

(تست‌های ۳۴۸ تا ۳۶۸)

## حالت‌های مختلف ماده

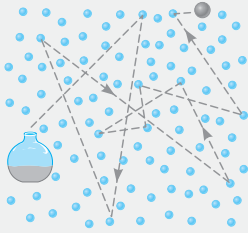
## خلاصه نکات

در این خلاصه نکات، ابتدا به بررسی ویژگی‌های ماده در حالت‌های مختلف می‌پردازیم و سپس ویژگی‌های فیزیکی مواد در مقیاس نانو را تحلیل می‌کنیم:

## بررسی ویژگی حالت‌های مختلف ماده

به‌طور کلی حالت ماده، بستگی به دما و فشار محیط دارد و با تغییر این شرایط، ممکن است عوض شود. مثلاً در دمای صد درجه سلسیوس آب از حالت مایع به گاز تبدیل می‌شود. در ادامه ویژگی‌های حالت‌های مختلف ماده را بررسی می‌کنیم.

**حالت گازی:** در این حالت از ماده، نکات زیر حائز اهمیت است:



- فاصله میانگین مولکول‌ها از هم، نسبت به اندازه مولکول‌ها بسیار بیشتر است و مولکول‌ها می‌توانند آزادانه به اطراف حرکت کنند. این موضوع سبب می‌شود که مولکول‌ها با تندی زیاد به یکدیگر و یا به دیواره‌های ظرف برخورد کنند.
- برای درک بهتر نکته (۱)، بد نیست بدانید اندازه مولکول‌های هوا بین ۱ تا ۳ آنگستروم ( $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$ ) است، در حالی که فاصله میانگین بین آن‌ها در شرایط معمولی  $35 \text{ \AA}$  است.
- در اثر برخوردهای متوالی مولکول‌ها به یکدیگر و به دیواره ظرف، مولکول‌ها مرتباً تغییر جهت می‌دهند و یک حرکت نامنظم یا **کاتوره‌ای** رخ می‌دهد که به **حرکت براونی** معروف است.

گازها در محیط پخش می‌شوند. به‌عنوان مثال اگر در یک شیشه عطر مطابق شکل فوق، در گوشه‌ای از اتاق باز شود، بعد از مدتی در اثر برخورد مولکول‌های هوا و عطر به یکدیگر، بوی عطر در همه اتاق احساس می‌شود، به این پدیده **پخش** می‌گویند.

به دلیل وجود فاصله زیاد بین مولکول‌ها، گازها تراکم‌پذیر هستند، یعنی می‌توان آن‌ها را به مقدار زیاد فشرده کرد و حجم گاز را کاهش داد.

**حالت مایع:** در این حالت از ماده، نکات زیر حائز اهمیت است:

- در مایع‌ها نیز مانند گازها، مولکول‌ها نظم معینی ندارند ولی به دلیل این‌که به هم بسیار نزدیک‌اند، به جای حرکت آزادانه، فقط روی هم می‌لغزند (مانند حالتی که لیوان آب را کج می‌کنیم و آب می‌ریزد).
- مولکول‌ها به آسانی جابه‌جا می‌شوند، ولی تندی حرکت آن‌ها کم‌تر از گازها است. از طرفی پدیده پخش نیز در آن‌ها رخ می‌دهد.
- مولکول‌های مایع در فاصله‌های زیاد (در حد مولکولی) یکدیگر را جذب می‌کنند ولی در فاصله‌های کم، یکدیگر را دفع می‌کنند. به‌همین دلیل است که مایعات تراکم‌ناپذیر محسوب می‌شوند.

**حالت جامد:** در این حالت از ماده، نکات زیر حائز اهمیت است:

- فاصله بین مولکول‌های جامد نسبتاً ثابت است. این فاصله تقریباً مشابه فاصله مولکول‌ها در مایعات و برابر  $1 \text{ \AA}$  است.
- موقعیت مولکول‌ها ثابت است و نمی‌توانند آزادانه حرکت کنند و فقط سر جای خود می‌توانند حرکت‌های نوسانی کوچکی انجام دهند.
- تراکم‌ناپذیرند (قابل فشرده شدن نیستند).

**الف جامدهای بلورین:** اگر در جسم جامد، مولکول‌ها به‌صورت طرح‌های منظمی کنار یکدیگر قرار بگیرند، از تکرار این طرح‌ها **جامدهای بلورین** تشکیل می‌شود. شایان ذکر است که فلزها، نمک‌ها، الماس، یخ و بیشتر مواد معدنی از نوع جامدات بلورین محسوب می‌شوند.

**ب جامدهای بی‌شکل:** در این حالت مولکول‌ها در کنار هم به‌صورت طرح منظمی چیده نشده‌اند. این نوع از جامدات، مانند شیشه، تا حدود زیادی در وضعیت نامنظمی که در حالت مایع داشته‌اند باقی می‌مانند و معمولاً از سرد شدن سریع مایعات به‌دست آمده‌اند.

این مواد چگالی نسبتاً بالایی دارند.

**حالت پلاسما:** در این حالت از ماده، نکات زیر حائز اهمیت است:

- این حالت اغلب در دماهای خیلی بالا به‌وجود می‌آید.
- ماده درون ستارگان، بیشتر فضای بین‌ستاره‌ای، آذرخش، شفق‌های قطبی، آتش و ماده داخل لوله تابان لامپ‌های مهتابی از پلاسما تشکیل شده است.

**جمع‌بندی** در یک مقایسه کلی بین حالت‌های جامد، مایع و گاز می‌توان به جدول زیر اشاره کرد:

حرکت و انرژی	شکل	نیروی جاذبه بین مولکول‌ها	تراکم‌پذیری	
زیاد	فاقد شکل مشخص	ناچیز است.	تراکم‌پذیر است.	گاز
متوسط	به شکل ظرف در می‌آیند.	نیروی اندکی وجود دارد.	با تقریب خوبی تراکم‌ناپذیر است.	مایع
کم	دارای شکل مشخص	نیروی زیاد وجود دارد.	تراکم‌ناپذیر است.	جامد

### ویژگی‌های فیزیکی مواد در مقیاس نانو

آزمایش‌ها نشان می‌دهد که اگر ابعاد یک جسم بسیار بسیار کوچک و در حد نانومتر باشد، در ویژگی‌های فیزیکی آن نسبت به ابعاد عادی تغییرات زیادی به وجود می‌آید. علم نانو، قصد بررسی تغییر در این ویژگی‌های فیزیکی را دارد. در رابطه با این علم، به موارد زیر توجه کنید:

#### نکات مهم و کاربردی

۱ ویژگی‌های فیزیکی مواد از قبیل نقطه ذوب، رسانندگی الکتریکی و گرمایی، شفافیت، استحکام، رنگ و ... اغلب می‌تواند به‌طور چشمگیری در مقیاس نانو تغییر کند.

۲ نکته مهمی که باید توجه داشت این است که ویژگی‌های فیزیکی تمام مواد، شامل جامدها، مایع‌ها و گازها، در مقیاس نانو تغییر می‌کنند و این موضوع محدود به گروه خاصی نمی‌شود.

