محتوای ویژه کتاب

- مفاهیم آموزشی
- پاسخ همه فعالیت‌ها، تمرین‌ها و پرسش‌های کتاب
- ایستگاه یادگیری
- عبارت‌های مهم و سؤالات امتحانی
- ارزشیابی مستمر در پایان هر فصل همراه با پاسخ و بارم‌بندی
- آزمون‌های پایانی با پاسخ و بارم‌بندی

فیزیک ۱

مفاهیم ضروری

حرکت

مسافت: مجموع طول‌هایی است که برای رفتن از یک نقطه (مبدأ) به نقطهٔ دیگر (مقصد) پیموده می‌شود. که یکای آن m/s است.

جابه‌جایی: کوتاه‌ترین فاصله بین مبدأ و مقصد است.

تندی متوسط: نسبت مسافت پیموده شده به مدت زمان صرف شده برای طی آن را «تندی متوسط» می‌گویند.

$$\text{تندی متوسط} = \frac{\text{مسافت پیموده شده}}{\text{زمان}}$$

نکته: برای تبدیل واحدها از m/s به km/h و بالعکس به صورت زیر عمل می‌کنیم:

$$m/s \xrightarrow{\times ۳/۶} km/h \quad , \quad km/h \xrightarrow{\div ۳/۶} m/s$$

تندی لحظه‌ای: تندی متحرک در لحظه‌ای معین را «تندی لحظه‌ای» می‌گویند.

حرکت یکنواخت (حرکت با تندی ثابت): اگر در طول مسیر، تندی لحظه‌ای متحرک ثابت باشد، حرکت را «یکنواخت» می‌گوییم.

سؤال: تفاوت سرعت و تندی چیست؟

پاسخ: سرعت کمیتی است که دارای اندازه و جهت است ولی تندی فقط اندازه دارد.

سرعت متوسط: نسبت جابه‌جایی به مدت زمان جابه‌جایی را «سرعت متوسط» می‌گویند.

$$\text{سرعت متوسط} = \frac{\text{جابه‌جایی}}{\text{زمان}}$$

سرعت لحظه‌ای: سرعت متحرک در هر لحظه از زمان یا در هر نقطه از مسیر را «سرعت لحظه‌ای» می‌گویند.

شتاب: تغییر در سرعت لحظه‌ای باعث ایجاد شتاب می‌شود.

شتاب متوسط: نسبت تغییر سرعت به مدت زمان تغییر آن را شتاب متوسط می‌گویند. که یکای آن (m/s^2) است.

$$\text{شتاب متوسط} = \frac{\text{تغییرات سرعت}}{\text{زمان}}$$

نیرو

نیرو ناشی از اثر متقابل دو جسم است که ممکن است بصورت تماس مستقیم یا کنش از راه دور اثر کند. واحد اندازه‌گیری نیرو نیوتون (N) است.

نیروهای متوازن: نیروهای هم‌اندازه و در خلاف جهت هم را «متوازن» می‌گویند؛ این نیروها اگر بر جسم ساکن وارد شوند، جسم همچنان ساکن می‌ماند، اگر بر جسم در حال حرکت وارد شوند، جسم به حرکت خود (بدون تغییر سرعت) ادامه می‌دهد.

قوانین نیوتون:

قانون اول: اجسام تمایل دارند وضعیت اولیه خود را حفظ کنند مگر آنکه نیروی خالص غیرصفری بر آنها اثر کند.

قانون دوم: اگر نیروی خالص وارد بر جسم صفر نباشد، جسم در جهت نیرو شتاب می‌گیرد که مقدار آن برابر است با:

$$a = \frac{F}{m}$$

قانون سوم: هرگاه جسمی به جسم دیگر نیرو وارد کند، جسم دوم نیز نیرویی هم‌اندازه و در خلاف جهت به جسم اول وارد می‌کند.

نیروی وزن: نیروی گرانشی که زمین و سیارات به اجسام نزدیک به خود وارد می‌کنند را «نیروی وزن» می‌گویند:

$$W = mg$$

نیروی اصطکاک: نیروی مقاوم در برابر حرکت که ناشی از سطح تماس دو جسم است، «نیروی اصطکاک» نامیده می‌شود.

انواع نیروهای اصطکاک:

۱- **نیروی اصطکاک ایستایی:** نیروی اصطکاکی است که در برابر حرکت جسم ساکن بر روی یک سطح مقاومت ایجاد می‌کند.

۲- **نیروی اصطکاک جنبشی:** نیروی اصطکاکی است که در برابر حرکت جسم متحرک بر روی یک سطح مقاومت ایجاد می‌کند.

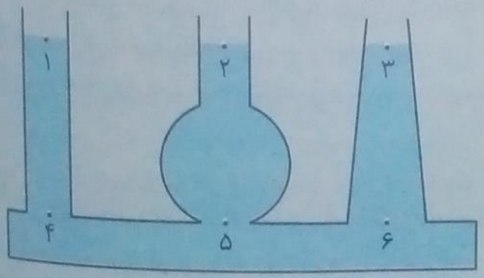
نکته: نیروی اصطکاک ایستایی به اندازه نیروی خالص وارد شده بر جسم است؛ نیروی اصطکاک جنبشی به اندازه نیروی خالص وارد شده بر جسم، بستگی نداشته و می‌تواند کمتر یا بیشتر یا هم‌اندازه با آن باشد.

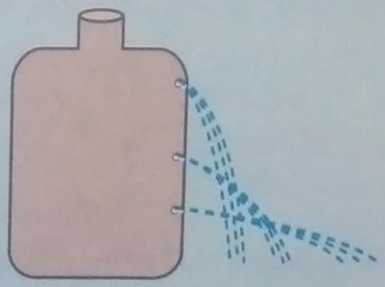
فشار

نسبت نیروی عمود بر سطح به مساحت سطحی که نیرو به آن وارد می‌شود را «فشار» می‌گویند و یکای آن پاسکال (Pa) است.

$$P = \frac{F}{A} \quad (\text{Pa یا } \frac{N}{m^2})$$

فشار مایعات: فشار در مایعات به عمق مایع بستگی داشته و نقاط هم‌عمق، هم‌فشار هستند:





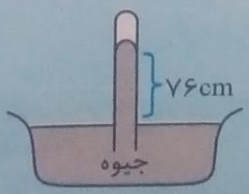
$$P_1 = P_2 = P_3 \ , \ P_4 = P_5 = P_6$$

اصل پاسکال: فشار وارد بر مایع بدون تغییر به همه قسمت‌های مایع و دیواره ظرف منتقل می‌شود.

فشار گازها: گازها بر دیواره ظرفی که در آن قرار دارند، فشار وارد می‌کنند.

فشار هوا: هوا نیز مانند گازها به سطوح در تماس خود فشار وارد می‌کند.

فشارسنج جیوه‌ای توریچلی



فصل ۱ فیزیک و اندازه‌گیری

کلیدواژه

کمیت‌های فیزیکی - پیشوندهای SI - نمادگذاری علمی - خطا و دقت - تخمین مرتبه بزرگی - چگالی

مفاهیم آموزشی

برای توصیف پدیده‌ها در فیزیک از سه مورد استفاده می‌شود:

- قوانین: همواره ثابت هستند.
- مدل‌ها
- نظریه‌های فیزیکی

} با زمان و تحت شرایط تغییر می‌کنند.

مدل‌سازی در فیزیک

در بررسی پدیده‌های فیزیکی بهتر است اثرات جزئی را نادیده گرفته و موارد مهم و تعیین‌کننده را بررسی کنیم. به این کار «مدل‌سازی» می‌گویند. در این حالت یک پدیده را آن‌قدر ساده و آرمانی در نظر می‌گیریم که قابل تحلیل و بررسی شود. برای مثال در بررسی حرکت جسم بر روی زمین از نیروهای اصطکاک، مقاومت هوا و ... صرف‌نظر می‌کنیم.

کمیت‌های فیزیکی

به هر چیزی که بتوان آن را اندازه گرفت کمیت فیزیکی می‌گویند مثل جرم، طول، زمان، تندی و ....

کمیت‌ها به دو بخش تقسیم می‌شوند:

۱- **کمیت‌های عددی (اسکالر):** کمیت‌هایی که با یک عدد و یکای مناسب به‌طور کامل مشخص می‌شوند، مثل کمیت جرم:

$$\underbrace{75}_{\text{عدد}}\ \underbrace{\text{kg}}_{\text{یکا}}$$

۲- **کمیت‌هایی برداری:** کمیت‌هایی که با عدد، یکای مناسب و جهت مشخص می‌شوند، مثل کمیت جابه‌جایی:

$$\underbrace{4}_{\text{عدد}}\ \underbrace{\text{m}}_{\text{یکا}}\ \underbrace{(\text{به سمت جنوب})}_{\text{جهت}}$$

نکته: برای نوشتن کمیت‌های برداری از علامت پیکان در بالای نماد کمیت استفاده می‌شود مانند نیرو $\vec{F}$، شتاب $\vec{a}$.

از دیدگاه یکاها نیز کمیت‌ها را می‌توان به دو بخش تقسیم کرد:

۱- **کمیت‌های اصلی:** کمیت‌هایی که برای آنها یکاهای استانداردی تعریف شده است مثال: طول، جرم، زمان و ... .

۲- **کمیت‌های فرعی:** کمیت‌هایی که برحسب کمیت‌های اصلی بیان می‌شوند، مثال: تندی، مساحت و ... .

اندازه‌گیری و دستگاه بین‌المللی یکاها (SI): به دستگاه یکاهایی که مورد توافق بیشتر دانشمندان و کشورهاست، دستگاه بین‌المللی یکاها می‌گویند که آن را با علامت اختصاری (SI) نشان می‌دهند.

مجمع عمومی اوزان و مقیاس‌ها هفت کمیت را به عنوان کمیت‌های اصلی انتخاب کرده است که اساس دستگاه بین‌المللی یکاها را تشکیل می‌دهند و در جدول زیر نشان داده شده‌اند. در جدول سمت چپ نیز تعدادی کمیت فرعی به همراه یکاهای آنها آورده شده است.

کمیت اصلی		
کمیت اصلی	یکا (SI)	نماد
طول	متر	m
جرم	کیلوگرم	kg
زمان	ثانیه	s
دما	کلوین	K
مقدار ماده	مول	mol
جریان الکتریکی	آمپر	A
شدت روشنایی	کَندِلا (شمع)	cd

کمیت فرعی		
کمیت فرعی	یکا (SI)	نماد
تندی	متر بر ثانیه	m / s
مساحت	مترمربع	m^2
انرژی	ژول	J
نیرو	نیوتون	N

نکته: یکاهای فرعی با یکاهای اصلی مرتبط هستند مثلاً یکای فرعی شتاب $\left(\frac{m}{s^2}\right)$ است که با یکاهای اصلی طول (m) و زمان (s) مرتبط می‌شود.

نکته: برای سهولت، برخی یکاهای پرکاربرد فرعی نام جداگانه‌ای دارند مثلاً یکای انرژی $\left(\frac{kgm^2}{s^2}\right)$ است که آن را ژول (J) می‌نامند.

تبدیل یکاها: برای تغییر یکای یک کمیت می‌توان از روش تبدیل زنجیره‌ای استفاده کرد. از آنجا که ضرب کردن هر کمیت در عدد یک، اندازه آن کمیت را تغییر نمی‌دهد، کمیت را در یک ضریب تبدیل که نسبتی از یکاها و برابر یک است ضرب می‌کنیم؛

مثال ۱: ۵۲cm چند mm است؟

می‌دانیم هر ۱cm برابر ۱۰mm است بنابراین $\frac{1cm}{10mm} = 1$ یا $\frac{10mm}{1cm} = 1$ که ضریب تبدیل مناسب برای این سؤال $\frac{10mm}{1cm} = 1$ است در نتیجه: $52cm = (52cm)(1) = (52\,\not{cm}) \times (\frac{10mm}{1\,\not{cm}}) = 520mm \rightarrow 52cm = 520mm$

مثال ۲: ۴mm چند کیلومتر است؟

می‌دانیم $1km = 1000m$ و $1m = 1000mm$ است؛ بنابراین $\frac{1m}{1000mm} = 1$ و $\frac{1km}{1000m} = 1$ ضرایب تبدیل مناسب این سؤال هستند؛ در نتیجه: $4mm = (4mm)(1)(1) = (4\,\not{mm}) \times (\frac{1\,\not{m}}{1000\,\not{mm}}) \times (\frac{1km}{1000\,\not{m}}) = \frac{4}{1000 \times 1000} km = 4 \times 10^{-6} km$

سازگاری یکاها: اگر بخواهیم یکای یک طرف رابطه بر حسب یکای SI باشد یکاهای طرف دیگر رابطه نیز باید بر حسب یکای SI بیان شوند. مثلاً اگر در رابطه $F = ma$ یکاهای جرم و شتاب بر حسب یکاهای SI باشند، یکای نیرو نیز بر حسب یکای SI به‌دست می‌آید:

$$\underset{\text{نیوتون}(N)}{F} = \underset{kg}{m} \cdot \underset{\frac{m}{s^2}}{a}$$

پیشوندهای یکاها: کمیت‌های خیلی بزرگ یا خیلی کوچک را به کمک پیشوندی که به یکاهای آنها اضافه می‌شوند، نامگذاری می‌کنند.

مثال:

یکا mm پیشوند ۶ → ۶ میلی‌متر

یکا km پیشوند ۴۲ → ۴۲ کیلومتر

برخی از پیشوندهای SI عبارتند از:

ضریب	پیشوند	نماد
10^{1}	دکا	da
10^{2}	هِکتو	h
10^{3}	کیلو	k
10^{6}	مگا	M
10^{9}	گیگا (جیگا)	G
10^{12}	تِرا	T
10^{15}	پِتا	P
10^{18}	اِگزا	E
10^{21}	زِتا	Z
10^{24}	یوتا	Y

ضریب	پیشوند	نماد
10^{-1}	دسی	d
10^{-2}	سانتی	c
10^{-3}	میلی	m
10^{-6}	میکرو	μ
10^{-9}	نانو	n
10^{-12}	پیکو	p
10^{-15}	فِمتو	f
10^{-18}	آتو	a
10^{-21}	زپتو	z
10^{-24}	یوکتو	y

مثال ۱: کمیت‌های زیر را برحسب یکاهای خواسته شده بنویسید.

الف) ۰/۰۰۴ Ms چند کیلو ثانیه است؟

روش اول: $0/004Ms = (0/004Ms)(1)(1) = (0/004\,\not{Ms})(\frac{10^{6}\,\not{s}}{1\,\not{Ms}})(\frac{1ks}{10^{3}\,\not{s}}) = \frac{0/004 \times 10^{6}}{10^{3}} ks = 0/004 \times 10^{3} ks = 4ks$

روش دوم: $\frac{0/004Ms}{ks} = \frac{0/004 \times 10^{6}}{10^{3}} = 0/004 \times 10^{6} \times 10^{-3} = 4 \rightarrow 4ks$

ب) $4 \times 10^{3} fm$ چند دسی‌متر است؟

روش اول: $4 \times 10^{3} fm = (4 \times 10^{3} fm)(1)(1) = (4 \times 10^{3}\,\not{fm})(\frac{10^{-15}\,\not{m}}{1\,\not{fm}})(\frac{1dm}{10^{-1}\,\not{m}})$

$= 4 \times 10^{3} \times 10^{-15} \times 10^{1} dm = 4 \times 10^{-11} dm$

روش دوم: $\frac{4 \times 10^{3} f\,\not{m}}{d\,\not{m}} = \frac{4 \times 10^{3} \times 10^{-15}}{10^{-1}} = 4 \times 10^{3} \times 10^{-15} \times 10^{1} = 4 \times 10^{-11} \rightarrow 4 \times 10^{-11} dm$

ج) ۴۵ هزار نانو ثانیه چند کیلو ثانیه است؟

روش اول: $۴۵۰۰۰ns = (۴۵۰۰۰ns)(۱)(۱) = (۴۵۰۰۰\,ns)(\frac{۱۰^{-۹}\,s}{۱\,ns})(\frac{۱ks}{۱۰^{۳}\,s}) = ۴۵۰۰۰ \times ۱۰^{-۹} \times ۱۰^{-۳}$

$= ۴۵۰۰۰ \times ۱۰^{-۱۲} ks = ۴۵ \times ۱۰^{-۹} ks$

روش دوم: $\frac{۴۵۰۰۰n\,s}{k\,s} = \frac{۴۵۰۰۰ \times ۱۰^{-۹}}{۱۰^{۳}} = ۴۵۰۰۰ \times ۱۰^{-۹} \times ۱۰^{-۳} = ۴۵ \times ۱۰^{-۹}$

د) ۰/۰۰۰۰۸۳ گیگامتر چند پیکومتر است؟

روش اول: $۰/۰۰۰۰۸۳Gm = (۰/۰۰۰۰۸۳Gm)(۱)(۱) = (۰/۰۰۰۰۸۳\,Gm)(\frac{۱۰^{۹}\,m}{۱\,Gm})(\frac{۱pm}{۱۰^{-۱۲}\,m})$

$= ۰/۰۰۰۰۸۳ \times ۱۰^{۹} \times ۱۰^{۱۲} pm = ۰/۰۰۰۰۸۳ \times ۱۰^{۲۱} pm = ۸۳ \times ۱۰^{۱۵} pm$

روش دوم: $\frac{۰/۰۰۰۰۸۳G\,m}{p\,m} = \frac{۰/۰۰۰۰۸۳ \times ۱۰^{۹}}{۱۰^{-۱۲}} = ۰/۰۰۰۰۸۳ \times ۱۰^{۹} \times ۱۰^{۱۲} = ۸۳ \times ۱۰^{۱۵}$

نمادگذاری علمی: روشی است که نوشتن و محاسبه مقادیر خیلی بزرگ یا خیلی کوچک را ساده‌تر می‌کند. در این روش هر مقدار را به صورت حاصل‌ضرب عددی بین ۱ تا ۱۰ (نه خود ۱۰) در توان صحیحی از ۱۰ می‌نویسند. مثال:

شعاع خورشید: $\underbrace{۶/۹}_{\text{عدد ۱ تا ۱۰}} \times \underbrace{۱۰^{۸}}_{\text{توانی از ۱۰}}\ m$

نکته: در نوشتن اعداد با نمادگذاری علمی علامت توان ۱۰ با توجه به جابه‌جایی ممیز به‌صورت زیر درنظر گرفته می‌شود:

(برعکس علامت محور اعداد صحیح)

جابه‌جایی ممیز (−) / جابه‌جایی ممیز (+)

مثال ۱: اعداد زیر را با نمادگذاری علمی بنویسید.

$۰/۰۰۰۶۸ = ۶/۸ \times ۱۰^{-۴}$ $\qquad ۴۵۳/۶ = ۴/۵۳۶ \times ۱۰^{۲}$

مثال ۲: اعداد زیر را با نمادگذاری علمی و برحسب یکاهای خواسته شده بنویسید.

الف) $۰/۰۰۰۱۲۵\,\mu m = X\,cm$

$X = \frac{۰/۰۰۰۱۲۵\,\mu m}{c\,m} = \frac{۱/۲۵ \times ۱۰^{-۴} \times ۱۰^{-۶}}{۱۰^{-۲}} = ۱/۲۵ \times ۱۰^{-۴} \times ۱۰^{-۶} \times ۱۰^{۲} = ۱/۲۵ \times ۱۰^{-۸}$

ب) $۶۸۷۰Tg = X\,Eg$

$X = \frac{۶۸۷۰T\,g}{E\,g} = \frac{۶/۸۷۰ \times ۱۰^{۳} \times ۱۰^{۱۲}}{۱۰^{۱۸}} = ۶/۸۷ \times ۱۰^{۳} \times ۱۰^{۱۲} \times ۱۰^{-۱۸} = ۶/۸۷ \times ۱۰^{-۳}$

خطا و دقت

عوامل مؤثر بر دقت اندازه‌گیری: ۱- دقت وسیله اندازه‌گیری ۲- مهارت شخص ۳- تعداد دفعات اندازه‌گیری

دقت اندازه‌گیری هر وسیله کمترین مقدار قابل اندازه‌گیری با آن وسیله است.

نکته: در ابزارهای مدرج، دقت اندازه‌گیری برابر است با کوچک‌ترین درجه‌بندی آن ابزار.

نکته: در ابزارهای رقمی (دیجیتال) دقت اندازه‌گیری برابر با یک واحد از آخرین رقمی است که آن ابزار می‌خواند.

نکته: خطای اندازه‌گیری خط‌کش و سایر وسیله‌های درجه‌بندی شده $\pm\frac{۱}{۲}$ برابر کمترین تقسیم‌بندی مقیاس آن وسیله است.

نکته: خطای اندازه‌گیری وسایل رقمی (دیجیتالی) مثبت و منفی یک واحد از آخرین رقمی است که دستگاه می‌خواند (رقم سمت راست عدد).

مثال ۱: خطای اندازه‌گیری خط‌کشی که تا سانتی‌متر درجه‌بندی شده چقدر است؟ اگر خط‌کش تا میلیمتر درجه‌بندی شده باشد خطای آن چقدر است؟

خطای خط‌کش سانتی‌متری: $\pm ۰/۵\,cm$

خطای خط‌کش میلی‌متری: $\pm ۰/۵\,mm$

مثال ۲: یک دماسنج دیجیتالی دمای $۸/۶۵^\circ C$ را نشان می‌دهد. خطای این دماسنج چقدر است؟

$\pm ۰/۰۱^\circ C$: خطای دماسنج

نکته: نحوه خواندن نتیجه اندازه‌گیری از جمله مهارت‌های شخص است که روی دقت اندازه‌گیری مؤثر است.

نکته: برای کاهش خطا در اندازه‌گیری، باید اندازه‌گیری را چند بار تکرار کرده، اعدادی که اختلاف زیادی با بقیه اعداد دارند را کنار گذاشته و میانگین سایر اعداد را به عنوان نتیجه پذیرفت.

نکته: رقم‌هایی را که در اندازه‌گیری یک کمیت ثبت می‌شود، رقم‌های بامعنا می‌گویند. در رقم‌های با معنا، رقم آخر عدد که آن را حدس می‌زنیم غیرقطعی است.

مثال ۳: با خط‌کشی که بر حسب سانتی‌متر مدرج شده طول جسمی را ۱۰/۷ سانتی‌متر اندازه‌گیری می‌کنیم؛

الف) خطای اندازه‌گیری این وسیله چقدر است؟

چون خط‌کش بر حسب سانتی‌متر مدرج شده خطای اندازه‌گیری آن $\pm ۰/۵cm$ است.

ب) در این اندازه‌گیری تعداد ارقام بامعنا چقدر است؟ سه رقم

ج) رقم غیرقطعی این اندازه‌گیری کدام رقم است؟ عدد ۷

در این موارد از تخمین استفاده می‌کنیم: ۱- دقت بالا در محاسبات اهمیت نداشته باشد. ۲- زمان کافی برای محاسبه دقیق نداشته باشیم. ۳- اطلاعات موردنیاز در دسترس نباشد.

تخمین مرتبه بزرگی: در تخمین مرتبه بزرگی یک عدد ابتدا عدد را با نمادگذاری علمی $(x \times ۱۰^n)$ نوشته و به‌صورت زیر عمل می‌کنیم:

$۱ \le x < ۵ \rightarrow x \sim ۱۰^۰$

$۵ \le x < ۱۰ \rightarrow x \sim ۱۰^۱$

مثال ۱: مرتبه بزرگی اعداد زیر را تخمین بزنید.

الف) ۴۵۳۶ $\quad ۴۵۳۶ = ۴/۵۳۶ \times ۱۰^۳ \sim ۱۰^۰ \times ۱۰^۳ \sim ۱۰^۳$

ب) ۰/۰۶۷ $\quad ۰/۰۶۷ = ۶/۷ \times ۱۰^{-۲} \sim ۱۰ \times ۱۰^{-۲} \sim ۱۰^{-۱}$

ج) ۰/۰۰۸۱۵ $\quad ۰/۰۰۰۸۱۵ = ۸/۱۵ \times ۱۰^{-۴} \sim ۱۰ \times ۱۰^{-۴} \sim ۱۰^{-۳}$

د) ۲۷ $\quad ۲۷ = ۲/۷ \times ۱۰^۱ \sim ۱۰^۰ \times ۱۰^۱ \sim ۱۰$

چگالی: جرم واحد حجم اجسام را چگالی می‌گویند و آن را با ρ نشان داده و از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

m: جرم بر حسب kg، V: حجم بر حسب $m^۳$ و ρ: چگالی برحسب $kg/m^۳$.

مثال ۱: مقدار ۵ کیلوگرم از فلزی $۰/۰۰۱m^۳$ حجم دارد. چگالی این فلز چقدر است؟

$m = ۵kg \quad , \quad V = ۰/۰۰۱ m^۳$

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{۵}{۰/۰۰۱} = ۵۰۰۰ \frac{kg}{m^۳}$$

مثال ۲: اگر چگالی هوا $۱/۲ kg/m^۳$ باشد، در اتاقی به ابعاد ۶، ۵ و ۴ متر چند کیلوگرم هوا وجود دارد؟

$\rho = ۱/۲ kg/m^۳ \quad , \quad V = ۴ \times ۵ \times ۶ = ۱۲۰ m^۳$

$$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow m = \rho V = ۱/۲ \times ۱۲۰ = ۱۴۴kg$$

مثال ۳: اگر چگالی الکل $۰/۸ g/cm^۳$ باشد. جرم ۰/۲L الکل چند گرم است؟

نکته: اگر چگالی بر حسب $\frac{g}{cm^۳}$ و حجم بر حسب $cm^۳$ باشد، جرم بر حسب g محاسبه می‌شود.

$\rho = ۰/۸ \frac{g}{cm^۳} \quad , \quad V = ۰/۲L = ۰/۲ \times ۱۰^۳ cm^۳ \quad , \quad m = ?$

$$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow m = \rho V = ۰/۸ \times ۰/۲ \times ۱۰^۳ = ۱۶۰g$$

مثال ۴: چگالی مایع A، $\frac{۴}{۵}$ چگالی مایع B است. اگر حجم ۸kg از مایع A برابر ۱۰L باشد. حجم ۵kg از B چند لیتر است؟

$\rho_A = \frac{۴}{۵}\rho_B \quad , \quad m_A = ۸kg \quad , \quad V_A = ۱۰L \quad , \quad m_B = ۵kg \quad , \quad V_B = ?$

$$\rho_A = \frac{۴}{۵}\rho_B \rightarrow \frac{m_A}{V_A} = \frac{۴}{۵} \times \frac{m_B}{V_B} \rightarrow \frac{۸}{۱۰} = \frac{۴}{۵} \times \frac{۵}{V_B} \rightarrow \frac{۸}{۱۰} = \frac{۴}{V_B} \rightarrow V_B = \frac{۱۰ \times ۴}{۸} = ۵L$$

فعالیت ۱-۱

۴

افزون بر فهرست بالا، شما نیز به اتفاق اعضای گروه خود، فهرست دیگری از کاربردهای فیزیک در فناوری تهیه کنید که نقش مهمی در زندگی ما دارند. (این فهرست را می‌توانید به صورت پوستر، پاورپوینت، فیلم‌های کوتاه و .... تهیه و ارائه کنید.)

چند موضوع پیشنهادی در این زمینه عبارتند از: ۱- دستگاه‌های سانتریفیوژ در غنی‌سازی اورانیوم ۲- دستگاه‌های کنترل سرعت در بزرگراه‌ها ۳- کاربرد فناوری‌های نانو در تولید آبررساناها ۴- طراحی و ساخت انواع رَم (Ram) و حافظه‌های جانبی رایانه.

پرسش ۱-۱

۶

شکل الف بر اساس آنچه در علوم سال هشتم در زمینهٔ نورشناسی خواندید آمده است. اجزای این شکل را توضیح دهید و بگویید که در آن، چه چیزی مدل‌سازی شده است. این مدل‌سازی چگونه در تشکیل تصویر در یک دوربین عکاسی به‌کار رفته است. (شکل ب)؟

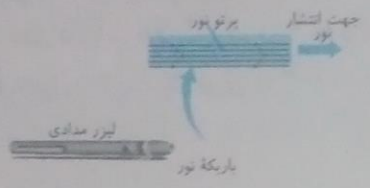
پرتوی نور: نازک‌ترین باریکه نوری که بتوان تصور کرد، پرتوی نور می‌گویند.

باریکه نور: به پرتوهای نور که از شکافی گذشته باشند، باریکه نور می‌گویند.

لیزر مدادی: وسیله‌ای است که پرتوهای نور را در مسیری مستقیم و راستایی مشخص منتشر می‌کند.

در شکل الف پرتوهای نور به صورت باریکه نور در لیزر مدادی مدل‌سازی شده‌اند.

نور خورشید به صورت پرتوهایی موازی به سطح جسم (درخت) برخورد و به صورت واگرا پراکنده می‌شوند. عدسی دوربین، این پرتوهای واگرا را جمع و بر روی فیلم عکاسی منتقل می‌کند.



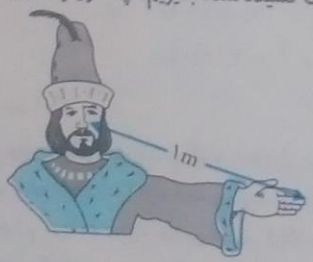
شکل الف

شکل ب

پرسش ۱-۲

۸

اگر مطابق شکل روبه‌رو، یکای طول را به‌صورت فاصلهٔ نوک بینی تا نوک انگشتان دست کشیده شده بگیریم، چه مزایا و معایبی دارد؟



مزایا: همواره و در همه جا در دسترس است.

معایب: مقدار این یکا ثابت نبوده و از فردی به فرد دیگر تغییر می‌کند.

فعالیت ۱-۲

۸

ذرع و فرسنگ از جمله یکاهای قدیمی ایرانی برای طول است. هر ذرع ۱۰۴ سانتی‌متر و هر فرسنگ ۶۰۰۰ ذرع است. قشم، بزرگ‌ترین جزیرهٔ خلیج‌فارس است که مساحت آن از بیش‌از بیست کشور جهان بزرگ‌تر است. طول این جزیره حدود ۱۲۰ کیلومتر برآورد شده است. این طول را برحسب ذرع و فرسنگ بیان کنید.

ابتدا طول جزیره را به متر و سپس به سانتی‌متر تبدیل می‌کنیم. (هر کیلومتر برابر ۱۰۰۰ متر و هر متر برابر ۱۰۰ سانتی‌متر است.)

$۱۲۰\,km \times ۱۰۰۰ = ۱۲۰۰۰۰\,m$ و $۱۲۰۰۰۰\,m \times ۱۰۰ = ۱۲۰۰۰۰۰۰\,cm$

فرسنگ $۱۱۵۳۸۴ / ۶۱۵ \div ۶۰۰۰ = ۱۹ / ۲۳۱$ و ذرع $۱۲۰۰۰۰۰۰\,cm \div ۱۰۴ = ۱۱۵۳۸۴ / ۶۱۵$

تمرین ۱-۱ ۹

الف) یکای نجومی برابر میانگین فاصلهٔ زمین تا سطح خورشید است ($1AU = 1/50 \times 10^{11} m$). فاصلهٔ زمین (منظومهٔ شمسی) تا نزدیک‌ترین ستاره بعد از خورشید، بر حسب یکای نجومی چقدر است؟

مطابق جدول ۱-۳ فاصله منظومه شمسی تا نزدیک‌ترین ستاره $4 \times 10^{16} m$ است. اگر این فاصله را بر یکای نجومی تقسیم کنیم فاصله منظومه شمسی تا نزدیک‌ترین ستاره به‌دست می‌آید:

$$\frac{4 \times 10^{16}}{1/5 \times 10^{11}} = 2/6 \times 10^{5} AU$$

ب) مسافتی را که نور در مدت یک سال در خلأ می‌پیماید یک سال نوری می‌نامند و آن را با نماد ly نمایش می‌دهند. کُوازارها دورترین اجرام شناخته‌شده از منظومهٔ شمسی هستند و به عبارتی در دورترین محل قابل مشاهدهٔ کیهان قرار دارند. فاصلهٔ کوازارها از منظومهٔ شمسی $1/000 \times 10^{26}$ متر برآورد شده است. این فاصله را بر حسب سال نوری بیان کنید. تندی نور را در خلأ $3/000 \times 10^{8}$ متر بر ثانیه در نظر بگیرید.

مطابق جدول ۱-۳ یک سال نوری $9 \times 10^{15} m$ است بنابراین:

$$1ly = 9 \times 10^{15} m$$

$$\frac{1 \times 10^{26}}{9 \times 10^{15}} = \frac{1}{9} \times 10^{11} = 0/1 \times 10^{11} ly$$

فعالیت ۱-۳ ۹

خروار، من تبریز، سیر، مثقال، نخود و گندم از جمله یکاهای قدیمی ایرانی برای اندازه‌گیری جرم است. این یکاها به‌صورت زیر به یکدیگر مرتبط‌اند:

۱ خروار = ۱۰۰ من تبریز　　۱ من تبریز = ۴۰ سیر = ۶۴۰ مثقال　　۱ مثقال = ۲۴ نخود = ۹۶ گندم

با توجه به اینکه هر مثقال معادل ۴/۸۶ گرم است، هر کدام از این یکاها را برحسب گرم و کیلوگرم بیان کنید.

۱ مثقال $= 4/86g = 4/86 \times 10^{-3} kg$

۱ گندم $\longrightarrow$ $\frac{1}{96}$ مثقال $= \frac{1}{96} \times 4/86 \simeq 0/05g = 0/05 \times 10^{-3} kg$ $\longleftarrow$ ۹۶ گندم = ۱ مثقال

۱ نخود $\longrightarrow$ $\frac{1}{24}$ مثقال $= \frac{1}{24} \times 4/86 \simeq 0/2g = 0/2 \times 10^{-3} kg$ $\longleftarrow$ ۲۴ نخود = ۱ مثقال

۱ سیر $\longrightarrow$ $\frac{640}{40}$ مثقال $= 16$ مثقال $= 16 \times 4/86 \simeq 77/8g = 77/8 \times 10^{-3} kg$ $\longleftarrow$ ۴۰ سیر = ۶۴۰ مثقال

۱ من $\longrightarrow$ ۶۴۰ مثقال $= 640 \times 4/86 \sim 3110/4g = 3110/4 \times 10^{-3} kg$ $\longleftarrow$ ۱ من = ۶۴۰ مثقال

۱ خروار $\longrightarrow$ ۱۰۰ من $= 100 \times 3110/4g = 311040g = 311040 \times 10^{-3} = 31/10kg$ $\longleftarrow$ ۱۰۰ من = ۱ خروار

فعالیت ۱-۴ ۱۰

در خصوص چگونگی اندازه‌گیری زمان از دوران باستان تا عصر حاضر مطالبی را به طور مستند تهیه کنید. مطالب تهیه شده را با توجه به مهارت و علاقه‌مندی افراد گروه خود، به یکی از شکل‌های روزنامهٔ دیواری، پاورپوینت، قطعه فیلم کوتاه و ... به کلاس درس ارائه دهید.

انسان‌ها در گذشته جهت انجام امور کشاورزی، تعیین دستمزد و ... نیاز به اندازه‌گیری زمان داشتند که استفاده از خورشید، ماه و آب از جمله ابزارهای قدیمی سنجش زمان بوده است. آریایی‌ها و زرتشتیان شبانه‌روز را بر مبنای پنج‌گاه شامل برآمدن آفتاب تا نیمروز، نیمروز تا ۳ ساعت پس از نیمروز، از ۳ ساعت پیشین تا فرود آمدن آفتاب، از فرورفتن آفتاب و پیدا شدن ستاره شامگاهی در آسمان تا نیمه شب و از نیمه شب تا برآمدن آفتاب تقسیم می‌کردند. شیوه دیگر تقسیم شبانه‌روز به ۲۴ ساعت یا پاس بود. در برخی موارد نیز از سایه خورشید با استفاده از ستون‌ها و یا دیوارها زمان را تعیین می‌کردند. از جمله ابزارهای اندازه‌گیری زمان ساعت‌های آبی، ساعت‌های آفتابی، ساعت‌های شنی یا ماسه‌ای بودند. با پیشرفت علم و دانش بشری به تدریج ساعت‌های دقیق‌تر مکانیکی، وزنه‌ای، فنردار، برقی، باتری‌دار، کامپیوتری، و ...جای ساعت‌های قدیمی را گرفت. به خصوص از زمان استفاده انسان از فنر، جهت راه انداختن چرخ‌دنده‌ها، سنجش دقیق‌تر زمان امکان‌پذیر گردید. در اوایل قرن ۱۶ اولین ساعت مچی آهنی توسط یک آلمانی ساخته شد. بعدها با استفاده از فنر و چرخ‌دنده‌های بسیار ریز امکان ساختن ساعت‌های مچی ظریف به وجود آمد. اولین ساعت‌های مچی شبیه ساعت‌های امروزی در کشور سوئیس ساخته شد. تکنولوژی‌های امروزی، انسان را قادر ساخته است

ساعت‌های بسیار دقیق کامپیوتری و حتی اتمی را بسازد که از جمله آنها ساعت‌های بلور کوارتز است که بر اساس تداوم ارتعاشات بلور کوارتز به طریق الکتریکی کار می‌کند. خطای بهترین نوع این ساعت‌ها ۰/۰۲s در سال است. نوعی ساعت اتمی نیز ساخته شده است که بر اساس بسامد مشخص ایزوتوپ سزیم ($Cs_{۱۳۳}$) کار می‌کند و دقت آن $\frac{۱}{۱۰^{۱۲}}$ است، یعنی دو ساعت سزیم که با این دقت کار می‌کنند بعد از ۶۰۰۰ سال بیش از ۱s اختلاف نخواهند داشت. (اطلاعات تکمیلی را می‌توانید با مراجعه به سایت ویکی‌پدیا به آدرس https: //fa.wikipedia.org و جستجوی «تاریخ ابزارهای زمان» کسب کنید.)

تمرین ۱-۲ ۱۱

در فیزیک، تغییر هر کمیت را نسبت به زمان، معمولاً آهنگ آن کمیت می‌نامیم. از شلنگ شکل روبه‌رو، آب با آهنگ $۱۲۵ \frac{cm^۳}{s}$ خارج می‌شود. این آهنگ را به روش تبدیل زنجیره‌ای، بر حسب یکای لیتر بر دقیقه $(\frac{L}{min})$ بنویسید. (هر لیتر معادل ۱۰۰۰ سانتی‌متر مکعب است.)

$$۱۲۵ \frac{cm^۳}{s} = (۱۲۵ \frac{cm^۳}{s})(۱)(۱) = (۱۲۵ \frac{cm^۳}{\cancel{s}})(\frac{۶۰\cancel{s}}{۱min})(\frac{۱L}{۱۰۰۰\cancel{cm^۳}}) = ۷/۵ \frac{L}{min}$$

پرسش ۱-۳ ۱۳

کدام گزینه جرم یک زنبور عسل(۰/۰۰۰۱۵kg) را به صورت نمادگذاری علمی درست بیان می‌کند؟

☐ $۰/۱۵ \times ۱۰^{-۳} kg$ ☑ $۱/۵ \times ۱۰^{-۴} kg$ ☐ $۱۵ \times ۱۰^{-۵} kg$

جرم زنبورعسل بانماگذاری علمی به‌صورت $۱/۵ \times ۱۰^{-۴} kg$ است.

$۰/۰۰۰۱۵kg = ۱/۵ \times ۱۰^{-۴} kg$

تمرین ۱-۳ ۱۳

با توجه به پیشوندهای یکاهای SI و نمادگذاری علمی جدول زیر را کامل کنید.

قطر میانگین یک گلبول(گویچهٔ) قرمز:

$$۷/۰ \times ۱۰^{-۶} m = (۷ \times ۱۰^{-۶} m)(۱) = (۷ \times ۱۰^{-۶} \cancel{m})(\frac{۱۰۰۰mm}{۱\cancel{m}}) = ۷ \times ۱۰^{-۶} \times ۱۰^{۳} \times mm = ۷ \times ۱۰^{-۳} mm$$

$$۷/۰ \times ۱۰^{-۶} m = (۷ \times ۱۰^{-۶} m)(۱) = (۷ \times \cancel{۱۰^{-۶}} \cancel{m})(\frac{۱\mu m}{\cancel{۱۰^{-۶}}\cancel{m}}) = ۷ \mu m$$

قطر هستهٔ اتم اورانیوم:

$$۱/۷۵ \times ۱۰^{-۱۴} m = (۱/۷۵ \times ۱۰^{-۱۴} m)(۱) = (۱/۷۵ \times ۱۰^{-۱۴} \cancel{m})(\frac{۱pm}{۱۰^{-۱۲}\cancel{m}}) = ۱/۷۵ \times ۱۰^{-۲} pm$$

$$۱/۷۵ \times ۱۰^{-۱۴} m = (۱/۷۵ \times ۱۰^{-۱۴} m)(۱) = (۱/۷۵ \times ۱۰^{-۱۴} \cancel{m})(\frac{۱fm}{۱۰^{-۱۵}\cancel{m}}) = ۱/۷۵ \times ۱۰ fm = ۱۷/۵ fm$$

جرم یک گیرهٔ کاغذ:

$$۱/۰ \times ۱۰^{-۴} kg = (۱ \times ۱۰^{-۴} kg)(۱) = (۱ \times ۱۰^{-۴} \cancel{kg})(\frac{۱۰۰۰g}{۱\cancel{kg}}) = ۱ \times ۱۰^{-۱} g$$

$$۱/۰ \times ۱۰^{-۴} kg = (۱ \times ۱۰^{-۴} kg)(۱)(۱) = (۱ \times ۱۰^{-۴} \cancel{kg})(\frac{۱۰۰۰\cancel{g}}{۱\cancel{kg}})(\frac{۱mg}{۱۰^{-۳}\cancel{g}}) = ۱ \times ۱۰^{۲} mg$$

زمانی که نور مسافت ۰/۳ متر را در هوا طی می‌کند:

$$۱/۰ \times ۱۰^{-۹} s = (۱ \times ۱۰^{-۹} s)(۱) = (۱ \times ۱۰^{-۹} \cancel{s})(\frac{۱\mu s}{۱۰^{-۶}\cancel{s}}) = ۱ \times ۱۰^{-۳} \mu s$$

$$۱/۰ \times ۱۰^{-۹} s = (۱ \times ۱۰^{-۹} s)(۱) = (۱ \times ۱۰^{-۹} \cancel{s})(\frac{۱ns}{۱۰^{-۹}\cancel{s}}) = ۱ns$$

زمانی که صوت مسافت ۰/۳۵ متر را در هوا طی می‌کند:

$$1/0\times10^{-3}\,s = (1\times10^{-3}\,s)(1) = (1\times10^{-3}\,\not{s})\left(\frac{1ms}{10^{-3}\,\not{s}}\right) = 1ms$$

$$= (1\times10^{-3}\,s)(1) = (1\times10^{-3}\,\not{s})\left(\frac{1\mu s}{10^{-6}\,\not{s}}\right) = 1\times10^{3}\mu s$$

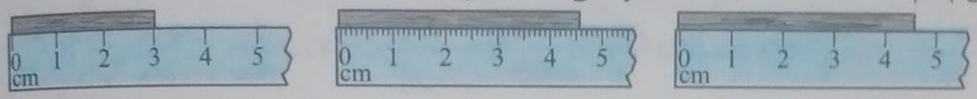
تمرین ۱-۴ ۱۷

۱- در هر یک از شکل‌های (الف)تا (پ)، طول جسم را چقدر گزارش می‌کنید؟ در گزارش خود، هم عدد غیرقطعی و هم خطای وسیله را مشخص کنید.

الف) طول جسم $4/5cm \pm 0/5cm$، عدد غیرقطعی ۵، خطای وسیله $\pm 0/5\,cm$

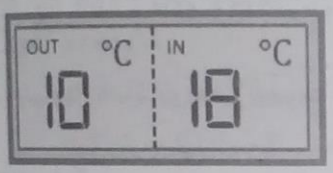
ب) طول جسم $45/7mm \pm 0/5\,mm$، عدد غیرقطعی ۷، خطای وسیله $\pm 0/5mm$

پ) طول جسم $3/0cm \pm 0/5cm$، عدد غیرقطعی ۰، خطای وسیله $\pm 0/5cm$



(پ) (ب) (الف)

۲- شکل روبه‌رو یک دماسنج رقمی را نشان می‌دهد که دمای خارج و داخل گلخانه‌ای رابه ترتیب $10^{\circ}C$ و $18^{\circ}C$ می‌خواند. عدد غیرقطعی و خطای دماسنج را مشخص کنید.



در دمای داخل عدد غیرقطعی ۸ و در دمای خارج عدد غیر قطعی صفر است.

خطای این دماسنج $\pm 1^{\circ}C$ است.

۳-نتیجهٔ اندازه‌گیری توسط دماسنج شکل ۱-۱۲ را به همراه خطای آن بنویسید.

نتیجه اندازه‌گیری این دماسنج $27^{\circ}C$ و خطای آن $\pm 5^{\circ}C$ است.

فعالیت ۱-۵ ۱۷

در بسیاری از کارگاه‌های صنعتی مانند تراشکاری‌ها، اندازه‌گیری طول با ابزارهای دقیق‌تر از خط‌کش میلی‌متری انجام می‌شود. این ابزارها، کولیس و ریزسنج نام دارند که اجزای اصلی آنها در شکل‌های الف و ب نشان داده شده است.... نحوهٔ کار کردن با کولیس را معلم به شما توضیح می‌دهد.

موارد قابل اندازه‌گیری توسط کولیس عبارتند از:

ضخامت میز کلاس، ضخامت یک کتاب، قطر داخلی یک لوله، قطر خارجی یک گوی شیشه‌ای

ضخامت میز کلاس	۱۶/۲۳mm
ضخامت یک کتاب	۷/۵۰mm
قطر داخلی یک لوله	۵/۴۸mm
قطر خارجی یک گوی شیشه‌ای	۱۲/۳۲mm

شرح کار با کولیس: جسم را بین شاخک‌های ثابت و متحرک طوری قرار می‌دهیم که هر دو شاخک با بدنه جسم تماس داشته باشد. سپس درجات را از روی خط‌کش (عددی که صفر ورنیه در مقابل آن قرار دارد و یا از آن گذشته است) و کسر درجات را از روی درجاتی: از ورنیه پیدا می‌کنیم که درست برابر یکی از درجات خط‌کش قرار گرفته است.

موارد قابل اندازه‌گیری توسط ریزسنج عبارتند از:

ضخامت یک برگ کاغذ، ضخامت یک تکه مقوا، ضخامت یک خط‌کش فلزی، قطر خارجی یک لوله خودکار

ضخامت یک برگ کاغذ	۰/۰۸mm
ضخامت یک تکه مقوا	۰/۲۰mm
ضخامت یک خط‌کش فلزی	۰/۵۰ mm
قطر خارجی یک لوله خودکار	۷/۷۳mm

شرح کار با ریزسنج: خط‌کش ریزسنج دارای خطی افقی است که تقسیم‌بندی بالای این خط فاصله‌های ۱mm و تقسیم‌بندی زیر خط فاصله‌های ۰/۵ mm را مشخص می‌کند. استوانه مدرج چرخانی نیز روی خط حرکت کرده و بر روی آن از صفر تا ۵۰ تقسیم‌بندی شده است. برای خواندن عدد، آخرین درجه خط کش اندازه اصلی ما بر حسب mm است. مقادیر کمتر از mm اندازه‌گیری خطی از ورنیه است که درست روبه‌روی درجه خط‌کش به صورت کامل قرار گرفته است.

فعالیت ۱-۶ ۱۸

الف) آزمایشی طراحی و اجرا کنید که به کمک آن بتوان جرم و حجم یک قطره آب را اندازه‌گیری کرد.

اندازه‌گیری جرم یک قطره آب: ظرفی را بر روی ترازوی دیجیتال قرار داده و ترازو را در وضعیت صفر قرار می‌دهیم. با قطره‌چکان آن‌قدر قطرات آب را در ظرف می‌چکانیم که ترازو عددی را نشان دهد. حال اگر جرم نشان داده شده را بر تعداد قطرات آب ریخته شده تقسیم کنیم، جرم یک قطره آب به دست می‌آید.

اندازه‌گیری حجم یک قطره آب: سرنگی را با حجم معینی از آب پر کرده و با فشردن آهسته آن، آب را به صورت قطره قطره خارج می‌کنیم تا به طور کامل تخلیه شود، حال اگر حجم آب داخل سرنگ را بر تعداد قطرات آب خارج شده، تقسیم کنیم، حجم هر قطره به دست می‌آید. (به جای سرنگ از قطره چکان درجه‌بندی شده نیز می‌توان استفاده کرد.)

ب) تکه‌ای سیم لاکی نازک یا نخ قرقره به طول تقریبی یک متر تهیه کنید. آزمایشی طراحی و اجرا کنید که به کمک یک خط‌کش میلی‌متری بتوان قطر این سیم یا نخ را اندازه‌گیری کرد.

سیم را با دقت به دور یک لوله باریک (مثل لوله خودکار) طوری می‌پیچیم که دورهای سیم در کنار هم قرار گیرند. اگر ضخامت سیم پیچیده شده را با خط‌کش اندازه‌گیری کرده و بر تعداد دورهای سیم تقسیم کنیم قطر سیم به‌دست می‌آید.

تمرین ۱-۵ ۲۱

الف) تخمین بزنید در هر شبانه‌روز چند لیتر بخار بنزین وارد هوای شهر تهران می‌شود. چون تبخیر سطحی بنزین بالاست، درمخازن بنزین همواره بخار بنزین وجود دارد. از آنجا که با وارد شدن هر مقدار بنزین به یک مخزن به همان مقدار بخار بنزین از مخزن خارج می‌شود، با کمی دقت در فرایند پخش درمی‌یابیم برای اینکه یک لیتر بنزین به دست مصرف‌کننده برسد سه بار باید از مخزنی به مخزن دیگر منتقل شود (۱- از مخزن انبار به نفتکش ۲- از نفتکش به مخزن جایگاه ۳- از مخزن جایگاه به باک خودرو). پس به ازای هر یک لیتر بنزین، ۳ لیتر بخار بنزین وارد هوا می‌شود. اگر میانگین مصرف بنزین شهر تهران را ۸ میلیون لیتر در روز فرض کنیم، در هر شبانه‌روز ۲۴ میلیون لیتر $10^7 L \sim 10^6 \times 10 \times 10^6 \sim 10^8 \times 10 \times 10^6 \sim 2/4 \times 10^6 \sim (24 \times 10^6)$ **بخار بنزین وارد هوای شهر تهران می‌شود.**

ب) تحقیق کنید در کشورهای دوستدار محیط زیست، چه تدابیری می‌اندیشند تا این بخار، که برای محیط زیست و همچنین سلامتی انسان‌ها بسیار مضر است، وارد هوا نشود.

۱- بخار بنزین خارج شده در زمان جابه‌جایی‌ها را جمع‌آوری کرده و دوباره استحصال (بازیافت) می‌کنند.

۲- با وسایل و تجهیزات کافی محل اتصال مسیرهای انتقال بنزین را پوشش می‌دهند.

۲۲

تمرین ۱-۶

یکی دیگر از یکاهای متداول چگالی، گرم برسانتی‌مترمکعب (g/cm^3) است. به روش تبدیل زنجیره‌ای نشان دهید: $1000\,kg/m^3 = 1\,g/cm^3$

$$\begin{cases} 1kg = 10^3 g \\ 1m^3 = 10^6 cm^3 \end{cases} \Rightarrow 1000\frac{kg}{m^3} = (1000\frac{kg}{m^3})(1)(1) = (1000\frac{\cancel{kg}}{\cancel{m^3}})(\frac{\cancel{1m^3}}{10^6 cm^3})(\frac{10^3 g}{\cancel{1kg}})$$

$$= 10^3 \times 10^3 \times 10^{-6}\frac{g}{cm^3} = 1\frac{g}{cm^3}$$

۲۲

پرسش ۱-۴

چگالی بنزین $680\,kg/m^3$ است. توضیح دهید چرا آب مایع مناسبی برای خاموش کردن بنزین شعله‌ور نیست.

چون چگالی بنزین $(680\frac{kg}{m^3})$ کمتر از چگالی آب $(1000\frac{kg}{m^3})$ است، بنزین بر روی سطح آب قرار گرفته و همچنان شعله‌ور باقی می‌ماند.

تمرین ۱-۷ ..... ۲۳

حجم خون در گردش یک فرد بالغ با توجه به جرمش، می‌تواند بین ۴/۷۰L تا ۵/۵۰L باشد. جرم ۴/۷۰L خون چند کیلوگرم است؟ چگالی خون را $1/05 g/cm^3$ بگیرید.

$$V = 4/70L = 4/70 \times 10^{-3} cm^3 \quad , \quad \rho = 1/05 \frac{g}{cm^3} \quad , \quad m = ?$$

$$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow m = \rho V = 1/05 \times 4/70 \times 10^{-3} = 4/93 \times 10^{-3} g = 4/93kg \rightarrow m = 4/93kg$$

تمرین ۱-۸ ..... ۲۳

جرم و وزن تقریبی هوای درون کلاستان را پیدا کنید.

چگالی هوای اتاق در دمای $20^\circ C$ برابر است با $\rho = 1/205 \frac{kg}{m^3}$. ابعاد کلاس را ۵، ۶ و ۳ متر فرض می‌کنیم:

$$V = 3 \times 5 \times 6 = 90 m^3 \quad , \quad g = 10 \frac{N}{kg} \quad , \quad \rho = 1/205 \frac{kg}{m^3}$$

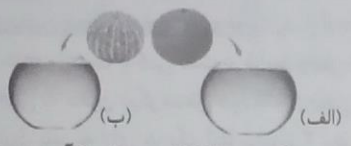
جرم هوای کلاس: $\rho = \frac{m}{V} \rightarrow m = \rho V = 1/205 \times 90 = 108/45kg \rightarrow m = 108/45kg$

وزن هوای کلاس: $W = mg = 108/45 \times 10 = 1084/5N \rightarrow W = 1084/5N$

فعالیت ۱-۷ ..... ۲۳

اگر پرتقالی را درون ظرف محتوی آب بیندازیم پیش‌بینی کنید چه اتفاقی می‌افتد؟ آزمایش را انجام دهید (شکل الف) و نتیجه مشاهده خود را با توجه به مفهوم چگالی توضیح دهید.

پرتقال بر روی سطح آب قرار می‌گیرد، چون چگالی آن کمتر از چگالی آب است.



اگر پرتقال را بدون پوست درون ظرف محتوی آب بیندازیم دوباره پیش‌بینی کنید چه اتفاقی می‌افتد؟ آزمایش را مطابق شکل (ب) انجام دهید و نتیجهٔ مشاهدهٔ خود را با توجه به مفهوم چگالی توضیح دهید.

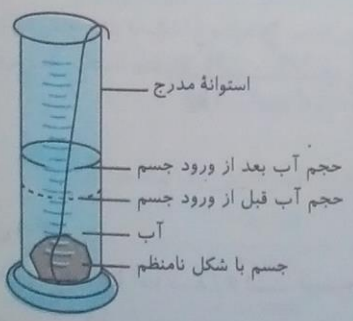
پرتقال پوست کنده داخل آب فرو می‌رود، چون چگالی آن بیشتر از چگالی آب است.

در آزمایش (الف) پرتقال جرم بیشتری دارد و اصطلاحاً سنگین‌تر است. آیا سنگین‌تر بودن یک جسم دلیلی بر فرورفتن آن در آب است؟ توضیح دهید. خیر، برای فرورفتن جسم در آب باید چگالی جسم بیشتر از چگالی آب باشد. در قسمت الف هم جرم و هم حجم پرتقال بیشتر از قسمت ب است ولی چون چگالی آن کمتر از چگالی آب است بر روی آب شناور باقی می‌ماند.

(در حالت ب، حجم و جرم کاهش یافته است و حجم نسبت به جرم کاهش بیشتری یافته است، پس چگالی نسبت به حالت اول افزایش می‌یابد: $\rho = \frac{m}{V} \uparrow \downarrow$)

فعالیت ۱-۸ ..... ۲۳

الف) جرم و حجم تعدادی جسم جامد را اندازه بگیرید. در صورتی‌که شکل جسم‌ها منظم باشد، ابعاد آنها را به کمک کولیس یا ریزسنج اندازه بگیرید. اگر جسم جامد شکل نامنظمی داشته باشد، از روشی که در شکل روبه‌رو نشان داده شده است حجم آن را اندازه بگیرید.



اگر جسم شکل نامنظمی داشته باشد برای اندازه‌گیری حجم آن، جسم را درون یک ظرف مدرج پر از آب قرار می‌دهیم. با مقایسه اختلاف حجم آب قبل و بعد از ورود جسم به آب، می‌توان حجم جسم را به‌دست آورد.

حجم آب قبل از ورود جسم - حجم آب بعد از ورود جسم = حجم جسم

نوع جسم	جرم	حجم
یک عدد سیب	۰/۱۲۵kg	۴۰۰cm^3
قوطی کبریت خالی	۰/۰۲۵kg	۲۷cm^3
یک عدد پاک‌کن	۰/۰۳۰kg	۱۱cm^3
کلید	۰/۰۲۰kg	۴cm^3

ب) با استفاده از سرنگ مدرج بزرگ و ترازوی با دقت مناسب، چگالی برخی از مایع‌های در دسترس مانند شیر، روغن، مایع ظرفشویی و ... را اندازه بگیرید.

قبل و بعد از پر کردن سرنگ، جرم آن را اندازه بگیرید و به این روش جرم مایع را تعیین کنید.

نوع مایع	جرم	حجم	چگالی
شیر	۲/۱g	۲cm^3	۱۰۵۰$\frac{kg}{m^3}$
روغن مایع	۱/۸g	۲cm^3	۹۰۰$\frac{kg}{m^3}$
مایع ظرفشویی	۱/۷g	۲cm^3	۹۵۰$\frac{kg}{m^3}$

با توجه به مقادیر به دست آمده در جدول فوق، چگالی شیر و مایع ظرفشویی تقریباً برابر با چگالی آب است. همچنین چگالی روغن مایع تقریباً برابر با چگالی روغن زیتون است.

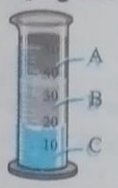
۲۵

فیزیک ۱

۲۳

پرسش ۱-۵

سه مایع مخلوط‌نشدنی A، B و C که چگالی‌های متفاوتی دارند درون استوانه‌ای شیشه‌ای ریخته شده‌اند. این سه مایع عبارت‌اند از: جیوه (با چگالی $13/6\times10^3\ kg/m^3$)، روغن زیتون (با چگالی $9/20\times10^2\ kg/m^3$) و آب (با چگالی $1/00\times10^3\ kg/m^3$) است. جنس هر یک از مایع‌های A، B و C درون استوانه را مشخص کنید.



C: جیوه - چون چگالی جیوه از همه بیشتر است پایین‌تر از بقیه قرار می‌گیرد.

B: آب - چون چگالی آب از روغن بیشتر است پایین‌تر از روغن قرار می‌گیرد.

A: روغن - چون چگالی روغن از همه کمتر است بالاتر از سایر مایعات قرار می‌گیرد.

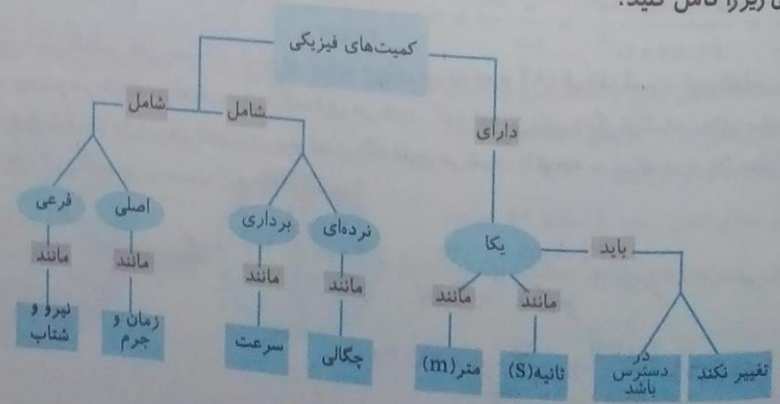
۲۵

پرسش‌ها و مسئله‌ها

۱-در چه صورت یک مدل یا نظریهٔ فیزیکی بازنگری می‌شود؟ در صورتی که مدل یا نظریه مطرح شده با نتایج آزمایشات جدید مغایرت داشته باشد.

۲-فرآیند مدل‌سازی درفیزیک را با ذکر یک مثال توضیح دهید. در بررسی حرکت اجسام در قرقره‌ها ازجرم نخ و قرقره و نیروی اصطکاک بین نخ و قرقره صرف‌نظر کرده و فقط نیروی وزن اجسام را در حرکت در نظر می‌گیریم.

۳-نقشهٔ مفهومی زیر را کامل کنید.



۴- سعی کنید با نگاه کردن، طول برخی از اجسامی را که در محیط اطرافتان هستند، بر حسب سانتی‌متر یا متر برآورد کنید. سپس طول آنها را با خط‌کش یا متر اندازه بگیرید. برآوردهای شما تا چه حد درست بوده‌اند؟

دقت در برآورد امری تجربی است و به ندرت می‌توان طول دقیق یک جسم را به درستی برآورد کرد.

مورد اندازه‌گیری	طول کتاب فیزیک	طول یک خودکار	طول کلاس
اندازه برآورد شده	۳۰cm	۱۵cm	۶m
اندازه واقعی	۲۶/۵cm	۱۳cm	۶/۵m

۵- جرم یک سوزن ته‌گرد را چگونه می‌توان با یک ترازوی آشپزخانه اندازه‌گیری کرد؟ تعداد معینی سوزن را بر روی ترازو قرار داده و جرم آنها را اندازه‌گیری می‌کنیم. اگر این جرم را بر تعداد سوزن‌ها تقسیم کنیم، جرم هر سوزن مشخص می‌شود.

۶- گالیله در برخی از کارهایش از ضربان نبض خود به عنوان زمان‌سنج استفاده کرد. شما نیز چند پدیدهٔ تکرار شونده در طبیعت را نام ببرید که می‌توانند به عنوان ابزار اندازه‌گیری زمان به کار روند. گردش زمین به دور محورش، گردش ماه به دور زمین، گردش زمین به دور خورشید، حرکت سیارات و اقمار در چرخش آنها، ارتعاشات یک اتم.

۷- الف) هر میکروقرن، تقریباً چند دقیقه است؟

$$(۱\text{میکروقرن}) = (۱\text{قرن})(\frac{۱۰۰\,\text{year}}{۱\,\text{قرن}})(\frac{۳۶۵\,\text{day}}{۱\,\text{year}})(\frac{۲۴\,\text{h}}{۱\,\text{day}})(\frac{۶۰\,\text{min}}{۱\,\text{h}}) =$$

$$= ۱\times۱۰۰\times۳۶۵\times۲۴\times۶۰(\mu\,\text{min}) = ۵۲۵۶۰۰۰۰\times۱۰^{-۶}\,\text{min} = ۵۲/۵۶\,\text{min}$$

ب) یک میلیارد ثانیهٔ دیگر، تقریباً چند سال پیرتر می‌شوید؟

$$۱۰۰۰۰۰۰۰۰\text{s} = ۱۰^{۹}\text{s} = (۱۰^{۹}\,\text{s})(\frac{۱\,\text{min}}{۶۰\,\text{s}})(\frac{۱\,\text{h}}{۶۰\,\text{min}})(\frac{۱\,\text{day}}{۲۴\,\text{h}})(\frac{۱\,\text{سال}}{۳۶۵\,\text{day}})$$

$$= \frac{۱۰^{۹}}{۶۰\times۶۰\times۲۴\times۳۶۵}\,\text{سال} \simeq ۳۱\,\text{سال}$$

۸- هکتار، از جمله یکاهای متداول مساحت است. هر هکتار برابر ۱۰ هزار مترمربع است.

الف) اگر زمین را کره‌ای یکنواخت به شعاع ۶۴۰۰ کیلومتر در نظر بگیریم (شکل روبه‌رو)، مساحت آن چند هکتار است؟

$$\pi \simeq ۳\ ,\ r = ۶۴۰۰\text{km} = ۶۴۰۰\times۱۰^{۳}\,\text{m} = ۶۴\times۱۰^{۵}\,\text{m}$$

$$S = ۴\pi r^{۲} = ۴\times۳\times(۶۴\times۱۰^{۵})^{۲} = ۴\times۳\times۶۴^{۲}\times۱۰^{۱۰} = ۴۹۱۵۲\times۱۰^{۱۰}\,\text{m}^{۲}$$

اگر مساحت برحسب مترمربع را بر ۱۰۰۰۰ تقسیم کنیم، مساحت زمین بر حسب هکتار به دست می‌آید:

$$۴۹۱۵۲\times۱۰^{۱۰}\,\text{m}^{۲} = (۴۹۱۵۲\times۱۰^{۱۰}\,\text{m}^{۲})(\frac{۱\,\text{هکتار}}{۱۰^{۴}\,\text{m}^{۲}}) = ۴۹۱۵۲\times۱۰^{۶}\,\text{هکتار}$$

ب) تحقیق کنید مساحت کل سرزمین ایران شامل خشکی و دریا، چند هکتار است؟ این مساحت چند درصد از مساحت کرهٔ زمین است؟

مساحت سرزمین ایران: $۱۶۴۸۱۹۵\text{km}^{۲} = ۱۶۴۸۱۹۵\times۱۰^{۶}\,\text{m}^{۲} = (۱۶۴۸۱۹۵\times۱۰^{۶}\,\text{m}^{۲})(\frac{۱\,\text{هکتار}}{۱۰^{۴}\,\text{m}^{۲}})$

$$= ۱۶۴۸۱۹۵\times۱۰^{۲}\,\text{هکتار}$$

$$\frac{\text{مساحت ایران}}{\text{مساحت کره زمین}} = \frac{۱۶۴۸۱۹۵\times۱۰^{۶}}{۴۹۱۵۲\times۱۰^{۱۰}} = \frac{x}{۱۰۰} \rightarrow x = \frac{۱۶۴۸۱۹۵\times۱۰^{۶}\times۱۰۰}{۴۹۱۵۲\times۱۰^{۱۰}} \simeq ۳۳\times۱۰^{-۲} = ۰/۳۳\,\text{درصد}$$

۹- یکی از بزرگ‌ترین الماس‌های شناخته شده در ایران، دریای نور به جرم ۱۸۲ قیراط، است. این الماس به رنگ کمیاب صورتی شفاف بوده و در خزانهٔ جواهرات ملی نگه‌داری می‌شود. کوه نور نیز یکی دیگر از الماس‌های مشهور جهان است که جرمی حدود ۱۰۸ قیراط دارد و هم اکنون در برج لندن نگه‌داری می‌شود. با توجه به اینکه هر قیراط معادل ۲۰۰ میلی‌گرم است، جرم دریای نور و کوه نور برحسب گرم چقدر است؟

دریای نور: $۱۸۲\,\text{قیراط} = (۱۸۲\,\text{قیراط})(\frac{۲۰۰\,\text{mg}}{۱\,\text{قیراط}})(\frac{۱\,\text{g}}{۱۰^{۳}\,\text{mg}}) = ۳۶/۴\,\text{g}$

کوه نور: $۱۰۸\,\text{قیراط} = (۱۰۸\,\text{قیراط})(\frac{۲۰۰\,\text{mg}}{۱\,\text{قیراط}})(\frac{۱\,\text{g}}{۱۰^{۳}\,\text{mg}}) = ۲۱/۶\,\text{g}$

۱۰- سریع‌ترین رشد گیاه متعلق به گیاهی موسوم به هسپروئوکا است که در مدت ۱۴ روز، ۳/۷ متر رشد می‌کند (شکل روبه‌رو). آهنگ رشد این گیاه برحسب میکرومتر بر ثانیه چقدر است؟ چون آهنگ رشد برحسب میکرومتر بر ثانیه خواسته شده است، بنابراین باید مقدار رشد را برحسب میکرومتر و زمان را بر حسب ثانیه محاسبه کنیم.

