فهرست

پایهٔ دهم:

فصل اول: فیزیک و اندازه‌گیری ۸

فصل دوم: کار، انرژی و توان ۲۲

فصل سوم: ویژگی‌های فیزیکی مواد ۴۴

فصل چهارم: دما و گرما ۷۲

فصل پنجم: ترمودینامیک ۱۰۲

پایهٔ یازدهم:

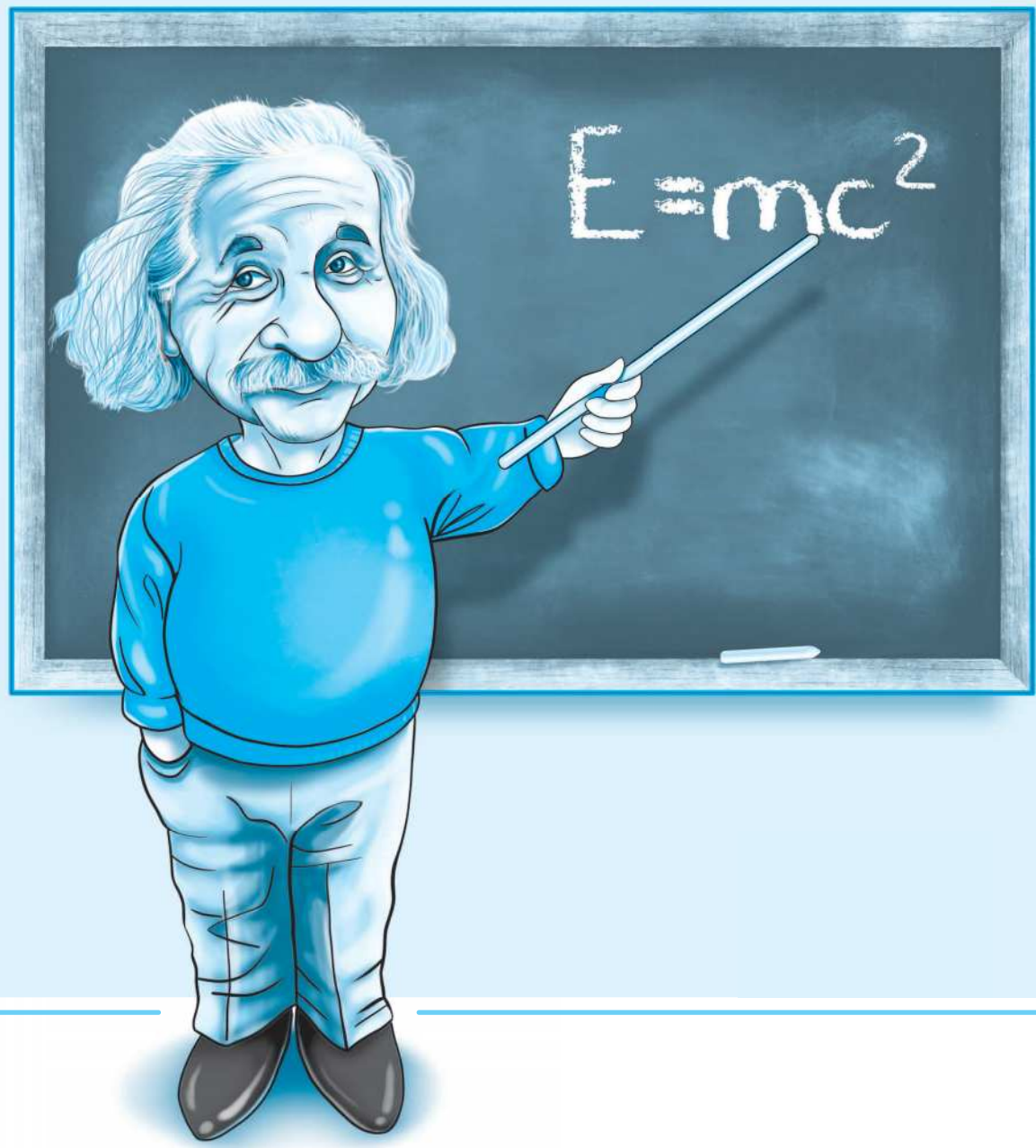
فصل اول: الکتریسیته ساکن ۱۳۸

فصل دوم: جریان الکتریکی و مدارهای جریان مستقیم ۱۶۹

فصل سوم: مغناطیس ۲۱۲

فصل چهارم: القای الکترومغناطیسی و جریان متناوب ۲۳۶

پایهٔ دهم



فصل اول
فیزیک و اندازه‌گیری

مرحلهٔ (۱) معرفی دانش بنیادی فیزیک

تعاریف اولیه

فیزیک از بنیادی‌ترین دانش‌ها و شالودهٔ تمامی مهندسی‌ها و فناوری‌هایی است که به‌طور مستقیم یا غیر مستقیم در زندگی ما نقش دارند.

فیزیک‌دانان، پدیده‌های گوناگون طبیعت را مشاهده می‌کنند و می‌کوشند الگوها و نظم‌های خاصی میان این پدیده‌ها بیابند. دانشمندان فیزیک برای توصیف پدیده‌های مورد بررسی از قوانین، اصول و مدل‌ها استفاده می‌کنند که در ادامه با آن‌ها آشنا می‌شویم.

الف) **قانون:** رابطهٔ بین چند کمیت فیزیکی است. قوانین در دامنهٔ وسیعی از پدیده‌های گوناگون طبیعت معتبر هستند. مانند قانون بقای انرژی و یا قانون‌های نیوتون.

ب) **اصل:** برای توصیف دامنهٔ محدودتری از پدیده‌های فیزیکی که عمومیت کمتری دارند، اغلب از اصطلاح اصل استفاده می‌شود. مانند اصل پاسکال یا اصل ارشمیدس. در ادامه با مدل‌ها و چگونگی مدل‌سازی در فیزیک آشنا می‌شوید.

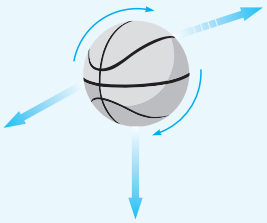
مدل‌سازی

مدل‌سازی فرایندی است که طی آن یک پدیدهٔ فیزیکی، آن‌قدر ساده و آرمانی می‌شود تا امکان بررسی و تحلیل آن فراهم شود.

! نکته هنگام مدل‌سازی یک پدیدهٔ فیزیکی، باید اثرهای جزئی‌تر را نادیده گرفته امّا اثرهای مهم و تعیین‌کننده را در نظر بگیریم.

در ادامه با یک مثال مهم از مدل‌سازی آشنا می‌شویم:

مثال حرکت توپ بسکتبال در هوا:

شکل واقعی: 	پیچیدگی‌ها: ۱) توپ هنگام حرکت می‌چرخد. ۲) وزن توپ با تغییر ارتفاع تغییر می‌کند. ۳) مقاومت هوا و باد به توپ نیرو وارد می‌کنند. ۴) توپ یک کرهٔ کامل نیست و درزها و برجستگی‌هایی دارد.
شکل مدل:	فرض‌ها: ۱) از چرخش توپ صرف‌نظر می‌کنیم. ۲) وزن توپ را ثابت فرض می‌کنیم. ۳) اثر مقاومت هوا و باد را نادیده می‌گیریم. ۴) از ابعاد توپ صرف‌نظر کرده و آن را مانند یک نقطه (یک ذره) در نظر می‌گیریم.

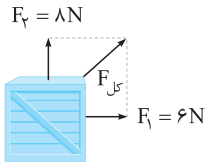
مرحلهٔ (۲) معرفی کمیت‌ها و یکاها

به هر پدیده‌ای که در فیزیک قابل اندازه‌گیری است، کمیت گفته می‌شود. در ادامه با انواع مختلف کمیت‌ها آشنا می‌شویم.

کمیت‌های نرده‌ای و برداری

الف) **کمیت‌های نرده‌ای:** کمیت‌هایی هستند که برای بیان آن‌ها تنها از یک عدد و یکای مناسب استفاده می‌شود. نام دیگر کمیت‌های نرده‌ای، کمیت‌های عددی یا اسکالر است. برای جمع کردن کمیت‌های عددی از جمع جبری استفاده می‌شود. بطور مثال، جرم یک کمیت عددی است. (هنگامی که از مادر خود می‌پرسید: چند کیلو خیار بخرم؟ او در جواب می‌گوید: ۴kg . بنابراین کمیت جرم با یک عدد و یک یکای مناسب گزارش می‌شود.)

ب) **کمیت‌های برداری:** کمیت هایی که علاوه‌بر اندازه، دارای جهت نیز هستند، کمیت‌های برداری نام دارند. برای بدست آوردن برایند کمیت‌های برداری از جمع برداری استفاده می‌شود. به‌طور مثال نیرو کمیتی برداری است و هنگام گزارش این کمیت علاوه‌بر یک عدد و یکای مناسب آن، جهت نیرو نیز بیان می‌شود. به‌طور مثال در شکل مقابل به یک جعبه نیروی $F_1 = 6N$ در جهت شرق و نیروی $F_2 = 8N$ در جهت شمال وارد می‌شود که برایند آن‌ها به‌صورت زیر از جمع برداری محاسبه می‌شود:



$$F_{کل} = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} = \sqrt{6^2 + 8^2} = 10N$$

! نکات

۱) برای نوشتن کمیت‌های برداری مانند نیرو، از علامت پیکان بالای نماد آن کمیت استفاده می‌کنیم ($\vec{F}$) . اگر علامت پیکان حذف شود مانند F ، و یا علامت کمیت در قدر مطلق قرار بگیرد مانند $|\vec{F}|$ ، تنها اندازهٔ کمیت مورد نظر است.

۲) در ادامه با چند کمیت نرده‌ای و برداری مهم آشنا می‌شوید که در فیزیک پایه‌های دهم، یازدهم و دوازدهم مطرح می‌شوند.

الف) فشار کمیتی نرده‌ای است و دارای جهت نمی‌باشد.

ب) تمام کمیت‌هایی که دارای یکای ژول می‌باشند، کمیت نرده‌ای هستند. مانند کار، انرژی جنبشی، انرژی پتانسیل، گرما و ...

ج) تمام میدان‌ها کمیت برداری هستند. مانند میدان الکتریکی و میدان مغناطیسی.

کمیت‌های اصلی و فرعی

الف) **کمیت‌های اصلی:** کمیت‌هایی هستند که مستقل از کمیت‌های دیگر می‌باشند و از کمیت‌های دیگر تشکیل نشده‌اند.

در جدول زیر هفت کمیت اصلی به همراه یکای آن‌ها نشان داده شده‌اند. لطفاً این هفت کمیت را خیلی خوب به خاطر بسپارید. هر کمیتی به غیر از این هفت کمیت، یک کمیت فرعی است.

کمیت‌های اصلی و یکای آن‌ها

کمیت	نام یکا	نماد یکا
طول	متر	m
جرم	کیلوگرم	kg
زمان	ثانیه	s
دما	کِلوین	K
مقدار ماده	مُول	mol
جریان‌الکتریکی	آمپر	A
شدت روشنایی	کَندِلا (شمع)	cd

برای انجام اندازه‌گیری‌های درست و قابل اطمینان به یکاهای اندازه‌گیری نیازمندیم که تغییر نکنند و دارای قابلیت باز تولید در مکان‌های مختلف باشند.