۳ در تحقیقات اخیر مشخص شده است که در علم نانو، لازم نیست که همه ابعاد یک ماده در مقیاس نانو باشند. برای نمونه، یک نانو ذره در هر سه بُعد کوچک است، اما اگر صرفاً یک بُعد ماده‌ای را در مقیاس نانو محدود کنیم، در این صورت یک نانولایه داریم که لایه‌ای به ضخامت نانو مقیاس است. آزمایش نشان می‌دهد که ویژگی‌های نانولایه‌ها نیز همچون نانوذره‌ها، به‌طور قابل توجهی تغییر می‌کند. برای درک بهتر مفهوم نانو و تغییر ویژگی‌های فیزیکی مواد در این مقیاس، به مثال زیر توجه کنید:

**مثال** نقطه ذوب طلا در حالت عادی، حدود  $1064^{\circ}\text{C}$  است. این یعنی با قرار دادن یک قطعه طلا در کوره‌ای با دمای بالا، وقتی دما به  $1064^{\circ}\text{C}$  می‌رسد طلای جامد تغییر حالت می‌دهد و به شکل توده‌ای از طلای مایع درمی‌آید. اگر این آزمایش را دوباره انجام دهیم، ولی به جای یک قطعه بزرگ طلا که می‌توانیم آن را ببینیم و به راحتی لمس کنیم، قطعه‌ای را که قطر آن تنها چند نانومتر است در کوره بگذاریم و ذوب کنیم (بدیهی است برای انجام این کار به تجهیزات و روش‌های خاص نیاز داریم، اما شدنی است) با شگفتی درمی‌یابیم که دمای ذوب طلا فقط  $427^{\circ}\text{C}$  است و تقریباً ۶۰ درصد نسبت به حالت عادی کم شده است. با این آزمایش در واقع درمی‌یابیم که دمای ذوب ذره‌های طلا در مقیاس نانو، تفاوت زیادی با دمای ذوب طلا در اندازه‌های معمولی دارد. این‌گونه موضوعات، مورد بحث علم نانو است.

**تمرین ۱** آلومینیم یکی از رساناهای بسیار خوب جریان الکتریکی است. سطح آلومینیم، چه به صورت سیم یا قوطی نوشابه یا بال هواپیما، در مجاورت هوا به آلومینیم اکسید تبدیل می‌شود. آلومینیم اکسید، عایق بسیار خوبی است و رسانای الکتریسیته نیست، اما وقتی روی سطح یک سیم آلومینیمی می‌نشیند، مشکل نارسانایی ایجاد نمی‌کند. علت چیست؟ (تألیف)

**پاسخ** برای جواب دادن به این تمرین، باید به ضخامت لایه‌ای توجه کنیم که روی سطح آلومینیم تشکیل می‌شود. بررسی‌های تجربی نشان می‌دهند که وقتی قطعه‌ای آلومینیمی در مجاورت هوا قرار می‌گیرد، لایه‌ای بسیار نازک از آلومینیم اکسید روی سطح آن تشکیل می‌شود که ضخامت آن از مرتبه نانومتر است. در این مقیاس، ویژگی‌های الکتریکی اکسید آلومینیم تغییر می‌کند و به یک رسانا تبدیل می‌شود و مشکل نارسانایی ایجاد نمی‌کند. به عبارت دیگر، آلومینیم اکسید وقتی به صورت نانولایه باشد، به دلیل ابعاد و شکل هندسی‌اش، مانند یک رسانا عمل می‌کند نه عایق!

با توجه به خلاصه نکات فوق، از جمله ویژگی‌های مولکول‌ها در حالت مایع، می‌توان به نامنظم بودن، فشرده بودن و جابه‌جایی آسان آن‌ها نسبت به یکدیگر اشاره کرده و گزینه (۱) صحیح است.

۳۳۴۹ در حالت مایع و گاز، مولکول‌های تشکیل‌دهنده ماده، در جای خود ثابت نیستند و پیوسته حرکت می‌کنند.

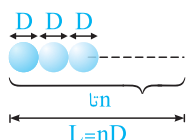
۱۳۵۰ جاری شدن و سرریز شدن مایعات، به دلیل امکان لغزیدن مولکول‌های مایع بر روی یکدیگر است و گزینه (۱) صحیح است.

#### تذکر

ویژگی‌های مطرح‌شده در گزینه‌های (۲)، (۳) و (۴) به ترتیب مربوط به حالت گاز، جامد و جامد می‌باشد.

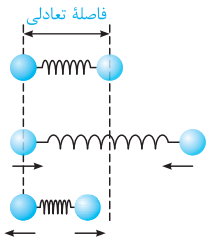
۴۳۵۱ در جامدهای بلورین، اتم‌های سازنده آن‌ها در طرح‌های منظمی کنار هم قرار دارند، ولی ذرات سازنده جامدهای بی‌شکل (آمورف)، در طرح منظمی کنار هم قرار نمی‌گیرند. بنابراین گزینه (۴) نادرست است.

۴۳۵۲ فرض کنید که قطر مولکول  $D$  و  $n$  مولکول از آن را کنار هم قرار داده‌ایم، در این صورت طول حاصل‌شده برابر  $nD$  می‌شود (چرا؟). با توجه به این موضوع می‌توان نوشت:



$$L = nD \Rightarrow 6 \times 10^{-2} = n \times 3 \times 10^{-10} \Rightarrow n = 2 \times 10^8 = 200 \times 10^6 = 200 \text{ میلیون مولکول}$$





۳۳۶۱ مولکول‌ها در فاصله‌های زیاد (در حد مولکولی) هم‌دیگر را جذب و در فاصله خیلی کم هم‌دیگر را دفع می‌کنند. برای درک بهتر این موضوع دو گلوله مقابل را در نظر بگیرید که با یک فنر به هم متصل هستند:

نیرو ربایشی است.  $\Rightarrow$  فاصله بیشتر از فاصله تعادلی باشد.

نیرو رانشی است.  $\Rightarrow$  فاصله کم‌تر از فاصله تعادلی باشد.

۳۳۶۲ مشابه با سؤال قبل، با توجه به این‌که در مایع فاصله بین مولکول‌ها نسبتاً کم است، در صورت فشرده شدن مایعات، بین آن‌ها نیروی دافعه به وجود می‌آید و مایع در برابر متراکم شدن مقاومت می‌کند.

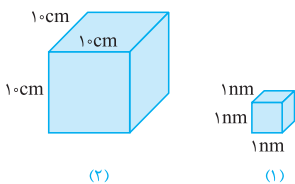
۲۳۶۳ ماده داخل مهتابی در حالت تابان از نوع پلاسما بوده و در گزینه (۲)، حالت ماده درست معرفی نشده است. سایر گزینه‌ها با توجه به مطالب کتاب درسی صحیح است.

۳۳۶۴ حالت پلاسما (مانند آذرخش)، اغلب در دماهای خیلی بالا به وجود می‌آید، بنابراین گزینه (۳) صحیح است.

۲۳۶۵ همان‌طور که در خلاصه نکات (۱)، بیان کردیم، علت اصلی بررسی اجسام در ابعاد نانو، تغییر در ویژگی‌های فیزیکی مواد در این وضعیت، نسبت به ابعاد عادی است.

۱۳۶۶ علم نانو، شاخه‌ای از علوم است که تغییر در ویژگی‌های فیزیکی مواد (جامد، مایع یا گاز) را در ابعاد نانو بررسی می‌کند، از جمله رسانندگی الکتریکی، استحکام، رنگ و ...

دقت شود که برای تغییر در ویژگی‌های یک ماده، لازم نیست تمام ابعاد آن در مقیاس نانو باشد. یعنی اگر صرفاً یک بُعد ماده را در مقیاس نانو محدود کنیم، در این صورت یک نانولایه خواهیم داشت. ویژگی نانولایه‌ها هم مانند نانوذره‌ها، به طور قابل توجهی تغییر می‌کند.



همان‌طور که می‌دانیم، ویژگی‌های ماده در ابعاد نانو با ویژگی‌های آن در ابعاد عادی‌اش متفاوت است.

به طور مثال نقطه ذوب طلا در ابعاد نانو (شکل ۱)، ۶۰ درصد کم‌تر از نقطه ذوب آن در ابعاد عادی‌اش (شکل ۲) می‌باشد. بنابراین گزینه (۴) صحیح است.

۴۳۶۸ با توجه به توضیحات مطرح شده در خلاصه نکات (۱)، آلومینیم رسانا است، ولی اکسید آلومینیم در ابعاد عادی نارسا و در هنگامی که ضخامت آن در حد نانو باشد، به صورت رسانا است. بنابراین گزینه (۴) پاسخ این سؤال است.