مقدار رشد: $3/7\,m = (3/7\,\cancel{m})\left(\frac{10^6\,\mu m}{1\,\cancel{m}}\right) = 3/7\times10^6\,\mu m$

زمان: ۱۴ روز $= 86400\times14 = 1209600\,s$

هر روز $86400\,s$ است.

آهنگ رشد $= \frac{\text{مقدار رشد}}{\text{زمان}} = \frac{3/7\times10^6}{1209600} = 3/06\,\mu m/s$

۱۱- دستگاه بریتانیایی یکاها، دستگاهی است که در برخی از کشورها مانند آمریکا و انگلستان همچنان استفاده می‌شود. یکای اصلی طول در این دستگاه پا (فُوت) و یکای کوچک‌تر آن اینچ است به‌طوری که $1ft = 12in$ است. ارتفاع هواپیمایی را که در فاصلهٔ ۳۰۰۰۰ پا از سطح آزاد دریاها در حال پرواز است برحسب متر به‌دست آورید. هر اینچ ۲/۵۴۰ سانتی‌متر است.

$30000\,ft = (30000\,\cancel{ft})\left(\frac{12\,\cancel{in}}{1\,\cancel{ft}}\right)\left(\frac{2/540\,\cancel{cm}}{1\,\cancel{in}}\right)\left(\frac{1\,m}{100\,\cancel{cm}}\right) = 9144\,m$

۱۲- قدیمی‌ترین سنگ‌نوشتهٔ حقوق بشر که تاکنون یافت شده است به حدود ۲۵۵۰ سال پیش باز می‌گردد که به فرمان کورش، پادشاه ایران در دورهٔ هخامنشیان نوشته شده است. مرتبهٔ بزرگی سنّ این سنگ‌نوشته برحسب ثانیه چقدر است؟

سال 10^3 ~ سال $10^3\times10^\circ$ ~ سال $2/550\times10^3 = 2550$ سال: تخمین مرتبه بزرگی قدمت

مرتبه بزرگی سن سنگ نوشته $\Rightarrow 10^7\,s$ ~ $10^7\times10^\circ$ ~ $10^7\times10^3 = 10^{10}\,s$: تخمین مرتبه بزرگی یک سال $3\times10^7\,s$

۱۳- تندی شناورها در دریا برحسب یکایی به نام گره بیان می‌شود. هر گره دریایی برابر ۰/۵۱۴۴ متر بر ثانیه است.

الف) اگر یک کشتی حمل کالا با تندی ۱۴ گره از بندر شهید رجایی به طرف جزیرهٔ لاوان حرکت کند، تندی آن را برحسب کیلومتر بر ساعت به دست آورید.

تندی کشتی برحسب m/s:

$14\,\text{گره} = (14\,\cancel{\text{گره}})\left(\frac{0/5144\,m/s}{1\,\cancel{\text{گره}}}\right) = 7/2016\,\frac{m}{s}$

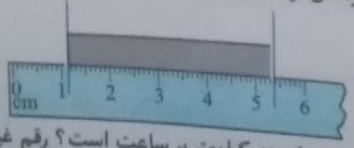
تندی کشتی برحسب km/h:

$7/2016\,\frac{m}{s} = (7/2016\,\frac{\cancel{m}}{\cancel{s}})\left(\frac{3600\,\cancel{s}}{1\,h}\right)\left(\frac{1\,km}{1000\,\cancel{m}}\right) = 25/93\,\frac{km}{h}$

ب) مایل، یکی دیگر از یکاهای متداول طول در دستگاه بریتانیایی است. یک مایل دریایی برابر ۱۸۵۲ متر است. تندی کشتی قسمت (الف) را برحسب مایل بر ساعت به دست آورید.

$7/2016\,\frac{m}{s} = (7/2016\,\frac{\cancel{m}}{\cancel{s}})\left(\frac{1\,mile}{1852\,\cancel{m}}\right)\left(\frac{3600\,\cancel{s}}{1\,h}\right) = 14\,\frac{mile}{h}$

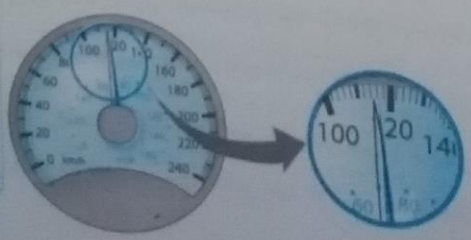
۱۴- دانش‌آموزی برای اندازه‌گیری طول میله‌ای به کمک یک خط‌کش میلی‌متری، مطابق شکل زیر عمل کرده است. طول میله را برحسب میلی‌متر، سانتی‌متر و متر گزارش کنید. در گزارش خود رقم حدسی (غیرقطعی) و خطای خط‌کش را مشخص کنید.



طول میله: $42/3\,mm$, $4/23\,cm$, $0/0423\,m$

رقم غیرقطعی ۳ و خطای خط‌کش $\pm0/5\,mm$ است.

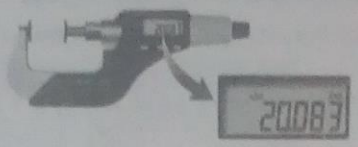
۱۵- شکل زیر، صفحهٔ تندی‌سنج یک خودرو را نشان می‌دهد. تندی خودرو را چند کیلومتر بر ساعت است؟ رقم غیر قطعی و خطای تندی‌سنج را در گزارش مشخص کنید.



تندی خودرو $(115\pm1)\,km/h$ است.

رقم غیرقطعی ۵ و خطای تندی‌سنج $\pm1\,km/h$ است.

۱۶- شکل‌های (الف) و (ب)، به ترتیب یک ریزسنج و یک کولیس رقمی را نشان می‌دهد. رقم غیرقطعی و خطای هر یک از این وسیله‌ها را مشخص کنید.



(الف)

(ب)

الف) رقم غیر قطعی ۳ و خطای وسیله $\pm ۰/۰۰۱ mm$ است. ب) رقم غیرقطعی ۷ و خطای وسیله $\pm ۰/۰۱ mm$ است.

۱۷-الف) مرتبهٔ بزرگی تعداد نفس‌هایی را که یک شخص در طول عمرش می‌کشد، تخمین بزنید.

میانگین تنفس هر شخص ۱۵ بار در دقیقه است، بنابراین مرتبه بزرگی تعداد تنفس شخص در هر ثانیه برابر است با:

$$x = \frac{۱۵}{۶۰} = ۰/۲۵ = ۲/۵ \times ۱۰^{-۱} \sim ۱۰^{۰} \times ۱۰^{-۱} \times \sim ۱۰^{-۱} \text{ تنفس}$$

$$\sim ۱۰^{۱} \times ۱۰^{۱} \sim ۷/۵ \times ۱۰^{۱} = ۷۵ \text{ سال} = \text{میانگین طول عمر انسان} \sim ۱۰^{۲} \text{year}$$

$$\sim ۱۰^{۷} \text{s} \sim ۱۰^{۰} \times ۱۰^{۷} = ۳ \times ۱۰^{۷} \text{s} = \text{یک سال}$$

بنابراین تعداد تنفس یک شخص در طول عمرش را به‌صورت زیر می‌توان تخمین زد:

$$N \sim (۱۰^{۲} \text{ year})\left(\frac{۱۰^{۷} \text{ s}}{۱ \text{ year}}\right)\left(\frac{\text{تنفس } ۱۰^{-۱}}{۱ \text{ s}}\right) \sim ۱۰^{۲} \times ۱۰^{۷} \times ۱۰^{-۱} \sim ۱۰^{۸} \text{ تنفس}$$

ب)مرتبهٔ بزرگی پلک‌هایی را که چشم یک شخص در طول عمرش می‌زند، تخمین بزنید.

میانگین تعداد پلک زدن‌های هر شخص ۳۰ بار در دقیقه است بنابراین مرتبه بزرگی تعداد پلک شخص در هر ثانیه برابر است با:

$$x = \frac{۳۰}{۶۰} = ۰/۵ = ۵ \times ۱۰^{-۱} \sim ۱۰^{۱} \times ۱۰^{-۱} \sim ۱۰^{۰}$$

بنابراین تعداد پلک زدن یک شخص در طول عمرش را به‌صورت زیر تخمین می‌زنیم:

$$N \sim (۱۰^{۲} \text{ year})\left(\frac{۱۰^{۷} \text{ s}}{۱ \text{ year}}\right)\left(\frac{\text{پلک } ۱۰^{۰}}{۱ \text{ s}}\right) \sim ۱۰^{۲} \times ۱۰^{۷} \times ۱۰^{۰} \sim ۱۰^{۹} \text{ پلک}$$

۱۸- مرتبهٔ بزرگی جرم آب اقیانوس را تخمین بزنید.

طبق برآوردهای انجام شده حجم کل آب اقیانوس‌ها $۱/۳۲ \times ۱۰^{۱۲} m^۳$ تخمین زده می‌شود. با در نظر گرفتن $\rho_{\text{آب دریا}} = ۱۰۵۰ \frac{kg}{m^۳}$ داریم: مرتبه بزرگی حجم آب اقیانوس‌ها $V = ۱/۳۲ \times ۱۰^{۱۲} m^۳ \sim ۱۰^{۰} \times ۱۰^{۱۲} \sim ۱۰^{۱۲} m^۳$

مرتبه بزرگی چگالی آب $\rho_{\text{آب دریا}} = ۱۰۵۰ \frac{kg}{m^۳} = ۱/۰۵۰ \times ۱۰^{۳} \frac{kg}{m^۳} \sim ۱۰^{۰} \times ۱۰^{۳} \sim ۱۰^{۳} \frac{kg}{m^۳}$

مرتبه بزرگی جرم آب اقیانوس‌ها $\rho = \frac{m}{V} \rightarrow m = \rho V = ۱۰^{۳} \times ۱۰^{۱۲} = ۱۰^{۱۵} kg$

۱۹- الف) قطعه‌ای فلزی به شما داده شده است و ادعا می‌شود که از طلای خالص ساخته شده است. چگونه می‌توانید درستی این ادعا را بررسی کنید؟ برای پی بردن به درستی ادعا مراحل زیر را انجام می‌دهیم:

۱) جرم جسم را با ترازو اندازه‌گیری می‌کنیم. ۲) حجم جسم را با اندازه‌گیری ابعاد آن محاسبه می‌کنیم. (اگر جسم شکل نامنظمی داشت، برای تعیین حجم آن از نتایج فعالیت ۱-۸ (الف) بهره می‌گیریم.) ۳) با استفاده از رابطه $\rho = \frac{m}{V}$ و با داشتن جرم و حجم، چگالی جسم را اندازه‌گیری می‌کنیم. ۴) چگالی جسم را با چگالی طلای خالص $(\rho = ۱۹۳۲۰ \frac{kg}{m^۳})$ مقایسه می‌کنیم، اگر هر دو یکسان بودند، جسم از طلای خالص است. در غیر این صورت قطعه دارای ناخالصی است یا از فلز دیگری درست شده است.

ب) بزرگ‌ترین شمش طلا با حجم $1/573\times10^{4}\,cm^3$ و جرم $250/0\,kg$ توسط یک شرکت ژاپنی ساخته شده است (شکل روبه‌رو). چگالی این شمش طلا را به‌دست آورید.

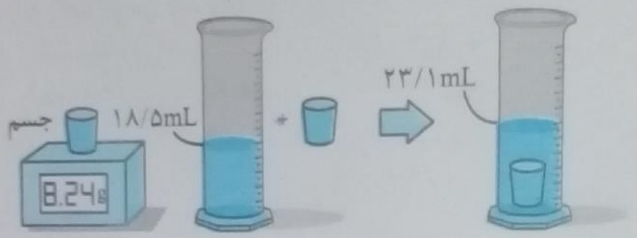
$$m=250/0\,kg\ ,\ V=1/573\times10^{4}\,cm^3=1/573\times10^{-2}\,m^3$$

$$\rho=\frac{m}{V}\Rightarrow\rho=\frac{250/0\,kg}{1/573\times10^{-2}\,m^3}=15893\,\frac{kg}{m^3}$$

پ) نتیجه به‌دست آمده در قسمت (ب) را با چگالی طلا در جدول ۱-۸ مقایسه کنید و دلیل تفاوت این دو عدد را بیان کنید.

اطلاعات جدول ۱-۸، چگالی طلا در دمای $0^\circ C$ و فشار یک اتمسفر را نشان می‌دهد. افزایش دما و فشار، حجم طلا و در نتیجه چگالی طلا را تغییر می‌دهد. علاوه بر این اطلاعات جدول مربوط به چگالی طلای خالص است. اگر عیار طلا کمتر از ۲۴ باشد چگالی آن با عدد گزارش شده در جدول متفاوت خواهد بود.

۲۰- برای تعیین چگالی یک جسم جامد، ابتدا جرم و حجم آن را مطابق شکل زیر پیدا کرده‌ایم. با توجه به داده‌های روی شکل، چگالی جسم را برحسب g/L و g/cm^3 حساب کنید.



ترازوی رقمی

برای محاسبه چگالی جسم برحسب g/L باید جرم جسم برحسب گرم و حجم جسم برحسب لیتر باشد بنابراین:

$$m=8/24g\ ,\ V=(23/1-18/5)mL=(4/6\,\not{mL})\left(\frac{10^{-3}\,L}{1\,\not{mL}}\right)=4/6\times10^{-3}\,L$$

$$\rho=\frac{m}{V}=\frac{8/24g}{4/6\times10^{-3}\,L}=1/79\times10^{3}\,g/L$$

برای محاسبه چگالی جسم برحسب g/cm^3 نیز باید جرم جسم برحسب گرم و حجم جسم برحسب cm^3 باشد بنابراین:

$$m=8/24g\ ,\ V=4/6mL=4/6cm^3$$

$$\rho=\frac{m}{V}=\frac{8/24g}{4/6cm^3}=1/79\,g/cm^3$$

۲۱- الف) ستاره‌های کوتولهٔ سفید بسیار چگال هستند و چگالی آنها در SI حدود ۱۰۰ میلیون است. اگر شما یک قوطی کبریت از مادهٔ تشکیل‌دهندهٔ این ستاره‌ها در اختیار داشتید، جرم آن چند کیلوگرم می‌شد؟ ابعاد و حجم قوطی کبریت را خودتان تخمین بزنید!

ابعاد قوطی کبریت را ۵، ۳/۶ و ۱/۵ سانتی‌متر فرض می‌کنیم:

$$V=1/5\times3/6\times5=27cm^3=27\times10^{-6}\,m^3\ ,\ \rho=100\times10^{6}\,\frac{kg}{m^3}\ ,\ m=?$$

$$\rho=\frac{m}{V}\rightarrow m=\rho V=100\times10^{6}\times27\times10^{-6}=2700kg$$

ب) اگر جمعیت کرهٔ زمین ۷ میلیارد نفر، جرم میانگین هر نفر ۶۰ کیلوگرم و مادهٔ تشکیل‌دهندهٔ انسان‌ها از جنس ستاره‌های کوتولهٔ سفید فرض شود (فرض ناممکن!)، ابعاد یک اتاق چقدر باشد تا همهٔ انسان‌ها در آن جای گیرند؟

جرم ۷ میلیارد نفر: $m=7\times10^{9}\times60=420\times10^{9}=42\times10^{10}\,kg\ ,\ V=?\ ,\ \rho=100\times10^{6}\,\frac{kg}{m^3}$

$$\rho=\frac{m}{V}\rightarrow V=\frac{m}{\rho}=\frac{42\times10^{10}}{100\times10^{6}}=\frac{42\times10^{10}}{10^{8}}=4200m^3$$

ابعاد اتاق $\rightarrow$ حجم اتاق : $100\times14\times3$

ارزشیابی مستمر

۱- جاهای خالی را با کلمه‌های مناسب پر کنید. (۰/۵نمره)

الف) نادیده گرفتن اثرات جزئی و بررسی موارد مهم و تعیین‌کننده پدیده‌های فیزیکی را ..... می‌گویند.

ب) کمیت‌هایی که برای آنها یکای استانداردی تعریف شده است، کمیت ..... می گویند.

۲- گزینه درست را مشخص کنید. (۰/۵)

الف) انرژی و دما کمیت‌هایی ..... هستند.

الف) اصلی ب) فرعی ج) عددی (اسکالر) د) برداری

ب) کدام‌یک از عوامل زیر مؤثر بر دقت اندازه‌گیری نیست؟

الف) تعداد دفعات اندازه‌گیری ب) حساسیت اولیه

ج) مهارت شخص د) مدت زمان اندازه‌گیری

۳- عبارت‌های مناسب را به یکدیگر وصل کنید. (۰/۵)

ضریب پیشوند اِگزا	2×10^{3}
عدد ۲۰۰۰ به‌صورت نماد علمی	10^{-21}
	$0/2\times10^{2}$
	10^{18}

۴- مفاهیم زیر را تعریف کنید. (۱)

الف) کمیت‌برداری ب) چگالی

۵- $0/001\mu s$ چند آتو ثانیه است؟ (۰/۵)

۶- اعداد زیر را با نماد گذاری علمی و برحسب یکاهای خواسته شده بنویسید. (۱)

الف) $0/05\times10^{-10}Ts = ...ns$ ب) $2456\times10^{-5}Zm = ...km$

۷- مرتبه بزرگی اعداد زیر را تخمین بزنید: (۱)

الف) ۱۴۵/۶ ب) ۰/۱۷۵

۸- در شهری با مساحت ۲۵۰ کیلومتر مربع در یک روز بارانی ۸ میلی‌متر باران باریده است. اگر هر قطره باران به‌صورت کره‌ای به شعاع ۰/۵mm فرض کنیم، مرتبه بزرگی تعداد قطره‌های بارانی که در این روز در شهر باریده است را تخمین بزنید. (۱/۵)

۹- هر هکتار ۱۰۰۰۰ متر مربع است. اگر ماه را کره‌ای به شعاع ۱۷۰۰ کیلومتر در نظر بگیریم، مساحت آن چند هکتار است؟ (حاصل را با نمادگذاری علمی بنویسید.)(۰/۷۵)

۱۰- فلزی به چگالی $2/7\,g/cm^3$ به طور کامل در ظرفی پر از الکل به چگالی $0/8\,g/cm^3$ فرو می‌رود و به اندازه ۱۶۰g الکل از ظرف بیرون می‌ریزد. جرم قطعه فلز چقدر است؟ (سراسری ریاضی - ۹۳) (۱)

۱۱- حجم یک قطعه طلا به جرم ۳۸ گرم چند سانتی‌متر مکعب است؟ $(\rho_{طلا}=19000\frac{kg}{m^3})$ (۰/۷۵)

۱۲- گیاه ذرت در مدت ۶۰ روز به اندازه ۱۰۸cm رشد می‌کند. آهنگ رشد این گیاه برحسب نانومتر بر ثانیه چقدر است؟(هر روز برابر $9\times10^{4}s$ است.)(۱)

پاسخ ارزشیابی مستمر

۱ الف) مدل‌سازی(۰/۲۵)، ب) اصلی (۰/۲۵) ۲ الف) گزینهٔ (ج) (۰/۲۵) ب) گزینهٔ (د) (۰/۲۵) ۳ ضریب پیشوند اِگزا= 10^{18} (۰/۲۵) عدد ۲۰۰۰ به‌صورت نماد علمی= 2×10^{3} (۰/۲۵) ۴ الف) کمیت‌هایی که علاوه بر عدد و یکا، جهت نیز دارند، کمیت برداری نامیده می‌شوند. (۰/۵) ب) جرم واحد حجم هر جسم را چگالی آن جسم می‌گویند. (۰/۵)

۵ $0/001\mu s\times\frac{10^{-6}s}{1\mu s}\times\frac{1as}{10^{-18}s}=10^{-3}\times10^{-6}\times10^{18}as=10^{9}as$ (۰/۲۵)

۶ الف)

$$۰/۰۰۵\times۱۰^{-۱۰}\,\text{Ts} = ۰/۰۵\times۱۰^{-۱۰}\,\text{Ts}\times\frac{۱۰^{۱۲}\,\text{s}}{۱\,\text{Ts}}\times\frac{۱\,\text{ns}}{۱۰^{-۹}\,\text{s}}$$
(۰/۲۵)

$$=۰/۰۵\times۱۰^{-۱۰}\times۱۰^{۱۲}\times۱۰^{۹}\,\text{ns}=۵\times۱۰^{۹}\,\text{ns}\ (۰/۲۵)$$

ب)

$$۲۴۵۶\times۱۰^{-۵}\,\text{Zm} = ۲۴۵۶\times۱۰^{-۵}\,\text{Zm}\times\frac{۱۰^{۲۱}\,\text{m}}{۱\,\text{Zm}}\times\frac{۱\,\text{km}}{۱۰^{۳}\,\text{m}}$$
(۰/۲۵)

$$=۲۴۵۶\times۱۰^{-۵}\times۱۰^{۲۱}\times۱۰^{-۳}=۲/۴۵۶\times۱۰^{۱۶}\,\text{km}\ (۰/۲۵)$$

۷ الف)

$$۱۴۵/۶ = ۱/۴۵۶\times۱۰^{۲}\sim۱۰^{۲}\ (۰/۲۵)$$
(۰/۲۵)

ب)

$$۰/۱۷۵ = ۱/۷۵\times۱۰^{-۱}\sim۱۰^{-۱}\ (۰/۲۵)$$
(۰/۲۵)

۸ مساحت شهر: $A=۲۵۰\text{km}^{۲}=(۲۵۰\text{km}^{۲})(\frac{۱۰^{۳}\,\text{m}}{۱\,\text{km}})^{۲}=(۲۵۰\,\text{km}^{۲})(\frac{۱۰^{۶}\,\text{m}^{۲}}{۱\,\text{km}^{۲}})=۲۵۰\times۱۰^{۶}\,\text{m}^{۲}$

$$=۲/۵۰\times۱۰^{۲}\times۱۰^{۶}\,\text{m}^{۲}\sim۱۰^{۰}\times۱۰^{۲}\times۱۰^{۶}\,\text{m}^{۲}\sim۱۰^{۸}\,\text{m}^{۲}\ (۰/۲۵)$$

ارتفاع باران: $d=۸\text{mm}=(۸\,\text{mm})(\frac{۱۰^{-۳}\,\text{m}}{۱\,\text{mm}})=۸\times۱۰^{-۳}\,\text{m}\sim۱۰^{۱}\times۱۰^{-۳}\,\text{m}\sim۱۰^{-۲}\,\text{m}\ (۰/۲۵)$

حجم باران باریده شده: $V_۱=\text{A}\,d=۱۰^{۸}\,\text{m}^{۲}\times۱۰^{-۲}\,\text{m}=۱۰^{۶}\,\text{m}^{۳}\ (۰/۲۵)$

شعاع یک قطره باران: $r=۰/۵\text{mm}=(۰/۵\,\text{mm})(\frac{۱۰^{-۳}\,\text{m}}{۱\,\text{mm}})=۰/۵\times۱۰^{-۳}\,\text{m}\ (۰/۲۵)$

حجم یک قطره باران: $V_۲=\frac{۴}{۳}\pi r^{۳}=\frac{۴}{۳}\times۳/۱۴\times(۰/۵\times۱۰^{-۳})^{۳}=۰/۵۲۳\times۱۰^{-۹}\,\text{m}^{۳}$

$$=۵/۲۳\times۱۰^{-۱}\times۱۰^{-۹}\,\text{m}^{۳}\sim۱۰^{۱}\times۱۰^{-۱}\times۱۰^{-۹}\,\text{m}^{۳}\sim۱۰^{-۹}\,\text{m}^{۳}\ (۰/۲۵)$$

برای محاسبه مرتبه بزرگی تعداد قطرات باران باید حجم باران باریده شده را بر حجم یک قطره تقسیم کنیم:

$$\frac{V_۱}{V_۲}=\frac{۱۰^{۶}}{۱۰^{-۹}}=۱۰^{۶}\times۱۰^{۹}=۱۰^{۱۵}\ (۰/۲۵)$$

۹ شعاع ماه: $r=۱۷۰۰\text{km}=۱۷۰۰\times۱۰^{۳}\,\text{m}=۱/۷\times۱۰^{۶}\,\text{m}\ (۰/۲۵)$

مساحت ماه: $A=۴\pi r^{۲}=۴\times۳/۱۴\times(۱/۷\times۱۰^{۶})^{۲}=۳۶/۳\times۱۰^{۱۲}\,\text{m}^{۲}\ (۰/۲۵)$

مساحت ماه بر حسب هکتار:

$$\frac{۳۶/۳\times۱۰^{۱۲}}{۱۰۰۰۰}=\frac{۳۶/۳\times۱۰^{۱۲}}{۱۰^{۴}}=۳۶/۳\times۱۰^{۸}\ \text{هکتار}\ (۰/۲۵)$$

۱۰ $\rho_{\text{فلز}}=۲/۷\frac{\text{g}}{\text{cm}^{۳}}\ ,\ m_{\text{فلز}}=?$

$$\rho_{\text{الکل}}=۰/۸\frac{\text{g}}{\text{cm}^{۳}}\ ,\ m_{\text{الکل}}=۱۶۰\text{g}\ ,\ \rho=\frac{m}{V}\rightarrow V=\frac{m}{\rho}$$

$$V_{\text{الکل}}=V_{\text{فلز}}\ (۰/۲۵)\rightarrow\frac{m_{\text{الکل}}}{\rho_{\text{الکل}}}=\frac{m_{\text{فلز}}}{\rho_{\text{فلز}}}\ (۰/۲۵)\rightarrow\frac{۱۶۰}{۰/۸}=\frac{m_{\text{فلز}}}{۲/۷}\ (۰/۲۵)\rightarrow m_{\text{فلز}}=\frac{۱۶۰\times۲/۷}{۰/۸}=۵۴۰\text{g}\rightarrow m_{\text{فلز}}=۵۴۰\text{g}\ (۰/۲۵)$$

۱۱ $\rho_{\text{مکعب}}=۱۹۰۰۰\frac{\text{kg}}{\text{m}^{۳}}\ ,\ m=۳۸\text{g}=۰/۰۳۸\text{kg}\ ,\ V=?\ ,\ \rho=\frac{m}{V}\ (۰/۲۵)\rightarrow V=\frac{m}{\rho}$

$$=\frac{m}{\rho}=\frac{۰/۰۳۸}{۱۹۰۰۰}\ (۰/۲۵)=\frac{۳۸\times۱۰^{-۳}}{۱۹\times۱۰^{۳}}=۲\times۱۰^{-۳}\times۱۰^{-۳}=۲\times۱۰^{-۶}\,\text{m}^{۳}=۲\text{cm}^{۳}\ (۰/۲۵)$$

$$\frac{۱۰۸\,cm}{۶۰} = \frac{cm}{day}(۱/۸\frac{cm}{day})(۱)(۱)(۱)(۱) = (۱/۸\frac{cm}{day})(\frac{۱۰^{-۲}\,m}{۱\,cm})(\frac{۱\,nm}{۱۰^{-۹}\,m})(\frac{۱\,day}{۹\times۱۰^{۴}\,s}) \quad (۰/۲۵)$$

$$= \frac{۱/۸\times۱۰^{-۲}\,nm}{۱۰^{-۹}\times۹\times۱۰^{۴}\,s} = ۰/۲\times۱۰^{-۲}\times۱۰^{۹}\times۱۰^{-۴} = ۰/۲\times۱۰^{۳} = ۲۰۰\,nm/s$$

(۰/۲۵) (۰/۲۵)

۱۲

فصل ۲ کار، انرژی و توان

کلیدواژه

انرژی جنبشی - کار نیروی ثابت - کار و انرژی جنبشی - کار و انرژی پتانسیل (کار و انرژی پتانسیل گرانشی - کار و انرژی پتانسیل کشسانی) پایستگی انرژی مکانیکی - کار و انرژی درونی - توان

مفاهیم آموزشی

انرژی جنبشی

انرژی وابسته به حرکت جسم را «انرژی جنبشی (حرکتی)» جسم می‌گویند و آن را با K نشان می‌دهند. این انرژی از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

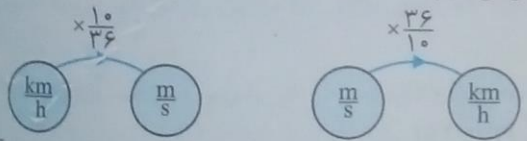
$$K = \frac{۱}{۲}mv^{۲}$$

در این رابطه: K: انرژی جنبشی بر حسب J، m: جرم جسم بر حسب kg و v: تندی جسم بر حسب $\frac{m}{s}$ است.

نکته: انرژی جنبشی کمیتی نرده‌ای و همواره مثبت است.

نکته: انرژی جنبشی یک جسم به جرم و تندی آن وابسته بوده و به جهت حرکت بستگی ندارد.

نکته: برای تبدیل $\frac{km}{h}$ به $\frac{m}{s}$ و بالعکس به صورت زیر عمل می‌کنیم:



مثال ۱: جرم موتورسواری به همراه راننده‌اش ۳۰۰kg است. اگر این موتورسوار با تندی ۷۲km/h حرکت کند. انرژی جنبشی آن چند ژول است؟

$$m = ۳۰۰kg \quad , \quad v = ۷۲\times\frac{۱۰}{۳۶} = ۲۰\frac{m}{s} \quad , \quad K = ?$$

$$K = \frac{۱}{۲}mv^{۲} = \frac{۱}{۲}\times۳۰۰\times۲۰^{۲} = \frac{۱}{۲}\times۳۰۰\times۴۰۰ = ۶۰۰۰۰J = ۶\times۱۰^{۴}J \Rightarrow K = ۶\times۱۰^{۴}J$$

مثال ۲: الکترونی به جرم $۹\times۱۰^{-۳۱}kg$ با تندی $۲\times۱۰^{۴}\,m/s$ به دور هسته در گردش است. انرژی جنبشی آن را محاسبه کنید.

$$m = ۹\times۱۰^{-۳۱}kg \quad , \quad v = ۲\times۱۰^{۴}\frac{m}{s} \quad , \quad K = ?$$

$$K = \frac{۱}{۲}mv^{۲} = \frac{۱}{۲}\times۹\times۱۰^{-۳۱}\times(۲\times۱۰^{۴})^{۲} = \frac{۱}{۲}\times۹\times۱۰^{-۳۱}\times۴\times۱۰^{۸} = ۱۸\times۱۰^{-۲۳}J \Rightarrow K = \ldots$$

مثال ۳: اگر تندی خودرویی به جرم یک تن در یک سراشیبی از ۷۲ km/h به ۱۰۸ km/h برسد. انرژی جنبشی آن چقدر

$$m = ۱ton = ۱۰۰۰kg \quad , \quad v_۱ = ۷۲\times\frac{۱۰}{۳۶} = ۲۰\frac{m}{s} \quad , \quad v_۲ = ۱۰۸\times\frac{۱۰}{۳۶} = ۳۰\frac{m}{s} \quad , \quad K_۲ - K_۱ = ?$$

$$K_۲ - K_۱ = \frac{۱}{۲}mv_۲^{۲} - \frac{۱}{۲}mv_۱^{۲} = \frac{۱}{۲}\times۱۰۰۰\times۳۰^{۲} - \frac{۱}{۲}\times۱۰۰۰\times۲۰^{۲} = ۴۵۰۰۰۰ - ۲۰۰۰۰۰ = \ldots$$

$$\Rightarrow K_۲ - K_۱ = ۲۵۰۰۰۰J$$

مثال ۱: اگر تندی و جرم جسمی را دو برابر کنیم، انرژی جنبشی آن چند برابر می‌شود؟

$$v_2 = 2v_1 \quad , \quad m_2 = 2m_1 \quad , \quad \frac{K_2}{K_1} = ?$$

$$\frac{K_2}{K_1} = \frac{\frac{1}{2}m_2v_2^2}{\frac{1}{2}m_1v_1^2} = \frac{m_2v_2^2}{m_1v_1^2} = \frac{(2m_1)(2v_1)^2}{m_1v_1^2} = \frac{2m_1 \times 4v_1^2}{m_1v_1^2} = \frac{8\,m_1v_1^2}{m_1v_1^2} = 8 \rightarrow \frac{K_2}{K_1} = 8$$

انرژی جنبشی ۸ برابر می‌شود.

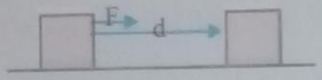
کار انجام شده توسط نیروی ثابت

اگر نیروی F بر جسمی وارد و جسم در جهت نیرو به اندازه d جابه‌جا شود، کار انجام شده توسط این نیرو برابر است با:

در این رابطه:

$$W = Fd$$

W: کار بر حسب J ، F: نیرو بر حسب N ، d: جابه‌جایی بر حسب متر (m)



نکته: کار کمیتی برداری است.

نکته: یک ژول برابر است با یک نیوتون‌متر $(1J = 1N \times 1m)$

مثال ۱: شخصی جعبه‌ای را با نیروی افقی ۱۵۰N هُل می‌دهد. اگر جعبه در امتداد نیرو به اندازه ۲۰m جابه‌جا شود، کار انجام شده توسط این نیرو چقدر است؟

$$F = 150N \ , \ d = 20m \ , \ W = ? \quad W = Fd = 150 \times 20 = 3000J \rightarrow W = 3000J$$

مثال ۲: ورزشکاری خودرویی به جرم ۱/۵ تن را با شتاب $0/25\frac{m}{s^2}$ در امتداد افقی به اندازه ۶m جابه‌جا می‌کند. کار انجام شده توسط این ورزشکار چقدر است؟ (نیروی اصطکاک جسم و سطح ناچیز است.)

$$m = 1/5\,ton = 1500kg \ , \ a = 0/25\frac{m}{s^2} \ , \ d = 6m \ , \ W = ?$$

ابتدا با استفاده از قانون دوم نیوتون نیرویی که ورزشکار به خودرو وارد می‌کند را محاسبه می‌کنیم:

$$F = ma = 1500 \times 0/25 = 375N \rightarrow F = 375N$$

حال با کمک نیرو و جابه‌جایی، کار انجام شده را به دست می‌آوریم:

$$W = Fd = 375 \times 6 = 2250J \rightarrow W = 2250J$$

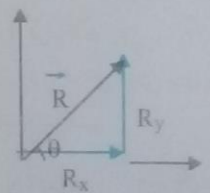
مثال ۳: کارگری سطل آبی به جرم ۴kg را با تندی یکنواخت به اندازه ۵m بالا می‌کشد. کار انجام شده توسط کارگر در این جابه‌جایی چقدر است؟ (شتاب گرانشی زمین را $10\frac{N}{kg}$ در نظر بگیرید.)

$$m = 4kg \quad , \quad d = 5m \quad , \quad g = 10\frac{N}{kg}$$

برای اینکه سطل آب با تندی یکنواخت رو به بالا حرکت کند، کارگر باید نیرویی برابر با وزن سطل بر آن وارد نماید، بنابراین:

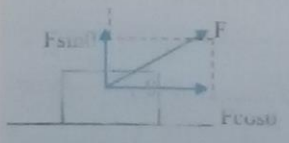
$$F = mg = 4 \times 10 = 40N \quad , \quad W = Fd = 40 \times 5 = 200J \rightarrow W = 200J$$

یادآوری مهارت ریاضی: اگر R_x و R_y مؤلفه‌های بردار $\vec{R}$ روی محورهای x و y باشند، بردار $\vec{R}$ را می‌توان بر حسب R_x و R_y به صورت زیر نوشت:



$$\left.\begin{array}{l} \vec{R} = R_x\vec{i} + R_y\vec{j} \\ \sin\theta = \frac{R_y}{R} \rightarrow R_y = R\sin\theta \\ \cos\theta = \frac{R_x}{R} \rightarrow R_x = R\cos\theta \end{array}\right\} \Rightarrow \vec{R} = R\cos\theta\vec{i} + R\sin\theta\vec{j}$$

نکته: اگر جسمی را با نیروی F و تحت زاویه θ نسبت به سطح افقی بکشیم، این نیرو از دو مؤلفه افقی و عمودی تشکیل می‌شود که عبارتند از:



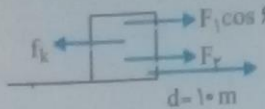
$$\left.\begin{array}{l} F\cos\theta : \text{مؤلفه افقی} \\ F\sin\theta : \text{مؤلفه عمودی} \end{array}\right\} \rightarrow \vec{F} = F\cos\theta\,\vec{i} + F\sin\theta\,\vec{j}$$

مثال ۴: مطابق شکل بر جسمی نیروی ۴۰N تحت زاویه ۳۰° نسبت به افق وارد می‌شود. مؤلفه‌های افقی و عمودی این نیرو را محاسبه کنید. $(\sin 30^\circ = \frac{1}{2} \ , \ \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2})$

$$\begin{cases} W_1 = F_1 d\cos 60^\circ = 100\times 10\times 0/5 = 500J \rightarrow W_1 = 500J \\ W_2 = F_2 d = 80\times 10 = 800J \rightarrow W_2 = 800J \\ W_3 = f_k d\cos 180^\circ = 60\times 10\times(-1) = -600J \rightarrow W_3 = -600J \end{cases}$$

$$W_t = W_1 + W_2 + W_3 = 500 + 800 - 600 = 700J \rightarrow W_t = 700J$$

روش دوم: نیروهای در امتداد جابه‌جایی را مشخص کرده و اندازه نیروی خالص آنها را محاسبه می‌کنیم:



$$F_t = F_1\cos 60^\circ + F_2 - f_k = 100\times 0/5 + 80 - 60 = 70N \rightarrow F_t = 70N$$

$$W_t = F_t d = 70\times 10 = 700J \rightarrow W_t = 700J$$

کار و انرژی جنبشی

نکته: اگر کار کل انجام شده بر روی جسم مثبت باشد ($W_t > 0$)، به جسم انرژی داده شده و اگر کار کل انجام شده بر روی جسم منفی باشد ($W_t < 0$)، جسم انرژی از دست داده است.

قضیه کار و انرژی جنبشی: کار کل انجام شده بر روی جسم برابر است با تغییر انرژی جنبشی جسم.

$$W_t = K_2 - K_1$$

نکته: $W_t > 0 \leftarrow$ انرژی جنبشی جسم افزایش یافته است.

$W_t = 0 \leftarrow$ انرژی جنبشی جسم تغییری نکرده است.

$W_t < 0 \leftarrow$ انرژی جنبشی جسم کاهش یافته است.

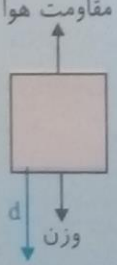
مثال ۱: گلوله‌ای به جرم 5g با تندی $100\frac{m}{s}$ به تنه درختی می‌خورد و با تندی $20\frac{m}{s}$ از سوی دیگر آن خارج می‌شود. کار کل انجام شده روی گلوله که باعث کاهش تندی آن شده است را محاسبه کنید.

$$m = 5g = 0/005kg \quad , \quad v_1 = 100\frac{m}{s} \quad , \quad v_2 = 20\frac{m}{s} \quad , \quad W_t = ?$$

$$\begin{cases} K_1 = \frac{1}{2}mv_1^2 = \frac{1}{2}\times\frac{5}{1000}\times(100)^2 = \frac{1}{2}\times\frac{5}{1000}\times 10000 = 25J \\ K_2 = \frac{1}{2}mv_2^2 = \frac{1}{2}\times\frac{5}{1000}\times(20)^2 = \frac{1}{2}\times\frac{5}{1000}\times 400 = 1J \end{cases} \rightarrow W_t = K_2 - K_1 = 1 - 25 = -24J$$

علامت منفی نشان‌دهنده آن است که کار کل انجام شده بر روی گلوله، انرژی جنبشی آن را کاهش داده است.

مثال ۲: شخصی بسته‌ای به جرم 200kg را یک هواپیما که با تندی $150\frac{m}{s}$ در ارتفاع ۱۰۰۰ متری از سطح زمین در حرکت است، رها می‌کند. اگر بسته با تندی $200\frac{m}{s}$ به زمین برسد، کار نیروی مقاومت هوا در طول مسیر چقدر است؟ $(g = 10\frac{N}{kg})$



$$W_t = K_2 - K_1 \rightarrow W_{وزن} + W_{مقاومت\ هوا} = K_2 - K_1 \rightarrow W_{مقاومت\ هوا} = K_2 - K_1 - W_{وزن}$$

$$\begin{cases} W_{وزن} = mgd = 200\times 10\times 1000 = 20\times 10^5 J \\ K_2 = \frac{1}{2}mv_2^2 = \frac{1}{2}\times 200\times(200)^2 = 40\times 10^5 J \\ K_1 = \frac{1}{2}mv_1^2 = \frac{1}{2}\times 200\times(150)^2 = 22/5\times 10^5 J \end{cases} \rightarrow W_{مقاومت\ هوا} = 40\times 10^5 - 22/5\times 10^5 - 20\times 10^5 = -2/5\times 10^5 J$$

مثال ۳: برای اینکه تندی جسمی از $10\frac{m}{s}$ به $20\frac{m}{s}$ برسد، باید بر روی آن ۳۰۰J کار انجام شود. جرم جسم چقدر است؟

$$v_1 = 10\frac{m}{s} \quad , \quad v_2 = 20\frac{m}{s} \quad , \quad W_t = 300J \quad , \quad m = ?$$

$$W_t = K_2 - K_1 \rightarrow W_t = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 \rightarrow 300 = \frac{1}{2}\times m\times 20^2 - \frac{1}{2}\times m\times 10^2$$

$$300 = 200m - 50m \rightarrow 300 = 150m \rightarrow m = \frac{300}{150} = 2 \rightarrow m = 2kg$$

کار و انرژی پتانسیل

انرژی پتانسیل: شکلی از انرژی ذخیره شده است که می‌تواند به انرژی جنبشی تبدیل شود و به مکان جسم بستگی دارد. انواع انرژی پتانسیل عبارتند از:

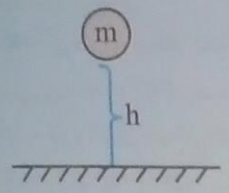
۱- انرژی پتانسیل گرانشی

۲- انرژی پتانسیل کشسانی

۳- انرژی پتانسیل الکتریکی

انرژی پتانسیل گرانشی سامانه جسم - زمین: انرژی ذخیره شده در اجسام به دلیل داشتن ارتفاع از سطح زمین را انرژی پتانسیل گرانشی در سامانه جسم - زمین می‌گویند.

اگر جسمی به جرم m در ارتفاع h از سطح زمین قرار داشته باشد، انرژی پتانسیل گرانشی سامانه متشکل از زمین و جسم از این رابطه به‌دست می‌آید:



$$U = mgh$$

در این رابطه:

m: جرم جسم بر حسب kg، g: شتاب گرانشی زمین بر حسب $\frac{N}{kg}$، h: ارتفاع بر حسب m است.

مثال ۱: انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل گرانشی (نسبت به سطح زمین) پرنده‌ای به جرم ۲۵۰g که با تندی $۲\frac{m}{s}$ در ارتفاع ۴۰ متری سطح زمین پرواز می‌کند، چقدر است؟ $(g = ۱۰\frac{N}{kg})$

$$m = ۲۵۰g = ۰/۲۵kg \quad , \quad v = ۲\frac{m}{s} \quad , \quad h = ۴۰m \quad , \quad K = ? \quad , \quad U = ?$$

$$K = \frac{۱}{۲}mv^۲ = \frac{۱}{۲} \times ۰/۲۵ \times ۲^۲ = ۰/۲۵ \times ۲ = ۰/۵J \rightarrow K = ۰/۵J$$

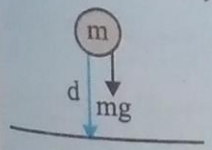
$$U = mgh = ۰/۲۵ \times ۱۰ \times ۴۰ = ۱۰۰J \rightarrow U = ۱۰۰J$$

کار و انرژی پتانسیل گرانشی

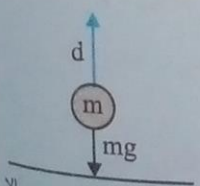
کار نیروی وزن در یک جابه‌جایی برابر است با منفی تغییرات انرژی پتانسیل گرانشی سامانه جسم - زمین در آن جابه‌جایی.

$$W_{وزن} = -(U_۲ - U_۱) \rightarrow W_{وزن} = -\Delta U$$

نکته: علامت منفی در رابطه فوق اهمیت زیادی دارد. توجیه قرار گرفتن این علامت در رابطه به شرح زیر است:



۱- هنگامی که جسم به سمت زمین حرکت می‌کند، ارتفاع آن کاهش می‌یابد. بنابراین انرژی پتانسیل گرانشی آن کم می‌شود، یعنی $\Delta U < ۰$. اما کار نیروی وزن در جابه‌جایی به سمت زمین مثبت است، یعنی: $W_{وزن} > ۰$.



۲- هنگامی که جسم به سمت بالا حرکت می‌کند، ارتفاع آن افزایش می‌یابد، بنابراین انرژی پتانسیل گرانشی آن زیاد می‌شود، یعنی $\Delta U > ۰$ اما کار نیروی وزن در جابه‌جایی رو به بالا منفی است، یعنی $W_{وزن} < ۰$

مثال ۲: آسانسوری به جرم ۶۰۰kg از طبقه سوم یک ساختمان با ارتفاع ۱۰ متر تا طبقه دهم این ساختمان با ارتفاع ۳۵ متر بالا می‌رود. کار نیروی وزن آسانسور در این جابه‌جایی چقدر است؟ $(g = ۱۰\frac{N}{kg})$

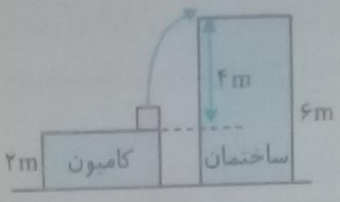
$$h_۱ = ۱۰m \quad , \quad h_۲ = ۳۵m \quad , \quad m = ۶۰۰kg \quad , \quad W_{وزن} = ?$$

$$W_{وزن} = -\Delta U = -(U_۲ - U_۱) = -(mgh_۲ - mgh_۱) = -mg(h_۲ - h_۱) = -۶۰۰ \times ۱۰ \times (۳۵ - ۱۰) = -۱/۵ \times ۱۰^۵ J$$

نکته: مقدار U در یک نقطه خاص اهمیتی ندارد بلکه تغییرات انرژی پتانسیل گرانشی بین دو نقطه (ΔU) اهمیت دارد؛ بنابراین در حل مسائل می‌توانیم انرژی پتانسیل گرانشی هر نقطه‌ای را صفر تعریف کرده و انرژی پتانسیل گرانشی سایر نقاط را بر مبنای آن محاسبه و تغییرات را به دست آوریم بدون آنکه تأثیری در پاسخ مسأله داشته باشد.

مثال ۳: آجری به جرم ۲kg را از بالای کامیونی با ارتفاع ۲m به بالای یک پشت‌بام با ارتفاع ۶m از سطح زمین پرتاب می‌کنیم. تغییر انرژی پتانسیل گرانشی آجر در این جابه‌جایی چقدر است؟ $(g = ۱۰\frac{N}{kg})$

الف) مبدأ انرژی پتانسیل گرانشی را زمین در نظر بگیرید.



$h_۱ = ۴m \ , \ h_۲ = ۶m$

$\Delta U = U_۲ - U_۱ = mgh_۲ - mgh_۱ = mg(h_۲ - h_۱)$

$= ۲ \times ۱۰ \times (۶ - ۲) = ۸۰J \rightarrow \Delta U = ۸۰J$

ب) مبدأ انرژی پتانسیل گرانشی را کامیون در نظر بگیرید.

$h_۱ = ۰ \ , \ h_۲ = ۶ - ۲ = ۴m$

$\Delta U = U_۲ - U_۱ = mgh_۲ - mgh_۱ = mg(h_۲ - h_۱) = ۲ \times ۱۰ \times (۴ - ۰) = ۸۰J \rightarrow \Delta U = ۸۰J$

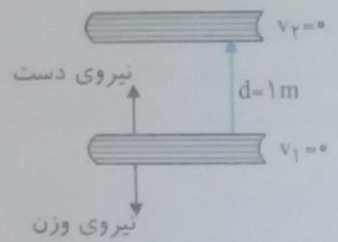
ج) مبدأ انرژی پتانسیل گرانشی را پشت‌بام در نظر بگیرید.

$h_۱ = -۴m \ , \ h_۲ = ۰$

$\Delta U = U_۲ - U_۱ = mgh_۲ - mgh_۱ = mg(h_۲ - h_۱) = ۲ \times ۱۰ \times (۰ - (-۴)) = ۸۰J \rightarrow \Delta U = ۸۰J$

مثال ۴: کتابی به جرم ۱/۵kg را با دست از حالت سکون به اندازه ۱m بالا برده و دوباره به حالت سکون می‌رسانیم. با صرف‌نظر از مقاومت هوا، کار نیروی دست در این جابه‌جایی چقدر است؟ $(g = ۱۰\frac{N}{kg})$

نیروهایی که به کتاب در این جابه‌جایی وارد می‌شوند، نیروی دست و نیروی وزن کتاب هستند. بنابراین طبق قضیه کار و انرژی جنبشی می‌توان نوشت:



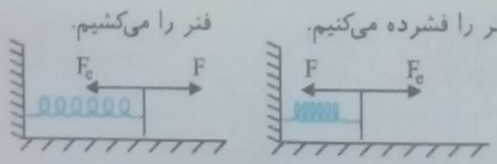
$W_t = K_۲ - K_۱ \rightarrow W_{دست} + W_{وزن} = K_۲ - K_۱ = ۰ \rightarrow W_{دست} + W_{وزن} = ۰ \rightarrow W_{دست} = -W_{وزن}$

$\xrightarrow{W_{وزن} = -\Delta U} W_{دست} = -(-\Delta U) = \Delta U \rightarrow W_{دست} = \Delta U = mgh_۲ - mgh_۱ = mg(h_۲ - h_۱)$

$= ۱/۵ \times ۱۰ \times ۱ = ۱۵J \rightarrow W_{دست} = ۱۵J$

انرژی پتانسیل کشسانی

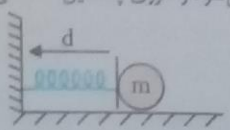
اگر فنر را فشرده کرده یا بکشیم، نیرویی در خلاف جهت جابه‌جایی فنر، به دست ما وارد می‌شود که آن را نیروی فنر می‌گویند و با F_e نشان می‌دهند.



(در این شکل‌ها F_e نشان‌دهنده نیروی فنر و F نشان‌دهنده نیروی خارجی است.)

انرژی پتانسیل کشسانی: انرژی پتانسیلی که به دلیل تغییر طول در یک فنر ذخیره می‌شود را انرژی پتانسیل کشسانی می‌گویند.

(با فشرده کردن فنر توسط جسم، انرژی پتانسیل کشسانی در سامانه جسم - فنر ذخیره می‌شود.)



کار و انرژی پتانسیل کشسانی: کار نیروی فنر در یک جابه‌جایی برابر است با منفی تغییرات انرژی پتانسیل کشسانی فنر.

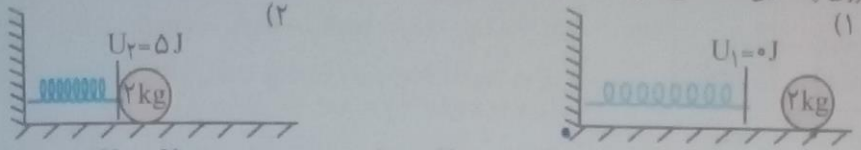
$W_{فنر} = -\Delta U_{کشسانی}$

نکته: دلیل قرار گرفتن علامت منفی در رابطه فوق به شرح زیر است:

۱- هنگامی که فنر را فشرده کرده یا می‌کشیم انرژی پتانسیل فنر افزایش می‌یابد، یعنی $\Delta U_{کشسانی} > ۰$، اما چون نیروی فنر و جابه‌جایی در خلاف جهت هم هستند کار نیروی فنر منفی است، یعنی؛ $W_{فنر} < ۰$.

۲- هنگامی که فنر فشرده یا کشیده شده را رها می‌کنیم، انرژی پتانسیل کشسانی فنر کاهش می‌یابد، یعنی $\Delta U_{\text{کشسانی}} < 0$، در این حالت نیروی فنر در جهت جابه‌جایی است؛ بنابراین کار نیروی فنر مثبت است یعنی $W_{\text{فنر}} > 0$.

مثال ۵: گلوله‌ای به جرم ۲kg که با تندی $3\frac{m}{s}$ به سمت فنری پرتاب شده، فنر را فشرده و متوقف می‌شود. اگر در لحظه توقف جسم، انرژی پتانسیل کشسانی فنر ۵J باشد. الف) کار نیروی فنر در این جابه‌جایی چقدر است؟

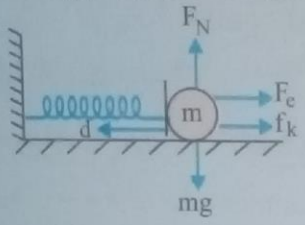


$$W_{F_e} = -\Delta U_{\text{کشسانی}} = -(U_2 - U_1) = -(5 - 0) = -5J \rightarrow W_{F_e} = -5J$$

توجه: چون در حین فشرده شدن فنر، نیروی فنر در خلاف جهت جابه‌جایی است، کار نیروی فنر منفی به دست می‌آید.

ب) با استفاده از قضیه کار - انرژی، کار نیروی اصطکاک را در این جابه‌جایی به دست آورید.

در شکل زیر نیروهایی که به جسم در حین جابه‌جایی وارد می‌شوند، مشخص شده است. طبق قضیه کار و انرژی داریم:



$$W_t = K_2 - K_1$$
$$W_{F_N} + W_{mg} + W_{F_e} + W_{f_k} = K_2 - K_1$$

نیروی عمودی سطح و نیروی وزن عمود بر جابه‌جایی هستند، پس کار این نیروها صفر است: $W_{F_N} = W_{mg} = 0$

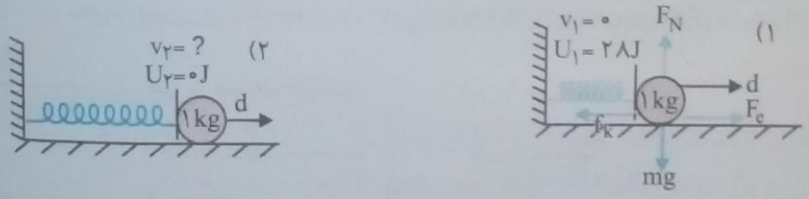
جسم در نهایت متوقف می‌شود، انرژی جنبشی نهایی آن نیز صفر است: $K_2 = 0$

$$\cancel{W_{F_N}}^{0} + \cancel{W_{mg}}^{0} + W_{F_e} + W_{f_k} = \cancel{K_2}^{0} - K_1 \rightarrow W_{F_e} + W_{f_k} = -K_1 \rightarrow W_{F_e} + W_{f_k} = -\frac{1}{2}mv_1^2$$

$$\xrightarrow{W_{F_e} = -5J} -5 + W_{f_k} = -\frac{1}{2} \times 2 \times 3^2 \rightarrow -5 + W_{f_k} = -9 \rightarrow W_{f_k} = -9 + 5 = -4 \rightarrow W_{f_k} = -4J$$

مثال ۶: جسمی به جرم ۱kg به یک فنر فشرده متصل و به حال سکون قرار دارد. انرژی پتاسیل کشسانی فنر در این حالت ۲۸J است. با رها کردن سامانهٔ جسم - فنر، سرعت جسم در لحظه جدا شدن از فنر چقدر است؟ کار نیروی اصطکاک را در این جابه‌جایی ۱۰J- در نظر بگیرید.

در شکل زیر نیروهایی که به جسم در حین جابه‌جایی وارد می‌شوند، مشخص شده است. توجه به این نکته ضروری است که نیروی اصطکاک همواره در خلاف جهت جابه‌جایی است.



طبق قضیه کار و انرژی داریم:

$$W_t = K_2 - K_1 \rightarrow \cancel{W_{F_N}}^{0} + \cancel{W_{mg}}^{0} + W_{F_e} + W_{f_k} = K_2 - \cancel{K_1}^{0} \rightarrow W_{F_e} + W_{f_k} = \frac{1}{2}mv_2^2 \quad (1)$$

کار نیروی فنر را می‌توانیم با رابطه کار و انرژی پتانسیل محاسبه کنیم:

$$W_{F_e} = -\Delta U_{\text{کشسانی}} = -(U_2 - U_1) = -(0 - 28) = 28J \quad (2)$$

$$\xrightarrow{(1),(2)} 28 - 10 = \frac{1}{2} \times 1 \times v_2^2 \rightarrow 18 = \frac{1}{2}v_2^2 \rightarrow v_2^2 = 36 \rightarrow v_2 = \sqrt{36} = 6\frac{m}{s} \rightarrow v_2 = 6\frac{m}{s}$$

پایستگی انرژی مکانیکی

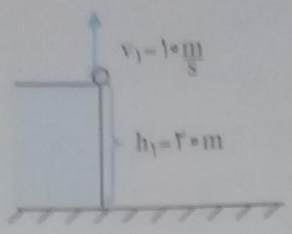
انرژی مکانیکی جسم: مجموع انرژی‌های جنبشی و پتانسیل یک جسم را انرژی مکانیکی جسم می‌گویند و آن را با E نشان می‌دهند:

$$E = K + U$$

اصل پایستگی انرژی مکانیکی: با نادیده گرفتن نیروهای مقاوم (اصطکاک و مقاومت هوا) انرژی مکانیکی یک جسم در طول مسیر همواره مقداری ثابت است:

$$E_1 = E_2$$

مثال ۱: سنگی از بالای ساختمانی به ارتفاع ۲۰m با تندی $۱۰\frac{m}{s}$ رو به بالا پرتاب می‌شود. در چه ارتفاعی از سطح زمین تندی سنگ نصف می‌شود؟ (از مقاومت هوا صرف‌نظر کنید.) $(g = ۱۰\frac{N}{kg})$



$$h_۱ = ۲۰m \ , \ v_۱ = ۱۰\frac{m}{s} \ , \ h_۲ = ? \ , \ v_۲ = ۱۰ \div ۲ = ۵\frac{m}{s}$$

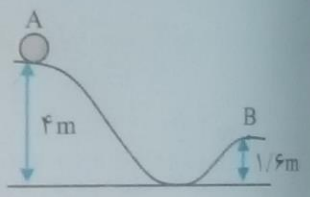
$$E_۱ = E_۲ \rightarrow K_۱ + U_۱ = K_۲ + U_۲ \rightarrow \frac{۱}{۲}mv_۱^۲ + mgh_۱ = \frac{۱}{۲}mv_۲^۲ + mgh_۲ \rightarrow \frac{۱}{۲}v_۱^۲ + gh_۱ = \frac{۱}{۲}v_۲^۲ + gh_۲$$

$$\frac{۱}{۲} \times ۱۰^۲ + ۱۰ \times ۲۰ = \frac{۱}{۲} \times ۵^۲ + ۱۰ \times h_۲ \rightarrow ۵۰ + ۲۰۰ = ۱۲/۵ + ۱۰h_۲ \rightarrow ۲۵۰ - ۱۲/۵ = ۱۰h_۲$$

$$\rightarrow ۲۳۷/۵ = ۱۰h_۲ \rightarrow h_۲ = \frac{۲۳۷/۵}{۱۰} = ۲۳/۷۵m$$

در ارتفاع ۲۳/۷۵m از سطح زمین تندی سنگ نصف تندی اولیه می‌شود.

مثال ۲: مطابق شکل جسمی از نقطه A با تندی $۴\frac{m}{s}$ بر روی سطح به طرف پایین می‌لغزد. اگر از نیروهای اصطکاک و مقاومت هوا صرف‌نظر شود، تندی جسم در نقطه B چقدر است؟ $(g = ۱۰\frac{m}{s^۲})$



$$h_A = ۴m \ , \ v_A = ۴\frac{m}{s} \ , \ h_B = ۱/۶m \ , \ v_B = ?$$

$$E_A = E_B \rightarrow K_A + U_A = K_B + U_B \rightarrow \frac{۱}{۲}mv_A^۲ + mgh_A = \frac{۱}{۲}mv_B^۲ + mgh_B$$

$$\frac{۱}{۲}v_A^۲ + gh_A = \frac{۱}{۲}v_B^۲ + gh_B \rightarrow \frac{۱}{۲} \times ۴^۲ + ۱۰ \times ۴ = \frac{۱}{۲}v_B^۲ + ۱۰ \times ۱/۶ \rightarrow \cancel{۸ + ۴۰} = \frac{۱}{۲}v_B^۲ + ۱۶$$

$$۴۸ - ۱۶ = \frac{۱}{۲}v_B^۲ \rightarrow ۳۲ = \frac{۱}{۲}v_B^۲ \rightarrow v_B^۲ = ۶۴ \rightarrow v_B = \sqrt{۶۴} = ۸\frac{m}{s} \rightarrow v_B = ۸\frac{m}{s}$$

کار و انرژی درونی

انرژی درونی: به مجموع انرژی‌های ذرات تشکیل‌دهنده یک جسم، «انرژی درونی» جسم می‌گویند.

نکته انرژی درونی جسم با گرم‌تر شدن آن افزایش می‌یابد. هر چه تعداد ذرات سازنده جسم و انرژی هر ذره بیشتر باشد، انرژی درونی آن بیشتر است.

نکته در ترمز گرفتن خودرو، انرژی جنبشی خودرو به انرژی درونی لاستیک‌ها و سطح جاده تبدیل می‌شود.

نکته چون زمانی که حالتی از انرژی به انرژی درونی تبدیل می‌شود، به سختی قابل بازگشت است، اصطلاحاً می‌گوییم انرژی تلف شده است.

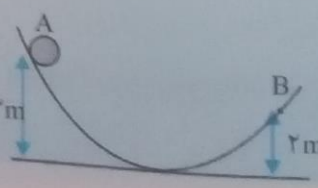
با در نظر گرفتن نیروهای اصطکاک و مقاومت هوا، انرژی مکانیکی جسم پایسته نبوده و تغییر می‌کند که این تغییر به صورت افزایش انرژی درونی جسم و محیط اطراف یا کار نیروهای مقاوم ظاهر می‌شود.

$$W_f = E_۲ - E_۱$$

کار نیروهای مقاوم برابر است با تغییر انرژی مکانیکی جسم.

قانون پایستگی انرژی: در یک سامانه منزوی، انرژی خلق یا نابود نمی‌شود بلکه از شکلی به شکل دیگر تبدیل می‌شود.

مثال ۱: در شکل زیر جرم توپ ۵۰۰g و تندی آن در نقطه A برابر $۳\frac{m}{s}$ و در نقطه B برابر $۲\frac{m}{s}$ است. کار نیروهای مقاوم را در طول مسیر محاسبه کنید. $(g = ۱۰\frac{m}{s^۲})$



$m = 500g = 0/5kg \ , \ h_A = 3m \ , \ v_A = 3\frac{m}{s} \ , \ h_B = 2m \ , \ v_B = 2\frac{m}{s} \ , \ W_f = ?$

$W_f = E_B - E_A = (K_B + U_B) - (K_A + U_A) = (\frac{1}{2}mv_B^2 + mgh_B) - (\frac{1}{2}mv_A^2 + mgh_A)$

$\rightarrow W_f = (\frac{1}{2} \times 0/5 \times 2^2 + 0/5 \times 10 \times 2) - (\frac{1}{2} \times 0/5 \times 3^2 + 0/5 \times 10 \times 3)$

$= (1 + 10) - (2/25 + 15) = 11 - 17/25 \rightarrow W_f = -6/25J$

نکته کار نیروهای مقاوم همواره منفی است.

مثال ۳: جسمی به جرم 2kg از ارتفاع ۶ متری سطح زمین از حالت سکون رها می‌شود. اگر کار نیروهای مقاوم در طول مسیر ۲۰J باشد، سرعت جسم در لحظه برخورد با زمین چقدر است؟ $(g = 10\frac{m}{s^2})$

$m = 2kg \ , \ h_1 = 6m \ , \ v_1 = 0 \ , \ W_f = -20J \ , \ h_2 = 0 \ , \ v_2 = ?$

$W_f = E_2 - E_1 = (K_2 + U_2) - (K_1 + U_1) = K_2 - U_1 = \frac{1}{2}mv_2^2 - mgh_1 \rightarrow -20 = \frac{1}{2} \times 2 \times v_2^2 - 2 \times 10 \times 6$

$\rightarrow -20 = v_2^2 - 120 \rightarrow 120 - 20 = v_2^2 \rightarrow v_2^2 = 100$

$\rightarrow v_2 = \sqrt{100} = 10\frac{m}{s} \rightarrow v_2 = 10\frac{m}{s}$

توان

کار انجام شده در واحد زمان (آهنگ انجام کار) را توان می‌گویند. توان را با P نشان می‌دهند و یکای آن $(\frac{J}{s})$ یا وات (W) است.

توان متوسط: اگر کار W در بازه زمانی Δt انجام شود، توان متوسط به این صورت تعریف می‌شود: $\overline{P} = \frac{W}{\Delta t}$

نکته یکاهای بزرگ‌تر توان کیلو وات (kW) و مگاوات (MW) هستند.