در ادامه با سه کمیت اصلی مهم و یکای آن‌ها بیشتر آشنا می‌شویم:

۱) طول

یکای طول در دستگاه بین‌المللی متر (m) است.

در گذشته یک متر به‌صورت یک ده میلیونیم فاصلهٔ استوا تا قطب شمال تعریف می‌شد.

امروزه یک متر برابر مسافتی تعریف می‌شود که نور در مدت زمان $\frac{1}{299792458}$ ثانیه در خلأ طی می‌کند.

نمونهٔ یکای طول، فاصلهٔ میان دو خط نازک حک شده در نزدیکی دو سر میله‌ای از جنس آلیاژ پلاتین - ایریدیوم در دمای $0^\circ C$ است.

۲) جرم

یکای جرم در دستگاه بین‌المللی، کیلوگرم (kg) است.

نمونهٔ یکای جرم، به‌صورت استوانه‌ای فلزی از جنس آلیاژ پلاتین - ایریدیوم تعریف شده است. این استوانه در موزه‌ای در فرانسه نگه‌داری می‌شود.

۳) زمان

یکای زمان در دستگاه بین‌المللی، ثانیه (s) است.

در گذشته یک ثانیه به‌صورت $\frac{۱}{۸۶۴۰۰}$ میانگین روز خورشیدی تعریف می‌شد.

استاندارد کنونی زمان بر اساس دقت بسیار زیاد ساعت‌های اتمی تعریف شده است.

ب) کمیت‌های فرعی: کمیت‌هایی هستند که به کمک روابط و تعاریف فیزیکی برحسب کمیت‌های اصلی تعریف می‌شوند. به‌طور مثال تندی متوسط به‌صورت نسبت مسافت به زمان تعریف می‌شود. بدین ترتیب یکای تندی متوسط که یک کمیت فرعی است برحسب دو یکای اصلی متر و ثانیه به صورت $(\frac{m}{s})$ تعریف می‌شود.

! نکته برای برخی از یکاهای فرعی پرکاربرد، نامی مخصوص قرار داده شده است. بطور مثال یکای نیرو $(\frac{kgm}{s^۲})$ را نیوتون (N) نامیده‌اند. این امر نباید باعث شود که شما کمیت نیرو را به‌عنوان یک کمیت اصلی در نظر بگیرید. هر کمیتی به غیر از هفت کمیت اصلی، یک کمیت فرعی خواهد بود.

پیشوندهای یکاها

اگر در بیان کمیت‌ها با اندازه‌های بسیار بزرگ‌تر یا بسیار کوچک‌تر از یکای اصلی آن کمیت مواجه شویم، برای بیان کمیت از پیشوندهایی که در جدول زیر مشخص شده‌اند استفاده می‌کنیم.

پیشوندهای یکاها

ضریب	پیشوند	نماد	ضریب	پیشوند	نماد
$۱۰^{۲۴}$	یوتا	Y	$۱۰^{-۲۴}$	یوکتو	y
$۱۰^{۲۱}$	زِتا	Z	$۱۰^{-۲۱}$	زِپتو	z
$۱۰^{۱۸}$	اِگزا	E	$۱۰^{-۱۸}$	اَتو	a
$۱۰^{۱۵}$	پِتا	P	$۱۰^{-۱۵}$	فِمتو	f
$۱۰^{۱۲}$	تِرا	T	$۱۰^{-۱۲}$	پیکو	p
$۱۰^{۹}$	گیگا (جیگا)	G	$۱۰^{-۹}$	نانو	n
$۱۰^{۶}$	مِگا	M	$۱۰^{-۶}$	میکرو	μ
$۱۰^{۳}$	کیلو	k	$۱۰^{-۳}$	میلی	m
$۱۰^{۲}$	هِکتو	h	$۱۰^{-۲}$	سانتی	c
$۱۰^{۱}$	دِکا	da	$۱۰^{-۱}$	دِسی	d

تبدیل یکاها

برای تبدیل یکاهای متفاوت یک کمیت به یک‌دیگر می‌توان از دو روش زیر استفاده کرد:

الف) روش تبدیل زنجیره‌ای: در این روش، اندازهٔ کمیت را در یک ضریب تبدیل ضرب می‌کنیم. ضریب تبدیل نسبتی از یکاها است که برابر ۱ می‌باشد. دقت کنید که ضریب تبدیل به صورتی نوشته می‌شود که یکای ناخواسته حذف شده و عدد مورد نظر برحسب یکای خواسته شده بدست آید. بطور مثال عدد ۲۰cm را به‌صورت زیر برحسب متر بدست می‌آوریم:

$$۲۰cm = (۲۰cm)(۱) = ۲۰\cancel{cm} \times \underbrace{(\frac{۱m}{۱۰۰\cancel{cm}})}_{\text{ضریب تبدیل}} = ۰/۲m$$

ب) روش تبدیل مستقیم: در این روش ابتدا تفاوت توان‌های پیشوندی مورد نظر را بدست می‌آوریم.

بطور مثال می‌خواهیم 5cm را برحسب km بنویسیم:

پیشوند سانتی‌متر به‌صورت $۱۰^{-۲}$ و پیشوند کیلومتر به‌صورت $۱۰^{۳}$ است و تفاوت آن‌ها به اندازهٔ $۱۰^{۵}$ است. دقت کنید که اگر یکای مورد نظر بزرگ شود باید توان عدد ۱۰، منفی باشد و اگر یکای موردنظر کوچک شود باید توان عدد ۱۰، مثبت باشد. به تبدیل‌های زیر دقت کنید:

$$۵cm = ۵\times۱۰^{-۵}km$$

$$۵km = ۵\times۱۰^{۵}cm$$

مرحلهٔ (۶) **قانون گازها**

اگر یک گاز رقیق باشد می‌توان از نیروی بین مولکول‌های آن صرف‌نظر کرد. در این حالت گاز را گاز کامل می‌نامند. برای یک گاز کامل که دارای فشار، حجم و دما P, V, T است و از n مول مولکول تشکیل شده، مقدار $\frac{PV}{nT}$ همواره ثابت است.

$$PV = nRT \Rightarrow R = \frac{PV}{nT} \quad (\text{ثابت})$$

$$\frac{P_1V_1}{n_1T_1} = \frac{P_2V_2}{n_2T_2} \xrightarrow{\text{یک گاز در محیط بسته}} \frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2} \quad \boxed{\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}}$$

توجه کنید که یکسان بودن واحد P و V در دو طرف معادله باعث می‌شود که یکای P و V را به‌طور دلخواه قرار دهیم، واحد T الزاماً باید برحسب کلوین باشد.

با توجه به رابطه گازها ۳ حالت خاص را می‌توان بررسی کرد:

۱) دمای گاز ثابت باشد. (رابطه بویل - ماریوت)

$$P_1V_1 = P_2V_2 \Rightarrow \frac{P_2}{P_1} = \frac{V_1}{V_2} \Rightarrow \begin{cases} \frac{\Delta P}{P_1} = \frac{\Delta V}{V_2} \\ \frac{\Delta P}{P_2} = \frac{\Delta V}{V_1} \end{cases}$$

۲) فشار گاز ثابت باشد. (رابطه شارل - گی‌لوساک)

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow \begin{cases} \frac{\Delta V}{V_1} = \frac{\Delta T}{T_1} \\ \frac{\Delta V}{V_2} = \frac{\Delta T}{T_2} \end{cases}$$

۳) حجم گاز ثابت باشد.

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \Rightarrow \frac{P_2}{P_1} = \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow \begin{cases} \frac{\Delta P}{P_1} = \frac{\Delta T}{T_1} \\ \frac{\Delta P}{P_2} = \frac{\Delta T}{T_2} \end{cases}$$

۷۹ دمای مقدار معینی گاز کامل از $27^\circ C$ به $77^\circ C$ می‌رسد و شرایطی ایجاد می‌شود که هم‌زمان حجم آن ۴۰ درصد کاهش می‌یابد. در این فرایند فشار گاز چند برابر می‌شود؟ گزینهٔ ۲

۱) $\frac{35}{12}$ ☐ ۲) $\frac{35}{18}$ ☐ ۳) $\frac{18}{35}$ ☐ ۴) $\frac{12}{35}$

حل

$$\left.\begin{array}{l} T_1 = 27 + 273 = 300K \\ T_2 = 77 + 273 = 350K \\ V_2 = \frac{6}{10}V_1 \end{array}\right\} \xrightarrow{\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}} \frac{P_1V_1}{300} = \frac{P_2 \times \frac{6}{10}V_1}{350} \Rightarrow \frac{P_2}{P_1} = \frac{35}{18}$$

۸۰ حجم مقدار معینی گاز کامل در دمای $7^\circ C$ برابر $2L$ است. در فشار ثابت دمای گاز را چند کلوین افزایش دهیم تا حجم گاز $400cm^3$ افزایش یابد؟ (تجربی داخل ۹۷) گزینهٔ ۲

۱) ۴۶ ☐ ۲) ۵۶ ☐ ۳) ۳۱۹ ☐ ۴) ۳۲۹

حل باید همواره برای استفاده از رابطهٔ مقایسه‌ای قانون عمومی گازها، یکاهای هر دو طرف یکسان باشد پس ابتدا حجم اولیه را به cm^3 تبدیل می‌کنیم:

$$2L = 2000cm^3$$

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{\Delta V}{V_1} = \frac{\Delta T}{T_1} \Rightarrow \frac{400}{2000} = \frac{\Delta T}{7+273} \Rightarrow \frac{1}{5} = \frac{\Delta T}{280} \Rightarrow \Delta T = \frac{280}{5} = 56K$$

۸۱ درون استوانه‌ای ۴ لیتر گاز کامل در دمای $27^\circ C$ قرار دارد. فشارسنج، فشار گاز را $4atm$ نشان می‌دهد. اگر دمای گاز را به $87^\circ C$ و حجم آن را به ۸ لیتر برسانیم، فشارسنج فشار گاز را چند اتمسفر نشان می‌دهد؟ (فشار هوای بیرون $1atm$ است.) (تجربی خارج ۹۶) گزینهٔ ۲

۱) ۱ ☐ ۲) ۲ ☐ ۳) ۳ ☐ ۴) ۴ ☐

حل فشارسنج فشار پیمانه‌ای را نشان می‌دهد، بنابراین:

فشار مطلق $P_1 = 4 + 1 = 5atm$

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{5 \times 4}{300} = \frac{P_2 \times 8}{360} \Rightarrow P_2 = 3atm$$

فشار پیمانه‌ای = عددی که فشارسنج نمایش می‌دهد $= 3 - 1 = 2atm$

تذکر در رابطهٔ قانون گازهای کامل باید فشار مطلق گاز جایگذاری شود.