۲۳۶۹ برای پاسخ دادن به این تست، ابتدا به خلاصه نکات زیر توجه کنید:

(تست‌های ۳۶۹ تا ۳۷۹)

### نیروی هم‌چسبی و دگرچسبی

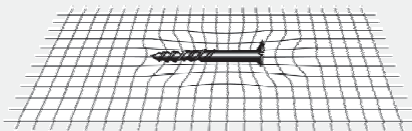
### خلاصه نکات

**نیروی هم‌چسبی:** به‌طور کلی، بین مولکول‌های مایع یک نیروی ربایشی وجود دارد که به آن **نیروی هم‌چسبی** می‌گویند.

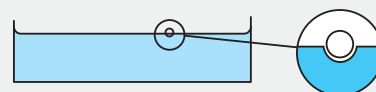
#### نکات مهم و کاربردی

۱ اگر به یک قطره آب که از شیر می‌چکد توجه کنید، مشاهده می‌کنید که قطره پس از جدا شدن از شیر، در تمام طول مسیر به صورت قطره باقی می‌ماند. (مولکول‌های این قطره در حین سقوط از یک‌دیگر دور نمی‌شوند و متصل به یک‌دیگر باقی می‌مانند.) برای توجیه این پدیده می‌توان گفت که بین مولکول‌های مایع یک نیروی ربایشی وجود دارد که همان **نیروی هم‌چسبی** است.

۲ اگر یک میخ کوچک را بر روی سطح آب قرار دهید، در سطح آب یک فرورفتگی ایجاد می‌شود و کشش سطحی بین مولکول‌های آب مانع از فرورفتن میخ در آب می‌شود. این پدیده مانند نگه‌داری یک میخ توسط یک پارچه توری است.



ب



الف



۳ علت فرورفتن حشرات در آب نیز مشابه موضوع مطرح شده در نکته (۲) است.

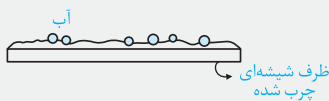
**نیروی دگرچسبی:** هنگامی که یک ماده در تماس با یک ماده دیگر قرار می‌گیرد نیز بین آن‌ها یک نیروی ربایشی وجود دارد که به **دگرچسبی** معروف است.



پخش آب روی سطح شیشه



قطره‌های جیوه روی شیشه



آب

طرف شیشه‌ای چرب شده

**ترشوندگی:** به‌طور کلی هرگاه مایعی در تماس با یک جسم جامد قرار گیرد، دو حالت زیر می‌تواند رخ دهد:

۱) اگر نیروی دگرچسبی بین مولکول‌های مایع و جامد از هم‌چسبی بین مولکول‌های مایع بیشتر باشد، در این صورت می‌گوییم مایع، جامد را تر می‌کند. مثلاً در شکل مقابل می‌بینیم که آب سطح شیشه‌ی تمیز را تر کرده و روی آن پهن شده است، به زبان ساده می‌توان گفت در این حالت، مولکول‌های شیشه با شدت بیشتری مولکول‌های آب را جذب کرده است.

۲) اگر نیروهای هم‌چسبی بین مولکول‌های مایع از دگرچسبی بین مولکول‌های مایع و جامد بیشتر باشد، می‌گوییم مایع جامد را تر نمی‌کند. با توجه به این موضوع در شکل مقابل می‌بینیم که سطح شیشه با جیوه تر نشده و جیوه به شکل قطره روی سطح شیشه باقی مانده است. جالب است بدانید در این حالت هر چه قطر جیوه بزرگ‌تر باشد، قطره تخت‌تر می‌شود. در ادامه با حل تمرین زیر، این موضوع را بهتر بررسی می‌کنیم.

**تمرین** در مورد پخش شدن آب بر روی ظرف شیشه‌ای چرب‌شده، چه اظهارنظری می‌توان کرد؟

**پاسخ** آب بر روی یک ظرف شیشه‌ای چرب پخش نمی‌شود (به شکل قطره باقی می‌ماند)، زیرا نیروی هم‌چسبی بین مولکول‌های آب بیشتر از نیروی دگرچسبی بین مولکول‌های آب و روغن است. این موضوع در شکل مقابل نشان داده شده است:

هم‌چسبی جاذبه بین مولکول‌های همسان و دگرچسبی جاذبه بین مولکول‌های ناهمسان است، بنابراین گزینه (۲) نادرست است.

دقت شود که وقتی شیشه می‌شکند، با نزدیک کردن قطعه‌های آن به هم، نمی‌توان اجزای شیشه را به هم چسباند، ولی اگر قطعه‌های شیشه را آن‌قدر گرم کنیم که نرم شوند، می‌توان آن‌ها را به هم چسباند. در واقع با گرم کردن شیشه، مولکول‌های آن به هم نزدیک شده و به علت کوتاه بُرد بودن نیروهای بین‌مولکولی، این مولکول‌ها به هم نیروی جاذبه وارد کرده و دو قطعه به هم می‌چسبند.

۱۳۷۰ کشش سطحی در مایعات، در واقع همان نیروی ربایشی از نوع هم‌چسبی میان مولکول‌های موجود در سطح مایع (لایه بیرونی مولکول‌ها) است. هر چهار مورد اشاره شده در صورت سؤال، جلوه‌هایی از کشش سطحی می‌باشند.

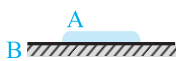
دقت شود به کمک کشش سطحی می‌توان توضیح داد که چرا قطره‌هایی که آزادانه سقوط می‌کنند، تقریباً کروی‌اند. به‌ازای حجمی معین، کره نسبت به هر شکل هندسی دیگری، کوچک‌ترین مساحت را دارد. به این ترتیب سطح کروی که آزادانه سقوط می‌کند، مانند یک پوسته کشیده شده، تمایل به کمینه کردن مساحتش را دارد.

۴۳۲۲ مشابه با سؤال قبل، علت شناور ماندن یک تیغ روی سطح آب، وجود نیروهای کشش سطحی در سطح آب است.

۲۳۷۳ با بزرگ شدن قطره آب، مولکول‌های آب روی سطح قطره از بقیه مولکول‌های آب موجود بر روی برگ کمی دور می‌شوند و نیروی جاذبه بین مولکول‌های آب (هم‌چسبی) در برابر نیروی وزن مقاومت کرده و مانع از سقوط قطره می‌شود. با ادامه داشتن این روند، سرانجام نیروی وزن قطره از نیروی هم‌چسبی بین مولکول‌های آب موجود بر روی قطره بیشتر می‌شود و قطره به شکل گره سقوط می‌کند.

۲۳۷۴ با توجه به شکل‌های داده‌شده، در شکل (۱) دمای روغن بیشتر است، زیرا در دمای بیشتر، نیروی هم‌چسبی بین مولکول‌های روغن کاهش یافته و مولکول‌های روغن راحت‌تر جاری می‌شوند.

۴۳۷۵ با توجه به توضیحات مطرح شده در خلاصه نکات (۲)، نیروی دگرچسبی سطحی بین دو ماده A و B بیشتر از

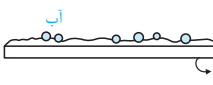


نیروی هم‌چسبی بین مولکول‌های ماده A بوده و باعث پخش شدن ماده A روی B می‌شود. در این حالت، ماده A مطابق شکل، به‌صورت لایه نازکی روی B پخش می‌شود.

۴۳۷۶ مشابه با سؤال قبل، علت تر شدن شیشه توسط آب این است که نیروی دگرچسبی بین مولکول‌های آب و شیشه، بزرگ‌تر از نیروی هم‌چسبی بین مولکول‌های آب است.



قطرات جیوه



شیشه

طرف شیشه‌ای چرب شده

۴۳۷۷ نیروی هم‌چسبی بین مولکول‌های جیوه بزرگ‌تر از نیروی دگرچسبی بین مولکول‌های جیوه و شیشه است، بنابراین جیوه روی شیشه پخش نمی‌شود و به‌صورت گلوله‌های کوچک روی شیشه باقی می‌ماند.

۲۳۷۸ از آن‌جا که نیروی هم‌چسبی بین مولکول‌های آب بیشتر از نیروی دگرچسبی بین مولکول‌های آب و روغن است، آب بر روی یک ظرف شیشه‌ای چرب‌شده پخش نمی‌شود و به‌صورت قطره بر روی ظرف باقی می‌ماند.