نکته از یکاهای قدیمی توان اسب بخار است. یک اسب بخار برابر ۷۴۶ وات است: $1hp = 746W$

مثال ۱: موتور یک ماشین برقی نیروی رو به جلوی 800N ایجاد می‌کند. اگر این ماشین برقی در هر دقیقه ۳۰ متر به جلو حرکت کند، توان متوسط موتور آن چقدر است؟

$F = 800N \ , \ \Delta t = 1min = 60s \ , \ d = 30m \ , \ \overline{P} = ?$

$W = Fd = 800 \times 30 = 24000J \rightarrow W = 24000J$ کار انجام شده توسط موتور در هر دقیقه برابر است با:

$\overline{P} = \frac{W}{\Delta t} = \frac{24000}{60} = 400W \rightarrow \overline{P} = 400W$

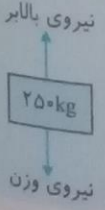
مثال ۲: هواپیمایی با جرم $2 \times 10^4 kg$ برای بلند شدن از باند فرودگاه در مدت 36s از حالت سکون به تندی $648\frac{km}{h}$ می‌رسد. توان متوسط موتور این هواپیما چقدر است؟ (از نیروهای اتلافی صرف‌نظر کنید.)

$m = 2 \times 10^4 kg \ , \ \Delta t = 36s \ , \ v_1 = 0 \ , \ v_2 = 648 \times \frac{10}{36} = 180\frac{m}{s} \ , \ \overline{P} = ?$

$W_t = K_2 - K_1 \xrightarrow{K_1 = 0} W_t = K_2 = \frac{1}{2}mv_2^2 = \frac{1}{2} \times 2 \times 10^4 \times 180^2 = 32400 \times 10^4 = 324 \times 10^6 J$

$\overline{P} = \frac{W}{\Delta t} = \frac{324 \times 10^6}{36} = 9 \times 10^6 W \rightarrow \overline{P} = 9MW$

مثال ۳: بالابری باری به جرم 250kg را در مدت 20s به اندازه 8m بالا می‌برد. توان متوسط موتور این بالابر چقدر است؟ این توان را بر حسب اسب بخار محاسبه کنید. $(g = 10\frac{m}{s^2})$



$m = 250kg \ , \ \Delta t = 20s \ , \ d = 8m \ , \ v_1 = v_2 = 0 \ , \ \overline{P} = ?$

با توجه به اینکه به جسم فقط نیروهای وزن و موتور بالابر وارد می‌شود، طبق قضیه کار و انرژی داریم:

$$W_t = K_2 - K_1 \rightarrow W_{موتور} + W_{وزن} = \cancel{K_2} - \cancel{K_1} = 0 \rightarrow W_{موتور} = -W_{وزن} = -(-\Delta U) = \Delta U$$

$$W_{موتور} = \Delta U = mg(h_2 - h_1) = 250 \times 10 \times 8 = 20000J \rightarrow W_{موتور} = 20000J$$

$$\overline{P} = \frac{W}{\Delta t} = \frac{20000}{20} = 1000W \rightarrow \overline{P} = 1kW$$

یک اسب بخار برابر ۷۴۶W است، بنابراین:

$$\overline{P} = 1000 \div 746 = 1/34\ hp$$

نکته در تمام دستگاه‌ها بخشی از انرژی ورودی قابل استفاده بوده و بقیه آن به صورت گرما به هدر می‌رود.

نکته انرژی قابل استفاده را انرژی خروجی یا کار مفید می‌گویند.

بازده از راندمان: نسبت انرژی خروجی به انرژی ورودی را بازده می‌گویند و آن را با Ra نشان می‌دهند.

$$\text{بازده} = \frac{\text{انرژی خروجی}}{\text{انرژی ورودی}} \rightarrow Ra = \frac{E_{خروجی}}{E_{ورودی}}$$

بازده یک وسیله بر حسب درصد از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\text{بازده بر حسب درصد} = \frac{E_{خروجی}}{E_{ورودی}} \times 100$$

مثال ۴: پمپ آبی با توان ورودی ۵۰۰W در مدت ۵ دقیقه $2m^3$ آب را تا ارتفاع 5m بالا می‌برد. بازده این پمپ چقدر است؟

$$(g = 10\frac{m}{s^2}\ ,\ \rho_{آب} = 1000\frac{kg}{m^3})$$

$$P_{ورودی} = 500W\ ,\ \Delta t = 5min = 5 \times 60 = 300s\ ,\ V = 2m^3\ ,\ d = 5m\ ,\ Ra = ?$$

ابتدا جرم آبی که توسط پمپ به بالا فرستاده می‌شود را محاسبه می‌کنیم:

$$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow m = \rho \times V = 1000 \times 2 = 2000kg \rightarrow m = 2000kg$$

با استفاده از توان ورودی به پمپ، انرژی ورودی به آن محاسبه می‌شود:

$$P_{ورودی} = \frac{E_{ورودی}}{\Delta t} \rightarrow E_{ورودی} = P_{ورودی} \times \Delta t = 500 \times 300 = 150000J \rightarrow E_{ورودی} = 150000J$$

انرژی خروجی پمپ نیز برابر است با تغییرات انرژی پتانسیل گرانشی آب:

$$E_{خروجی} = \Delta U = mg(\cancel{h_2 - h_1}^{\,d}) = mgd = 2000 \times 10 \times 5 = 100000J \rightarrow E_{خروجی} = 100000J$$

حال با استفاده از انرژی ورودی و انرژی خروجی بازده پمپ را محاسبه می‌کنیم:

$$Ra = \frac{E_{خروجی}}{E_{ورودی}} = \frac{100000}{150000} = 0/66 \rightarrow Ra = 0/66 \rightarrow \text{درصد بازده} = 0/66 \times 100 = 66\ \%$$

مثال ۵: آسانسوری باجرم کل ۵۰۰kg و توان ورودی ۱kW و بازده ۸۰ درصد، در مدت یک دقیقه چند متر بالا می‌رود؟ $(g = 10\frac{m}{s^2})$

$$m = 500kg\ ,\ P_{ورودی} = 1kW = 1000W\ ,\ Ra = \frac{80}{100} = 0/8\ ,\ \Delta t = 1min = 60s\ ,\ d = ?$$

ابتدا با توان ورودی، انرژی ورودی را محاسبه می‌کنیم:

$$P_{ورودی} = \frac{E_{ورودی}}{\Delta t} \rightarrow E_{ورودی} = P_{ورودی} \times \Delta t = 1000 \times 60 = 60000J \rightarrow E_{ورودی} = 60000J$$

با استفاده از انرژی ورودی و راندمان، انرژی خروجی را به دست می‌آوریم:

$$Ra = \frac{E_{خروجی}}{E_{ورودی}} \rightarrow E_{خروجی} = Ra \times E_{ورودی} = 0/8 \times 60000 = 48000J \rightarrow E_{خروجی} = 48000J$$

انرژی خروجی برابر است با تغییرات انرژی پتانسیل گرانشی جسم، بنابراین:

$$E_{خروجی} = \Delta U = mg(\cancel{h_2 - h_1}^{\,d}) = mgd \rightarrow 48000 = 500 \times 10 \times d$$

$$\rightarrow d = \frac{48000}{5000} = 9/6m \rightarrow d = 9/6m$$

مثال ۶ چه مدت طول می‌کشد تا یک موتور الکتریکی با توان ورودی ۲kW و بازده ۷۰ درصد، جسمی به جرم ۷۰ کیلوگرم را تا ارتفاع ۱۰ متر بالا ببرد؟ $(g = ۱۰\frac{m}{s^۲})$

$$P_{ورودی} = ۲kW = ۲۰۰۰W \quad , \quad Ra = \frac{۷۰}{۱۰۰} = ۰/۷ \quad , \quad m = ۷۰kg \quad , \quad d = ۱۰m \quad , \quad \Delta t = ?$$

ابتدا انرژی خروجی موتور الکتریکی را محاسبه می‌کنیم:

$$E_{خروجی} = \Delta U = mg(h_۲ - h_۱) = mgd = ۷۰ \times ۱۰ \times ۱۰ = ۷۰۰۰J \rightarrow E_{خروجی} = ۷۰۰۰J$$

با استفاده از راندمان و انرژی خروجی، انرژی ورودی را به دست می‌آوریم:

$$Ra = \frac{E_{خروجی}}{E_{ورودی}} \rightarrow E_{ورودی} = \frac{E_{خروجی}}{Ra} = \frac{۷۰۰۰}{۰/۷} = ۱۰۰۰۰J \rightarrow E_{ورودی} = ۱۰۰۰۰J$$

حال با استفاده از انرژی ورودی و توان ورودی، زمان را محاسبه می‌کنیم:

$$P_{ورودی} = \frac{E_{ورودی}}{\Delta t} \rightarrow \Delta t = \frac{E_{ورودی}}{P_{ورودی}} = \frac{۱۰۰۰۰}{۲۰۰۰} = ۵s \rightarrow \Delta t = ۵s$$

تمرین ۲-۱ ۳۰

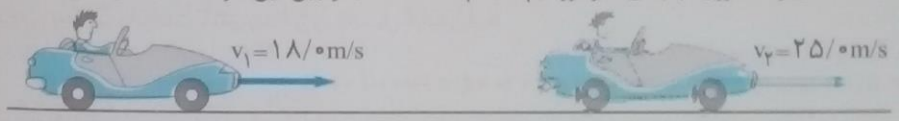
ماهواره‌ای به جرم ۲۲۴kg، و با تندی ثابت $۲/۸۴ km/s$ دور زمین می‌چرخد. انرژی جنبشی ماهواره را بر حسب ژول و مگاژول حساب کنید.

$$m = ۲۲۴kg \quad , \quad v = ۲/۸۴\frac{km}{s} = ۲/۸۴ \times ۱۰^۳\frac{m}{s} \quad , \quad K = ?$$

$$K = \frac{۱}{۲}mv^۲ = \frac{۱}{۲} \times ۲۲۴ \times (۲/۸۴ \times ۱۰^۳)^۲ = \frac{۱}{۲} \times ۲۲۴ \times (۲/۸۴)^۲ \times ۱۰^۶ = ۹۰۳ \times ۱۰^۶ J = ۹/۰۳ \times ۱۰^۲ MJ$$

تمرین ۲-۲ ۳۰

جرم خودرویی به همراه راننده‌اش $۸/۴۰ \times ۱۰^۲$ است (شکل زیر). تندی خودرو در دو نقطه از مسیرش روی شکل زیر داده شده است. تغییرات انرژی جنبشی خودرو $(\Delta K = K_۲ - K_۱)$ را بین این دو نقطه حساب کنید.

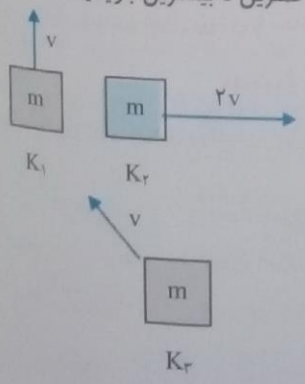


$$v_۱ = ۱۸\frac{m}{s} \quad , \quad v_۲ = ۲۵\frac{m}{s} \quad , \quad m = ۸۴۰kg$$

$$K_۲ - K_۱ = \frac{۱}{۲}mv_۲^۲ - \frac{۱}{۲}mv_۱^۲ = \frac{۱}{۲} \times ۸۴۰ \times ۲۵^۲ - \frac{۱}{۲} \times ۸۴۰ \times ۱۸^۲ = ۲/۶۲ \times ۱۰^۵ - ۱/۳۶ \times ۱۰^۵ = ۱/۲۶ \times ۱۰^۵ J$$

پرسش ۲-۱ ۳۱

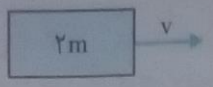
انرژی جنبشی هر یک از اجسام زیر را با هم مقایسه کنید و مقدار آن را به ترتیب از کمترین تا بیشترین بنویسید.



$$K_۱ = \frac{۱}{۲}mv^۲$$

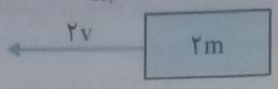
$$K_۲ = \frac{۱}{۲}m(۲v)^۲ = \frac{۴mv^۲}{۲} = ۲mv^۲$$

$$K_۳ = \frac{۱}{۲}mv^۲$$



$$K_۴ = \frac{۱}{۲}(۲m)v^۲ = \frac{۲mv^۲}{۲} = mv^۲$$

$K_۴$



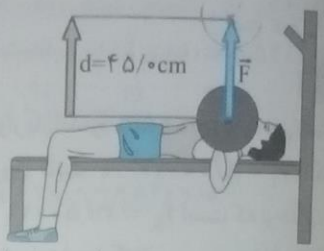
$$K_۵ = \frac{۱}{۲}(۲m)(۲v)^۲ = \frac{۸mv^۲}{۲} = ۴mv^۲$$

$K_۵$

$$K_۱ = K_۳ < K_۴ < K_۲ < K_۵$$

تمرین ۲-۳ ۳۳

ورزشکاری وزنه‌ای به جرم $۶۸/۰kg$ را به طور یکنواخت، $۴۵/۰cm$ بالای سر خود می‌برد (شکل روبه‌رو). کاری که این ورزشکار روی وزنه انجام داده است را محاسبه کنید. اندازهٔ شتاب گرانش زمین را $g = ۹/۸۰ N/kg$ بگیرید.



$$m = ۶۸kg \quad , \quad d = ۴۵cm = ۰/۴۵m \quad , \quad g = ۹/۸\frac{N}{kg}$$

نیرویی که ورزشکار به وزنه وارد می‌کند، برابر با وزن این وزنه است؛ بنابراین:

$$F = mg = ۶۸ \times ۹/۸ = ۶۶۶N$$

چون نیرو در جهت جابه‌جایی است، کار ورزشکار روی وزنه برابر است با:

$$W = Fd = ۶۶۶ \times ۰/۴۵ = ۲۹۹/۷J \rightarrow W = ۳۰۰J$$

تمرین ۲-۴ ۳۳

شکل روبه‌رو شخصی را در حال هُل دادن یک گاری حمل بار روی سطحی هموار و بدون اصطکاک با نیرویی به بزرگی $F = ۶۶/۰N$ نشان می‌دهد. اگر گاری $۱۸/۴m$ در جهت نیرو جابه‌جا شود، کاری را که شخص روی گاری انجام می‌دهد چقدر است؟

$$F = ۶۶N \ , \ d = ۱۸/۴m$$

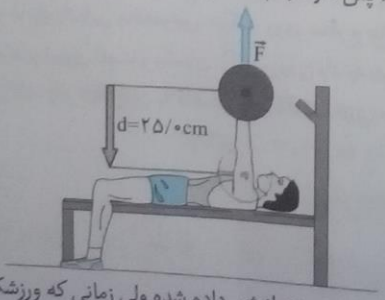
چون نیرو در جهت جابه‌جایی است کار انجام شده برابر است با:

$$W = Fd = ۶۶ \times ۱۸/۴ = ۱۲۱۴/۴J \rightarrow W = ۱/۲۱ \times ۱۰^۳ J$$

تمرین ۲-۵ ۳۵

تمرین ۲-۳ را دوباره ببینید. کار انجام شده توسط ورزشکار را روی وزنه برای حالتی حساب کنید که ورزشکار با وارد کردن همان نیروی $\vec{F}$، وزنه را به آرامی پایین می‌آورد (شکل روبه‌رو). توضیح دهید که در این دو حالت، چه تفاوتی بین مقادیر به‌دست آمده برای کار انجام شده توسط ورزشکار وجود دارد.

در این حالت نیروی ورزشکار در خلاف جهت جابه‌جایی است ($\theta = ۱۸۰^\circ$)، پس کار انجام شده توسط ورزشکار برابر است با:



$$W = Fd\cos\theta = ۶۶۶ \times ۰/۴۵ \times \cos۱۸۰^\circ = -۲۹۹/۷J$$

$$\rightarrow W = -۳۰۰J$$

وقتی ورزشکار وزنه را بالا می‌برد، کار انجام شده توسط ورزشکار $۳۰۰J$ است، یعنی به وزنه انرژی داده شده ولی زمانی که ورزشکار وزنه را پایین می‌آورد، کار انجام شده توسط ورزشکار $-۳۰۰J$ است، یعنی از وزنه انرژی گرفته شده است.

پرسش ۲-۲ ۳۵

شخصی جسمی را یک دفعه با طنابی بلند (شکل الف) و بار دیگر با طنابی کوتاه‌تر (شکل ب) روی سطحی هموار می‌کشد. اگر جابه‌جایی و کاری که این شخص در هر دو بار روی جعبه انجام می‌دهد یکسان باشد، توضیح دهید در کدام حالت، شخص نیروی بزرگ‌تری وارد کرده است. اصطکاک را در هر دو حالت، ناچیزه فرض کنید.

(ب) (الف)

در حالت (ب) شخص نیروی بیشتری وارد می‌کند، زیرا هر قدر طول طناب کوتاه‌تر باشد، زاویه θ بزرگ‌تر و در نتیجه $\cos\theta$ کوچک‌تر است؛ بنابراین برای جبران این کاهش، نیروی وارد شده F باید افزایش یابد:

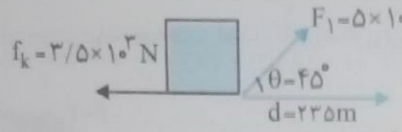
$$W = (F\cos\theta)d \rightarrow$$

(ثابت) (کاهش) (ثابت)

F باید افزایش یابد.

تمرین ۲-۶ ۳۶

کشاورزی توسط تراکتور، سورتمه‌ای پر از هیزم را در راستای یک زمین هموار به اندازهٔ ۲۳۵m جابه‌جا می‌کند (شکل زیر). وزن کل سورتمه و بار آن $mg = ۱/۴۷\times۱۰^۴\,N$ است. تراکتور نیروی ثابت $F_۱ = ۵/۰۰\times۱۰^۳\,N$ را در زاویهٔ $\theta = ۴۵^\circ$ بالای افق به سورتمه وارد می‌کند. نیروی اصطکاک جنبشی $f_k = ۳/۵۰\times۱۰^۳\,N$ است که برخلاف جهت حرکت به سورتمه وارد می‌شود. کار کل انجام شده روی سورتمه را به دو روش محاسبه کنید.



$$(\cos۴۵^\circ = \frac{\sqrt{۲}}{۲},\ \cos۱۸۰^\circ = -۱)$$

روش اول: کار تک‌تک نیروها را در این جابه‌جایی به دست آورده و حاصل جمع آنها را محاسبه می‌کنیم:

$$W_۱ = (F_۱\cos۴۵^\circ)d = ۵\times۱۰^۳\times\frac{\sqrt{۲}}{۲}\times۲۳۵ = ۸۳۰۷۲۵J$$

$$W_۲ = (f_k\cos۱۸۰^\circ)d = ۳/۵\times۱۰^۳\times(-۱)\times۲۳۵ = -۸۲۲۵۰۰J$$

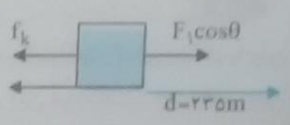
$$\rightarrow W_t = W_۱ + W_۲$$

$$= ۸۳۰۷۲۵ - ۸۲۲۵۰۰ = ۸۲۲۵J$$

روش دوم: نیروهای در امتداد جابه‌جایی را مشخص کرده و اندازه نیروی خالص آنها را محاسبه می‌کنیم:

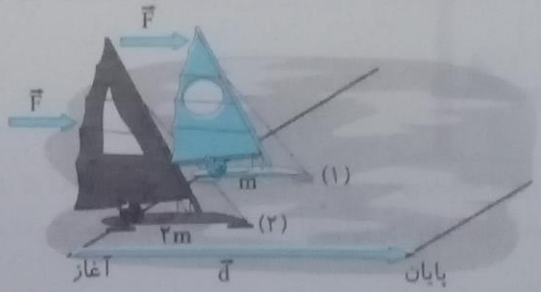
$$F_t = F_۱\cos\theta - f_k = ۵\times۱۰^۳\times\cos۴۵^\circ - ۳/۵\times۱۰^۳ = ۳۵۳۵ - ۳۵۰۰ = ۳۵N$$

$$W_t = F_t d = ۳۵\times۲۳۵ = ۸۲۲۵J \rightarrow W_t = ۸۲۲۵J$$



تمرین ۲-۷ ۳۹

دو قایق بادبانی مخصوص حرکت روی سطوح یخ‌زده، دارای جرم‌های m و 2m، روی دریاچهٔ افقی و بدون اصطکاکی قرار دارند و نیروی ثابت و یکسان $\vec{F}$ با وزیدن باد به هر دو وارد می‌شود (شکل روبه‌رو). هر دو قایق از حال سکون شروع به حرکت می‌کنند و از خط پایان به فاصلهٔ d می‌گذرند. انرژی جنبشی و تندی قایق‌ها را درست پس از عبور از خط پایان، با هم مقایسه کنید.



چون نیرو (F) و جابه‌جایی (d) در هر دو قایق یکسان است، کار کل انجام شده در هر دو قایق برابر است:

$$\text{کار کل قایق (۲)} = \text{کار کل قایق (۱)} \rightarrow W_t = W_t'$$

چون هر دو قایق از حالت سکون شروع به حرکت کرده‌اند، انرژی جنبشی اولیه هر دو قایق صفر است: $K_۱ = K_۱' = ۰$

انرژی جنبشی هر دو قایق پس از عبور از خط پایان برابر است. $\rightarrow W_t = W_t' \rightarrow K_۲ - \cancel{K_۱^{\circ}} = K_۲' - \cancel{K_۱'^{\circ}} \rightarrow K_۲ = K_۲'$

سرعت قایق (۱)، $\sqrt{۲}$ برابر سرعت قایق (۲) است. $\rightarrow \frac{۱}{۲}mv_۲^۲ = \frac{۱}{۲}(۲m)v_۲'^۲ \rightarrow v_۲^۲ = ۲v_۲'^۲ \rightarrow v_۲ = \sqrt{۲}\,v_۲'$

نمونه ۲-۸ ۴۰

جرم یک خودروی الکتریکی به همراه راننده‌اش $۸/۴۰\times۱۰^۲\,kg$ است. وقتی این خودرو از موقعیت A به موقعیت B می‌رود، کار کُل انجام شده روی خودرو $۷/۳۵\times۱۰^۴\,J$ است. اگر تندی خودرو در موقعیت A برابر $۵۴/۰\,km/h$ باشد، تندی آن در موقعیت B چند متر بر ثانیه است؟

$$m = ۸۴۰kg\ ,\ W_t = ۷/۳۵\times۱۰^۴J = ۷۳۵۰۰J\ ,\ v_A = ۵۴\,km/h \times \frac{۱۰}{۳۶} = ۱۵\frac{m}{s}\ ,\ v_B = ?$$

$$W_t = K_B - K_A \rightarrow W_t = \frac{۱}{۲}mv_B^۲ - \frac{۱}{۲}mv_A^۲ \rightarrow ۷۳۵۰۰ = \frac{۱}{۲}\times۸۴۰\times v_B^۲ - \frac{۱}{۲}\times۸۴۰\times۱۵^۲$$

$$\rightarrow ۷۳۵۰۰ = ۴۲۰v_B^۲ - ۹۴۵۰۰ \rightarrow ۷۳۵۰۰ + ۹۴۵۰۰ = ۴۲۰v_B^۲ \rightarrow ۱۶۸۰۰۰ = ۴۲۰v_B^۲ \rightarrow v_B^۲ = \frac{۱۶۸۰۰۰}{۴۲۰}$$

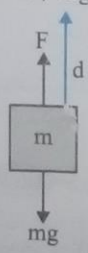
$$\rightarrow v_B^۲ = ۴۰۰ \rightarrow v_B = \sqrt{۴۰۰} = ۲۰ \rightarrow v_B = ۲۰\frac{m}{s}$$

نمونه ۲-۹ ۴۰

شکل روبه‌رو شخصی را نشان می‌دهد که با وارد کردن نیروی ثابت $۵۲/۷N$، جعبه‌ای به جرم $۴/۱۰kg$ را از حال سکون در امتداد قائم جابه‌جا می‌کند.

الف) کار انجام شده توسط شخص و کار انجام شده توسط نیروی وزن را روی جعبه در ارتفاع $۱/۴۰m$ به طور جداگانه حساب کنید.

$$m = ۴/۱kg\ ,\ F = ۵۲/۷N\ ,\ d = ۱/۴m$$



نیروی دست در جهت جابه‌جایی است، پس کار انجام شده توسط دست (شخص) برابر است با:

$$W_۱ = Fd = ۵۲/۷\times۱/۴ = ۷۳/۷۸J \rightarrow W_۱ = ۷۳/۸J$$

نیروی وزن جعبه در خلاف جهت جابه‌جایی است ($\theta = ۱۸۰^\circ$)، کار انجام شده توسط نیروی وزن برابر است با:

$$W_۲ = mgd\cos۱۸۰^\circ = ۴/۱\times۱۰\times۱/۴\times(-۱) = -۵۷/۴J \rightarrow W_۲ = -۵۷/۴J$$

ب) کار کل انجام شده روی جعبه تا ارتفاع $۱/۴۰m$ چقدر است؟

$$W_t = W_۱ + W_۲ = ۷۳/۸ - ۵۷/۴ = ۱۶/۴J \rightarrow W_t = ۱۶/۴J$$

پ) با استفاده از قضیهٔ کار - انرژی جنبشی، تندی نهایی جعبه را در ارتفاع $۱/۴۰m$ حساب کنید.

چون سرعت اولیه جعبه صفر است، انرژی جنبشی اولیه آن نیز صفر خواهد بود، بنابراین داریم:

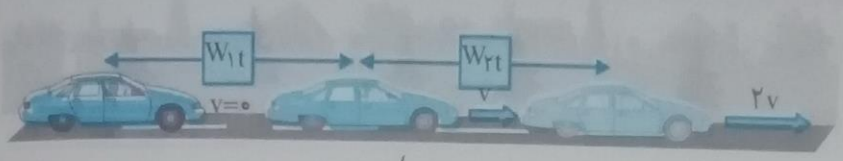
$$W_t = K_۲ - \cancel{K_۱^{\circ}} \rightarrow W_t = K_۲ \rightarrow W_t = \frac{۱}{۲}mv_۲^۲ \rightarrow ۱۶/۴ = \frac{۱}{۲}\times۴/۱\times v_۲^۲ \rightarrow ۱۶/۴ = ۲/۰۵v_۲^۲$$

$$v_۲^۲ = \frac{۱۶/۴}{۲/۰۵} \rightarrow V_۲ = \sqrt{۸} = ۲\sqrt{۲}\frac{m}{s}$$

پرسش ۲-۳

۴۰

برای آنکه تندی خودرویی از حال سکون به v برسد، باید کار کل W_{1t} روی آن انجام شود. همچنین برای آنکه تندی خودرو از v به ۲v برسد، باید کار کل W_{2t} روی آن انجام شود (شکل زیر). نسبت W_{1t} / W_{2t} چقدر است؟

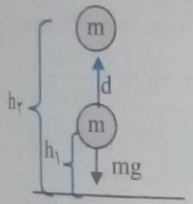


$$\frac{W_{1t}}{W_{2t}} = \frac{K_2 - K_1}{K'_2 - K'_1} = \frac{\frac{1}{2}mv^2 - 0}{\frac{1}{2}m(2v)^2 - \frac{1}{2}mv^2} = \frac{\frac{1}{2}mv^2}{\frac{1}{2}m(4v^2 - v^2)} = \frac{1}{3} \rightarrow \frac{W_{1t}}{W_{2t}} = \frac{1}{3}$$

تمرین ۲-۱۰

۴۲

برای جسمی به جرم m که رو به بالا حرکت می‌کند و از سطح زمین دور می‌شود نشان دهید کار نیروی وزن، همچنان از رابطهٔ ۲-۶ به دست می‌آید. فرض کنید که جسم به اندازهٔ کافی نزدیک به سطح زمین بماند به گونه‌ای که وزن آن ثابت باشد.



از آنجا که نیروی وزن همواره به سمت زمین است، در حرکت رو به بالا نیروی وزن و جابه‌جایی زاویه 180° دارند، بنابراین:

$$W_{وزن} = mgd \underbrace{\cos 180^\circ}_{-1} = -mgd = -mg(h_2 - h_1) = -(mgh_2 - mgh_1)$$
$$= -(U_2 - U_1) \rightarrow W_{وزن} = -\Delta U$$

تمرین ۲-۱۱

۴۴

انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل گرانشی (نسبت به زمین) یک هواپیمای مسافربری به جرم $7/50 \times 10^4$ kg که با تندی 864 km/h در ارتفاع $9/60 \times 10^3$ m حرکت می‌کند چقدر است؟ مقدار این انرژی‌ها را با هم مقایسه کنید.

$$m = 7/5 \times 10^4 \text{ kg} \;,\; v = 864 \times \frac{10}{36} = 240 \frac{m}{s} \;,\; h = 9/6 \times 10^3 \text{ m} \;,\; K = ? \;,\; U = ?$$

$$K = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 7/5 \times 10^4 \times (240)^2 = 216000 \times 10^4 = 21/6 \times 10^8 \text{ J} \rightarrow K = 21/6 \times 10^8 \text{ J}$$

$$U = mgh = 7/5 \times 10^4 \times 10 \times 9/6 \times 10^3 = 72 \times 10^8 \text{ J} \rightarrow U = 72/0 \times 10^8 \text{ J}$$

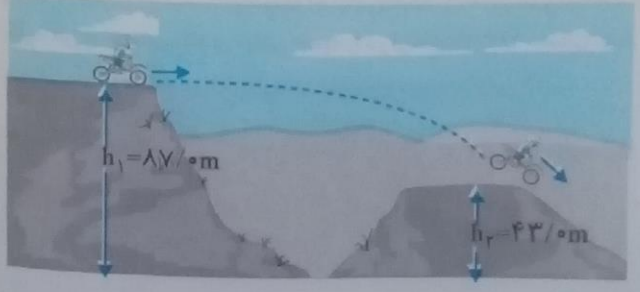
$$U - K = 72 \times 10^8 - 21/6 \times 10^8 = 50/4 \times 10^8 \rightarrow U - K = 50/4 \times 10^8 \text{ J}$$

انرژی پتانسیل گرانشی هواپیما در این ارتفاع $50/4 \times 10^8$ J بیشتر از انرژی جنبشی آن است.

تمرین ۲-۱۲

۴۴

جرم موتورسواری با موتورش 147kg است. این موتورسوار، پرشی مطابق شکل روبه‌رو انجام می‌دهد.



الف) انرژی پتانسیل گرانشی موتورسوار را روی هر یک از تپه‌ها حساب کنید ($g = 9/81 \frac{m}{s^2}$).

$U_1 = mgh_1 = 147 \times 9/81 \times 87 = 125460/09J \rightarrow U_1 = 125 \times 10^3 J$

$U_2 = mgh_2 = 147 \times 9/81 \times 43 = 62009/01J \rightarrow U_2 = 62/0 \times 10^3 J$

ب) کار نیروی وزن موتورسوار را در این جابه‌جایی به دست آورید.

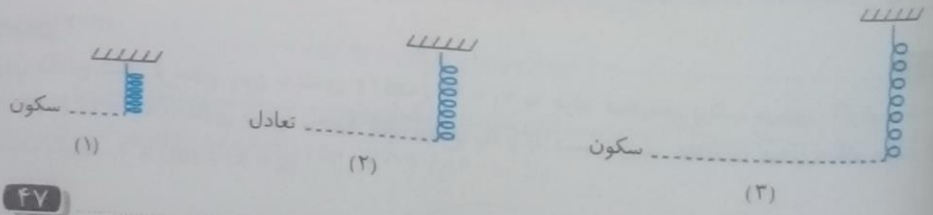
$W_{وزن} = -\Delta U = -(U_2 - U_1) = -(62/0 \times 10^3 - 125 \times 10^3) = 63/0 \times 10^3 J = W_{وزن} = 63/0 \times 10^3 J$

۴۶

فعالیت ۲-۱

یک فنر فلزی یا پلاستیکی نرم و نسبتاً بلند اختیار کنید. فنر را مطابق شکل روبه‌رو، از یک طرف آن در امتداد قائم آویزان کنید. ابتدا پیش‌بینی کنید که با رها کردن فنر، چه اتفاقی می‌افتد؟ فنر را رها کنید و با دقت، تمامی تبدیل‌های انرژی آن را بررسی کنید و نتیجه را به کلاس ارائه دهید. اگر دوربین با امکان ضبط و پخش آهستهٔ فیلم در اختیار دارید، فیلمی از این فعالیت تهیه کنید و آن را به طور آهسته مشاهده کنید.

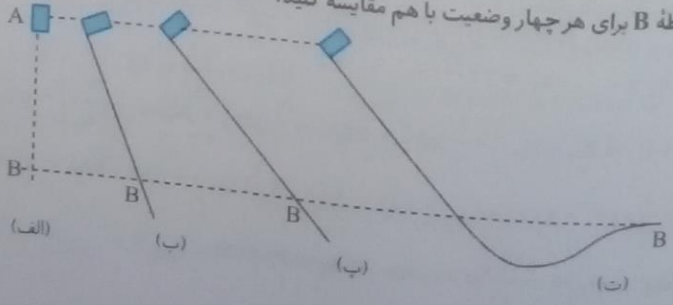
فنر حرکت نوسانی رفت و برگشت را در راستای قائم انجام می‌دهد. در حالت فشرده و قبل از رها کردن، فنر انرژی پتانسیل کشسانی و گرانشی دارد (۱). با رها کردن و باز شدن فنر، انرژی پتانسیل کشسانی و گرانشی آن کاهش و انرژی جنبشی آن افزایش می‌یابد به طوری که در حالت تعادل بیشترین انرژی جنبشی را دارد (۲). با گذشتن فنر از حالت تعادل از انرژی جنبشی و پتانسیل گرانشی آن کاسته و به انرژی پتانسیل کشسانی آن افزوده می‌شود تا در نهایت فنر متوقف شده و بازمی‌گردد (۳). در ادامه همین روند تکرار می‌شود.

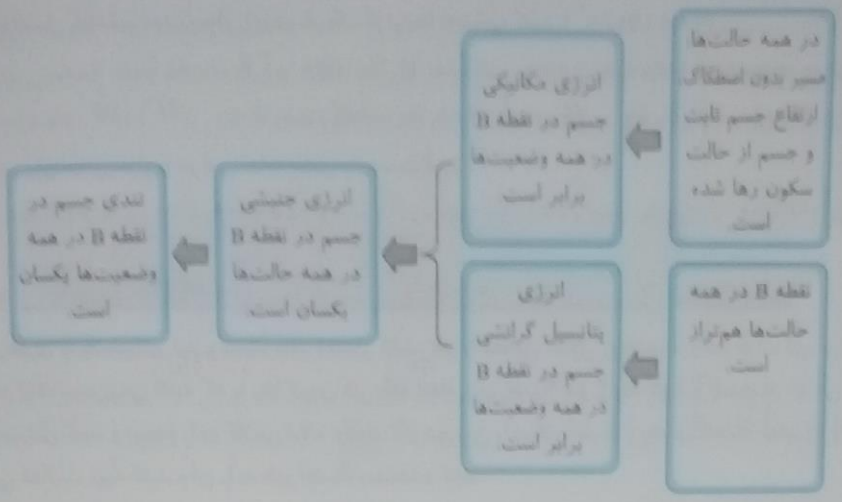


۴۷

پرسش ۲-۴

شکل روبه‌رو، چهار وضعیت متفاوت را برای حرکت جسمی نشان می‌دهد. در وضعیت الف، جسم از حال سکون سقوط می‌کند و در سه وضعیت دیگر جسم از حال سکون روی مسیری بدون اصطکاک و رو به پایین حرکت می‌کند. تندی جسم را در نقطهٔ B برای هر چهار وضعیت با هم مقایسه کنید.





تمرین ۲-۱۳ ۴۸

در مثال ۲-۱۲، مبدأ انرژی پتانسیل گرانشی را در ارتفاع h_1 بگیرید و بر این اساس تندی توپ را هنگام رسیدن به دهانهٔ سبد حساب کنید.

$$h_1 = 0 \ , \ v_1 = 7/2\frac{m}{s} \ , \ h_2 = 3 - 1/9 = 1/1m \ , \ v_2 = ?$$

$$E_1 = E_2 \rightarrow K_1 + U_1 = K_2 + U_2 \rightarrow \frac{1}{2}mv_1^2 + mgh_1 = \frac{1}{2}mv_2^2 + mgh_2$$

$$\rightarrow \frac{1}{2}v_1^2 + gh_1 = \frac{1}{2}v_2^2 + gh_2 \rightarrow \frac{1}{2}\times(7/2)^2 + 0 = \frac{1}{2}v_2^2 + 9/81\times 1/1$$

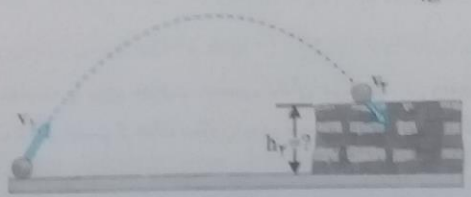
$$\rightarrow 25/92 = \frac{1}{2}v_2^2 + 10/79 \rightarrow 25/92 - 10/79 = \frac{1}{2}v_2^2 \rightarrow 15/13 = \frac{1}{2}v_2^2 \rightarrow v_2^2 = 30/26$$

$$\rightarrow v_2 = \sqrt{30/26} = 5/5\frac{m}{s} \rightarrow v_2 = 5/5\frac{m}{s}$$

نتیجه: با در نظر گرفتن هر نقطهٔ دلخواه به عنوان مبدأ انرژی پتانسیل گرانشی، تغییری در پاسخ مسأله ایجاد نمی‌شود.

تمرین ۲-۱۴ ۴۹

توپی مطابق شکل از سطح زمین با تندی $v_1 = 42/0m/s$ به طرف صخره‌ای پرتاب می‌شود. اگر توپ با تندی $v_2 = 24/0m/s$ به بالای صخره برخورد کند، ارتفاع h_2 را به دست آورید. مقاومت هوا را هنگام حرکت توپ نادیده بگیرید. $(g = 9/81m/s^2)$

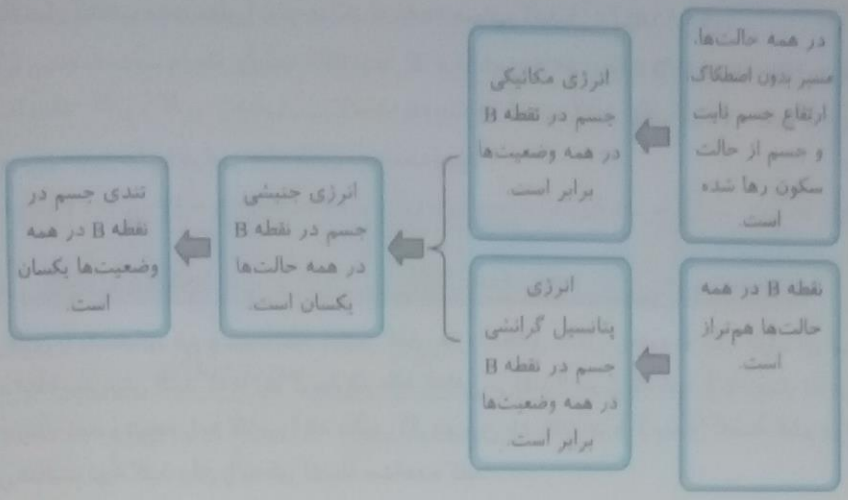


$$v_1 = 42\frac{m}{s} \ , \ h_1 = 0 \ , \ v_2 = 24\frac{m}{s} \ , \ h_2 = ?$$

$$E_1 = E_2 \rightarrow K_1 + U_1 = K_2 + U_2 \rightarrow \frac{1}{2}mv_1^2 + mgh_1 = \frac{1}{2}mv_2^2 + mgh_2 \rightarrow \frac{1}{2}v_1^2 + gh_1 = \frac{1}{2}v_2^2 + gh_2$$

$$\rightarrow \frac{1}{2}\times 42^2 + 0 = \frac{1}{2}\times 24^2 + 9/81\times h_2 \rightarrow 882 = 288 + 9/81h_2 \rightarrow 882 - 288 = 9/81h_2$$

$$\rightarrow 594 = 9/81h_2 \rightarrow h_2 = \frac{594}{9/81} = 60/6m \rightarrow h_2 = 60/6m$$



تمرین ۲-۱۳ ۴۸

در مثال ۲-۱۲، مبدأ انرژی پتانسیل گرانشی را در ارتفاع h_1 بگیرید و بر این اساس تندی توپ را هنگام رسیدن به دهانهٔ سبد حساب کنید.

$$h_1 = 0 \ , \ v_1 = 7/2\frac{m}{s} \ , \ h_2 = 3 - 1/9 = 1/1m \ , \ v_2 = ?$$

$$E_1 = E_2 \rightarrow K_1 + U_1 = K_2 + U_2 \rightarrow \frac{1}{2}mv_1^2 + mgh_1 = \frac{1}{2}mv_2^2 + mgh_2$$

$$\rightarrow \frac{1}{2}v_1^2 + gh_1 = \frac{1}{2}v_2^2 + gh_2 \rightarrow \frac{1}{2}\times(7/2)^2 + 0 = \frac{1}{2}v_2^2 + 9/81\times 1/1$$

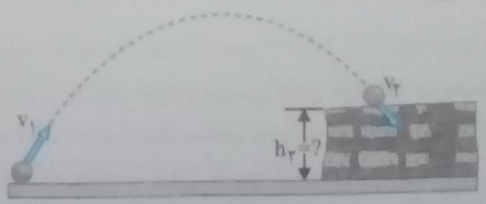
$$\rightarrow 25/92 = \frac{1}{2}v_2^2 + 10/79 \rightarrow 25/92 - 10/79 = \frac{1}{2}v_2^2 \rightarrow 15/13 = \frac{1}{2}v_2^2 \rightarrow v_2^2 = 30/26$$

$$\rightarrow v_2 = \sqrt{30/26} = 5/5\frac{m}{s} \rightarrow v_2 = 5/5\frac{m}{s}$$

نتیجه: با در نظر گرفتن هر نقطهٔ دلخواه به عنوان مبدأ انرژی پتانسیل گرانشی، تغییری در پاسخ مسأله ایجاد نمی‌شود.

تمرین ۲-۱۴ ۴۹

توپی مطابق شکل از سطح زمین با تندی $v_1 = 42/0 m/s$ به طرف صخره‌ای پرتاب می‌شود. اگر توپ با تندی $v_2 = 24/0 m/s$ به بالای صخره برخورد کند، ارتفاع h_2 را به دست آورید. مقاومت هوا را هنگام حرکت توپ نادیده بگیرید. $(g = 9/81 m/s^2)$



$$v_1 = 42\frac{m}{s} \ , \ h_1 = 0 \ , \ v_2 = 24\frac{m}{s} \ , \ h_2 = ?$$

$$E_1 = E_2 \rightarrow K_1 + U_1 = K_2 + U_2 \rightarrow \frac{1}{2}mv_1^2 + mgh_1 = \frac{1}{2}mv_2^2 + mgh_2 \rightarrow \frac{1}{2}v_1^2 + gh_1 = \frac{1}{2}v_2^2 + gh_2$$

$$\rightarrow \frac{1}{2}\times 42^2 + 0 = \frac{1}{2}\times 24^2 + 9/81\times h_2 \rightarrow 882 = 288 + 9/81h_2 \rightarrow 882 - 288 = 9/81h_2$$

$$\rightarrow 594 = 9/81h_2 \rightarrow h_2 = \frac{594}{9/81} = 60/6m \rightarrow h_2 = 60/6m$$

۴۹

پرسش ۲-۵

شخصی توپ در حال حرکتی را با دست خود می‌گیرد (شکل روبه‌رو). پس از توقف توپ، انرژی جنبشی آن کجا رفته است؟

انرژی جنبشی آن به انرژی درونی توپ، دست و محیط تبدیل شده و سبب گرم‌تر شدن آنها می‌شود.

۵۱

تمرین ۲-۱۵

توپی به جرم $0/45kg$ با تندی $v_1 = 8/0 m/s$ از نقطهٔ A می‌گذرد(شکل روبه‌رو). نیروی مقاومت هوا و نیروی اصطکاک در سطح تماس توپ با زمین، ۲۰ درصد انرژی جنبشی توپ را تا رسیدن به نقطهٔ B تلف می‌کنند. تندی توپ را در این نقطه به دست آورید.

ابتدا انرژی جنبشی اولیه توپ را محاسبه می‌کنیم:

$$K_A = \frac{1}{2}mv_A^2 = \frac{1}{2} \times 0/45 \times 8^2 = 14/4J \rightarrow K_A = 14J$$

چون ۲۰ درصد از انرژی جنبشی توپ در مسیر تلف شده است؛ بنابراین ۸۰ درصد از انرژی جنبشی اولیه توپ به نقطهٔ B می‌رسد. در نتیجه انرژی جنبشی توپ در نقطهٔ B برابر است با:

$$K_B = \frac{80}{100} \times 14 = 11/2J \rightarrow K_B = 11J$$

$$K_B = \frac{1}{2}mv_B^2 \rightarrow 11 = \frac{1}{2} \times 0/45 \times v_B^2 \rightarrow 11/52 = 0/225v_B^2 \rightarrow v_B^2 = 48 \rightarrow v_B = 7\frac{m}{s}$$

۵۲

تمرین ۲-۱۶

هر یک از دو موتور جت یک هواپیمای مسافربری بوئینگ ۷۶۷، پیشرانه‌ای (نیروی جلوبر هواپیما) برابر $1/97 \times 10^5 N$ ایجاد می‌کند. اگر هواپیما در هر دقیقه ۱۵/۶km در امتداد این نیرو حرکت کند، توان متوسط هر یک از موتورهای هواپیما چند اسب بخار است؟

$$F = 1/97 \times 10^5 N \quad , \quad \Delta t = 1min = 60s \quad , \quad d = 15/6km = 15600m \quad , \quad \overline{P} = ?$$

کار انجام شده توسط هر موتور در هر دقیقه برابر است با:

$$W = Fd = 1/97 \times 10^5 \times 15600 = 30732 \times 10^5 J \rightarrow W = 3/07 \times 10^9 J$$

$$\overline{P} = \frac{W}{\Delta t} = \frac{3/07 \times 10^9}{60} = 511/6 \times 10^5 W \rightarrow \overline{P} = 512 \times 10^5 W$$

با توجه به اینکه هر اسب بخار برابر ۷۴۶ وات است، توان متوسط هر یک از موتورها بر حسب اسب بخار برابر است با:

$$\overline{P} = 512 \times 10^5 \div 746 = 68632/7 hp \rightarrow \overline{P} = 686 \times 10^2 hp$$

۵۴

تمرین ۲-۱۷

آب ذخیره شده در پشت سد یک نیروگاه برق آبی، از ارتفاع ۹۰/۰ متری روی پره‌های توربینی می‌ریزد و آن را می‌چرخاند. با چرخش توربین، مولد می‌چرخد و انرژی الکتریکی تولید می‌شود (شکل روبه‌رو). اگر ۸۵/۰ درصد کار نیروی گرانش به انرژی الکتریکی تبدیل شود، در هر ثانیه چند مترمکعب آب باید روی توربین بریزد تا توان الکتریکی خروجی مولد نیروگاه به ۲۰۰MW برسد؟ جرم هر مترمکعب آب را $1/000 \times 10^3 kg$ در نظر بگیرید.

$$h_1 = 90m \quad , \quad h_2 = 0 \quad , \quad Ra = \frac{85}{100} = 0/85 \quad , \quad P_{خروجی} = 200MW = 200 \times 10^6 W$$

$$\Delta t = 1s \quad , \quad \rho_{آب} = 1000\frac{kg}{m^3} \quad , \quad g = 10\frac{m}{s^2} \quad , \quad V = ?$$

ابتدا با استفاده از توان خروجی و زمان، انرژی خروجی را محاسبه می‌کنیم:

$$P_{خروجی} = \frac{E_{خروجی}}{\Delta t} \rightarrow E_{خروجی} = P_{خروجی} \times \Delta t = 200 \times 10^6 \times 1 = 200 \times 10^6 J \rightarrow E_{خروجی} = 200 \times 10^6 J$$

حال با استفاده از انرژی خروجی و بازده، انرژی ورودی به توربین را محاسبه می‌کنیم:

$$Ra = \frac{E_{\text{خروجی}}}{E_{\text{ورودی}}} \rightarrow E_{\text{ورودی}} = \frac{E_{\text{خروجی}}}{Ra} = \frac{۲۰۰ \times ۱۰^{۶}}{۰/۸۵} = ۲۳۵/۲۹ \times ۱۰^{۶}\,J \rightarrow E_{\text{ورودی}} = ۲۳۵ \times ۱۰^{۶}\,J$$

انرژی ورودی به توربین همان کار نیروی وزن آب است، بنابراین:

$$E_{\text{ورودی}} = W_{\text{وزن}} = -\Delta U = -(U_{۲} - U_{۱}) = U_{۱} = mgh_{۱} \rightarrow E_{\text{ورودی}} = mgh_{۱}$$

$$\rightarrow ۲۳۵ \times ۱۰^{۶} = m \times ۱۰ \times ۹۰ \rightarrow m = \frac{۲۳۵ \times ۱۰^{۶}}{۹۰۰} = ۰/۲۶۱ \times ۱۰^{۶}\,kg \rightarrow m = ۲۶۱ \times ۱۰^{۳}\,kg$$ جرم آب

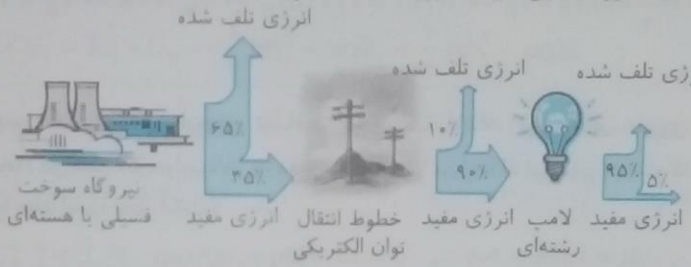
$$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow V = \frac{m}{\rho} = \frac{۲۶۱ \times ۱۰^{۳}}{۱۰۰۰} = ۲۶۱m^{۳} \rightarrow V = ۲۶۱m^{۳}$$ حجم آب

فعالیت ۲-۲

۵۴

شکل زیر طرح‌واره‌ای از درصد انرژی مفید و انرژی تلف‌شده در یک نیروگاه سوخت فسیلی یا هسته‌ای را از آغاز تا مصرف در یک لامپ رشته‌ای نشان می‌دهد.

الف) یک نیروگاه سوخت فسیلی را در نظر بگیرید که با مصرف گازوئیل، انرژی الکتریکی تولید می‌کند. با سوختن هر لیتر گازوئیل ۳۴/۲ مگاژول انرژی گرمایی تولید می‌شود. برای این‌که یک لامپ رشته‌ای ۱۰۰ واتی در طول یک ماه به مدت ۱۸۰ ساعت روشن بماند (به طور میانگین هر شبانه‌روز ۶ ساعت)، چقدر گازوئیل باید در نیروگاه مصرف شود؟



زمان مصرف را بر حسب ثانیه محاسبه می‌کنیم، می‌دانیم هر ساعت ۳۶۰۰ ثانیه است:

$$\Delta t = ۱۸۰h = ۱۸۰ \times ۳۶۰۰ = ۶/۴۸ \times ۱۰^{۵}s$$

بازده کل در فاصله تولید تا مصرف انرژی الکتریکی برابر است با:

$$Ra = ۰/۳۵ \times ۰/۹ = ۰/۳۱۵$$

توان خروجی نیز برابر است با:

$$P_{\text{خروجی}} = ۱۰۰W$$

ابتدا با استفاده از توان خروجی و زمان، انرژی خروجی را محاسبه می‌کنیم:

$$P_{\text{خروجی}} = \frac{E_{\text{خروجی}}}{\Delta t} \rightarrow E_{\text{خروجی}} = P_{\text{خروجی}} \times \Delta t = ۱۰۰ \times ۶/۴۸ \times ۱۰^{۵} = ۶/۴۸ \times ۱۰^{۷}\,J \rightarrow E_{\text{خروجی}} = ۶/۴۸ \times ۱۰^{۷}\,J$$

حال با استفاده از انرژی خروجی و راندمان، انرژی ورودی را محاسبه می‌کنیم:

$$Ra = \frac{E_{\text{خروجی}}}{E_{\text{ورودی}}} \rightarrow E_{\text{ورودی}} = \frac{E_{\text{خروجی}}}{Ra} = \frac{۶/۴۸ \times ۱۰^{۷}}{۰/۳۱۵} = ۲۰/۵۷ \times ۱۰^{۷}\,J \rightarrow E_{\text{ورودی}} = ۲۰/۶ \times ۱۰^{۷}\,J$$

با فرض اینکه همه انرژی گرمایی تولیدی گازوئیل به انرژی الکتریکی تبدیل شود، داریم:

$$\text{گازوئیل مصرفی بر حسب لیتر} = \frac{\text{انرژی مصرفی}}{\text{انرژی هر لیتر گازوئیل}} = \frac{۲۰/۶ \times ۱۰^{۷}}{۳۴/۲ \times ۱۰^{۶}} = ۰/۶۰۲ \times ۱۰ = ۶/۰۲L$$

ب) با توجه به نتیجه قسمت الف، درک خود از هشدار معروف «لامپ اضافی خاموش!» را بیان کنید.

با توجه به اتلاف انرژی در مسیر تولید تا مصرف و مشکلات استفاده از سوخت‌های فسیلی در تولید انرژی الکتریکی مانند تجدیدناپذیر بودن، هزینه گران استخراج و استفاده، آلودگی و ...، صرفه‌جویی در مصرف برق امری ضروری است.

پ) اگر در سراسر ایران، هر خانه در طول یک ماه، معادل انرژی الکتریکی مصرف شده در قسمت الف، صرفه‌جویی کند. مرتبهٔ بزرگی گازوئیل صرفه‌جویی شده را تخمین بزنید.

$10^{7} - 10^{7} \times 2 - 20,000,000$: تعداد خانوار در سراسر کشور

$10^{1} - 6/02$ ؛ گازوئیل صرفه‌جویی شده هر خانوار

$10^{8} - 10^{7} \times 10^{1}$ ؛ کل گازوئیل صرفه‌جویی شده

فعالیت ۲-۳

مدت زمانی را که طول می‌کشد تا با دویدن به بالای یک راه‌پله برسید اندازه بگیرید. آهنگ انجام این کار را محاسبه کنید. پاسخ خود را بر حسب وات و اسب بخار بیان کنید.

$g = 10\frac{N}{kg}$ ، $m = 70kg$ جرم ، $\Delta t = 12s$: زمان طی شده برای بالا رفتن ، $h = 6m$: ارتفاع پله‌ها

کار انجام شده برابر است با تغییرات انرژی پتانسیل گرانشی:

$$W = \Delta U = (U_2 - U_1) = mg(\cancel{h_2}^{h} - h_1) = mgh = 70 \times 10 \times 6 = 4200J \rightarrow W = 4200J$$

$$\bar{P} = \frac{W}{\Delta t} = \frac{4200}{12} = 350W \rightarrow \bar{P} = 350W$$

ازآنجا که هر اسب بخار ۷۴۶ وات است، توان متوسط بر حسب اسب بخار برابر است با:

$$\bar{P} = 350 \div 746 = 0/47hp \rightarrow \bar{P} = 0/47hp$$

پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۲

۱- تقریباً بیشتر شهاب‌سنگ‌هایی که وارد جوّ زمین می‌شوند به دلیل اصطکاک زیاد با ذرات تشکیل دهندهٔ جوّ، به دمای بالایی می‌رسند و می‌سوزند. شکل روبه‌رو شهاب سنگی به جرم $1/35 \times 10^{5}kg$ را نشان می‌دهد که با تندی $4/12km/s$ وارد جوّ زمین شده است. انرژی جنبشی این شهاب‌سنگ را به دست آورید. این انرژی را با انرژی جنبشی یک هواپیمایی مسافربری به جرم $7/25 \times 10^{4}kg$ که با تندی $936km/h$ در حرکت است مقایسه کنید.

ابتدا انرژی جنبشی شهاب‌سنگ را محاسبه می‌کنیم:

$$m = 1/35 \times 10^{5}kg \quad , \quad v = 4/12\frac{km}{s} = 4/12 \times 10^{3}\frac{m}{s} \quad , \quad K_1 = ?$$

$$K_1 = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 1/35 \times 10^{5} \times (4/12 \times 10^{3})^2 = \frac{1}{2} \times 1/35 \times 10^{5} \times (4/12)^2 \times 10^{6} \simeq 11/46 \times 10^{11}J$$

$$\rightarrow K_1 = 11/5 \times 10^{11}J$$

انرژی جنبشی هواپیمای مسافربری نیز برابر است با:

$$m = 7/25 \times 10^{4}kg \quad , \quad v = 936 \times \frac{10}{36} = 260\frac{m}{s} \quad , \quad K_2 = ?$$

$$K_2 = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 7/25 \times 10^{4} \times (260)^2 = 245050 \times 10^{4} = 2/45 \times 10^{9}J \rightarrow K_2 = 0/0245 \times 10^{11}$$

$$\frac{K_1}{K_2} = \frac{11/5 \times 10^{11}}{0/0245 \times 10^{11}} \simeq 469$$

انرژی جنبشی شهاب‌سنگ تقریباً ۴۶۹ برابر انرژی جنبشی هواپیمای مسافربری است.

۲- حدود ۵۰۰۰۰ سال پیش شهاب‌سنگی در نزدیکی آریزونای آمریکا به زمین برخورد کرده و چاله‌ای بزرگ از خود به‌جای گذاشته است (شکل روبه‌رو). با اندازه‌گیری‌های جدید(۲۰۰۵ میلادی) برآورد شده است که جرم این شهاب‌سنگ حدود $1/40 \times 10^{8}kg$ بوده و با تندی $12/0km/s$ به زمین برخورد کرده است. انرژی جنبشی این شهاب‌سنگ هنگام برخورد به زمین چقدر بوده است؟(خوب است بدانید انرژی آزاد شده توسط هر تُن TNT برابر $4/18 \times 10^{9}J$ است.)

$$m = 1/4 \times 10^{8}kg \quad , \quad v = 12\frac{km}{s} = 12 \times 10^{3}\frac{m}{s} \quad , \quad K = ?$$

$$K = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 1/4 \times 10^{8} \times (12 \times 10^{3})^2 = \frac{1}{2} \times 1/4 \times 10^{8} \times 12^2 \times 10^{6} = 100/8 \times 10^{14} \rightarrow K = 1/01 \times 10^{16}J$$

۳- در شکل‌های (الف) و (ب)، جرم ارابه‌های یکسان است. برای اینکه تندی ارابه‌ها از صفر به مقدار معین v برسد کار انجام شده در هر دو حالت را با هم مقایسه کنید.

طبق قضیه کار و انرژی جنبشی داریم: $W_t = K_2 - K_1$

کار انجام شده در قسمت الف: $W_1 = K_2 - K_1 = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 = \frac{1}{2}mv^2 \rightarrow W_1 = \frac{1}{2}mv^2$

کار انجام شده در قسمت ب: $W_2 = K_2 - K_1 = \frac{1}{2}(2m)v_2^2 - \frac{1}{2}(2m)v_1^2 = mv^2 \rightarrow W_2 = mv^2$

$\rightarrow W_2 = 2W_1$ کار انجام شده در قسمت (ب) دو برابر کار انجام شده در قسمت (الف) است.

۴- ورزشکاری سعی می‌کند توپ بیسبالی به جرم ۱۴۵g را با بیشترین تندی ممکن پرتاب کند. به این منظور، ورزشکار نیرویی به بزرگی $F = 75/0N$ تا لحظهٔ پرتاب توپ و در امتداد جابه‌جایی $(d = 1/45m)$ بر آن وارد می‌کند(شکل روبه‌رو). تندی توپ هنگام جدا شدن از دست ورزشکار چقدر است؟

$m = 145g = 0/145kg \quad , \quad F = 75N \quad , \quad d = 1/45m \quad , \quad v_1 = 0 \quad , \quad v_2 = ?$

طبق قضیه کار و انرژی جنبشی: $W_t = K_2 - K_1 \rightarrow W_F + W_{mg} = K_2 - K_1$

نیروی وزن عمود بر جابه‌جایی است، بنابراین: $W_{mg} = 0$، همچنین انرژی جنبشی اولیه توپ صفر است: $K_1 = 0$

$$W_F + W_{mg} = K_2 - K_1 \rightarrow W_F = K_2 \rightarrow F \cdot d = \frac{1}{2}mv_2^2 \rightarrow 75 \times 1/45 = \frac{1}{2} \times 0/145 \times v_2^2$$

$$\rightarrow v_2^2 = \frac{75 \times 1/45}{0/5 \times 0/145} = 1500 \rightarrow v_2 = \sqrt{1500} \simeq 38/7 \frac{m}{s} \rightarrow v_2 = 38/7 \frac{m}{s}$$

۵- آیا کار کل انجام شده بر یک جسم در یک جابه‌جایی می‌تواند منفی باشد؟ توضیح دهید.

بله، اگر در جابه‌جایی یک جسم نیروهای مقاوم بیشتر از نیروهای محرک باشند، جسم پس از طی مسافتی متوقف و کار کل انجام شده بر روی جسم منفی می‌شود. به بیان دیگر طبق قضیه کار و انرژی جنبشی اگر سرعت جسم کاهش یابد، انرژی جنبشی آن نیز کاهش یافته و مطابق رابطه $W_t = K_2 - K_1$، کار کل نیروهای وارد بر جسم منفی می‌شود.

۶- برای آنکه نیروی خالص، بتواند تندی جسم را از صفر به v برساند باید کار W را روی آن انجام دهد. اگر قرار باشد تندی این جسم از صفر به 3V برسد کاری که روی جسم باید انجام شود چند برابر W است؟

طبق قضیه کار و انرژی جنبشی کار نیروی خالص وارد بر جسم برابر است با تغییر انرژی جنبشی جسم.

$$\left.\begin{array}{l} v_1 = 0 \quad , \quad v_2 = v \quad , \quad W_1 = K_2 - K_1 = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 = \frac{1}{2}mv^2 \rightarrow W_1 = \frac{1}{2}mv^2 \\ v_1 = 0 \quad , \quad v_2 = 3v \quad , \quad W_2 = K_2 - K_1 = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 = \frac{1}{2}m(3v)^2 = \frac{9}{2}mv^2 \end{array}\right\} \rightarrow W_2 = 9W_1$$

۷- اگر مطابق شکل روبه‌رو سطلی را در دست نگه‌دارید، آیا نیروی دست شما هنگامی که با تندی ثابت در مسیر افقی قدم می‌زنید روی سطل کاری انجام می‌دهد؟ اگر تندی حرکت شما در طول مسیر کم و زیاد شود چطور؟ پاسخ خود را در هر مورد توضیح دهید.

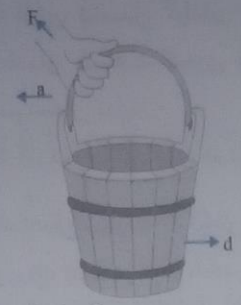
هنگامی که سطل را در دست نگه می‌داریم باید نیرویی برابر با وزن سطل و رو به بالا به جسم وارد کنیم.

چون سطل با تندی ثابت حرکت می‌کند، شخص نیرویی در جهت افقی به آن وارد نمی‌کند.

از طرفی زاویه بین نیروی F و جابه‌جایی d، 90° است.

$$W = Fd\cos\theta = Fd\cos 90^\circ = 0$$

هنگامی که تندی تغییر کند، شتاب و در نتیجه نیرو در راستای جابه‌جایی مؤلفه‌ای خواهد داشت. این نیرو روی سطل کار انجام می‌دهد.



$$W = Fd\cos\theta \neq 0$$

۸- شخص گلوله‌ای برفی به جرم ۱۵۸g را از روی زمین برمی‌دارد و تا ارتفاع ۱۸۵cm بالا می‌برد و سپس آن را با تندی ۱۲/۴m/s پرتاب می‌کند. کار انجام شده توسط شخص روی گلولهٔ برف چقدر است؟

$m = ۱۵۸g = ۰/۱۵۸kg \ , \ h = ۱۸۵cm = ۱/۸۵m \ , \ v = ۱۲/۴\,m/s \ , \ W = ?$

شخص روی گلوله‌ای برفی در دو مرحله کار انجام داده است.

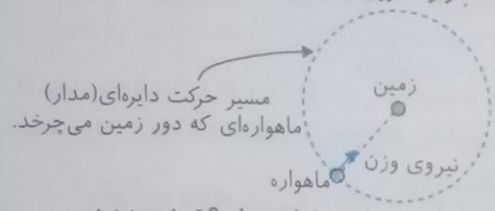
مرحله اول: بالابردن گلوله برفی $W_{mg} = -mgh = -۰/۱۵۸\times۱۰\times۱/۸۵ = -۲/۹۲J \rightarrow W_{mg} = -۲/۹۲J$

مرحله دوم: پرتاب گلوله

$$W = \Delta K = K_۲ - K_۱ = \frac{۱}{۲}mv_۲^۲ - \cancel{\frac{۱}{۲}mv_۱^۲} = -\frac{۱}{۲}\times۰/۱۵۸\times(۱۲/۴)^۲ = -۱۲/۱J \rightarrow W = -۱۲/۱J$$

$$\Rightarrow W_t = W_{mg} + W = -۲/۹۲ - ۱۲/۱ = -۱۵J \rightarrow W_t = -۱۵J$$

۹- ماهواره‌ها در مدارهای معین و با تندی ثابتی دور زمین می‌چرخند. حرکت یک ماهواره به دور زمین (شکل الف) را می‌توان مطابق شکل (ب) مدل‌سازی کرد. همان‌طور که دیده می‌شود نیروی خالصی (نیروی وزن) همواره بر ماهواره وارد می‌شود. چگونه امکان دارد با وجود وارد شدن این نیرو به ماهواره، انرژی جنبشی آن ثابت بماند؟



نیروی خالص وارد بر ماهواره عمود بر جهت جابه‌جایی است، پس کار کل ماهواره صفر است. از طرفی با توجه به قضیه کار و انرژی، $W_t = \Delta K$ ، تغییرات انرژی جنبشی نیز صفر است، پس انرژی جنبشی ماهواره همواره ثابت می‌ماند.

۱۰- آیا انرژی جنبشی یک جسم می‌تواند منفی باشد؟ انرژی پتانسیل گرانشی یک سامانه چطور؟ توضیح دهید.

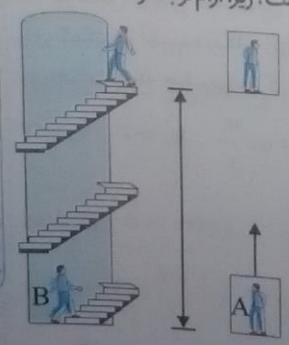
خیر، طبق رابطه $K = \frac{۱}{۲}mv^۲$ انرژی جنبشی به جرم جسم (m) و مجذور سرعت ($v^۲$) بستگی دارد، چون هردوی این عوامل کمیت‌هایی مثبت هستند، بنابراین انرژی جنبشی جسم همواره مثبت است.