۸۲ گزینهٔ ۱

در شکل مقابل، جرم پیستون یک کیلوگرم، جرم وزنهٔ روی آن ۴ کیلوگرم و دمای گاز درون ظرف ۲۷ درجهٔ سلسیوس است. اگر دمای گاز را به آرامی به ۸۷ درجهٔ سلسیوس برسانیم، ضمن گرم شدن گاز، چند کیلوگرم وزنه به تدریج باید روی پیستون اضافه کنیم تا پیستون جابه‌جا نشود؟ (سطح قاعدهٔ پیستون $5cm^2$، فشار هوا 10^5 پاسکال و $g = 10 m/s^2$ است.) (ریاضی داخل ۹۶)

۱) ۲ ۲) ۳ ۳) ۶ ۴) ۷

حل ابتدا در حالت اول فشار وارد شده را محاسبه می‌کنیم که ناشی از نیروی وزن پیستون و وزنه و فشار هوا است.

$$P_1 = \frac{(m+m')g}{A} + P_0 = \frac{5\times 10}{5\times 10^{-4}} + 10^5 = 10^5 + 10^5 = 2\times 10^5 Pa$$

حال با استفاده از رابطهٔ قانون عمومی گازها، در اثر افزایش دما، فشار گاز را در حالتی که پیستون جابه‌جا نگردد (حجم ثابت)، محاسبه می‌کنیم:

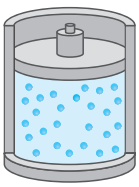
$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2} \xrightarrow{V_1=V_2} \frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \Rightarrow \frac{2\times 10^5}{300} = \frac{P_2}{360} \Rightarrow P_2 = 2/4\times 10^5 Pa$$

در ادامه جرم وزنهٔ اضافه شده (m') را بدست می‌آوریم:

$$P_2 = \frac{(1+4+m')\times 10}{5\times 10^{-4}} + 10^5 \Rightarrow 2/4\times 10^5 = \frac{(5+m')\times 10}{5\times 10^{-4}} + 10^5 \Rightarrow m' = 2kg$$

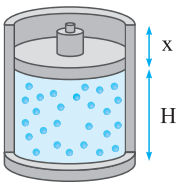
۸۳ گزینهٔ ۴

مطابق شکل، یک پیستون متحرک بدون اصطکاک را که ارتفاع اولیهٔ آن ۱۰cm است، در اختیار داریم. در داخل سیلندر مقداری گاز در دمای $273^\circ C$ قرار دارد. اگر دمای گاز درون سیلندر را با دادن گرما برحسب سلسیوس ۵ برابر کنیم، پیستون چند سانتی‌متر بالا می‌رود؟



۱) ۵ ۲) ۱۰ ۳) ۱۵ ۴) ۲۰

حل از آنجایی که پیستون بدون اصطکاک است، بنابراین فرآیند بصورت هم فشار صورت می‌گیرد. با فرض آنکه پس از افزایش دما پیستون به اندازهٔ x بالاتر می‌آید داریم:

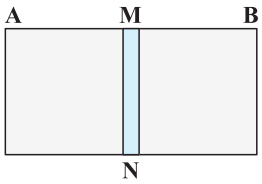


$$\frac{V'}{V} = \frac{T'}{T} \Rightarrow \frac{(H+x)\cancel{A}}{H\cancel{A}} = \frac{T'}{T} \Rightarrow \frac{10+x}{10} = \frac{273+(5\times 273)}{273+273}$$

$$\Rightarrow \frac{10+x}{10} = \frac{6\times 273}{2\times 273} \Rightarrow \frac{10+x}{10} = 3 \Rightarrow 10+x = 30 \Rightarrow x = 20cm$$

۸۴ گزینهٔ ۲

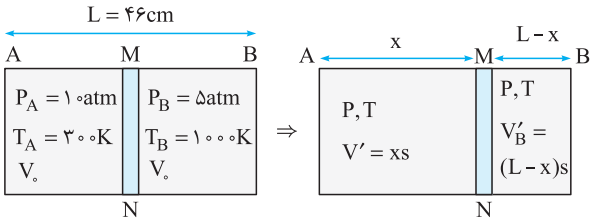
در شکل زیر، پیستون MN که از هدایت گرمایی خوبی برخوردار است، استوانهٔ AB را به دو قسمت مساوی تقسیم کرده و می‌تواند آزادانه در استوانه جابه‌جا شود. پیستون را ثابت نگه داشته و در طرف A، گازی با فشار ۱۰ اتمسفر و دمای $27^\circ C$ و در طرف دیگر گازی با فشار ۵ اتمسفر و دمای $727^\circ C$ وارد می‌کنیم. سپس پیستون را رها کرده و اجازه می‌دهیم زمان کافی بگذرد تا دو گاز هم دما شوند. در این حالت فاصلهٔ AM چند سانتی‌متر خواهد شد؟ (طول استوانه $AB = 46cm$ است.)



۱) ۲۷/۶
۲) ۴۰
۳) ۵۰
۴) ۵۵

حل در ابتدا حجم دو گاز برابر می‌باشد. فشار اولیه، حجم اولیه و دمای اولیهٔ گاز طرف A به‌ترتیب $P_A = 10atm$ و V_0 و $T_A = 273+27 = 300K$ و فشار اولیه و حجم اولیه و دمای اولیهٔ گاز طرف B به‌ترتیب $P_B = 5atm$ و V_0 و $T_B = 273+727 = 1000K$ می‌باشد.

در حالت نهایی، پس از رها کردن پیستون، سرانجام پیستون در جایی خواهد ایستاد که فشار دو گاز در دو طرف مخزن یکسان باشد. چون پیستون رسانای گرما است، دمای گاز در دو قسمت مخزن نیز سرانجام یکسان و برابر خواهد بود. فشار و دمای نهایی گازها را با P و T نشان می‌دهیم. همچنین فرض می‌کنیم که در حالت نهایی، پیستون در موقعیت نشان داده شده در شکل زیر قرار بگیرد. در این حالت حجم نهایی گاز طرف A برابر $V'_A = xs$ و حجم نهایی گاز طرف B برابر $V'_B = (L-x)s$ خواهد بود. (s سطح مقطع استوانه می‌باشد.)



حال برای هر یک از گازهای A و B قانون گازهای کامل را به‌صورت جداگانه و بین دو حالت ابتدایی و نهایی به‌کار می‌بریم:

$$\text{گاز طرف A}: \frac{P_A V_\circ}{T_A} = \frac{PV'_A}{T} \Rightarrow \frac{10 \times V_\circ}{300} = \frac{P \times xs}{T}$$

$$\text{گاز طرف B}: \frac{P_B V_\circ}{T_B} = \frac{PV'_B}{T} \Rightarrow \frac{5 \times V_\circ}{1000} = \frac{P \times (L-x)s}{T}$$

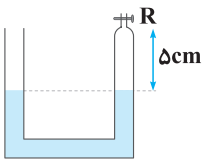
حالا طرفین معادلات به‌دست آمده را بر هم تقسیم می‌کنیم و معادله زیر را به‌دست می‌آوریم:

$$\Rightarrow \frac{\frac{10}{300} V_\circ}{\frac{5}{1000} V_\circ} = \frac{x \times P\frac{s}{T}}{(46-x) \times P\frac{s}{T}} \Rightarrow \frac{10000}{1500} = \frac{x}{46-x} \Rightarrow \frac{20}{3} = \frac{x}{46-x}$$

$$\Rightarrow 3x = 20 \times 46 - 20x \Rightarrow 23x = 20 \times 46 \Rightarrow x = \frac{20 \times 46}{23} = 40\,cm$$

۸۵ گزینهٔ ۱

در شکل مقابل، شیر R را بسته و دمای هوای محبوس در لوله را از ۳۹ درجهٔ سلسیوس، چند درجه افزایش بدهیم تا اختلاف ارتفاع ستون جیوه در دو لوله به ۲ سانتی‌متر برسد؟ (فشار هوای محل ۷۸ سانتی‌متر جیوه و قطر دو لوله با یک‌دیگر مساوی است. از انبساط جیوه و ظرف صرف‌نظر کنید.) (ریاضی داخل ۹۶)

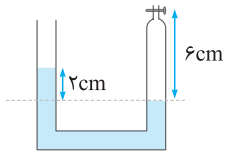


۱) ۷۲ ۲) ۱۰۰ ۳) ۲۱۱ ۴) ۳۸۴

حل هنگامی که شیر بسته و دمای محل $39^\circ C$ است، فشار هوای محل $78cmHg$ است بنابراین:

$$P_{1gas} = P_\circ = 78cmHg$$

حال که دما افزایش می‌یابد جیوه در ستون سمت راست $1cm$ پایین می‌آید و $1cm$ در ستون سمت چپ بالا می‌رود تا اختلاف ارتفاع به $2cm$ برسد بنابراین:



$$P_{2gas} = P_\circ + 2cmHg = 80cmHg$$

اکنون با استفاده از قانون عمومی گازها می‌توان نوشت:

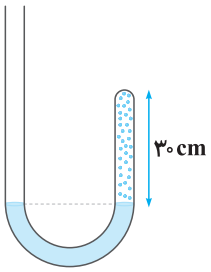
$$\frac{P_2 V_2}{T_2} = \frac{P_1 V_1}{T_1} \Rightarrow \frac{80(6 \times A)}{T_2} = \frac{78 \times (5 \times A)}{312} \Rightarrow T_2 = 384\,K$$

می‌دانیم تغییرات دما برحسب درجهٔ کلوین برابر با تغییرات دما برحسب درجهٔ سلسیوس است در نتیجه:

$$\Delta T = \Delta\theta \Rightarrow \Delta\theta = 384 - 312 = 72^\circ C$$

۸۶ گزینهٔ ۴

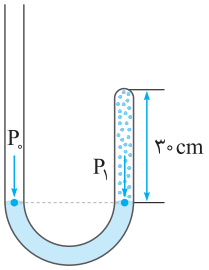
در شکل مقابل، در ابتدا ارتفاع جیوه در دو طرف لوله یکسان است و مقداری گاز کامل در طرف راست لوله محبوس است. اگر جیوه به شاخهٔ سمت چپ افزوده شود به‌طوری‌که اختلاف ارتفاع جیوه در دو طرف لوله به ۳۸ سانتی‌متر برسد، ارتفاع ستون گاز چند سانتی‌متر می‌شود؟ (فشار هوا ۷۶ سانتی‌متر جیوه است و دما ثابت فرض می‌شود.) (تجربی داخل ۹۶)



۱) ۵ ۲) ۱۰ ۳) ۱۵ ۴) ۲۰

حل وضعیت لوله را قبل و بعد از اضافه کردن جیوه بررسی کرده و سپس قانون گازها را بین دو حالت می‌نویسیم.

حالت (۱): قبل از اضافه شدن جیوه

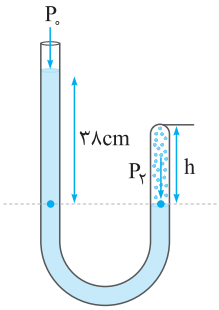


$$P_1 = P_\circ = 76cmHg$$

$$V_1 = Ah = 30A$$

$$T_1 = T$$

حالت (۲): پس از اضافه شدن جیوه به شاخه سمت چپ



$$P_2 = P_\circ + 38 = 76 + 38 = 114cmHg$$

$$V_2 = Ah$$

$$T_2 = T$$

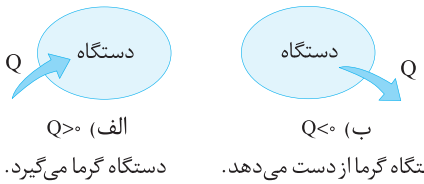
حال بین حالت (۱) و (۲) قانون گازهای کامل را می‌نویسیم:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \xrightarrow{T_1 = T_2} P_1 V_1 = P_2 V_2 \Rightarrow 76 \times (30A) = 114 \times (Ah) \Rightarrow h = 20cm$$

راه‌های مبادلهٔ انرژی

یک دستگاه به دو طریق می‌تواند با محیط اطراف خود به مبادلهٔ انرژی بپردازد: ۱) گرما ۲) کار. هنگامی‌که دستگاه با محیط اطراف به مبادلهٔ انرژی می‌پردازد، انرژی درونی آن (U) تغییر می‌کند.