۳۳۷۹ می‌دانیم علت شناور ماندن سوزن روی سطح آب، وجود کشش سطحی بین مولکول‌های سطح آب است. با اضافه کردن مایع ظرف‌شویی، مولکول‌های مایع ظرف‌شویی در بین مولکول‌های آب قرار گرفته و نیروی کشش سطحی بین مولکول‌های آب را ضعیف می‌کنند، در نتیجه سوزن در آب فرومی‌رود.

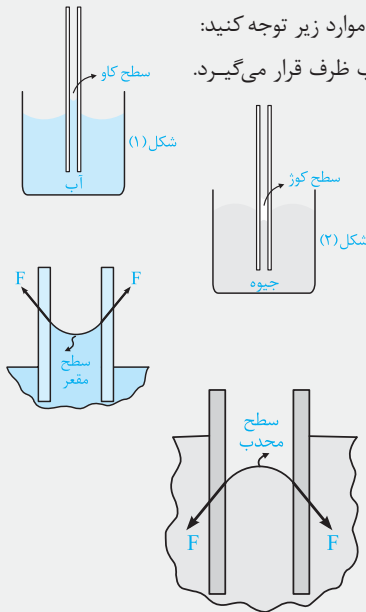


۴۲۸۰ برای پاسخ دادن به این تست، ابتدا به خلاصه نکات زیر توجه کنید:

(تست‌های ۳۸۰ تا ۳۸۸)

خاصیت مویینگی

خلاصه نکات



یکی دیگر از اثرات نیروهای دگرچسبی بین دو ماده، خاصیت مویینگی است. برای درک بهتر این موضوع به موارد زیر توجه کنید: اگر یک لوله نازک شیشه‌ای را در آب وارد کنیم، آب در لوله بالا می‌رود و سطح آن بالاتر از سطح آب ظرف قرار می‌گیرد. این موضوع به دلیل خاصیت مویینگی است.

اگر یک لوله نازک شیشه‌ای را در جیوه فرو کنیم، مطابق شکل (۲) جیوه در لوله بالا می‌رود ولی سطح آن پایین‌تر از سطح جیوه درون ظرف قرار می‌گیرد. این موضوع نیز به دلیل خاصیت مویینگی است.

نیروی دگرچسبی بین مولکول‌های شیشه و آب، بیشتر از نیروی هم‌چسبی بین مولکول‌های آب است. در نتیجه مولکول‌های آب شیشه را تر کرده و به طرف سطح داخلی لوله مویین کشیده می‌شوند و در سطح آب مانند شکل (۱) فرورفتگی ایجاد می‌شود.

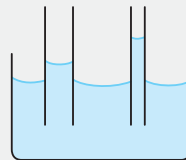
از طرف سطح داخلی لوله مویین، نیروی  $F$  مطابق شکل به آبی که با لوله در تماس است، وارد می‌شود. این نیرو باعث بالا رفتن آب در لوله مویین می‌شود.

نیروی هم‌چسبی بین مولکول‌های جیوه بیشتر از نیروی دگرچسبی بین مولکول‌های جیوه و شیشه است. مولکول‌های جیوه که به سطح داخلی لوله مویین نزدیک‌اند، به طرف مرکز لوله کشیده می‌شوند و در سطح جیوه، مطابق شکل برآمدگی ایجاد می‌شود.

هرچه سطح مقطع (یا قطر) لوله کم‌تر باشد، ارتفاع مایع در لوله نسبت به سطح آزاد مایع درون ظرف بیشتر تغییر می‌کند. به عنوان مثال، در شکل‌های زیر نحوه قرارگیری آب و جیوه در لوله‌های مویین با قطرهای مختلف نشان داده شده است.

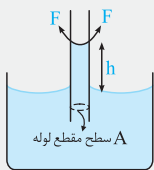


شکل جیوه در لوله‌های مویین با قطرهای مختلف



شکل آب در لوله‌های مویین با قطرهای مختلف

نیروی دگرچسبی بین لوله مویین و مایع بالا رفته، برابر با نیروی وزن مایع جابه‌جا شده است. به عنوان مثال:



$F = mg$ : نیروی دگرچسبی

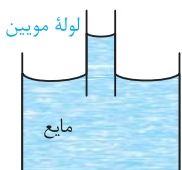
$m = \rho V$  (چگالی مایع): جرم مایع جابه‌جا شده

$V = h \cdot A$ : حجم مایع جابه‌جا شده = ارتفاع مایع  $\times$  سطح مقطع لوله

**تمرین** لوله شیشه‌ای باریکی را به طور عمودی تا نیمه وارد مایع درون ظرفی می‌کنیم. اگر نیروی دگرچسبی کم‌تر از نیروی هم‌چسبی بین مولکول‌های مایع باشد، سطح مایع درون لوله به صورت ..... درمی‌آید و این سطح در مقایسه با سطح مایع درون ظرف ..... قرار می‌گیرد.

- (۱) فرورفته - بالاتر (۲) فرورفته - پایین‌تر (۳) برآمده - بالاتر (۴) برآمده - پایین‌تر

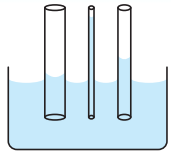
**پاسخ** با توجه به توضیحات ارائه شده در مورد شماره ۴، در این سؤال مفهومی، مایع رفتاری شبیه جیوه داشته و گزینه (۴) رخ می‌دهد.



با توجه به خلاصه نکات فوق، پدیده مویینگی یکی از اثرات اختلاف در بزرگی نیروی هم‌چسبی بین مولکول‌های یک ماده و بزرگی نیروی دگرچسبی در بین دو ماده است. با توجه به این‌که در شکل داده شده ارتفاع مایع در لوله بالاتر از سطح مایع است و تقعر مایع در لوله رو به بالا است، نتیجه می‌گیریم که بزرگی نیروی دگرچسبی بین مولکول‌های مایع و لوله، بیشتر از بزرگی نیروی هم‌چسبی بین مولکول‌های مایع است.

۴۳۸۱ آب در لوله مویین بالا می‌رود و سطح آن بالاتر از سطح آب ظرف قرار می‌گیرد. سطح آب در لوله مویین دارای فرورفتگی است، بنابراین گزینه (۴)

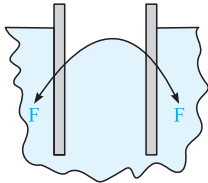
صحیح است.



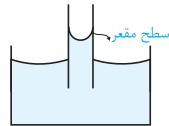
۱۳۸۲) برای پاسخ دادن به این سؤال، به موارد زیر توجه کنید:

(۱) آب در لوله موئین، همیشه بالاتر از سطح آب ظرف قرار می‌گیرد.

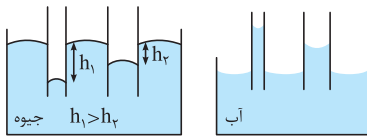
(۲) ارتفاع آب در درون لوله، با سطح مقطع لوله نسبت عکس دارد، بنابراین در لوله نازک‌تر، ارتفاع آب بیشتر است (به شکل روبه‌رو دقت کنید).



۳۳۸۳) همان‌طور که می‌دانیم اگر لوله شیشه‌ای تمیز وارد یک ظرف جیوه شود، سطح جیوه درون لوله شیشه‌ای پایین‌تر از سطح جیوه درون ظرف خواهد بود. دلیل این پدیده آن است که نیروی هم‌چسبی بین مولکول‌های جیوه بیشتر از نیروی دگرچسبی بین مولکول‌های جیوه و شیشه است، بنابراین جیوه سطح شیشه را تر نمی‌کند و گزینۀ (۳) صحیح است.



۳۳۸۴) با توجه به این‌که نیروی دگرچسبی بین مایع و شیشه بیشتر از نیروی هم‌چسبی بین مولکول‌های مایع است، بنابراین مایع در داخل لوله بالا آمده و سطح مایع در درون لوله به صورت مقعر (فرورفته) می‌باشد.

