A}$ ،  $\rho$  به دست می‌آید.

هر چه ابزار و نحوه‌ی اندازه‌گیری دقیق‌تر، تغییر دما کمتر باشد، دقت اندازه‌گیری بیشتر خواهد بود.

$$R = \rho \frac{l}{A}, A = \pi r^2, l_A = 2l_B, 2r_A = 2(2r_B), \rho_A = \rho_B$$

$$R_A = \rho_A \frac{l_A}{A_A} = \rho_A \frac{l_A}{\pi r_A^2}$$

$$R_B = \rho_B \frac{l_B}{A_B} = \rho_B \frac{l_B}{\pi r_B^2}$$

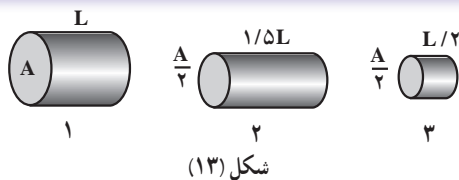
$$\frac{R_A}{R_B} = \frac{\rho_A \frac{l_A}{\pi r_A^2}}{\rho_B \frac{l_B}{\pi r_B^2}} = \frac{l_A}{l_B} \times \left(\frac{r_B}{r_A}\right)^2 = 2 \times \left(\frac{1}{2}\right)^2 = \frac{1}{2}$$

### فعالیت ۶



مقاومت در برابر حرکت الکترون‌ها در یک سیم رسانای فلزی  $R = \rho \frac{l}{A}$  را با مقاومت یک لوله‌ی آب در مقابل حرکت آب مقایسه کنید.

**پاسخ:** یک لوله‌ی باریک در برابر عبور آب مقاومتی بیش از یک لوله‌ی پهن نشان می‌دهد ( $R \propto \frac{1}{A}$ ). هم‌چنین مقاومت لوله‌ی دراز در برابر آب بیشتر از مقاومت لوله‌ی کوتاه است ( $R \propto l$ ). چنانچه لوله را با پنبه یا ماسه نیم مسدود کنند (نظیر این که مقاومت ویژه را زیاد کنند) مقاومت آن در مقابل روان‌شدن آب زیادتر می‌شود. ( $R \propto \rho$ ) آهنگ روان شدن آب مانند جریان الکتریکی و اختلاف فشار بین دو سر لوله مشابه اختلاف پتانسیل دو سر سیم است.



شکل (۱۳)

**مثال:** شکل (۱۳) سه رسانای مسی استوانه‌ای با سطح مقطع و طول‌های متفاوت را نشان می‌دهد. اگر دو سر هر یک از آن‌ها را به اختلاف پتانسیل یکسان  $V$  وصل کنیم، آن‌ها را به ترتیب بزرگی جریانی که از آن‌ها می‌گذرد، بنویسید.

**پاسخ:**

$$R_3 = \rho_3 \frac{l_3}{A_3} = \rho_3 \frac{1}{A}$$

$$R_1 = \rho \frac{l}{A}$$

$$R_1 = R_3 \text{ و } R_2 = 3R_1$$

$$R_2 = \rho_2 \frac{l_2}{A_2} = 3\rho_2 \frac{1}{A}$$

با توجه به رابطه‌ی  $I = \frac{\Delta V}{R}$  داریم؛

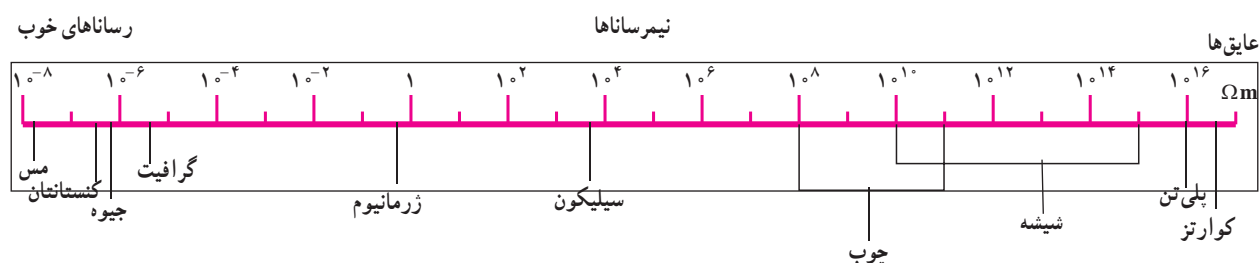
$$I_1 \text{ و } I_3 = 3I_2$$

## محاسبه‌ی مقاومت یک سیم رسانا

در این دانشتنی؛ تناسب جریان الکتریکی با میدان الکتریکی در یک رسانا مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد و از رابطه‌ی بین جریان و اختلاف پتانسیل رابطه‌ی  $R = \rho \frac{l}{A}$  استخراج می‌شود.

مثال: شکل (۱۴) طیف مقاومت ویژه‌ی برخی از مواد تقریباً چند برابر مقاومت ویژه مس می‌باشد؟ (ب) مقاومت ویژه مهم را در دمای اتاق نشان می‌دهد. الف) مقاومت ویژه پلی‌تن ژرمانیوم چند برابر مقاومت ویژه شیشه می‌باشد؟

مقاومت ویژه  $\rho$  (بر حسب اهم‌متر)



شکل (۱۴)

$$\frac{\rho_{\text{ژرمانیوم}}}{\rho_{\text{شیشه}}} = \frac{1 \Omega}{10^{14} \Omega} = 10^{-14}$$

یعنی این نسبت بین  $10^{-14}$  تا  $10^{-10}$  متغیر است.

کدگذاری مقاومت‌ها: از مقاومت الکتریکی در مدارهای مختلف الکتریکی یا الکترونیکی به‌طور گسترده استفاده می‌شود. برای سهولت شناسایی مقاومت الکتریکی و کاربرد آن‌ها در صنایع الکترونیکی از کدهای رنگی ویژه‌ای استفاده می‌شود. کدهای رنگی اندازه‌ی یک مقاومت الکتریکی را مشخص می‌کنند. این کدها به‌صورت نوارهای رنگی بر روی مقاومت‌ها، طراحی می‌شوند.

پاسخ:

$$\frac{\rho_{\text{پلی‌تن}}}{\rho_{\text{مس}}} = \frac{10^{16} \Omega m}{10^{-8} \Omega m} = 10^{24} \quad \text{الف)}$$

ب) مقاومت ویژه شیشه از  $10^{10} \Omega m$  تا  $10^{14} \Omega m$  می‌باشد. بنابراین می‌توانیم محدوده‌ی پاسخ را پیدا کنیم؛

$$\frac{\rho_{\text{ژرمانیوم}}}{\rho_{\text{شیشه}}} = \frac{1 \Omega m}{10^{10} \Omega m} = 10^{-10}$$



به جدول زیر توجه کنید، (حفظ کردن ارقام این جدول ضرورت ندارد).