همچنین طبق رابطه $U = mgh$ ، انرژی پتانسیل گرانشی نیز به جرم جسم (m) ، شتاب گرانشی (g) و ارتفاع (h) بستگی دارد. همه این عوامل مثبت هستند، بنابراین انرژی پتانسیل گرانشی یک سامانه نیز همواره مثبت است.

نکته: تغییرات انرژی جنبشی (ΔK) و تغییرات انرژی پتانسیل گرانشی یک سامانه (ΔU) می‌تواند منفی باشند.

۱۱- دو شخص هم جرم A و B به طبقهٔ سوم ساختمانی می‌روند. شخص A با آسانسور و شخص B به آرامی از پله‌های ساختمان بالا می‌روند. گزاره‌های درست را با ذکر دلیل مشخص کنید.

الف) در طبقه سوم، انرژی پتانسیل گرانشی (نسبت به زمین) شخص A از شخص B کمتر است، زیرا آرام‌تر بالا رفته است.



نادرست، زیرا انرژی پتانسیل گرانشی یک جسم به تندی حرکت بستگی ندارد و به جرم و ارتفاع جسم بستگی دارد.

ب) انرژی پتانسیل گرانشی (نسبت به زمین) شخص A کمتر از شخص B است، زیرا برای رسیدن به طبقهٔ سوم ساختمان مسافت کمتری پیموده است. نادرست، زیرا انرژی پتانسیل گرانشی یک جسم به مسافت پیموده شده توسط جسم بستگی ندارد.

پ) کار نیروی وزن برای هر دو شخص در طول مسیر یکسان است.

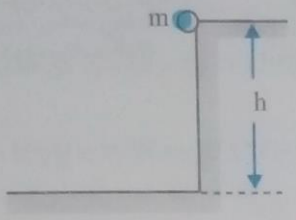
درست، می‌دانیم که کار نیروی وزن در جابه‌جایی جسم رو به بالا برابر است با: $W_{mg} = mgh\cos 180^\circ = -mgh$

چون m، g و h در هر دو شخص یکسان هستند، کار نیروی وزن نیز در هر دو شخص برابر است.

ت) انرژی پتانسیل گرانشی هر دو شخص در طبقهٔ سوم ساختمان یکسان است. درست، طبق رابطه $U = mgh$ چون m، g و h برای هر دو شخص برابر است، انرژی پتانسیل گرانشی هر دو شخص یکسان است.

۱۲- در سه شکل زیر اجسامی از حالت سکون و ارتفاع h نسبت به سطح افق رها می‌شوند و نیروی اصطکاک و مقاومت هوا بر آنها وارد نمی‌شود. در کدام حالت، جسم

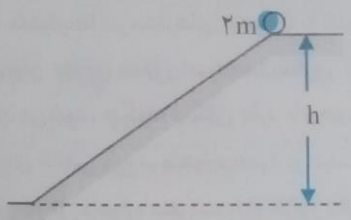
الف) بیشترین تندی را هنگام رسیدن به سطح افقی دارد؟



$h_1 = h \ , \ v_1 = 0 \ , \ h_2 = 0 \ , \ v_2 = v \ , \ m$

$E_1 = E_2 \rightarrow U_1 + K_1 = U_2 + K_2 \rightarrow mgh_2 = \frac{1}{2}mv_2^2$

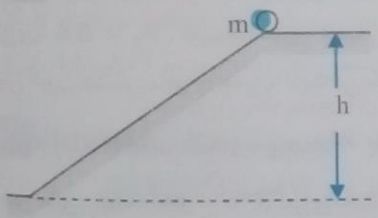
$\rightarrow gh = \frac{v^2}{2} \rightarrow v^2 = 2gh \rightarrow v = \sqrt{2gh}$



$h_1 = h \ , \ v_1 = 0 \ , \ h_2 = 0 \ , \ v_2 = v \ , 2m$

$E_1 = E_2 \rightarrow U_1 + K_1 = U_2 + K_2 \rightarrow (2m)gh = \frac{1}{2}(2m)v^2$

$\rightarrow v^2 = 2gh \rightarrow v = \sqrt{2gh}$



$h_1 = h \ , \ v_1 = 0 \ , \ h_2 = 0 \ , \ v_2 = v \ , \ m$

$E_1 = E_2 \rightarrow U_1 + K_1 = U_2 + K_2 \rightarrow mgh = \frac{1}{2}mv^2$

$\rightarrow v^2 = 2gh \rightarrow v = \sqrt{2gh}$

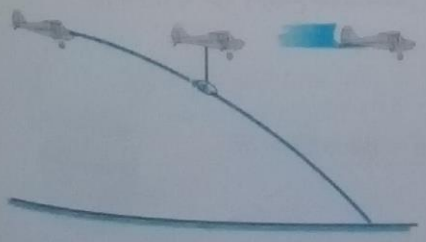
در هر سه شکل، جسم با تندی یکسان $\sqrt{2gh}$ به زمین می‌رسد.

ب) تا هنگام رسیدن به پایین مسیر، بیشترین مقدار کار نیروی وزن روی آن انجام شده است؟

$W = -\Delta U = -(mgh_2 - mgh_1) = mgh$

کار نیروی وزن به جرم و ارتفاع جسم بستگی دارد، در شکل‌هایی که جرم جسم m است، کار به‌صورت $W = mgh$ و در شکلی که جرم جسم 2m است، کار به‌صورت $W = 2mgh$ است، پس در شکل وسط، بیشترین کار انجام شده است.

۱۳- در شکل روبه‌رو هواپیمایی که در ارتفاع ۲۲۵m از سطح زمین و با تندی ۱۹۸ km / h پرواز می‌کند، بسته‌ای را برای کمک به آسیب‌دیدگان زلزله رها می‌کند. تندی بسته هنگام برخورد به زمین چقدر است؟ (از تأثیر مقاومت هوا روی حرکت بسته چشم‌پوشی کنید.)



$h_1 = 225m \ , \ v_1 = 198 \times \frac{10}{36} = 55\frac{m}{s} \ , \ h_2 = 0 \ , \ v_2 = ?$

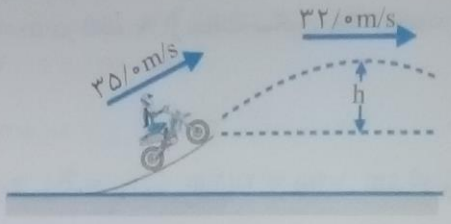
با صرف نظر از نیروی مقاومت هوا در طول مسیر، انرژی مکانیکی اولیه و نهایی بسته برابر است:

$$E_1 = E_2 \rightarrow K_1 + U_1 = K_2 + U_2 \rightarrow \frac{1}{2}mv_1^2 + mgh_1 = \frac{1}{2}mv_2^2 \rightarrow \frac{1}{2}v_1^2 + gh_1 = \frac{1}{2}v_2^2$$

$$\rightarrow \frac{1}{2}(55)^2 + 10\times 225 = \frac{1}{2}v_2^2 \rightarrow 1512/5 + 2250 = 0/5v_2^2 \rightarrow 3762/5 = 0/5v_2^2$$

$$\rightarrow v_2^2 = \frac{3762/5}{0/5} = 7525 \rightarrow v_2 = \sqrt{7525} \simeq 86/7\frac{m}{s} \rightarrow v_2 \simeq 86/7\frac{m}{s}$$

۱۴- موتورسواری از انتهای سکویی مطابق شکل روبه‌رو، پرشی را با تندی $35/0\,m/s$ انجام می‌دهد. اگر تندی موتورسوار در بالاترین نقطهٔ مسیرش به $32/0\,m/s$ برسد، ارتفاع h را پیدا کنید. اصطکاک و مقاومت هوا را در طول مسیر حرکت موتورسوار نادیده بگیرید.

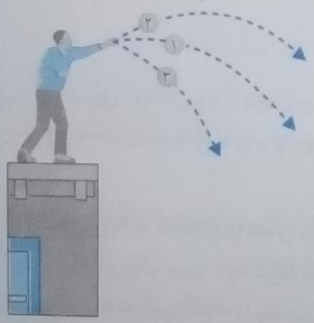


$$v_1 = 35\frac{m}{s} \quad , \quad h_1 = 0 \quad , \quad v_2 = 32\frac{m}{s} \quad , \quad h_2 = h = ?$$

$$E_1 = E_2 \rightarrow K_1 + U_1 = K_2 + U_2 \rightarrow \frac{1}{2}mv_1^2 = \frac{1}{2}mv_2^2 + mgh \rightarrow \frac{1}{2}v_1^2 = \frac{1}{2}v_2^2 + gh$$

$$\rightarrow \frac{1}{2}\times(35)^2 = \frac{1}{2}\times(32)^2 + 10\times h \rightarrow 612/5 = 512 + 10\times h \rightarrow h = \frac{100/5}{10} = 10/0\,m$$

۱۵- سه توپ مشابه، از بالای ساختمانی با تندی یکسانی پرتاب می‌شوند (شکل روبه‌رو). توپ (۱) در امتداد افق، توپ (۲) با زاویه‌ای بالاتر از امتداد افق و توپ (۳) با زاویه‌ای پایین‌تر از امتداد افق پرتاب می‌شود. با نادیده گرفتن مقاومت هوا، انرژی جنبشی توپ‌ها را هنگام برخورد با سطح زمین، با یکدیگر مقایسه کنید.



جرم، ارتفاع و تندی اولیه توپ‌ها با یکدیگر برابر است، بنابراین:

انرژی مکانیکی اولیه مساوی‌اند.

$$\left.\begin{matrix} K_1 = K_2 = K_3 \\ U_1 = U_2 = U_3 \end{matrix}\right\} \Rightarrow E_1 = E_2 = E_3 \rightarrow$$

با نادیده گرفتن مقاومت هوا، انرژی‌های مکانیکی اولیه و نهایی هر یک از توپ‌ها برابر است، در نتیجه:

$$E_1' = E_2' = E_3' \rightarrow U_1' + K_1' = U_2' + K_2' = U_3' + K_3' \xrightarrow[U_1'=U_2'=U_3'=0]{\text{در لحظه برخورد به زمین}} K_1' = K_2' = K_3'$$

پس انرژی جنبشی توپ‌ها هنگام برخورد با زمین برابر است.

۱۶- گلوله‌ای به جرم $45/0\,g$ از دهانهٔ تفنگی با تندی $1/22\,km/s$ و ارتفاع $1/62\,m$ از سطح زمین شلیک می‌شود. اگر گلوله با تندی $0/425\,km/s$ به زمین برخورد کند،

الف) در مدت حرکت گلوله کار نیروی مقاومت هوا چقدر است؟

$$m = 45g = 0/045kg \quad , \quad v_1 = 1/22\frac{km}{s} = 1/22\times10^3\frac{m}{s} = 1220\frac{m}{s} \quad , \quad h_1 = 1/62m$$

$$v_2 = 0/425\frac{km}{s} = 0/425\times10^3\frac{m}{s} = 425\frac{m}{s} \quad , \quad h_2 = 0 \quad , \quad g = 10\frac{N}{kg} \quad , \quad W_f = ?$$

کار نیروهای مقاوم برابر است با تغییر انرژی مکانیکی جسم: $W_f = E_2 - E_1$

$$E_1 = K_1 + U_1 = \frac{1}{2}mv_1^2 + mgh_1 = \frac{1}{2}\times 0/045\times(1220)^2 + 0/045\times 10\times 1/62 = 33489 + 0/729$$

$$\rightarrow E_1 = 33490J$$

$$E_2 = K_2 + U_2 = \frac{1}{2}mv_2^2 + \cancel{mgh_2} = \frac{1}{2}\times 0/045\times(425)^2 = 4064J \rightarrow E_2 = 4064J$$

$$W_f = E_2 - E_1 = 4064 - 33490 = -29426J \rightarrow W_f = -2/94\times 10^4 J$$

ب) مقدار به‌دست آمده در قسمت (الف) را با کار نیروی وزن مقایسه کنید.

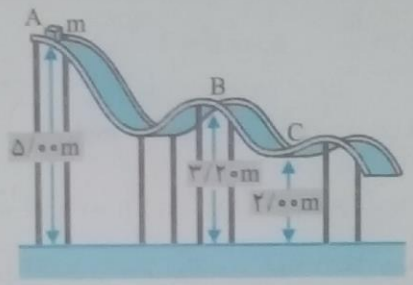
$$W_{وزن} = mgh = 0/045\times 10\times 1/62 = 0/729J \rightarrow W_{وزن} = 0/729J$$

کار نیروی وزن در این حرکت بسیار ناچیز و قابل صرف نظر است.

۱۷- جسمی به جرم $m = 12/5kg$ در نقطهٔ A از حالت سکون رها می‌شود و در مسیری بدون اصطکاک سُر می‌خورد (شکل زیر). تعیین کنید:

الف) تندی جسم را در نقطهٔ B

$$m = 12/5kg \ , \ v_A = 0 \ , \ h_A = 5m \ , \ h_B = 3/2m \ , \ v_B = ? \ , \ g = 10\frac{m}{s^2}$$



$$E_A = E_B \rightarrow U_A + \cancel{K_A} = U_B + K_B \rightarrow \cancel{m}gh_A = \cancel{m}gh_B + \frac{1}{2}\cancel{m}v_B^2 \rightarrow 10\times 5 = 10\times 3/2 + \frac{v_B^2}{2}$$

$$\rightarrow 50 - 32 = \frac{v_B^2}{2} \rightarrow v_B^2 = 36 \rightarrow v_B = 6\frac{m}{s}$$

ب) کار نیروی گرانشی را در حرکت جسم از نقطهٔ A تا نقطهٔ C.

$$W = -\Delta U = -(U_C - U_A) = -(mgh_C - mgh_A) = -mg(h_C - h_A) = -12/5\times 10\times(2-5) = -375J$$

$$\Rightarrow W = -375J$$

۱۸- شکل روبه‌رو گلوله‌ای را نشان می‌دهد که از سقف کلاسی آویزان شده و دانش‌آموزی آن را از وضعیت تعادل خارج کرده و در برابر نوک بینی خود گرفته است.

الف) وقتی دانش‌آموز گلوله را رها می‌کند هنگام برگشت به او برخورد نمی‌کند. چرا؟ (این تجربهٔ ساده ولی هیجان‌انگیز را در صورت امکان در کلاستان انجام دهید.)

چون بخشی از انرژی مکانیکی اولیه گلوله در طول مسیر رفت و برگشت صرف غلبه بر نیروهای مقاوم می‌شود. انرژی مکانیکی گلوله در مسیر برگشت کاهش یافته و تا ارتفاع کمتری بالا می‌آید.

ب) اگر دانش‌آموز هنگام رها کردن گلوله، آن را هُل دهد، هنگام برگشت آن، چه اتفاقی می‌افتد؟

در این حالت با افزایش انرژی مکانیکی اولیه گلوله نسبت به حالت قبل، گلوله می‌تواند در مسیر برگشت تا ارتفاع اولیه و حتی بیشتر از آن نیز بالا بیاید.

۱۹- بالابری با تندی ثابت، باری به جرم $6/80\times 10^2 kg$ را در مدت $186s$ تا ارتفاع $78/4m$ بالا می‌برد. اگر جرم بالابر $3/20\times 10^2 kg$ باشد، توان متوسط موتور آن چند وات و چند اسب بخار است؟

$$m = 68 + 32 = 100kg \ , \ \Delta t = 186s \ , \ h = 78/4m \ , \ g = 10\frac{N}{kg}$$

کار انجام شده توسط آسانسور برابر است با تغییر انرژی پتانسیل گرانشی:

$$W = mgh = ۱۰۰ \times ۱۰ \times ۷۸/۴ = ۷۸/۴ \times ۱۰^۳ J$$

$$\bar{P} = \frac{W}{\Delta t} = \frac{۷۸/۴ \times ۱۰^۳}{۱۸۶} = ۴۲۱ W \rightarrow \bar{P} \simeq ۴۲۱W$$

با توجه به اینکه هر اسب بخار ۷۴۶ وات است، توان متوسط آسانسور بر حسب بخار برابر است با:

$$\bar{P} = ۴۲۱ \div ۷۴۶ \simeq ۰/۵۶۴ hp$$

۲۰- شخصی به جرم $۷۸/۵kg$، در مدت زمان $۸۴/۰s$ از تعداد ۵۰ پله بالا می‌رود. توان متوسط مفید او چند وات است؟ ارتفاع هر پله را $۲۸/۵ cm$ فرض کنید.

$$m = ۷۸/۵ kg \ , \ \Delta t = ۸۴s \ , \ h = ۵۰ \times ۲۸/۵ = ۱۴۲۵cm = ۱۴/۲۵m \ , \ g \simeq ۱۰ \frac{N}{kg}$$

کار مفید انجام شده توسط شخص برابر است با تغییر انرژی پتانسیل گرانشی شخص:

$$W_{\text{مفید}} = mgh = ۷۸/۵ \times ۱۰ \times ۱۴/۲۵ = ۱۱۱۸۶/۲۵ J$$

$$\bar{P}_{\text{مفید}} = \frac{W}{\Delta t} = \frac{۱۱۱۸۶/۲۵}{۸۴} = ۱۳۳w \rightarrow \bar{P}_{\text{مفید}} \simeq ۱۳۳ W$$

۲۱- شکل زیر هواپیمایی به جرم $۷/۲۰ \times ۱۰^۴ kg$ را نشان می‌دهد که از حال سکون شروع به حرکت می‌کند و پس از $۲/۰۵ \times ۱۰^۳ m$ جابه‌جایی در امتداد باند هواپیما، به تندی برخاستن $v_۲ = ۲۵۴ km/h$ می‌رسد.

الف) کار کل نیروهای وارد بر هواپیما را در این جابه‌جایی حساب کنید.

$$m = ۷/۲۰ \times ۱۰^۴ kg \ , \ v_۱ = ۰ \ , \ d = ۲۰۵۰m \ , \ v_۲ = ۲۵۴ \times \frac{۱۰}{۳۶} \simeq ۷۰/۵ \frac{m}{s} \ , \ W_t = ?$$

$$W_t = K_۲ - \cancel{K_۱^{۰}} = \frac{۱}{۲} m v_۲^۲ = \frac{۱}{۲} \times ۷/۲ \times ۱۰^۴ \times (۷۰/۵)^۲ \simeq ۱۷۸۹۲/۹ \times ۱۰^۴ J$$

$$\rightarrow W_t \simeq ۱۷۸۹۳ \times ۱۰^۴ J \simeq ۱/۷۸ \times ۱۰^۸ J$$

یک دقیقه پس از برخاستن، هواپیما تا ارتفاع $۵۶۵m$ از سطح زمین اوج می‌گیرد و تندی آن به $۳۲۸ km/h$ می‌رسد. در این مدت،

$$h = ۵۶۵m \ , \ W_{\text{وزن}} = ?$$

ب) کار نیروی وزن چقدر است؟

$$W_{\text{وزن}} = -\Delta U = -(U_۲ - U_۱) = -(mgh_۲ - mgh_۱) = -mg(h_۲ - h_۱) = -mgh = -۷/۲ \times ۱۰^۴ \times ۱۰ \times ۵۶۵$$

$$= -۴۰۶۸۰ \times ۱۰^۴ J \rightarrow W_{\text{وزن}} \simeq -۴۰/۶ \times ۱۰^۷ J$$

پ) به جز نیروی وزن، چه نیروهای دیگری بر هواپیما اثر می‌کند(با این نیروها در علوم سال ششم آشنا شدید)؟ کار کدام یک از این نیروها مثبت و کار کدامیک از آنها منفی است؟

علاوه بر نیروی وزن، نیروی رانشی، نیروی مقاومت هوا و نیروی بالابر بر هواپیما اثر می‌کند. چون در این مدت هواپیما رو به جلو و رو به بالا حرکت می‌کند، کار نیروی رانشی و نیروی بالابر مثبت و کار نیروی مقاومت هوا منفی است.

ت) کار کل نیروهای وارد بر هواپیما چقدر است؟

$$v_۱ = ۲۵۴ \times \frac{۱۰}{۳۶} \simeq ۷۰/۵ \frac{m}{s} \ , \ v_۲ = ۳۲۸ \times \frac{۱۰}{۳۶} \simeq ۹۱/۱ \frac{m}{s} \ , \ W_t = ?$$

$$W_t = K_۲ - K_۱ = \frac{۱}{۲} m v_۲^۲ - \frac{۱}{۲} m v_۱^۲ = \frac{۱}{۲} m(v_۲^۲ - v_۱^۲) = \frac{۱}{۲} \times ۷/۲ \times ۱۰^۴ \times (۹۱/۱)^۲ - (۷۰/۵)^۲$$

$$= \frac{۱}{۲} \times ۷/۲ \times ۱۰^۴ \times ۳۳۲۸/۹۶ = ۱۱۹۸۴/۲۵ \times ۱۰^۴ J \rightarrow W_t \simeq ۱۱۹۸۴ \times ۱۰^۴ J = ۱۱/۹ \times ۱۰^۷ J$$

ث) توان کل انجام کار توسط نیروهای غیر از وزن را بیابید.

$$W_t = W_{\text{وزن}} + W_{\text{غیروزن}} \rightarrow W_{\text{غیروزن}} = W_t - W_{\text{وزن}} = ۱۱/۹ \times ۱۰^۷ - (-۴۰/۶ \times ۱۰^۷)$$

$$= ۱۱/۹ \times ۱۰^۷ + ۴۰/۶ \times ۱۰^۷ \rightarrow W_{\text{غیروزن}} = ۵۲/۵ \times ۱۰^۷ J$$

$$P_{\text{غیروزن}} = \frac{W_{\text{غیروزن}}}{\Delta t} = \frac{۵۲/۵ \times ۱۰^۷}{۶۰} = ۰/۸۷۵ \times ۱۰^۷ = ۸/۷۵ \times ۱۰^۶ W \rightarrow P_{\text{غیروزن}} = ۸/۷۵ MW$$

۲۲- سالانه نزدیک به ۱۲۵ میلیارد لیتر مواد و فراورده‌های نفتی از طریق حدود $1/40\times10^{4}\,km$ خطوط لوله در نقاط مختلف کشور توزیع می‌شود ..... اگر بازده هریک از پمپ‌های این مرکز ۲۸ درصد باشد توان هریک از آنها برحسب مگاوات (MW) و اسب بخار (hp) چقدر است؟ (چگالی مواد نفتی را $8/6\times10^{12}\,kg/m^3$ بگیرید.)

$$h_1 = 2/05\times10^{3}\,m\ ,\ h_2 = 2/70\times10^{3}\,m\ ,\ \text{بازده} = \frac{28}{100} = 0/28\ ,\ \rho = 8/60\times10^{2}\,\frac{kg}{m^3}\ ,\ P = ?$$

$$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow m = \rho V = 8/6\times10^{2}\times1 = 8/6\times10^{2}\,kg$$

$$W_{\text{خروجی}} = \Delta U = U_2 - U_1 = mgh_2 - mgh_1 = mg(h_2 - h_1) = 8/6\times10^{2}\times10(2/7\times10^{3} - 2/05\times10^{3})$$

$$= 8/6\times10^{3}\times0/65\times10^{3} = 5/59\times10^{6}\,J \Rightarrow W_{\text{خروجی}} = E_{\text{خروجی}} = 5/59\times10^{6}\,J$$

$$\text{بازده} = \frac{E_{\text{خروجی}}}{E_{\text{ورودی}}} \rightarrow E_{\text{ورودی}} = \frac{E_{\text{خروجی}}}{\text{بازده}} = \frac{5/59\times10^{6}}{0/28} = 19/9\times10^{6}\,J$$

$$P = \frac{E_{\text{ورودی}}}{t} = \frac{19/9\times10^{6}}{1} = 19/9\times10^{6}\,W$$

$$\text{توان هر پمپ:}\ \frac{19/9\times10^{6}}{2} = 9/95\times10^{6}\,W \rightarrow 9/95\times10^{6} \div 746 = 1/33\times10^{4}\,hp$$

ارزشیابی مستمر

۱- درست یا نادرست بودن جمله‌های زیر را مشخص کنید. (۱ نمره)

الف) انرژی جنبشی و کار کمیت‌هایی نرده‌ای هستند. ☐ درست ☐ نادرست

ب) اگر نیروی خالص غیرصفری بر جسم وارد شود، انرژی جنبشی ثابت باقی می‌ماند. ☐ درست ☐ نادرست

ج) اگر کار کل انجام شده بر روی جسم منفی باشد، انرژی جنبشی جسم افزایش یافته است. ☐ درست ☐ نادرست

د) اگر فنری را یکشیم یا فشرده کنیم، کار نیروی فنر در این جابه‌جایی مثبت است. ☐ درست ☐ نادرست

۲- جاهای خالی را با کلمه‌های مناسب پر کنید. (۱)

الف) هرچه تعداد ذرات سازنده جسم بیشتر و انرژی هر ذره زیادتر باشد، انرژی ..... آن بیشتر است.

ب) هر اسب بخار برابر ..... وات است.

ج) نسبت انرژی خروجی به انرژی ورودی یک دستگاه را ..... می‌گویند.

د) کار نیروهای ..... برابر است با تغییر انرژی مکانیکی جسم.

۳- گزینهٔ درست را مشخص کنید. (۱)

الف) اگر جرم جسمی را ۴ برابر و تندی آن را نصف کنیم، انرژی جنبشی آن چند برابر می‌شود؟

الف) ۲ برابر ب) نصف

ج) ۴ برابر د) تغییر نمی‌کند.

ب) اگر توان متوسط ماشین A، دو برابر توان متوسط ماشین B باشد. در یک زمان ثابت، کار ماشین B چند برابر کار ماشین A است؟

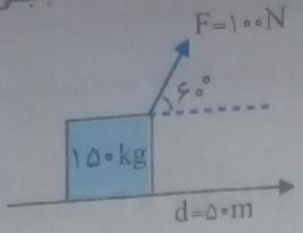
الف) ۲ برابر ب) ۴ برابر ج) نصف د) ۳ برابر

۴- مفاهیم زیر را تعریف کنید. (۱)

الف) قضیه کار و انرژی جنبشی:

ب) انرژی پتانسیل کشسانی:

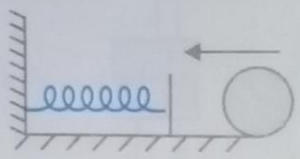
۵- شخصی باری به جرم ۱۵۰kg را توسط طنابی که با افق زاویه ۶۰° می‌سازد، با نیروی ۱۰۰N به اندازه ۵۰ متر می‌کشد. اگر کار کل انجام شده در طول مسیر ۵۰۰J باشد، نیروی اصطکاک جنبشی چقدر است؟ (۱/۲۵) $(\cos 60^\circ = \frac{1}{2})$



۶- بسته‌ای به جرم ۸۰۰kg با طنابی که به بالگردی متصل است از روی زمین بلند می‌شود. اگر بالگرد نیروی ۱۲۰۰N را در راستای قائم بر بسته وارد و سرعت رو به بالای آن در ارتفاع ۴۵ متر به $۱۰\frac{m}{s}$ برساند، کار نیروی مقاومت هوا در طول مسیر چقدر است؟ $(g = ۱۰\frac{N}{kg})$ (۱/۲۵)

۷- موتورسواری با جرم ۲۰۰kg از بالای تپه‌ای به ارتفاع 5m به بالای تپه‌ای دیگر به ارتفاع 8m می‌پرد. کار نیروی وزن موتورسوار در این جابه‌جایی چقدر است؟ $(g = ۱۰\frac{N}{kg})$ (۰/۵)

۸- مطابق شکل زیر جسمی با انرژی جنبشی ۵۰J فنری برخورد کرده و آن را فشرده می‌کند. اگر در لحظه توقف جسم، انرژی پتانسیل کشسانی فنر ۴۰J باشد، کار نیروی اصطکاک جنبشی در این جابه‌جایی چقدر است؟ (۰/۷۵)



۹- توپی از ارتفاع ۴ متری سطح زمین با سرعت $۱۰\frac{m}{s}$ رو به بالا پرتاب می‌شود. با نادیده گرفتن نیروی مقاومت هوا، سرعت پرتاب توپ در ارتفاع ۸ متری از سطح زمین چقدر است؟ $(g = ۱۰\frac{N}{kg})$ (۰/۷۵)

۱۰- توان ورودی یک پمپ آب 2kW و بازده آن ۷۰ درصد است. این پمپ در هر دقیقه چند کیلوگرم آب را از عمق ۲۸ متری یک چاه با تندی ثابت بالا می‌آورد؟ $(g = ۱۰\frac{N}{kg})$ (۱/۵)

پاسخ ارزشیابی مستمر

۱ الف) درست (۰/۲۵)، ب) نادرست (۰/۲۵)، ج) نادرست (۰/۲۵)، د) نادرست (۰/۲۵)

۲ الف) درونی (۰/۲۵)، ب) ۷۴۶ (۰/۲۵)، ج) بازده (۰/۲۵)، د) مقاوم (۰/۲۵)

۳ الف) گزینهٔ (د) (۰/۵)

$m_۲ = ۴m_۱ \quad , \quad v_۲ = \frac{۱}{۲}v_۱ \quad , \quad \frac{K_۲}{K_۱} = ?$

$$\frac{K_۲}{K_۱} = \frac{\frac{۱}{۲}m_۲v_۲^۲}{\frac{۱}{۲}m_۱v_۱^۲} = \frac{m_۲v_۲^۲}{m_۱v_۱^۲} = \frac{۴m_۱ \times (\frac{۱}{۲}v_۱)^۲}{m_۱v_۱^۲} = \frac{۴m_۱ \times \frac{۱}{۴}v_۱^۲}{m_۱v_۱^۲} = ۴ \times \frac{۱}{۴} = ۱ \rightarrow \frac{K_۲}{K_۱} = ۱ \rightarrow K_۱ = K_۲$$

ب) گزینهٔ (ج) (۰/۵)

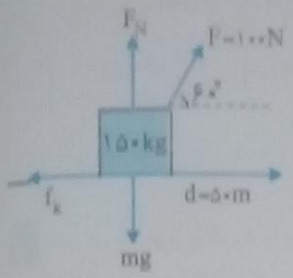
$\bar{P}_A = ۲\bar{P}_B \quad , \quad \Delta t_A = \Delta t_B \quad , \quad \frac{W_B}{W_A} = ?$

$$\bar{P} = \frac{W}{\Delta t} \rightarrow W = \bar{P} \times \Delta t \rightarrow \frac{W_B}{W_A} = \frac{\bar{P}_B \times \Delta t_B}{\bar{P}_A \times \Delta t_A} = \frac{\bar{P}_B}{\bar{P}_A} = \frac{\bar{P}_B}{۲\bar{P}_A} = \frac{۱}{۲} \rightarrow \frac{W_B}{W_A} = \frac{۱}{۲}$$

۴ الف) کار کل انجام شده بر روی جسم برابر است با تغییر انرژی جنبشی جسم $(W_t = \Delta K = K_2 - K_1)$ (۰/۵)

ب) انرژی که به دلیل تغییر طول در یک فنر ذخیره می‌شود را انرژی پتانسیل کشسانی می‌گویند. (۰/۵)

۵ ابتدا نیروهای وارد شده بر جسم را مشخص کرده و کار هر یک از آنها را محاسبه می‌کنیم:



$$W_F = F d \cos 60^\circ = 100 \times 50 \times \frac{1}{2} = 2500J \rightarrow W_F = 2500J \quad (0/25)$$

$$W_{f_k} = f_k d \cos 180^\circ = f_k \times 50 \times (-1) = -50 f_k \rightarrow W_{f_k} = -50 f_k \quad (0/25)$$

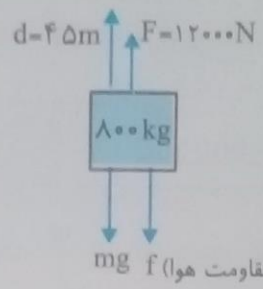
چون نیروهای وزن و عمودی سطح، عمود بر جابه‌جایی هستند، (۰/۲۵) کار این نیروها صفر است:

$$W_{F_N} = W_{mg} = 0 \quad (0/25)$$

$$W_t = \cancel{W_{F_N}}^{0} + \cancel{W_{mg}}^{0} + W_F + W_{f_k} = W_F + W_{f_k} \rightarrow 500 = 2500 - 50 f_k \rightarrow -2000 = -50 f_k$$

$$\rightarrow f_k = \frac{-2000}{-50} = 40N \rightarrow f_k = 40N \quad (0/25)$$

۶



$$m = 800kg \ , \ v_1 = 0 \ , \ F = 12000N \ , \ d = 45m \ , \ v_2 = 10\frac{m}{s} \ , \ W_{\text{مقاومت هوا}} = ?$$

نیروهایی که به این بسته وارد می‌شوند عبارتند از: نیروی بالگرد، نیروی وزن و نیروی مقاومت هوا.

با توجه به قضیه کار و انرژی:

$$W_t = K_2 - K_1 \rightarrow W_F + W_{mg} + W_f = K_2 - \cancel{K_1}^{0} \rightarrow W_f = K_2 - W_F - W_{mg} \quad (0/25)$$

$$\begin{cases} K_2 = \frac{1}{2} m v_2^2 = \frac{1}{2} \times 800 \times 10^2 = 40000J \quad (0/25) \\ W_F = F \cdot d = 12000 \times 45 = 540000J \quad (0/25) \\ W_{mg} = mgd \cos 180^\circ = 800 \times 10 \times 45 \times (-1) = -360000J \quad (0/25) \end{cases}$$

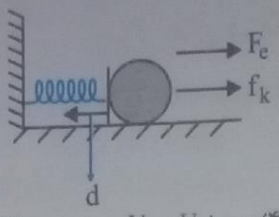
$$\rightarrow W_f = 40000 - 540000 - (-360000) = -140000J \rightarrow W_f = -140000J \quad (0/25)$$

۷

$$m = 200kg \ , \ h_1 = 5m \ , \ h_2 = 8m \ , \ W_{\text{وزن}} = ?$$

$$W_{\text{وزن}} = -\Delta U = -(U_2 - U_1) = -mg(h_2 - h_1) = -200 \times 10 \times (8 - 5) = -6000J \rightarrow W_{\text{وزن}} = -6000J \quad (0/25)$$
(۰/۲۵)

۸ نیروهایی که به جسم وارد می‌شوند عبارتند از: نیروی فنر (F_e) و نیروی اصطکاک جنبشی (f_k)



جسم : $K_1 = 50J$, $K_2 = 0$

فنر : $U_1 = 0$, $U_2 = 40J$

$$W_{F_e} = -\Delta U_{\text{کشسانی}} = -(U_2 - U_1) = -(40 - 0) = -40J \quad (0/25)$$

$$W_t = K_2 - K_1 \rightarrow W_{F_e} + W_{f_k} = K_2 - K_1 \quad (0/25) \rightarrow -40 + W_{f_k} = 0 - 50$$

$$\rightarrow W_{f_k} = -50 + 40 = -10J \quad (0/25)$$

۹

$$h_1 = 4m \ , \ v_1 = 10\frac{m}{s} \ , \ h_2 = 8m \ , \ v_2 = ?$$

با نادیده گرفتن نیروی مقاومت هوا داریم:

$$E_1 = E_2 \rightarrow K_1 + U_1 = K_2 + U_2 \rightarrow \frac{1}{2}m v_1^2 + mgh_1 = \frac{1}{2}m v_2^2 + mgh_2$$
$$(0/25)$$

$$\rightarrow \frac{1}{2}v_1^2 + gh_1 = \frac{1}{2}v_2^2 + gh_2 \rightarrow \frac{1}{2}\times 10^2 + 10\times 4 = \frac{1}{2}\times v_2^2 + 10\times 8 \rightarrow 50 + 40 = \frac{1}{2}\times v_2^2 + 80$$
$$(0/25)$$

$$90 - 80 = \frac{1}{2}v_2^2 \rightarrow 10 = \frac{1}{2}v_2^2 \rightarrow v_2^2 = 20 \rightarrow v_2 = \sqrt{20}\frac{m}{s} = 2\sqrt{5} \quad (0/25)$$

۱۰

$$P_{\text{ورودی}} = 2kW = 2000W \ , \ Ra = \frac{70}{100} = 0/7 \ , \ \Delta t = 1min = 60s \ , \ h = 28m \ , \ m = ?$$

ابتدا با استفاده از توان ورودی، انرژی ورودی را محاسبه می‌کنیم:

$$P_{\text{ورودی}} = \frac{E_{\text{ورودی}}}{\Delta t} \rightarrow E_{\text{ورودی}} = P_{\text{ورودی}} \times \Delta t = 2000 \times 60 = 120000J \rightarrow E_{\text{ورودی}} = 120000J \quad (0/25)$$
$$(0/25)$$

با استفاده از انرژی ورودی و راندمان، انرژی خروجی را به‌دست آوریم:

$$Ra = \frac{E_{\text{خروجی}}}{E_{\text{ورودی}}} \rightarrow E_{\text{خروجی}} = Ra \times E_{\text{ورودی}} = 0/7 \times 120000 = 84000J \rightarrow E_{\text{خروجی}} = 84000J \quad (0/25)$$
$$(0/25)$$

انرژی خروجی با تغییر انرژی پتانسیل گرانشی آب برابر است، بنابراین:

$$E_{\text{خروجی}} = \underset{(0/25)}{\Delta U} = mgh \rightarrow 84000 = m \times 10 \times 28 \rightarrow m = \frac{84000}{280} = 300kg \rightarrow m = 300kg \quad (0/25)$$

فصل ۲

ویژگی‌های فیزیکی مواد

کلیدواژه

حالت‌های ماده - حرکت براونی - پلاسما - کشش سطحی - اثر مویینگی - ترشوندگی - هم‌چسبی و دگرچسبی - فشار شاره - فشارسنج - اصل ارشمیدس - شناوری - اصل برنوی

مفاهیم آموزشی

حالت‌های ماده

الف) جامد: خصوصیات یک جسم جامد عبارت است از:

۱- شکل و حجم معینی دارد.

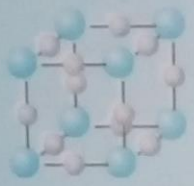
۲- نیروی بین اتم‌های آن از نوع الکتریکی است.

۳- اتم‌ها در مکان‌های مشخصی قرار دارند و حول این مکان‌ها نوسان می‌کنند.

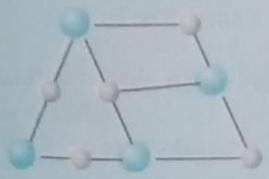
۴- در اثر گرما دامنه نوسان‌ها بیشتر شده و جسم جامد منبسط می‌شود.

۵- نیروی بین اتم‌ها شبیه فنرهایی است که اتم‌ها را کنار هم نگه‌داشته و مانع از آن می‌شود که اتم‌ها از حد معینی به هم نزدیک یا از هم دور شوند.

انواع جامدها:



۱- جامدهای بلورین: در این جامدها اتم‌ها در طرح‌های منظمی کنار هم قرار گرفته و جسم جامد از تکرار این طرح‌ها پدید می‌آید. جامدهای بلورین معمولاً از سرد کردن تدریجی مایع مذاب و یا محلول آنها پدید می‌آیند، زیرا در این حالت مولکول‌ها فرصت دارند تا در طرح‌های منظم، خود را مرتب کنند. مثال: انواع فلزات، نمک‌ها، الماس و سنگ‌های معدنی.



۲- جامدهای بی‌شکل(آمورف): در این جامدها، مولکول‌ها در طرح منظمی کنار هم قرار ندارند و معمولاً از سرد کردن سریع مایع مذاب پدید می‌آیند؛ زیرا در این حالت مولکول‌ها فرصت کافی ندارند تا در طرحی منظم قرار گیرند و در نتیجه در وضعیت نامنظمی که در حالت مایع داشتند باقی می‌مانند: مثال شیشه، قیر و ... .

ب) مایع

مولکول‌های مایع نظم و تقارن اتمی جامدهای بلورین را ندارند و به صورت نامنظم کنار هم قرار می‌گیرند. مایع‌ها به راحتی جاری می‌شوند و شکل ظرف را به خود می‌گیرند.

نکته: فاصله ذرات درحالت جامد و مایع تقریباً یکسان است.

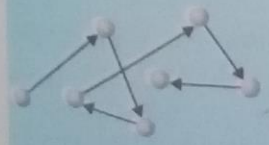
نکته: در مایع‌ها پدیده پخش رخ می‌دهد. این پدیده ناشی از حرکت نامنظم و کاتوره‌ای مولکول‌های مایع است، مانند پخش شدن جوهر در آب.

نکته: مایع‌ها تراکم‌ناپذیر هستند.

ج) گاز

اتم‌ها و مولکول‌ها در گاز، آزادانه و با تندی زیاد، حرکت و با یکدیگر و دیواره ظرف برخورد می‌کنند. در گازها فاصله بین مولکول‌ها نسبت به اندازه مولکول‌ها بسیار زیاد است.

حرکت براونی: حرکت نامنظم و کاتوره‌ای مولکول‌های یک گاز را «حرکت براونی» می‌گویند.



نکته: پدیده پخش در گازها نیز وجود دارد، مثل پخش شدن مولکول‌های عطر در هوا.

نکته: گازها برخلاف جامدها و مایع‌ها تراکم‌پذیر هستند.

د) پلاسما

این حالت ماده در دماهای بسیار بالا ایجاد می‌شود. در این حالت یک یا چند الکترون از اتم جدا شده و ماده‌ای شامل مجموعه‌ای از الکترون‌های آزاد، یون‌ها و اتم‌های خنثی که حاوی مقادیر برابر از بارهای مثبت و منفی هستند، تشکیل می‌شود که به آن «پلاسما» می‌گویند.

نکته: ویژگی‌های فیزیکی تمام مواد از قبیل نقطه ذوب، رسانندگی الکتریکی و گرمایی، شفافیت، استحکام و ... در مقیاس نانو تغییر می‌کند.

نکته: برای تغییر ویژگی‌های فیزیکی مواد در مقیاس نانو لازم نیست همه ابعاد ماده در مقیاس نانو باشد بلکه اگر یک بعد ماده را نیز در مقیاس نانو محدود کنیم، ویژگی‌های فیزیکی تغییر می‌کند، مثل نانو لایه‌ها.

نیروهای بین مولکولی

نیروی هم‌چسبی: نیروی جاذبه بین مولکول‌های یک ماده را «نیروی هم‌چسبی» می‌گویند.

نیروی دگرچسبی: نیروی جاذبه بین مولکول‌های دو ماده مختلف را «نیروی دگرچسبی» می‌گویند.

کشش سطحی: ناشی از نیروی هم‌چسبی بین مولکول‌های سطح مایع است، به این ترتیب که جاذبه بین مولکول‌های سطح مایع آن را شبیه یک پوسته کشیده می‌کند که مانع از نفوذ اجسام خارجی به داخل مایع می‌شود. مثل شناور ماندن گیره بر روی آب، تشکیل حباب صابون، تشکیل قطرات کروی آب هنگام سقوط و راه رفتن برخی حشرات بر روی آب.

ترشوندگی: هرگاه مایعی در تماس با جامد باشد، دو حالت ممکن است ایجاد شود:

۱- اگر نیروی دگرچسبی بین مولکول‌های مایع و جامد از نیروی هم‌چسبی بین مولکول‌های مایع بیشتر باشد، مایع جامد را تر می‌کند، مثل آب بر سطح شیشه.

۲- اگر نیروی هم‌چسبی بین مولکول‌های مایع از نیروی دگرچسبی بین مولکول‌های مایع و جامد بیشتر باشد، مایع جامد را تر نمی‌کند، مثل جیوه بر سطح شیشه.

اثر مویینگی

الف) لوله مویین در ظرف آب دارای ویژگی‌های زیر است:

۱- آب در لوله مویین بالا می‌رود و سطح آن بالاتر از سطح آب در ظرف قرار می‌گیرد.

۲- هر چه قطر لوله کمتر باشد، ارتفاع ستون آب در آن بیشتر است.

۳- سطح آب در لوله مویین فرورفته است.

توجیه فیزیکی این پدیده: چون نیروی دگرچسبی بین مولکول‌های آب و شیشه بیشتر از نیروی هم‌چسبی بین مولکول‌های آب است، آب تمایل به چسبیدن به دیواره شیشه را دارد، در نتیجه آب در لوله بالا می‌رود.

ب) لوله مویین در ظرف جیوه دارای ویژگی‌های زیر است:

۱) جیوه در لوله مویین بالا می‌رود و سطح آن پایین‌تر از سطح جیوه در ظرف قرار می‌گیرد.

۲) هر چه قطر لوله کمتر باشد، ارتفاع ستون جیوه در آن کمتر است.

۳) سطح جیوه در لوله مویین برآمده است.

توجیه فیزیکی این پدیده: چون نیروی هم‌چسبی بین مولکول‌های جیوه از نیروی دگرچسبی بین مولکول‌های جیوه و شیشه بیشتر است، جیوه سطح شیشه را تر نمی‌کند. در نتیجه سطح جیوه در لوله مویین پایین‌تر از سطح جیوه در ظرف است.

در لوله‌های مویین وزن مایع جابه‌جا شده نسبت به سطح یا برآیند نیروهای هم‌چسبی یا دگرچسبی برابر است.

فشار در شاره‌ها: به مایع‌ها و گازها شاره می‌گویند.

نکته: اگر جسمی داخل شاره‌ای قرار گیرد، نیرویی از طرف شاره بر هر سطح جسم وارد می‌شود که ناشی از برخورد مولکول‌های شاره با سطح است.

$$P = \frac{F}{A}$$

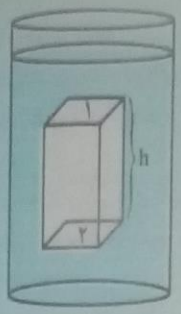
نکته: فشاری که بر یک سطح درون شاره وارد می‌شود از رابطه مقابل به‌دست می‌آید:

مثال: اگر فشار هوای داخل یک هواپیما $10^5\,Pa$ باشد، چه نیرویی از طرف هوای داخل، بر پنجره‌ای دایره‌ای شکل به شعاع $0/3\,m$ وارد می‌شود؟ $(\pi = 3)$

$$P = 10^5\,Pa \;,\; A = \pi r^2 = 3 \times (0/3)^2 = 3 \times 0/09 = 0/27\,m^2 \;,\; F = ?$$

$$P = \frac{F}{A} \rightarrow F = P.A = 10^5 \times 0/27 = 27000\,N \rightarrow F = 27000\,N$$

نکته اختلاف فشار دو نقطه از یک شاره با اختلاف ارتفاع h برابر است با:



$$P_2 - P_1 = \rho gh \rightarrow P_2 = P_1 + \rho gh$$

در این رابطه:

P_2: فشار در سطح پایین بر حسب Pa ، P_1: فشار در سطح بالا بر حسب Pa

ρ: چگالی مایع بر حسب $\frac{kg}{m^3}$ ، g: شتاب گرانشی بر حسب $\frac{N}{kg}$

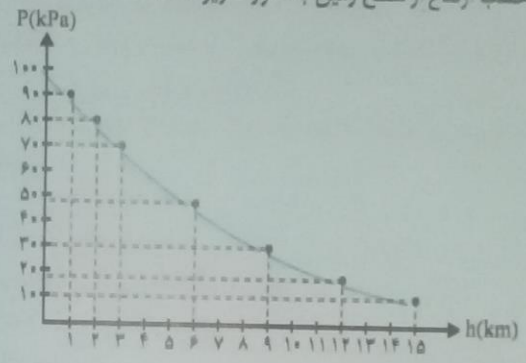
h: اختلاف ارتفاع بر حسب m

در مورد رابطه فوق توجه به دو نکته زیر ضروری است:

۱- این رابطه برای هر شاره ساکن در حال تعادل، چه مایع و چه گاز برقرار است.

۲- چون با افزایش ارتفاع، چگالی هوا ثابت نبوده و به شدت کاهش می‌یابد، برای محاسبه اختلاف فشار دو نقطه از هوا اگر اختلاف ارتفاع زیاد باشد از رابطه $P_2 = P_1 + \rho gh$ نمی‌توان استفاده کرد.

نکته نمودار تغییرات فشار هوا بر حسب ارتفاع از سطح زمین به صورت زیر است:

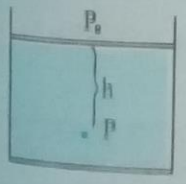


مثال مخزنی استوانه‌ای شکل به ارتفاع ۵۰cm درون شاره‌ای غوطه‌ور است. اگر فشار شاره در بالا و ته مخزن به ترتیب ۱۲۰kPa و ۱۵۰kPa باشد، چگالی شاره چقدر است؟ $(g = 10\frac{N}{kg})$

$$h = 50cm = 0/5m \quad , \quad P_2 = 150 \times 10^3 Pa \quad , \quad P_1 = 120 \times 10^3 Pa \quad , \quad \rho = ?$$

$$P_2 = P_1 + \rho gh \rightarrow 150000 = 120000 + \rho \times 10 \times 0/5 \rightarrow 30000 = 5\rho \rightarrow \rho = \frac{30000}{5} = 6000\frac{kg}{m^3}$$

نکته فشار در عمق h از یک مایع برابر است با:



$$P = P_0 + \overbrace{\rho gh}^{\text{فشار مایع}}$$

P_0: فشار در سطح مایع

نکته فشار هوا در سطح دریای آزاد $1/013 \times 10^5 Pa$ است که به آن یک اتمسفر (atm) می‌گویند.

نکته با توجه به کم بودن چگالی گازها، در محفظه‌های کوچک گاز اختلاف فشار در نقاط مختلف بسیار ناچیز است و می‌توان فشار گاز یک محفظه را در تمام نقاط آن ثابت در نظر گرفت.

مثال اگر چگالی آب دریاچه‌ای $1/2 \times 10^3 \frac{kg}{m^3}$ و فشار هوا در سطح دریاچه $1/01 \times 10^5 Pa$ باشد، فشار در عمق ۵۰ متری این دریاچه چقدر است؟ $(g = 10\frac{N}{kg})$

$$\rho_{آب} = 1/2 \times 10^3 \frac{kg}{m^3} \quad , \quad P_0 = 1/01 \times 10^5 Pa \quad , \quad h = 50m \quad , \quad P = ?$$

$$P = P_0 + \rho gh = 1/01 \times 10^5 + 1/2 \times 10^3 \times 10 \times 50 = 1/01 \times 10^5 + 6 \times 10^5 = 7/01 \times 10^5 \rightarrow P = 7/01 \times 10^5 Pa$$

مثال ۲: غواصی درعمق ۱۰ متری آب دریاچه‌ای شنا می‌کند. اگر مساحت سر این غواص $200cm^2$ فرض شود، اندازه نیرویی که بر سر این غواص وارد می‌شود چند نیوتون است؟

$(g = 10\frac{N}{kg} \ , \ \rho_{آب} = 1000\frac{kg}{m^3} \ , \ P_0 = 10^5 Pa)$

$h = 10m \ , \ A = 200cm^2 = 200 \times 10^{-4} m^2$

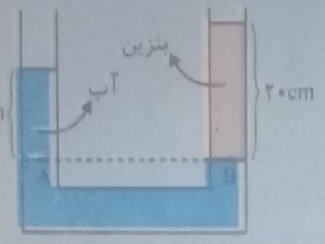
ابتدا باید فشار وارد بر سر غواص را در این عمق محاسبه کنیم:

$$P = P_0 + \rho gh = 10^5 + 1000 \times 10 \times 10 = 10^5 + 10^5 = 2 \times 10^5 Pa$$

$$P = \frac{F}{A} \rightarrow F = P.A = 2 \times 10^5 \times 200 \times 10^{-4} = 400 \times 10 = 4000N \rightarrow F = 4000N$$

مثال ۳: در یک لوله U شکل مقداری آب قرار دارد. در شاخه سمت راست آنقدر بنزین می‌ریزیم تا ارتفاع آن به $20cm$ برسد. اختلاف ارتفاع آب در دو شاخه چقدر است؟ $(\rho_{بنزین} = 700\frac{kg}{m^3} \ , \ \rho_{آب} = 1000\frac{kg}{m^3})$

فشار در نقاط هم‌تراز یکسان است، بنابراین: $P_A = P_B$

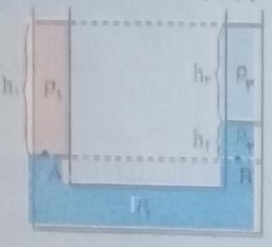


$$P_0 + \rho_{آب} g h_{آب} = P_0 + \rho_{بنزین} g h_{بنزین} \rightarrow \rho_{آب} g h_{آب} = \rho_{بنزین} g h_{بنزین}$$

$$\rightarrow \rho_{آب} h_{آب} = \rho_{بنزین} h_{بنزین} \rightarrow 1000 \times h_{آب} = 700 \times 20 \rightarrow h_{آب} = \frac{14000}{1000} = 14cm \rightarrow h_{آب} = 14cm$$

نکته: چون $h_{بنزین}$ بر حسب سانتی‌متر نوشته شده، $h_{آب}$ نیز بر حسب سانتی‌متر به‌دست می‌آید.

مثال ۴: سه مایع مخلوط نشدنی مطابق شکل در ظرف U شکلی به حالت تعادل قرار دارند. مقدار ρ_1 را محاسبه کنید.



$(\rho_2 = 1\frac{g}{cm^3} \ , \ \rho_3 = 13\frac{g}{cm^3} \ , \ h_1 = 30cm \ , \ h_3 = 20cm)$

$$h_2 = h_1 - h_3 = 30 - 20 = 10cm \rightarrow h_2 = 10cm$$

$$P_A = P_B \Rightarrow P_0 + \rho_1 g h_1 = P_0 + \rho_2 g h_2 + \rho_3 g h_3 \rightarrow \rho_1 g h_1 = g(\rho_2 h_2 + \rho_3 h_3)$$

$$\rightarrow \rho_1 h_1 = \rho_2 h_2 + \rho_3 h_3 \rightarrow \rho_1 \times 30 = 13 \times 10 + 1 \times 20 \rightarrow 30\rho_1 = 150 \rightarrow \rho_1 = \frac{150}{30} = 5\frac{g}{cm^3}$$

مثال ۵: فشار در کف یک استخر پر از آب به عمق ۱۰ متر برابر $2 \times 10^5 Pa$ است.

الف) چگالی آب استخر چقدر است؟ $(P_0 = 10^5 Pa \ , \ g = 10\frac{N}{kg})$

$$P = P_0 + \rho gh \rightarrow 2 \times 10^5 = 10^5 + \rho \times 10 \times 10 \rightarrow 2 \times 10^5 - 1 \times 10^5 = 100\rho \rightarrow 1 \times 10^5 = 100\rho$$

$$\rightarrow \rho = \frac{1 \times 10^5}{100} = 1000 \rightarrow \rho = 1000\frac{kg}{m^3}$$

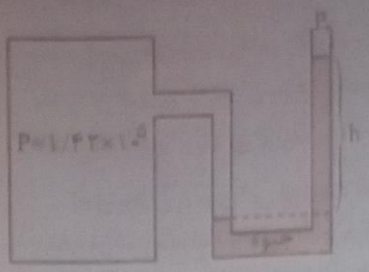
ب) اگر استخر مکعب مستطیلی با مساحت قاعده $50m^2$ فرض شود، جرم آب داخل استخر چند کیلوگرم است؟

$(\rho_{آب} = 1000\frac{kg}{m^3})$

حجم آب: $V = 50 \times 10 = 500m^3$

$$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow m = \rho V = 1000 \times 500 = 5 \times 10^5 kg \rightarrow m = 5 \times 10^5 kg$$

ب) اختلاف ارتفاع ستون جیوه در دو شاخه چقدر است؟



$$P = P_0 + \rho_{جیوه} g h_{جیوه}$$

$$\rightarrow 1/42 \times 10^5 = 0/9 \times 10^5 + 13000 \times 10 \times h$$

$$142000 = 90000 + 130000h \rightarrow 52000 = 130000h$$

$$\rightarrow h = \frac{52000}{130000} = \frac{4}{10} = 0/4m \rightarrow h = 40cm$$

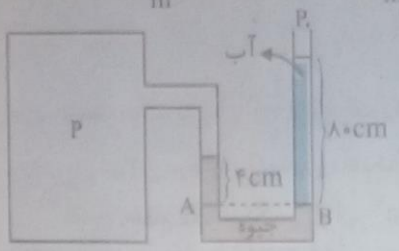
پ) فشار پیمانه‌ای گاز چقدر است؟

$$P_g = P - P_0 = 142000 - 90000 = 52000Pa \rightarrow P_g = 52000Pa$$

مثال ۴: در فشارسنج زیر:

الف) فشار مخزن را محاسبه کنید.

$$(\rho_{جیوه} = 13000 \frac{kg}{m^3} \quad , \quad \rho_{آب} = 1000 \frac{kg}{m^3} \quad , \quad P_0 = 10^5 Pa)$$



$$P_A = P_B \rightarrow P + \rho_{جیوه} g h_{جیوه} = P_0 + \rho_{آب} g h_{آب}$$

$$P + 13000 \times 10 \times 0/04 = 100000 + 1000 \times 10 \times 0/8$$

$$\rightarrow P + 5200 = 100000 + 8000$$

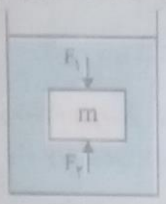
$$\rightarrow P = 108000 - 5200 = 102800Pa \rightarrow P = 102800Pa$$

ب) فشار پیمانه‌ای مخزن چقدر است؟

$$P_g = P - P_0 = 102800 - 100000 = 2800Pa \rightarrow P_g = 2800Pa$$

اصل ارشمیدس

وقتی تمام یا قسمتی از یک جسم در شاره‌ای فرو رود، نیرویی رو به بالا به اندازه وزن شاره جابه‌جا شده توسط جسم، به جسم وارد می‌شود.

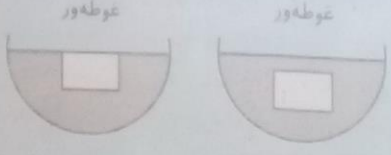


نکته: چون فشار شاره در قسمت‌های عمیق‌تر بیشتر است، نیرویی که از طرف شاره به بخش‌های عمیق‌تر وارد می‌شود، بیشتر است؛ در نتیجه نیروی بالاسوی خالصی به جسم وارد شده که با وزن شارهٔ جابه‌جا شده برابر است.

$$F_2 > F_1$$

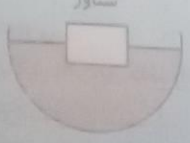
نیروی شناوری: به نیروی بالا سوی خالصی که به جسم درون شاره وارد شده و با وزن شارهٔ جابه‌جا شده برابر است، «نیروی شناوری» می‌گویند و آن را با F_b نشان می‌دهند.

نکته: اگر جسم در شاره غوطه‌ور باشد، حجم جسم و حجم شاره جابه‌جا شده برابر است:



$$V_{جسم} = V_{\text{شاره جابه‌جا شده}}$$

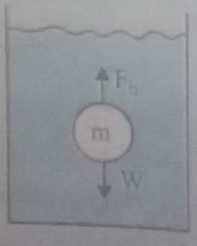
نکته: اگر جسم بر روی شاره شناور باشد، حجم جسم بیشتر از حجم شاره جابه‌جا شده است:



$$V_{جسم} > V_{\text{شاره جابه‌جا شده}}$$

نکته: برای جسمی که درون یک شاره قرار دارد:

۱- اگر نیروی شناوری بیشتر از وزن جسم باشد، جسم در شاره بالا آمده و شناور می‌ماند.



$$F_b > W_{جسم} \rightarrow \text{شناور}$$

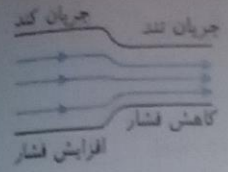
۲- اگر نیروی شناوری برابر با وزن جسم باشد، جسم در شاره غوطه‌ور می‌ماند.

$$F_b = W_{جسم} \rightarrow \text{غوطه‌ور}$$

۳- اگر نیروی شناوری کمتر از وزن جسم باشد، جسم در شاره فرو می‌رود.

$$F_b < W_{جسم} \rightarrow \text{فرو رفتن}$$

اصل برنولی: در مسیر حرکت شاره فشار داخل یک شاره با افزایش تندی شاره، کاهش می‌یابد.



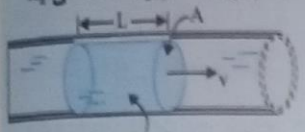
نکته: طبق اصل برنولی فشار و تندی یک شاره نسبت عکس دارند.

نکته: به جریانی که در آن سرعت همه ذراتی که از نقطه معینی می‌گذرند، ثابت باشد، جریان پایا می‌گویند.

نکته: اصل برنولی بر طبق این فرضیات است:

۱- شاره تراکم‌ناپذیر است. ۲- هنگام حرکت شاره اما اتلاف انرژی وجود ندارد. ۳- حرکت شاره پایا است (متلاطم نیست).

آهنگ جریان شاره: نسبت حجم شارهٔ جابه‌جا شده به زمان را «آهنگ جریان شاره» می‌گویند. اگر سطح مقطع لوله را با A و حجم شاره‌ای که در زمان t از این سطح مقطع عبور می‌کند را با AL نشان دهیم، آهنگ جریان شاره از طریق رابطه زیر به‌دست می‌آید:



حجم این بخش از شاره برابر AL است.

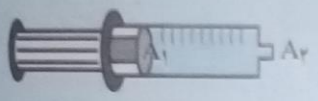
$$\text{آهنگ جریان شاره} = \frac{\text{حجم شاره}}{\text{زمان}} = \frac{AL}{t} = A\frac{L}{t} = Av \rightarrow \text{آهنگ جریان شاره} = Av$$

نکته: نسبت سافت به زمان $(\frac{L}{t})$ در حرکت یکنواخت شاره برابر تندی شاره (v) است.

معادله پیوستگی: در شاره تراکم‌ناپذیر، آهنگ حرکت شاره در سطح مقطع‌های متفاوت برابر است:

$$A_1v_1 = A_2v_2$$

مثال: سطح مقطع یک سرنگ پر از آب $0/4cm^2$ و سطح مقطع دهانه خروجی آن $0/4mm^2$ است. اگر سرنگ با تندی $1/5\frac{cm}{s}$ فشرده شود، تندی خروجی آب از دهانه آن چقدر است؟



$$A_1 = 0/4cm^2 \ , \ v_1 = 1/5\frac{cm}{s} \ ,$$

$$A_2 = 0/4mm^2 = 0/4\times10^{-2}cm^2 \ , \ v_2 = ?$$

$$A_1v_1 = A_2v_2 \rightarrow 0/4\times1/5 = 0/4\times10^{-2}\times v_2 \rightarrow v_2 = \frac{1/5}{10^{-2}} = 1/5\times10^2 = 150\frac{cm}{s} = 1/5\frac{m}{s}$$

نکته: در معادله پیوستگی باید یکاهای A و v در دو طرف معادله یکسان باشد.

مثال۲: یک لوله آبیاری با قطر داخلی 2cm به یک آبپاش که سرآن ۵۰ روزنه با قطر $0/2mm$ دارد وصل شده است. اگر تندی آب در لوله $90\frac{cm}{s}$ باشد، تندی آب در زمان خروج از آب‌پاش چقدر است؟ $(\pi = 3)$

سطح مقطع لوله $A_1 = 3cm^2 \rightarrow A_1 = \pi r^2 = 3\times1^2 = 3cm^2 \rightarrow r_{\text{لوله}} = 1cm \rightarrow$ قطر لوله: 2cm

$A = 3\times10^{-4}cm^2 \rightarrow r_{\text{روزنه}} = 0/1mm = 1\times10^{-2}cm \rightarrow A = \pi r^2 = 3\times(1\times10^{-2})^2 = 3\times10^{-4}cm^2 \rightarrow$ قطر هر روزنه: $0/2mm$

سطح مقطع هر روزنه

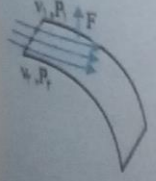
مساحت روزنه‌ها $A_2 = 50\times3\times10^{-4} = 150\times10^{-4}cm^2 \rightarrow$

$$A_1v_1 = A_2v_2 \rightarrow 3\times90 = 150\times10^{-4}\times v_2$$

$$\rightarrow v_2 = \frac{3\times90}{150\times10^{-4}} = \frac{270}{150\times10^{-4}} = 1/8\times10^4 = 18000\frac{cm}{s} = 180\frac{m}{s}$$

کاربردهایی از اصل برنولی

۱- چرا وقتی سطح بالایی یک ورق کاغذ را فوت می‌کنیم، ورق کاغذ به سمت بالا حرکت می‌کند؟



با فوت کردن، هوای بالای کاغذ سریع‌تر جریان می‌یابد و بنا به اصل برنولی فشار آن کاغذ کاهش می‌یابد. در نتیجه فشار هوای سطح زیرین که بیشتر است کاغذ را به طرف بالا حرکت می‌دهد.

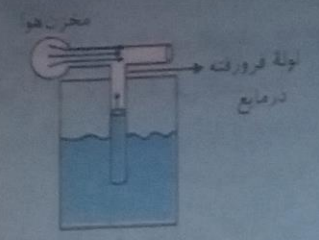
$$v_1 > v_2 \rightarrow P_1 < P_2$$

۲- نیروی بالابر وارد بر هواپیما در حین حرکت چگونه ایجاد می‌شود؟

طراحی بال هواپیما به گونه‌ای است که تندی هوا در بالای بال بیشتر از زیر آن است. در نتیجه فشار هوای بالای بال کمتر از فشار هوای زیر آن شده و نیروی بالابر خالصی به بال هواپیما وارد می‌شود.

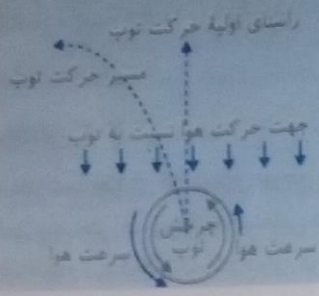
$$v_1 > v_2 \rightarrow P_1 < P_2$$

...یک سمپاش معمولی یا شیشه عطر چگونه کار می‌کند؟



...ا فشردن مخزن هوا یا اهرم، جریان سریع هوا در بالای لوله فرورفته در مایع، ایجاد و ...ب کاهش فشار هوای بالای لوله می‌شود، بنابراین شاره در لوله بالا آمده و با ...یان هوا مخلوط و از طریق روزنه به بیرون پاشیده می‌شود.