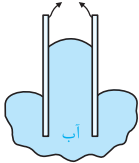


۲۳۸۵) برای پاسخ دادن به این سؤال، به موارد زیر توجه کنید:

(۱) جیوه در لوله موئین، در سطح پایین‌تری از سطح جیوه درون ظرف قرار می‌گیرد و اختلاف ارتفاع جیوه درون لوله و جیوه بیرون از لوله، در لوله نازک‌تر، بیشتر است. بنابراین شکل (ج) وضعیت جیوه را در لوله‌های موئین نشان می‌دهد.

(۲) آب در لوله موئین، در سطح بالاتری از سطح آب درون ظرف قرار می‌گیرد و اختلاف ارتفاع آب درون لوله و آب بیرون از لوله، در لوله نازک‌تر بیشتر است. بنابراین شکل (الف) وضعیت آب را در لوله‌های موئین نشان می‌دهد.

لوله آغشته به روغن



۴۳۸۶) با یک سؤال نسبتاً مفهومی روبه‌رو شده‌ایم که گزینۀ (۴) شکل نادرست را نشان می‌دهد، زیرا نیروهای هم‌چسبی بین مولکول‌های آب، بیشتر از نیروی دگرچسبی بین مولکول‌های آب و لوله آغشته به روغن است. با توجه به این موضوع، سطح آب در لوله موئین آغشته به روغن پایین‌تر از سطح آب در درون ظرف قرار گرفته و این موضوع یعنی سطح آب در داخل لوله موئین دارای برآمدگی است، درست مانند شکل گزینۀ (۲) که جیوه در درون لوله موئین نشان داده شده است.

۳۳۸۷) ارتفاع آب درون لوله موئین، تنها به نیروی دگرچسبی بین آب و لوله (وابسته به نوع ماده‌ها) و سطح مقطع لوله بستگی دارد، بنابراین در این سؤال با توجه به این‌که قطر لوله ثابت است، ارتفاع آب درون آن تغییری نمی‌کند.

۱۳۸۸) با توجه به سؤال قبل، ارتفاع آب درون لوله ارتباطی به طول لوله موئین یا طولی که لوله در آب فرورفته است، ندارد. بنابراین تغییرات اعمال شده، تأثیری در ارتفاع آب درون لوله ایجاد نمی‌کند و میزان آب بالا آمده در لوله برابر با همان مقدار قبلی خواهد بود ( $h = 12\text{cm}$ ).

۴۳۸۹) برای پاسخ دادن به این تست، ابتدا به خلاصه نکات زیر توجه کنید:

(تست‌های ۳۸۹ تا ۴۰۱)

### مفاهیم فشار

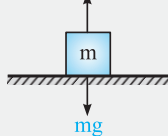
### خلاصه نکات

$$P = \frac{F_{\perp}}{A}$$

فشار وارد بر یک سطح عبارت است از اندازه نیرویی که به صورت عمودی، بر واحد آن سطح وارد می‌شود:

باید توجه شود که فشار یک کمیت زنده‌ای بوده و یکای آن در SI نیوتون بر متر مربع  $\left(\frac{\text{N}}{\text{m}^2}\right)$  یا پاسکال (Pa) است.

(نیروی عمودی)  $N = mg$



$$F = PA$$

**تذکر** نیرویی که به صورت عمودی بر سطحی با مساحت A وارد می‌شود برابر است با:

$$\Rightarrow P = \frac{F_{\perp}}{A} = \frac{mg}{A}$$

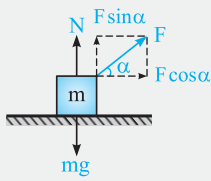
### نکات مهم و کاربردی

۱) اگر بسته‌ای با جرم m و با مساحت مقطع A بر روی یک سطح افقی قرار گیرد، نیروی قائم وارد بر سطح از طرف بسته و فشار ناشی از آن برابر است با:

۲) اگر بسته‌ای با جرم m و با مساحت مقطع A را با نیروی F مطابق شکل بر روی سطح افق بکشیم، نیروی قائم وارد بر سطح و فشار ناشی از آن برابر است با:

$$F_{\perp} = N = mg - F \sin \alpha$$

$$P = \frac{F_{\perp}}{A} = \frac{mg - F \sin \alpha}{A}$$



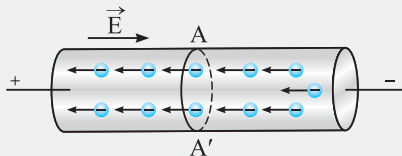
۱۱۴۸۴ برای پاسخ دادن به این تست، ابتدا به خلاصه نکات زیر توجه کنید:

(تست‌های ۱۴۸۴ تا ۱۴۹۱)

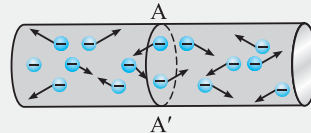
### شدت جریان الکتریکی

خلاصه نکات

- برای شروع این بحث، ابتدا به شکل‌های زیر توجه کنید. هنگامی که به دو سر یک رسانا اختلاف پتانسیلی اعمال می‌کنیم (شکل ۱)، اتفاقات زیر رخ می‌دهد:
- یک میدان الکتریکی در داخل رسانا ایجاد می‌شود.
  - این میدان به الکترون‌های درون رسانا نیرو وارد می‌کند و آن‌ها را در خلاف جهت میدان با سرعت متوسطی موسوم به **سرعت سوق** حرکت می‌دهد.
  - در این حالت شارش بار خالص عبوری از سطح مقطع رسانا صفر نبوده و در داخل رسانا جریان الکتریکی ایجاد می‌شود.
  - طبق قرارداد، جریان الکتریکی در خلاف جهت شارش الکترون‌ها می‌باشد، یعنی جریان الکتریکی هم‌جهت با میدان الکتریکی ایجاد شده در رسانا و از پتانسیل بیشتر به پتانسیل کم‌تر است.
- دقت:** در صورت اعمال نشدن اختلاف پتانسیل به دو سر رسانا، الکترون‌های آزاد به صورت کاتوره‌ای در همه‌ی جهت‌ها در داخل رسانا در حال حرکت بوده و شارش بار خالص عبوری از سطح مقطع رسانا صفر است (شکل ۲).



شکل ۱: در حضور اختلاف پتانسیل الکتریکی، شارش بار خالص از مقطع AA' سیم، دیگر برابر صفر نیست.



شکل ۲: در نبود اختلاف پتانسیل الکتریکی در دو سر رسانا، شارش بار خالصی از مقطع معین AA' سیم نداریم.

### جریان الکتریکی متوسط

آهنگ شارش بار الکتریکی در رسانا، معادل با **جریان الکتریکی متوسط** عبوری از آن است.

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

q: بار الکتریکی برحسب کولن (C)، t: زمان برحسب ثانیه (s)،  $\bar{I}$ : جریان الکتریکی متوسط برحسب آمپر (A)

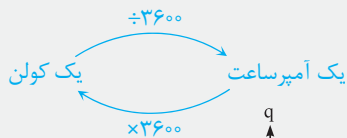
### نکات مهم و کاربردی

- اگر جریان عبوری از مدار مقدار ثابتی باشد، شدت جریان متوسط در بازه‌ی زمانی دلخواه  $\Delta t$  و شدت جریان لحظه‌ای با یک‌دیگر برابر است و بار شارش یافته در مدار عبارت است از:

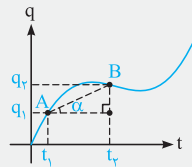
$$I = \bar{I} = \frac{\Delta q}{\Delta t} \Rightarrow \Delta q = I \Delta t$$

- یکی دیگر از واحدهای رایج بار الکتریکی، آمپر ساعت می‌باشد که ارتباط آن با واحد کولن به صورت زیر است:

$$\begin{cases} q = It \xrightarrow{\substack{I \text{ برحسب آمپر} \\ t \text{ برحسب ثانیه}}} \text{ثانیه} \times \text{آمپر} \equiv \text{کولن} \\ q = It \xrightarrow{\substack{I \text{ برحسب آمپر} \\ t \text{ برحسب ساعت}}} \text{ساعت} \times \text{آمپر} \equiv \text{واحد } q \end{cases} \Rightarrow \boxed{3600 \text{ کولن} = 1 \text{ آمپر ساعت}}$$



بنابراین برای تبدیل کولن به آمپر ساعت، باید عدد داده شده را بر ۳۶۰۰ تقسیم کنیم و بالعکس.