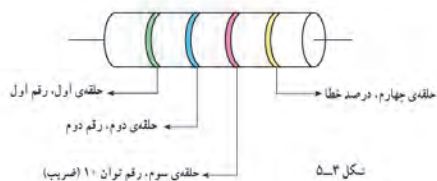
جدول ۱-۳

رنگ حلقه	حلقه اول رقم اول	حلقه دوم رقم دوم	حلقه سوم عدد n در ۱۰ <sup>n</sup>
سیاه	۱	۱	۱
قهوه‌ای	۲	۲	۲
قرمز	۳	۳	۳
نارنجی	۴	۴	۴
زرد	۵	۵	۵
سبز	۶	۶	۶
آبی	۷	۷	۷
بنفش	۸	۸	۸
خاکستری	۹	۹	۹
سفید			



شکل ۳-۴

در روی مقاومت کرنی چهار حلقه رنگی مشاهده می‌شود (شکل ۳-۵). حلقه‌ی طلایی یا نقره‌ای را سمت راست قرار می‌دهیم و حلقه‌ها را از سمت چپ به ترتیب رقم اول و رقم دوم و سوم نام‌گذاری می‌کنیم. هر رنگ معرف عددی است؛ این اعداد در جدول ۱-۳ آورده شده‌اند. حلقه‌ی اول از سمت چپ رقم اول و حلقه‌ی دوم، رقم دوم مقاومت را نشان می‌دهد. رقم سوم ضریب مقاومت به صورت  $10^n$  است که n در ستون چهارم جدول ۱-۳ داده شده است. حلقه‌ی چهارم درصد خطا را در تعیین مقاومت مشخص می‌کند. به عنوان مثال فرض کنید حلقه‌ی اول قرمز و حلقه‌ی دوم بنفش و حلقه‌ی سوم سیاه است. قرمز معرف عدد ۲ و بنفش معرف عدد ۷ است. تا این‌جا مشخص می‌شود که دو رقم اول مقدار مقاومت مورد نظر ۲۷ است. چون حلقه‌ی سوم سیاه است،  $n=0$  و اندازه‌ی مقاومت ۲۷Ω است.



شکل ۳-۵

۱۰۵

### مثال ۱-۳

اندازه‌ی مقاومت زیر چند اهم است؟  
حل: با توجه به جدول ۱-۳، رنگ بیژر عدد ۵ و رنگ آبی عدد ۴ را نشان می‌دهد و چون قرمز معرف ۲ است:

رقم سوم = ۰

$R = 54 \times 10^0 \Omega$

۵۴ اهم

۵۴ اهم

۵۴ اهم

۵۴ اهم

۵۴ اهم

۵۴ اهم

۵۴ اهم

۵۴ اهم

۵۴ اهم

۵۴ اهم

۵۴ اهم

۵۴ اهم

۵۴ اهم

۵۴ اهم

۵۴ اهم

۵۴ اهم

۵۴ اهم

۵۴ اهم

۵۴ اهم

۵۴ اهم

۵۴ اهم

۵۴ اهم

۵۴ اهم

۵۴ اهم

۵۴ اهم

۵۴ اهم

۵۴ اهم

۵۴ اهم

۵۴ اهم

۵۴ اهم

۵۴ اهم

۵۴ اهم

۵۴ اهم

۵۴ اهم

۵۴ اهم

۵۴ اهم

۵۴ اهم

۵۴ اهم

۵۴ اهم

۵۴ اهم

۵۴ اهم

۵۴ اهم

۵۴ اهم

۵۴ اهم

۵۴ اهم

۵۴ اهم

۵۴ اهم

۵۴ اهم

۵۴ اهم

۵۴ اهم

۵۴ اهم

۵۴ اهم

۵۴ اهم

۵۴ اهم

۵۴ اهم

۵۴ اهم

۵۴ اهم

## فعالیت ۷



شکل (۱۵)

فرض کنید هر رنگ نشان‌دهنده‌ی یک عدد خاص باشد. با استفاده از رنگ‌های سیاه، قهوه‌ای، قرمز، نارنجی، زرد، سبز، آبی، بنفش، خاکستری و سفید و هم‌چنین استفاده از تنها ۳ حلقه‌ی رنگی بر روی هر مقاومت قانونی را وضع کنید که بتوان مقاومت را از روی حلقه‌های رنگی خواند.

بعد از انجام فعالیت ۷، مقاومت‌های ۴ حلقه‌ای را معرفی و استاندارد انجمن صنایع الکترونیکی ( $ab \times 10^n$ ) را برای این نوع مقاومت‌ها معرفی می‌کنیم و نظر آن‌ها را به جدول ۱-۳ جلب می‌کنیم و سپس چند تمرین به دانش‌آموزان می‌دهیم تا مهارت آن‌ها در محاسبه‌ی این مقاومت‌ها افزایش یابد. و سپس از آن‌ها می‌خواهیم آزمایش ۲-۳ را انجام دهند.

امتیاز این نوع کدگذاری آن است که اولاً می‌توان آن را از هر طرف خواند، ثانیاً اگر ابعاد مقاومت کوچک نیز باشند رنگ‌ها با چشم غیر مسلح قابل تشخیص‌اند. هدف از انجام فعالیت بالا این است که دانش‌آموزان با مشکلاتی که در وضع تعیین استانداردها وجود دارد آشنا شوند و ضمناً متوجه شوند که می‌توان به جز عدد از کدهای دیگر نیز استفاده‌ی عددی کرد.



تحقیق کنید که چرا به این مقاومت‌ها، مقاومت‌های کربنی می‌گویند و چرا در رادیو، تلویزیون و ... بیشتر از این مقاومت‌ها استفاده می‌شود.