۴. حرکت کات‌دار توپ فوتبال چگونه ایجاد می‌شود؟



در حرکت کات‌دار ضربه پا به گونه‌ای به توپ وارد می‌شود که توپ در حین جلو رفتن در یک جهت خاص می‌چرخد. چرخش توپ باعث چرخش هوای اطراف توپ شده و تندی هوا در یک سمت توپ بیشتر از سمت دیگر می‌شود در نتیجه طبق اصل برنولی بین دو طرف توپ در حین حرکت اختلاف فشار ایجاد شده و توپ به یک سمت منحرف می‌گردد. با کاهش سرعت چرخش توپ در طول حرکت اختلاف فشار کاهش، و توپ پس از طی مسیری خمیده، به راستای اولیه خود باز می‌گردد.

فعالیت ۳-۱ ۶۳

قلم‌زنی یکی از هنرهای صنعتی ایران و با قدمتی چندین هزار ساله است. تحقیق کنید صنعتگران قلم‌زن، چگونه از شُل و سفت شدن قیر کمک می‌گیرند تا بدون سوراخ شدن فلز، بر روی آن نقش و نگارهای متنوعی ایجاد کنند.

صنعتگران برای تنظیم گودی و برجستگی‌های ایجاد شده بر روی فلز و جلوگیری از سوراخ شدن سطح فلز با ضربات چکش، قیر را با گرما دادن شُل کرده و داخل ظروف کار خود می‌ریزند تا سطح داخلی آن را به طور کامل بپوشاند. هر چه قیر داغ‌تر باشد فلز در حین ضربه بیشتر فرو می‌رود. از قیر سفت شده نیز برای استحکام‌بخشی و جلوگیری از فرو رفتن بیش از حد سطح و شکستن فلز در برابر ضربه و همچنین کاهش سروصدا استفاده می‌کنند. در برخی از موارد نیز به قیر گچ اضافه می‌کنند. تا ثُرد و شکننده شده و بعد از کار به آسانی از سطح جدا شود.

فعالیت ۳-۲ ۶۴

یک سرنگ، مثلاً ۱۰ سی‌سی اختیار کنید. پیستون آن را بکشید تا هوا وارد سرنگ شود. انگشت خود را محکم روی دهانهٔ خروجی سرنگ قرار دهید و تا جایی که می‌توانید پیستون را حرکت دهید تا هوای درون سرنگ متراکم شود. هوای درون سرنگ را خالی و آن را تا نیمه از آب پر کنید. با مسدود نمودن انتهای سرنگ سعی کنید تا جایی که ممکن است مایع درون آن را متراکم کنید. از این آزمایش ساده چه نتیجه‌ای در مورد تراکم‌پذیری گازها و مایع‌ها می‌گیرید؟ توضیح دهید. چون فاصله بین مولکولی در مایع‌ها کم است (تقریباً به اندازه جامدات است)، نیروی دافعه بین مولکولی اجازه نمی‌دهد که این فاصله را با وارد کردن فشار کاهش داد. ولی در گازها فاصله بین مولکول‌ها بسیار زیاد است. بنابراین مولکول‌های گاز را می‌توان تحت فشار به یکدیگر نزدیک و متراکم کرد. در نتیجه می‌توانیم بگوییم مایع‌ها تراکم‌ناپذیر و گازها تراکم‌پذیرند.

پرسش ۳-۱ ۶۵

الف) وقتی در شیشهٔ عطری را در گوشه‌ای از اتاق باز می‌کنید، پس از چند ثانیه ذرات عطر در همه جای اتاق پخش و بوی آن حس می‌شود. با توجه به شکل روبه‌رو این پدیده را چگونه توجیه می‌کنید؟ چرا پدیدهٔ پخش در گازها سریع‌تر از مایع‌ها رخ می‌دهد؟ حرکت نامنظم و کاتوره‌ای مولکول‌های عطر و هوا در فضای اتاق و برخورد آنها با یکدیگر و انحراف مسیرشان باعث پراکنده شدن این مولکول‌ها در فضای اتاق می‌شود. حرکت مولکول‌ها در گازها سریع‌تر از مایع‌ها است بنابراین پدیده پخش در گازها با سرعت بیشتری رخ می‌دهد.

ب) هوای اطراف کرهٔ زمین، آمیزه‌ای از نیتروژن (۷۸ درصد)، اکسیژن (۲۱ درصد)، کربن‌دی‌اکسید، بخار آب و مقدار کمی گازهای بی‌اثر (کریپتون، نئون و هلیم) است. این مولکول‌ها به طور کاتوره‌ای و با تندی زیاد همواره در حرکت‌اند. برخورد مولکول‌های هوا به یکدیگر سبب پخش آنها می‌شود. اهمیت این پدیده را برای حیات روی کرهٔ زمین توضیح دهید.

اکسیژن تولید شده توسط گیاهان در جنگل‌ها طی فرآیند پخش و با وزش بادها در سراسر کره زمین پراکنده می‌شود. همچنین کربن‌دی‌اکسید و گازهای مضر تولید شده توسط ماشین‌آلات و کارخانه‌ها با فرآیند پخش پراکنده و در محل تولید باقی نمی‌ماند.

تمرین ۳-۱ ۶۶

در مکعبی به ابعاد یک نانومتر، چه تعداد اتم را می‌توان جای داد؟ اگر ابعاد مکعب ۱۰ نانومتر باشد چطور؟ قطر اتم را $1/0 \times 10^{-10}$ m فرض کنید. تعداد اتم‌هایی که در هر یک از ابعاد طول و عرض و ارتفاع این مکعب جای می‌گیرند برابر است با:

$$\text{ضلع مکعب} = 1\text{nm} = 1 \times 10^{-10}\text{m} = \frac{1\text{nm}}{1 \times 10^{-10}\text{m}} = \frac{1 \times 10^{-9}}{1 \times 10^{-10}} = 10 \quad \text{قطر اتم} +$$

بنابراین تعداد کل اتم‌هایی که در این مکعب جای می‌گیرند برابر است با: $10 \times 10 \times 10 = 1/0 \times 10^{3}$ = تعداد کل اتم‌ها

اگر ابعاد مکعب 10nm (۱۰ برابر) شود تعداد اتم‌هایی که در هر یک از ابعاد طول و عرض و ارتفاع این مکعب جای می‌گیرند ۱۰۰ می‌شود بنابراین:

$100 \times 100 \times 100 = 1/0 \times 10^{6}$ = تعداد کل اتم‌ها

پرسش ۳-۲ ۶۷

به نظر شما چرا در کتاب‌های مرجع دمای ذوب طلا را 1064°C ذکر کرده‌اند؟ زیرا این دمای ذوب برای تمام کاربردهای علمی و صنعتی صحیح است و تمامی قطعه‌هایی از طلا که می‌توان آنها را با چشم دید در این دما ذوب می‌شوند. اما درمقیاس نانو، هرچه ذره کوچک‌تر باشد دمای ذوب کمتری دارد بنابراین نمی‌توان دمای ذوب ثابتی را برای طلا در نظر گرفت.

فعالیت ۳-۳ ۶۸

علوم و فناوری نانو دستاوردهای فراوانی در عرصه‌های مختلف، از جمله: پزشکی و داروسازی، رایانه‌ها، ذخیره‌سازی داده‌ها و گوشی‌های تلفن همراه، صنایع هواپیماسازی و خودروسازی، پوشاک و خوردنی‌ها و ... داشته است، تأثیر علوم نانو را در یکی از این حوزه‌ها در گروه خود، به عنوان موضوع تحقیق انتخاب کرده و نتیجهٔ تحقیق را به کلاس ارائه دهید.

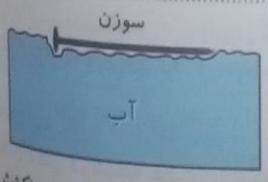
دانش‌آموزان عزیز می‌توانند با مراجعه به سایت www.nano.ir و جستجوی شماره‌های مختلف ماهنامه «فن‌آوری نانو» با آخرین پیشرفت‌های این فناوری در علوم مختلف آشنا شوند.

پرسش ۳-۳ ۶۹

وقتی شیشه می‌شکند با نزدیک کردن قطعه‌های آن به هم نمی‌توان اجزای شیشه را دوباره به هم چسباند؛ ولی اگر قطعه‌های شیشه را آن‌قدر گرم کنیم که نرم شوند می‌توان آنها را به هم چسباند. این پدیده‌ها را با توجه به کوتاه‌بُرد بودن نیروهای بین مولکولی توجیه کنید.

چون نیروهای بین مولکولی کوتاه برد هستند با نزدیک کردن قطعات شیشه نمی‌توان آنها را در فاصله بین مولکولی یکدیگر قرار داده و به هم چسباند ولی بعد از گرم کردن شیشه و اتصال آنها به هم، جنبش بین مولکول‌ها باعث قرار گرفتن آنها در فاصله‌های بین مولکولی شده و جاذبه بین مولکول‌ها سبب اتصال دوباره قطعات به یکدیگر می‌شود.

فعالیت ۳-۴ ۷۰



الف) سعی کنید یک سوزن ته‌گرد یا گیرهٔ کاغذ را مطابق شکل روی سطح آب شناور کنید. برای این منظور می‌توانید از یک تکه دستمال کاغذی استفاده کنید.

ب) پس از شناور شدن سوزن یا گیره، سطح آب را به دقت مشاهده کنید و مشاهدات خود را به کلاس گزارش دهید.

سوزن یا گیره در محل تماس با سطح آب فرورفتگی ایجاد می‌کند. ولی روی سطح آب شناور بوده و به زیر آب نمی‌رود. (کشش سطحی ناشی از هم‌چسبی مولکول‌های سطح آب مانع از فرو رفتن جسم در آب می‌شود.)

پ) اکنون یکی دو قطره شوینده را به آرامی به آب درون ظرف بیفزایید. مشاهدات خود را به کلاس گزارش کنید و دلیلی برای آن ارائه دهید. با افزودن مایع ظرفشویی سوزن یا گیره در آب فرو می‌رود. زیرا مایع ظرفشویی نیروی هم‌چسبی مولکول‌های سطح آب و در نتیجه کشش سطحی آن را کاهش می‌دهد.

ایستگاه یادگیری

کشش سطحی جیوه حدود ۶/۵ برابر آب و آب حدود ۳ برابر آب صابون و آب صابون حدود ۲ برابر الکل یا بنزین است. هر قدر مایع سریع‌تر تبخیر شود کشش سطحی آن ضعیف‌تر است.

پرسش ۳-۴ ۷۰

شکل روبه‌رو خروج قطره‌های روغن با دمای متفاوت را از دهانهٔ دو قطره‌چکان نشان می‌دهد.

الف) توضیح دهید در کدام شکل دمای قطره‌های روغن کمتر است.

در شکل سمت چپ - زیرا هر قدر روغن سردتر باشد نیروی هم‌چسبی آن قوی‌تر است و در زمان جدا شدن از قطره‌چکان قطرات بزرگ‌تری را تشکیل می‌دهد. (با قوی‌تر شدن نیروی هم‌چسبی، قطره برای فرو افتادن و غلبه بر این نیرو باید جرم بیشتری داشته باشد.)

ب) افزایش دما چه تأثیری بر نیروی هم‌چسبی مولکول‌های یک مایع می‌گذارد؟

افزایش دما باعث افزایش جنبش مولکولی و در نتیجه ضعیف‌تر شدن نیروی هم‌چسبی مولکول‌های یک مایع می‌شود.

پ) چرا هنگام شستن ظروف، افزون بر استفاده از مایع ظرف‌شویی، ترجیح می‌دهیم از آب گرم نیز استفاده کنیم؟

گرما باعث افزایش جنبش مولکولی و درنتیجه غلبه بر نیروی دگرچسبی چربی‌ها و ظروف شده و ظروف راحت‌تر شسته می‌شوند.

فعالیت ۳-۵ ۷۰

یک طرف یک تکه شیشهٔ کوچک (با ابعادی حدود ۱۰cm در ۱۰cm) را کمی بالاتر از شعلهٔ یک شمع بگیرید تا سطح شیشه به‌طور کامل دود اندود شود. شیشه را از طرف تمیز آن روی سطحی افقی قرار دهید و سپس روی سطح دوداندود شدهٔ آن چند قطره آب بریزید. آنچه را مشاهده می‌کنید در گروه خود به بحث بگذارید و نتیجه را به کلاس ارائه دهید. چون نیروی هم‌چسبی بین مولکول‌های آب از نیروی دگرچسبی مولکول‌های آب و دوده بیشتر است آب دوده را تر نمی‌کند و قطرات آب بر روی دوده به‌شکل کروی باقی می‌مانند و به صورت قطره‌های کوچک روی سطح شیشه قرار می‌گیرد.

بار دیگر سطح شیشه را به جای دوداندود کردن، با روغن چرب کنید و آزمایش را تکرار کنید. مشاهدهٔ خود را توضیح دهید و نتیجه را به کلاس گزارش دهید. (پس از بحث کافی در خصوص این فعالیت، دوباره به تصویر و پرسش شروع فصل بازگردید و پاسخی قانع‌کننده ارائه دهید.)

چون نیروی هم‌چسبی بین مولکول‌های آب از نیروی دگرچسبی بین مولکول‌های آب و روغن بیشتر است آب بر سطح شیشه چرب شده با روغن پخش نمی‌شود و به صورت قطره‌های کوچک روی سطح شیشه قرار می‌گیرد.

فعالیت ۳-۶ ۷۱

این فعالیت به شما کمک می‌کند تا درک بهتری از نیروی دگرچسبی به‌دست آورید. به این منظور از یک لیوان پر از آب، یک کارت بانکی و تعدادی وزنه چند گرمی یا سکه‌های پول استفاده کنید. ابتدا مطابق شکل الف، کارت را طوری روی لبهٔ لیوان قرار دهید که تنها نیمی از آن با آب در تماس باشد. وزنه‌های چند گرمی را روی قسمتی از کارت قرار دهید که با آب در تماس نیست (ابتدا وزنه ۵ گرمی، سپس ۱۰ گرمی و ...). نتیجهٔ مشاهدهٔ خود را با توجه به مفاهیمی که تاکنون فرا گرفته‌اید توضیح دهید.

چون نیروی دگرچسبی آب و کارت بیشتر از نیروی هم‌چسبی بین مولکول‌های آب است با افزودن وزنه‌ها در یک سمت کارت، سوی دیگر علاوه بر اینکه از سطح اولیه خود بالاتر می‌آید سطح آب در تماس با خود را نیز بالا می‌برد. بنابراین کارت از سطح آب جدا نمی‌شود با افزایش تعداد وزنه‌ها، نیروی وزن آنها بر نیروی دگرچسبی آب و کارت غلبه کرده و کارت از سطح آب جدا می‌گردد.

یکی دو قطره مایع شوینده به آب اضافه کنید و آزمایش را تکرار کنید. نتیجهٔ مشاهده خود را در گروه خود به بحث بگذارید.

با افزودن مایع ظرفشویی به آب، نیروی دگرچسبی کاهش یافته و کارت با قرار دادن وزنه‌ها به راحتی از سطح آب جدا می‌شود.

فعالیت ۳-۷ ۷۲

در ساختن دیوارهای ساختمان باید اثر مویینگی در نظر گرفته شود، زیرا تراوش آب از منفذهای مویین در این دیوارها می‌تواند سبب خسارت در داخل ساختمان شود. برای جلوگیری از این خسارت، دیوارهای داخل یا خارج ساختمان را معمولاً با مواد ناتراوا (مانند قیر) می‌پوشانند.

تحقیق کنید در معماری سنتی ایران به جای قیر اندود کردن، چگونه از نفوذ آب به داخل سازه‌ها جلوگیری می‌کردند.

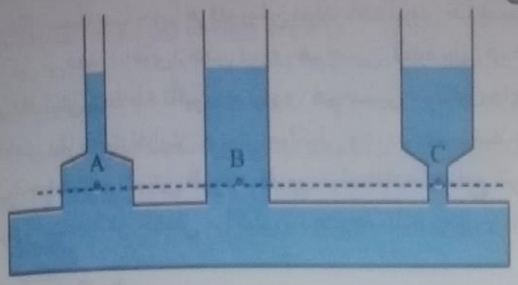
در نواحی بسیار مرطوب کرانه‌های نزدیک دریا خانه‌ها بر روی پایه‌های چوبی بنا می‌شد، شیب‌بندی مناسب بام‌ها نیز از عوامل مؤثر در جلوگیری از نفوذ آب بوده است. استفاده از کاهگل و روغن به عنوان اندود بر روی کاهگل‌ها، ملات‌های آهکی و ملات قیر چارو (ساروج گچ) که ترکیبی از گچ، گِل رس، شیره سوخته انگور یا خرما، خاکستر و مواد الیافی (مغز و پرزهای نوعی نی) است از جمله عایق‌های رطوبتی معماری سنتی ایران بوده است. (به طور کلی موادی که نیروی دگرچسبی آنها با آب کمتر از نیروی هم‌چسبی مولکول‌های آب باشند ناتراوا بوده و عایق‌های رطوبتی خوبی هستند.)

دانش‌آموزان عزیز رشته تجربی برای مطالعه آزمون پایانی دی ماه به انتهای کتاب قسمت فیزیک کتاب، قسمت آزمون پایانی مراجعه نمایید.

پرسش ۳-۵

۷۴

در علوم سال نهم دیدید که فشار در نقاط هم‌تراز یک مایع ساکن مانند نقاط A ، B و C در شکل یکسان است و به شکل ظرف بستگی ندارد. این موضوع را با رابطهٔ ۳-۳ توضیح دهید.



طبق رابطه $P = P_0 + \rho gh$ عوامل مؤثر بر فشار یک مایع عبارتند از: فشار در سطح مایع، چگالی مایع، عمق مایع و شتاب گرانشی. چون همه این عوامل در نقاط A ،B و C یکسان است، فشار در این نقاط نیز با هم برابر است.

تمرین ۳-۲

۷۶

شناگری در عمق ۵/۰ از سطح آب دریاچه‌ای شنا می‌کند فشار ناشی از آب و همچنین فشار کل در این عمق چقدر است؟ اگر مساحت پرده گوش را یک سانتی‌متر مربع ($1cm^2$) فرض کنیم، بزرگی نیرویی که به پردهٔ گوش این شناگر وارد می‌شود چند نیوتون است؟ فشار هوای محیط را $1/01\times10^5 Pa$ بگیرید.

$$\rho_{آب} = 1\times10^3 \frac{kg}{m^3} \quad , \quad g = 10\frac{N}{kg} \quad , \quad P_0 = 1/01\times10^5 Pa = 10/1\times10^4 Pa$$

$$A = 1cm^2 = 1\times10^{-4} m^2 \quad , \quad h = 5m$$

فشار شاره در عمق ۵ متری

$$P_{شاره} = \rho gh = 1\times10^3 \times 10 \times 5 = 5\times10^4 Pa \rightarrow P_{شاره} = 5\times10^4 Pa$$

$$P = P_0 + \rho gh = P_0 + P_{شاره} = 10/1\times10^4 + 5\times10^4 = 15/1\times10^4 Pa \rightarrow P = 15/1\times10^3 Pa$$

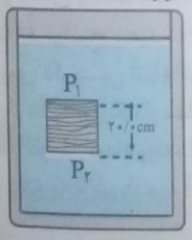
نیروی وارد بر پرده گوش

$$P = \frac{F}{A} \Rightarrow F = PA = 15/1\times10^4 \times 1\times10^{-4} = 15/1N \rightarrow F = 15/1N$$

تمرین ۳-۳

۷۶

جسمی مکعبی به طول ضلع $20/0cm$ درون شاره‌ای غوطه‌ور و در حال تعادل است (شکل روبه‌رو). فشار در بالا و زیر جسم به ترتیب ۱۰۵/۰ و ۱۰۶/۸ کیلوپاسکال است. چگالی شاره چند کیلوگرم بر مترمکعب است؟ (راهنمایی: از رابطهٔ ۳-۲ استفاده کنید.)



$$h = 20cm = 0/2m$$

$$g = 10\frac{N}{kg} \quad , \quad \rho = ?$$

$$P_1 = 105kPa = 105\times10^3 Pa$$

$$P_2 = 106/8kPa = 106/8\times10^3 Pa$$

$$P_2 = P_1 + \rho gh$$

$$106/8\times10^3 = 105\times10^3 + \rho\times10\times0/2 \rightarrow 106/8\times10^3 - 105\times10^3 = 2\rho \rightarrow 1/8\times10^3 = 2\rho$$

$$\rho = \frac{1/8\times10^3}{2} = 0/9\times10^3 \frac{kg}{m^3} \rightarrow \rho = 900\frac{kg}{m^3}$$

تمرین ۳-۴

۷۷

در هواشناسی و روی نقشه‌های آب و هوا، معمولاً از یکای بار (bar) برای فشار هوا استفاده می‌کنند. به طوری که داریم:

$$1bar = 1/000\times10^5 N/m^2 = 1/000\times10^5 Pa$$

یک ستون مکعبی به سطح مقطع $1m^2$ را در نظر بگیرید که از سطح دریای آزاد تا بالاترین بخش جوّ زمین ادامه می‌یابد (شکل روبه‌رو). اگر فشار هوا را در سطح دریا 1bar در نظر بگیریم، چند کیلوگرم هوا در این ستون فرضی وجود دارد؟

$$A = 1m^2 \quad , \quad P_0 = 1\times10^5 Pa \quad , \quad g = 10\frac{N}{kg} \quad , \quad m = ?$$

نیرویی که ستون هوا به سطح مقطع وارد می‌کند برابر است با:

$$P_0 = \frac{F}{A} \rightarrow F = P_0 A = 1\times10^5 \times 1 = 1\times10^5\,N \rightarrow F = 1\times10^5\,N$$

این نیرو برابر وزن هوای داخل ستون است بنابراین:

$$F = mg \rightarrow m = \frac{F}{g} = \frac{1\times10^5}{10} = 1\times10^4\,kg \rightarrow m = 10000kg$$

با توجه به شکل ۳-۱۸ ب، چند درصد این جرم تا ارتفاع ۹ کیلومتری این ستون فرضی قرار دارد؟

طبق نمودار در ارتفاع ۹ کیلومتری از سطح زمین فشار هوا ۳۰KPa است.

ابتدا جرم ستون هوا را از ارتفاع ۹ کیلومتری تا انتهای جو محاسبه می‌کنیم:

$$P = \frac{F}{A} \Rightarrow F = PA = 30\times10^3 \times 1 = 3\times10^4\,N \rightarrow F = 3\times10^4\,N$$

$$F = mg \Rightarrow m = \frac{F}{g} = \frac{3\times10^4}{10} = 3\times10^3 = 3000kg \Rightarrow m = 3000kg$$

بنابراین جرم ستون هوا از سطح زمین تا ارتفاع ۹ کیلومتری برابر است با:

$$10000 - 3000 = 7000kg$$

$$\frac{\text{جرم تا ارتفاع ۹ کیلومتری}}{\text{جرم کل}}\ \frac{7000}{10000} = \frac{x}{100} \Rightarrow x = \frac{100\times7000}{10000} = 70\%$$

۷۸

پرسش ۳-۶

الف) توضیح دهید چرا توریچلّی در آزمایش خود ترجیح داد به جای آب از جیوه استفاده کند؟ (ممکن است شکل الف بتواند در پاسخ به این پرسش به شما کمک کند.) چون چگالی جیوه بسیار بیشتر از چگالی آب است، ارتفاع ستون جیوه در آزمایش بسیار کمتر از ارتفاع ستون آب می‌شود. بنابراین انجام آزمایش و اندازه‌گیری ارتفاع راحت‌تر است.

ب) برای لوله‌های غیرمویین، اگر سطح مقطع و طول لوله‌ها متفاوت باشد، ارتفاع ستون جیوه تغییر نمی کند (شکل ب) **علت را توضیح دهید.** با توجه به رابطهٔ $P_0 = \rho gh$ ارتفاع ستون جیوه از رابطه $h = \frac{P_0}{\rho g}$ به‌دست می‌آید، چون P_0 و ρ و g در همه لوله‌ها ثابت هستند پس ارتفاع h نیز مقداری ثابت است.

پ) در قلم خودکار، جوهر از طریق یک لوله وارد نوک قلم شده و در آنجا توسط یک گوی فلزی ضد زنگ غلتان، **روی ورقهٔ کاغذ پخش می‌شود. در بدنهٔ لاکی یا درپوش بالایی این نوع قلم‌های خودکار، سوراخ ریزی ایجاد می‌کنند** (شکل پ). **دلیل این کار را توضیح دهید.** فشار هوا از طریق این روزنه به سطح جوهر وارد و جوهر را به سمت گوی غلتان می‌فشارد.

۷۹

تمرین ۳-۸

آزمایشی طراحی و سپس اجرا کنید که به کمک آن بتوان نشان داد فشار در یک عمق معین از مایع به جهت‌گیری سطحی که فشار به آن وارد می‌شود بستگی ندارد.

ظرفی را مطابق شکل مقابل در نظر می‌گیریم و دو روزنه در محل‌های مشخص شده و با عمق‌های یکسان بر روی بدنه آن ایجاد می‌کنیم. اگر ظرف را از آب پر کرده و روزنه‌ها را باز کنیم، شدت خروج آب در هر دو روزنه برابر است. بنابراین فشار وارد شده از طرف مایع در هر دو نقطه یکسان است. (برای پی بردن به درستی این ادعا اگر آب خروجی از روزنه‌ها را جمع‌آوری کرده و مقایسه کنیم، مشاهده کنیم که حجم آب خروجی از دو روزنه برابر است.)

۸۰

تمرین ۳-۵

شکل روبه‌رو یک کیسهٔ پلاستیکی حاوی محلولی را نشان می‌دهد که در حال تزریق به یک بیمار است. سوزن سرنگی را به قسمت خالی از مایع بالای این کیسه وارد می‌کنند طوری که فشار هوا در این بخش از کیسه همواره با فشار بیرون برابر بماند. اگر فشار پیمانه‌ای در سیاهرگ ۱۳۳۰ پاسکال باشد، ارتفاع کمینهٔ h چقدر باشد تا محلول در سیاهرگ نفوذ کند؟ چگالی محلول را $1045\,kg/m^3$ بگیرید.

در ارتفاع کمینه فشار پیمانه‌ای سیاهرگ و فشار پیمانه‌ای محلول برابرند.

$$P_{g_{\text{سیاهرگ}}} = P_{g_{\text{محلول}}}$$

$$P_{g_{\text{سیاهرگ}}} = \rho gh_{\text{محلول}} \rightarrow 1330 = 1045\times10\times h \rightarrow h = \frac{1330}{}$$

فعالیت ۳-۹ ۸۱

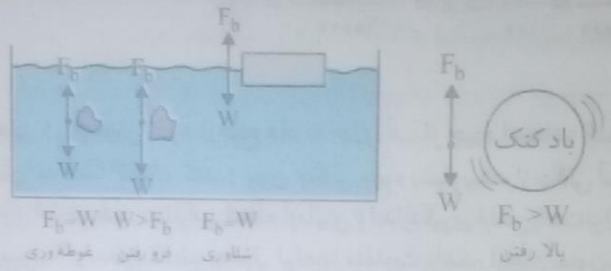
درون یک ظرف مقداری آب بریزید. یک فویل آلومینیمی به ابعاد تقریبی ۲۰cm × ۲۰cm اختیار کنید و آن را مچاله کنید پیش‌بینی کنید. با قرار دادن فویل مچاله شده روی سطح آب، چه اتفاقی می‌افتد؟ آزمایش را انجام دهید.

فویل مچاله شده بر روی آب شناور می‌ماند.

اکنون فویل مچاله شده را آن‌قدر فشار دهید تا تقریباً مشابه یک توپ کروی شود. اگر این توپ آلومینیمی را روی سطح آب قرار دهید، پیش‌بینی کنید چه اتفاقی می‌افتد؟ آزمایش را انجام دهید. پیش‌بینی‌ها و نتایج مشاهدهٔ (آزمایش) خود را در گروه‌تان به بحث بگذارید و نتیجه را به کلاس ارائه دهید. در این حالت فویل مچاله شده در آب فرو می‌رود. از این آزمایش نتیجه می‌گیریم شناور شدن یا فرورفتن جسم در یک مایع به جرم جسم بستگی نداشته بلکه به چگالی جسم وابسته است. اگر چگالی جسم کمتر از چگالی مایع باشد، جسم بر روی مایع شناور می‌ماند و اگر چگالی جسم بیشتر از چگالی مایع باشد، جسم در مایع فرو می‌رود.

پرسش ۳-۷ ۸۱

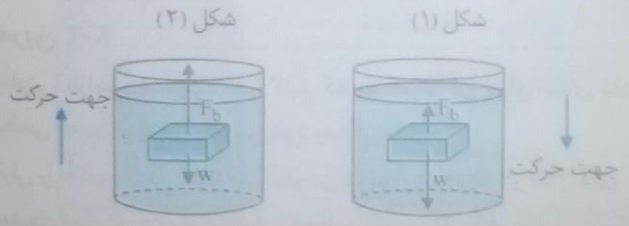
در شکل روبه‌رو، نیروی شناوری F_b و نیروی وزن W وارد بر چند جسم نشان داده شده است. با توجه به نیروی خالص وارد بر هر جسم، وضعیت آن را به کمک یکی از واژه‌های شناوری، غوطه‌وری، فرورفتن و بالارفتن توصیف کنید.



پرسش ۳-۸ ۸۲

۱- در شکل (الف) نیروهای وارد بر دو جسم با حجم یکسان و چگالی متفاوت نشان داده است که در شاره‌ای ساکن قرار دارند. جهت حرکت دو جسم را روی شکل تعیین کنید. همچنین چگالی هر جسم را با چگالی آب مقایسه کنید.

در شکل (۱) چون نیروی وزن بیشتر از نیروی شناوری (F_b) است، جسم به سمت پایین فرو می‌رود و در شکل (۲) چون نیروی شناوری (F_b) بیشتر از نیروی وزن است جسم در مایع بالا می‌رود.

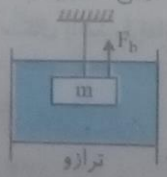


در شکل (۱) چون جسم داخل آب فرو می‌رود چگالی آن بیشتر از آب است و در شکل (۲) چون جسم به سمت بالا می‌رود چگالی آن کمتر از آب است.

۲- شکل (ب) ظرفی محتوی آب را نشان می‌دهد که روی یک ترازوی عقربه‌ای قرار دارد. شخصی انگشت خود را وارد آب می‌کند. توضیح دهید عقربهٔ ترازو چه تغییری می‌کند. ترازو عدد بیشتری را در این حالت نشان می‌دهد. چون انگشت داخل آب قرار دارد طبق اصل ارشمیدس آب به انگشت نیروی بالاسویی وارد می‌کند (F_b) و مطابق قانون سوم نیوتون انگشت نیز نیرویی در خلاف جهت و رو به پایین به آب وارد می‌کند. در نتیجه نیروی خالصی که از طرف آب به ترازو وارد می‌شود افزایش یافته و ترازو عدد بیشتری را نشان می‌دهد.

ایستگاه یادگیری

اگر جسمی را به ریسمانی متصل و آن را در آب شناور کنیم نیرویی که آب به ته ظرف وارد می‌کند افزایش می‌یابد.



۲. جرم قطعه‌های آهنی در شکل (پ) با یکدیگر برابر است. دریافت خود را از این شکل بیان کنید. برای دو جسم با حجم یکسان جسمی که حجم بیشتری دارد چون در زمان قرار گرفتن در مایع، حجم بیشتری از مایع را جابه‌جا می‌کند طبق اصل ارشمیدس نیروی شناوری وارد بر آن بیشتر است. اگر نیروی شناوری بیشتر از وزن جسم باشد، جسم بر روی مایع شناور می‌ماند و اگر نیروی شناوری کمتر از وزن جسم باشد جسم در مایع فرو می‌رود.

۴. توضیح دهید چرا یک کشتی هوایی که با گاز هلیم (که چگالی آن کمتر از چگالی هوا است) پر شده است نمی‌تواند به طور نامحدود به بالا رفتن ادامه دهد. چون چگالی هلیم کمتر از چگالی هوا است کششی هوایی در هوا به سمت بالا حرکت می‌کند. با افزایش ارتفاع، هوا رقیق‌تر شده و چگالی آن کمتر می‌شود تا در ارتفاع معینی چگالی کشتی و چگالی هوا برابر می‌شود، در نتیجه کشتی در هوا غوطه‌ور می‌ماند.

فعالیت ۳-۱۰ ۸۳

یک قطعهٔ چوبی را روی آب درون ظرفی قرار دهید. یک وزنهٔ آهنی را یک‌بار روی چوب قرار دهید (شکل الف) و بار دیگر از زیر چوب آویزان کنید (شکل ب). پیش‌بینی کنید در کدام تجربه، چوب بیشتر در آب فرو می‌رود؟ آزمایش را انجام دهید. پیش‌بینی و نتایج مشاهدهٔ (آزمایش) خود را در گروهتان به بحث بگذارید و نتیجه را به کلاس ارائه دهید.

اگر وزنه بر روی چوب قرار گیرد چوب بیشتر در آب فرو می‌رود؛ زیرا اگر وزنه را از زیر چوب آویزان کنیم، نیروی شناوری وارد بر وزنه، نیروی خالص رو به پایین را کاهش داده و باعث می‌شود چوب کمتر در آب فرو رود.

پرسش ۳-۹ ۸۷

وقتی شیر آبی را کمی باز کنید و آب به آرامی جریان یابد، مشاهده می‌شود که باریکهٔ آب با نزدیک‌تر شدن به زمین، باریک‌تر می‌شود (شکل روبه‌رو). دلیل این پدیده را با توجه به معادلهٔ پیوستگی توضیح دهید.

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{v_2}{v_1}$$

معادله پیوستگی را می‌توان بصورت مقابل نوشت:

طبق معادله پیوستگی سطح مقطع و تندی شاره نسبت عکس دارند.

چون با نزدیک‌تر شدن باریکهٔ آب به زمین تندی آن افزایش می‌یابد، طبق معادله پیوستگی سطح مقطع آن کاهش خواهد یافت.

فعالیت ۳-۱۱ ۸۸

الف) یک نی نوشابه را به طور عمودی درون ظرفی محتوی آب قرار دهید به طوری که ته نی با کف ظرف آب در تماس نباشد. مطابق شکل الف، درون یک نی افقی به گونه‌ای بدمید که جریان هوای خروجی درست از بالای سر نی عمودی بگذرد. مشاهدهٔ خود را گزارش کنید و دلیل آن را به کمک اصل برنولی توضیح دهید. با دمیدن هوا در نی افقی سطح آب در نی عمودی بالا می‌آید. زیرا با افزایش تندی جریان هوا در بالای نی طبق اصل برنولی فشار هوای بالای نی کاهش یافته و اختلاف فشار هوای بیرون و هوای بالای نی باعث بالا آمدن آب در نی می‌شود.

ب) این فعالیت را می‌توانید در ظرف‌شویی آشپزخانهٔ منزلتان یا یک تشت بزرگ در حیاط مدرسه انجام دهید. مطابق شکل یک جفت قایق اسباب‌بازی را روی سطح آب قرار داده و شُل کنار هم ببندید. سپس جریانی از آب را بین آنها برقرار کنید. به حرکت قایق‌ها نسبت به یکدیگر توجه کنید (شکل ب). با توجه به اصل برنولی توضیح دهید چرا قایق‌ها به طرف هم کشیده می‌شوند. با افزایش تندی جریان آب بین قایق‌ها، فشار آب در بین آنها کاهش یافته و اختلاف فشار آب ایجاد شده بین دو طرف قایق‌ها باعث کشیده شدن آن‌ها به سمت هم می‌شود.

پرسش ۳-۱۰ ۸۹

الف) روزهایی که باد می‌وزد، ارتفاع موج‌های دریا یا اقیانوس بالاتر از ارتفاع میانگین می‌شود. با اصل برنولی چگونه می‌توان افزایش ارتفاع موج را توضیح داد؟

با وزش باد، فشار هوای بالای سطح آب کاهش یافته و در نتیجه امواج می‌توانند تا ارتفاع بیشتری بالا بیایند.

ب) شکل روبه‌رو کامیونی را در دو وضعیت سکون و در حال حرکت نشان می‌دهد. با استفاده از اصل برنولی توضیح دهید چرا وقتی کامیون در حال حرکت است پوشش برزنتی آن پُف می‌کند؟

با حرکت کامیون، تندی جریان هوا در بالای پوشش برزنتی افزایش یافته و طبق اصل برنولی فشار هوا در آن قسمت کاهش می‌یابد، در نتیجه اختلاف فشار هوای داخل و بیرون پوشش برزنتی باعث پُف کردن آن می‌شود.

پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۳

۱- دریافت خود را از شکل‌های زیر براساس مفاهیمی که از سه حالت معمول ماده فراگرفته‌اید بیان کنید.

(الف) (ب) (پ)

الف) در گازها فاصله بین مولکول‌ها بسیار زیاد و مولکول‌ها نسبت به هم در وضعیت نامنظمی قرار دارند.

ب) در مایعات فاصله بین مولکول‌ها کم و مولکول‌ها به‌صورت نامنظم در کنار یکدیگر قرار دارند.

پ) در جامدات فاصله بین مولکول‌ها کم و مولکول‌ها به‌صورت منظمی در کنار هم قرار دارند.

۲- توضیح دهید از سه حالت مختلف ماده در چه بخش‌هایی از یک دوچرخه و به چه دلیلی استفاده شده است.

- از حالت جامد در ساخت بدنه و به‌دلیل استحکام زیاد استفاده شده است.
- از حالت مایع (روغن) در زنجیر و چرخ‌دنده به جهت روانکاری و کاهش اصطکاک استفاده شده است.
- از حالت گاز در باد لاستیک‌ها به جهت کاهش ضربه وارد شده به بدنه در حین حرکت و کاهش وزن استفاده شده است.

۳- هنگام پاک‌کردن تختهٔ سیاه، ذرات گچ به طور نامنظم در هوای اطراف پراکنده شده و حرکت می‌کنند. این حرکت نامنظم ذرات گچ، مطابق شکل روبه‌رو مدل سازی شده است.

الف) چه عاملی باعث حرکت نامنظم ذره‌های گچ می‌شود؟ برخورد مولکول‌های هوا به ذرات گچ.

ب) مولکول‌های هوا بسیار کوچک‌تر و سبک‌تر از ذره‌های گچ هستند و توسط میکروسکوپ هم دیده نمی‌شوند. توضیح دهید چگونه این تجربهٔ ساده، شاهدی بر وجود مولکول‌های هواست. در مولکول‌های هوا جهت و تعداد برخوردهای انجام شده در هر راستا متفاوت و تندی حرکت مولکول‌ها بسیار زیاد است؛ بنابراین حرکت نامنظمی در ذرات گچ ایجاد می‌شود.

اگر مولکول‌های هوا وجود نداشتند، ذرات گچ باشتاب ثابت g، در اثر نیروی وزن خود به سمت زمین سقوط می‌کردند.

۴- توضیح دهید چرا

الف) پدیدهٔ پخش در گازها، سریع‌تر از مایع‌ها انجام می‌شود. در توضیح خود به چند مثال نیز اشاره کنید.

۱- تندی حرکت مولکول‌های گاز بیشتر از مایعات است. ۲- تراکم مولکول‌های گاز در محیط کمتر است بنابراین حرکت مولکول‌های گاز در محیط با سهولت بیشتری انجام می‌گیرد. پدیده پخش به دو دلیل بالا در گازها سریع‌تر از مایعات انجام می‌گیرد. مثلاً وقتی گلی خوشبو را به اتاق می‌بریم بوی گل در همه جای اتاق حس می‌شود ولی وقتی مقداری شکر را در آب می‌ریزیم تا زمانی که آن هم نزنیم همه آب به‌طور کامل شیرین نمی‌شود.

ب) یک بادکنک پر از باد، حتی اگر دهانهٔ آن نیز کاملاً بسته شده باشد، باز هم رفته‌رفته کم باد می‌شود.

فاصلهٔ بین مولکول‌های دیواره بادکنک بزرگ‌تر از اندازه مولکول‌های هوا است، بنابراین مولکول‌های هوا می‌توانند با برخورد به دیواره بادکنک از آن عبور کرده و در نتیجه بادکنک رفته رفته کم‌باد می‌شود.

۵- هریک از موارد زیر را توضیح دهید.

الف) علوم و فناوری نانو دانش و ابزاری است که ما را قادر به بررسی، مشاهده و به‌کارگیری مواد در مقیاس نانو می‌کند. همچنین علم نانو شاخه‌ای از علوم است که تغییر در ویژگی‌های فیزیکی مواد را در مقیاس نانو بررسی می‌کند.

ب) ابعاد مواد مورد بررسی در علوم و فناوری نانو و اهمیت بررسی مواد در ابعاد نانو ابعاد مواد مورد بررسی در مقیاس نانو بسته به نوع ماده و ویژگی‌های فیزیکی آن می‌تواند حدود ۱ تا ۱۰۰ نانومتر باشد. در این ابعاد ویژگی‌های فیزیکی مواد از قبیل نقطه ذوب، رسانندگی گرمایی و الکتریکی، شفافیت، استحکام، رنگ و ... تغییر می‌کند. فناوری نانو در واقع از ویژگی‌های خاصی از مواد که در ابعاد نانو تغییر می‌کند بهره‌برداری می‌نماید.

پ) تفاوت نانو ذره و نانو لایه در نانو ذره هر سه بعد ماده در مقیاس نانو است ولی در نانو لایه فقط یک بُعد از ماده در مقیاس نانو است.

۶- شیشه‌گران برای چسباندن تکه‌های شیشه به یکدیگر، آنها را آن‌قدر گرم می‌کنند که نرم شوند. این کار را با توجه به کوتاه‌بُرد بودن نیروی جاذبهٔ بین مولکولی توضیح دهید. چون نیروهای بین مولکولی کوتاه برد هستند، برای اتصال دو قطعه شیشه‌ای به هم باید مولکول‌های این دو قطعه را در فاصلهٔ مناسبی از هم قرار دهیم تا این نیروها بین مولکول‌های دو قطعه به‌وجود آید. افزایش حرارت باعث بیشتر شدن جنبش مولکولی می‌شود و در نتیجه مولکول‌های دو قطعه شیشه‌ای می‌توانند در لایه‌لای هم و در فاصلهٔ مناسبی از یکدیگر قرار گرفته تا نیروی جاذبه بین مولکولی سبب اتصال دو قطعه به هم شود.

الف) توضیح دهید چرا قلم‌مویی را از آب بیرون می‌کشیم (شکل الف)، موهای آن به‌هم می‌چسبند. (اشاره: به پدیدهٔ کشش سطحی در مایع‌ها توجه کنید.)

با بیرون کشیدن قلمو از آب چون سطح خارجی موها با آب پوشیده می‌شود نیروی کشش سطحی که بین مولکول‌های آب وجود دارد این موها را در کنار هم قرار داده و به هم می‌چسبند.

ب) شکل (ب) دو لولهٔ مویین هم‌جنس را نشان می‌دهد که درون مایعی قرار دارند. چرا ارتفاع مایع درون لولهٔ b از دو لولهٔ دیگر کمتر است؟ با توجه به شکل، نیروی هم‌چسبی مایع را با نیروی دگرچسبی مایع و لوله‌های مویین مقایسه کنید.

در لوله‌های مویین هر قدر قطر لوله بیشتر باشد تغییر ارتفاع مایع در لوله نسبت به سطح مایع ظرف کمتر است. در اینجا نیز چون قطر لوله b بیشتر است ارتفاع مایع در آن کمتر است.

نیروی دگرچسبی بین مولکول‌های مایع و مولکول‌های شیشه بیشتر از نیروی هم‌چسبی بین مولکول‌های مایع است.

۸- تغییرات اقلیمی سال‌های اخیر در کشورهای غرب ایران، پدیدهٔ خطرناک ریزگردها را به مناطق وسیعی از کشورمان گسترش داده است. چگالی ریزگردها در حالتی که ته‌نشین شده باشد تقریباً دو برابر چگالی آب است.

الف) چرا بادهای نسبتاً ضعیف قادرند توده‌های بزرگی از ریزگردها را به حرکت درآورند در حالی که توفان‌های شدید دریایی تنها مقدار اندکی آب را به‌صورت قطره‌های ریز به طرف بالا می‌پاشند؟

نیروی کشش سطحی آب مانع از جدا شدن قطرات ریز آب از سطح آن می‌شود ولی این نیرو در بین ذرات ریزگردها وجود ندارد.

ب) بررسی کنید برای مقابله با این پدیده و مهار آن، چه تدابیری را می‌توان اندیشید.

هر قدر رطوبت سطح زمین بیشتر باشد جدا شدن این ریزگردها از سطح زمین کمتر است؛ بنابراین مقابله با خشکسالی و برداشت‌های بی‌رویه منابع آبی زمین و کاشت گیاهان از جمله عواملی است که می‌تواند رطوبت سطح زمین را حفظ و مانع از چنین پدیده‌هایی شود.

۹- نوعی ماهی به نام ماهی کمان‌گیر با جمع کردن آب در دهان خود و پرتاب آن به‌سوی حشراتی که در بیرون از آب، روی گیاهان نشسته‌اند، آنها را شکار می‌کند و می‌خورد (شکل الف). هدف‌گیری آنها به اندازه‌ای دقیق است که معمولاً در این کار اشتباه نمی‌کنند. کدام ویژگی فیزیکی آب این امکان را به ماهی کمان‌گیر برای شکار می‌دهد؟

نیرویی دگرچسبی بین آب و بدن حشره باعث می‌شود تا آب در حین پایین آمدن حشره را نیز با خود به داخل آب بیاورد.

۱۰- مساحت روزنهٔ خروج بخار آب، روی درب زودپزی $۴/۰۰mm^۲$ است (شکل روبه‌رو). جرم وزنه‌ای که روی این روزنه باید گذاشت چقدر باشد تا فشار داخل آن در ۲atm نگه داشته شود؟ فشار بیرون دیگ زودپز را ۱atm بگیرید.

$$A = ۴mm^۲ = ۴\times۱۰^{-۶}m^۲ ,$$

$$P = ۲atm - ۱atm = ۱atm = ۱\times۱۰^۵Pa ,$$

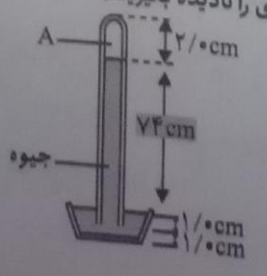
$$g = ۱۰\frac{N}{kg} , \ m = ?$$

برای ثابت ماندن فشار داخل زودپز باید نیروی ناشی از اختلاف فشار داخل و بیرون ظرف با وزن وزنه برابر باشد:

$$F = mg \rightarrow PA = mg \rightarrow ۱\times۱۰^۵ \times ۴\times۱۰^{-۶} = m\times۱۰ \rightarrow ۰/۴ = ۱۰m \rightarrow m = \frac{۰/۴}{۱۰} = ۰/۰۴kg$$

$$\rightarrow m = ۴۰g$$

۱۱- شکل روبه‌رو یک جوسنج سادهٔ جیوه‌ای را نشان می‌دهد. (ضخامت دیوارهٔ شیشه‌ای را نادیده بگیرید.)



الف) در ناحیهٔ A چه چیزی وجود دارد؟

مقدار بسیار ناچیزی بخار جیوه

ب) چه عاملی جیوه را درون لوله نگه می‌دارد؟

فشار هوای محیط

پ) فشار هوای محیطی که این جوسنج در آنجا قرار دارد چقدر است؟

$$\rho_{\text{جیوه}} = 13600\frac{kg}{m^3}\ ,\ g = 10\frac{N}{kg}\ ,\ h = 74cm = 0/74m$$

$$P_0 = \rho gh = 13600 \times 10 \times 0/74 = 100640Pa \rightarrow P_0 = 1/0 \times 10^5 Pa$$

ت) اگر این جوسنج را بالای کوهی ببریم چه تغییری در ارتفاع ستون جیوهٔ درون لوله رخ می‌دهد؟ دلیل آن را توضیح دهید.

در ارتفاعات با کاهش فشار هوای محیط طبق رابطه $P_0 = \rho gh$ و با توجه به اینکه ρ و g تقریباً ثابت هستند ارتفاع ستون جیوه (h) کاهش می‌یابد.

۱۲- الف) ارتفاع چهار شهر مرتفع ایران از سطح دریا، به شرح زیر است:

فریدون‌شهر: ۲۶۱۲m سمیرم: ۲۴۳۴m بروجن: ۲۲۶۵m شهرکرد: ۲۰۷۲m

با توجه به نمودار شکل ۳-۱۸-ب، فشار تقریبی هوا را در این شهرها بنویسید.

فریدون شهر ۷۴kPa، سمیرم ۷۶kPa، بروجن ۷۸kPa، شهرکرد ۸۰kPa

ب) چگالی میانگین هوا تا ارتفاع ۳ کیلومتری از سطح دریای آزاد حدود $\bar{\rho} = 1/01 kg/m^3$ است. با استفاده از رابطه $P = P_0 - \rho gh$ فشار هوا را در این شهرها حساب کنید و مقادیر به‌دست آمده را با نتیجه قسمت الف مقایسه کنید.

فریدون شهر: $h = 2612m\ ,\ \bar{\rho} = 1/01\frac{kg}{m^3}\ ,\ g = 10\frac{N}{kg}\ ,\ P_0 = 1/01 \times 10^5 Pa\ ,\ P = ?$

$$P = P_0 - \bar{\rho}gh = 101000 - 1/01 \times 10 \times 2612 = 101000 - 26381/2 = 74619Pa = 74/619kPa$$

سمیرم: $h = 2434m$

$$P = P_0 - \bar{\rho}gh = 101000 - 1/01 \times 10 \times 2434 = 101000 - 24583/4 = 76417Pa = 76/417kPa$$

بروجن: $h = 2265m$

$$P = P_0 - \bar{\rho}gh = 101000 - 1/01 \times 10 \times 2265 = 101000 - 22876/5 = 78124Pa = 78/124kPa$$

شهرکرد: $h = 2072m$

$$P = P_0 - \bar{\rho}gh = 101000 - 1/01 \times 10 \times 2072 = 101000 - 20927/2 = 80073Pa = 80/073kPa$$

۱۳- غواص‌ها می‌توانند با قرار دادن یک سر لوله‌ای در دهان خود، درحالی که سر دیگر آن از آب بیرون است، تا عمق بیشینه‌ای در آب فرو روند و نفس بکشند (شکل روبه‌رو). با گذشتن از این عمق، اختلاف فشار درون و بیرون ریهٔ غواص افزایش می‌یابد و غواص را ناراحت می‌کند. چون هوای درون ریه از طریق لوله با هوای بیرون ارتباط دارد، فشار هوای درون ریه، همان فشار جوّ است در حالی که فشار وارد برقفسهٔ سینهٔ او، همان فشار در عمق آب است. در عمق $6/15m$ از سطح آب، اختلاف فشار درون ریهٔ غواص با فشار وارد بر قفسهٔ سینهٔ او چقدر است؟ (خوب است بدانید که غواص‌های مجهز به مخزن هوای فشرده می توانند تا عمق بیشتری در آب فرو روند. زیرا فشار هوای درون ریه آنها با افزایش عمق، همپای فشار آب بر سطح بیرونی بدن زیاد می‌شود.)

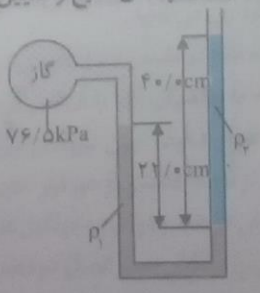
$$\rho_{\text{آب}} = 1000\frac{kg}{m^3}\ ,\ g = 10\frac{N}{kg}\ ,\ h = 6/15m$$

چون فشار هوای درون ریه غواص همان فشار جو (P_0) و فشار وارد بر قفسه سینه غواص همان فشار در عمق آب (P) است، اختلاف فشار درون ریه با فشار وارد بر قفسه سینه به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$P = P_0 + \rho gh \rightarrow P - P_0 = \rho gh = 1000 \times 10 \times 6/15 \rightarrow P - P_0 = 6/15 \times 10^4 Pa$$

۱۴- درون لولهٔ U شکلی که به یک مخزن محتوی گاز وصل شده است جیوه ($\rho_1 = 13/6 \times 10^3 kg/m^3$) و مایعی با چگالی نامعلوم ρ_2 وجود دارد (شکل روبه‌رو).

اگر فشار هوای بیرون لولهٔ U شکل ۱۰۱kPa باشد، چگالی مایع را تعیین کنید.



$P_{\text{مخزن}} = ۷۶/۵\text{kPa} = ۷۶۵۰۰\text{Pa}$ ، $\rho_۱ = ۱۳/۶\times۱۰^{۳}\frac{\text{kg}}{\text{m}^{۳}}$ ، $h_۱ = ۲۲\text{cm} = ۰/۲۲\text{m}$

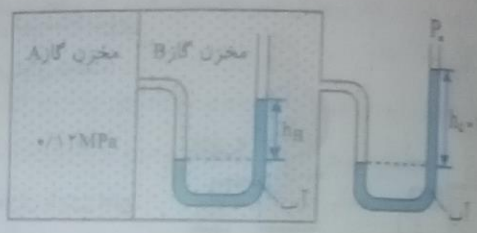
$\rho_۲ = ?$ ، $h_۲ = ۴۰\text{cm} = ۰/۴\text{m}$ ، $P_۰ = ۱۰۱\text{kPa} = ۱۰۱۰۰۰\text{Pa}$ ، $g = ۱۰\frac{\text{N}}{\text{kg}}$

$P_{\text{مخزن}} + P_{\text{جیوه}} = P_{\text{مایع}} + P_۰ \rightarrow P_{\text{مخزن}} + \rho_۱gh_۱ = \rho_۲gh_۲ + P_۰$

$\rightarrow ۷۶۵۰۰ + ۱۳۶۰۰\times۱۰\times۰/۲۲ = \rho_۲\times۱۰\times۰/۴ + ۱۰۱۰۰۰ \rightarrow ۷۶۵۰۰ + ۲۹۹۲۰ = ۴\rho_۲ + ۱۰۱۰۰۰$

$\rightarrow ۴\rho_۲ = ۵۴۲۰ \rightarrow \rho_۲ = \frac{۵۴۲۰}{۴} = ۱۳۵۵\frac{\text{kg}}{\text{m}^{۳}} \rightarrow \rho_۲ = ۱/۳۵\times۱۰^{۳}\frac{\text{kg}}{\text{m}^{۳}}$

در شکل روبه‌رو مقدار h چند سانتی‌متر است؟ فشار هوای محیط را ۱۰۱kPa و چگالی آب را $۱/۰۰\times۱۰^{۳}\text{kg}/\text{m}^{۳}$ بگیرید.



$P_۰ = ۱۰۱\text{kPa} = ۱۰۱\times۱۰^{۳}\text{Pa}$

$\rho_{\text{آب}} = ۱\times۱۰^{۳}\frac{\text{kg}}{\text{m}^{۳}}$

$P_A = ۰/۱۲\text{MPa} = ۰/۱۲\times۱۰^{۶}\text{Pa} = ۱۲۰\times۱۰^{۳}\text{Pa}$

$h_c = ۱۱۲\text{cm} = ۱/۱۲\text{m}$

$g = ۱۰\frac{\text{N}}{\text{kg}}$

$h_B = ?$

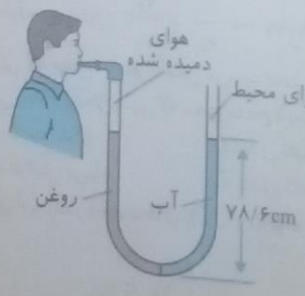
$\left.\begin{array}{l} P_{A_{\text{مخزن}}} = \rho gh_B + P_{B_{\text{مخزن}}} \\ P_{B_{\text{مخزن}}} = \rho gh_c + P_۰ \end{array}\right\} \rightarrow P_{A_{\text{مخزن}}} = \rho gh_B + \rho gh_C + P_۰ \rightarrow$

$۱۲۰\times\cancel{۱۰^{۳}} = ۱\times\cancel{۱۰^{۳}}\times۱۰\times h_B + ۱\times\cancel{۱۰^{۳}}\times۱۰\times۱/۱۲ + ۱۰۱\times\cancel{۱۰^{۳}}$

$۱۲۰ = ۱۰h_B + \underbrace{۱۱/۲ + ۱۰۱}_{۱۱۲/۲} \rightarrow ۱۲۰ - ۱۱۲/۲ = ۱۰h_B \rightarrow ۷/۸ = ۱۰h_B \rightarrow h_B = \frac{۷/۸}{۱۰} = ۰/۷۸\text{m} = ۷۸\text{cm}$

$\rightarrow h_B = ۷۸\text{cm}$

فشار لوله U شکلی را در نظر بگیرید که محتوی حجم مساوی از آب و روغن است (شکل روبه رو). با توجه به اطلاعات روی شکل، فشار پیمانه‌ای هوای درون ریهٔ شخصی که از شاخهٔ سمت چپ لوله درون آن دمیده، چقدر است؟ چگالی روغن را $۰/۸۰۵\text{kg}/\text{m}^{۳}$ بگیرید.



$h_{\text{آب}} = h_{\text{روغن}} = ۷۸/۶\text{cm} = ۷۸/۶\times۱۰^{-۲}\text{m}$ ،

$\rho_{\text{آب}} = ۱۰۰۰\frac{\text{kg}}{\text{m}^{۳}}$ ،

$\rho_{\text{روغن}} = ۸۰۵\frac{\text{kg}}{\text{m}^{۳}}$ ، $g = ۱۰\frac{\text{N}}{\text{kg}}$

فشار هوای درون ریه فرد را با P نشان دهیم می‌توان نوشت:

$P + P_{\text{روغن}} = P_{\text{آب}} + P_۰ \rightarrow \cancel{P + P_۰}^{P_g} = P_{\text{آب}} - P_{\text{روغن}} \rightarrow P_g = P_{\text{آب}} - P_{\text{روغن}} = \rho_{\text{آب}}gh_{\text{آب}} - \rho_{\text{روغن}}gh_{\text{روغن}}$

$\xrightarrow{h=h_{\text{آب}}=h_{\text{روغن}}} P_g = gh(\rho_{\text{آب}} - \rho_{\text{روغن}}) = ۱۰\times۷۸/۶\times۱۰^{-۲}\underbrace{(۱۰۰۰ - ۸۰۵)}_{۱۹۵} = ۱۵۳۲/۷\text{Pa}$

$\rightarrow P_g = ۱/۵۳\times۱۰^{۳}$

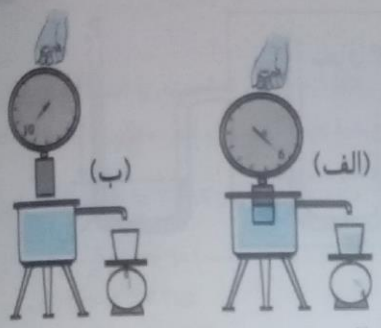
چون حجم آب و روغن برابر و سطح مقطع لوله ثابت است ارتفاع آب روغن برابر است: $h_{\text{آب}} = h_{\text{روغن}}$

۱۷- دو قوطی نوشابه، یکی معمولی و دیگری رژیمی را در ظرفی محتوی آب بگذارید. متوجه خواهید شد که نوشابه رژیمی شناور می‌ماند در حالی که نوشابهٔ معمولی فرو می‌رود. با استفاده از اصل ارشمیدس، این نتیجه را توضیح دهید. (اشاره: چگالی شیرین‌کننده‌های مصنوعی مورد استفاده در نوشابه‌های رژیمی کمتر از شکر است.)

هر دو نوشابه حجم ثابتی دارند. وقتی داخل آب قرار می‌گیرند وزن شاره جابه‌جا شده توسط آنها یکسان و در نتیجه طبق اصل ارشمیدس نیروی شناوری هر دو برابر است؛ از طرفی چون چگالی نوشابه رژیمی کمتر از چگالی نوشابه معمولی است ($\rho_{\text{معمولی}} > \rho_{\text{رژیمی}}$) وزن نوشابه رژیمی نیز کمتر از وزن نوشابه معمولی است ($W_{\text{معمولی}} > W_{\text{رژیمی}}$) پس نیروی خالص که به نوشابه رژیمی وارد می‌شود رو به بالا و نیروی خالصی که به نوشابه معمولی وارد می‌شود رو به پایینی است که باعث شناور شدن نوشابه رژیمی و فرو رفتن نوشابه معمولی در آب می‌شود.

۱۸- دریافت خود را از شکل‌های الف و ب بنویسید.

با توجه به شکل (ب) وزن جسم ۱۰N است؛ از طرفی چون نیروسنج نیروی خالص رو به پایین جسم را نشان می‌دهد در شکل (الف) می‌توان نوشت:



نیروی شناوری − وزن جسم = عدد نیروسنج

$$\rightarrow ۶ = ۱۰ - F_b \rightarrow F_b = ۴N$$

با توجه به ترازوی شکل (الف) نتیجه می‌گیریم نیروی شناوری با وزن مایع جابه‌جا شده توسط جسم برابر است.

۱۹- سه جسم a، b و c با چگالی‌های متفاوت، مطابق شکل روبه‌رو درون آب شناورند. چگالی این سه جسم را با یکدیگر مقایسه کنید.

هر قدر چگالی جسم نسبت به آب بیشتر باشد حجم بیشتری از جسم در آب فرو می‌رود بنابراین:

$$\rho_a > \rho_c > \rho_b$$

۲۰- توضیح دهید چرا نیروی شناوری برای جسمی که در یک شاره قرار دارد رو به بالاست.

برای جسمی که در شاره قرار دارد چون فشار وارد بر سطح پایینی جسم از سوی شاره بیشتر از فشار وارد بر سطح بالایی جسم از طرف شاره است نیروی خالص رو به بالایی به جسم وارد می‌شود که همان نیروی شناوری است.

۲۱- توضیح دهید چه موقع نیروی شناوری وارد بر یک شناگر به بیشینه مقدار خود می‌رسد.

وقتی بدن شناگر به طور کامل درون آب قرار می‌گیرد از آنجا که وزن مایع جابه‌جا شده بیشترین مقدار است طبق اصل ارشمیدس نیروی شناوری نیز بیشینه خواهد بود.

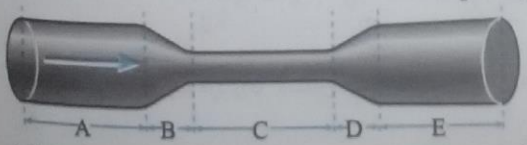
۲۲- در لوله‌ای پر از آب مطابق شکل زیر، آب از چپ به راست در جریان است. روی این لوله ۵ قسمت (B،C،D،E و A) نشان داده شده است.

الف) در کدام یک از قسمت‌های لوله، تندی آب، در حال افزایش، در حال کاهش، یا ثابت است؟

طبق معادله پیوستگی ($A_1v_1 = A_2v_2 \rightarrow \frac{A_1}{A_2} = \frac{v_2}{v_1}$) تندی شاره و سطح مقطع نسبت عکس دارند، بنابراین در محل‌هایی که سطح مقطع کاهش می‌یابد تندی افزایش و در محل‌هایی که سطح مقطع افزایش می‌یابد تندی جریان آب کاهش می‌یابد. در محل‌هایی که سطح مقطع ثابت است تندی جریان آب نیز ثابت است. بنابراین:

A: تندی ثابت است.
B: تندی افزایش می‌یابد.
C: تندی ثابت است.
D: تندی کاهش می‌یابد.
E: تندی ثابت است.

ب) تندی آب را در قسمت‌های A، C و E لوله با یکدیگر مقایسه کنید.



$$v_A = v_E < v_C$$

۲۳- دو نوار کاغذی به طول تقریبی ۱۰cm را مطابق شکل (الف) به انتهای یک نی نوشابه بچسبانید. وقتی که مطابق شکل (ب) به درون نی دمیده می‌شود نوارهای کاغذی به طرف یکدیگر جذب می‌شوند. با توجه به اصل برنولی دلیل این پدیده را توضیح دهید.

با دمیدن در نی تندی هوا در بین کاغذها افزایش و طبق اصل برنولی فشار هوا در بین آنها کاهش می‌یابد؛ در نتیجه فشار هوای خارج باعث نزدیک‌تر شدن نوارهای کاغذی به یکدیگر می‌شود.

۳۰- شکل زیر کاربراتور یک موتور بنزینی قدیمی را نشان می‌دهد. حجم هوایی که وارد کاربراتور می‌شود توسط دریچهٔ پروانه‌ای که به سیم گاز خودرو وصل شده، قابل تنظیم است. با توجه به کاربرد اصل برنولی در ساختمان یک کاربراتور، توضیح دهید چرا با فشردن بیشتر پدال گاز، دور موتور خودرو افزایش می‌یابد و خودرو می‌تواند سریع‌تر حرکت کند.

با فشردن پدال گاز، دریچه پروانه‌ای باز و هوا به داخل کشیده می‌شود. در قسمت میانی لوله چون سطح مقطع کاهش می‌یابد طبق معادله پیوستگی تندی جریان هوا افزایش و در نتیجه طبق اصل برنولی فشار هوا کاهش می‌یابد. اختلاف فشار ایجاد شده بین مخزن سوخت و قسمت میانی لوله باعث انتقال سوخت به لوله می‌شود. هر قدر پدال بیشتر فشرده شود اختلاف فشار بیشتری ایجاد شده و سوخت بیشتری وارد و دور موتور افزایش می‌یابد.

۳۱- شکل (الف) آتش‌نشانی را در حال خاموش کردن آتش از فاصلهٔ نسبتاً دوری نشان می‌دهد. نمایی بزرگ‌شده از نیز بسته‌شده به انتهای لولهٔ آتش‌نشانی در شکل (ب) نشان داده شده است. اگر آب با تندی $v_1 = 1/50 \, m/s$ از لوله وارد شیر شود و قطر ورودی شیر $d_1 = 9/60 \, cm$ و قطر قسمت خروجی آن $d_2 = 2/50 \, cm$ باشد، تندی خروج آن را از شیر پیدا کنید.

شعاع ورودی شیر $r_1 = 9/4 \, cm + 2 = 4/8 \, cm = 4/8 \times 10^{-2} \, m$ ، $d_1 = 9/6 \, cm \rightarrow$ ، $v_1 = 1/5 \frac{m}{s}$

شعاع خروجی شیر $r_2 = 2/5 \, cm + 2 = 1/25 \, cm = 1/25 \times 10^{-2} \, m$ ، $d_2 = 2/5 \, cm \rightarrow$ ، $v_2 = ?$

با استفاده از معادله پیوستگی می‌توان نوشت:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \rightarrow \pi r_1^2 v_1 = \pi r_2^2 v_2 \rightarrow v_2 = \frac{r_1^2 v_1}{r_2^2} = \frac{(4/8 \times 10^{-2})^2 \times 1/5}{(1/25 \times 10^{-2})^2} = \frac{34/56 \times \cancel{10^{-4}}}{1/5625 \times \cancel{10^{-4}}}$$

$$v_2 \approx 22/11 \frac{m}{s}$$

ارزشیابی مستمر

۱- درست یا نادرست بودن جمله‌های زیر را مشخص کنید. (۱ نمره)

الف) فاصلهٔ ذرات در جامدات کمتر از مایع‌ها است. ☐ درست ☐ نادرست

ب) هرچه قطر لوله مویین کمتر باشد، ارتفاع آب در آن بیشتر است. ☐ درست ☐ نادرست

ج) برای تغییر ویژگی فیزیکی مواد در مقیاس نانو، همه ابعاد ماده باید در مقیاس نانو باشد. ☐ درست ☐ نادرست

د) اگر نیروی شناوری بیشتر از وزن جسم باشد، جسم در شاره غوطه‌ور می‌شود. ☐ درست ☐ نادرست

۲- جاهای خالی را با کلمه‌های مناسب پر کنید. (۱)

الف) حرکت نامنظم و کاتوره‌ای مولکول‌های یک گاز را حرکت _____ می‌گویند.