گرما (Q): گرما نوعی انرژی است که صرفاً به‌دلیل وجود اختلاف دما بین دو جسم مبادله می‌شود. اگر دستگاه گرما را از محیط جذب کند علامت Q را مثبت و اگر به محیط گرما بدهد علامت Q را منفی در نظر می‌گیریم.



ب) $Q<0$ دستگاه گرما از دست می‌دهد.

الف) $Q>0$ دستگاه گرما می‌گیرد.

مقدار گرمای مبادله شده برای یک گاز در محدودهٔ کتاب درسی فقط در فشار ثابت و حجم ثابت قابل محاسبه است، به‌گونه‌ای که برای n مول گاز کامل با تغییر دمای ΔT خواهیم داشت:

فشار ثابت: $Q_P = nC_P\Delta T \xrightarrow{P.\Delta V=nR\Delta T} Q_P = \frac{C_P}{R}P\cdot\Delta V$

حجم ثابت: $Q_V = nC_V\Delta T \xrightarrow{\Delta P.V=nR\Delta T} Q_V = \frac{C_V}{R}V.\Delta P$

C_P ظرفیت گرمایی ویژه مولی گاز در فشار ثابت و C_V ظرفیت گرمایی ویژهٔ مولی گاز در حجم ثابت است و مقادیر آن به‌ترتیب روبه‌رو است:

	C_V	C_P
گاز کامل تک اتمی	$\frac{3}{2}R$	$\frac{5}{2}R$
گاز کامل دو اتمی	$\frac{5}{2}R$	$\frac{7}{2}R$

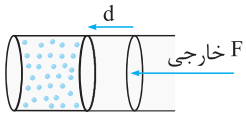
نکته! برای هر گاز کامل اختلاف C_P و C_V ثابت است و برابر با ثابت گازها (R) می‌باشد:

$C_P - C_V = R$ برای هر گاز کامل

کار: همان‌گونه که در فصل کار و انرژی گفته شد، یک نیرو در صورتی که بتواند باعث جابه‌جایی شود، قادر به انجام کار است. پس اگر نیرویی به دستگاه وارد شود و مرز دستگاه را جابه‌جا کند (حجم دستگاه تغییر کند) روی دستگاه کار انجام می‌شود. در ترمودینامیک کار انجام شده توسط محیط روی دستگاه را با W و کار انجام شده توسط دستگاه روی محیط را با W' نشان می‌دهیم و واضح است که:

$W' = -W$

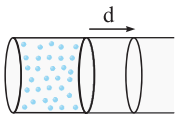
هنگامی‌که حجم کاهش می‌یابد زاویهٔ بین نیروی خارجی و جابه‌جایی صفر درجه است و علامت کار (W) مثبت است.



فرآیند تراکمی (انقباضی)

$V \downarrow \xrightarrow[\text{انقباض}]{\Delta V<0} W>0$

هنگامی‌که حجم افزایش می‌یابد زاویهٔ بین نیروی خارجی و جابه‌جایی 180° است و علامت کار (W) منفی است.

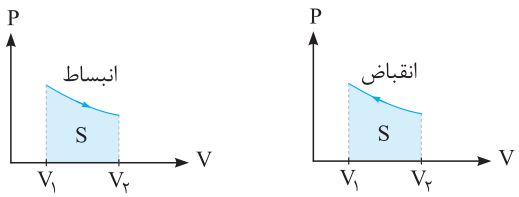


فرآیند انبساطی

$V \uparrow \xrightarrow[\text{انبساط}]{\Delta V>0} W<0$

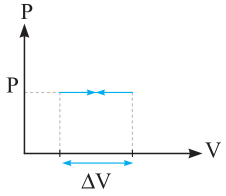
هنگامی‌که $W>0$ است به دستگاه انرژی وارد می‌شود و هنگامی‌که $W<0$ است انرژی از آن خارج می‌شود.

اندازهٔ کار انجام شده روی دستگاه (W) برابر با مساحت زیر نمودار $P-V$ است.



$|W| = S$ $\quad W = -S$ $\qquad$ $|W| = S$ $\quad W = +S$

در فرآیند فشار ثابت سطح زیر نمودار به شکل مستطیل است و خواهیم داشت:



$$|W| = P.\Delta V$$

انرژی درونی گاز (U)

انرژی درونی یک گاز برابر مجموع انرژی‌های میکروسکوپی ذرات تشکیل‌دهنده است و مقدار آن متناسب با مقدار ماده (n) و دمای مطلق گاز (T) است.

می‌توان ثابت کرد برای n مول گاز کامل در دمای مطلق T که ظرفیت گرمایی ویژهٔ آن در حجم ثابت C_V است خواهیم داشت:

$$U = nC_VT \Rightarrow \Delta U = nC_V\Delta T \Rightarrow \begin{cases} \text{گاز تک اتمی } \Delta U = \frac{3}{2}nR\Delta T = \frac{3}{2}\Delta(P.V) \\ \text{گاز دو اتمی } \Delta U = \frac{5}{2}nR\Delta T = \frac{5}{2}\Delta(P.V) \end{cases}$$

تذکر دو رابطهٔ فوق در هر فرآیند دلخواه برقرار است.

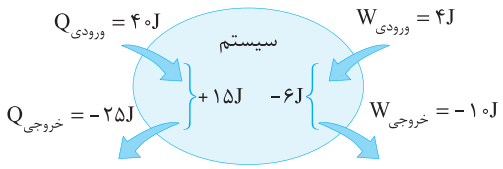
واضح است که اگر دما افزایش یابد ($\Delta T > 0$)، انرژی درونی گاز نیز افزایش می‌یابد ($\Delta U > 0$) و در صورت کاهش دما ($\Delta T < 0$) انرژی درونی گاز کاهش می‌یابد. ($\Delta U < 0$)

قانون اول ترمودینامیک

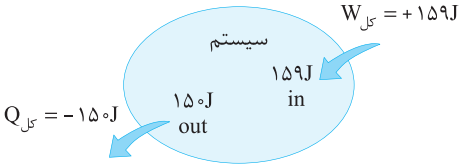
طبق قانون اول ترمودینامیک، تغییر انرژی درونی دستگاه برابر جمع جبری کار انجام شده روی دستگاه و گرمای مبادله شده با آن است.

$$\Delta U = W + Q$$

قانون اول ترمودینامیک در واقع همان قانون پایستگی انرژی است که برای فرآیندهای ترمودینامیکی به‌کار می‌رود. در شکل زیر مثالی از محاسبهٔ ΔU با استفاده از قانون اول ترمودینامیک آورده شده است.



$$\Delta U = Q + W = 15J - 6J = +9J$$



$$\Delta U = Q + W = -150J + (+159J) = +9J$$

نکته برای مقادیر ΔU و W و علامت آن‌ها رابطهٔ کلی وجود دارد اما مقدار و علامت Q در کتاب درسی فقط در حجم ثابت و فشار ثابت بررسی شده است. پس به‌طور کلی در هر فرآیند دلخواه علامت و مقدار Q را می‌توان از قانون اول ترمودینامیک به‌دست آورد.

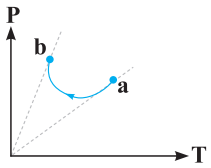
$$Q = \Delta U - W$$

خلاصه مطالب گفته شده در جدول زیر آورده شده است:

انرژی در ترمودینامیک	شرط وجود	بررسی علامت			رابطهٔ کلی	رابطهٔ خاص
		علامت وابسته است به	علامت مثبت	علامت منفی		
گرما (Q)	اختلاف دما با محیط و فرصت کافی برای مبادلهٔ گرما	W و ΔU	گاز گرما بگیرد $Q > 0$	گاز گرما از دست بدهد $Q < 0$	$Q = \Delta U - W$	فشار ثابت $Q_P = nC_p\Delta T$ حجم ثابت $Q_V = nC_V\Delta T$
کار (W)	تغییر حجم	حجم (V)	کاهش حجم $V \downarrow \Rightarrow W > 0$	افزایش حجم $V \uparrow \Rightarrow W < 0$	$\|W\| = S_{P-V}$ زیر نمودار	فشار ثابت $\|W\| = P.\Delta V$
تغییر انرژی درونی (ΔU)	تغییر دما	دما (T)	دما افزایش $T \uparrow \Rightarrow \Delta U > 0$	دما کاهش $T \downarrow \Rightarrow \Delta U < 0$	$\Delta U = nC_V\Delta T$	گاز تک اتمی $\Delta U = \frac{3}{2}nR\Delta T$ گاز دو اتمی $\Delta U = \frac{5}{2}nR\Delta T$

۱۷ گزینهٔ ۲

در شکل زیر فرایند $a \to b$ مربوط به یک گاز کامل است. علامت ΔU، Q و W به‌ترتیب از راست به چپ کدام است؟



۱) مثبت، منفی، مثبت

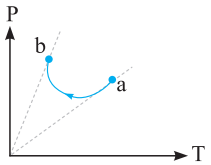
۲) منفی، منفی، مثبت

۳) مثبت، مثبت، منفی

۴) منفی، مثبت، مثبت

حل شیب خط عبوری از a و مبدأ کم‌تر از شیب خط عبوری از b و مبدأ است بنابراین $V_a > V_b$ بوده و در نتیجه $\Delta V < 0$ و $W > 0$ می‌باشد.

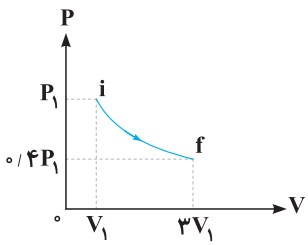
هم‌چنین $\Delta T < 0$ بوده و در نتیجه $\Delta U < 0$ می‌باشد. در مورد علامت Q نیز می‌توان گفت:



$$\Delta U = Q + W \Rightarrow Q = \underset{\Delta U<0}{\Delta U} - \underset{W>0}{W} \Rightarrow Q < 0$$

۱۸ گزینهٔ ۳

مطابق شکل مقابل، مقداری گاز کامل، طی فرایندی از حالت i به حالت f می‌رسد. در مورد این فرایند می‌توان گفت: (ریاضی داخل ۹۳)



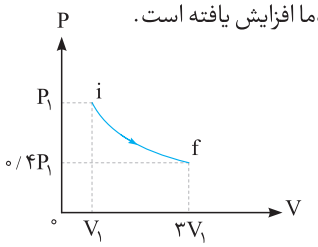
۱) فرایند هم‌دما است.

۲) فرایند بی‌دررو است.

۳) گاز گرما گرفته است.

۴) کار انجام شده روی گاز مثبت است.