توجه: نوار چهارم درصد خطای مقاومت را مشخص می‌کند. چون مقاومت‌ها به وسیله‌ی کارخانه‌های مختلف تولید می‌شوند، تغییرات مواد مصرفی برای تولید آن‌ها می‌تواند سبب تغییراتی در اندازه‌ی مقاومت آن‌ها می‌شود. وقتی این مقاومت‌ها را در مدارهای مختلف الکتریکی و الکترونیکی به کار بریم مقاومت مدار می‌تواند اندکی بیشتر یا کمتر از آنچه مورد لزوم است باشد. بنابراین باید درصد خطای آن‌ها با کدهای معین مشخص شده باشد. مقاومتی که با دقت خوبی محاسبه شده باشد دارای ۵ نوار رنگی است. سه نوار اول نشان‌دهنده‌ی اولین سه شاخص مقاومت، نوار چهارم تعداد صفرها و نوار پنجم درصد خطا را نشان می‌دهد (درصد خطا  $\pm 10^n \times abc$ ). چند مثال برای مقاومت‌های چهار حلقه‌ای؛

جدول (۲)

نوار اول	نوار دوم	نوار سوم	نوار چهارم	اندازه‌ی مقاومت		محدودی مقاومت ( $\Omega$ )
				$\Omega$	درصد خطا	
نارنجی	نارنجی	قهوه‌ای	بدون رنگ	۳۳۰	۲۰	۲۶۴ – ۳۹۶
خاکستری	قرمز	طلایی	نقره‌ای	۸/۲	۱۰	۷/۴ – ۴/۹
زرد	بنفش	سبز	طلایی	۴/۷M	۵	۴/۴۶۵M – ۴/۹۳۵M

توجه: در عمل یک مقاومت را می‌توان با ولتاژهای مختلف به کار برد. توان مصرفی در چنین مقاومتی از  $P = IV = \frac{V^2}{R}$  به دست می‌آید. وقتی مقاومت به ولتاژ بالایی وصل شود، بسیار بیشتر از وقتی که به ولتاژ کم وصل باشد، گرم می‌شود. اگر توان مصرفی بیش از حد باشد، دمایش چنان بالا می‌رود که به خود و اجزای مجاور خود صدمه خواهد زد. بنابراین مقاومت را می‌توان گذشته از مقاومت الکتریکی به وسیله‌ی بیشینه‌ی توان مصرفی مجاز نیز طبقه‌بندی کرد. این بیشینه‌ی توان مصرفی می‌تواند از  $\frac{1}{4}$  وات در وسیله‌های الکتریکی تا ۱۰۰ وات یا بیشتر در صنایع تغذیه، تغییر کند.

## دانستنی



### مقاومت الکتریکی و روش‌های ساخت و تعیین مقدار مقاومت

در این دانستنی؛ دلایل استفاده از مقاومت، مقاومت ایده‌آل و غیرایده‌آل، انواع مقاومت‌های ثابت و متغیر و انواع مقاومت از نظر ساختار (مقاومت‌های مخلوط کربن، مقاومت‌های لایه‌ای، مقاومت‌های سیمی و ...)، بررسی شده است.

استفاده از مقاومت متغیر برای کنترل جریان: مقاومت‌ها برای هدف‌های متفاوت چون محدود کردن جریان در مدار، ایجاد اختلاف پتانسیل‌هایی که بتوان به عنوان سیگنال به کار برد، یا برای فراهم کردن ایمنی به کار می‌روند. به همین منظور

در آزمایشگاه‌ها از مقاومت‌های متغیر استفاده می‌کنند و معمولاً آن‌ها را ابتدا در حالت بیشترین مقاومت تنظیم می‌کنند و سپس آن را به تدریج تغییر می‌دهند تا به جریان دلخواه برسند.

**آزمایش ۳-۳**  
وسایلهای آزمایش: اهم‌متر، تعدادی مقاومت مختلف.  
به کمک اعضای گروه خود ابتدا با استفاده از جدول و سپس با به کارگیری اهم‌متر مقاومت ده نمونه از مقاومت‌هایی را که در آزمایشگاه در اختیار شماست، به دست آورید و نتیجه را در جدول قرار دهید.

ردیف	R با استفاده از اهم‌سنج	R از روی رنگ‌ها	$\Delta R$

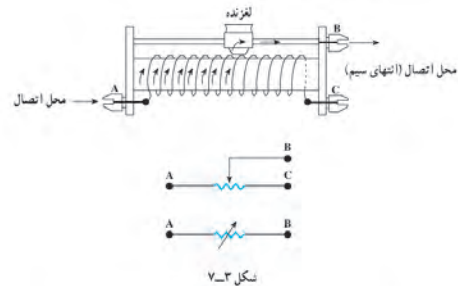
مقاومت‌های کربنی معمولاً با توان کم - بین ۱ تا ۲ وات - کار می‌کنند. اندازه‌های استاندارد آن‌ها نیز عمدتاً به صورت زیر است.

$$R = (1/2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 12, 15, 18, 22, 27, 33, 39, 47, 56, 68, 82, 100) \times 10^n$$

$$n = 1, 2, 3, 4, 5, 6$$

استفاده از مقاومت متغیر برای کنترل جریان: معمولاً در آزمایشگاه برای تنظیم و کنترل جریان از یک مقاومت متغیر استفاده می‌کنند. این وسیله و نوسان نام دارد. در شکل ۳-۱ یک نوسان را مشاهده می‌کنید. همان‌طور که می‌بینید این وسیله از یک سیم دراز با مقاومت ویژه نسبتاً زیاد (تنگستن) تشکیل می‌شود. این سیم روی استوانه‌ای نارسانا پیچیده شده است. با استفاده از یک دکمه‌ی لغزنده که روی ریلی در بالای استوانه قرار دارد و انتهای آن با سیم در تماس است، می‌توان قسمت‌های دلخواه از سیم را در مسیر جریان قرار داده و مقاومت را به دلخواه تغییر داد. به این ترتیب، می‌توان جریان را در مدار کنترل کرد. نوسان به صورت‌های دیگری از جمله به شکل دایره‌ای ساخته می‌شود. در این صورت، لغزنده به صورت غریبه‌ای در مرکز دایره قرار می‌گیرد. برای استفاده

۱۰۲



شکل ۳-۷

از نوسان ابتدا آن را با بیش‌ترین مقدار مقاومت در مدار قرار می‌دهند. سپس با لغزنده، مقاومت مناسب را برای جریان مورد نظر تنظیم می‌کنند.

از جعبه‌ی مقاومت نیز می‌توان به عنوان مقاومت متغیر استفاده کرد. ساختمان این جعبه به گونه‌ای است که با برداشتن فیثس مربوط به هر یک از مقاومت‌ها، آن مقاومت در مسیر جریان برق قرار می‌گیرد.



شکل ۳-۸



شکل ۳-۹

۱۰۸

**پرسش:** چرا مقاومت متغیر در مدار را ابتدا در بیشترین حالت قرار می‌دهند و سپس آن را مقدار مناسب می‌رسانند؟

مدار می‌گذرد. با تنظیم مقاومت می‌توان به جریان مناسب دست یافت.