ب) نیروی جاذبه بین مولکول‌های یک ماده را نیروی _____ است.

ج) سطح آب در لوله مویین _____ است.

د) اختلاف فشار یک شاره با فشار جو را فشار _____ می‌گویند.

۳- از داخل پرانتز عبارت درست را انتخاب کنید. (۰/۷۵)

الف) آب سطح شیشه چرب شده با روغن را تر (می‌کند - نمی‌کند).

ب) از نتایج نیروی هم‌چسبی (کشش سطحی - خاصیت مویینگی) است.

ج) طبق اصل (ارشمیدس - برنولی) فشار و تندی شاره نسبت عکس دارند.

۴- گزینهٔ درست را مشخص کنید. (۱)

الف) در یک لوله اگر سطح مقطع ۳ برابر شود، تندی جریان آب چند برابر می‌شود؟

الف) ۳ برابر ب) $\frac{1}{3}$ برابر ج) ۹ برابر د) $\frac{1}{9}$ برابر

ب) در یک جوسنج ارتفاع ستون ۷۴۰mmHg است. فشار جو چند پاسکال است؟ $(\rho_{جیوه} = 13600 \frac{kg}{m^3} \, , \, g \approx 10 \frac{N}{kg})$

الف) ۹۴۸۰۰ ب) ۱۰۲۵۰۰ ج) ۹۶۲۰۰ د) ۱۰۵۲۰۰

۵- مفاهیم زیر را تعریف کنید. (۱)

الف) جامدهای بی‌شکل　　ب) اصل ارشمیدس

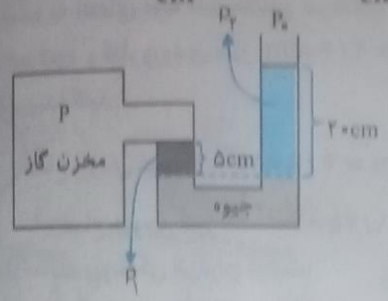
۶- چرا وقتی سطح بالایی یک کاغذ را فوت می‌کنیم، ورق کاغذ به سمت بالا حرکت می‌کند؟ (۰/۵)

۷- چرا وقتی قطعات گرم شده شیشه را در کنار هم قرار می‌دهیم، به هم می‌چسبند؟ (۰/۵)

۸- چرا وقتی انگشت خود را در ظرف آبی که بر روی یک ترازو قرار دارد، فرو می‌بریم، ترازو عدد بیشتری را نشان می‌دهد؟ (۰/۵)

۹- چرا حجم حباب هوا در مسیر رسیدن به سطح آب افزایش می‌یابد؟ (۰/۵)

۱۰- در شکل زیر اگر فشار جو $10^5\ Pa$ باشد، $\left(g = 10\frac{N}{kg}\ ,\ \rho_2 = 4\frac{g}{cm^3}\ ,\ \rho_1 = 10\frac{g}{cm^3}\right)$ (۱/۲۵)

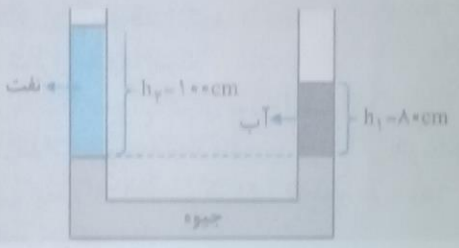


الف) فشار گاز درون مخزن چقدر است؟

ب) فشار پیمانه‌ای گاز مخزن چقدر است؟

۱۱- یک زیردریایی در اعماق اقیانوس ساکن است. اگر نیروی وارد بر پنجره‌ای به مساحت $400\ cm^2$ از این زیردریایی $8\times10^4\ N$ باشد، عمق زیردریایی چقدر است؟ $\left(\rho_{آب} = 1000\frac{kg}{m^3}\ ,\ P_0 = 10^5\ Pa\ ,\ g = 10\frac{N}{kg}\right)$ (۱)

۱۲- در شکل زیر h_1 و h_2 به ترتیب عمق آب و نفتی است که روی جیوه ریخته شده‌اند و دو سطح جیوه هم‌تراز است. اگر چگالی آب $1\frac{g}{cm^3}$ باشد، چگالی نفت چند کیلوگرم بر متر مکعب است؟ (سراسری تجربی - ۸۲) (۱)



پاسخ ارزشیابی مستمر

۱ الف) نادرست (۰/۲۵)، ب) درست (۰/۲۵)، ج) نادرست (۰/۲۵)، د) نادرست (۰/۲۵)　۲ الف) براونی (۰/۲۵) ب) هم‌چسبی (۰/۲۵)، ج) فرورفته (۰/۲۵)، د) پیمانه‌ای (۰/۲۵)　۳ الف) نمی‌کند. (۰/۲۵)، ب) کشش سطحی (۰/۲۵) ج) برنولی (۰/۲۵)　۴ الف) گزینهٔ (ب) (۰/۵)، طبق معادله پیوستگی سطح مقطع لوله و تندی نسبت عکس دارند. ب) گزینهٔ (ج) (۰/۵)، در جوسنج فشار جو برابر فشار ستون جیوه است بنابراین: $P_0 = \rho_{جیوه} g h_{جیوه} = 13000\times10\times0/74 = 96200 Pa$

۵ الف) در این جامدهای مولکول‌ها در طرح منظمی کنار هم قرار نداشته و معمولاً از سردکردن سریع مایع مذاب پدید می آیند. زیرا در این حالت مولکول‌ها فرصت کافی ندارند تا در طرحی منظم قرار گیرند، در نتیجه در وضعیت نامنظمی که در حالت مایع داشتند باقی می‌مانند. (۰/۵) ب) وقتی تمام یا قسمتی از یک جسم در شاره‌ای فرو می‌رود، با نیرویی به اندازه وزن شارهٔ جابه‌جا شده توسط جسم، به بالا رانده می‌شود. (۰/۵)　۶ با فوت کردن، تندی جریان هوا در بالای کاغذ افزایش یافته و بنا به اصل برنولی فشار هوا در این قسمت کاهش می‌یابد، در نتیجه اختلاف فشار هوای ایجاد شده بین سطح زیرین وسطح فوقانی کاغذ، آن را به سمت بالا حرکت می‌دهد. (۰/۵)　۷ وقتی شیشه را گرم می‌کنیم با نزدیک کردن قطعات آن به یکدیگر جنبش مولکولی سبب قرار گرفتن مولکول‌ها در فاصله بین مولکولی شده و جاذبهٔ بین مولکول‌ها باعث اتصال دوباره آنها می‌شود. (۰/۵)

۸ وقتی انگشت داخل آب قرار می‌گیرد، طبق اصل ارشمیدس، آب به انگشت نیروی شناوری و روبه‌بالای (F_b) را وارد می‌کند، طبق قانون سوم نیوتون، انگشت نیز نیرویی هم‌اندازه و در خلاف جهت و رو به‌پایین به آب وارد می‌کند، در نتیجه نیروی خالصی که از طرف آب به ترازو وارد می‌شود، افزایش یافته وترازو عدد بیشتری را نشان می‌دهد. (۰/۵)　۹ با بالا آمدن حباب هوا، فشاری که از طرف مایع بر آن وارد می‌شود، کاهش یافته و در نتیجه حجم حباب افزایش می‌یابد. (۰/۵)

۱۰

$\rho_1 = 10\frac{g}{cm^3} = 10000\frac{kg}{m^3}$ ، $\rho_2 = 4\frac{g}{cm^3} = 4000\frac{kg}{m^3}$ ، $h_1 = 5cm = 0/05m$ ، $h_2 = 20cm = 0/2m$

الف)

$P_{مخزن} + \rho_1 g h_1 = P_0 + \rho_2 g h_2 \rightarrow P_{مخزن} = P_0 + \rho_2 g h_2 - \rho_1 g h_1$

(۰/۲۵)

$\rightarrow P_{مخزن} = 10^5 + 4000 \times 10 \times 0/2 - 10000 \times 10 \times 0/05 Pa$ (۰/۲۵)

$\rightarrow P_{مخزن} = 100000 + 8000 - 5000 = 103000 Pa \rightarrow P_{مخزن} = 103000 Pa$ (۰/۲۵)

ب)

$P_g = P - P_0 = 103000 - 100000 = 3000 Pa \rightarrow P_g = 3000 Pa$ (۰/۲۵)

(۰/۲۵)

۱۱ ابتدا فشار وارد بر پنجره را محاسبه می کنیم:

$F = 8 \times 10^4 N$ ، $A = 400 cm^2 = 400 \times 10^{-4} m^2 = 4 \times 10^{-2} m^2$

$P = \frac{F}{A} = \frac{8 \times 10^4}{4 \times 10^{-2}} = 2 \times 10^6 Pa \rightarrow P = 2 \times 10^6 Pa$ (۰/۲۵)

(۰/۲۵)

$P = 2 \times 10^6 Pa$ ، $P_0 = 10^5 Pa$ ، $\rho = 1000\frac{kg}{m^3}$ ، $g = 10\frac{N}{kg}$

$P = P_0 + \rho g h \rightarrow 2 \times 10^6 = 10^5 + 1000 \times 10 \times h \Rightarrow 20 \times 10^5 = 10^5 + 10^4 h \rightarrow 20 \times 10^5 - 10^5 = 10^4 h$

(۰/۲۵)

$19 \times 10^5 = 10^4 h \rightarrow h = \frac{19 \times 10^5}{10^4} = 190m \rightarrow h = 190m$ (۰/۲۵)

۱۲

آب : $h_1 = 80cm$ ، $\rho_1 = 1\frac{g}{cm^3}$

نفت : $h_1 = 80cm$ ، $\rho_2 = ?$

چون دو سطح جیوه در دو شاخه هم‌تراز هستند، بنابراین:

$\rho_1 g h = \rho_2 g h \rightarrow \rho_1 h_1 = \rho_2 h_2 \rightarrow 1 \times 80 = \rho_2 \times 100 \rightarrow \rho_2 = \frac{80}{100} = 0/8\frac{g}{cm^3}$ (۰/۲۵)

(۰/۲۵)

$\rightarrow \rho_2 = 0/8 \times 1000 = 800\frac{kg}{m^3}$ (۰/۲۵)

دانش آموزان عزیز رشته ریاضی برای مطالعه آزمون پایانی دی ماه به انتهای کتاب قسمت فیزیک کتاب، قسمت آزمون پایانی مراجعه نمایید.

فصل ۴ دما و گرما

کلیدواژه

کلوین - سلسیوس - فارنهایت - انبساط گرمایی - انبساط غیرعادی آب - گرمای ویژه - ظرفیت گرمایی - مول و عدد آووگادرو - ظرفیت گرمایی مولی - گرما سنج - گرمای نهان ذوب - گرمای نهان تبخیر - رسانش گرمایی - همرفت تابش گرمایی - اثر گلخانه‌ای - قانون آووگادرو - قانون گازهای کامل

سرفصل آموزشی

دما: کمیتی است که میزان سردی و گرمی اجسام را مشخص می‌کند.

کمیت دماسنجی: هر مشخصهٔ قابل اندازه‌گیری که با گرمی و سردی جسم تغییر کند را «کمیت دماسنجی» می‌گویند.

مقیاس‌های دما: مقیاس‌های مهم در اندازه‌گیری دما عبارتنداز: مقیاس درجه سلسیوس، کلوین و فارنهایت.

الف) درجهٔ سلسیوس: این مقیاس مبتنی بر دو نقطهٔ ثابت است:

۱- دمایی را که در آن آب خالص در فشار ۱atm شروع به یخ زدن می‌کند، صفر در نظر می‌گیرند.

۲- دمایی را که در آن آب خالص در فشار ۱atm شروع به جوشیدن می‌کند، ۱۰۰ در نظر می‌گیرند.

۳- فاصلهٔ بین این دو نقطه را به ۱۰۰ قسمت مساوی تقسیم کرده و هر قسمت را یک درجهٔ سلسیوس می‌نامند.

نکته: درجه سلسیوس همان سانتی‌گراد است.

نکته: یکای درجهٔ سلسیوس را با $^\circ C$ و دما بر حسب درجهٔ سلسیوس را با θ نمایش می‌دهند. به عنوان مثال: $\theta = ۲۰^\circ C$

ب) کلوین: از دیگر مقیاس‌های اندازه‌گیری دما است که آن را با نماد K نشان می‌دهند. دما بر حسب کلوین را معمولاً با T نمایش می‌دهند. به عنوان مثال: $T = ۱۰K$

نکتهٔ مهم: رابطهٔ دما در مقیاس درجه سلسیوس و کلوین به‌صورت زیر است:

دما در مقیاس کلوین = دما در مقیاس سلسیوس $+ ۲۷۳/۱۵ \rightarrow T = \theta + ۲۷۳/۱۵$

مثال ۱: صفر کلوین بر حسب درجهٔ سلسیوس چقدر است؟

$$T = ۰ \rightarrow \theta + ۲۷۳/۱۵ = ۰ \rightarrow \theta = -۲۷۳/۱۵^\circ C$$

نکته: دمای $-۲۷۳/۱۵^\circ C$ را صفر کلوین می‌گویند که کمترین دمای ممکن است، اما برای دما حد بالایی وجود ندارد.

توجه: از این پس در محاسبات، مقدار صفر مطلق را به‌طور تقریبی $-۲۷۳^\circ C$ در نظر می‌گیریم.

مثال ۲: دمای $۳۷^\circ C$ را بر حسب کلوین به‌دست آورید.

$$\theta = ۳۷^\circ C \quad , \quad T = \theta + ۲۷۳ = ۳۷ + ۲۷۳ = ۳۱۰K$$

مثال ۳: دمای $۴۲۳K$ را بر حسب درجهٔ سلسیوس محاسبه کنید.

$$T = ۴۲۳K \quad , \quad T = \theta + ۲۷۳ \rightarrow ۴۲۳ = \theta + ۲۷۳ \rightarrow \theta = ۱۵۰^\circ C$$

ج) فارنهایت: از دیگر مقیاس‌های اندازه‌گیری دماست که در صنعت و هواشناسی کاربرد دارد. یکای فارنهایت را با $^\circ F$ و دما بر حسب فارنهایت را با F نشان می‌دهند.

نکتهٔ مهم: رابطهٔ دما در مقیاس دمای فارنهایت و سلسیوس به‌صورت مقابل است:

$$F = \frac{۹}{۵}\theta + ۳۲$$

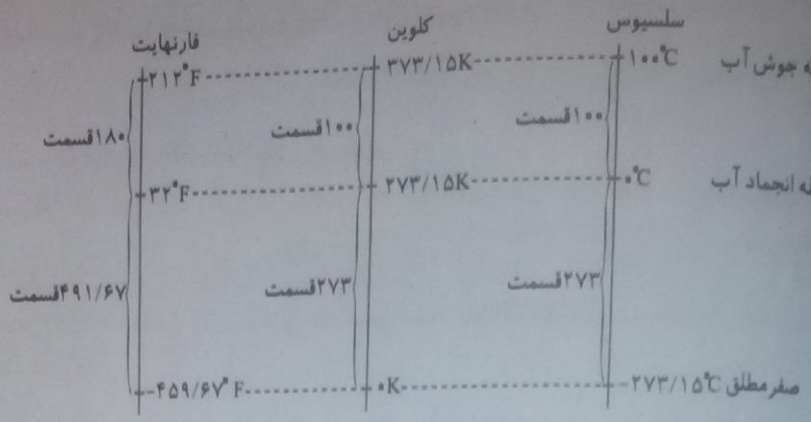
مثال ۴: دمای $۲۰^\circ C$ را به درجه فارنهایت تبدیل کنید.

$$\theta = ۲۰^\circ C \, , \, F = \frac{۹}{۵}\theta + ۳۲ = \frac{۹}{۵} \times ۲۰ + ۳۲ = ۳۶ + ۳۲ = ۶۸^\circ F$$

مثال ۵: دمای $۸۶^\circ F$ را بر حسب سلسیوس بنویسید.

$$F = ۸۶^\circ F \, , \, F = \frac{۹}{۵}\theta + ۳۲ \rightarrow ۸۶ = \frac{۹}{۵}\theta + ۳۲ \rightarrow ۸۶ - ۳۲ = \frac{۹}{۵}\theta \rightarrow \frac{۹}{۵}\theta = ۵۴ \rightarrow \theta = \frac{۵۴}{\frac{۹}{۵}} = ۳۰^\circ C$$

مقایسه یکاهای دما با یکدیگر:



نکته: رابطه تغییرات دما بر حسب درجه سلسیوس و فارنهایت:

$$\Delta F = \frac{9}{5}\Delta\theta \quad \text{و} \quad \Delta\theta = \frac{5}{9}\Delta F$$

مثال ۶: اگر دمای جسمی $40^\circ C$ افزایش یابد، چند درجهٔ فارنهایت افزایش یافته است؟

$$\frac{9}{5} \times 40 = 72^\circ F$$

مثال ۷: اگر دمای جسمی $45^\circ F$ افزایش یابد، چند درجهٔ سلسیوس افزایش یافته است؟

$$\frac{5}{9} \times 45 = 25^\circ F$$

نکته: یک درجهٔ سلسیوس و کلوین با یک‌دیگر برابر ولی یک درجهٔ فارنهایت کوچک‌تر از درجهٔ سلسیوس و کلوین است.

دانشمندان سه دماسنج را به عنوان معیار پذیرفته‌اند:

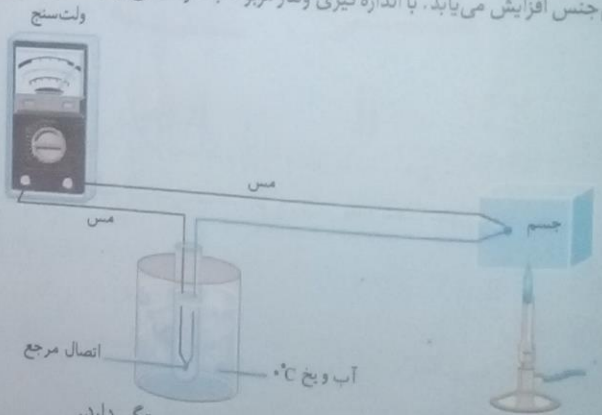
۱- دماسنج گازی: اساس کار این دماسنج‌ها بر مبنای قانون گازهای کامل است.

۲- تف‌سنج (پیرومتر): اساس کار این دماسنج‌ها بر مبنای تابش گرمایی است.

۳- دماسنج مقاومت پلاتینی: اساس کار این دماسنج‌ها بر مبنای مقاومت الکتریکی است.

نکته: دماسنج‌های ترموکوپل نسبت به دماسنج‌های معیار دقت کمتری داشته و کمیت دماسنجی آنها ولتاژ است.

دماسنج ترموکوپل: شامل دو سیم فلزی غیرهم‌جنس (مانند مس و کنستانتان) است که از یک سو در دمای ذوب یخ نگهداشته شده و از طرف دیگر به دمای مجهول متصل‌اند و به وسیلهٔ دو سیم مسی به یک ولت‌سنج بسته می‌شوند. با افزایش دمای مجهول ولتاژ دو سر سیم‌های غیرهم‌جنس افزایش می‌یابد. با اندازه‌گیری ولتاژ مربوط به هر دما می‌توان دمای مجهول را مشخص کرد.



نکته: گستره دماسنجی دماسنج‌های ترموکوپل به جنس سیم‌های غیرهم‌جنس بستگی دارد.

دماسنج ترموکوپل دو مزیت عمده دارد:

۱- به دلیل جرم کوچک محل اتصال خیلی سریع با جسم به تعادل گرمایی رسیده و دما را مشخص می‌کند.

۲- در مدارهای الکترونیکی بسیاری از وسایل صنعتی، گرمایشی و سرمایشی به‌راحتی به‌کار برده می‌شوند.

انبساط گرمایی

انبساط جامدها: با افزایش دما، دامنهٔ نوسان مولکول‌ها و اتم‌های ماده و در نتیجه فاصلهٔ متوسط آنها از یکدیگر افزایش یافته و جسم جامد منبسط می‌شود.

انبساط جامدها به سه بخش تقسیم می‌شود: ۱- انبساط طولی ۲- انبساط سطحی ۳- انبساط حجمی

انبساط طولی:

اگر طول اولیه یک میله را با L_1 و طول نهایی آن را با L_2 نشان دهیم، تغییر طول این میله برابر است با:

$$\Delta L = L_2 - L_1$$
$$\Delta L = \alpha L_1 \Delta T$$

تغییر طول جسم جامد در اثر انبساط از رابطهٔ مقابل به‌دست می‌آید:

در این رابطه: L_1 و ΔL : طول اولیه و تغییر طول بر حسب m ، ΔT : تغییر دما بر حسب K یا $^\circ C$ و α : ضریب انبساط طولی بر حسب $\frac{1}{K}$ یا $\frac{1}{^\circ C}$ است.

نکته: در رابطه $\Delta L = \alpha L_1 \Delta T$ ، یکای ΔL و L_1 یکسان است. مثلاً اگر L_1 بر حسب سانتی‌متر باشد، ΔL نیز برحسب سانتی‌متر به‌دست می‌آید.

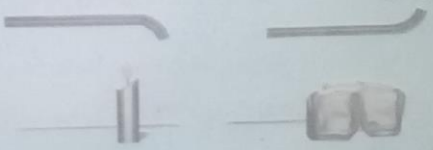
مثال۱: طول یک پل فلزی ۲۰۰۰ متر است. اگر ضریب انبساط طولی فلز ساخته شده $۱۳ \times ۱۰^{-۶} \frac{1}{K}$ باشد، با تغییر دمای $۸۰^\circ C$ بین فصول گرم و سرد سال، بیشترین تغییر طول ممکن برای پل چقدر است؟

$$L_1 = ۲۰۰۰m \ , \ \alpha = ۱۳ \times ۱۰^{-۶} \frac{1}{K} \ , \ \Delta T = ۸۰^\circ C \ , \ \Delta L = ?$$
$$\Delta L = \alpha L_1 \Delta T = ۱۳ \times ۱۰^{-۶} \times ۲۰۰۰ \times ۸۰ = ۱۳ \times ۲ \times ۸ \times ۱۰^{-۲} = ۲/۰۸ m \rightarrow \Delta L = ۲/۰۸ m$$

مثال۲: یک خط‌کش فلزی در دمای $-۱۰^\circ C$ طول $۳۰ cm$ و در دمای $۴۰^\circ C$ طول $۳۰/۶ cm$ دارد. ضریب انبساط فلز این خط‌کش چقدر است؟

$$\theta_1 = -۱۰^\circ C \ , \ L_1 = ۳۰cm \ , \ \theta_2 = ۴۰^\circ C \ , \ L_2 = ۳۰/۶cm \ , \ \alpha = ?$$
$$\Delta T = \Delta\theta = ۴۰ - (-۱۰) = ۵۰^\circ C \ , \ \Delta L = ۳۰/۶ - ۳۰ = ۰/۶ cm$$
$$\Delta L = \alpha L_1 \Delta T \rightarrow ۰/۶ = \alpha \times ۳۰ \times ۵۰ \rightarrow ۰/۶ = ۱۵۰۰\alpha \rightarrow \alpha = \frac{۰/۶}{۱۵۰۰} = ۴ \times ۱۰^{-۴} \frac{1}{K} \rightarrow \alpha = ۴ \times ۱۰^{-۴} \frac{1}{K}$$

دماسنج نواری دو فلزه: از نواری با دو تیغهٔ فلزی متفاوت که بر روی هم متصل شده‌اند، ساخته شده است. چون ضریب انبساط طولی دو فلز متفاوت است، در اثر گرما (یا سرما) یکی از فلزات بیشتر از دیگری منبسط (یا منقبض) شده و نوار خم می‌شود. از این ویژگی برای ساخت دماسنج‌ها استفاده می‌شود.



انبساط سطحی: تغییر مساحت جسم جامد در اثر انبساط از رابطهٔ مقابل به‌دست می‌آید: $\Delta A = ۲\alpha A_1 \Delta T$

در این رابطه: A_1 و ΔA : مساحت اولیه و تغییر مساحت بر حسب m^2 ، ΔT : تغییر دما بر حسب K یا $^\circ C$ و α : ضریب انبساط طولی بر حسب $\frac{1}{K}$ یا $\frac{1}{^\circ C}$ است.

نکته: در این رابطه نیز یکای ΔA و A_1 یکسان است.

مثال۱: یک صفحه فلزی دایره‌ای شکل به شعاع $۱۰ cm$ داریم، اگر دمای آن را $۱۰۰^\circ C$ افزایش دهیم، تغییر مساحت آن چقدر است؟

$$(\alpha = ۳ \times ۱۰^{-۵} \frac{1}{K} \ , \ \pi = ۳)$$
$$r = ۱۰cm \ , \ \Delta T = ۱۰۰^\circ C \ , \ \Delta A = ?$$

ابتدا مساحت اولیه صفحه را محاسبه می‌کنیم: $A_1 = \pi r^2 = ۳ \times ۱۰^2 = ۳۰۰ cm^2$

$$\Delta A = ۲\alpha A_1 \Delta T = ۲ \times ۳ \times ۱۰^{-۵} \times ۳۰۰ \times ۱۰۰ = ۱۸ \times ۱۰^{-۱} = ۱/۸ cm^2 \rightarrow \Delta A = ۱/۸ cm^2$$

مثال۲: یک ورقهٔ فولادی به مساحت $۶۰۰ cm^2$ داریم. اگر دمای آن $۵۰^\circ C$ افزایش یابد، مساحت آن چقدر می‌شود؟

$$(\alpha_{\text{فولاد}} = ۱۱ \times ۱۰^{-۶} \frac{1}{K})$$
$$A_1 = ۶۰۰ cm^2$$

برای محاسبهٔ مساحت نهایی این ورقه T، ابتدا باید تغییر مساحت آن را به‌دست آوریم:

$$\Delta A = 2\alpha A_1 \Delta T = 2 \times 11 \times 10^{-6} \times 600 \times 50 = 2 \times 11 \times 6 \times 5 \times 10^{-3} = 660 \times 10^{-3} = 0/66 cm^2$$

مساحت نهایی ورقه $A_2 = A_1 + \Delta A = 600 + 0/66 = 600/66 cm^2 \rightarrow A_2 = 600/66 cm^2$

مثال ۳: دمای یک صفحهٔ آهنی $20^\circ C$ است. در چه دمایی مساحت این صفحه به اندازهٔ ۰/۰۰۱ مساحت اولیه آن افزایش می‌یابد؟

$(\alpha_{\text{آهن}} = 10 \times 10^{-6} \frac{1}{K})$

$T_1 = 20^\circ C \ , \ \Delta A = 0/001 A_1 \ , \ T_2 = ?$

برای محاسبهٔ دمای نهایی، ابتدا باید ΔT را محاسبه کنیم:

$$\Delta A = 2\alpha A_1 \Delta T \rightarrow 0/001 \cancel{A_1} = 2 \times 10^{-5} \times \cancel{A_1} \times \Delta T \rightarrow 0/001 = 2 \times 10^{-5} \Delta T$$

$$\rightarrow \Delta T = \frac{10^{-3}}{2 \times 10^{-5}} = \frac{100}{2} = 50^\circ C$$

$$\Delta T = T_2 - T_1 \rightarrow 50 = T_2 - 30 \rightarrow T_2 = 70^\circ C$$

انبساط حجمی: تغییرحجم یک جسم جامد در اثر انبساط از رابطهٔ زیر به دست می‌آید: $\Delta V = \beta V_1 \Delta T$

در این رابطه: V_1 و ΔV: حجم اولیه و تغییر حجم بر حسب m^3 ، ΔT: تغییر دما بر حسب K یا $^\circ C$ و β: ضریب انبساطی حجمی بر حسب $\frac{1}{K}$ یا $\frac{1}{^\circ C}$ است.

ضریب انبساطی حجمی جامدها (β) تقریباً سه برابر ضریب انبساط طولی آنها است، بنابراین: $\beta_{\text{جامدات}} = 3\alpha$

نکته: یکای ΔV و V_1 یکسان است.

مثال: حجم یک شمش آلومینیمی به ابعاد ۵۰ و ۴۰ و ۲۵ سانتی‌متر در اثر افزایش دمای $200^\circ C$ چقدر افزایش می‌یابد؟

$(\alpha_{Al} = 23 \times 10^{-6} \frac{1}{K})$

$V_1 = 25 \times 40 \times 50 = 50000 = 5 \times 10^4 cm \ , \ \beta = 3\alpha \ , \ \Delta T = 200^\circ C \ , \ \Delta V = ?$

$$\Delta V = \beta V_1 \Delta T = 3\alpha V_1 \Delta T = 3 \times 23 \times 10^{-6} \times 5 \times 10^4 \times 200 = 3 \times 23 \times 5 \times 2 \times 10^6 \times 10^{-6} = 690 cm^3$$

$$\rightarrow \Delta V = 690 cm^3$$

مثال۲: دمای یک کرهٔ فلزی به شعاع $10cm$ را $50^\circ C$ افزایش می‌دهیم، حجم آن $3cm^3$ افزایش می‌یابد. ضریب انبساط طولی این فلز چقدر است؟ $(\pi = 3)$

$r = 10cm \ , \ \Delta T = 50^\circ C \ , \ \Delta V = 3cm^3 \ , \ \alpha = ?$

$$V_1 = \frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{4}{3} \times 3 \times 10^3 = 4000 cm^3$$

ابتدا حجم اولیه کره را محاسبه می‌کنیم:

$$\Delta V = \beta V_1 \Delta T \rightarrow \Delta V = 3\alpha V_1 \Delta T \rightarrow 3 = 3 \times \alpha \times 4000 \times 50 \rightarrow 3 = 6 \times 10^5 \alpha \rightarrow \alpha = \frac{3}{6 \times 10^5} = 0/5 \times 10^{-5}$$

$$\rightarrow \alpha = 5 \times 10^{-6} \frac{1}{K}$$

انبساط مایع‌ها: با افزایش دمای مایع، حرکت کاتوره‌ای اتم‌ها و مولکول‌ها افزایش می‌یابد، در نتیجه اتم‌ها و مولکول‌ها از هم دور شده و حجم مایع بیشتر می‌شود.

انبساط حجمی مایع‌ها: تغییر حجم یک مایع در اثر انبساط همانند جامدها از رابطهٔ زیر به دست می‌آید: $\Delta V = \beta V_1 \Delta T$

در این رابطه β ضریب انبساطی حجمی مایع‌ها بر حسب $\frac{1}{K}$ یا $\frac{1}{^\circ C}$ است.

مثال۱: ظرفی به حجم $2L$ به‌طور کامل از استون پر شده و داخل یخچالی با دمای $2^\circ C$ قرار دارد. اگر آن را در هوای بیرون با دمای $37^\circ C$ قرار دهیم، چه مقدار مایع از ظرف بیرون می‌ریزد؟ (از افزایش حجم ظرف صرف‌نظر کنید.) $(\beta_{\text{استون}} = 1/43 \times 10^{-3} \frac{1}{K})$

$V_1 = 2L \ , \ \theta_1 = 2^\circ C \ , \ \theta_2 = 37^\circ C \ , \ \Delta V = ?$

$$\Delta T = \Delta\theta = \theta_2 - \theta_1 = 37 - 2 = 35^\circ C$$

$$\Delta V = \beta V_1 \Delta T = 1/43 \times 10^{-3} \times 2 \times 35 = 0/1L \rightarrow \Delta V = 0/1L$$

افزایش حجم مایع همان مقدار مایعی است که از ظرف بیرون می‌ریزد:

مثال ۲: در مخزنی ۲۰۰L الکل ریخته شده است. دمای آن را چقدر افزایش دهیم تا حجم الکل ۲۱۱L شود؟

$(\beta_{\text{الکل}} = ۱/۱\times۱۰^{-۳}\frac{۱}{K})$

$V_۱ = ۲۰۰L \ , \ V_۲ = ۲۱۱L \ , \ \Delta T = ? \ , \ \Delta V = ۲۱۱ - ۲۰۰ = ۱۱lit$

$$\Delta V = \beta V_۱ \Delta T \rightarrow ۱۱ = ۱/۱\times۱۰^{-۳}\times۲۰۰\times\Delta T \rightarrow \Delta T = \frac{۱۱}{۱/۱\times۱۰^{-۳}\times۲۰۰} = \frac{۱۱}{۰/۲۲} = ۵۰^\circ C \rightarrow \Delta T = ۵۰^\circ C$$

مثال ۳: ظرف آلومینیمی به حجم ۱L به‌طور کامل از جیوه پر شده است. اگر دمای آن را ۱۰۰°C افزایش دهیم، چه مقدار جیوه از ظرف بیرون می‌ریزد؟

$(\beta_{Hg} = ۰/۱۸\times۱۰^{-۳}\frac{۱}{K} \ , \ \alpha_{Al} = ۲۳\times۱۰^{-۶}\frac{۱}{K})$

$V_۱ = ۱L = ۱۰۰۰cm^۳ \ , \ \Delta T = ۱۰۰^\circ C \ , \ \Delta V = ?$

افزایش حجم ظرف: $\Delta V = \beta V_۱ \Delta T = ۳\alpha V_۱ \Delta T = ۳\times۲۳\times۱۰^{-۶}\times۱۰۰۰\times۱۰۰ = ۶/۹cm^۳ \rightarrow \Delta V_{\text{ظرف}} = ۶/۹cm^۳$

افزایش حجم جیوه: $\Delta V = \beta V_۱ \Delta T = ۰/۱۸\times۱۰^{-۳}\times۱۰۰۰\times۱۰۰ = ۱۸cm^۳ \rightarrow \Delta V_{\text{جیوه}} = ۱۸cm^۳$

حجم جیوه سرریز شده: $\Delta V_{\text{جیوه}} - \Delta V_{\text{ظرف}} = ۱۸ - ۶/۹ = ۱۱/۱cm^۳$

نکته: با افزایش دما، جرم جسم ثابت و حجم آن افزایش می‌یابد، بنابراین طبق رابطهٔ $\rho = \frac{m}{V}$، چگالی جسم کاهش می‌یابد.

نکته: در انبساط مایع‌ها رابطهٔ چگالی با تغییر دما عبارت است از:

$$\rho_۲ = \frac{\rho_۱}{۱+\beta\Delta T}$$

در این رابطه: $\rho_۱$: چگالی در دمای اولیه برحسب $\frac{kg}{m^۳}$، $\rho_۲$: چگالی در دمای نهایی برحسب $\frac{kg}{m^۳}$، β: ضریب انبساط حجمی برحسب $\frac{۱}{K}$ یا $\frac{۱}{^\circ C}$ و ΔT: تغییر دما K یا °C است.

نکته: رابطهٔ فوق را با تقریب مناسب می‌توان به‌صورت زیر نوشت:

$$\rho_۲ = \rho_۱(۱ - \beta\Delta T)$$

نکته: رابطهٔ چگالی با تغییر دما را برای جامدها نیز می‌توان به‌کار برد.

مثال ۴: اگر دمای الکل را ۵۰°C افزایش دهیم، چگالی آن چقدر می‌شود؟ $(\rho_{\text{الکل}} = ۸۰۰\frac{kg}{m^۳} \ , \ \beta_{\text{الکل}} = ۱/۱\times۱۰^{-۳}\frac{۱}{K})$

$\Delta\theta = ۵۰^\circ C \ , \ \rho_۲ = ?$

$$\rho_۲ = \rho_۱(۱ - \beta\Delta T) = ۸۰۰(۱ - ۱/۱\times۱۰^{-۳}\times۵۰) = ۸۰۰(۱ - ۰/۰۵۵) = ۷۵۶\frac{kg}{m^۳} \rightarrow \rho_۲ = ۷۵۶\frac{kg}{m^۳}$$

مثال ۵: دمای یک قطعهٔ فولادی را چقدر افزایش دهیم تا چگالی آن ۱ درصد کاهش یابد؟ $(\alpha_{\text{فولاد}} = ۱۱\times۱۰^{-۶}\frac{۱}{K})$

چگالی فولاد یک درصد کاهش یابد، یعنی چگالی نهایی ۹۹ درصد چگالی اولیه باشد.

$$\rho_۲ = \frac{۹۹}{۱۰۰}\rho_۱ \rightarrow \rho_۲ = ۰/۹۹\rho_۱$$

$$\rho_۲ = \rho_۱(۱ - \beta\Delta T) \rightarrow \rho_۲ = \rho_۱(۱ - ۳\alpha\Delta T) \rightarrow ۰/۹۹\cancel{\rho_۱} = \cancel{\rho_۱}(۱ - ۳\times۱۱\times۱۰^{-۶}\times\Delta T)$$

$$۰/۹۹ = ۱ - ۳۳\times۱۰^{-۶}\Delta T \rightarrow ۳۳\times۱۰^{-۶}\Delta T = ۱ - ۰/۹۹ = ۰/۰۱$$

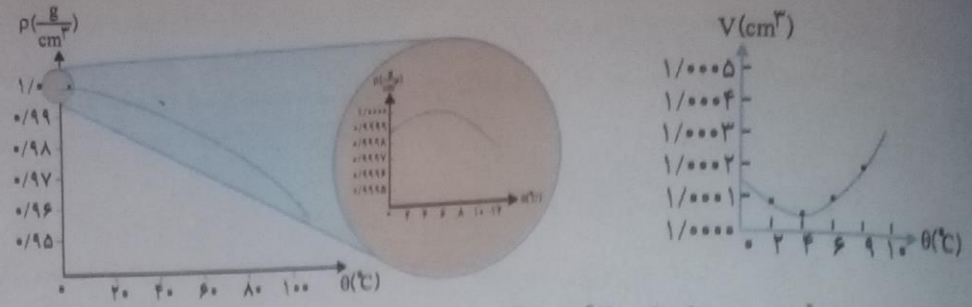
$$\rightarrow \Delta T = \frac{۰/۰۱}{۳۳\times۱۰^{-۶}} = ۳۰۳^\circ C \rightarrow \Delta T = ۳۰۳^\circ C$$

انبساط غیرعادی آب: رفتار آب در محدودهٔ دمایی ۰°C تا ۴°C متفاوت از سایر مایع‌ها است؛ یعنی با افزایش دما از ۰°C تا ۴°C حجم آب کاهش و چگالی آن افزایش می‌یابد. هم‌چنین با کاهش دما از ۴°C تا ۰°C حجم آب افزایش و چگالی آن کاهش می‌یابد.

بازه دمایی	دما	حجم	چگالی
۰°C تا ۴°C	↑	↓	↑
۴°C تا ۰°C	↓	↑	↓

نکته: پس از دمای $4^\circ C$ رفتار آب مانند دیگر اجسام است. یعنی با افزایش دما حجم آن افزایش و با کاهش دما حجم آن کاهش می‌یابد.

نکته: نمودار (دما- حجم) و (دما- چگالی) آب در محدودهٔ دمایی $0^\circ C$ تا $4^\circ C$ به‌صورت زیر است:



سؤال: دلیل رفتار غیرعادی آب در محدودهٔ دمایی $0^\circ C$ تا $4^\circ C$ چیست؟

پاسخ: ساختار بلور یخ به گونه‌ای است که در برخی نقاط مولکول‌ها به هم نزدیک و در برخی نقاط از هم دورند، در نتیجه حجم یخ بیشتر از آب است. از آن‌جا که در محدودهٔ دمایی $0^\circ C$ تا $4^\circ C$ هنوز بقایای ساختار مولکولی یخ در آب وجود دارد با افزایش دما در این محدوده و از بین رفتن ساختار مولکولی یخ، حجم آب کاهش می‌یابد و برعکس.

گرما: انرژی است که به دلیل اختلاف دما از جسم گرم‌تر به جسم سردتر منتقل می‌شود و آن را با Q نشان داده و یکای آن ژول (J) است.

تعادل گرمایی: اگر دو یا چند جسم گرم و سرد در تماس با یکدیگر قرار گیرند، گرما از اجسام گرم‌تر به اجسام سردتر منتقل می‌شود تا در نهایت همه اجسام به دمای ثابتی برسند، به این حالت تعادل گرمایی می‌گویند.

نکته: با تعادل گرمایی، انرژی جنبشی و پتانسیل مربوط به حرکت کاتوره‌ای اتم‌ها و مولکول‌ها در جسم گرم‌تر کاهش و در جسم سردتر افزایش می‌یابد.

ظرفیت گرمایی: مقدار گرمایی است که دمای جسم را $1^\circ C$ یا $1K$ افزایش می‌دهد، آن را با C نشان داده و یکای آن $\frac{J}{K}$ است. مثلاً وقتی می‌گوییم ظرفیت گرمایی یک جسم $1000\frac{J}{K}$ است، یعنی اگر به جسم ۱۰۰۰J گرما دهیم، دمای آن $1K$ افزایش می‌یابد.

محاسبه گرما با استفاده از ظرفیت گرمایی: مقدار گرمایی که دمای جسمی با ظرفیت گرمایی C را به اندازه ΔT افزایش می‌دهد، این گرما از رابطهٔ مقابل به‌دست می‌آید:

$$Q = C\Delta T$$

در این رابطه: Q: گرما بر حسب J ، C: ظرفیت گرمایی بر حسب $\frac{J}{K}$ و ΔT: تغییر دما بر حسب K است.

مثال: یک قطعهٔ فلزی با ظرفیت گرمایی $2500\frac{J}{K}$ داریم. چه مقدار گرما لازم است تا دمای این قطعه $40^\circ C$ افزایش یابد؟

$$C = 2500\frac{J}{K} \ , \ \Delta T = 40^\circ C = 40K \ , \ Q = ?$$

$$Q = C\Delta T = 2500 \times 40 = 100000J \rightarrow Q = 10^5 J$$

ظرفیت گرمایی ویژه (گرمای ویژه): مقدار گرمایی است که دمای یک کیلوگرم از جسم را $1^\circ C$ یا $1K$ افزایش می‌دهد و آن را با c نشان داده و یکای آن $\frac{J}{kg.K}$ است.

نکته: گرمای ویژه یک جسم به جنس آن بستگی دارد.

نکته: رابطه بین ظرفیت گرمایی و ظرفیت گرمایی ویژه به‌صورت زیر است:

$$c = \frac{C}{m} \leftarrow \text{ظرفیت گرمایی ویژه جسم} \quad \rightarrow \text{ظرفیت گرمایی} \quad \rightarrow \text{جرم جسم}$$

محاسبهٔ گرما با استفاده از ظرفیت گرمایی ویژه: مقدار گرمایی که دمای جسمی به جرم m و گرمای ویژه c را به اندازهٔ ΔT افزایش می‌دهد، از رابطهٔ مقابل به‌دست می‌آید:

$$Q = C\Delta T \xrightarrow{C=mc} Q = mc\Delta T$$

در این رابطه Q: گرما بر حسب J و c: گرمای ویژه بر حسب $\frac{J}{kg.K}$ ، m: جرم جسم بر حسب kg ، ΔT: تغییر دما بر حسب K

مثال ۲: چه مقدار گرما لازم است تا دمای 5kg مس $20^\circ C$ افزایش یابد؟ $(c_{مس} = 380 \frac{J}{kg.K})$

$m = 5kg \ , \ \Delta T = \Delta\theta = 20K \ , \ Q = ?$

$Q = mc\Delta T = 5 \times 380 \times 20 = 38000J \rightarrow Q = 38000J$

مثال ۳: اگر $42 \times 10^4 J$ گرما لازم باشد تا دمای 2L آب از $10^\circ C$ به $60^\circ C$ برسد. گرمای ویژه آب چقدر است؟ $(\rho_{آب} = 1000 \frac{kg}{m^3})$

$Q = 42 \times 10^4 J \ , \ V = 2L = 0/002 m^3 \ , \ \Delta T = \Delta\theta = 60 - 10 = 50K$

برای محاسبهٔ گرمای ویژه، ابتدا باید جرم آب را محاسبه کنیم:

$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow m = \rho V = 1000 \times 0/002 = 2kg \rightarrow m = 2kg$

$Q = mc\Delta T \rightarrow 42 \times 10^4 = 2 \times c \times 50 \rightarrow c = \frac{42 \times 10^4}{100} = 42 \times 10^2 = 4200 \frac{J}{kg.K} \rightarrow c_{آب} = 4200 \frac{J}{kg.K}$

مول و عدد آووگادرو

مول: یکایی برای مقدار ماده است که آن را با n نشان می‌دهند. هر یک مول شامل $6/02 \times 10^{23}$ از اجزای سازندهٔ ماده (اتم یا مولکول) است. عدد $6/02 \times 10^{23}$ را عدد آووگادرو می‌گویند.

جرم مولی: جرم یک مول از هر ماده را جرم مولی آن می‌گویند و آن را با M نشان می‌دهند.

مثال:

$M_{آب} = 18 \frac{g}{mol}$ و $M_{اکسیژن} = 16 \frac{g}{mol}$

نکته: تعداد مول یک ماده از رابطهٔ مقابل به‌دست می‌آید:

$n = \frac{m}{M}$

در این رابطه:

n: تعداد مول ماده برحسب mol، m: جرم ماده بر حسب kg (یا g)، M: جرم مولی ماده بر حسب $\frac{kg}{mol}$ یا $(\frac{g}{mol})$

مثال: می‌دانیم الماس از کربن تشکیل شده است. یک قطعه الماس به جرم 9g از چه تعداد اتم کربن تشکیل شده است؟ $(M_{کربن} = 12 \frac{g}{mol})$

$m = 9g \ , \ \text{تعداد اتم کربن} = ?$

ابتدا تعداد مول اتم کربن این قطعه الماس را محاسبه می‌کنیم:

$n = \frac{m}{M} = \frac{9}{12} = 0/75mol \rightarrow n = 0/75mol$

می‌دانیم هر مول شامل $6/02 \times 10^{23}$ اتم کربن است، بنابراین تعداد اتم‌های کربن این قطعه الماس برابر است با:

تعداد اتم کربن = تعداد مول اتم کربن × عدد آووگادرو $= 0/75 \times 6/02 \times 10^{23} = 4/515 \times 10^{23}$

مثال: ۳۶ گرم آب شامل چه تعداد مولکول آب است؟ $(M_{آب} = 18 \frac{g}{mol})$

$n = \frac{m}{M} = \frac{36}{18} = 2mol \rightarrow n = 2mol \ , \ 2 \times 6/02 \times 10^{23} = 12/04 \times 10^{23}$ مولکول

ظرفیت گرمایی مولی (گرمای ویژهٔ مولی): مقدار گرمایی است که دمای یک مول از ماده را 1K افزایش می‌دهد.

نکته: گرمای ویژهٔ مولی فلزات همگی یکسان و تقریباً برابر $25 \frac{J}{mol.K}$ است. یعنی گرمای لازم برای افزایش دمای یک مول از هر فلز برابر است و به جنس آنها بستگی ندارد. (قاعدهٔ دولانگ و پتی)

دمای تعادل: به دمای ثابتی که اجسام در تعادل گرمایی دارند، «دمای تعادل» می‌گویند.

نکتهٔ مهم: در محاسبهٔ مقدار گرمای مبادله شده، اگر جسم گرما بگیرد، علامت Q مثبت و اگر گرما از دست بدهد، علامت Q منفی است.

نکتهٔ مهم: طبق قانون بایستگی انرژی، هنگام تبادل گرما، گرمایی که اجسام گرم از دست می‌دهند با گرمایی که اجسام سرد می‌گیرند برابر است. بنابراین در تعادل گرمایی جمع جبری Q ها صفر است.

$Q_1 + Q_2 + Q_3 + \ldots = 0$

نکته: اگر چند جسم با گرمای ویژهٔ $c_1, c_2, c_3, \dots$، جرم‌های $m_1, m_2, m_3, \dots$ و دماهای اولیهٔ $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots$ در تماس با هم باشند، دمای تعادل (θ) آنها از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید:

$$m_1c_1(\theta - \theta_1) + m_2c_2(\theta - \theta_2) + m_3c_3(\theta - \theta_3) + \dots = 0$$

مثال ۱: ۴۰۰g آب $10^\circ C$ را داخل ظرف آلومینیمی به جرم ۱۰۰g و دمای $80^\circ C$ می‌ریزیم. دمای تعادل چقدر می‌شود؟ (از تبادل گرما با محیط صرف‌نظر کنید.)

$$(c_{Al} = 900\frac{J}{kg.^\circ C} \ , \ c_{آب} = 4200\frac{J}{kg.^\circ C})$$

$$\left.\begin{array}{l} \text{آب}: m_1 = 400g = 0/4kg \ , \ c_1 = 4200\frac{J}{kg.^\circ C} \ , \ \theta_1 = 10^\circ C \\ \text{آلومینیوم}: m_2 = 100g = 0/1kg \ , \ c_2 = 900\frac{J}{kg.^\circ C} \ , \ \theta_2 = 80^\circ C \end{array}\right\} \xrightarrow{\text{دمای تعادل}} \theta = ?$$

در حل مسائل مربوط به تعادل گرمایی جمع جبری Qها صفر است. بنابراین: $Q_{آب} + Q_{Al} = 0$

$$m_1c_1(\theta - \theta_1) + m_2c_2(\theta - \theta_2) = 0 \rightarrow 0/4 \times 4200(\theta - 10) + 0/1 \times 900(\theta - 80) = 0$$

$$\rightarrow 1680(\theta - 10) + 90(\theta - 80) = 0 \rightarrow 1680\theta - 16800 + 90\theta - 7200 = 0 \rightarrow 1770\theta - 24000 = 0$$

$$\rightarrow 1770\theta = 24000 \rightarrow \theta = \frac{24000}{1770} = 13/5^\circ C \rightarrow \theta = 13/5^\circ C \quad \text{دمای تعادل}$$

مثال ۲: در ظرفی ۴۰۰g آب $20^\circ C$ و ۳۷۵g مس با دمای $50^\circ C$ و ۲۰۰g فلزی با دمای $60^\circ C$ قرار دارد. اگر دمای تعادل آنها $30^\circ C$ شود، گرمای ویژهٔ فلز چقدر است؟ (از تبادل گرما با ظرف و محیط صرف‌نظر کنید.)

$$(c_{آب} = 4200\frac{J}{kg.^\circ C} \ , \ c_{مس} = 400\frac{J}{kg.^\circ C})$$

$$\left.\begin{array}{l} \text{آب}: m_1 = 400g = 0/4kg \ , \ c_1 = 4200\frac{J}{kg.^\circ C} \ , \ \theta_1 = 20^\circ C \\ \text{مس}: m_2 = 375g = 0/375kg \ , \ c_2 = 400\frac{J}{kg.^\circ C} \ , \ \theta_2 = 50^\circ C \\ \text{فلز}: m_3 = 200g = 0/2kg \ , \ c_3 = ? \ , \ \theta_3 = 60^\circ C \end{array}\right\} \xrightarrow{\text{دمای تعادل}} \theta = 30^\circ C$$

$$Q_{آب} + Q_{مس} + Q_{فلز} = 0 \rightarrow m_1c_1(\theta - \theta_1) + m_2c_2(\theta - \theta_2) + m_3c_3(\theta - \theta_3) = 0$$

$$\rightarrow 0/4 \times 4200(\overset{10}{\cancel{30}} - 20) + 0/375 \times 400(\overset{-20}{\cancel{30}} - 50) + 0/2c_3(\overset{-30}{\cancel{30}} - 60) = 0$$

$$\rightarrow 16800 - 3000 - 6c_3 \rightarrow 13800 - 6c_3 = 0 \rightarrow c_3 = \frac{13800}{6} = 2300\frac{J}{kg.^\circ C} \rightarrow C_3 = 2300\frac{J}{kg^\circ C}$$

گرماسنج (کالری‌متر): ظرفی است عایق‌بندی شده برای تعیین گرمای ویژهٔ یک جسم. $Q_{ظرف} + Q_{آب} + Q_{جسم} = 0$

در یک گرماسنج پس از برقراری تعادل گرمایی داریم:

نکته: معمولاً در یک گرماسنج به جای داشتن جرم (m) و گرمای ویژهٔ ظرف (c)، ظرفیت گرمایی ظرف (C) را داریم.

مثال ۱: فلزی به جرم ۶۰۰g و دمای $75^\circ C$ را درون گرماسنجی حاوی ۵۰۰g آب $15^\circ C$ می‌اندازیم. اگر ظرفیت گرمایی گرماسنج $90\frac{J}{^\circ C}$ و دمای تعادل $25^\circ C$ باشد، گرمای ویژهٔ فلز چقدر است؟ $(c_{آب} = 4200\frac{J}{kg.^\circ C})$

$$\left.\begin{array}{l} \text{فلز}: m_1 = 600g = 0/6kg \ , \ \theta_1 = 75^\circ C \ , \ c_1 = ? \\ \text{آب}: m_2 = 500g = 0/5kg \ , \ \theta_2 = 15^\circ C \ , \ c_2 = 4200\frac{J}{kg^\circ C} \\ \text{گرماسنج}: C_2 = 90\frac{J}{^\circ C} \ , \ \theta_2 = 15^\circ C \end{array}\right\} \xrightarrow{\text{دمای تعادل}} \theta = 25^\circ C$$

نکته چون آب داخل گرماسنج قرار دارد، دمای اولیهٔ آب و گرماسنج برابر است. $(\theta_۲ = \theta_۳ = ۱۵^\circ C)$

$$Q_{\text{فلز}} + Q_{\text{آب}} + Q_{\text{گرماسنج}} = ۰ \rightarrow m_۱c_۱(\theta - \theta_۱) + m_۲c_۲(\theta - \theta_۲) + C_۳(\theta - \theta_۳) = ۰$$

$$۰/۶ \times c_۱ \times (۳۵ - ۷۵) + ۰/۵ \times ۴۲۰۰(۳۵ - ۱۵) + ۹۰(۳۵ - ۱۵) = ۰ \rightarrow -۳۰c_۱ + ۲۱۰۰۰ + ۹۰۰ = ۰$$

$$-۳۰c_۱ + ۲۱۹۰۰ = ۰ \rightarrow ۳۰c_۱ = ۲۱۹۰۰ \rightarrow c_۱ = \frac{۲۱۹۰۰}{۳۰} = ۷۳۰\frac{J}{kg.^\circ C} \rightarrow c_۱ = ۷۳۰\frac{J}{kg.^\circ C}$$

مثال ۲ گرماسنجی حاوی $۴۰۰g$ آب $۴۰^\circ C$ است. اگر یک قطعهٔ ۸۰۰ گرمی از فلزی با گرمای ویژه $۴۲۰\frac{J}{kg^\circ C}$ و دمای $۱۸۰^\circ C$ را داخل آب قرار دهیم، دمای تعادل $۶۰^\circ C$ می‌شود. ظرفیت گرمایی گرماسنج چقدر است؟

$$(c_{\text{فلز}} = ۴۲۰\frac{J}{kg^\circ C} \ , \ c_{\text{آب}} = ۴۲۰۰\frac{J}{kg.^\circ C})$$

$$\left.\begin{array}{l} \text{آب}: m_۱ = ۴۰۰g = ۰/۴kg \ , \ c_۱ = ۴۲۰۰\frac{J}{kg.^\circ C} \ , \ \theta_۱ = ۴۰^\circ C \\ \text{فلز}: m_۲ = ۸۰۰ = ۰/۸kg \ , \ c_۲ = ۴۲۰\frac{J}{kg.^\circ C} \ , \ \theta_۲ = ۱۸۰^\circ C \\ \text{گرماسنج}: C_۳ = ? \ , \ \theta_۳ = ۴۰^\circ C \end{array}\right\} \xrightarrow{\text{دمای تعادل}} \theta = ۶۰^\circ C$$

$$Q_{\text{آب}} + Q_{\text{فلز}} + Q_{\text{گرماسنج}} = ۰ \rightarrow m_۱c_۱(\theta - \theta_۱) + m_۲c_۲(\theta - \theta_۲) + C_۳(\theta - \theta_۳) = ۰$$

$$۰/۴ \times ۴۲۰۰(۶۰ - ۴۰) + ۰/۸ \times ۴۲۰(۶۰ - ۱۸۰) + C_۳(۶۰ - ۴۰) = ۰ \rightarrow ۳۳۶۰۰ - ۴۰۳۲۰ + ۲۰C_۳ = ۰$$

$$-۶۷۲۰ + ۲۰C_۳ = ۰ \rightarrow ۲۰C_۳ = ۶۷۲۰ \rightarrow C_۳ = \frac{۶۷۲۰}{۲۰} = ۳۳۶\frac{J}{kg} \rightarrow C_۳ = ۳۳۶\frac{J}{kg}$$

حالت‌های ماده:

ماده معمولاً در سه حالت یا فاز جامد، مایع و گاز وجود دارد.

تغییر حالت (گذار فاز): تغییر از یک حالت (فاز) به حالت (فاز) دیگر را تغییر حالت (گذار فاز) می‌گویند.

انواع تغییر حالت

تغییر حالت	نام تغییر حالت	گرماده / گرماگیر	مثال
جامد به مایع	ذوب	گرماگیر	آب شدن بستنی
بخار به مایع	چگالش بخار به مایع یا میعان	گرماده	تشکیل باران
مایع به بخار	تبخیر	گرماگیر	تبخیر آب دریاها
جامد به بخار	تصعید	گرماگیر	تصعید نفتالین
مایع به جامد	انجماد	گرماده	یخ زدن آب دریاچه‌ها
بخار به جامد	چگالش بخار به جامد	گرماده	تشکیل برفک

نکته بخار و گاز تعاریف متفاوتی دارند ولی در این‌جا برای آنها تعاریف یکسانی در نظر گرفته می‌شود.

ذوب و انجماد

دمای ذوب: دمای ثابتی که در آن جسم جامد با گرفتن گرما به مایع تبدیل می‌شود را «دمای ذوب» می‌گویند. این دما به جنس ماده و فشار وارد بر آن بستگی دارد.

نکته جامدهای بلورین مثل فلزات، دمای ذوب مشخصی دارند و حجم آنها هنگام ذوب افزایش می‌یابد.

جامدهای بی‌شکل مثل شیشه یا قیر دمای ذوب مشخصی ندارند و در گستره‌ای از دما ذوب می‌شوند. حجم آنها هنگام ذوب ثابت است.

نکته معمولاً افزایش فشار، نقطهٔ ذوب را افزایش می‌دهد ولی در یخ و برخی مواد دیگر افزایش فشار باعث کاهش نقطهٔ ذوب می‌شود و بالعکس.

بیشتر مواد: ↑ فشار ⇒ ↑ نقطهٔ ذوب ; ↓ فشار ⇒ ↓ نقطهٔ ذوب

در آب (یخ): ↑ فشار ⇒ ↓ نقطهٔ ذوب ; ↓ فشار ⇒ ↑ نقطهٔ ذوب

دمای انجماد دمای ثابتی که در آن، مایع با از دست دادن گرما به جامد تبدیل می‌شود را «دمای انجماد» می‌گویند. این دما به جنس ماده و فشار وارد بر آن بستگی دارد.

نکته جامدهای بلورین دمای انجماد مشخصی دارند و حجم آنها هنگام انجماد کاهش می‌یابد.

جامدهای بی‌شکل دمای انجماد مشخصی ندارند و در گستره‌ای از دما منجمد می‌شوند. حجم آنها هنگام انجماد ثابت است.

نکته چون دمای ذوب هر ماده با دمای انجماد آن برابر است، تأثیر فشار بر نقطهٔ انجماد و ذوب یکسان است.

نکته وجود ناخالصی در مایع‌ها باعث تغییر دمای ذوب و انجماد می‌شود. مثلاً افزودن نمک به آب نقطهٔ انجماد و ذوب را کاهش می‌دهد.

نکته جسم در هنگام ذوب همان‌قدر گرما می‌گیرد که در هنگام انجماد از دست می‌دهد.

گرمای نهان ذوب مقدار گرمایی که یک کیلوگرم از جسم هنگام انجماد یا ذوب منتقل می‌کند را «گرمای نهان ذوب» می‌گویند و آن را با L_F نشان داده و یکای آن $\frac{J}{kg}$ است. مقدار این گرما به جنس ماده بستگی دارد. به عنوان مثال:

$$L_{F_{یخ}} = ۳۳۴۰۰۰\frac{J}{kg} \quad , \quad L_{F_{مس}} = ۱۳۴۰۰۰\frac{J}{kg}$$

مقدار گرمایی که جسمی به جرم m و گرمای نهان ذوب L_F در هنگام ذوب می‌گیرد برابر است با:

$$Q_{ذوب} = +mL_F$$

مقدار گرمایی که جسمی به جرم m و گرمای نهان ذوب L_F در هنگام انجماد از دست می‌دهد برابر است با:

$$Q_{انجماد} = -mL_F$$

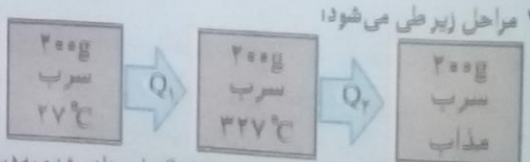
نکته علامت + و - در رابطه‌های بالا، نشان‌دهنده این است که هنگام ذوب، جسم گرما می‌گیرد $(Q > ۰)$ و هنگام انجماد، گرما از دست می‌دهد $(Q < ۰)$.

مثال۱ یک قطعه ۸ گرمی طلا در نقطهٔ ذوب، چقدر گرما می‌گیرد تا به طور کامل ذوب شود؟ $(L_{F_{طلا}} = ۶۴۵۰۰\frac{J}{kg})$

$$m = ۸g = ۰/۰۰۸kg \qquad Q = mL_F = ۰/۰۰۸ \times ۶۴۵۰۰ = ۵۱۶J$$

مثال۲ دمای ذوب سرب $۳۲۷^\circ C$ است. چه مقدار گرما لازم است تا $۲۰۰g$ سرب را بتوان در دمای اتاق $(۲۷^\circ C)$ ذوب کرد؟ $(L_{F_{سرب}} = ۲۴۵۰۰\frac{J}{kg} \ , \ c_{سرب} = ۱۳۰\frac{J}{kg.^\circ C})$

برای ذوب سرب با دمای $۲۷^\circ C$ مراحل زیر طی می‌شود:



گرمای داده شده در هر مرحله را محاسبه و سپس با هم جمع می‌کنیم تا کل گرمای داده شده به‌دست آید.

چون در مرحلهٔ اول، سرب تغییر دما می‌دهد گرمای داده شده برابر است با:

$$Q_۱ = mc\Delta\theta = ۰/۲ \times ۱۳۰ \times (۳۲۷ - ۲۷) = ۷۸۰۰J$$

در مرحلهٔ دوم، سرب تغییر حالت می‌دهد، بنابراین گرمای داده شده برابر است با:

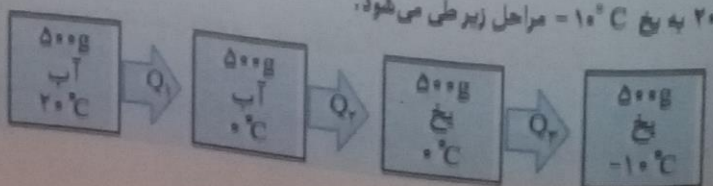
$$Q_۲ = mL_F = ۰/۲ \times ۲۴۵۰۰ = ۴۹۰۰J$$

$$Q = Q_۱ + Q_۲ = ۷۸۰۰ + ۴۹۰۰ = ۱۲۷۰۰J$$

گرمای کل داده شده در این فرایند برابر است با:

مثال۳ از $۵۰۰g$ آب $۲۰^\circ C$ چه مقدار گرما بگیریم تا به یخ $-۱۰^\circ C$ تبدیل شود؟ $(c_{آب} = ۴۲۰۰\frac{J}{kg.^\circ C} \ , \ c_{یخ} = ۲۱۰۰\frac{J}{kg.^\circ C} \ , \ L_{F_{یخ}} = ۳۳۴۰۰۰\frac{J}{kg})$

برای تبدیل آب $۲۰^\circ C$ به یخ $-۱۰^\circ C$ مراحل زیر طی می‌شود:



مرحلهٔ اول: آب تغییر دما می‌دهد:

$$Q_1 = mc_{آب}\Delta\theta = ۰/۵ \times ۴۲۰۰(۰ - (-۲۰)) = -۴۲۰۰۰J$$

مرحلهٔ دوم: آب تغییر حالت داده و به یخ تبدیل می‌شود:

$$Q_2 = -mL_F = -۰/۵ \times ۳۳۴۰۰۰ = -۱۶۷۰۰۰J$$

مرحلهٔ سوم: یخ تغییر دما می‌دهد:

$$Q_3 = mc_{یخ}\Delta\theta = ۰/۵ \times ۲۱۰۰(-۱۰ - ۰) = -۱۰۵۰۰J$$

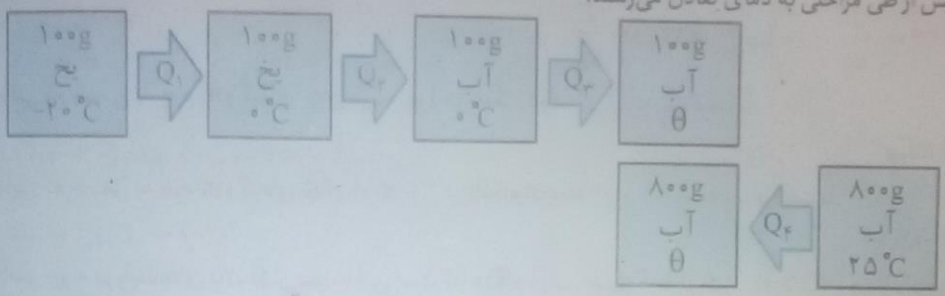
کل گرمایی که آب در این فرایند از دست می‌دهد، برابر است با:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = -۴۲۰۰۰ - ۱۶۷۰۰۰ - ۱۰۵۰۰ = -۲۱۹۵۰۰J$$

مثال: مقدار ۱۰۰g یخ $-۲۰^\circ C$ را در ۸۰۰g آب $۲۵^\circ C$ می‌اندازیم. اگر همهٔ یخ ذوب شود، دمای تعادل چقدر می‌شود؟

$(c_{آب} = ۴۲۰۰\frac{J}{kg^\circ C}\ ,\ c_{یخ} = ۲۱۰۰\frac{J}{kg.^\circ C}\ ,\ L_{F_{یخ}} = ۳۳۴۰۰۰\frac{J}{kg})$

آب و یخ پس از طی مراحلی به دمای تعادل می‌رسند:



$$Q_1 = mc_{یخ}\Delta\theta = ۰/۱ \times ۲۱۰۰ \times (۰ - (-۲۰)) = ۴۲۰۰J$$

$$Q_2 = mL_{F_{یخ}} = ۰/۱ \times ۳۳۴۰۰۰ = ۳۳۴۰۰J$$

$$Q_3 = mc_{آب}\Delta\theta = ۰/۱ \times ۴۲۰۰(\theta - ۰) = ۴۲۰\theta$$

$$Q_4 = mc_{آب}\Delta\theta = ۰/۸ \times ۴۲۰۰(\theta - ۲۵) = ۳۳۶۰(\theta - ۲۵) = ۳۳۶۰\theta - ۸۴۰۰۰$$

در تعادل گرمایی: $Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = ۰ \rightarrow ۴۲۰۰ + ۳۳۴۰۰ + ۴۲۰\theta + ۳۳۶۰\theta - ۸۴۰۰۰ = ۰$

دمای تعادل $۳۷۸۰\theta - ۴۶۴۰۰ = ۰ \rightarrow ۳۷۸۰\theta = ۴۶۴۰۰ \rightarrow \theta = \frac{۴۶۴۰۰}{۳۷۸۰} = ۱۲/۲۷^\circ C \rightarrow \theta = ۱۲/۲۷^\circ C$

تبخیر و میعان

تبخیر: به تبدیل مایع به گاز، تبخیر و به گاز حاصل از تبخیر، بخار می‌گویند. تبخیر مایع در هر دمایی می‌تواند رخ دهد.