- شیب خط واصل بین دو لحظه  $t_1$  و  $t_2$  از نمودار بار الکتریکی - زمان، معادل با شدت جریان متوسط بین آن دو لحظه است.

$$\tan \alpha = \frac{\text{ضلع مقابل}}{\text{ضلع مجاور}} = \frac{q_2 - q_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \bar{I}$$

- از قبل می‌دانیم بار الکتریکی مضرب صحیحی از یک مقدار پایه می‌باشد ( $q = ne$ )، بنابراین برای محاسبه‌ی تعداد الکترون‌های عبوری از سطح مقطع رسانا، در یک مدت زمان معین، می‌توان نوشت:

$$\begin{cases} q = ne \\ q = It \end{cases} \Rightarrow ne = It \Rightarrow n = \frac{It}{e}$$

با توجه به خلاصه نکات فوق، گزینه (۱) نادرست است و سه گزینه دیگر صحیح می‌باشند (دقت کنید در شکل (۱) جریان الکتریکی برقرار نمی‌باشد).





با توجه به رابطه  $I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$  ، شدت جریان متوسط را در ثانیه دوم و هم چنین در چهار ثانیه اول محاسبه می‌کنیم ( $q = t^2 - 2t + 1$ ): **۱۱۴۸۵**

$$\begin{cases} t_2 = 2s \Rightarrow q_2 = (2)^2 - 2 \times (2) + 1 = 1C \\ t_1 = 1s \Rightarrow q_1 = (1)^2 - 2 \times (1) + 1 = 0 \end{cases} \Rightarrow I_1 = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{q_2 - q_1}{t_2 - t_1} = \frac{1 - 0}{2 - 1} = 1A \Rightarrow \frac{I_1}{I_2} = \frac{1}{2}$$

$$\begin{cases} t_2 = 4s \Rightarrow q_2 = (4)^2 - 2 \times (4) + 1 = 9C \\ t_1 = 0 \Rightarrow q_1 = 0 - 0 + 1 = 1C \end{cases} \Rightarrow I_2 = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{9 - 1}{4 - 0} = 2A$$

با توجه به نکته (۲) در خلاصه نکات (۱)، آمپر ساعت واحد بار الکتریکی می‌باشد. **۲۱۴۸۶**

برای محاسبه مدت زمان لازم برای تخلیه بار الکتریکی ۵۰ آمپر ساعت با جریان متوسط ۵ آمپر، می‌توان نوشت: **۲۱۴۸۷**

$$q = It \Rightarrow 50 \text{ A} \cdot h = (\Delta A) \times t \Rightarrow t = 10h = 10 \times 3600 = 3/6 \times 10^4 \text{ s}$$

باری که در مدت زمان یک مدار می‌گذرد، برابر است با: **۴۱۴۸۸**

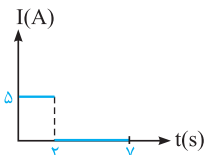
$$\Delta q = I(\Delta t) = (0/15 \times 10^{-3} \text{ A})(3/6 \times 10^3 \text{ s}) = 0/54 \text{ C}$$

از طرفی انرژی‌ای که باتری به مدار می‌دهد با توجه به رابطه  $q\Delta V = W_{\text{خارجی}}$  ، برابر است با: **۱۱۴۸۹**

$$\text{انرژی داده شده به مدار} = 0/54 \times 3 = 1/62 \text{ J}$$

در دو ثانیه اول، مقدار بار الکتریکی گذرنده از این جسم، به طور یکنواخت از صفر به ۱۰ کولن می‌رسد، بنابراین **۳۱۴۸۹**

مقدار جریان در این بازه زمانی برابر است با:



$$I = \bar{I} = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{10 - 0}{2} = 5A$$

در بازه زمانی  $t = 2s$  تا  $t = 7s$  تغییرات بار الکتریکی برابر صفر است، بنابراین جریان عبوری از مدار نیز برابر صفر می‌باشد و نمودار جریان - زمان به صورت نشان داده شده است:

### تذکر

اگر بار شارش شده از یک جسم رسانا مقداری ثابت بوده و تغییر نکند، جریان الکتریکی در داخل رسانا به وجود نمی‌آید.  $I = 0 \Rightarrow q = \text{ثابت}$

ابتدا بار الکتریکی شارش یافته در سیم را به دست می‌آوریم: **۱۱۴۹۰**

$$t = 20s, I = 0/8A \Rightarrow q = It = 0/8 \times 20 = 16C$$

از طرفی طبق رابطه  $q = ne$  ، می‌توان تعداد الکترون‌های شارش یافته را محاسبه کرد:

$$q = 16C, e = 1/6 \times 10^{-19} C \Rightarrow q = ne \Rightarrow 16 = 1/6 \times 10^{-19} \times n \Rightarrow n = 10^{20}$$

با وصل شدن کلید K ، با انتقال الکترون از زمین به کره رسانا، بار کره خنثی خواهد شد. از طرفی جهت جریان در **۲۱۴۹۱**

خلاف جهت حرکت الکترون‌ها می‌باشد. بنابراین جهت جریان از A به B است.

با توجه به این‌که بار کره در مدت  $0/2s$  از  $0/5C$  به صفر می‌رسد، شدت جریان الکتریکی متوسط عبوری از سیم AB برابر است با:

$$\bar{I} = \left| \frac{\Delta q}{\Delta t} \right| = \left| \frac{0 - 0/5}{0/2} \right| = 25A$$

برای پاسخ دادن به این تست، ابتدا به خلاصه نکات زیر توجه کنید: **۳۱۴۹۲**

(تست‌های ۱۴۹۲ تا ۱۴۹۶)

### قانون اهم

### خلاصه نکات

وسیله‌هایی که جریان الکتریکی را از خود عبور می‌دهند، می‌توان به دو دسته تقسیم کرد:

**دسته اول:** وسیله‌هایی که با تغییر اختلاف پتانسیل دو سر آن‌ها و در نتیجه تغییر جریان عبوری از آن‌ها، مقاومتشان تغییر می‌کند.

**دسته دوم:** وسیله‌هایی که مقاومت آن‌ها ثابت و مستقل از اختلاف پتانسیل و جریان عبوری از آن‌هاست.

اگر مقاومت الکتریکی یک وسیله در ولتاژهای مختلف (در دمای ثابت) همواره مقدار ثابتی داشته باشد، به آن وسیله، مقاومت یا رسانای اهمی گفته می‌شود. به عبارت دیگر این وسیله‌ها از **قانون اهم** پیروی می‌کنند که بیان می‌کند، **نسبت اختلاف پتانسیل دو سر یک رسانا به شدت جریان عبوری از آن در دمای ثابت، مقداری ثابت است.** این مقدار ثابت را **مقاومت الکتریکی آن جسم** نامیده و یکای آن در SI اهم است.

$$\frac{V}{I} = R \text{ یا } V = RI$$

**تذکر** برای برخی از مواد، جریان الکتریکی (I) تابعی خطی از اختلاف پتانسیل الکتریکی (V) دو سر آن می‌باشد و در اصطلاح می‌گوییم، این مواد

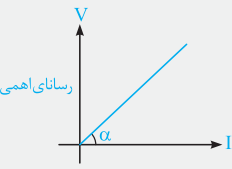
از قانون اهم پیروی می‌کنند. این قانون برای اغلب فلزات و بسیاری از رساناهای غیر فلزی در دمای ثابت برقرار است.