**پاسخ:** معمولاً عبور جریان زیاد از یک قطعه‌ی الکتریکی سبب سوختن آن می‌شود. وقتی مقاومت زیاد باشد، جریان کم از

## فعالیت ۹



با توجه به عامل‌های مؤثر بر مقاومت یک رسانا، مقاومتی را طراحی کنید که اندازه‌ی آن را بتوان تغییر داد تا با استفاده از آن بتوان جریان را در یک مدار تنظیم کرد.

بعد از انجام فعالیت بالا و ارائه آن به کلاس، مقاومت متغیر (رئوستا) در اختیار دانش‌آموزان قرار می‌دهیم تا ساز و کار

## دانش‌تنی



### خطر جریان الکتریکی

در این دانش‌تنی؛ در مورد مقاومت بدن، جریان‌های مجازی که می‌توانند از بدن بگذرند و سبب آسیب رساندن به بدن نمی‌شوند و هم‌چنین کمک‌های اولیه به کسانی که دچار برق گرفتگی می‌شوند، بررسی می‌شود.

توجه: بیشتر کمیت‌های فیزیکی با تغییر دما، تغییر می‌کنند. مقاومت ویژه نیز با تغییر دما، تغییر می‌کند. شکل زیر تغییر مقاومت ویژه‌ی مس، در یک گستره‌ی وسیع دمایی نشان می‌دهد. رابطه‌ی بین دما و مقاومت ویژه‌ی مس در یک گستره‌ی نسبتاً وسیع خطی، است. در حالت کلی رابطه‌ی بین مقاومت ویژه‌ی فلزات برحسب دما، خطی است. برای چنین رابطه‌های خطی، به صورت یک تقریب تجربی، می‌توان نوشت:

$$\rho = \rho_0 + \alpha(T - T_0) \quad (1)$$

در این رابطه،  $T_0$  دمای مرجع مثلاً دمای اتاق ( $20^\circ\text{C} = 293\text{K}$ )، انتخاب شده است و  $\rho_0$  مقاومت ویژه در آن دماست ( $\rho_0 = 1/69 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ ).

در رابطه‌ی (۱)، دما به صورت اختلاف ظاهر شده است، و می‌توان از مقیاس سلسیوس یا کلوین استفاده کرد. کمیت  $\alpha$  در رابطه‌ی (۱) طوری انتخاب می‌شود که برای گستره‌ی دماهای انتخاب شده، بهترین سازگاری را با تجربه داشته باشد. در

### ۳-۲ اثر دما بر مقاومت رساناهای فلزی

تجربه نشان می‌دهد که مقاومت ویژه‌ی رساناها به دمای آن‌ها بستگی دارد. در رساناهای فلزی افزایش دما سبب افزایش مقاومت ویژه و در نتیجه، افزایش مقاومت رسانا می‌شود. اگر افزایش دما زیاد نباشد، رابطه‌ی مقاومت ویژه با افزایش دما به صورت زیر است:

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha \Delta T) \quad (5-3)$$

$\rho_0$  مقاومت ویژه در دمای  $\theta_0$  و  $\rho$  مقاومت ویژه در دمای  $\theta$  است.  $\alpha$  ضریب دمایی مقاومت ویژه برحسب  $K^{-1}$  (بر کلوین) است.

با استفاده از رابطه‌های ۳-۲ و ۵-۳، رابطه‌ی زیر برای مقاومت رسانا بدست می‌آید:

$$R_\theta = R_{\theta_0} (1 + \alpha \Delta T) \quad (6-3)$$

جدول ۳-۳ ضریب دمایی و مقاومت ویژه را در دمای  $20^\circ\text{C}$  برای چند فلز نشان می‌دهد.

جدول ۳-۳

رسانا	مقاومت ویژه $\Omega \cdot \text{m}$	ضریب دمایی $K^{-1}$
نقره	$1/59 \times 10^{-8}$	$1/59 \times 10^{-4}$
مس	$1/68 \times 10^{-8}$	$1/68 \times 10^{-4}$
آلومینیم	$2/65 \times 10^{-8}$	$1/65 \times 10^{-4}$
نیکل	$5/7 \times 10^{-8}$	$1/7 \times 10^{-4}$
آهن	$9/7 \times 10^{-8}$	$1/7 \times 10^{-4}$
آلیاژ کرم-نیکل	$1/2 \times 10^{-8}$	$1/2 \times 10^{-4}$

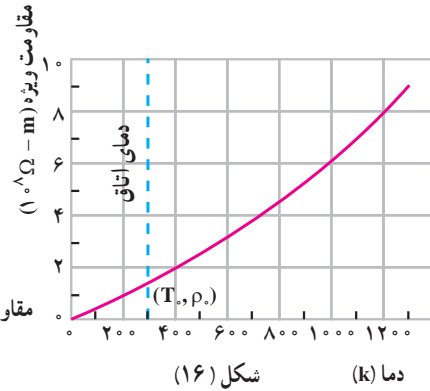
### مقال ۳-۳

مقاومت سیم مسی به طول  $6/28 \text{ m}$  و به قطر  $1/4$  میلی‌متر را با استفاده از جدول ۳-۳ در دمای  $20^\circ\text{C}$  محاسبه کنید.

حل: مساحت مقطع سیم از رابطه‌ی  $A = \pi r^2$  به دست می‌آید؛ بنابر رابطه‌ی ۳-۲ می‌توان نوشت:

$$R = \rho \frac{l}{A} = \frac{\rho l}{\pi r^2}$$

جدول زیر مقدار  $\alpha$  برای برخی فلزها آمده است لازم به ذکر است که برخی از عناصر مانند کربن استثنا هستند زیرا مقاومت آن‌ها با افزایش دما کم می‌شود. علت آن آزاد شدن الکترون‌های اضافی با افزایش دماست.