حل فرایند انبساطی است پس علامت کار منفی است. برای تعیین دما با توجه به افزایش حاصلضرب P و V، دما افزایش یافته است.



$$\left.\begin{array}{l} T_i \propto (P_iV_i) = P_1V_1 \\ T_f \propto (P_fV_f) = 1/2P_1V_1 \end{array}\right\} \Rightarrow T_f > T_i$$

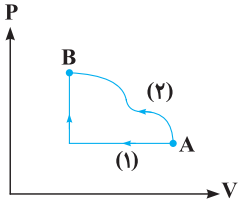
به‌دلیل افزایش دما $\Delta U > 0$ است.

$$\Delta U = \underset{\Delta U>0}{W} + \underset{W<0}{Q} \Rightarrow Q > 0$$

پس گاز گرما گرفته است.

۱۹ گزینهٔ ۲

مقداری گاز کامل مطابق شکل از طریق دو مسیر می‌تواند از حالت A به B برود، اندازهٔ کار انجام شده در مسیر ..... بیشتر و گرمای مبادله شده با محیط در مسیر ..... بیشتر است.



۱) ۱ - ۲

۲) ۲ - ۱

۳) ۲ - ۲

۴) ۱ - ۱

حل بدیهی است که کار انجام شده در فرایند (۲) اندازهٔ بزرگتری دارد، چون مساحت زیر نمودار آن بزرگ‌تر است:

$$|W_2| > |W_1|$$

ولی چون در هر دو فرایند حجم کم شده است، پس علامت کارها مثبت خواهد بود. برای مقایسهٔ میزان گرمای مبادله شده می‌گوییم، تغییرات انرژی درونی در هر دو مسیر یکسان است. بنابراین:

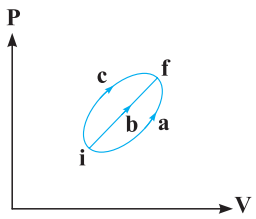
$$\Delta U_1 = \Delta U_2 \Rightarrow Q_1 + W_1 = Q_2 + W_2$$

کارها مثبت هستند، پس:

$$Q_1 + |W_1| = Q_2 + |W_2| \Rightarrow Q_1 - Q_2 = |W_2| - |W_1| \xrightarrow{|W_2|-|W_1|>0} Q_1 > Q_2$$

۲۰ گزینهٔ ۱

نمودار $P - V$ ی گاز کاملی که از سه مسیر a، b و c از حالت i به حالت f می‌رود، مطابق شکل است. اگر تغییر انرژی درونی گاز ΔU و گرمایی که گاز می‌گیرد Q باشد، کدام رابطه درست است؟ (ریاضی داخل ۹۲)



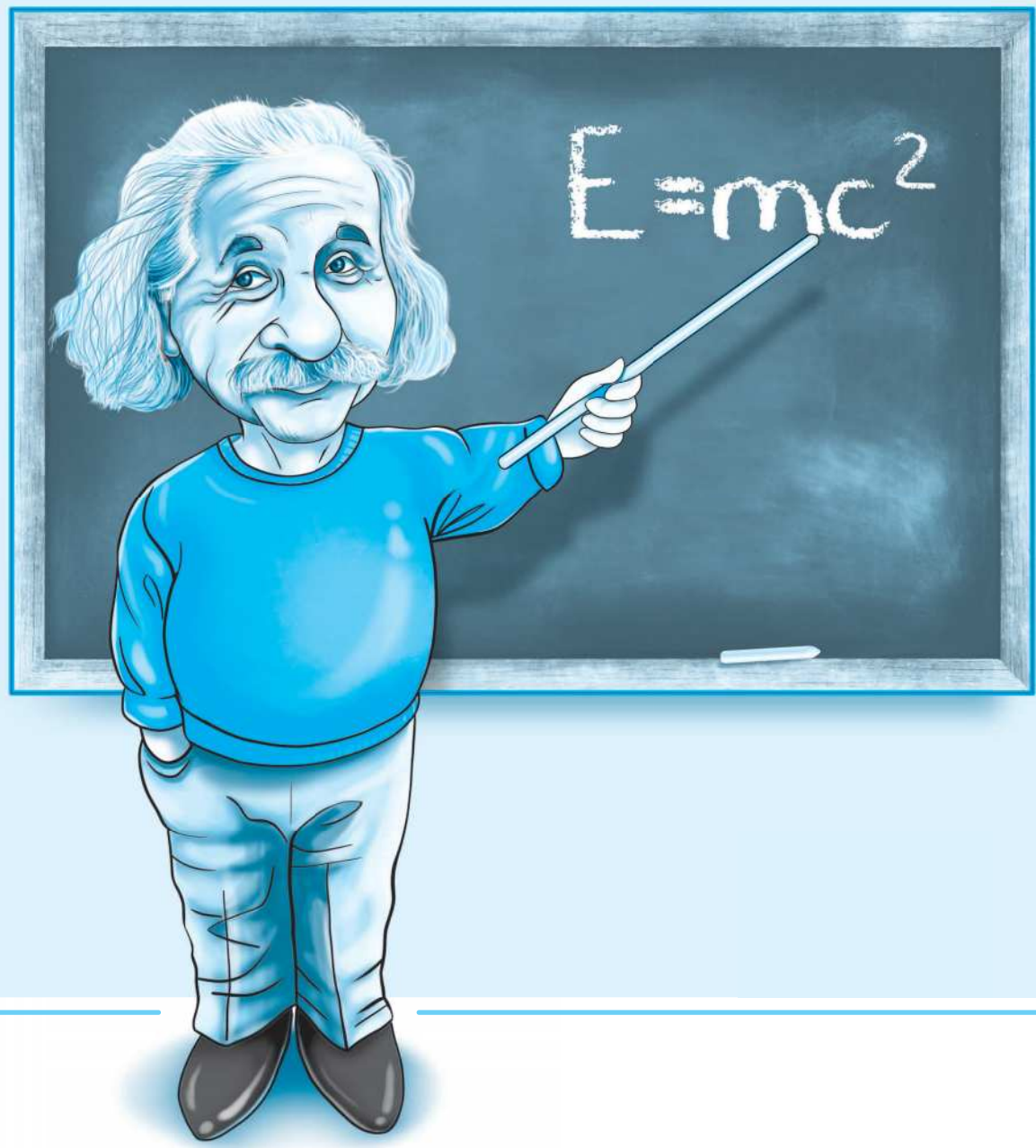
۱) $Q_c > Q_b > Q_a$

۲) $Q_a > Q_b > Q_c > 0$

۳) $\Delta U_a = \Delta U_b = \Delta U_c < 0$

۴) $\Delta U_a = \Delta U_b = \Delta U_c = 0$

پایهٔ یازدهم



فصل اول
الکتریسیته ساکن

مرحلهٔ (۱) — بار الکتریکی

هر جسم از ذرات کوچکی به‌نام اتم تشکیل شده است که بار الکتریکی آن‌ها خنثی است. دلیل خنثی بودن بار الکتریکی اتم، برابر بودن تعداد الکترون‌ها (ذرات با بار منفی) و پروتون‌ها (ذرات با بار مثبت) آن است. کم‌ترین بار الکتریکی ممکن بار یک الکترون یا پروتون است که مقدار آن را با e نمایش می‌دهیم و به آن بار بنیادین گفته می‌شود. بار یک جسم همواره مضرب صحیحی از بار یک الکترون است که اصطلاحاً گفته می‌شود بار، یک کمیت کوانتومی یا گسسته است.

یکای بار الکتریکی در SI کولن (C) می‌باشد.

$q = \pm ne$

n ← تعداد الکترون‌ها یا پروتون‌های اضافی

$e = 1/6 \times 10^{-19} C$

راه‌های ایجاد بار الکتریکی

۱) **روش مالش:** بنا به اصل پایستگی بار الکتریکی، بار به‌وجود نمی‌آید و از بین نمی‌رود بلکه از جسمی به جسم دیگر انتقال می‌یابد. پس اگر دو جسم به هم مالش داده شوند، در صورتی که در آن‌ها بار الکتریکی به‌وجود بیاید، مقدار بار هر دو با هم برابر است.

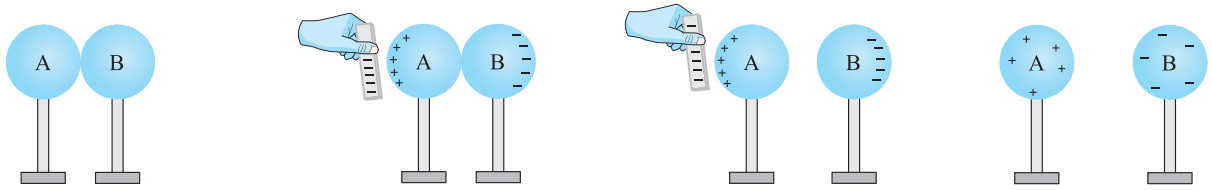
از روش مالش تنها برای باردار کردن اجسام نارسانا می‌توان استفاده کرد. اگر یک تیغهٔ پلاستیکی یا پلی‌اتیلن را با پارچهٔ پشمی مالش دهیم در میله بار منفی و در پارچه بار مثبت ایجاد می‌شود. اگر یک میلهٔ شیشه‌ای را با یک پارچهٔ ابریشمی مالش دهیم بار میله مثبت و بار پارچه منفی خواهد بود.

به‌طور کلی علامت بار دو جسم در اثر مالش بر اساس جدولی موسوم به سری الکتریسیتهٔ مالشی (تریبوالکتریک) تعیین می‌شود. در این جدول اگر دو ماده با یکدیگر مالش داده شوند الکترون‌ها از ماده بالاتر جدول به ماده پایین‌تر جدول منتقل می‌شود و جسم بالاتر بار مثبت و جسم پایین‌تر بار منفی خواهد داشت.

۲) **روش تماس:** در این روش جسمی را که از قبل باردار است به یک جسم بدون بار تماس می‌دهیم و قسمتی از بار جسمی که در ابتدا باردار بوده به جسم بدون بار منتقل می‌شود. در این روش بار دو جسم همنام است.

۳) **روش القا:** از این روش تنها برای باردار کردن اجسام رسانا می‌توان استفاده کرد. بار نهایی ایجاد شده در جسم القا شده با بار جسم القاکننده ناهمنام است.

از این روش می‌توان برای ایجاد بار الکتریکی هم‌اندازه و ناهمنام در دو کرهٔ رسانا به شکل زیر استفاده کرد.