تبخیر سطحی: به تبخیری که تا پیش از رسیدن به نقطهٔ جوش مایع انجام می‌شود، «تبخیر سطحی» می‌گویند. در این حالت مولکول‌هایی که تندی زیادی دارند از سطح مایع جدا می‌شوند.

نکته: از جمله عوامل مؤثر بر تبخیر سطحی، دمای مایع و مساحت سطح آن است.

نقطهٔ جوش: با گرم کردن مایع به دمایی می‌رسیم که حباب‌های گاز از داخل مایع بالا می‌آیند. به این حالت جوشیدن و به این دما «نقطهٔ جوش» می‌گویند.

نکته: در جوشیدن، کل مایع در فرایند تبخیر شرکت می‌کند و در نقطهٔ جوش مایع، آهنگ تبخیر به بیشترین مقدار خود می‌رسد.

گرمای نهان تبخیر: مقدار گرمای مورد نیاز برای تبخیر یک کیلوگرم از مایع را «گرمای نهان تبخیر» مایع می‌گویند و آن را با L_V نشان می‌دهند و یکای گرمای نهان تبخیر $\frac{J}{kg}$ است. مقدار این گرما به جنس ماده و دما بستگی دارد.

مقدار گرمای لازم برای تبخیر مایعی به جرم m و گرمای نهان تبخیر L_V برابر است با:

$$Q = +mL_V$$

میعان: تبدیل بخار به مایع را «میعان» می‌گویند که وارون تبخیر است و در هر دمایی رخ می‌دهد.

گرمایی که مقداری بخار به جرم m و گرمای نهان تبخیر L_V به هنگام میعان از دست می‌دهد برابر است با:

$$Q = -mL_V$$

نکته: علامت + و - در رابطه‌های بالا، نشان‌دهنده این است که هنگام تبخیر، مایع گرما می‌گیرد $(Q > ۰)$ و هنگام میعان، بخار گرما از دست می‌دهد $(Q < ۰)$.

گرمکن الکتریکی: وسیله‌ای است که انرژی الکتریکی را به گرما تبدیل می‌کند، مثال: سماور برقی، اتو، بخاری برقی و ...

نکته مقدار گرمایی که یک گرمکن الکتریکی با توان P در مدت زمان t تولید می‌کند، برابر است با: $Q = Pt$

در این رابطه، Q: گرمای تولیدی برحسب J، P: توان گرمکن برحسب W و t: زمان برحسب s است.

مثال: یک کتری برقی ۲۵۰g آب در حال جوش را در مدت ۵ دقیقه به‌طور کامل تبخیر می‌کند. توان این وسیله چقدر است؟

$(L_V = ۲۲۵۶ \frac{kJ}{kg})$

$m = ۲۵۰g = ۰/۲۵kg \ , \ t = ۵min = ۵ \times ۶۰ = ۳۰۰s \ , \ P = ?$

ابتدا گرمای لازم برای تبخیر ۲۵۰g آب را محاسبه می‌کنیم: $Q = mL_V = ۰/۲۵ \times ۲۲۵۶ \times ۱۰^۳ = ۵۶۴ \times ۰^۳ J$

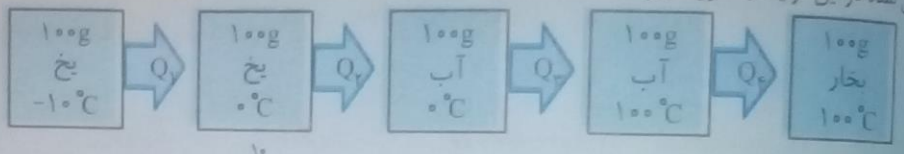
این گرما توسط کتری برقی تولید می‌شود. پس توان کتری به صورت زیر به دست می‌آید.

$$Q = Pt \rightarrow P = \frac{Q}{t} = \frac{۵۶۴ \times ۱۰^۳}{۳۰۰} = ۱/۸۸ \times ۱۰^۳ W \rightarrow P = ۱۸۸۰W$$

مثال۲: چه مقدار گرما لازم است تا ۱۰۰g یخ $-۱۰^\circ C$ به بخار $۱۰۰^\circ C$ تبدیل شود؟

$(L_{F_{یخ}} = ۳۳۴ \frac{kJ}{kg} \ , \ c_{یخ} = ۲۱۰۰ \frac{J}{kg.^\circ C} \ , \ L_{V_{آب}} = ۲۲۵۵ \frac{kJ}{kg} \ , \ c_{آب} = ۴۲۰۰ \frac{J}{kg.^\circ C})$

مراحل طی شده در این فرایند به‌صورت زیر است:



$Q_۱ = mc_{یخ}\Delta\theta = ۰/۱ \times ۲۱۰۰ \times (۰ - (-۱۰)) = ۲۱۰۰J = ۲/۱kJ$

$Q_۲ = mL_F = ۰/۱ \times ۳۳۴ = ۳۳/۴kJ$

$Q_۳ = mc_{آب}\Delta\theta = ۰/۱ \times ۴۲۰۰ \times (۱۰۰ - ۰) = ۴۲۰۰۰J = ۴۲kJ$

$Q_۴ = mL_V = ۰/۱ \times ۲۲۵۶ = ۲۲۵/۶kJ$

$Q = Q_۱ + Q_۲ + Q_۳ + Q_۴ = ۲/۱ + ۳۳/۴ + ۴۲ + ۲۲۵/۶ = ۳۰۳/۱kJ$

مثال۳: ۲۰۰g بخار آب چه مقدار باید گرما از دست دهد تا به آب تبدیل شود؟ $(L_{V_{آب}} = ۲۲۵۶ \frac{kJ}{kg})$

$m = ۲۰۰g = ۰/۲kg \ , \ Q = -mL_V = -۰/۲ \times ۲۲۵۶ = -۴۵۱/۲kJ \rightarrow Q = -۴۵۱/۲kJ$

روش‌های انتقال گرما

الف) رسانش گرمایی در این روش به دلیل ارتعاش اتم‌ها و حرکت الکترون‌های آزاد در قسمت‌های گرم‌تر و گسترش این حرکت و ارتعاشات به سراسر جسم، گرما منتقل می‌شود، مثل انتقال گرما در فلزات.

نکته در فلزات گرما هم از طریق ارتعاشات اتم‌ها و هم از طریق حرکت الکترون‌های آزاد منتقل می‌شود ولی سهم الکترون‌های آزاد در انتقال گرما بیشتر از اتم‌ها است. (در غیر فلزات گرما فقط از طریق ارتعاش اتم‌ها انتقال می‌یابد.)

عوامل مؤثر بر میزان رسانش گرمایی فلزات عبارتند از:

۱- **طول جسم** هر قدر طول یک جسم بیشتر باشد، آهنگ رسانش گرمایی آن کمتر است.

۲- **سطح مقطع جسم** هر قدر سطح مقطع جسم بیشتر باشد، رسانش گرمایی آن نیز بیشتر است.

۳- **اختلاف دما** هر قدر اختلاف دما بیشتر باشد، رسانش گرمایی نیز بیشتر است.

۴- **جنس ماده** مواد مختلف متناسب به ساختار اتمی و مولکولی آنها رسانندگی گرمایی متفاوتی دارند. مثلاً رسانندگی گرمایی یک فلز بیشتر از شیشه یا چوب است.

آهنگ رسانش گرما مقدار گرمای عبوری از جسم در هر ثانیه را آهنگ رسانش گرما می‌گویند و آن را با H نشان داده و یکای آن $\frac{J}{s}$ یا W (وات) است.

میله‌ای به طول L و سطح مقطع A داریم، اگر اختلاف دمای دو سر میله $(T_H - T_L)$ باشد، آهنگ رسانش گرما در این میله برابر است با:

$$H = \frac{Q}{t} = k\frac{A(T_H - T_L)}{L}$$

در این رابطه:

H : آهنگ رسانش گرما بر حسب W ، k: رسانندگی گرمایی میله بر حسب $\frac{J}{s.m.K}$ یا $\frac{W}{m.k}$ ، T_H : دمای قسمت گرم‌تر بر حسب K یا $^\circ C$ ، T_L : دمای قسمت سردتر بر حسب K یا $^\circ C$ ، A : سطح مقطع میله بر حسب m^2 و L : طول میله بر حسب m است.

نکته رسانندگی گرمایی یک جسم (k) به جنس جسم بستگی دارد.

نکته اگرچه رابطهٔ فوق برای یک میله ذکر شده ولی می‌توان آن را برای هر جسم با سطح مقطع A و طول L نیز به‌کار برد.

مثال ۱: ابعاد دیوار اتاقی $3m$ و $5m$ و ضخامت آن $15cm$ است. اگر این دیوار از آجر با رسانندگی گرمایی $0/8\frac{W}{m.K}$ ساخته شده و دمای داخل اتاق $25^\circ C$ و دمای بیرون $-5^\circ C$ باشد.

الف) آهنگ رسانش گرما از این دیوار چقدر است؟

$$A = 3 \times 5 = 15m^2 \quad , \quad L = 15cm = 0/15m \quad , \quad k = 0/8\frac{W}{m.K}$$

و $T_H - T_L = 25 - (-5) = 30^\circ C = 30K$ ، $H = ?$

$$H = k\frac{A(T_H - T_L)}{L} = \frac{0/8 \times 15 \times 30}{0/15} = 2400W \rightarrow H = 2400W$$

ب) از این دیوار در مدت ۵ دقیقه چند کیلو ژول گرما عبور می‌کند؟

$$H = 2400W \quad , \quad t = 5 \times 60 = 300s \quad , \quad Q = ?$$

$$H = \frac{Q}{t} \rightarrow Q = H.t = 2400 \times 300 = 720000J = 720kJ \rightarrow Q = 720kJ$$

مثال ۲: بین دو لایه شیشه دو جداره‌ای از آب پر شده است. اگر ابعاد شیشه $5m$ و $2m$ و ضخامت لایهٔ میانی آب داخل آن $2cm$ و اختلاف دمای داخل و بیرون $20^\circ C$ باشد، آهنگ رسانش گرما از این لایه آب چقدر است؟ $(k_{آب} = 0/6\frac{W}{m.K})$

$$A = 2 \times 5 = 10m^2 \quad , \quad L = 2cm = 0/02m \quad , \quad T_H - T_L = 20^\circ C = 20K \quad , \quad H = ?$$

$$H = k\frac{A(T_H - T_L)}{L} = 0/6 \times \frac{10 \times 20}{0/02} = 6000W \rightarrow H = 6000W$$

مثال ۳: یک سر میلهٔ آهنی به طول $120cm$ را در آب جوش و سر دیگر آن را در مخلوط آب و یخ قرار می‌دهیم. اگر شعاع میله $2cm$ باشد، چند ژول گرما در مدت یک دقیقه از این میله شارش می‌کند؟ $(k_{آهن} = 80\frac{W}{m.K} \quad , \quad \pi \simeq 3)$

$$L = 120cm = 1/2m \quad , \quad T_H - T_L = 100 - 0 = 100^\circ C = 100K \quad , \quad r = 2cm \quad , \quad t = 1min = 60s \quad , \quad Q = ?$$

$$A = \pi r^2 = 3 \times 2^2 = 12cm^2 = 12 \times 10^{-4}m^2$$

$$H = k\frac{A(T_H - T_L)}{L} = \frac{80 \times 12 \times 10^{-4} \times 100}{1/2} = 8W \rightarrow H = 8W$$

ابتدا آهنگ رسانش گرما را محاسبه می‌کنیم:

گرمای عبوری از میله در مدت یک دقیقه به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$H = \frac{Q}{t} \rightarrow Q = H.t = 8 \times 60 = 480J \rightarrow Q = 480J$$

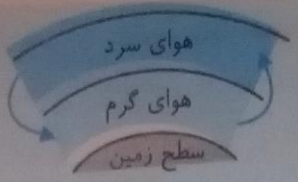
ب) همرفت این روش انتقال گرما مختص مایع‌ها و گازها است. در این روش در اثر گرما، فاصله متوسط مولکول‌ها در بخش‌هایی از شاره که در تماس با جسم گرم است، افزایش یافته و حجم آن زیاد می‌شود. در نتیجه چگالی شاره کاهش یافته و بنابه اصل ارشمیدس، نیروی شناوری باعث بالا آمدن آن در محیط می‌شود. آنگاه شاره سردتر اطراف آن، جایگزین شاره گرم‌تر شده و گرما منتقل می‌شود.

انواع روش همرفت

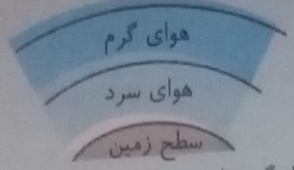
۱- **همرفت طبیعی** در این روش شاره خودبه‌خود و بدون استفاده از وسیلهٔ دیگر و فقط به خاطر نیروی شناوری در محیط حرکت می‌کند، مثل گرم شدن هوای اتاق به وسیلهٔ بخاری یا گرم شدن آب درون ظرف یا وزش بادها.

۲- **همرفت واداشته** در این روش شاره با کمک یک وسیلهٔ خارجی (تلنبهٔ طبیعی یا مصنوعی) به حرکت واداشته می‌شود، مثل سیستم گرم‌کننده ساختمان (شوفاژ) یا دستگاه گردش خون جانداران.

همرفت طبیعی هوا در شرایط عادی هوای اطراف سطح زمین گرم و هوای لایه‌های بالاتر سرد است. در این شرایط در اثر پدیدهٔ همرفت هوای گرم با چگالی کمتر به بالا رفته و هوای سردتر با چگالی بیشتر جای آن را می‌گیرد و بدین‌ترتیب چرخش هوا در سطح زمین ایجاد می‌شود.



وارونگی هوا (وارونگی دما) در روزهای سرد زمستانی هوای اطراف سطح زمین سرد و چگالی آن زیاد و هوای لایه‌های بالاتر، گرم‌تر و چگالی آنها کمتر است. تحت این شرایط همرفت طبیعی هوا متوقف می‌شود که به آن «وارونگی هوا» می‌گویند.



نکته وارونگی هوا باعث انباشت آلاینده‌های موجود در لایه هوای سرد سطح زمین و در نتیجه آلودگی هوا در شهرهای صنعتی می‌شود.

ج) تابش گرمایی به انتقال گرما از طریق امواج الکترومغناطیسی که از اجسام منتشر می‌شود، تابش گرمایی می‌گویند.

نکته اجسام در هر دمایی تابش الکترومغناطیسی گسیل می‌کنند.

دماسنگار بخشی از تابش‌های گرمایی منتشر شده از اجسام، تابش نامرئی فروسرخ است که برای آشکارسازی آن از ابزاری به نام دماسنگار استفاده می‌شود.

عوامل مؤثر بر تابش گرمایی

۱- دما: افزایش دما، تابش گرمایی را افزایش می‌دهد.

۲- مساحت: افزایش مساحت، تابش گرمایی جسم را افزایش می‌دهد.

۳- رنگ: رنگ‌های تیره و مات، تابش گرمایی بیشتری نسبت به رنگ روشن دارند.

۴- صیقلی یا کدر بودن: سطوح ناصاف تابش گرمایی بیشتر و سطوح صاف تابش گرمایی کمتری دارند.

نکته روش‌های اندازه‌گیری دما بر مبنای تابش گرمایی را «تف‌سنجی» و ابزارهای اندازه‌گیری دما در این روش را «تف‌سنج» می‌گویند.

نکته تف‌سنج‌ها بدون تماس با جسم، دما را اندازه‌گیری می‌کنند و معمولاً برای اندازه‌گیری دماهای بیشتر از $1100^\circ C$ به‌کار می‌روند.

انواع تف‌سنج:

۱- **تف‌سنج تابشی:** در این وسیله دمای جسم با متمرکز کردن تابش گرمایی گسیل شده از آن روی ترموکوپل و تغییر ولتاژ خروجی ترموکوپل اندازه‌گیری می‌شود.

۲- **تف‌سنج نوری** اساس کار این تف‌سنج‌ها مقایسه رنگ و شدت نور تابیده از کوره با رنگ و شدت نور یک لامپ رشته‌ای است.

اثر گلخانه‌ای نور خورشید با عبور از جو به سطح زمین می‌رسد و بخشی از آن جذب زمین و بخشی دیگر با انعکاس و تابش گرمایی گسیل می‌شود. وجود گازهایی مثل دی‌اکسیدکربن در لایهٔ پوش‌سپهر باعث بازتابش دوباره گرمای گسیل شده به سطح زمین می‌شود. رفت و برگشت تابش گرمایی بین این لایه و سطح زمین با ایجاد محیطی محصور مانع از خروج گرما از سطح زمین و در نتیجه افزایش دمای زمین می‌شود. به این پدیده یعنی به دام افتادن تابش گرمایی بین لایهٔ پوش‌سپهر و سطح زمین «اثر گلخانه‌ای» می‌گویند.

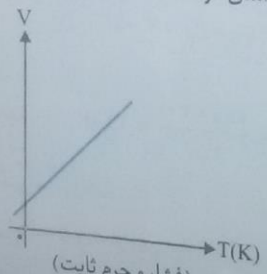
گازهای گلخانه‌ای به گازهای موجود در لایهٔ پوش‌سپهر که باعث به‌وجود آمدن اثر گلخانه‌ای می‌شوند، «گازهای گلخانه‌ای» می‌گویند.

قوانین گازها

گاز در فشار ثابت اگر فشار مقدار معینی گاز ثابت باشد، حجم و دمای گاز رابطهٔ مستقیم دارند (حجم و دما متناسب‌اند). در نتیجه:

$$\frac{V}{T} = \text{ثابت}$$

نمودار (V-T) مقدار معینی گاز در فشار ثابت به‌صورت زیر است:

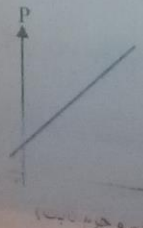


(فشار و جرم ثابت)

گاز در حجم ثابت اگر حجم مقدار معینی گاز ثابت باشد، فشار و دمای گاز رابطهٔ مستقیم دارند (فشار و دما متناسب‌اند). در نتیجه:

$$\frac{P}{T} = \text{ثابت}$$

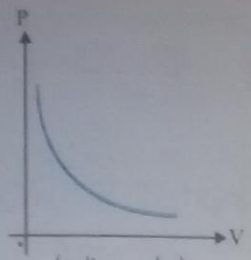
نکته نمودار (P-T) مقدار معینی گاز در فشار ثابت به‌صورت زیر است:



(حجم و جرم ثابت)

اگر دمای مقدار معینی گاز ثابت باشد، فشار و حجم آن رابطهٔ معکوس دارند. در نتیجه:

نمودار ($P-V$) مقدار معینی گاز در دمای ثابت به‌صورت زیر است:



(دما و جرم ثابت)

$PV =$ ثابت

با توجه به روابط بالا می‌توان نتیجه گرفت، اگر طی فرایندی فشار، حجم و دمای گازی را از P_1 ، V_1 و T_1 به P_2، V_2 و T_2 برسانیم، آنگاه می‌توان نوشت:

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

در این رابطه دما حتماً باید بر حسب کلوین نوشته شود و یکاهای P ، V و T در دو طرف معادله یکسان باشد.

مثال ۱: دمای مقدار معینی اکسیژن را در فشار ثابت از $0^\circ C$ به $273^\circ C$ می‌رسانیم. اگر حجم اولیهٔ گاز $2\,L$ باشد، حجم نهایی آن چند سانتی‌متر مکعب است؟

$$P = \text{ثابت} \ , \ T_1 = 0 + 273 = 273K \ , \ T_2 = 273 + 273 = 546K \ , \ V_1 = 2L \ , \ V_2 = ?$$

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2} \xrightarrow{\text{ثابت } P} \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \rightarrow \frac{2}{273} = \frac{V_2}{546} \rightarrow V_2 = 4L \rightarrow V_2 = 4L$$

از آن‌جا که هر لیتر $1000cm^3$ است، حجم نهایی بر حسب سانتی‌متر مکعب برابر است با: $V_2 = 4 \times 1000 = 4000cm^3$

مثال ۲: حجم مخزن یک گاز $120cm^3$ و فشار گاز داخل آن $1atm$ است. اگر در دمای ثابتی حجم آن را به $15cm^3$ برسانیم، فشار گاز چقدر می‌شود؟

$$V_1 = 120cm^3 \ , \ P_1 = 1atm \ , \ T = \text{ثابت} \ , \ V_2 = 15cm^3 \ , \ P_2 = ?$$

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2} \xrightarrow{\text{ثابت } T} P_1V_1 = P_2V_2 \rightarrow 1 \times 120 = P_2 \times 15 \rightarrow P_2 = \frac{120}{15} = 8atm \rightarrow P_2 = 8atm$$

مثال ۳: فشارسنجی فشار هوای داخل لاستیک یک خودرو در دمای $7^\circ C$ را برابر $250kPa$ نشان می‌دهد پس از مدتی رانندگی این فشار به $300kPa$ می‌رسد، دمای هوای داخل لاستیک در این فشار چقدر است؟ (حجم لاستیک ثابت فرض شود و $P_0 = 10^5 Pa$) باتوجه به اینکه فشارسنج فشار پیمانه‌ای هوای داخل لاستیک را اندازه‌گیری می‌کند داریم:

$$P_1 = P_0 + 250kPa = 100000 + 250000Pa = 350kPa \rightarrow P_1 = 350kPa$$

$$P_2 = P_0 + 300kPa = 100000 + 300000 = 400000Pa = 400kPa \rightarrow P_2 = 400kPa$$

$$T_1 = 7 + 273 = 280K \rightarrow T_1 = 280K$$

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2} \xrightarrow{\text{ثابت } V} \frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \rightarrow \frac{350}{280} = \frac{400}{T_2} \rightarrow T_2 = \frac{280 \times 400}{350} = 320K \rightarrow T_2 = 320K$$

این دما بر حسب درجهٔ سلسیوس برابر است با: $T = \theta + 273 \rightarrow 320 = \theta + 273 \rightarrow \theta = 320 - 273 = 47^\circ C$

مثال ۴: فشار مخزن گازی $5atm$ و دمای آن $-23^\circ C$ است. اگر دمای گاز را به $127^\circ C$ برسانیم، حجم گاز دو برابر حجم اولیه آن می‌شود. در این حالت فشار گاز چقدر است؟

$$P_1 = 5atm \ , \ T_1 = -23 + 273 = 250K \ , \ T_2 = 127 + 273 = 400K \ , \ V_2 = 2V_1 \ , \ P_2 = ?$$

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2} \rightarrow \frac{5 \times V_1}{250} = \frac{P_2 \times 2V_1}{400} \rightarrow \frac{5}{250} = \frac{P_2}{200} \rightarrow P_2 = \frac{200 \times 5}{250} = 4atm \rightarrow P_2 = 4atm$$

اگر تعداد مول گاز را با n و عدد آووگادرو ($6/02 \times 10^{23}$) را با N_a نشان دهیم، تعداد مولکول‌های n مول گاز برابر است با:

$$N = n.N_a \rightarrow \text{تعداد کل مولکول‌ها} = \text{تعداد مول} \times \text{عدد آووگادرو}$$

در دما و فشار ثابت حجم گاز به تعداد مولکول آن (N) ثابت است:

$$\frac{V}{N} = \text{ثابت} \xrightarrow{N=nN_a} \frac{V}{nN_a} = \text{ثابت} \xrightarrow{N_a \text{ ثابت}} \frac{V}{n} = \text{ثابت (دما و فشار یکسان)}$$

تمرین ۴-۲ ۹۷

الف) دمای بدن یک انسان سالم تقریباً $37^\circ C$ است. این دما را بر حسب کلوین و فارنهایت بنویسید.

$$\theta = 37^\circ C \text{ دمای بدن}: \begin{cases} T = \theta + 273 = 37 + 273 = 310K \\ F = \frac{9}{5}\theta + 32 = \frac{9}{5} \times 37 + 32 = 98/6^\circ F \end{cases}$$

ب) گرم‌ترین نقطهٔ روی زمین، ناحیه‌ای در کویر لوت است که دمای آن تا حدود $70^\circ C$ و سردترین نقطه در قطب جنوب است که دمای آن تا $-89^\circ C$ گزارش شده است. این دماها را بر حسب کلوین و فارنهایت به‌دست آورید.

$$\theta = 70^\circ C \begin{cases} T = \theta + 273 = 70 + 273 = 343K \\ F = \frac{9}{5}\theta + 32 = \frac{9}{5} \times 70 + 32 = 158^\circ F \end{cases}$$

$$\theta = -89^\circ C \begin{cases} T = \theta + 273 = -89 + 273 = 184K \\ F = \frac{9}{5}\theta + 32 = \frac{9}{5} \times (-89) + 32 = -128/2^\circ F \end{cases}$$

فعالیت ۴-۱ ۹۷

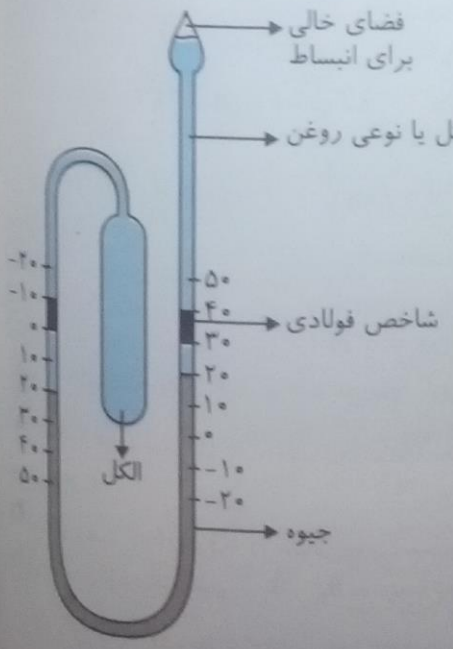
تحقیق کنید برای نگهداری یاخته‌های بنیادی بند ناف خون، به چه دمایی نیازمندیم. این دما چگونه ایجاد و حفظ می‌شود؟

دمای نگهداری سلول‌های بند ناف در حدود $-196^\circ C$ است. این دما توسط نیتروژن مایع با نقطهٔ جوش $-196^\circ C$ ایجاد می‌شود. در این حالت نیتروژن و سلول‌های بند ناف در تانک‌های خلاء که مبادلهٔ گرما با محیط را تقریباً به صفر می‌رساند نگهداری می‌شوند. در این تانک‌ها بین جدارهٔ داخلی و بیرونی خلاء وجود دارد.

فعالیت ۴-۲ ۹۹

نوع ویژه‌ای از دماسنج‌های مایعی که بیشینه و کمینهٔ دما را در یک مدت زمان معیّن نشان می‌دهد، دماسنج بیشینه - کمینه نام دارد. از این دماسنج‌ها معمولاً در مراکز پرورش گل و گیاه، باغداری، هواشناسی و ... استفاده می‌شود. در مورد چگونگی کار این دماسنج‌ها تحقیق کنید.

طرح این نوع دماسنج در شکل مقابل رسم شده است. هنگامی‌که دما بالا می‌رود، به سبب انبساط الکل در مخزن سمت چپ، جیوه در لولهٔ سمت راست به بالا رانده می‌شود و شاخص فولادی لولهٔ سمت راست را با خود بالا می‌برد. اگر سطح جیوه در لولهٔ سمت راست پایین بیاید، شاخص فولادی که به آن فنرهای ریزی متصل است همراه با آن حرکت نمی‌کند و در همان محل قبلی خود در مقابل دمای بیشینه می‌ایستد. هنگامی‌که الکل به علت کاهش دما منقبض می‌شود جیوه از طرف چپ لوله U شکل بالا می‌رود و شاخص فولادی دیگر را در این طرف لوله به بالا می‌راند اگر سطح جیوه در لوله سمت چپ پایین بیاید. شاخص فولادی سمت چپ نیز که به آن فنرهای ریزی متصل است همراه با آن حرکت نمی‌کند و در همان محل قبلی خود در مقابل دمای کمینه می‌ایستد. در پایان مدت زمان موردنظر، با استفاده از آهن‌ربا این دو شاخص به سطح جیوه برگردانده می‌شوند. در شکل مقابل حداقل دما $0^\circ C$ و حداکثر آن $30^\circ C$ است.



پرسش ۴-۱ ۱۰۰

الف) چرا بهتر است قفل و کلید یک در، هم‌جنس باشند؟

زیرا در این صورت در اثر تغییر دما، ابعاد هر دو به یک میزان تغییر کرده و کلید در قفل گیر نمی‌کند.

ب) چرا در برخی از فصل‌های سال، بعضی از درب‌ها در چارچوب خود گیر می‌کنند؟

زیرا تغییرات دما در فصول مختلف سال، تغییرات متفاوتی را در ابعاد درب و چارچوب ایجاد کرده (این تغییر می‌تواند به دلیل تفاوت جنس درب و چارچوب باشد) و در نتیجه درب گیر می‌کند.

فعالیت ۴-۳ ۱۰۰

۱- شکل (الف) طرحی از دو قسمت متوالی خط آهن (ریل راه‌آهن)های قدیمی و شکل (ب) تصویر واقعی از آن را در گذشته نشان می‌دهد. اگر فاصلهٔ خالی بین این دو قسمت به حدّ کافی زیاد نمی‌بود، چه مشکلی پیش می‌آمد؟

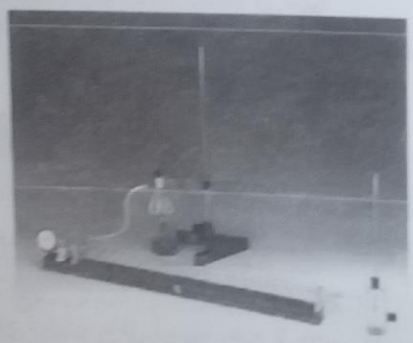
تغییر طول هر بخش از ریل‌ها در اثر انبساط و انقباض ناشی از تغییرات دما، موجب وارد شدن نیرو به بخش‌های دیگر می‌شد و این نیرو باعث خمیده شدن ریل‌ها و یا جدا شدن اتصالات آن می‌شد.

۲- امروزه بین قسمت‌های متوالی خط آهن فاصله‌ای در نظر گرفته نمی‌شود و این قسمت‌ها پشت سر هم جوشکاری می‌شوند. تحقیق کنید در این روش چگونه مشکل ناشی از انبساط در یک روز گرم تابستانی برطرف می‌شود؟

امروزه برای اتصال ریل‌ها به پایه‌های زیرین خطوط (به این پایه‌ها تراورس می‌گویند) از پیچ و مهره استفاده نمی‌شود بلکه ریل توسط بست‌های فلزی محکمی به پایه‌ها می‌چسبد در نتیجه امکان انبساط طولی به هر میزان از دو طرف آزاد ریل که معمولاً در محل تعویض خطوط در ایستگاه‌ها است وجود دارد.

آزمایش ۴-۱ ۱۰۲

هدف: اندازه‌گیری ضریب انبساط طولی



وسیله‌های موردنیاز: دستگاه اندازه‌گیری ضریب انبساط طولی، چند لولهٔ فلزی توخالی، ارلن با لولهٔ جانبی و درپوش، لولهٔ لاستیکی، دماسنج، مجموعه پایه و گیره و چراغ الکلی.

شرح آزمایش:

۱- طول لولهٔ توخالی موردنظر را اندازه بگیرید (L_1) و لوله را روی دستگاه نصب کنید.

۲- در ارلن مقداری آب بریزید و درپوش آن را بگذارید.

$\theta_1 = ۲۵^\circ C$

۳- دمای محیط را بخوانید (θ_1) و دماسنج را در جای نشان داده شده قرار دهید.

۴- ارلن را گرما دهید تا آب به جوش آید.

۵- آن‌قدر صبر کنید تا بخار آب از لوله خارج و لولهٔ توخالی کاملاً گرم شود و سپس دمای دماسنج را بخوانید (θ_2).

$\theta_2 = ۹۵^\circ C$

$\Delta L = ۱۶mm = ۱/۶cm$

۶- افزایش طول میلهٔ توخالی را با ریزسنج متصل به دستگاه اندازه بگیرید (ΔL).

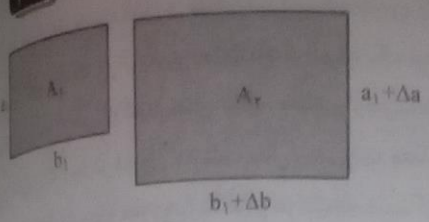
۷- با استفاده از رابطهٔ ۴-۲ ضریب انبساط طولی را به‌دست آورید.

$\Delta L = L_1 \times \Delta T \rightarrow ۰/۱۶ = ۱۲۰ \times \alpha \times (۹۵ - ۲۵) \rightarrow ۸۴۰۰\alpha = ۰/۱۶ \rightarrow \alpha = \frac{۰/۱۶}{۸۴۰۰} = ۱/۹ \times ۱۰^{-۵} \frac{۱}{K}$

۸- می‌توانید این آزمایش را برای میله‌های توخالی دیگر، تکرار کنید.

فعالیت ۴-۴

ورقه‌ای فلزی و مستطیلی‌شکل به اضلاع a_1 و b_1 را در نظر بگیرید. بر اثر افزایش دمای ΔT، طول اضلاع مستطیل به اندازهٔ Δa و Δb افزایش می‌یابند. اگر ضریب انبساط طولی ورقه α باشد، نشان دهید که افزایش مساحت این ورقه با تقریب مناسب از رابطهٔ $\Delta A = 2\alpha A_1 \Delta T$ به‌دست می‌آید.



$$A_2 = (a_1 + \Delta a)(b_1 + \Delta b) = a_1 b_1 + a_1 \Delta b + b_1 \Delta a + \Delta a \Delta b$$

$$\left.\begin{matrix} \Delta a = a_1 \alpha \Delta T \\ \Delta b = b_1 \alpha \Delta T \end{matrix}\right\} \rightarrow A_2 = a_1 b_1 + a_1 b_1 \alpha \Delta T + b_1 a_1 \alpha \Delta T + a_1 \alpha \Delta T b_1 \alpha \Delta T$$

$$A_1 = a_1 b_1 \rightarrow A_2 = A_1 + A_1 \alpha \Delta T + A_1 \alpha \Delta T + A_1 (\alpha \Delta T)^2$$

با توجه به کوچک بودن ضریب α از عبارت $A_1(\alpha\Delta T)^2$ می‌توان صرف‌نظر کرد. در نتیجه:

$$A_2 = A_1 + 2A_1 \alpha \Delta T \rightarrow A_2 - A_1 = 2\alpha A_1 \Delta T \rightarrow \Delta A = 2\alpha A_1 \Delta T$$

تمرین ۴-۳

شکل‌های (الف) و (ب) نشان می‌دهند که وقتی روی یک ورقهٔ فلزی حفره‌ای دایره‌ای داشته باشیم و ورقه را گرم کنیم، قطر (یا مساحت) حفره بزرگ می‌شود. فرض کنید جنس ورقه، برنجی است و حفره‌ای به قطر ۱ اینچ (۲/۵۴cm) درون آن ایجاد شده است. وقتی دمای ورقه، $200^\circ C$ افزایش یابد، افزایش مساحت حفره چقدر خواهد شد؟

$\Delta T = 200^\circ C$ ، شعاع حفره $R = 2/54 \div 2 = 1/27 cm$ ، $\alpha_{برنج} = 19 \times 10^{-6} \frac{1}{K}$

ابتدا مساحت اولیهٔ حفره را محاسبه می‌کنیم: $A_1 = \pi R^2 = 3/14 \times (1/27)^2 \simeq 5 cm^2$

$$\Delta A = 2\alpha A_1 \Delta T = 2 \times 19 \times 10^{-6} \times 5 \times 200 = 2 \times 19 \times 5 \times 2 \times 10^{-4} = 380 \times 10^{-4} = 38 \times 10^{-3} cm^2$$

$$\rightarrow \Delta A = 3/8 \times 10^{-2} cm^2$$

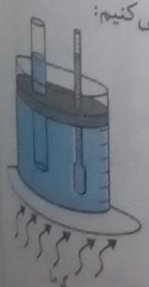
فعالیت ۴-۵

آزمایشی را طراحی و اجرا کنید که با آن بتوانید حجم گلیسیرین سرریز شده در مثال ۴-۴ را اندازه بگیرید. سپس از روی آن، ضریب انبساط حجمی گلیسیرین را تعیین کنید.

وسایل آزمایش: گلیسیرین، استوانهٔ مدرج، درپوش پلاستیکی استوانهٔ مدرج با دو سوراخ، دماسنج، لولهٔ مدرج، چراغ الکلی و پایه.

شرح آزمایش: داخل استوانهٔ مدرج تا حجم $100 cm^3$ گلیسیرین می‌ریزیم ($V_1 = 100 cm^3$). دماسنج و لولهٔ مدرج را از سوراخ‌های درپوش عبور داده و درپوش را بر روی ظرف طوری قرار می‌دهیم که سطح گلیسیرین را به‌طور کامل بپوشاند. دمای اولیه گلیسیرین را با دماسنج اندازه‌گیری می‌کنیم. ($\theta_1 = 20^\circ C$).

ظرف را بر روی پایه قرار داده و توسط چراغ به آن گرما می‌دهیم تا دمای آن به $60^\circ C$ برسد ($\theta_2 = 60^\circ C$). گلیسیرین منبسط شده و از لولهٔ مدرج بالا می‌آید. حجم گلیسیرین منبسط شده در دمای $60^\circ C$ را توسط لولهٔ مدرج مشخص می‌کنیم ($\Delta V = 2 cm^3$) حال با کمک رابطه $\Delta V = \beta V_1 \Delta T$ ضریب انبساط حجمی گلیسیرین را محاسبه می‌کنیم:



$$V_1 = 100 cm^3 \ , \ \theta_1 = 20^\circ C \ , \ \theta_2 = 60^\circ C$$

$$\Delta T = \Delta\theta = 40^\circ c \ , \ \Delta V = 2 cm^3$$

$$\Delta V = \beta V_1 \Delta T \rightarrow 2 = \beta \times 100 \times 40 \rightarrow \beta = \frac{2}{4000}$$

$$\rightarrow \beta = 5 \times 10^{-4} = 5/0 \times 10^{-4} \frac{1}{K}$$

تمرین ۴-۴ ۱۰۶

افزایش دما که به طور معمول موجب افزایش حجم اجسام می‌شود، بر جرم آنها تأثیری ندارد. به همین دلیل انتظار داریم که چگالی اجسام با افزایش دما کاهش یابد. رابطهٔ چگالی با تغییر دما به‌صورت $\rho_2 = \rho_1 / (1+\beta\Delta T)$ است که در آن ρ_1 و ρ_2 به ترتیب چگالی ماده در دماهای T_1 و T_2، β ضریب انبساط حجمی و $\Delta T = T_2 - T_1$ است.

الف) رابطهٔ چگالی با تغییر دما را به‌دست آورید.

$$V_2 = V_1 + \Delta T = V_1 + \beta V_1 \Delta V = V_1(1+\beta\Delta T) \rightarrow V_2 = V_1(1+\beta\Delta T) \xrightarrow{V=\frac{m}{\rho}} \frac{m}{\rho_2} = \frac{m}{\rho_1}(1+\beta\Delta T)$$

$$\rightarrow \frac{1}{\rho_2} = \frac{1+\beta\Delta T}{\rho_1} \rightarrow \rho_2 = \frac{\rho_1}{1+\beta\Delta T}$$

ب) نشان دهید با تقریب مناسبی می‌توان چگالی جسم را از رابطهٔ $\rho_2 = \rho_1(1-\beta\Delta T)$ نیز به‌دست آورد.

عبارت را در $\frac{1-\beta\Delta T}{1-\beta\Delta T}$ ضرب می‌کنیم:

$$\rho_2 = \frac{\rho_1}{1+\beta\Delta T} \times \frac{1-\beta\Delta T}{1-\beta\Delta T} = \frac{\rho_1(1-\beta\Delta T)}{1-(\beta\Delta T)^2}$$

با توجه به این‌که $(\beta\Delta T)^2$ مقدار کوچکی است می‌توان از آن صرف نظر کرد. ($(\beta\Delta T)^2 = 0$) بنابراین:

$$\rho_2 = \frac{\rho_1(1-\beta\Delta T)}{1-0} \rightarrow \rho_2 = \rho_1(1-\beta\Delta T)$$

فعالیت ۴-۶ ۱۰۸

وقتی آب در یک ظرف روباز یخ می‌بندد معمولاً یک برآمدگی مرکزی ایجاد می‌شود. در این مورد تحقیق کنید.

یخ زدن از سطح آب شروع شده و تقاطی که نزدیک به دیواره‌های ظرف هستند سریع‌تر یخ می‌زنند (چون رسانندگی گرمایی جامدها بیشتر از مایع‌ها است مولکول‌های آب نزدیک دیواره سریع‌تر گرمای خود را از دست می‌دهند.) می‌دانیم با کاهش دمای آب از $4^\circ C$ تا $0^\circ C$ حجم آب افزایش می‌یابد. پس در حین زدن آب از طرف دیواره‌ها حجم نیز افزایش می‌یابد. چون مایع‌ها تراکم ناپذیرند این افزایش حجم به تدریج به نقطهٔ میانی ظرف منتقل و باعث بالا آمدن سطح آب در حین انجماد می‌شود.

پرسش ۴-۲ ۱۰۹

الف) منظور از اینکه «دماسنج‌های معمولی دمای خودشان را اندازه‌گیری می‌کنند» چیست؟ چون در اندازه‌گیری دما، دماسنج و محیط به تعادل گرمایی رسیده و هم‌دما می‌شوند، دماسنج‌ها با نشان دادن دمای خودشان، دمای محیط را نیز نشان می‌دهند.

ب) در یک کلاس درس میز، صندلی، دانش‌آموز، تخته، شیشه، پنجره و ... وجود دارد. در یک روز زمستانی، دمای کدام‌یک از آنها بیشتر از دمای هوای اتاق است؟ دمای کدام‌یک کمتر از دمای هوای اتاق است؟ بدن انسان چون منبع تولید گرما است دمایی بیشتر از دمای هوای کلاس دارد. اجسامی مثل شیشه و پنجره که با هوای بیرون در ارتباط هستند نیز به دلیل مبادلهٔ گرما با بیرون دمای کمتری نسبت به دمای هوای کلاس دارند. سایر اجسام داخل کلاس نیز چون همگی با هوای کلاس در تعادل گرمایی هستند دمای ثابتی دارند.

پ) در شکل ۴-۱۷ میانگین انرژی جنبشی ذرات دو جسم چگونه تغییر کرده است؟

با رسیدن به تعادل گرمایی، میانگین انرژی جنبشی ذرات جسم گرم کاهش و جسم سرد افزایش می‌یابد.

پرسش ۴-۳ ۱۱۱

چند گوی فلزی از جنس‌های مختلف، مثلاً از آلومینیم، فولاد، برنج، مس، سرب و ...، را اختیار می‌کنیم که همگی جرم یکسانی داشته باشند. گوی‌ها را توسط ریسمان‌هایی داخل ظرف آبی قرار می‌دهیم که آب آن در حال جوشیدن است و پس از مدتی گوی‌ها را بیرون آورده و آنها را روی یک ورقهٔ پارافین قرار می‌دهیم. به نظر شما کدام گوی، پارافین بیشتری را ذوب می‌کند و علت آن چیست؟ این آزمایش را نخستین بار فیزیک‌دان ایرلندی، جان تیندال (۱۸۹۳-۱۸۲۰ م)، طراحی و اجرا کرد. گویی که گرمای ویژهٔ بیشتری دارد پارافین بیشتری را ذوب می‌کند، زیرا اجسامی که گرمای ویژه‌ی بالاتری دارند در زمان سرد شدن گرمای بیشتری را به محیط و اجسامی که در تماس با آنها هستند منتقل می‌کنند.

تمرین ۴-۵ (۱۱۴)

جسمی به جرم ۰/۲۵۰kg و دمای ۳/۰°C را درون ظرف عایقی حاوی ۰/۵۰۰kg آب ۲۵/۰°C می‌اندازیم. پس از چند دقیقه دمای تعادل را اندازه می‌گیریم. دمای تعادل ۲۱/۰°C می‌شود. گرمای ویژهٔ جسم را محاسبه کنید. از تبادل گرما بین ظرف و سایر اجسام چشم‌پوشی کنید.

$c_{آب} = ۴۲۰۰ \frac{J}{kg^\circ C}$

ابتدا خلاصه اطلاعات مسئله را به‌صورت زیر می‌نویسیم:

$$\left.\begin{array}{l} \text{جسم}: m_۱ = ۰/۲۵kg \ , \ \theta_۱ = ۳^\circ C \ , \ c_۱ = ? \\ \text{آب}: m_۲ = ۰/۵kg \ , \ \theta_۲ = ۲۵^\circ C \ , \ c_۲ = ۴۲۰۰ \frac{J}{kg^\circ C} \end{array}\right\} \xrightarrow{\text{دمای تعادل}} \theta = ۲۱^\circ C$$

چون جسم و آب به تعادل گرمایی رسیده‌اند، می‌توان نوشت:

$$Q_{جسم} + Q_{آب} = ۰ \rightarrow m_۱c_۱(\theta - \theta_۱) + m_۲c_۲(\theta - \theta_۲) = ۰$$

$$\rightarrow ۰/۲۵ \times c_۱ \times \underset{۱۸}{(۲۱ - ۳)} + ۰/۵ \times ۴۲۰۰ \underset{-۴}{(۲۱ - ۲۵)} = ۰$$

$$۴/۵c_۱ - ۸۴۰۰ = ۰ \rightarrow ۴/۵c_۱ = ۸۴۰۰ \rightarrow c_۱ = \frac{۸۴۰۰}{۴/۵} = ۱۸۶۶ \rightarrow c_۱ = ۱/۸۷ \times ۱۰^۳ \frac{J}{kg^\circ C}$$

آزمایش ۴-۲ (۱۱۵)

هدف: تعیین گرمای ویژهٔ فلزی با جنس نامعین

وسیله‌های موردنیاز: گرماسنج با ظرفیت گرمایی معین، یک جسم کوچک فلزی (مثل یک وزنهٔ فلزی قلاب‌دار)، دماسنج، ترازو، بشر شیشه‌ای، چراغ گازی، سه‌پایه و شعله بخش‌کن، انبر.

شرح آزمایش:

۱- مقداری آب با جرم معلوم را درون گرماسنج بریزید و صبر کنید و تا دمای گرماسنج و آب یکسان شود. این دما را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$C_{گرماسنج} = ۷۸J/^\circ C \ , \ \theta_{آب} = \theta_{گرماسنج} = ۲۰^\circ C \ , \ m_{آب} = ۳۰۰g$

۲- جرم جسم فلزی را به کمک ترازو اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$m_{فلز} = ۱۸۰g$

۳- جسم فلزی را درون بشر قرار دهید، مقداری آب روی آن بریزید و سپس مجموعه را روی چراغ گازی روشن بگذارید.

۴- صبر کنید تا آب چند دقیقه بجوشد. دمای آب را در این حالت اندازه بگیرید. این دما، همان دمای جسم فلزی نیز هست.

$\theta_{فلز} = ۱۰۰^\circ C$

۵- جسم داغ شده را توسط انبر به سرعت درون گرماسنج بیندازید.

۶- آب درون گرماسنج را با همزن آن به هم بزنید و دمای تعادل را اندازه گرفته و یادداشت کنید.

$\theta_{تعادل} = ۲۴^\circ C$

۷- با استفاده از رابطهٔ ۴-۱۰ گرمای ویژهٔ جسم فلزی را به‌دست آورید.

$$m_{آب} c_{آب} (\theta_{تعادل} - \theta_{آب}) + m_{جسم} \ c_{جسم} (\theta_{تعادل} - \theta_{فلز}) + C_{گرماسنج} (\theta_{تعادل} - \theta_{گرماسنج}) = ۰$$

$$\rightarrow ۰/۳ \times ۴۲۰۰ \times (۲۴ - ۲۰) + ۰/۱۸ \times c_{جسم} (۲۴ - ۱۰۰) + ۷۸(۲۴ - ۲۰) = ۰$$

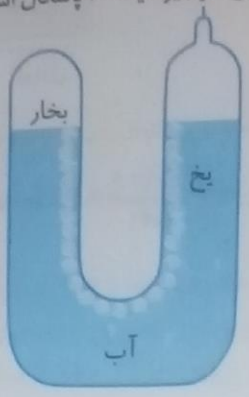
$$\Rightarrow ۵۰۴۰۰ + (-۱۳/۶۸c_{جسم}) + ۳۱۲ = ۰ \Rightarrow c_{جسم} = \frac{۵۳۵۲}{۱۳/۶۸} = ۳۹۱/۲۳ = c_{مس}$$

در نتیجه جنس قطعه فلزی از مس است.

فعالیت ۴-۷ ۱۱۷

نقطه ذوب یخ در فشار ۱atm برابر $0^\circ C$ است. برای آب نقطه‌ای موسوم به نقطهٔ سه‌گانه وجود دارد که در آن سه حالت یخ، آب و بخار در تعادل‌اند. دمای این نقطه $0/01^\circ C$ است. تحقیق کنید برای رسیدن به این نقطه به چه فشاری نیاز است.

نقطه سه گانه آب نقطه ثابتی است که در آن، یخ، آب و بخار در حال تعادل قرار دارند. این حالت فقط در فشار معینی حاصل می‌شود. فشار بخار آب در نقطه سه‌گانه ۴/۵۸ میلی‌متر جیوه یا ۶۱۲ پاسکال است.



فعالیت ۴-۸ ۱۱۷

برف و یخ دو شکل آشنای حالت جامد آب هستند، اما با وجود این ، ظاهر متفاوتی دارند. دلیل این امر را تحقیق کنید.

علت این تفاوت مربوط به نحوهٔ فرایند تشکیل برف و یخ است. در تشکیل برف، هوای سرد، مولکول‌های بخار آب را به کریستال‌های یخ تبدیل می‌کند. این کریستال‌ها در مسیر فرود به زمین با مولکول‌های بخار آب برخورد می‌کنند. به محض برخورد بخار آب با کریستال، بخار آب حالت گازی خود را از دست داده و به کریستال جامد تبدیل شده و به هستهٔ دانهٔ برف می‌پیوندد. این فرایند مدام تکرار و دانه‌های بزرگتری از برف ساخته می‌شود. ولی در فرایند شکل‌گیری یخ، مولکول‌های مایع از ابتدا در کنار هم قرار دارند و با سرد شدن، ساختار یخ را تشکیل می‌دهند.

فعالیت ۴-۹ ۱۱۹

تحقیق کنید وجود ناخالصی در مایع چه تأثیری بر نقطهٔ انجماد آن دارد. وجود ناخالصی موجب می‌شود که مایع، نقطهٔ انجماد مشخصی نداشته و انجماد در گستره‌ای از دماها رخ دهد. مثلاً هنگام یخ زدن آب نمک، اولین بلورها در دمای کمتر از $0^\circ C$ تشکیل می‌شود و انجماد کامل در دماهای کمتر، (تا $-18^\circ C$) روی می‌دهد.

آزمایش ۴-۳ ۱۱۹

هدف: تعیین گرمای نهان ذوب یخ

وسیله‌های موردنیاز: بشر شیشه‌ای با حجم ۴۰۰cc، چراغ گازی، سه پایه، توری نسوز، ترازو، مقداری مخلوط آب و یخ، گرماسنج با ظرفیت گرمایی معلوم و دماسنج.

شرح آزمایش:

۱- ۲۰۰cc آب در بشر بریزید و آن را روی سه پایه قرار دهید. چراغ گاز را روشن کنید تا دمای آب دست کم به $60^\circ C$ برسد.

۲- آب گرم را درون گرماسنج بریزید و پس از مدتی دمای تعادل آب و گرماسنج را با دماسنج اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$\theta = 55^\circ C$

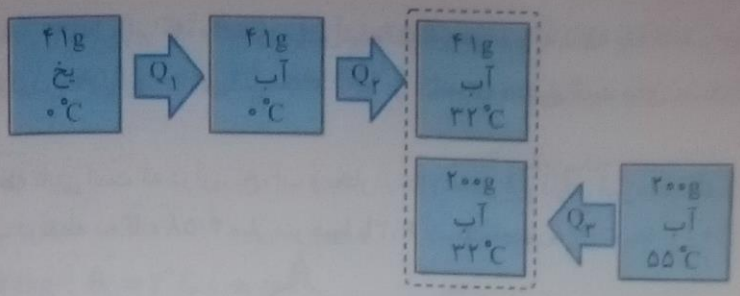
۳- قطعه یخی به جرم تقریبی ۰/۰۵۰kg را از درون مخلوط آب و یخ (با دمای $0/0^\circ C$) بیرون آورده و جرم آن را اندازه گرفته و یادداشت کنید.

$m_0 = 41g$

۴- یخ را درون گرماسنج بیندازید و صبر کنید تا کاملاً ذوب شود. اینک دمای تعادل را اندازه بگیرید.

$\theta_{تعادل} = 32^\circ C$

۵- با استفاده از اعداد به‌دست آمده، گرمای ذوب یخ (L_F) را حساب کنید.



تعادل

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0 \rightarrow 0/041L_F + 0/041 \times 4200 \times (32 - 0) + 0/2 \times 4200 \times (32 - 55) = 0$$

$$\rightarrow 0/041L_F + 5510/4 - 19320 = 0 \Rightarrow L_F = \frac{13809/6}{0/041} = 336820\ J/kg$$

$$\rightarrow L_F = 3/37 \times 10^5\ \frac{J}{kg}$$

فعالیت ۴-۱۰

۱۲۰

الف) بررسی کنید از دیدگاه مولکولی، افزایش دما و افزایش مساحت سطح مایع چگونه برآهنگ تبخیر سطحی مایع اثر می‌گذارد؟

با افزایش دما جنبش مولکولی افزایش یافته و مولکول‌های بیشتری تندی کافی را برای جدا شدن از سطح مایع پیدا می‌کنند. بنابراین آهنگ تبخیر سطحی افزایش می‌یابد.

با افزایش مساحت مایع، تعداد مولکول‌های جدا شده از سطح نیز بیشتر می‌شود، در نتیجه آهنگ تبخیر سطحی افزایش می‌یابد.

ب) با بررسی تبخیر سطحی در شرایط مختلف سعی کنید از راه تجربه، عامل یا عامل‌های دیگری را پیدا کنید که بر آهنگ تبخیر سطحی مؤثر باشند.

۱- جنس مایع: تبخیر سطحی در برخی مایع‌ها بیشتر از سایر مواد است. مثلاً تبخیر سطحی در الکل بسیار بیشتر از آب است.

۲- فشار سطح مایع: فشار سطح مایع و تبخیر سطحی نسبت عکس دارند، یعنی کاهش فشار بر سطح مایع‌ها باعث افزایش آهنگ تبخیر سطحی می‌شود. بنا بر همین قاعده، جریان هوا هم می‌تواند بر آهنگ تبخیر سطحی مؤثر باشد. طبق اصل برنولی، جریان هوا بر روی سطح مایع باعث کاهش فشار هوا در سطح مایع و درنتیجه افزایش آهنگ تبخیر سطحی می‌شود.

پ) تحقیق کنید کوزه‌های سفالی چگونه می‌توانند آب داخل خود را خنک کنند.

کوزه‌های سفالی مولکول‌های آب را از داخل به سطح خارجی خود منتقل می‌کنند و چون تبخیر فرآیندی گرماگیر است این مولکول‌ها برای تبخیر شدن، از سطح کوزه گرما گرفته و آب درون کوزه خنک می‌شود.

فعالیت ۴-۱۱

۱۲۱

از تفاوت نقطهٔ جوش اجسام مختلف در صنعت، استفادهٔ زیادی می‌شود. تحقیق کنید چگونه از این ویژگی برای جدا کردن محصولات نفتی استفاده می‌شود؟

در این روش مخلوط مواد و محصولات نفتی را گرما می‌دهند. از آنجا که دمای جوش اجزای تشکیل‌دهندهٔ مخلوط متفاوت است. بخارهای نفتی ایجاد شده در دماهای مختلف، هر یک مربوط به جزء خاصی از اجزای مخلوط است که طی فرآیند میعان و تقطیر، جمع‌آوری می‌شوند.

پرسش ۴-۴

۱۲۱

چرا در جدول ۴-۵ گرمای تبخیر آب با افزایش دمای آن کاهش می‌یابد؟

با افزایش دما جنبش مولکولی و تندی حرکت مولکول‌ها افزایش یافته در نتیجه پیوند بین آنها سست‌تر می‌شود و مولکول‌ها برای جدا شدن از سطح به انرژی کمتری نیاز دارند؛ بنابراین با افزایش دمای آب گرمای کمتری برای تبخیر آن نیاز است.

پرسش ۴-۵

الف) چرا غذا در دیگ زودپز، زودتر پخته می‌شود؟ بسته بودن درِ دیگ زودپز باعث محبوس شدن بخار آب در آن و افزایش فشار در سطح مایع می‌شود. بنابراین نقطه جوش مایع افزایش یافته و غذا در دمایی بالاتر قرار می‌گیرد و در نتیجه زودتر پخته می‌شود.

ب) دلیل دیرتر پخته شدن تخم‌مرغ در ارتفاعات چیست؟ کوهنوردان برای رفع این مشکل چه کاری انجام می‌دهند؟ در ارتفاعات به دلیل کاهش فشار هوا نقطهٔ جوش آب پایین می‌آید. در نتیجه تخم‌مرغ در دمای کمتری قرار می‌گیرد و دیرتر پخته می‌شود. کوهنوردان برای رفع این مشکل تخم‌مرغ‌ها را در ظروف دربسته می‌جوشانند زیرا با بسته شدن درِ ظرف فشار هوا و در نتیجه نقطه جوش افزایش می‌یابد.

آزمایش ۴-۴

هدف: تعیین گرمای نهان تبخیر آب

وسیله‌های موردنیاز: بشر ۲۰۰cc، دماسنج، سه‌پایه، توری، پایه و گیره، چراغ گاز، زمان‌سنج، آب و ترازو

شرح آزمایش:

۱- جرم بشر خالی را اندازه‌گیری کنید و مقدار معینی آب (مثلاً ۰/۲۰۰kg) در آن بریزید.

۲- توری را روی سه‌پایه بگذارید. چراغ را زیر آن روشن کنید و بشر را روی توری قرار دهید.

۳- دماسنج را به کمک پایه و گیره طوری درون بشر قرار دهید تا مخزن آن کمی پایین‌تر از سطح آب باشد.

۴- در لحظه‌ای که دمای آب به $\theta_1 = 70^\circ C$ می‌رسد زمان‌سنج را روشن کنید ($t_1 = 0$).

۵- صبر کنید تا آب به جوش آید. زمان (t_2) و دما (θ_2) را ثبت کنید.

$\theta_2 = 99^\circ C$ $\quad t_2 = 1 min$

۶- با استفاده از رابطهٔ $P(t_2 - t_1) = mc(\theta_2 - \theta_1)$ و جایگذاری مقادیر معلوم، توان گرمادهی چراغ به آب (P) را به‌دست آورید.

$$P(60 - 0) = 200 \times 10^{-3} \times 4200 \times (99 - 70) \rightarrow P = \frac{24360}{60} = 406W$$

۷- گرما دادن را آن‌قدر ادامه دهید تا مقدار قابل ملاحظه‌ای از آب بخار شود (تذکر: در طول گرما دادن باید شرایط چراغ و بشر ثابت بماند تا توان گرمادهی چراغ به آب تغییر نکند).

۸- زمان (t_2) را ثبت کنید. بشر را از روی چراغ بردارید و با وزن کردن آن جرم آب بخار شده (m') را به‌دست آورید.

$t_2 = 6/5 min$

جرم باقی‌مانده $= 140g \rightarrow m' = 60g$

۹- گرمای تبخیر را با استفاده از رابطهٔ $P(t_2 - t_2) = m' L_V$ به‌دست آورید.

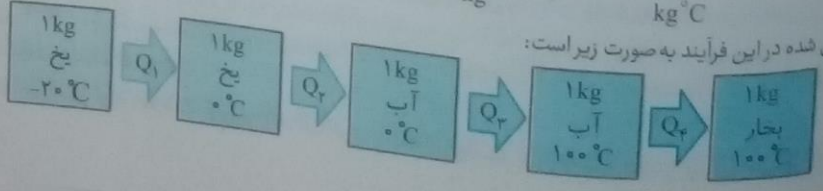
$$P(t_2 - t_2) = m' L_V \rightarrow 406(390 - 60) = 0/060 L_V \Rightarrow L_V = 2/23 \times 10^6 \frac{J}{kg}$$

تمرین ۴-۶

قطعه یخی به جرم $1/0kg$ و دمای اولیهٔ $-20^\circ C$ را آن‌قدر گرم می‌کنیم تا تمام آن تبدیل به بخار $100^\circ C$ شود، کل گرمای مورد نیاز برای این تبدیل چند کیلوژول است؟

$$c_{یخ} = 2100 \frac{J}{kg^\circ C} \quad , \quad L_{F\,یخ} = 334 \frac{kJ}{kg} \quad , \quad c_{آب} = 4200 \frac{J}{kg^\circ C} \quad , \quad L_{V\,آب} = 2256 \frac{kJ}{kg}$$

مراحل طی شده در این فرآیند به صورت زیر است:



منظور سهولت در محاسبات نتایج را بر حسب کیلوژول می‌نویسیم:

$$Q_1 = mc_{\text{یخ}}\Delta\theta = 1\times 2100\times(0-(-20)) = 42000J = 42kJ$$

$$Q_2 = mL_F = 1\times 334 = 334kJ$$

$$Q_3 = mc_{\text{آب}}\Delta\theta = 1\times 4200(100-0) = 420000J = 420kJ$$

$$Q_4 = mL_V = 1\times 2256 = 2256kJ$$

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = 42 + 334 + 420 + 2256 = 3052kJ \rightarrow Q = 3/1\times 10^3 kJ$$

۱۲۴

فعالیت ۴-۱۲

در مورد ایجاد شنبم صبحگاهی روی گیاهان تحقیق کنید. صبحگاهان قبل از طلوع خورشید خنک‌ترین زمان شبانه‌روز است. زیرا بیشترین فاصلهٔ زمانی را از زمان تابش خورشید به زمین دارد. در صبحگاهان بخار آب موجود در هوا در اثر برخورد با سطوح سردتر مثل شاخه و برگ گیاهان با از دست دادن گرما و طی فرآیند میعان به مایع تبدیل شده و شبنم صبحگاهی ایجاد می‌شود.

۱۲۴

فعالیت ۴-۱۳

در فرایندهای تغییر حالت (تغییر فاز) دما تغییر نمی‌کند، اما انرژی درونی ماده تغییر می‌کند. در این‌باره تحقیق کنید.

انرژی درونی مجموع انرژی‌های جنبشی همهٔ اتم‌ها و مولکول‌های تشکیل‌دهنده جسم و انرژی پتانسیل مربوط به برهم‌کنش‌های اتم‌ها و مولکول‌های آنهاست. وقتی جسمی گرم می‌شود، چون انرژی جنبشی ذرات تشکیل‌دهندهٔ آن افزایش می‌یابد، انرژی درونی آن بیشتر می‌شود. اما در زمان تغییر حالت ماده، چون گرمای داده شده صرف غلبه بر نیروهای بین مولکولی می‌شود انرژی جنبشی متوسط مولکول‌ها تغییر نمی‌کند، بنابراین دما ثابت می‌ماند ولی چون با از بین رفتن نیروهای بین مولکولی، انرژی پتانسیل آنها افزایش می‌یابد انرژی درونی بیشتر می‌شود.

۱۲۶

پرسش ۴-۶

برخی آشپزها برای آنکه سیب‌زمینی زودتر آب‌پز شود، ابتدا چند سیخ کوچک فلزی درون سیب‌زمینی فرو می‌کنند و بعد آن را در آب انداخته و روی اجاق قرار می‌دهند. علت این کار آشپزها چیست؟ چون فلزات رساناهای گرمایی خوبی هستند، گرما از طریق این میله‌های فلزی به داخل سیب‌زمینی منتقل شده و سیب‌زمینی زودتر پخته می‌شود.

۱۲۷

تمرین ۴-۷

مساحت استخری با کف تخت، ۸۲۰ متر مربع و عمق آن ۲/۰ متر است. در یک روز گرم دمای سطح آب $25^\circ C$ و دمای کف آب $12^\circ C$ است. آهنگ رسانش گرمایی از سطح استخر به کف آن چقدر است؟

$$k_{\text{آب}} = 0/6\frac{W}{m.K} \quad , \quad A = 820m^2 \quad , \quad L = 2m \quad , \quad T_H - T_L = 25 - 12 = 13K$$

$$H = k\frac{A(T_H - T_L)}{L} = \frac{0/6\times 820\times 13}{2} = 3198 \rightarrow H = 3/2\times 10^3 W$$

۱۲۷

فعالیت ۴-۱۴

موهای خرس قطبی توخالی هستند. تحقیق کنید این موضوع چه نقشی در گرم نگه‌داشتن بدن خرس در سرمای قطب دارد؟

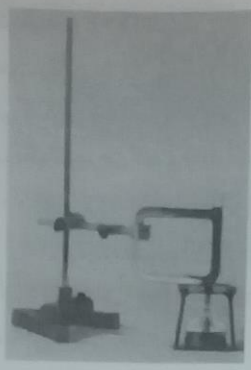
از آنجا که بخش عمده‌ای از گرمای بدن جانداران از طریق فرایند رسانش به بیرون منتقل می‌شود و این فرایند نیاز به محیط مادی دارد، توخالی بودن موهای خرس قطبی انتقال گرما به طریق رسانش را از بدن جاندار به حداقل می‌رساند.