مقاومت ویژه‌ی مس برحسب تابعی از دما

جدول ۳

ماده	مقاومت ویژه $\rho$ (Ω.m) در دمای $20^\circ\text{C}$	ضریب دمایی مقاومت ویژه، $\alpha$ ( $\text{K}^{-1}$ )
نقره	$1.62 \times 10^{-8}$	$4.1 \times 10^{-3}$
مس	$1.69 \times 10^{-8}$	$4.3 \times 10^{-3}$
طلا	$2.35 \times 10^{-8}$	$4.0 \times 10^{-3}$
آلومینیم	$2.75 \times 10^{-8}$	$4.4 \times 10^{-3}$
منگانه <sup>۱</sup>	$4.82 \times 10^{-8}$	$0.002 \times 10^{-3}$
تنگستن	$5.25 \times 10^{-8}$	$4.5 \times 10^{-3}$
آهن	$9.68 \times 10^{-8}$	$6.5 \times 10^{-3}$
پلاتین	$1.06 \times 10^{-7}$	$3.9 \times 10^{-3}$
سیلیسیم خالص	$2.5 \times 10^{-3}$	$-7.0 \times 10^{-3}$
سیلیسیم نوع n	$8.7 \times 10^{-4}$	
سیلیسیم نوع P	$2.8 \times 10^{-3}$	
شیشه	$10^{10} - 10^{14}$	
کوارتز ذوب شده	$10^{16}$	

۱- آلیاژی است که به ویژه جهت داشتن مقدار کم  $\alpha$  ساخته می‌شود.

۲- سیلیسیم خالص آلائیده با ناخالصی‌های فسفری با چگالی حامل‌های بار برابر با  $10^{23} \text{m}^{-3}$

۳- سیلیسیم خالص آلائیده با ناخالصی‌های آلومینیومی با چگالی حامل‌های بار برابر با  $10^{23} \text{m}^{-3}$

### ۳-۴ اثر دما بر مقاومت رساناهای فلزی

#### فعالیت ۱۰



در گروه خود در مورد مقاومت در یک رسانای فلزی بحث کنید و نتیجه‌ی بحث خود را به کلاس ارائه کنید.

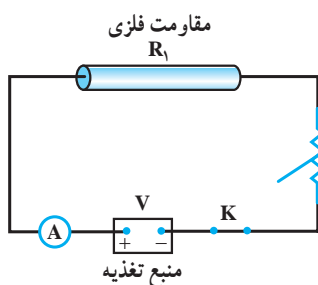
[در پاسخ به الکترون‌های آزاد، برخورد این الکترون‌ها با شبکه‌ی بلوری یا اتم‌ها و... اشاره شود.]

#### فعالیت ۱۱



به نظر شما در اثر افزایش دمای فلز، مقاومت آن چگونه تغییر می‌کند؟  
سبب افزایش ارتعاش و جهندگی اتم‌های شبکه شده و تعداد برخوردهای الکترون‌های آزاد با آن‌ها زیاد می‌شود (آهنگ برخورد الکترون‌های آزاد و اتم‌های شبکه زیاد می‌شود) و در نتیجه مقاومت زیاد می‌شود.

#### فعالیت ۱۲



شکل (۱۷)

مداری همانند شکل (۱۷) ببندید و جریان را توسط آمپرسنج در مدار اندازه‌گیری کنید و سپس یک شمع روشن را زیر مقاومت فلزی قرار داده و به تغییر جریان توجه کنید. از این آزمایش چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

پاسخ:

جریان در حالت اول:

$$I_1 = \frac{V}{R + R_1}$$

جریان در حالت دوم:

$$I_2 = \frac{V}{R + R_2}$$

آزمایش نشان می‌دهد جریان  $I_2 < I_1$  است. با توجه به این که  $R$  و  $V$  در هر دو آزمایش ثابت هستند، پس مقاومت  $R_2$  در آزمایش حالت ۲ زیاد شده است یعنی در اثر افزایش دمای رسانا، مقاومت آن زیاد شده است.



## فعالیت ۱۳



تجربه نشان می‌دهد افزایش دما سبب افزایش مقاومت رساناهای فلزی می‌شود. با تغییر اندک دما مقاومت ویژه فلز افزایش می‌یابد با توجه به تعریفی که برای ضریب انبساط طولی بر حسب تغییر طول و تغییر دما در سال دوم خوانده‌اید، تعریفی برای ضریب دمایی مقاومت بر حسب مقاومت ویژه و تغییر دما بیان کنید و سپس براساس رابطه‌ی به‌دست آمده یکای آن را به‌دست آورید.

مثال: سیمی که معمولاً برای تأسیسات برقی در خانه‌ها به کار می‌رود، سیم سی نمره‌ی  $10^\circ$  به شعاع  $1.29\text{ cm}$  است. الف) مقاومت قطعه‌ای از این سیم به طول  $3\text{ m}$  چه مقدار است؟ ب) اختلاف پتانسیل دو سر این سیم چه مقدار است، اگر حامل جریان  $10\text{ A}$  باشد؟

پ) فرض کنید به علت عبور جریان زیاد، دمای سیم از  $20^\circ\text{C}$  به  $50^\circ\text{C}$  افزایش پیدا کند، مقاومت آن چه مقدار زیاد می‌شود؟ پاسخ: الف)  $98\Omega$  ب)  $987\Omega$  پ)  $11\Omega$

پس از انجام فعالیت ۱۳، نظر دانش‌آموزان را به جدول ۲-۳ کتاب جلب می‌کنیم و پرسش‌هایی را از دانش‌آموزان می‌پرسیم پرسش‌هایی مانند:

– کدام رسانا در افزایش دمای یکسان، مقاومتش بیشتر افزایش می‌یابد؟

– اگر بخواهید قانون اهم را تحقیق کنید، کدام رسانا را انتخاب می‌کنید (فرض کنید ابزار ثابت نگه داشتن دما در اختیار ندارید).

## فعالیت ۱۴

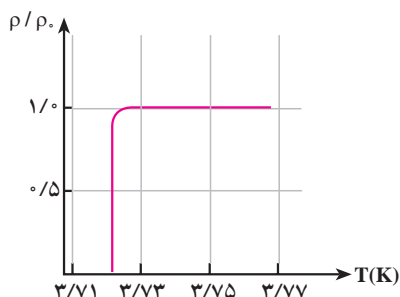


چگونه می‌توان با استفاده از تغییر مقاومت در اثر تغییر دما، یک دماسنج الکتریکی ساخت؟

پاسخ: از تغییر مقاومت الکتریکی با دما در دماسنج الکتریکی (مقاومتی) بهره می‌گیرند. در شکل (۱۸) چنین دماسنجی را مشاهده می‌کنید که از پیچه‌ای از سیم نازک پلاتین درست شده است. می‌توان این دماسنج را مانند دماسنج جیوه‌ای مدرج کرد. یعنی ابتدا آن را به داخل مخلوط آب و یخ ( $0^\circ\text{C}$ ) فرو می‌بریم و سپس آن را در مجاورت بخار آب در حال جوش ( $100^\circ\text{C}$ ) قرار می‌دهیم. اندازه‌گیری مقاومت این دو دما بر ما معلوم می‌کنند که چند اهم با  $100^\circ\text{C}$  و  $0^\circ\text{C}$  متناظر است و با برون‌یابی مقدارهای مختلف با مقدارهای دما به‌دست می‌آید.