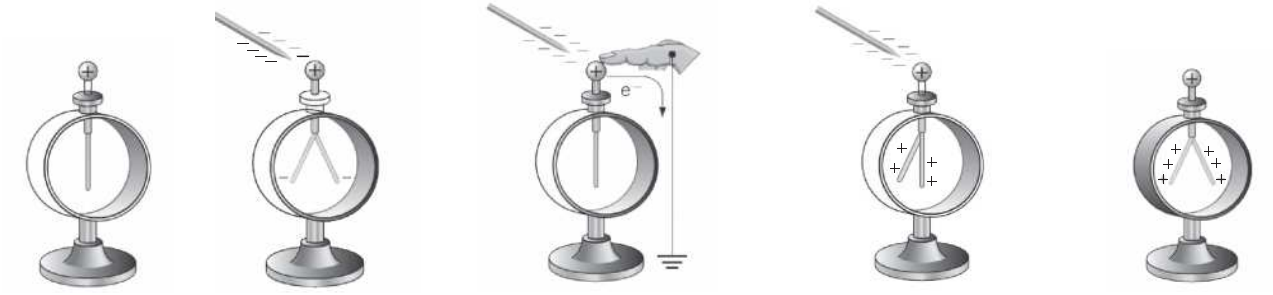


(۱) (۲) (۳) (۴)

الکتروسکوپ (برق‌نما)

یک الکتروسکوپ از یک کلاهک مسی متصل به دو ورقهٔ نازک از جنس طلا تشکیل شده است. مطابق شکل، هنگامی که یک جسم باردار را به کلاهک الکتروسکوپ خنثی نزدیک می‌کنیم، به‌دلیل القای بار الکتریکی ورقه‌ها دارای بار الکتریکی شده و به علت دافعه، ورقه‌ها از هم باز می‌شوند. هر چقدر بار جسم بیشتر باشد میزان باز شدن ورقه‌ها بیشتر خواهد بود.

برای تعیین نوع بار یک جسم رسانا باید از یک الکتروسکوپ باردار استفاده کرد. برای باردار کردن الکتروسکوپ مطابق شکل زیر از روش القا استفاده می‌کنیم.



الکتروسکوپ دارای بار مثبت — الکتروسکوپ کمبود الکترون پیدا می‌کند. — الکترون‌ها به زمین منتقل می‌شوند. — در ورقه‌ها بار منفی القا می‌شود. — الکتروسکوپ خنثی

اگر یک جسم باردار را به کلاهک یک الکتروسکوپ دارای بار مشخص نزدیک کنیم و ورقه‌های الکتروسکوپ بیشتر باز شود، می‌توان نتیجه گرفت که بار جسم با بار الکتروسکوپ همنام است. در صورتی که ورقه‌های الکتروسکوپ کمی بسته شوند بار جسم با بار الکتروسکوپ ناهمنام است. گاهی اوقات مشاهده می‌شود که با نزدیک کردن جسم به کلاهک الکتروسکوپ ورقه‌ها به‌سرعت بسته شده و مجدداً مقداری باز می‌شوند؛ در این حالت نیز بار جسم با بار الکتروسکوپ ناهمنام است و نسبت بار جسم به بار الکتروسکوپ بسیار بزرگ است.

۱ گزینهٔ ۴

چند الکترون باید از یک سکهٔ خنثی خارج شود، تا بار الکتریکی آن $+1\mu C$ شود؟ $(e = 1/6\times10^{-19}C)$ (ریاضی داخل ۹۵)

۱) $1/6\times10^{6}$ ۲) $1/6\times10^{12}$ ۳) $6/25\times10^{6}$ ۴) $6/25\times10^{12}$

حل به‌سادگی می‌توانیم با استفاده از رابطهٔ $q = ne$ تعداد الکترون‌های خارج شده را به‌دست آوریم:

$$q = ne \Rightarrow 1\times10^{-6} = n\times1/6\times10^{-19} \Rightarrow n = 6/25\times10^{12}$$

۲ گزینهٔ ۱

برای اندازه‌گیری بار الکتریکی الکترون از آزمایش میلیکان استفاده می‌شود. در آزمایش میلیکان، روی یک قطرهٔ روغن مقداری بار الکتریکی وجود دارد. این قطرهٔ روغن در یک میدان الکتریکی معلق می‌ماند. با اندازه‌گیری جرم قطرهٔ روغن و دانستن میدان الکتریکی می‌توان بار روی قطرهٔ روغن را به‌دست آورد. بار سه قطره روغن به‌ترتیب $3/9\times10^{-19}C$ ، $6/5\times10^{-19}C$ و $9/1\times10^{-19}C$ اندازه‌گیری شده است. براساس این اندازه‌گیری‌ها کدام‌یک از گزینه‌های زیر می‌تواند بار یک الکترون باشد؟

۱) $1/3\times10^{-19}C$ ۲) $2/6\times10^{-19}C$ ۳) $1/6\times10^{-19}C$ ۴) $3/9\times10^{-19}C$

حل کوچک‌ترین واحد بار الکتریکی، بار الکترون است. اندازهٔ بار الکتریکی هر جسم باردار مضرب صحیحی از بار یک الکترون می‌باشد، بنابراین بزرگ‌ترین مقسوم‌علیه مشترک بارهای اندازه‌گیری شده، همان بار الکترون است. بزرگ‌ترین مقسوم‌علیه مشترک سه بار $3/9\times10^{-19}C$ ، $6/5\times10^{-19}C$ و $9/1\times10^{-19}C$ مقدار $1/3\times10^{-19}C$ است. یعنی هر سه بار به $1/3\times10^{-19}C$ بخش‌پذیرند. پس بار الکترون با این اندازه‌گیری‌ها می‌تواند $1/3\times10^{-19}C$ باشد.

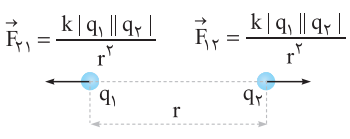
مرحلهٔ (۲) — **قانون کولن**

بنا به قانون کولن نیروی الکتریکی بین دو بار نقطه‌ای با حاصل‌ضرب اندازهٔ بارها، رابطهٔ مستقیم و با مجذور فاصلهٔ آن‌ها رابطهٔ عکس دارد. پس اگر دو بار نقطه‌ای q_1 و q_2 در فاصلهٔ r از یک‌دیگر قرار داشته باشند اندازهٔ نیروی الکتریکی بین دو بار از رابطهٔ مقابل به‌دست می‌آید:

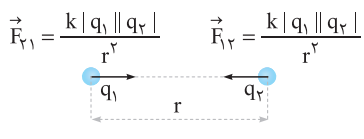
$$F = \frac{k|q_1||q_2|}{r^2}$$

در این رابطه k ثابت کولن یا ثابت الکترواستاتیکی در خلأ و برابر $9\times10^{9}\ \frac{N.m^2}{C^2}$ است و مقدار آن از رابطهٔ $k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$ به‌دست می‌آید. ε_0 ضریب گذردهی الکتریکی خلأ می‌باشد و برابر $8/85\times10^{-12}\ \frac{N.m^2}{C^2}$ است.

بردار نیروی الکتریکی بین دو بار در امتداد خط واصل دو بار است. برای دو بار همنام به شکل رانشی (دافعه) و برای دو بار ناهمنام به شکل ربایشی (جاذبه) است.



نیروی بین دو بار ناهم‌نام به شکل ربایشی است.



نیروی بین دو بار هم‌نام به شکل رانشی است.

! نکات

۱) بنا به قانون سوم نیوتون اندازهٔ نیروی الکتریکی که هر یک از دو بار به دیگری وارد می‌کند با هم برابرند ولی از لحاظ جهت برداری قرینهٔ یکدیگرند.

۲) قانون کولن برای بارهای نقطه‌ای یا بارهای قرار گرفته به شکل متقارن روی دو کره رسانا برقرار است.

۳) قانون کولن ($F = k\frac{|q_1||q_2|}{r^2}$) شبیه به رابطهٔ نیروی گرانشی ($F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$) است، با این تفاوت که نیروی بین دو جرم تنها به شکل جاذبه است اما نیروی الکتریکی می‌تواند هم به شکل جاذبه و هم به شکل دافعه باشد.

۴) اگر تعدادی ذره در یک ناحیه از فضا قرار داشته باشند نیروی الکتریکی وارد بر هر ذره، برایند نیروهایی است که هر یک از ذره‌ها در غیاب سایر ذره‌ها، بر آن ذره وارد می‌کند. این مطلب را اصل برهم نهی نیروهای کولنی می‌گویند.

۳ گزینهٔ ۴

سه جسم A ، B و C را دوبه‌دو به یک‌دیگر نزدیک می‌کنیم. وقتی A و B به یک‌دیگر نزدیک شوند، همدیگر را با نیروی الکتریکی جذب می‌کنند و اگر B و C را به یک‌دیگر نزدیک کنیم، یک‌دیگر را با نیروی الکتریکی دفع می‌کنند. کدام‌یک از گزینه‌های زیر می‌تواند صحیح باشد؟ (تجربی خارج ۹۰)

۱) A و C بار همنام و هم‌اندازه دارند.
۲) B و C بار غیرهم‌نام دارند.
۳) B بدون بار و C باردار است.
۴) A بدون بار و B باردار است.

حل در ابتدا A و B به یک‌دیگر نزدیک شده و یک‌دیگر را جذب کرده‌اند، می‌دانیم هنگامی که دو جسم یک‌دیگر را جذب می‌کنند، یا دارای بارهای ناهمنام هستند و یا یکی از آن‌ها خنثی است.

پس B و C را به هم نزدیک کرده‌ایم و مشاهده کردیم که یک‌دیگر را دفع می‌کنند بنابراین B و C الزاماً باردار و دارای بارهای همنام‌اند.

حال تک‌تک گزینه‌ها را بررسی می‌کنیم:

گزینهٔ (۱): B و C همنام‌اند. از طرفی A ، B را جذب کرده است پس B نمی‌تواند با A همنام باشد بنابراین A و C نیز نمی‌توانند همنام باشند و این گزینه نادرست است.

گزینهٔ (۲): B و C یکدیگر را دفع کرده‌اند پس دارای بار همنام‌اند بنابراین این گزینه هم نادرست است.

گزینهٔ (۳): B و C یکدیگر را دفع کرده‌اند بنابراین هر دو الزاماً باردارند (و بارهای همنام دارند) بنابراین این گزینه هم نادرست است.

گزینهٔ (۴): A و B یکدیگر را جذب کرده‌اند از طرفی مطابق آن‌چه گفته شد، B باردار است بنابراین A می‌تواند دارای بار مخالف با B و یا خنثی (بدون بار) باشد بنابراین گزینهٔ ۴ پاسخ درست است.