**تمرین ۱** اگر ولتاژ دو سر یک رسانای اهمی ۲ برابر شود، مقاومت الکتریکی و شدت جریان عبوری از آن، هر یک چند برابر می‌شود؟

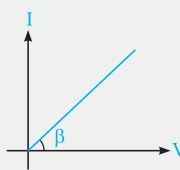
**پاسخ** در این سؤال، به موارد زیر توجه کنید:

۲ برابر ۲ برابر

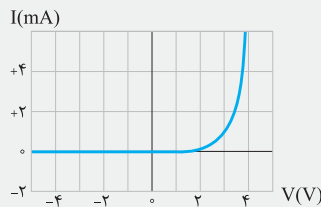
۱- مقاومت الکتریکی یک رسانا در دمای ثابت مقداری ثابت است و با تغییر ولتاژ دو سر آن تغییری نمی‌کند.  
۲- با توجه به قانون اهم، داریم:



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



$$\tan \beta = \frac{I}{V} = \frac{1}{R}$$



نمودار جریان بر حسب اختلاف پتانسیل برای یک دیود نورگسیل

**تمرین ۲** نمودار ولتاژ دو سر یک رسانای اهمی بر حسب شدت جریان عبوری از آن را رسم کنید.

**پاسخ**

در این نمودار هر چه مقاومت جسم بزرگ‌تر باشد، شیب نمودار بزرگ‌تر است.

**تذکر** شیب نمودار  $I - V$ ، عکس مقاومت یک رسانا، را نشان می‌دهد:

در این نمودار هر چه مقاومت جسم بزرگ‌تر باشد، شیب نمودار کم‌تر است.

**تذکر** برای برخی از وسایله‌ها مانند دیود نورگسیل (LED) که از قانون اهم پیروی نمی‌کنند، نمودار جریان عبوری از آن‌ها بر حسب اختلاف پتانسیل دو سر آن‌ها، دیگر به صورت یک خط راست گذرنده از مبدأ نیست. به طور مثال به شکل مقابل توجه کنید:

با توجه به خلاصه نکات فوق، می‌دانیم که نسبت اختلاف پتانسیل دو سر یک رسانا به شدت جریان عبوری از آن در دمای ثابت، برابر مقاومت الکتریکی رسانا است.

از طرفی می‌دانیم که اندازه مقاومت الکتریکی با تغییر جریان عبوری از آن، تغییری نمی‌کند و گزینه (۳) صحیح است.

**۳۱۴۹۳** در وسیله الکتریکی (۱)، نسبت  $\frac{V}{I}$  در یک دمای ثابت تغییر کرده و وسیله الکتریکی از قانون اهم پیروی نمی‌کند.

$$\frac{V}{I} \text{ در وسیله (۱)} \Rightarrow \frac{2}{0.12} \neq \frac{4}{0.18}$$

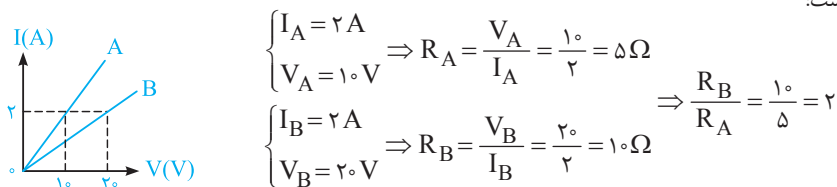
از طرفی در وسیله الکتریکی (۲)، نسبت  $\frac{V}{I}$  در دمای ثابت با توجه به جدول ثابت بوده و دستگاه از قانون اهم پیروی می‌کند.

$$\frac{V}{I} \text{ در وسیله (۲)} \Rightarrow \frac{2}{0.5} = \frac{4}{1} = \frac{12}{3}$$

**۲۱۴۹۴** با استفاده از قانون اهم برای محاسبه مقاومت رشته لامپ داریم:

$$R = \frac{V}{I} = \frac{1.5}{0.3} = 5 \Omega$$

**۱۱۴۹۵** با توجه به نمودار مقابل، می‌توان نوشت:



$$\begin{cases} I_A = 2 \text{ A} \\ V_A = 1.0 \text{ V} \end{cases} \Rightarrow R_A = \frac{V_A}{I_A} = \frac{1.0}{2} = 0.5 \Omega$$

$$\begin{cases} I_B = 2 \text{ A} \\ V_B = 2.0 \text{ V} \end{cases} \Rightarrow R_B = \frac{V_B}{I_B} = \frac{2.0}{2} = 1.0 \Omega$$

$$\Rightarrow \frac{R_B}{R_A} = \frac{1.0}{0.5} = 2$$

**۲۱۴۹۶** **گام اول:** ابتدا با توجه به رابطه  $R = \frac{V}{I}$ ، شدت جریان عبوری از مقاومت را به دست می‌آوریم:

$$R = 1.0 \Omega, V = 8 \text{ V} \Rightarrow R = \frac{V}{I} \Rightarrow 1.0 = \frac{8}{I} \Rightarrow I = \frac{8}{1.0} \text{ A}$$

**گام دوم:** اکنون با توجه به روابط  $q = It$  و  $q = ne$ ، به سادگی می‌توان بار الکتریکی شارش یافته در سیم را در مدت زمان یک ثانیه محاسبه کرد:

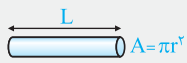
$$I = \frac{8}{1.0} \text{ A}, t = 1 \text{ s} \Rightarrow It = ne \Rightarrow n = \frac{It}{e} = \frac{8 \times 1}{1.6 \times 10^{-19}} = 5 \times 10^{18}$$



۴۱۴۹۷) برای پاسخ دادن به این تست، ابتدا به خلاصه نکات زیر توجه کنید:

**خلاصه نکات ۳** تحلیل ارتباط بین مقاومت الکتریکی یک رسانا با جنس و ابعاد آن و بررسی انواع مقاومت‌ها (تست‌های ۱۴۹۷ تا ۱۵۱۳)

به طور کلی در یک دمای ثابت، مقاومت الکتریکی یک سیم رسانا به سطح مقطع، طول و جنس آن بستگی داشته و به صورت زیر به دست می‌آید:



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

$L$ : طول سیم (m) ،  $R$ : مقاومت الکتریکی سیم ( $\Omega$ )

$A$ : سطح مقطع سیم ( $m^2$ ) ،  $\rho$ : مقاومت ویژه سیم ( $\Omega \cdot m$ )

**نکات مهم و کاربردی**

۱) در رابطه ارائه شده، تأثیر عامل جنس رسانا بر مقاومت یک سیم، در مقاومت ویژه سیم ( $\rho$ ) وارد می‌شود.

۲) واحد مقاومت ویژه در SI عبارت است از:

$$R = \rho \frac{L}{A} \Rightarrow \rho = \frac{R \cdot A}{L} \Rightarrow \rho \text{ واحد} \equiv \frac{\Omega \times m^2}{m} = \Omega \cdot m \text{ (اهم متر)}$$

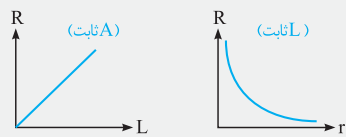
۳) مقاومت یک سیم با طول و مقاومت ویژه آن رابطه مستقیم و با سطح مقطع آن رابطه عکس دارد.

$$\begin{cases} R \propto \rho \\ R \propto L \Rightarrow \frac{R_2}{R_1} = \frac{\rho_2}{\rho_1} \times \frac{L_2}{L_1} \times \frac{A_1}{A_2} \\ R \propto \frac{1}{A} \end{cases}$$

۴) با توجه به این‌که در سیم‌های با مقطع دایره‌ای، سطح مقطع برابر  $A = \pi r^2$  می‌باشد، بنابراین مقاومت یک سیم فلزی استوانه‌ای با مجذور شعاع مقطع آن رابطه معکوس دارد.

$$R \propto \frac{1}{A} \xrightarrow{A = \pi r^2} R \propto \frac{1}{r^2} \Rightarrow \frac{R_2}{R_1} = \frac{\rho_2}{\rho_1} \times \frac{L_2}{L_1} \times \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2$$

۵) با توجه به ارتباط بین مقاومت یک سیم با طول و شعاع سطح مقطع آن، نمودارهای مقابل را



می‌توان رسم کرد:

$$R \propto L \quad R \propto \frac{1}{r^2} \text{ (یا } R \propto \frac{1}{A} \text{)}$$

**بررسی یک موضوع کاربردی و بسیار مهم**

فرض کنید سیمی را از دستگاهی عبور دهیم تا با ثابت ماندن جرم آن، طول آن ۲ برابر شود، یعنی سیم کشیده شده ( $L$  بزرگ‌تر) و سطح مقطع آن کم می‌شود ( $A$  کم‌تر). برای تحلیل نحوه تغییرات مقاومت الکتریکی سیم به صورت زیر عمل می‌کنیم:

**مرحله ۱:** می‌دانیم که اگر جرم سیم ثابت بماند، حجم آن نیز ثابت می‌ماند ( $\rho = \frac{m}{V}$ : چگالی) و داریم:

۲ برابر  $\frac{1}{V}$  برابر  $\frac{1}{A \cdot L}$  ثابت

یعنی با این عمل سطح مقطع نصف می‌شود.