پیچه‌ای از سیم پلاتین نازک در دماسنج مقاومتی به‌عنوان حسگر عمل می‌کند. شکل (۱۸)



مقاومت ویژه قلع برحسب دما در کمتر از ۳/۷۲K، مقاومت ویژه صفر است. برای رسم این منحنی، مقاومت ویژه به صورت کسری از مقاومت ویژه در ۴/۲K، یعنی دمای مایع شدن هلیوم، بیان شده است.

شکل (۱۹)

مقاومت ویژه‌ی رساناها) کاهش می‌یابد. در دماهای پایین نیمرسانا مثل یک نارساناست. اما وقتی دما بالا می‌رود نیمرسانا، رسانا می‌شود و هر چه دما بالاتر رود، مقاومت ویژه‌ی آن کمتر می‌شود. بنابراین ضریب دمایی مقاومت آن‌ها منفی است.

توجه: در دماهای خیلی پایین، مقاومت ویژه‌ی فلزات از مقاومت ویژه‌ی آن‌ها در دمای اتاق، بسیار کمتر می‌شود، در برخی فلزات همانند سرب، قلع و روی پدیده‌ی ابررسانایی ظاهر می‌شود. یعنی مقاومت آن‌ها در دمای معین (بحرانی) که بالاتر از صفر مطلق است به طور کامل از بین می‌رود.

مثلاً مقاومت ویژه‌ی قلع در دمای ۳/۷۲K ناگهان ناپدید می‌شود یعنی به صفر می‌رسد. یعنی قلع در این دما ویژگی ابررسانایی پیدا می‌کند و مقاومت آن در برابر جریان الکتریکی به صفر می‌رسد. طی یک آزمایش، جریان صدآمپری به یک حلقه‌ی ابررسانا وارد شد. این جریان به مدت یک سال در آن ابررسانا برقرار بود، بدون آن‌که از شدتش کاسته شود. هیچ‌گونه باتری یا مولدی هم برای نگهداری شدت آن به کار برده نشده بود.

توجه: نیمرساناها ویژگی‌های جالب توجهی دارند که آن‌ها را به طور کامل از رساناها متمایز می‌سازد. در نیمرساناها هر چه دما افزایش یابد، مقاومت ویژه‌ی الکتریکی آن‌ها (برخلاف

## فعالیت ۱۵



در ابتدای فصل ۳ تصویر تعدادی از قطعات الکتریکی و الکترونیکی نشان داده شده است. در مورد هر یک از قطعات نشان داده شده، کاربرد آن‌ها، اعداد ثبت شده بر روی آن‌ها و ... تحقیق کرده و به کلاس گزارش کنید. با این تحقیق دانش آموزان با شکل واقعی این قطعات آشنا می‌شوند.

افت پتانسیل در مقاومت: تدریس را با یادآوری وضعیت حرکت بارها در رسانا هنگام اعمال میدان آغاز می‌کنیم.

$$R = \frac{V}{I} = \frac{1.5 \text{ V}}{0.001 \text{ A}} = 1500 \Omega$$

مقاومت سیم

**مثال ۳-۳**

مقاومت سیمی از آلومینیم در دمای ۲۰°C برابر ۱۰۰Ω است. مقاومت این قطعه در دمای ۱۰۰°C چه اندازه است؟

حل: بنا به رابطه ۳-۳ می‌توان نوشت:

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

مقاومت در دمای ۱۰۰°C برابر است با:

$$R_2 = 100(1 + 0.004 \times 80) = 100(1 + 0.32) = 132 \Omega$$

افت پتانسیل در مقاومت: داریم که با اعمال اختلاف پتانسیل در دو سر یک رسانا، در درون آن یک میدان الکتریکی برقرار می‌گردد. این میدان باعث نوارش بار می‌شود. جهت میدان الکتریکی در داخل رسانا از پایانه‌ی مثبت باتری به طرف پایانه‌ی منفی آن است.

در فصل قبل، داریم که پتانسیل در جهت میدان کاهش می‌یابد؛ یعنی، وقتی از پایانه‌ی مثبت باتری به طرف پایانه‌ی منفی آن می‌رویم، پتانسیل الکتریکی کاهش می‌یابد. در این صورت، می‌گوییم که در رسانا افت پتانسیل ایجاد شده است. اگر مقاومت الکتریکی رسانا کوچک باشد، بر طبق قانون اهم این افت پتانسیل ناچیز است؛ مثلاً در بستن مدار از سیم‌های رابط یا مقاومت کم استفاده می‌کنیم تا بتوانیم از افت پتانسیل در آن‌ها صرف‌نظر کنیم ولی هنگامی که یک قطعه با مقاومت قابل توجه در مدار قرار دارد، مانند مقاومت R در شکل ۳-۴، در این هنگامی که یک قطعه با مقاومت قابل توجه در پتانسیل قابل ملاحظه است و مقدار آن طبق رابطه‌ی ۳-۳ برای

می‌شود یا:

$$\Delta V = V_B - V_A = IR \quad (3-3)$$

در این رابطه I جریانی است که از مقاومت R می‌گذرد.

شکل ۳-۴



اگر شکل (۲۰) معرف یک قطعه رسانا باشد که به دو سر آن اختلاف پتانسیل ثابتی اعمال شده است :



شکل (۲۰)

الف) پتانسیل الکتریکی مقطع‌های A و B را با هم مقایسه کنید.

ب) اگر مقاومت الکتریکی بین A و B برابر R باشد، با استفاده از قانون اهم، اختلاف پتانسیل بین دو نقطه‌ی A و B چگونه محاسبه می‌شود؟

پ) با توجه به قسمت‌های الف و ب اختلاف پتانسیل مقطع B نسبت به A را تعیین کنید.

پاسخ :

الف) از فصل قبل می‌دانیم که وقتی در جهت میدان حرکت کنیم به طرف نقطه‌هایی با پتانسیل الکتریکی کمتر

$$V_B < V_A$$

می‌رویم پس :

ب) طبق قانون اهم می‌دانیم  $\frac{V}{I} = cte$  که مقدار ثابت آن همان مقاومت قطعه است.

$$V = IR$$

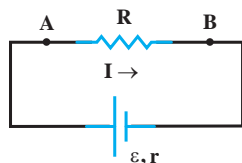
پس :

لازم به یادآوری است که در رابطه‌ی اخیر منظور از V همان اختلاف پتانسیل و یا  $\Delta V$  است.