۴ گزینهٔ ۴

دو کرهٔ فلزی کوچک با بار الکتریکی منفی، دارای بارهای q_1 و $q_2 = 5q_1$ ، در فاصلهٔ ۳ متری از هم قرار دارند و نیروی دافعهٔ ۰/۰۲N را به یک‌دیگر وارد می‌کنند. کرهٔ با بار الکتریکی q_1 ، دارای چند الکترون است؟ $(k = 9\times10^9\ N.m^2/C^2)$ (تجربی خارج ۹۱)

۱) $2/5\times10^{12}$
۲) $1/25\times10^{12}$
۳) $2/5\times10^{13}$
۴) $1/25\times10^{13}$

حل اندازهٔ نیروی بین دو ذرهٔ باردار از رابطهٔ $F = \frac{k|q_1||q_2|}{r^2}$ به‌دست می‌آید:

$$\left.\begin{matrix} q_1 = q_1 \\ q_2 = 5q_1 \\ r = 3m \\ F = 0/02N \end{matrix}\right\} \Rightarrow 0/02 = \frac{9\times10^9\times q_1\times 5q_1}{(3)^2} \Rightarrow 9\times0/02 = 9\times10^9\times 5q_1^2 \Rightarrow |q_1| = 2\times10^{-6}C$$

برای یافتن تعداد الکترون‌های یک جسم داریم:

$$q = ne \quad , \quad e = 1/6\times10^{-19}$$

$$2\times10^{-6} = n\times1/6\times10^{-19} \Rightarrow n = 1/25\times10^{13}$$

۵ گزینهٔ ۳

دو بار الکتریکی نقطه‌ای مشابه در فاصلهٔ r از هم قرار دارند و نیروی دافعهٔ بین این دو بار برابر ۰/۴N است. اگر به یکی از بارها ۲μC+ اضافه کنیم، این نیروی دافعه در همین فاصله برابر ۰/۶N می‌شود. اندازهٔ اولیهٔ هر یک از بارهای الکتریکی چند میکروکولن بوده است؟

۱) ۱
۲) ۲
۳) ۴
۴) ۶

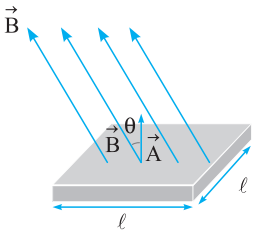
حل قانون کولن را برای هر دو حالت نوشته و بر یکدیگر تقسیم می‌کنیم:

$$\left.\begin{matrix} F_1 = 0/4 = k\frac{q^2}{r^2} \\ F_2 = 0/6 = k\frac{q\times(q+2)}{r^2} \end{matrix}\right\} \Rightarrow \frac{0/4}{0/6} = \frac{q^2}{q^2+2q} \Rightarrow \frac{2}{3} = \frac{q^2}{q^2+2q} \Rightarrow 3q^2 = 2q^2 + 4q \Rightarrow q^2 = 4q \Rightarrow q = +4\mu C$$

فصل چهارم
القای الکترومغناطیسی و جریان متناوب

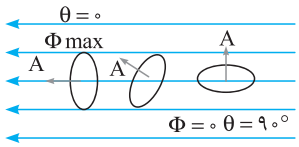
مرحلهٔ (۱) شار مغناطیسی و قانون القای فارادی

شار مغناطیسی یک کمیت نرده‌ای است و برابر با تعداد خطوط میدان مغناطیسی گذرنده از واحد سطح است. اگر مساحت یک حلقه برابر A و زاویه بین نیم‌خط عمود بر سطح و خطوط میدان θ باشد، شار مغناطیسی عبوری از یک حلقهٔ بسته به‌شکل روبه‌رو محاسبه می‌شود:



$$\Phi = BA\cos\theta$$

یکای شار مغناطیسی در SI وبر (Wb) است.



$$1Wb = 1T \times m^2$$

قانون القای فارادی:

هرگاه شار مغناطیسی که از مدار بسته‌ای می‌گذرد تغییر کند، نیرو محرکه‌ای در آن القا می‌شود که بزرگی آن با آهنگ تغییر شار متناسب است. اگر N تعداد حلقه‌ها و R مقاومت الکتریکی باشد با تغییر شار در حلقه، نیرو محرکهٔ ε و جریان I القا می‌شود. در این‌صورت خواهیم داشت:

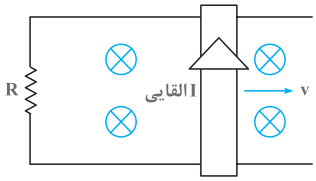
$$\bar{\varepsilon} = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \Rightarrow \bar{I} = \frac{\bar{\varepsilon}}{R} = -\frac{N}{R}\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

نکات

۱ برای محاسبهٔ بار القاشده (Δq) در مدار، با توجه به تعریف شدت جریان الکتریکی متوسط خواهیم داشت:

$$\bar{I} = -\frac{N}{R}\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \Rightarrow \Delta q = -\frac{N}{R}\Delta\Phi$$
$$\bar{I} = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

۲ در حالتی که نیرو محرکهٔ القایی مطابق شکل حاصل از حرکت سیمی به طول l روی دو ریل موازی با سرعت v باشد، برای تعیین نیرو محرکهٔ القایی خواهیم داشت:



$$\varepsilon = Blv$$
$$I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{Blv}{R}$$

در این حالت نیروی وارد بر سیم از طرف میدان برابر است با:

$$F = BIl = Bl\left(\frac{Blv}{R}\right) = \frac{B^2l^2v}{R}$$

۱ سیملوله‌ای به‌طول ۲۰ سانتی‌متر دارای ۱۰۰ حلقه است. حلقه‌ها به دور یک میلهٔ نارسانا به شعاع مقطع ۲cm به‌صورت منظم پیچیده شده‌اند. وقتی جریان ۰/۵A از سیملوله می‌گذرد، شار مغناطیسی گذرنده از آن، چند وبر است؟ ($\pi^2 \simeq 10$ و $\mu_0 = 4\pi\times10^{-7}\ T.m/A$) (ریاضی خارج ۹۲ - با تغییر)

گزینهٔ ۲

۱) 8×10^{-7} ۲) 4×10^{-7} ۳) 12×10^{-5} ۴) 24×10^{-7}

حل ابتدا با استفاده از رابطهٔ میدان مغناطیسی حاصل از سیملولهٔ حامل جریان ($B = \frac{\mu_0 NI}{l}$) میدان مغناطیسی را محاسبه کرده، سپس با استفاده از رابطهٔ شار مغناطیسی ($\phi = AB\cos\theta$) شار مغناطیسی گذرنده از آن را می‌یابیم.

$$\mu_0 = 4\pi\times10^{-7}\ T.m/A$$

$$\text{مساحت مقطع سیملوله} = A = \pi r^2 = \pi(0/02)^2 = 4\pi\times10^{-4}\ ,\ N = 100$$

$$B = \mu_0\frac{NI}{l} \Rightarrow B = 4\pi\times10^{-7}\times\frac{100\times0/5}{20\times10^{-2}} = \pi\times10^{-4}$$

با جای‌گذاری در رابطهٔ شار مغناطیسی داریم:

$$\Phi = AB\cos\theta \xrightarrow{\cos\theta=1} \Phi = 4\pi\times10^{-4}\times\pi\times10^{-4}\times1 \xrightarrow{\pi^2=10} \Phi = 4\times10^{-7}\ Wb$$

۲ گزینهٔ ۴

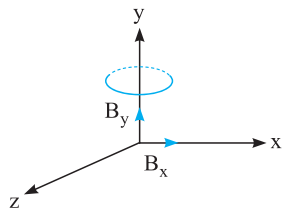
اگر بردار میدان مغناطیسی یکنواختی در SI به‌صورت $\vec{B}=۰/۳\vec{i}+۰/۴\vec{j}$ باشد و حلقه‌ای به مساحت $۲۰۰cm^۲$ که سطح آن موازی محور x و عمود بر محور y است، در این میدان قرار داشته باشد، بزرگی میدان مغناطیسی در آن محیط و شار مغناطیسی عبوری از حلقه در SI از راست به چپ کدام‌اند؟ (ریاضی داخل ۹۲)

۱) صفر، صفر ۲) $۰/۵$ ، ۶×۱۰^{-۲} ۳) $۰/۷$ ، ۸×۱۰^{-۳} ۴) $۰/۵$ ، ۸×۱۰^{-۳}

حل بزرگی میدان مغناطیسی برابر است با:

$$\vec{B}=۰/۳\vec{i}+۰/۴\vec{j}\Rightarrow|\vec{B}|=\sqrt{B_x^۲+B_y^۲}=\sqrt{(۰/۳)^۲+(۰/۴)^۲}=۰/۵T$$

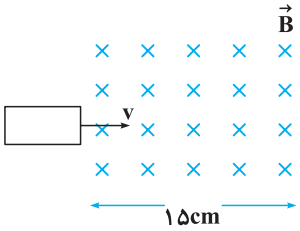
توجه کنید، که تنها مؤلفهٔ y میدان مغناطیسی باعث ایجاد شار مغناطیسی در حلقه می‌شود، زیرا مؤلفهٔ افقی میدان مغناطیسی با سطح حلقه موازی است.

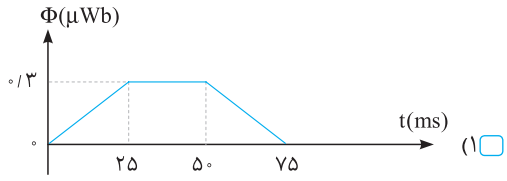


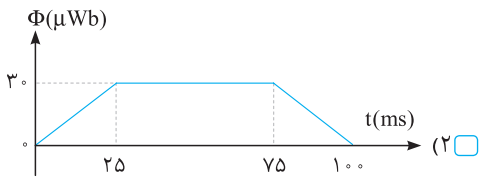
$$\Phi=B_yA=۰/۴\times(۲۰۰\times۱۰^{-۴})=۸\times۱۰^{-۳}Wb$$

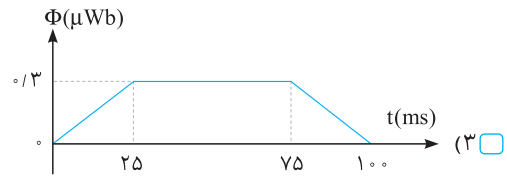
۳ گزینهٔ ۳

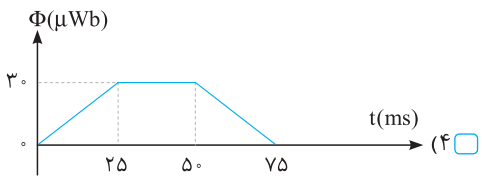
حلقهٔ فلزی مستطیل شکلی به ابعاد $۵cm\times۳cm$ با تندی ثابت $۲m/s$ وارد میدان مغناطیسی یکنواخت $۲G$ می‌شود و از طرف دیگر آن خارج می‌شود. نمودار تغییرات شارمغناطیسی برحسب زمان که از حلقه می‌گذرد، کدام است؟ (ریاضی خارج ۹۷)



۱)


۲)


۳)


۴)


حل هنگامی‌که حلقه در خارج از میدان مغناطیسی است هیچ شاری ازآن عبور نخواهد کرد بنابراین در لحظهٔ $t=۰$ شارمغناطیسی آن صفر است. $(\Phi=۰)$، حال حلقه وارد میدان مغناطیسی می‌گردد. شارمغناطیسی را زمانی که به‌طور کامل وارد میدان مغناطیسی می‌شود به‌صورت زیر محاسبه می‌کنیم [رد گزینهٔ (۲) و (۴)]:

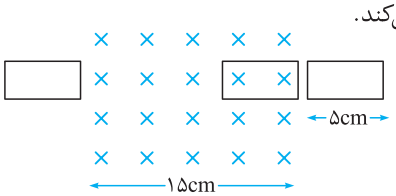
$$\Phi=AB\cos\theta\Rightarrow\Phi=۲\times۱۰^{-۴}\times۱۵\times۱۰^{-۴}\times\cos۰=۳\times۱۰^{-۷}Wb=۰/۳\mu Wb$$

اکنون می‌دانیم حلقه با تندی ثابت وارد میدان مغناطیسی می‌شود پس زمان واردشدن حلقه به‌صورت کامل درون میدان مغناطیسی را به‌دست می‌آوریم:

$$v=\frac{\Delta x}{\Delta t}\Rightarrow\Delta t=\frac{۰/۰۵}{۲}=۲۵ms$$

وقتی حلقه درون میدان مغناطیسی حرکت می‌کند به‌دلیل تغییر نکردن هیچ‌کدام از عوامل تغییر شارمغناطیسی، یعنی تغییر اندازهٔ میدان مغناطیسی، تغییر زاویهٔ حلقه یا تغییر مساحت حلقه می‌توان نتیجه گرفت شارمغناطیسی درون حلقه هیچ تغییری نمی‌کند.