**مرحله ۲:** تغییرات مقاومت سیم را به صورت زیر به دست می‌آوریم:

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{L_2}{L_1} \times \left(\frac{A_1}{A_2}\right) = \frac{2L_1}{L_1} \times \frac{A_1}{\frac{1}{2}A_1} = 4$$

**روش دیگر تحلیل:**

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad \begin{matrix} \uparrow 2 \text{ برابر} \\ L \\ \downarrow \frac{1}{2} \text{ برابر} \\ A \end{matrix} \Rightarrow R \uparrow 4 \text{ برابر}$$

در نهایت می‌توان گفت اگر طول یک سیم با ثابت ماندن جرم آن،  $\alpha$  برابر شود، مقاومت آن سیم  $\alpha^2$  برابر خواهد شد:

$$\frac{R_2}{R_1} = \left(\frac{L_2}{L_1}\right)^2 \quad \text{یا} \quad \frac{R_2}{R_1} = \left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2$$

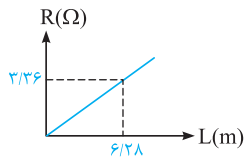




۴۱۴۹۸ اندازه مقاومت الکتریکی یک سیم، از رابطه  $R = \frac{\rho L}{A}$  به دست می‌آید که  $A$  سطح مقطع سیم است. از طرفی می‌دانیم که مساحت مقطع سیمی

به قطر  $d$ ، برابر  $A = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 = \frac{\pi d^2}{4}$  است و می‌توان نوشت:

$$R = \frac{\rho L}{A} = \frac{\rho L}{\frac{\pi d^2}{4}} \Rightarrow R \propto \frac{1}{d^2} \Rightarrow \text{(مقاومت با مجذور قطر سیم، رابطه معکوس دارد.)}$$



۲۱۴۹۹ با توجه به نمودار مقابل، در طول  $6/28 \text{ m}$  مقاومت سیم برابر  $3/36 \Omega$  است، بنابراین می‌توان نوشت:

$$R = 3/36 \Omega, \rho = 1/68 \times 10^{-8} \Omega \text{ m}, L = 6/28 \text{ m}, A = ?$$

$$R = \rho \frac{L}{A} \Rightarrow 3/36 = 1/68 \times 10^{-8} \times \frac{6/28}{A} \Rightarrow A = 3/14 \times 10^{-8} \text{ m}^2$$

با توجه به سطح مقطع دایره‌ای سیم،  $A = \pi r^2$  بوده و داریم:

$$A = \pi r^2 = 3/14 \times 10^{-8} \Rightarrow r = 10^{-4} \text{ m} = 0/1 \text{ mm} \Rightarrow \text{قطر سیم: } d = 2r = 0/2 \text{ mm}$$

۴۱۵۰۰ با توجه به تمرین (۱) در خلاصه نکات (۳)، گزینه (۴) صحیح است.

۱۱۵۰۱ با توجه به رابطه  $R = \rho \frac{L}{A}$ ، برای مقایسه مقاومت دو سیم  $A$  و  $B$  داریم:

$$\rho_A = 3\rho_B, L_A = L_B, R_A = R_B$$

$$R = \rho \frac{L}{A} \Rightarrow \frac{R_A}{R_B} = \frac{\rho_A}{\rho_B} \times \frac{L_A}{L_B} \times \frac{A_B}{A_A} \xrightarrow{A \propto d^2} 1 = 3 \times 1 \times \left(\frac{d_B}{d_A}\right)^2 \Rightarrow \left(\frac{d_B}{d_A}\right)^2 = \frac{1}{3} \Rightarrow \left(\frac{d_A}{d_B}\right)^2 = 3 \Rightarrow \frac{d_A}{d_B} = \sqrt{3}$$

۴۱۵۰۲ برای محاسبه مقاومت الکتریکی هر یک از آن‌ها، ابتدا با توجه به شکل‌های زیر، سطح مقطع هر کدام را به دست می‌آوریم:

$$\left. \begin{array}{l} \text{سیم مسی: } A_1 = \pi r^2 = \pi \frac{d^2}{4} = \pi \frac{(4)^2}{4} = 4\pi \text{ mm}^2 \Rightarrow R_1 = \rho \frac{L_1}{A_1} = \rho \times \frac{1}{4\pi} \\ \text{لوله مسی: } A_2 = \frac{\pi d^2}{4} - \frac{\pi d'^2}{4} = \frac{\pi}{4} (d^2 - d'^2) = \frac{\pi}{4} (4^2 - 2^2) = 3\pi \text{ mm}^2 \Rightarrow R_2 = \rho \frac{L_2}{A_2} = \rho \times \frac{1}{3\pi} \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{R_2}{R_1} = \frac{\rho}{4\pi} \times \frac{4\pi}{\rho} = \frac{4}{3}$$

۲۱۵۰۳ با توجه به قطر سیم  $D = 2 \text{ mm}$ ، سطح مقطع سیم برابر است با:

$$\text{قطر: } D = 2 \text{ mm} \Rightarrow \text{شعاع: } r = \frac{D}{2} = 1 \text{ mm} \Rightarrow A = \pi r^2 = 3 \times (10^{-3})^2 = 3 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

حال مقاومت این سیم برابر است با:

$$R = \rho \frac{L}{A} = 1/7 \times 10^{-8} \times \frac{180}{3 \times 10^{-6}} = 1/2 \Omega$$

۱۱۵۰۴ برای پاسخ به این سؤال، گام‌های زیر را طی می‌کنیم:

گام اول: (محاسبه نسبت طول دو سیم، یعنی  $\frac{L_A}{L_B}$ ): با توجه به آن‌که هر دو سیم از یک جنس هستند، بنابراین چگالی دو سیم با هم برابر است و می‌توان نوشت:

$$\rho' = \frac{m}{V} \Rightarrow m = \rho' V \xrightarrow{m_A = m_B} \rho'_A V_A = \rho'_B V_B \xrightarrow{\rho'_A = \rho'_B} V_A = V_B$$

با توجه به رابطه فوق، حجم دو سیم با هم برابر است. از طرفی می‌دانیم که حجم سیم برابر حاصل ضرب طول سیم در مساحت مقطع آن است و می‌توان نوشت:

$$V_A = V_B \Rightarrow A_A \times L_A = A_B \times L_B \Rightarrow \frac{\pi d_A^2}{4} \times L_A = \frac{\pi d_B^2}{4} \times L_B$$

$$\frac{d_A = \sqrt{2} d_B}{\text{صورت سؤال}} \Rightarrow (\sqrt{2} d_B)^2 \times L_A = d_B^2 \times L_B \Rightarrow 2L_A = L_B \Rightarrow \frac{L_A}{L_B} = \frac{1}{2}$$

گام دوم: (محاسبه جواب): با توجه به رابطه  $R = \frac{\rho L}{A}$ ، می‌توان نوشت:

$$\rho_A = \rho_B, \frac{L_A}{L_B} = \frac{1}{2}, \frac{d_A}{d_B} = \sqrt{2}, R_B = 10 \Omega, R_A = ?$$

$$\frac{R_A}{R_B} = \frac{\rho_A}{\rho_B} \times \frac{L_A}{L_B} \times \frac{A_B}{A_A} = 1 \times \frac{1}{2} \times \left(\frac{d_B}{d_A}\right)^2 = \frac{1}{2} \times \left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)^2 = \frac{1}{4} \Rightarrow R_A = \frac{1}{4} R_B = 2/5 \Omega$$