پ) در قسمت الف گفتیم که پتانسیل نقطه‌ی B از A کمتر است پس قطعاً  $V_B - V_A$  مقداری منفی و با توجه به

قسمت ب برابر با IR است یعنی داریم :

$$\Delta V = V_B - V_A = (-)IR \Rightarrow V_B = V_A - IR \quad (A)$$



شکل (۲۲)

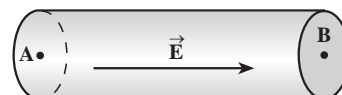
با توضیح‌های مختصر در مورد این که چگونه می‌توان در

یک رسانا مانند شکل بالا میدان الکتریکی تولید کرد و نتیجه‌ی

آن برقراری جریان خواهد بود، توجه دانش‌آموزان را به شکل

۳-۱۰ کتاب جلب می‌کنیم در شکل (۲۱) برای آن که بتوانیم

چنین میدان الکتریکی برقرار کنیم.



شکل (۲۱)

پس می‌توانیم بگوییم که قطعه‌ی نشان داده شده در شکل

(۲۱) همان مقاومت R در شکل (۲۲) است. یعنی در هر مدار

الکتریکی با عبور از قطعه‌های مقاومت دارافت پتانسیل الکتریکی

به وجود می‌آید. حال اگر مقاومت قطعه ناچیز باشد و بتوان آن را

نادیده گرفت طبق رابطه‌ی A پتانسیل دو سر آن یکسان خواهد

شد و می‌توانیم از افت پتانسیل آن صرف‌نظر کنیم.

باید سر قسمت A را پتانسیل مثبت و سر قسمت B را به

پتانسیل منفی وصل کنیم و در این شرایط بارهای مثبت از نقطه‌ی

A به سمت B روان می‌شوند.

مثال : هرگاه مدار شکل (۲۳) و مربوط به یک چراغ قوه باشد و بدانیم مقاومت لامپ آن  $10\Omega$  و جریان عبوری از آن  $3A$  است،  $V_B - V_A$  را حساب کنید.

$$R = 10\Omega$$

پاسخ :



شکل (۲۳)

$$I = 3A \quad V_B - V_A = -IR$$

$$V_B - V_A = ? \quad V_B - V_A = -(3)(10) = -3V$$

### ۳-۵ محاسبه انرژی الکتریکی مصرف شده در یک مقاومت

دانسته‌های قبلی : دانش‌آموزان در دوره‌ی راهنمایی و سال اول دبیرستان با مفهوم تبدیل انرژی در وسایل مختلف آشنا هستند. آن‌ها ژول و کیلووات ساعت را به عنوان یکاهای انرژی می‌شناسند.

توجه : لازم است برای دانش‌آموزان توضیح دهیم که منظور از مصرف انرژی الکتریکی در هر وسیله‌ی برقی، تبدیل

**۳-۵ محاسبه انرژی الکتریکی مصرف شده در یک مقاومت**

در فصل قبل، دیدیم هنگامی که بار مثبت  $q$  در جهت میدان الکتریکی یکنواخت حرکت می‌کند، انرژی پتانسیل آن به اندازه‌ی  $q\Delta V$  کاهش می‌یابد. به همین ترتیب، اگر بار  $q$  از مقاومت  $R$  در شکل ۳-۳ عبور کند، انرژی پتانسیل الکتریکی آن به اندازه‌ی  $q\Delta V = qU$  کاهش می‌یابد. این کاهش انرژی صرف افزایش جنبشی بارها می‌شود. در اثر برخورد آن‌ها با اتم‌ها، این انرژی به اتم‌های رسانا منتقل می‌شود و انرژی درونی رسانا را افزایش می‌دهد. در نتیجه، رسانا در اثر عبور جریان گرم می‌شود. در یک لامپ، بخشی از انرژی پتانسیل الکتریکی به انرژی نورانی و در موتور الکتریکی به انرژی مکانیکی و انرژی درونی تبدیل می‌شود.

اکنون اگر جریان ثابت  $I$  در مدت  $t$  ثانیه در سیمی به مقاومت  $R$  برقرار باشد، بنابراین چقدر گفته شد، انرژی پتانسیل الکتریکی  $U$  که به انرژی درونی رسانا تبدیل می‌شود از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$U = qV \quad (۳-۳)$$

در این رابطه،  $V$  اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت  $R$  و  $I$  انرژی است که با هر گام عبور از سیم از دست می‌دهد. یا جایی که  $q$  و  $V$  داریم:

$$U = (It)(R) = RI^2t \quad (۳-۳)$$

**مثال ۳-۳**

مقاومت سیم گرمکن یک اتوی برقی  $50\Omega$  و جریانی که از آن می‌گذرد  $4$  آمپر است. در مدت  $15$  دقیقه، چند ژول و چند کیلووات ساعت انرژی الکتریکی در آن مصرف می‌شود؟

حل: بنابر رابطه‌ی ۳-۳ می‌توان نوشت:

$$U = RI^2t = 50 \times 4^2 \times 900 = 720000 \text{ ژول}$$

$$U = \frac{720000}{3600} = 200 \text{ کیلووات ساعت}$$


## فعالیت ۱۷

وسیله‌هایی را نام ببرید که در هر یک از آن‌ها انرژی الکتریکی به هر یک از انرژی‌های زیر تبدیل شود :

- (الف) انرژی گرمایی
  - (ب) انرژی جنبشی
  - (پ) انرژی جنبشی و گرمایی
  - (ت) انرژی نورانی
- پاسخ :

(الف) اتو یا اجاق برقی یا سماور برقی

(ب) انواع وسایلی که موتور دارند مثل پنکه و جاروبرقی

(پ) موخشک کن

(ت) لامپ

توجه : در تمام وسیله‌ها تبدیل نهایی انرژی‌ها به انرژی درونی دستگاه و محیط است که منجر به گرم شدن محیط زیست می‌شود. منظور ما از این فعالیت تبدیل اولیه‌ی انرژی در هر وسیله است.

## فعالیت ۱۸



شکل (۲۴)

الف) با توجه به تعریف اختلاف پتانسیل بین دو نقطه که در فصل دوم آمده است، رابطه‌ای برای تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی بارها بنویسید.