حال مدت زمانی‌که طول می‌کشد تا حلقه به‌طور کامل وارد شود و سپس به‌طور کامل خارج شود را می‌یابیم. حلقه باید مسافت ۲۰ سانتی‌متر را طی کند بنابراین:



$$\Delta x=vt\Rightarrow۲۰\times۱۰^{-۲}=۲\times t\Rightarrow t=\frac{۲۰\times۱۰^{-۲}}{۲}=۰/۱s=۱۰۰ms$$

بنابراین مدت زمانی‌که حلقه درون میدان مغناطیسی به‌طور کامل قرار دارد یا به عبارتی شارمغناطیسی آن بیشینه است، برابر $۱۰۰-۲\times۲۵=۵۰ ms$ می‌باشد که از $t=۲۵ ms$ آغاز و در $t=۷۵ ms$ پایان می‌یابد، بنابراین گزینهٔ (۳) درست است.

۵۵ گزینهٔ ۴

از سیملوله‌ای به ضریب القاوری ۴ ۰/۰ هانری جریان متناوبی می‌گذرد که معادلهٔ آن در SI به‌صورت $I = 5\sin(50\pi t)$ است. بیشینهٔ انرژی سیملوله چند میلی‌ژول است؟ (ریاضی خارج ۹۶)

۱) ۲۰ ☐ ۲) ۵۰ ☐ ۳) ۲۰۰ ☐ ۴) ۵۰۰ ☐

حل با توجه به معادلهٔ $I = 5\sin 50\pi t$، زمانی بیشینهٔ جریان اتفاق می‌افتد که $\sin 50\pi t = 1$ باشد، بنابراین $I_{max} = 5A$ است. حال به کمک رابطهٔ $U = \frac{1}{2}LI^2$ بیشینهٔ انرژی سیملوله را محاسبه می‌کنیم:

$$U_{max} = \frac{1}{2}LI^2_{max} \Rightarrow U_{max} = \frac{1}{2}\times 4\times 10^{-2}\times 5^2 \Rightarrow U_{max} = 0/5J = 500mJ$$

۵۶ گزینهٔ ۳

پیچهٔ مسطحی با مساحت $40cm^2$ در یک میدان مغناطیسی به بزرگی 2mT به‌طور یکنواخت با بسامد 25Hz می‌چرخد. اگر در $t_0 = 0$ سطح پیچه عمود بر میدان مغناطیسی باشد، شار مغناطیسی گذرنده از پیچه در لحظهٔ $t = \frac{1}{150}s$ چند میکرو وبر است؟

۱) $4\sqrt{2}$ ☐ ۲) $8\sqrt{2}$ ☐ ۳) ۴ ☐ ۴) ۸ ☐

حل پیچهٔ مسطح در هر ثانیه ۲۵ دور می‌چرخد بنابراین دورهٔ چرخش پیچه برابر است با:

زمان	دور
1s	۲۵دور
T	۱دور

$$\Rightarrow T = \frac{1}{25}s$$

برای محاسبهٔ شار مغناطیسی گذرنده از پیچهٔ مسطح در لحظهٔ $t = \frac{1}{150}s$ می‌توان نوشت:

$$\Phi = BA\cos\omega t \Rightarrow \Phi = BA\cos\frac{2\pi}{T}t \xrightarrow{t=\frac{1}{150}s} \Phi = 2\times 10^{-3}\times 40\times 10^{-4}\times\cos\left(\frac{2\pi}{\frac{1}{25}}\times\frac{1}{150}\right) \Rightarrow \Phi = 8\times 10^{-6}\times\cos\frac{\pi}{3} = 4\times 10^{-6}Wb = 4\mu Wb$$

۵۷ گزینهٔ ۳

معادلهٔ جریان تولیدی یک مولد متناوب در SI به شکل $I = 400\sin(\frac{\pi}{8}t)$ است. حداقل چند ثانیه طول می‌کشد تا جریان از صفر به بیشینهٔ مقدار خود برسد؟

۱) ۱۶ ☐ ۲) ۸ ☐ ۳) ۴ ☐ ۴) ۲ ☐

حل با توجه به معادلهٔ جریان داده شده ω و T را محاسبه می‌کنیم:

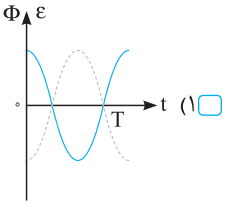
$$\omega = \frac{\pi}{8} = \frac{2\pi}{T} \Rightarrow T = 16s$$

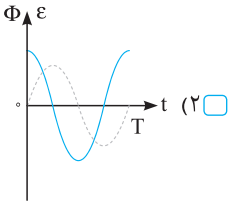
حداقل زمان لازم برای این‌که جریان از صفر به بیشینهٔ مقدارخود برسد، $\frac{T}{4}$ است. بنابراین:

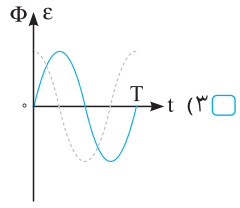
$$\Delta t = \frac{T}{4} = 4s$$

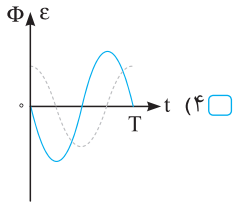
۵۸ گزینهٔ ۳

یک قاب مستطیل شکل با دورهٔ ثابت، داخل یک میدان مغناطیسی یکنواخت می‌چرخد. اگر در مبدأ زمان خطوط میدان بر سطح قاب عمود باشند، کدام‌یک از نمودارهای زیر تغییرات شار مغناطیسی و نیروی محرکهٔ القایی برحسب زمان را در یک دوره، درست نشان می‌دهد؟ (نمودار نقطه‌چین مربوط به تغییر شار مغناطیسی است.) (ریاضی داخل ۹۶)

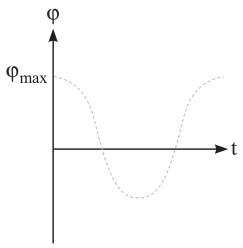
۱) 

۲) 

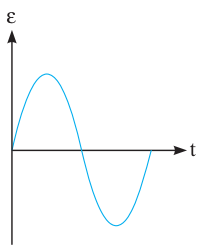
۳) 

۴) 

حل در مبدأ زمان خطوط میدان مغناطیسی بر سطح قاب عمود هستند بنابراین شار عبوری از آن بیشینه است و با توجه به فرم معادلهٔ شار - زمان $\Phi = \Phi_{max}\cos\omega t$ نمودار آن به شکل مقابل است:

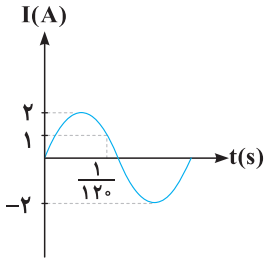


هنگامی که شار بیشینه است، نیروی محرکهٔ مولد صفر است بنابراین با توجه به معادلهٔ $\varepsilon = \varepsilon_{max}\sin\omega t$ می‌توان فهمید نمودار آن به شکل مقابل است.



۵۹ گزینهٔ ۴

در یک مولد جریان متناوب، پیچه در هر دقیقه چند بار به طور یکنواخت بچرخد تا نمودار جریان تولید شده توسط آن برحسب زمان، مطابق شکل مقابل باشد؟



۱) ۳

۲) ۳۰

۳) ۳۰۰

۴) ۳۰۰۰

حل شکل اصلی معادلهٔ جریان متناوب $I = I_{max}\sin\frac{2\pi}{T}t$ است. بنابراین:

$$1 = 2\sin(\frac{2\pi}{T}\times\frac{1}{120}) \Rightarrow \sin(\frac{\pi}{60T}) = \frac{1}{2}$$

چون برای دومین بار $I_1 = 1A$ و جریان نصف جریان بیشینه در قسمت مثبت است، می‌توان نوشت:

$$\sin\frac{\pi}{60T} = \sin(\pi - \frac{\pi}{6}) \Rightarrow \frac{\pi}{60T} = \frac{5\pi}{6} \Rightarrow T = \frac{1}{50}s$$

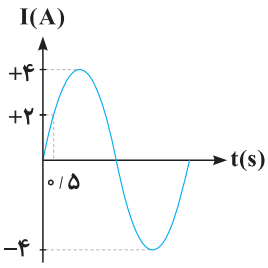
برای محاسبهٔ تعداد چرخش‌های پیچه (قاب) در هر دقیقه در مولد متناوب می‌نویسیم:

تعداد چرخش	مدت زمان
۱	$\frac{1}{50}$
N	۶۰

$$\Rightarrow \frac{N}{50} = 60 \Rightarrow N = 3000$$

۶۰ گزینهٔ ۲

نمودار شدت جریان متناوبی برحسب زمان مطابق شکل است. در چه لحظه‌ای برحسب ثانیه برای اولین بار شار عبوری از قاب مولد این جریان متناوب صفر است؟



۱) ۱

۲) ۱/۵

۳) ۲

۴) ۳

حل دورهٔ جریان متناوب برابر است با:

$$I = I_m\sin\omega t \Rightarrow 2 = 4\sin(\omega\times 0/5) \Rightarrow \omega\times 0/5 = \frac{\pi}{6} \Rightarrow \omega = \frac{\pi}{3}rad/s$$

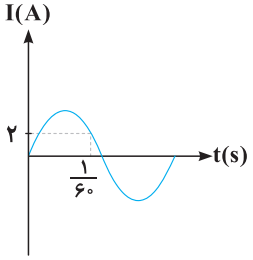
$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\frac{\pi}{3}} = 6s$$

طبق نمودار می‌دانیم که در لحظهٔ $t = \frac{T}{4}$ برای اولین بار شار عبوری از قاب مولد صفر می‌شود و جریان بیشینه می‌گردد. بنابراین:

$$t = \frac{T}{4} = 1/5s$$

۶۱ گزینهٔ ۴

نمودار جریان تولیدی در مولد متناوبی برحسب زمان مطابق شکل مقابل است. اگر زمان تناوب در این مولد $\frac{1}{25}$ ثانیه باشد، بیشینهٔ جریان تولیدی در این مولد چند آمپر است؟



۱) ۲

۲) $2\sqrt{2}$

۳) ۳

۴) ۴

حل فرم معادلهٔ جریان متناوب به صورت $I = I_{max}\sin\frac{2\pi}{T}t$ است بنابراین ابتدا با استفاده از دورهٔ تناوب و نقطهٔ داده شده در نمودار، بیشینهٔ جریان تولیدی در این مولد را محاسبه می‌کنیم:

$$I = I_{max}\sin\frac{2\pi}{T}t \Rightarrow 2 = I_{max}\sin\frac{2\pi}{\frac{1}{25}}\times\frac{1}{60} \Rightarrow 2 = I_{max}\sin 50\pi\times\frac{1}{60} \Rightarrow 2 = I_{max}\sin\frac{5\pi}{6}$$

$$\Rightarrow 2 = I_{max}\times\frac{1}{2} \Rightarrow I_{max} = 4A$$