ب) در مورد تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی بار مثبتی که در شکل (۲۴) از نقطه‌ی A به B می‌رود بحث کنید.

$$\Delta V = \frac{\Delta U}{q} \Rightarrow \Delta U = q\Delta V$$

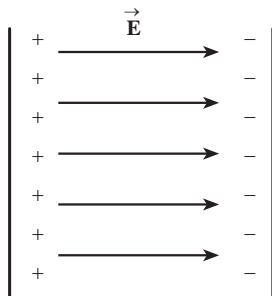
پاسخ:

الف)

ب) چون بار مثبت در جهت میدان جابه‌جا شده است انرژی پتانسیل الکتریکی آن کم شده است.

توضیح می‌دهیم که طبق اصل پایستگی انرژی، کاهش انرژی پتانسیل الکتریکی از A به B با تبدیل انرژی به شکل‌های سیم‌های رابط به باتری وصل اند اشاره می‌کنیم. دیگر همراه است.

## فعالیت ۱۹

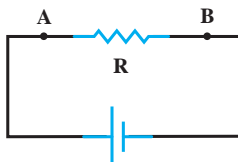


شکل (۲۵)

در دستگاهی مثل شکل (۲۵) اگر بار مثبت را در مجاورت صفحه‌ی مثبت رها کنیم تغییر انرژی پتانسیل و جنبشی آن را براساس قانون پایستگی انرژی توضیح دهید. (از جرم ذره صرف‌نظر کنید)

پاسخ: بار مثبت هم جهت با میدان شروع به حرکت می‌کند و لحظه به لحظه به سرعت آن افزوده می‌شود یعنی انرژی پتانسیل الکتریکی آن به انرژی جنبشی تبدیل می‌شود.

## فعالیت ۲۰



شکل (۲۶)

در شکل ۲۶ می‌دانیم که وقتی جریان برقرار می‌شود بارها ضمن عبور از مقاومت افت انرژی پتانسیل الکتریکی به اندازه‌ی  $\Delta U = q\Delta V$  پیدا می‌کنند. اگر بدانید بین دو نقطه‌ی A و B جریانی به اندازه‌ی I برقرار است.

الف) با استفاده از تعریف جریان مقدار q و با استفاده از قانون اهم  $\Delta V$  را جایگزین کنید و رابطه‌ی جدید  $\Delta U$  را بنویسید:

$$\left. \begin{array}{l} q = It \\ \Delta V = IR \end{array} \right\} \Rightarrow \Delta U = (It)(IR) \Rightarrow \Delta U = I^2 R t$$

پاسخ:

پس برای این آزمایش نیاز به گرما سنج با ظرفیت گرمایی معلوم، دماسنج، زمان سنج، آمپر سنج، اهم سنج، ترازو و مقداری آب داریم.



شکل (۲۷)

از دانش آموزان می خواهیم همراه با گروه های خود مثال ۳-۴ را بررسی کنند. سپس مثال هایی واقعی و کاربردی را مطرح می کنیم:

یادآوری یکای کیلووات ساعت: دانش آموزان در کتاب فیزیک ۱ و آزمایشگاه با این یکا و نحوه ی محاسبه ی برق مصرفی روی قبض برق آشنا شده اند. با طرح چند پرسش می توانیم موضوع را یادآور شویم:

۱- اداره ی برق با صدور قبض، بهای چه چیز را از شهروندان مطالبه می کند؟ (انرژی مصرفی)

۲- یکایی که اداره ی برق انرژی مصرفی مشترکان خود را برحسب آن محاسبه می کند نام ببرید. (کیلووات ساعت)

۳- اگر بدانید هر ژول معادل یک وات ثانیه است، تعیین کنید که هر کیلووات ساعت معادل چند ژول است.

$$1 \text{ kWh} = 10^3 \text{ W} \times 3600 \text{ s} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

معمولاً دانش آموزان با توجه به رابطه ی  $U = RI^2t$  بر این باورند که انرژی مصرفی در وسیله ای با مقاومت الکتریکی بزرگتر بیشتر است مشروط بر آن که زمان و جریان گذرنده یکسان باشد.

اگر اختلاف پتانسیل اعمال شده به مقاومت های  $R_1$  و  $R_2$  یکسان باشد جریانی که از مقاومت  $R_1$  می گذرد کمتر است و چون انرژی مصرفی با توان دوم جریان متناسب است پس مصرف انرژی در مقاومت  $R_2$  بیشتر است.

اما به ازای عبور جریان یکسان از مقاومت های  $R_1$  و  $R_2$  مصرف انرژی الکتریکی در  $R_2$  بیشتر است.

### فعالیت ۳-۳

پاسخ: باید آزمایش به گونه ای طراحی شود که در آن  $U$  انرژی مصرفی قابل اندازه گیری باشد، زیرا می دانیم  $R$  مقاومت الکتریکی با اهم سنج،  $I$  جریان الکتریکی با آمپر سنج و  $t$  زمان عبور جریان با زمان سنج قابل اندازه گیری اند.

اگر انرژی الکتریکی تبدیل به انرژی درونی شود و دمای جسم افزایش یابد می توانیم تغییرات دمای جسم را اندازه گیری و انرژی مصرفی را محاسبه کنیم.

**فعالیت ۳-۳**

آزمایشی طراحی کنید که با آن بتوان درستی رابطه ی  $U = RI^2t$  را تحقیق کرد.

---

**تمرین ۳-۳**

در دو سر یک سیم نیکروم (آلیاژ کرم و نیکل) به طول ۵ متر و سطح مقطع  $\frac{1}{4}$  میلی متر مربع، اختلاف پتانسیل ۲۰۰ ولت را برقرار کرده ایم. در هر نیم ساعت چند کیلوژول انرژی الکتریکی در این سیم به انرژی درونی تبدیل می شود؟ مقاومت ویژه ی نیکروم  $1.1 \times 10^{-8} \Omega \text{m}$  است.

توان الکتریکی مصرف شده در یک مقاومت: در فیزیک ۲ و آزمایشگاه خواندید که توان از رابطه ی زیر بدست می آید و یکای آن ژول بر ثانیه است که وات نامیده می شود.

$$P = \frac{U}{t} \quad (1-3)$$

بنابر رابطه ی ۳-۸ داریم:

$$P = \frac{qV}{t} = VI \quad (11-3)$$

با استفاده از رابطه ی ۳-۳، رابطه ی ۱۱-۳ را می توان به صورت زیر نوشت:

$$P = \frac{V^2}{R} \quad (12-3)$$

$$P = RI^2 \quad (13-3)$$


---

**فعالیت ۴-۳**

با یک اهم متر، مقاومت رشته ی سیم داخل لامپ ۱۰۰ واتی را اندازه گیری کنید.

شکل ۱۱-۳