۱۲۸

آزمایش ۴-۵

هدف: مشاهده پدیده همرفت

وسیله‌های موردنیاز: لولهٔ همرفت، گیره و پایه، آب سرد، دانه‌های پتاسیم پرمنگنات یا جوهر، چراغ الکلی یا گازی



شرح آزمایش:

۱. لوله را از آب سرد پر کنید و به آرامی چند دانهٔ پتاسیم پرمنگنات (یا چند قطره جوهر) را از دهانه لوله به داخل آن بریزید.

۲. یکی از شاخه‌های قائم لوله را مطابق شکل روی شعله بگیرید و در همان لحظه شاخهٔ قائم دیگر لوله را با دست لمس کنید.

۳. دستتان را از شاخهٔ قائم بردارید و در حالی که گرما دادن را ادامه می‌دهید به مایع درون لوله با دقت نگاه کنید. پس از چند دقیقه دوباره همان شاخهٔ قائم لوله را لمس کنید.

۴. **مشاهدات خود را بنویسید و با بحث در گروه، دلیل هر یک از مشاهدات را توضیح دهید.** در ابتدای حرارت دادن به لوله، قسمتی از لولهٔ قائم که لمس می‌کنیم سرد است. ولی در اثر گرما جریان همرفتی در مایع ایجاد شده و حرکت مایع داخل لوله مشاهده می‌شود. این جریان همرفتی، پس از مدتی گرما را به تمام بخش‌های مایع داخل لوله منتقل می‌کند که دلیل آن سبک شدن آب گرم به دلیل کاهش چگالی و حرکت رو به بالای آن و جایگزینی آب سرد و سنگین به جای آن و انجام مداوم این عمل است.

پرسش ۴-۷ ۱۲۹

۵ به نظر شما چه ارتباطی بین انتقال گرما به روش همرفت و ضریب انبساط حجمی، برای یک مایع وجود دارد؟

هرچه ضریب انبساط حجمی یک مایع بیشتر باشد پدیده همرفت با سرعت بیشتری در آن ماده رخ می‌دهد. چون پدیده همرفت به علت اختلاف چگالی بین شاره گرم و شاره سرد روی می‌دهد. این اختلاف چگالی در مایعاتی که ضریب انبساط حجمی بزرگ‌تری دارند بیشتر است.

فعالیت ۴-۱۵ ۱۲۹

چهار بطری شیشه‌ای یکسان، دو رنگ جوهر قرمز و آبی، دو کارت ویزیت مقوایی و آب بسیار سرد و بسیار گرم تهیه کنید. در دو تا از بطری‌ها جوهر آبی و در دو بطری دیگر جوهر قرمز بریزید. سپس بطری‌های آبی را با آب خیلی سرد و بطری‌های قرمز را با آب خیلی گرم پر کنید. اکنون در حالی‌که دهانهٔ یک بطری قرمز را با کارت ویزیت گرفته‌اید، دهانهٔ آن را دقیقاً روی دهانهٔ یک بطری آبی قرار دهید و سپس کارت را بیرون بکشید. همین آزمایش را به‌طور معکوس نیز انجام دهید؛ یعنی این بار، یک بطری آبی‌رنگ که دهانهٔ آن با کارت پوشیده شده است را روی دهانهٔ بطری قرمز رنگ قرار دهید و سپس کارت را بیرون بکشید. مشاهدات خود را توضیح دهید. از این آزمایش چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

اگر بطری قرمز بالا باشد با بیرون کشیدن کارت، رنگ‌ها به حالت اولیهٔ خود باقی مانده و ترکیب نمی‌شوند. ولی اگر بطری آبی بالا باشد با بیرون کشیدن کارت، رنگ آبی به سمت پایین و رنگ قرمز به طرف بالا حرکت کرده و رنگ‌ها ترکیب می‌شوند.

از این آزمایش نتیجه می‌گیریم اختلاف دما بین بخش‌های مختلف یک شاره، تنها زمانی که شاره سردتر بالاتر از شارهٔ گرم‌تر باشد موجب به‌وجود آمدن جریان همرفتی می‌شود.

فعالیت ۴-۱۶ ۱۳۱

رادیومتر وسیله‌ای است که از یک حباب شیشه‌ای تشکیل شده است که درون آن چهار پرهٔ فلزی قائم قرار دارد که می‌توانند حول یک محور (سوزن عمودی) بچرخند. دو وجهِ هر چهار پره، یک در میان سفید و سیاه است. وقتی این وسیله کنار یک چشمهٔ نور قرار گیرد، پره‌ها حول سوزن عمودی می‌چرخند و هر چه شدت نور بیشتر باشد، این چرخش سریع‌تر است. در مورد دلیل چرخش پره‌ها تحقیق کنید.

در این وسیله یک طرف هر پره سفید و طرف دیگر سیاه است. زمانی که این پره‌ها در مقابل نوری که از یک جسم گرم تابش می‌کند قرار می‌گیرند می‌چرخند، جهت چرخش به گونه‌ای است که سمت سیاه‌پره‌ها از نور دور و سمت سفید به نور نزدیک می‌شوند. در این وسیله گرما از طریق تابش امواج الکترومغناطیسی به سمت سیاه هر پره که گرمای بیشتری را جذب می‌کند منتقل و سبب گرم شدن پره و مولکول‌های هوای اطراف آن می‌شود، با گرم شدن مولکول‌های هوا انرژی جنبشی آنها افزایش یافته و این مولکول‌ها به سطح پره سیاه برخورد و ضربه می‌زنند که باعث حرکت پره‌ها شود و برعکس اگر با هوای تحت فشار جو پر شده باشد انباشت مولکول‌های هوا مانع از انتقال انرژی جنبی مولکول‌های هوا به سطح پره برای چرخش می‌شود.

اگر داخل این وسیله خلاء کامل باشد مولکول‌های هوایی وجود ندارد که باعث حرکت پره‌ها شود و

فعالیت ۴-۱۷ (۱۳۵)

سر سرنگی را که پیستون آن آزادانه حرکت می‌کند به فشارسنجی می‌بندیم و آن را به‌طور افقی درون ظرف آبی می‌گذاریم و ظرف را به آرامی گرم می‌کنیم. توضیح دهید کدام‌یک از کمیت‌های دما، حجم، فشار و مقدار هوای درون سرنگ تغییر می‌کند و تغییر آنها چگونه است؟

۱- دمای هوای داخل سرنگ افزایش می‌یابد چون هوای سرنگ با آب داخل ظرف به تعادل گرمایی می‌رسد.

۲- فشار هوای درون سرنگ ثابت می‌ماند و مقدار آن برابر با مقدار فشاری است که از طرف آب و هوای بالای آن به سرنگ وارد می‌شود.

۳- حجم هوای سرنگ افزایش می‌یابد، چون در فشار ثابت، حجم و دمای گاز نسبت مستقیم دارند. با افزایش دما، حجم گاز هم افزایش می‌یابد.

۴- مقدار هوای داخل سرنگ تغییر نمی‌کند زیرا هوایی از سرنگ خارج نمی‌شود.

فعالیت ۴-۱۸ (۱۳۸)

با وجود تلاش در جهت ثابت نگه‌داشتن فشار هوای درون هواپیما، همواره مقدار آن کمتر از فشار هوای روی زمین است. وقتی هواپیما بالا می‌رود و فشار هوا کم می‌شود، بسته‌های نوشیدنی یا دِسر باد می‌کنند و حتی گاهی درشان باز می‌شود. با فرض ثابت بودن دما، این پدیده را توضیح دهید.

چون این نوشیدنی‌ها بر روی زمین پر می‌شوند. فشار هوای داخل آنها به اندازهٔ فشار در سطح زمین است. زمانی که فشار هوای بیرون بسته‌ها کاهش می‌یابد، اختلاف فشار ایجاد شده بین داخل و بیرون نیرویی به در و دیواره بسته‌ها وارد و باعث بادکردن دیواره‌ها و باز شدن در بسته‌ها می‌شود.

پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۴ (۱۴۱)

۱- دماهای زیر را بر حسب درجهٔ سلسیوس و فارنهایت مشخص کنید:

$$T = \theta + ۲۷۳ \rightarrow \theta = T - ۲۷۳ \quad , \quad F = \frac{۹}{۵}\theta + ۳۲$$

الف) $T = ۰K$

$$\begin{cases} \theta = ۰ - ۲۷۳ = -۲۷۳^{\circ}C \\ F = \frac{۹}{۵} \times (-۲۷۳) + ۳۲ = -۴۵۹/۴^{\circ}F \end{cases}$$

ب) $T = ۲۷۳K$

$$\begin{cases} \theta = ۲۷۳ - ۲۷۳ = ۰^{\circ}C \\ F = \frac{۹}{۵} \times ۰ + ۳۲ = ۳۲^{\circ}F \end{cases}$$

پ) $T = ۳۷۳K$

$$\begin{cases} \theta = ۳۷۳ - ۲۷۳ = ۱۰۰^{\circ}C \\ F = \frac{۹}{۵} \times ۱۰۰ + ۳۲ = ۲۱۲^{\circ}F \end{cases}$$

ت) $T = ۵۴۶K$

$$\begin{cases} \theta = ۵۴۶ - ۲۷۳ = ۲۷۳^{\circ}C \\ F = \frac{۹}{۵} \times ۲۷۳ + ۳۲ = ۵۲۳/۴^{\circ}F \end{cases}$$

۲- برای اندازه‌گیری دمای یک جسم توسط دماسنج به چه نکاتی باید توجه کنیم؟ (راهنمایی: به نکاتی که در فصل ۱ خواندید نیز توجه کنید.) در اندازه‌گیری دمای یک جسم با دماسنج مدرج:

۱) جسم در تماس با مخزن دماسنج‌های جیوه‌ای و الکلی قرار گیرد.

۲) بعد از تماس جسم با دماسنج مدتی صبر کرد تا جسم و دماسنج به تعادل گرمایی برسند.

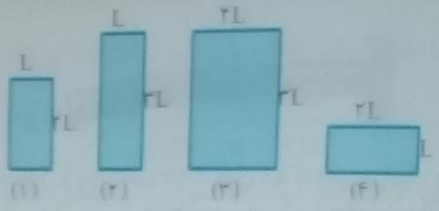
۳) چشم در وضعیت عمود بر دماسنج‌های مدرج قرار گیرد تا اعداد به‌درستی خوانده شوند.

۴) اندازه‌گیری دما را باید چند بار تکرار کرد و اعدادی که فاصله زیادی با سایر اعداد دارند، کنار گذاشته و میانگین آنها را به عنوان نتیجه پذیرفت.

۳- شکل روبه‌رو، یک خط‌کش فلزی را که در آن سوراخی ایجاد شده است در دو دمای متفاوت نشان می‌دهد (برای روشن بودن مطلب، انبساط به‌صورت اغراق‌آمیزی رسم شده است.) از این شکل چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

انبساط گرمایی در همه ابعاد جسم (طول، سطح و حجم) ایجاد می‌شود و اگر حفره‌ای در جسمی وجود داشته باشد، اندازه حفره هم به همان نسبت افزایش پیدا می‌کند.

۴ شکل روبه‌رو چهار صفحهٔ فلزی هم‌جنس به اضلاع متفاوت را در یک دما نشان می‌دهد. اگر دمای همهٔ آنها را به اندازهٔ یکسان زیاد کنیم:



الف) ارتفاع کدام صفحه یا صفحه‌ها بیشتر افزایش پیدا می‌کند؟

با توجه به رابطه $\Delta L = L_1 \alpha \Delta T$ هر قدر طول اولیه جسم بیشتر باشد، تغییر طول آن در اثر انبساط نیز بیشتر است؛ بنابراین ارتفاع شکل‌های ۲ و ۳ افزایش بیشتری دارد.

ب) مساحت کدام یک بیشتر افزایش پیدا می‌کند؟

با توجه به رابطه $\Delta A = A_1(2\alpha)\Delta T$ ، هر قدر مساحت اولیه جسم بیشتر باشد، تغییر مساحت آن در اثر انبساط نیز بیشتر است، بنابراین مساحت شکل ۳ افزایش بیشتری دارد.

پ) اگر در هر چهار تای آنها روزنهٔ کوچک هم‌اندازه‌ای وجود داشته باشد، افزایش قطر چهار روزنه در اثر افزایش دمای یکسان را با هم مقایسه کنید. چون جنس هر چهار قطعه یکسان است و هر چهار روزنه هم‌اندازه هستند، افزایش قطر آنها در اثر افزایش دمای یکسان به یک اندازه است.

۵- یک بزرگراه از بخش‌های بتونی به طول $25/0\,m$ ساخته شده است. این بخش‌ها در دمای $10/0^\circ C$، بتون‌ریزی و عمل آورده شده‌اند. برای جلوگیری از تاب برداشتن بتون در دمای $50/0^\circ C$، مهندسان باید چه فاصله‌ای را بین این قطعه‌ها در نظر بگیرند؟ $(\alpha_{بتون} = 14 \times 10^{-6} K^{-1})$

$$L_1 = 25m \ , \ \Delta T = 50 - 10 = 40K \ , \ \Delta L = ?$$

$$\Delta L = L_1 \alpha \Delta T \rightarrow \Delta L = 25 \times 14 \times 10^{-6} \times 40 = 14000 \times 10^{-6} = 1/4 \times 10^{-2} m = 1/4cm \rightarrow \Delta L = 1/4cm$$

۶- یک ظرف آلومینیمی با حجم $400cm^3$ در دمای $20/0^\circ C$ به طور کامل از گلیسیرین پر شده است. اگر دمای ظرف و گلیسیرین به $30/0^\circ C$ برسد، چقدر گلیسیرین از ظرف بیرون می‌ریزد؟

افزایش حجم ظرف و گلیسیرین را جداگانه محاسبه و اختلاف آنها را به‌دست می‌آوریم:

$$V_{1ظرف} = 400cm^3 \ , \ \Delta T = 30 - 20 = 10K \ , \ \alpha_{Al} = 23 \times 10^{-6} K^{-1} \ , \ \beta_{گلیسیرین} = 0/49 \times 10^{-3} K^{-1}$$

افزایش حجم ظرف $\Delta V_{ظرف} = V_{1ظرف}(3\alpha)\Delta T = 400 \times 3 \times 23 \times 10^{-6} \times 10 = 2760000 \times 10^{-6} = 0/2760cm^3$

چون ظرف به‌طور کامل از گلیسیرین پر شده است، حجم اولیه ظرف و گلیسیرین برابر است: $V_{1ظرف} = V_{1گلیسیرین}$

افزایش حجم گلیسیرین $\Delta V_{گلیسیرین} = V_{1گلیسیرین}\beta\Delta T = 400 \times 0/49 \times 10^{-3} \times 10 = 1960 \times 10^{-3} = 1/96cm^3$

حجم گلیسیرین سرریز شده $\Delta V = \Delta V_{گلیسیرین} - \Delta V_{ظرف} = 1/96 - 0/276 = 1/684cm^3 \rightarrow \Delta V = 1/68cm^3$

۷- مقداری بنزین در مخزنی استوانه‌ای به ارتفاع $h = 10m$ ریخته شده است. در دمای $-10^\circ C$ فاصلهٔ بین سطح بنزین تا بالای ظرف برابر $\Delta h = 50cm$ است. اگر از انبساط ظرف در نتیجهٔ افزایش دما چشم‌پوشی شود، در چه دمایی بنزین از ظرف سرریز می‌شود؟ $\beta_{بنزین} = 1 \times 10^{-3} \frac{1}{K}$ ، $h = 10 - 0/5 = 9/5m$ ارتفاع اولیه بنزین ، $\Delta h = 0/5m$ تغییر ارتفاع جهت سرریز شدن

ابتدا حجم اولیه بنزین را محاسبه می‌کنیم. اگر A سطح مقطع استوانه باشد، داریم:

$$V_1 = A \times h = A \times ۹/۵ = ۹/۵A$$

$$\Delta V = A \times \Delta h = A \times ۰/۵ = ۰/۵A$$

$$\Delta V = V_1 \beta \Delta T \rightarrow ۰/۵A = ۹/۵A \times ۱ \times ۱۰^{-۳} \times \Delta T$$

$$\rightarrow \Delta T = \frac{۰/۵}{۹/۵ \times ۱۰^{-۳}} = ۰/۰۵۳ \times ۱۰^{۳} = ۵۳K$$

$$T_۲ = T_۱ + \Delta T \rightarrow T_۲ = -۱۰ + ۵۳ = ۴۳ \rightarrow T_۲ = ۴۳^\circ C$$

۸- در شکل روبه‌رو با کاهش دما، نوار دوفلزه به طرف پایین خم می‌شود. اگر یکی از نوارها، برنجی و نوار دیگر فولادی باشد:

الف) نوار بالایی از چه جنسی است؟ با سرد شدن فلزات طول آنها کاهش می‌یابد. طبق جدول ۴-۱ چون ضریب انبساط طولی برنج بیشتر از فولاد است. کاهش طول برنج در اثر کاهش دما بیشتر از کاهش طول فولاد خواهد بود؛ بنابراین فلز پایینی برنج و فلز بالایی فولاد است.

ب) اگر نوارها را گرم کنیم به کدام سمت خم می‌شوند.

با گرم کردن نوارها چون ضریب انبساط طولی برنج بیشتر است، افزایش طول آن نیز بیشتر خواهد بود. فلز پایینی برنج است؛ بنابراین نوار به سمت بالا خم خواهد شد.

۹- طول خط‌های لوله گاز و نفت در کشورمان که مواد سوختی را از جنوب کشور به مرکز و شمال منتقل می‌کند به چندصد کیلومتر می‌رسد. دمای هوا در زمستان ممکن است تا $-۱۰^\circ C$ و در تابستان تا $+۵۰^\circ C$ برسد. جنس این لوله‌ها عموماً از فولاد با $\alpha = ۱۰ \times ۱۰^{-۶} K^{-۱}$ است.

طول خط لوله، بین دو ایستگاه تهران - اصفهان تقریباً ۲۳۰km است.

الف) در اثر این اختلاف دما این خط چقدر منبسط می‌شود؟

$$\Delta T = ۵۰ - (-۱۰) = ۶۰K \ , \ \alpha_{\text{فولاد}} = ۱۰ \times ۱۰^{-۶} \frac{۱}{K} \ , \ L_۱ = ۲۳۰km = ۲۳۰ \times ۱۰^{۳} m$$

$$\Delta L = L_۱ \alpha \Delta T \rightarrow \Delta L = ۲۳۰ \times ۱۰^{۳} \times ۱۰ \times ۱۰^{-۶} \times ۶۰ = ۱۳۸m \rightarrow \Delta L = ۱۳۸m$$

ب) چگونه می‌توان تأثیر این انبساط را برطرف کرد؟

با عایق‌بندی صحیح لوله‌ها در زیرزمین می‌توان مانع از تغییر دما و در نتیجه تغییر طول لوله‌ها شد. همچنین استفاده از اتصالات آکاردئونی (قابل انعطاف) می‌تواند از خم شدن لوله‌ها در اثر افزایش طول جلوگیری کند.

۱۰- در یک روز گرم یک تانکر حامل سوخت با ۳۰،۰۰۰L بنزین بارگیری شده است. هوا در محل تحویل سوخت $۲۰/۰^\circ C$ سردتر از محلی است که در آنجا سوخت بارزده شده است. راننده چند لیتر سوخت را در این محل تحویل می‌دهد؟

$$V_۱ = ۳۰۰۰۰L \ , \ \Delta T = -۲۰K \ , \ \beta_{\text{بنزین}} = ۱ \times ۱۰^{-۳} K^{-۱} \ , \ V_۲ = ?$$

$$V_۲ = V_۱ + \Delta V = V_۱ + V_۱ \beta \Delta T = V_۱(۱ + \beta \Delta T) \rightarrow V_۲ = V_۱(۱ + \beta \Delta T) = ۳۰۰۰۰(۱ + ۱ \times ۱۰^{-۳} \times (-۲۰))$$

$$V_۲ = ۳۰۰۰۰ \times (۱ - ۰/۰۲) = ۳۰۰۰۰ \times ۰/۹۸ = ۲۹۴۰۰L \rightarrow V_۲ = ۲۹۴۰۰L$$

۱۱- برای گرم کردن ۲۰۰g آب جهت تهیهٔ چای، از یک گرمکن الکتریکی غوطه‌ور در آب استفاده می‌کنیم. روی برچسب گرمکن ۲۰۰W نوشته شده است. با نادیده گرفتن اتلاف گرما، زمان لازم برای رساندن دمای آب از $۳۰/۰^\circ C$ به $۱۰۰^\circ C$ را محاسبه کنید.

$$m = ۲۰۰g = ۰/۲kg \ , \ P = ۲۰۰W \ , \ \theta_۱ = ۳۰^\circ C \ , \ \theta_۲ = ۱۰۰^\circ C \ , \ c_{آب} = ۴۲۰۰ \frac{J}{kg.^\circ C} \ , \ t = ?$$

ابتدا مقدار گرمای لازم جهت تغییر دمای آب از $30^\circ C$ به $100^\circ C$ را محاسبه می‌کنیم:

$$Q = mc\Delta\theta = 0/2 \times 4200 \times (\overset{70}{\cancel{100-30}}) = 58800J \rightarrow Q = 58800J$$

با استفاده از رابطه توان در گرمکن الکتریکی می‌توان نوشت: $Q = Pt \rightarrow t = \frac{Q}{P} = \frac{58800}{200} = 294s \rightarrow t = 294s$

۱۲- دمای یک قطعه فلز ۰/۶۰ کیلوگرمی را توسط یک گرمکن ۵۰ واتی در مدت ۱۱۰s از $18^\circ C$ به $38^\circ C$ رسانده‌ایم. این آزمایش برای گرمای ویژهٔ فلز چه مقداری را به‌دست می‌دهد؟ حدس می‌زنید که این پاسخ از مقدار واقعی گرمای ویژه فلز بیشتر باشد یا کمتر؟ توضیح دهید.

$$m = 0/6kg \ , \ P = 50W \ , \ \Delta\theta = 38 - 18 = 20^\circ C \ , \ t = 110s \ , \ c_{فلز} = ?$$

مقدار گرمای تولیدی گرمکن برابر است با مقدار گرمایی که آب برای تغییر دما دریافت می‌کند:

$$\begin{cases} Q = Pt \\ Q = mc\Delta\theta \end{cases} \rightarrow Pt = mc_{فلز}\Delta\theta \rightarrow c_{فلز} = \frac{Pt}{m\Delta\theta} = \frac{50 \times 110}{0/6 \times 20} = \frac{5500}{12} \simeq 458 \frac{J}{kg.^\circ C}$$

چون در واقعیت همه گرمای تولیدی گرمکن به آب داده نمی‌شود و بخشی از آن هدر می‌رود، بنابراین در رابطه $c_{فلز} = \frac{Pt}{m\Delta\theta}$، صورت کسر کاهش و گرمای ویژه واقعی فلز کمتر از مقدار محاسبه شده خواهد بود.

۱۳- گرماسنجی به جرم ۲۰۰ گرم از مس ساخته شده است. یک قطعهٔ ۸۰ گرم از یک مادهٔ نامعلوم همراه با ۵۰ گرم آب به درون گرماسنج ریخته می‌شود. اکنون دمای این مجموعه $30^\circ C$ شده است. در این هنگام ۱۰۰ گرم آب $70^\circ C$ به گرماسنج اضافه می‌شود، دمای تعادل $52^\circ C$ می‌شود. گرمای ویژهٔ قطعه را محاسبه کنید.

گرماسنج: $m_1 = 200g = 0/2kg \ , \ c_{مس} = 386 \frac{J}{kg.^\circ C} \ , \ \theta_1 = 30^\circ C$

جسم: $m_2 = 80g = 0/08kg \ , \ c = ? \ , \ \theta_2 = 30^\circ C$

آب: $m_3 = 50g = 0/05kg \ , \ c_{آب} = 4200 \frac{J}{kg.^\circ C} \ , \ \theta_3 = 30^\circ C$

آب: $m_4 = 100g = 0/1kg \ , \ c_{آب} = 4200 \frac{J}{kg.^\circ C} \ , \ \theta_4 = 70^\circ C$

$\xrightarrow{\text{دمای تعادل}} \theta = 52^\circ C$

در تعادل گرمایی: $Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = 0$

$$Q_1 = m_1 c_{مس}(\theta - \theta_1) = 0/2 \times 386 \times (\overset{22}{\cancel{52-30}}) = 1698/4J$$

$$Q_2 = m_2 c_{جسم}(\theta - \theta_2) = 0/08 \times c_{جسم} \times (\overset{22}{\cancel{52-30}}) = 1/76 c_{جسم}$$

$$Q_3 = m_3 c_{آب}(\theta - \theta_3) = 0/05 \times 4200 \times (\overset{22}{\cancel{52-30}}) = 4620J$$

$$Q_4 = m_4 c_{آب}(\theta - \theta_4) = 0/1 \times 4200 \times (\overset{-18}{\cancel{52-70}}) = -7560J$$

$$1698/4 + 1/76 c_{جسم} + 4620 - 7560 = 0 \rightarrow 1/76 c_{جسم} = 1241/6$$

$$\rightarrow c_{جسم} = \frac{1241/6}{1/76} = 705 \frac{J}{kg.^\circ C} \rightarrow c_{جسم} \simeq 705 \frac{J}{kg.^\circ C}$$

۱۴- یکی از روش‌های بالا بردن دمای یک جسم، دادن گرما به آن است. اگر به جسمی گرما دهیم، آیا دمای آن حتماً بالا می‌رود؟ توضیح دهید.

خیر، در برخی موارد گرمای داده شده به جسم دمای آن را افزایش نمی‌دهد بلکه صرف تغییر حالت جسم می‌شود، مثلاً اگر به یخ $0^\circ C$ گرما دهیم [illegible] $0^\circ C$ شود.

۱۵- قبل از تزریق دارو یا سُرم به یک بیمار، محل تزریق را با الکل تمیز می‌کنند. این کار سبب احساس خنکی در محل تزریق می‌شود. علت را توضیح دهید.

الکل برای تبخیر سطحی از روی پوست گرما گرفته و پوست در محل تماس با الکل خنک می‌شود.

۱۶- کدام گزینه دربارهٔ فرایند ذوب نادرست است؟

الف) افزایش فشار وارد بر جسم بر بیشتر مواد، سبب پایین رفتن نقطهٔ ذوب می‌شود.

ب) افزایش فشار بر روی یخ، سبب کاهش اندک نقطهٔ ذوب آن می‌شود.

پ) فرایند ذوب، عملی گرماگیر است.

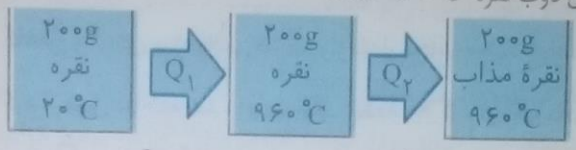
ت) گرمایی که جسم جامد در نقطهٔ ذوب خود می‌گیرد تا به مایع تبدیل شود، سبب تغییر دمای آن نمی‌شود.

(الف) نادرست است. در اکثر مواد افزایش فشار سبب افزایش نقطهٔ ذوب می‌شود.

۱۷- کمترین گرمای لازم برای ذوب کامل ۲۰۰g نقره که در آغاز در دمای $۲۰/۰^\circ C$ قرار دارد چقدر است؟ (فشار هوا را یک اتمسفر فرض کنید)

برای ذوب ۲۰۰g نقره با دمای اولیه $۲۰^\circ C$ مراحل زیر طی می‌شود:

توجه: مطابق جدول ۴-۴ دمای ذوب نقره $۹۶۰^\circ C$ است.



$$m = ۲۰۰g = ۰/۲kg \ , \ c_{نقره} = ۲۳۶\frac{J}{kg.^\circ C} \ , \ L_{f\,نقره} = ۸۸/۳\frac{kJ}{kg} = ۸۸/۳\times۱۰^۳\frac{J}{kg}$$

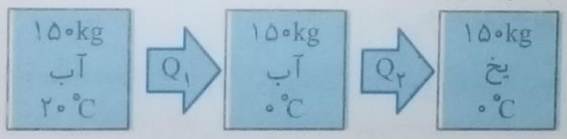
$$Q_۱ = mc\Delta\theta = ۰/۲\times۲۳۶\times(۹۶۰-۲۰) = ۴۴۳۶۸J \quad (۹۴۰)$$

$$Q_۲ = mL_f = ۰/۲\times۸۸/۳\times۱۰^۳ = ۱۷۶۶۰J$$

$$Q_{کل} = Q_۱ + Q_۲ = ۴۴۳۶۸ + ۱۷۶۶۰ = ۶۲۰۲۸J \rightarrow Q_{کل} = ۶۲۰۲۸J$$

۱۸- یک راه برای جلوگیری از سرد شدن بیش از حد یک سالن سربسته در شب هنگام، وقتی که دمای زیر صفر پیش‌بینی شده است، قرار دادن تشت بزرگ پر از آب در سالن است. اگر جرم آب درون تشت ۱۵۰kg و دمای اولیهٔ آن $۲۰/۰^\circ C$ باشد و همهٔ آن به یخ $۰/۰^\circ C$ تبدیل شود، آب چقدر گرما به محیط پیرامونش می‌دهد؟

مراحل طی شده برای این فرایند به‌صورت زیر است:



$$m = ۱۵۰kg \ , \ c_{آب} = ۴۲۰۰\frac{J}{kg.^\circ C} \ , \ L_{f\,یخ} = ۳۳۳/۷\frac{kJ}{kg}$$

$$Q_۱ = mc\Delta\theta = ۱۵۰\times۴۲۰۰\times(۰-۲۰) = -۱۲/۶\times۱۰^۶J = -۱۲۶۰۰kJ \rightarrow Q_۱ = -۱۲۶۰۰kJ \quad (-۲۰)$$

$$Q_۲ = -mL_f = -۱۵۰\times۳۳۳/۷ = -۵۰۰۵۵kJ \rightarrow Q_۲ = -۵۰۰۵۵kJ$$

$$Q_{کل} = Q_۱ + Q_۲ = -۱۲۶۰۰ - ۵۰۰۵۵ = -۶۲۶۵۵kJ \rightarrow Q_{کل} = -۶۲۶۵۵kJ$$

۱۹- یک گرمکن ۵۰ واتی به طور کامل در ۱۰۰ گرم آب درون یک گرماسنج قرار داده می‌شود.

الف) این گرمکن در مدت یک دقیقه دمای آب و گرماسنج را از $۲۰^\circ C$ به $۲۵^\circ C$ می‌رساند. ظرفیت گرمایی گرماسنج را حساب کنید.

$$P = ۵۰W \ , \ m_{آب} = ۱۰۰g = ۰/۱kg \ , \ t = ۱min = ۶۰s \ , \ \Delta\theta = ۲۵-۲۰ = ۵^\circ C$$

$$C_{آب} = ۴۲۰۰\frac{J}{kg.^\circ C} \ , \ C_{گرماسنج} = ?$$

گرمای تولیدی گرمکن به گرماسنج و آب داده می‌شود، بنابراین می‌توان نوشت:

گرمای دریافتی آب $Q_1 = m_{آب} c_{آب} \Delta\theta$ ، گرمای دریافتی گرماسنج $Q_2 = C_{گرماسنج} \Delta\theta$ ، گرمای تولیدی گرمکن $Q = Pt$

$$Q = Q_1 + Q_2 \rightarrow P\,t = m_{آب} c_{آب} \Delta\theta + C_{گرماسنج} \Delta\theta \rightarrow ۵۰ \times ۶۰ = ۰/۱ \times ۴۲۰۰ \times ۵ + C_{گرماسنج} \times ۵$$

$$\rightarrow ۳۰۰۰ = ۲۱۰۰ + ۵C_{گرماسنج} \rightarrow ۹۰۰ = ۵C_{گرماسنج} \rightarrow C_{گرماسنج} = \frac{۹۰۰}{۵} = ۱۸۰ \rightarrow C_{گرماسنج} = ۱۸۰ \frac{J}{^\circ C}$$

ب) چه مدت طول می‌کشد تا دمای آب درون گرماسنج از $۲۵^\circ C$ به نقطهٔ جوش $(۱۰۰^\circ C)$ برسد؟ چون با افزایش دمای آب، دمای گرماسنج نیز افزایش می‌یابد، گرمای تولیدی گرمکن برابر است با گرمای لازم برای تغییر دمای آب و گرماسنج.

$$m_{آب} = ۱۰۰g = ۰/۱kg \ , \ P = ۵۰۰W \ , \ c_{آب} = ۴۲۰۰ \frac{J}{kg.^\circ C} \ , \ \Delta\theta = ۱۰۰ - ۲۵ = ۷۵^\circ C$$

$$C_{گرماسنج} = ۱۸۰ \frac{J}{^\circ C} \ , \ Q = Pt \ , \ Q_1 = m_{آب} c_{آب} \Delta\theta \ , \ Q_2 = C_{گرماسنج} \Delta\theta \ , \ t = ?$$

$$, \ Q = Q_1 + Q_2 \rightarrow Pt = m_{آب} c_{آب} \Delta\theta + C_{گرماسنج} \Delta\theta$$

$$\rightarrow ۵۰ \times t = ۰/۱ \times ۴۲۰۰ \times ۷۵ + ۱۸۰ \times ۷۵$$

$$\rightarrow ۵۰t = ۳۱۵۰۰ + ۱۳۵۰۰ \rightarrow ۵۰t = ۴۵۰۰۰ \rightarrow t = \frac{۴۵۰۰۰}{۵۰} = ۹۰۰s \rightarrow t = ۹۰۰s$$

پ) چه مدت طول می‌کشد تا ۲۰ گرم آب در حال جوش درون این گرماسنج به بخار تبدیل شود؟

چون در نقطه جوش آب، دما افزایش نمی‌یابد، بنابراین گرمای تولیدی گرمکن صرف افزایش دمای آب و گرمکن نمی‌شود و صرفاً باعث تغییر فاز آب از مایع به بخار خواهد شد.

$$m = ۲۰g = ۰/۰۲kg \ , \ P = ۵۰W \ , \ L_{V\,آب} = ۲۲۵۶ \frac{kg}{kg} = ۲۲۵۶ \times ۱۰^۳ \frac{J}{kg} \ , \ t = ?$$

$Q = Pt$ گرمای تولیدی گرمکن ، $Q' = m_{آب} L_{V\,آب}$ گرمای تبخیر آب

$$Q = Q' \rightarrow Pt = m_{آب} L_{V\,آب} \rightarrow ۵۰ \times t = ۰/۰۲ \times ۲۲۵۶ \times ۱۰^۳$$

$$\rightarrow ۵۰t = ۴۵۱۲۰ \rightarrow t = \frac{۴۵۱۱۲۰}{۵۰} = ۹۰۲/۴s \rightarrow t = ۹۰۲/۴s$$

۲۰- گرمکنی در هر ثانیه ۲۰۰/۰ ژول گرما می‌دهد.

الف) چقدر طول می‌کشد تا این گرمکن ۰/۱۰۰ کیلوگرم آب $۱۰۰^\circ C$ را به بخار آب $۱۰۰^\circ C$ تبدیل کند؟

$$P = ۲۰۰W \ , \ m = ۰/۱kg \ , \ L_{V\,آب} = ۲۲۵۶ \frac{kJ}{kg} = ۲۲۵۶ \times ۱۰^۳ \frac{J}{kg} \ , \ t = ?$$

گرمای تولیدی گرمکن برابر است با گرمای لازم جهت تبدیل $۰/۱kg$ آب $۱۰۰^\circ C$ به بخار $۱۰۰^\circ C$.

$$Q = Q' \rightarrow Pt = m_{آب} L_{V\,آب} \rightarrow ۲۰۰t = ۰/۱ \times ۲۲۵۶ \times ۱۰^۳ \rightarrow t = \frac{۲۲۵۶ \times ۱۰^۲}{۲ \times ۱۰^۲} = ۱۱۲۸s$$

$$\rightarrow t = ۱۱۲۸s$$

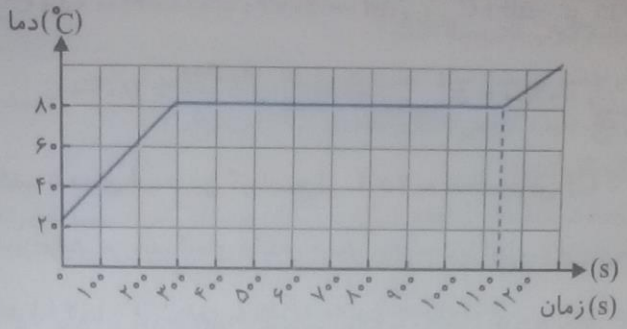
ب) این گرمکن در همین مدت، چه مقدار یخ $۰^\circ C$ را می‌تواند به آب $۰^\circ C$ تبدیل کند؟

$$P = ۲۰۰W \ , \ t = ۱۱۲۸s \ , \ L_{f\,یخ} = ۳۳۳/۷ \frac{kJ}{kg} = ۳۳۳/۷ \times ۱۰^۳ \frac{J}{kg} \ , \ m = ?$$

$$Q = Q' \rightarrow Pt = m_{یخ} L_{f\,یخ} \rightarrow ۲۰۰ \times ۱۱۲۸ = m_{یخ} \times ۳۳۳/۷ \times ۱۰^۳$$

$$\rightarrow m_{یخ} = \frac{۲۰۰ \times ۱۱۲۸}{۳۳۳/۷ \times ۱۰^۳} \simeq ۶۷۶ \times ۱۰^{-۳} kg \rightarrow m_{یخ} \simeq ۶۷۶g$$

۲۱- اگر به جسم جامدی که ابعاد آن به اندازهٔ کافی کوچک است با توان ثابتی گرما بدهیم نمودار دما - زمان آن صورت کیفی مانند شکل روبه‌رو می‌شود. این نمودار در اینجا برای جسم جامدی به جرم ۵۰/۰g رسم شده که توسط گرم‌کنِ ۱۰/۰W گرم شده است.



الف) چقدر طول می‌کشد تا این جامد به نقطه ذوب خود برسد؟ با توجه به نمودار در بازه زمانی ۰ تا ۳۰۰s دمای جسم افزایش می‌یابد و در بازه زمانی ۳۰۰s تا ۱۱۵۰s دمای جسم ثابت بوده و جسم تغییر حالت می‌دهد (ذوب می‌شود) پس ۳۰۰s طول می‌کشد تا جسم به نقطهٔ ذوب برسد.

ب) گرمای ویژهٔ جامد و پ) گرمای نهان ذوب آن را محاسبه کنید.

با توجه به شکل و اطلاعات مسأله داریم:

$$m = ۵۰g = ۰/۰۵kg \ , \ P = ۱۰W \ , \ t = ۳۰۰s \ , \ \Delta\theta = ۸۰ - ۲۰ = ۶۰^\circ C \ , \ c = ?$$

$$Q = Q' \rightarrow Pt = m_{جسم} c_{جسم} \Delta\theta \rightarrow ۱۰ \times ۳۰۰ = ۰/۰۵ \times c_{جسم} \times ۶۰$$

گرمای ویژه جسم

$$\rightarrow ۳۰۰۰ = ۳c_{جسم} \rightarrow c_{جسم} = \frac{۳۰۰۰}{۳} = ۱۰۰۰\frac{J}{kg.^\circ C} \rightarrow c_{جسم} = ۱۰۰۰\frac{J}{kg.^\circ C}$$

$$m = ۰/۰۵kg \ , \ P = ۱۰W \ , \ t = ۱۱۵۰ - ۳۰۰ = ۸۵۰s \ , \ L_f = ?$$

$$Q = Q' \rightarrow Pt = mL_f \rightarrow ۱۰ \times ۸۵۰ = ۰/۰۵ \times L_f \rightarrow L_f = \frac{۸۵۰۰}{۰/۰۵} = ۱۷۰۰۰۰\frac{J}{kg}$$

گرمای نهان ذوب جسم

$$\rightarrow L_f = ۱۷۰۰۰۰\frac{J}{kg}$$

۲۲- در چالهٔ کوچکی ۱/۰۰kg آب $0^\circ C$ قرار دارد. اگر بر اثر تبخیر سطحی قسمتی از آب تبخیر شود و بقیهٔ آن یخ بیندد، جرم آب یخ‌زده چقدر می‌شود؟

مقدار گرمایی که بخشی از آب برای انجماد از دست می‌دهد برابر است با مقدار گرمایی که بخش دیگر آب برای تبخیر می‌گیرد.

در دمای $0^\circ C$ داریم:

$$L_{v\,آب} = ۲۴۹۰\frac{kJ}{kg} \ \text{و} \ L_{f\,یخ} = ۳۳۳/۷\frac{kJ}{kg}$$

اگر جرم آب یخ‌زده را با m و جرم آب تبخیر شده را با m' نشان دهیم می‌توان نوشت:

$$Q_{انجماد} + Q_{تبخیر} = ۰ \rightarrow -mL_f + m'L_v = ۰ \rightarrow m'L_v = mL_f \rightarrow m' = m\frac{L_f}{L_v}$$

مجموع جرم آب یخ‌زده و جرم آب تبخیر شده ۱kg است، بنابراین:

$$m + m' = ۱ \rightarrow m + \frac{mL_f}{L_v} = ۱ \rightarrow \frac{mL_v + mL_f}{L_v} = ۱ \rightarrow m\frac{L_v + L_f}{L_v} = ۱ \rightarrow m = \frac{۱}{\frac{L_v + L_f}{L_v}}$$

جرم آب یخ زده

$$\rightarrow m = \frac{L_v}{L_v + L_f} \rightarrow m = \frac{۲۴۹۰}{۲۴۹۰ + ۳۳۳/۷} = \frac{۲۴۹۰}{۲۸۲۳/۷} \simeq ۰/۸۸۲kg \rightarrow m \simeq ۸۸۲g$$

۲۳- در گروهی از جانوران خونگرم و انسان، تبخیر عرق بدن، یکی از راه‌های مهم کنترل دمای بدن است.

الف) چه مقدار آب تبخیر شود تا دمای بدن شخصی به جرم $50/0kg$ به اندازهٔ $1/00^\circ C$ کاهش یابد؟ گرمای نهان تبخیر آب در دمای بدن $(37^\circ C)$ برابر $2/42\times10^6 J/kg$ و گرمای ویژهٔ بدن در حدود $3480 J/kg.K$ است.

گرمایی که شخص در کاهش دمای بدن، شخص از دست می‌دهد برابر است با گرمایی که آب هنگام تبخیر می‌گیرد. بنابراین:

$$Q = Q' \rightarrow m_{آ} L_{V\,آ} = m_{بدن} c_{بدن} \Delta\theta \rightarrow m_{آ} \times 2/42\times10^6 = 50\times3480\times1$$

$$\rightarrow m_{آ} = \frac{50\times3480}{2/42\times10^6} = 719\times10^{-4} kg = 71/9\times10^{-3} kg = 72g \rightarrow m_{آ} = 72g$$

ب) حجم آبی که شخص باید برای جبران آب تبخیر شده بنوشد، چقدر است؟

$$\rho_{آ} = 1000\frac{kg}{m^3} = 1\frac{g}{cm^3} \quad , \quad \rho = \frac{m}{V} \rightarrow V = \frac{m}{\rho} = \frac{72}{1} = 72cm^3 \rightarrow V = 72cm^3$$

۲۴- اگر شما یک تیر چوبی و یک لولهٔ فلزی سرد را که هم‌دما هستند لمس کنید، چرا حس می‌کنید که لوله سردتر است؟ چرا ممکن است دست شما به لوله بچسبد؟

چوب رسانای ضعیف گرما است، بنابراین گرمای دست را در محل تماس نگه داشته و گرم به نظر می‌رسد ولی فلز چون رسانای گرما است، گرمای دست را از محل تماس منتقل کرده و سردتر به نظر می‌رسد. اگر دمای لوله خیلی پایین باشد، رطوبتی که بین پوست دست و سطح فلز قرار دارد، در اثر کاهش دما به بلورهای یخ تبدیل شده و دست را به سطح فلز می‌چسباند.

۲۵- یک پالتو چگونه شما را گرم نگه می‌دارد؟ چرا استفاده از چند لباس زیر پالتو این عمل را تشدید می‌کند؟

لایه‌ای از هوا در بین الیاف پالتو قرار گرفته و چون هوا رسانای ضعیف گرما است، مانع از انتقال گرمای بدن به خارج می‌شود. با افزایش ضخامت لایه‌های عایق پوشاننده بدن، آهنگ رسانش گرمای بدن به هوای بیرون کاهش می‌یابد.

۲۶- شیشهٔ پنجره ای دارای عرض ۲/۰ متر، ارتفاع ۱/۰ متر و ضخامت $4/0mm$ است.

الف) در یک روز زمستانی دمای وجهی از شیشه که در تماس با هوای سرد بیرون است $2/0^\circ C$ و دمای وجهی از شیشه که در تماس با هوای گرم داخل اتاق است $7/0^\circ C$ است. چه مقدار گرما در هر ثانیه از طریق شیشه (با $k = 1/0 W/m.K$) به بیرون اتاق انتقال پیدا می‌کند؟

$$A = 2\times1 = 2m^2 \quad , \quad L = 4mm = 4\times10^{-3} m \quad , \quad T_L = 2^\circ C \quad , \quad T_H = 7^\circ C \quad , \quad k = 1\frac{W}{m.K} \quad , \quad H = ?$$

$$H = k\frac{A(T_H - T_L)}{L} = 1\times\frac{2\times(\cancel{7}-\cancel{5})}{4\times10^{-3}} = 2/5\times10^3 W \rightarrow H = 2/5\times10^3 W$$

ب) چه مقدار انرژی در طول یک روز به این ترتیب تلف می‌شود؟

یک روز ۸۶۴۰۰ ثانیه است، بنابراین انرژی‌ای که در طول یک روز تلف می‌شود برابر است با:

$$Q = Ht \rightarrow Q = 2/5\times10^3 \times 86400 = 2/16\times10^8 J \rightarrow Q = 2/16\times10^8 J$$

۲۷- جعبهٔ یخ‌دانی از جنس پلی‌استیرن با مساحت کل دیواره‌های $0/80m^2$ و ضخامت دیواره‌های $2/0cm$ در اختیار دارید. اختلاف دمای سطح داخلی و خارجی یخ‌دان $20/0^\circ C$ است. در یک روز (۲۴h) چقدر یخ آب می‌شود؟ رسانندگی گرمایی پلی‌استیرن برابر است با $k = 0/010 W/m.K$. برای محاسبه مقدار گرمایی که در مدت ۲۴ ساعت از بیرون به داخل جعبه منتقل می‌شود باید آهنگ رسانش گرما از جعبه را به‌دست آوریم:

$$A = 0/8m^2 \quad , \quad L = 2cm = 2\times10^{-2} m \quad , \quad T_H - T_L = 20^\circ C \quad , \quad t = 24h = 86400s \quad , \quad m = ?$$

$$L_{f\,یخ} = 333/7\frac{kJ}{kg} \quad , \quad k = 0/01\frac{W}{m.k}$$

$$H = k\frac{A(T_H - T_C)}{L} = 0/01\times\frac{0/8\times20}{2\times10^{-2}} = \frac{16\times10^{-2}}{2\times10^{-2}} = 8W \rightarrow H = 8W$$

گرمایی که در ۲۴ ساعت به داخل جعبه منتقل می‌شود:

$$Q = Rt \rightarrow Q = 8 \times 86400 = 691200J \rightarrow Q = 691200J$$

حال باید ببینیم این مقدار گرما چند گرم یخ $0^\circ C$ را ذوب می‌کند:

$$Q = m_{یخ} L_{f(یخ)} \rightarrow m_{یخ} = \frac{Q}{L_{f(یخ)}} = \frac{691200}{333/7 \times 10^3} = 2kg \rightarrow m_{یخ} = 2kg$$

۲۸- دو قوری هم‌جنس و هم‌اندازه را در نظر بگیرید که سطح بیرونی یکی سیاه‌رنگ و دیگری سفیدرنگ است. هردو را با آب داغ با دمای یکسان پر می‌کنیم. آب کدام قوری زودتر خنک می‌شود؟ قوری تیره، چون تابش گرمایی گسیل شده از سطوح تیره و مات بیشتر از سطوح صاف و روشن است، آهنگ تابش گرما از قوری تیره بیشتر بوده و زودتر خنک می‌شود.

۲۹- گازی در دمای $20^\circ C$ دارای حجم $100/0 cm^3$ است.

الف) این گاز را باید تا چه دمایی گرم کنیم تا در فشار ثابت، حجم آن $200/0 cm^3$ شود؟

$$T_1 = 20 + 273 = 293K \ , \ V_1 = 100cm^3 \ , \ V_2 = 200cm^3 \ , \ \text{فشار ثابت} \ , \ T_2 = ?$$

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2} \xrightarrow{\text{فشار ثابت}} \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \rightarrow \frac{100}{293} = \frac{200}{T_2} \rightarrow T_2 = \frac{293 \times 200}{100} = 586K$$

$$\rightarrow T_2 = 586k = 313^\circ C$$

ب) این گاز در همین فشار در چه دمایی دارای حجم $50/0 cm^3$ خواهد شد؟

$$T_1 = 293K \ , \ V_1 = 100cm^3 \ , \ V_2 = 50cm^3 \ , \ \text{فشار ثابت} \ , \ T_2 = ?$$

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2} \xrightarrow{\text{فشار ثابت}} \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \rightarrow \frac{100}{293} = \frac{50}{T_2} \rightarrow T_2 = \frac{293 \times 50}{100} = 146/5K$$

$$\rightarrow T_2 = 146/5K = -126/5^\circ C$$

۳۰- هوایی با فشار $1/0 atm$ درون استوانهٔ یک تلمبه دوچرخه با طول $24cm$ محبوس است. راه‌های ورودی و خروجی هوای استوانه تلمبه را می‌بندیم. اکنون

الف) اگر طول استوانه را در دمای ثابت به $30/0 cm$ افزایش دهیم، فشار هوای محبوس چقدر خواهد شد؟

$$P_1 = 1atm \ , \ L_1 = 24cm \ , \ L_2 = 30cm \ , \ \text{دما ثابت} \ , \ P_2 = ?$$

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2} \xrightarrow{\text{دما ثابت}} P_1V_1 = P_2V_2 \xrightarrow{V=AL} P_1AL_1 = P_2AL_2 \rightarrow P_1L_1 = P_2L_2$$

$$\rightarrow 1 \times 24 = P_2 \times 30 \rightarrow P_2 = \frac{24}{30} = 0/8atm \rightarrow P_2 = 0/8atm$$

ب) برای آنکه در دمای ثابت، فشار هوای محبوس $3/0 atm$ شود، طول استوانه را چقدر باید کاهش دهیم؟

$$P_1 = 1atm \ , \ L_1 = 24cm \ , \ P_2 = 3atm \ , \ \text{دما ثابت} \ , \ L_2 = ?$$

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2} \xrightarrow{\text{دما ثابت}} P_1V_1 \rightarrow P_1V_2 \rightarrow P_1AL_1 = P_2AL_2$$

$$P_1L_1 = P_2L_2 \rightarrow 1 \times 24 = 3 \times L_2 \rightarrow L_2 = \frac{24}{3} = 8cm \rightarrow L_2 = 8cm$$

$$|\Delta L| = |L_2 - L_1| = |8 - 24| = 16cm \rightarrow |\Delta L| = 16cm$$ تغییر طول استوانه

۳۱ لاستیک یک اتومبیل حاوی مقدار معینی هواست. هنگامی که دمای هوا $17^\circ C$ است، فشارسنج، فشار درون لاستیک را ۲/۰۰ اتمسفر نشان می‌دهد. پس از یک رانندگی بسیار سریع، فشار هوای لاستیک دوباره اندازه‌گیری می‌شود. اکنون فشارسنج، ۲/۳۰ اتمسفر را نشان می‌دهد. دمای هوای درون لاستیک در این وضعیت چقدر است؟ حجم لاستیک را ثابت و فشار جو را ۱/۰۰ اتمسفر در نظر بگیرید. چون فشارسنج‌ها، فشار پیمانه‌ای گاز را اندازه‌گیری می‌کنند، برای محاسبه فشار مطلق هوای داخل لاستیک باید فشار پیمانه‌ای را با فشار جو جمع کرد: $P = P_g + P_0$

$T_1 = 17 + 273 = 290K \ , \ P_1 = 2 + 1 = 3atm \ , \ P_2 = 2/3 + 1 = 3/3atm \ , \ \text{حجم ثابت} \ , \ T_2 = ?$

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2} \xrightarrow{\text{حجم ثابت}} \frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \rightarrow \frac{3}{290} = \frac{3/3}{T_2} \rightarrow T_2 = \frac{290 \times 3/3}{3} = 319K$$

$$\rightarrow T_2 = 319K = 46^\circ C$$

۳۲- دما و فشار متعارف (STP) برای گاز، دمای $0^\circ C = 273K$ و فشار $1atm = 1/013 \times 10^5 Pa$ معرفی می‌شود. حجم یک مول گاز کامل در دما و فشار متعارف چقدر است؟

$$T = 273K \ , \ P = 1atm = 1/013 \times 10^5 Pa \ , \ n = 1mol \ , \ R = 8/314 \frac{J}{mol.K} \ , \ V = ?$$

$$\text{قانون گازها: } PV = nRT \rightarrow V = \frac{nRT}{P} = \frac{1 \times 8/314 \times 273}{1/013 \times 10^5} \simeq 2240 \times 10^{-5} m^3 = 22/40 \times 10^{-3} m^3$$

$$\rightarrow V = 22/4L$$

۳۳- یک حباب هوا به حجم $0/20 cm^3$ در ته یک دریاچه به عمق $40/0m$ قرار دارد که دما در آنجا $4/0^\circ C$ است. حباب تا سطح آب بالا می‌آید که در آنجا دما $20^\circ C$ است (دمای هوای حباب با دمای آب اطراف آن یکسان است). در لحظه‌ای که حباب به سطح آب می‌رسد حجم آن چقدر است؟ فشار هوا در سطح دریاچه را $1/01 \times 10^5 Pa$ در نظر بگیرید.

$V_1 = 0/2cm^3 \ , \ T_1 = 4 + 273 = 277K \ , \ T_2 = 20 + 273 = 293K$

$P_1 = P_0 + \rho gh = 1/01 \times 10^5 + (1000 \times 10 \times 40)$

$P_1 = 5/01 \times 10^5 Pa \rightarrow$ فشار در عمق ۴۰ متری دریاچه $P_2 = P_0 = 1/01 \times 10^5 Pa$ و فشار در سطح آب

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2} \rightarrow \frac{5/01 \times 10^5 \times 0/2}{277} = \frac{1/01 \times 10^5 \times V_2}{293} \rightarrow \frac{1/002}{277} = \frac{1/01V_2}{293}$$

$$\rightarrow V_2 = \frac{293 \times 1/002}{277 \times 1/01} = 1/05cm^3 \rightarrow V_2 = 1/05cm^3$$

حجم حباب در سطح آب:

۳۴ سحابی سیاره‌ای، ابری است حلقوی (شکل روبه‌رو) که عمدتاً از گاز هیدروژن با غلظت ۱۰۰۰/۰ مولکول بر سانتی‌مترمکعب و دمای $10000K$ تشکیل شده است. فشار گاز در این سحابی را محاسبه کنید.

$N = 1000 \ , \ V = 1cm^3 = 1 \times 10^{-6} m^3 \ , \ T = 10000K = 1 \times 10^4 K \ , \ Na = 6/02 \times 10^{23}$

$R = 8/314 \frac{J}{mol.K} \ , \ P = ?$

با توجه به تعریف مول داریم:

$$N = n\,Na \rightarrow n = \frac{N}{Na}$$

با توجه به قانون گازها می‌توان نوشت:

$$PV = nRT \rightarrow PV = \frac{N}{Na}RT \rightarrow PV = \frac{NRT}{Na} \rightarrow P = \frac{NRT}{VNa}$$

$$\rightarrow P = \frac{1000 \times 8/314 \times 10^4}{10^{-6} \times 6/02 \times 10^{23}} = 1/38 \times 10^{-10} Pa$$

ارزشیابی مستمر

۱- درست یا نادرست بودن جمله‌های زیر را مشخص کنید. (۱ نمره)

الف) اساس کار تف‌سنج‌ها بر مبنای تابش گرمایی است. ☐ درست ☐ نادرست

ب) با افزایش دمای آب از $0^\circ C$ تا $4^\circ C$ حجم آب افزایش می‌یابد. ☐ درست ☐ نادرست

ج) گرمای لازم برای افزایش دمای یک مول از هر فلز به جنس آن بستگی ندارد. ☐ درست ☐ نادرست

د) تبخیر مایع در هر دمایی رخ می‌دهد. ☐ درست ☐ نادرست

۲- جاهای خالی را با کلمه‌های مناسب پر کنید. (۱)

الف) به انتقال گرما از طریق امواج الکترومغناطیسی که از اجسام منتشر می‌شود ..... می‌گویند.

ب) به مقدار گرمایی که دمای جسم را $1^\circ C$ یا $1K$ افزایش دهد ..... می‌گویند.

ج) به مقدار گرمایی که یک کیلوگرم از جسم هنگام انجماد یا ذوب منتقل می‌کند ..... می‌گویند.

د) به دام افتادن تابش گرمایی بین لایه پوش سپهر و سطح زمین ..... می‌گویند.

۳- از داخل پرانتز عبارت درست را انتخاب کنید. (۱)

الف) حجم جامدهای (بلورین - بی‌شکل) هنگام ذوب ثابت است.

ب) (تصعید - میعان) فرایندی گرماده است.

ج) روش انتقال گرمای (همرفت - تابش) نیاز به محیط مادی ندارد.

د) رابطه حجم و دمای گاز در فشار ثابت (مستقیم - معکوس) است.

۴- گزینهٔ درست را مشخص کنید. (۰/۵)

الف) کدام یک از موارد زیر از عوامل مؤثر بر آهنگ تبخیر سطحی نیست؟

الف) دمای مایع ب) مساحت سطح مایع

ج) فشار سطح مایع د) مقدار مایع

ب) اگر دمای جسمی $81^\circ F$ افزایش یابد چند درجه سلسیوس افزایش یافته است؟

الف) $54^\circ C$ ب) $45^\circ C$ ج) $28^\circ C$ د) $36^\circ C$

۵- مفاهیم زیر را تعریف کنید. (۱)

الف) تعادل گرمایی ب) وارونگی هوا

۶- دلیل رفتار غیرعادی آب در محدوده دمایی $0^\circ C$ تا $4^\circ C$ چیست؟ (۰/۵)

۷- دو مورد از عوامل مؤثر بر میزان رسانش گرمایی مواد را نام ببرید. (۰/۵)

۸- چرا وقتی آب در ظروف روباز یخ می‌بندد یک برآمدگی مرکزی ایجاد می‌شود؟ (۰/۵)

۹- اگر دمای یک میله فلزی را $200^\circ C$ افزایش دهیم، طول آن ۰/۰۱ طول اولیه افزایش می‌یابد. ضریب انبساط طولی این فلز چقدر است؟ (۰/۵)

۱۰- از $200g$ آب $20^\circ C$ چه مقدار گرما بگیریم تا به یخ $-20^\circ C$ تبدیل شود؟ (۱)

$$(c_{آب} = 4200 \frac{J}{kg.^\circ C} \ , \ c_{یخ} = 2100 \frac{J}{kg.^\circ C} \ , \ L_{f_{یخ}} = 335000 \frac{J}{kg})$$

۱۱- یک قطعه فلز به جرم $1kg$ از جنس آلومینیم با دمای $80^\circ C$ را در ظرفی که حاوی $500g$ آب $10^\circ C$ است، می‌اندازیم. دمای تعادل را محاسبه کنید. (از تبادل گرما بین آب و ظرف صرف‌نظر کنید.) (۱)

$$(c_{Al} = 900 \frac{J}{kg.^\circ C} \ , \ c_{آب} = 4200 \frac{J}{kg.^\circ C})$$

۹- ابعاد دیوار اتاق یک خانه چوبی ۳m و ۶m و ضخامت دیوار ۱۰cm است. اگر رسانندگی گرمایی چوب $۰/۲\frac{W}{m.K}$ باشد، آهنگ رسانش گرما از این دیوار چقدر است؟ (دمای داخل خانه را $۳۰^\circ C$ و دمای بیرون را $-۱۰^\circ C$ در نظر بگیرید.) (۰/۷۵)

۱۰- حجم یک حباب هوا هنگامی که به سطح آب دریاچه‌ای می‌رسد، ۷ برابر حجم آن در انتهای دریاچه است. با فرض ثابت بودن دما، عمق دریاچه را تعیین کنید. (۰/۷۵)

$$(P_0 = ۱۰^۵ Pa \ , \ \rho_{آب} = ۱۰۰۰ \frac{kg}{m^۳} \ , \ g = ۱۰ \frac{N}{kg})$$

پاسخ ارزشیابی مستمر

۱ الف) درست (۰/۲۵)، ب) نادرست (۰/۲۵)، ج) درست (۰/۲۵)، د) درست (۰/۲۵) ۲ الف) تابش گرمایی (۰/۲۵)، ب) ظرفیت گرمایی (۰/۲۵)، ج) گرمای نهان ذوب (۰/۲۵)، د) اثر گلخانه‌ای (۰/۲۵) ۳ الف) بی‌شکل (۰/۲۵)، ب) میعان (۰/۲۵)، ج) تابش (۰/۲۵)، د) مستقیم (۰/۲۵) ۴ الف) گزینهٔ (د) (۰/۲۵) ب) گزینهٔ (ب) (۰/۲۵)

$$\Delta\theta = \frac{۵}{۹}\Delta F = \frac{۵}{۹} \times ۸۱ = ۴۵^\circ C$$

۵ الف) اگر دو یا چند جسم گرم و سرد در تماس با یکدیگر قرار گیرند، گرما از اجسام گرم‌تر به اجسام سردتر منتقل می‌شود تا در نهایت همه اجسام به دمای ثابت برسند، به این حالت تعادل گرمایی می‌گویند. (۰/۵) ب) در روزهای سرد زمستان، هوای اطراف سطح زمین سرد و چگالی آن زیاد و هوای لایه‌های بالاتر گرم‌تر و چگالی آنها کمتر است. تحت این شرایط همرفت طبیعی هوا متوقف می‌شود که به آن وارونگی هوا می‌گویند. (۰/۵) ۶ ساختار بلور یخ به گونه‌ای است که در برخی نقاط، مولکول‌ها به هم نزدیک و در برخی نقاط از هم دورانند، در نتیجه حجم یخ بیشتر از آب است، از آنجا که در محدوده دمایی $۰^\circ C$ تا $۴^\circ C$ هنوز بقایای ساختار مولکولی یخ در آب وجود دارد، با افزایش دما در این محدوده و از بین رفتن ساختار مولکولی یخ حجم آب کاهش می‌یابد و بالعکس. (۰/۵) ۷ طول جسم، مساحت سطح مقطع جسم (اختلاف دما و جنس ماده نیز از عوامل دیگر است.) (۰/۵)

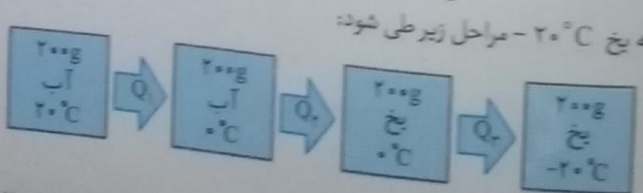
۸ یخ زدن از سطح آب و نقاط نزدیک به دیواره‌های ظرف شروع می‌شود، با کاهش دمای آب از $۴^\circ C$ تا $۰^\circ C$ حجم آب افزایش می‌یابد، مایع‌ها تراکم‌ناپذیرند؛ بنابراین در حین یخ‌زدن آب، از طرف دیواره ظرف افزایش حجم به تدریج به نقطه میانی ظرف منتقل و باعث بالا آمدن سطح آب در حین انجماد می‌شود. (۰/۵)

۹
$$\Delta T = ۲۰۰K \ , \ \Delta L = ۰/۰۱L_۱ \ , \ \alpha = ?$$

$$\underset{(۰/۲۵)}{\Delta L = L_۱\alpha\Delta T} \rightarrow \alpha = \frac{\Delta L}{L_۱\Delta T} \rightarrow \alpha = \frac{۰/۰۱L_۱}{L_۱ \times ۲۰۰} = \frac{۰/۰۱}{۲۰۰} = ۵ \times ۱۰^{-۵}\frac{۱}{K} \rightarrow \alpha = ۵ \times ۱۰^{-۵}\frac{۱}{K} \ (۰/۲۵)$$

۱۰
$$(c_{آ} = ۴۲۰۰\frac{J}{kg.^\circ C} \ , \ c_{یخ} = ۲۱۰۰\frac{J}{kg.^\circ C} \ , \ L_{f_{یخ}} = ۳۳۵۰۰۰\frac{J}{kg} \ , \ m = ۲۰۰g = ۰/۲kg)$$

برای تبدیل آب $۲۰^\circ C$ به یخ $-۲۰^\circ C$ مراحل زیر طی شود:



۱۰
$$\left.\begin{aligned} Q_۱ &= mc_{آ}\Delta\theta = ۰/۲ \times ۴۲۰۰ \times (۰ - ۲۰) = -۱۶۸۰۰J \ (۰/۲۵) \\ Q_۲ &= -mL_f = -۰/۲ \times ۳۳۵۰۰۰ = -۶۷۰۰۰J \ (۰/۲۵) \\ Q_۳ &= mc_{یخ}\Delta\theta = ۰/۲ \times ۲۱۰۰ \times (-۲۰ - ۰) = -۸۴۰۰J \ (۰/۲۵) \end{aligned}\right\}$$

$$\rightarrow Q_{کل} = Q_۱ + Q_۲ + Q_۳ = -۱۶۸۰۰ - ۶۷۰۰۰ - ۸۴۰۰ = -۹۲۲۰۰J \rightarrow Q_{کل} = -۹۲۲۰۰J \ (۰/۲۵)$$

۱۱

$$\left.\begin{array}{l} \text{فلز}: m_1 = 1\text{kg} \ , \ c_1 = 900\dfrac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \ , \ \theta_1 = 80^\circ\text{C} \\ \text{آب}: m_2 = 500\text{g} = 0/5\text{kg} \ , \ c_2 = 4200\dfrac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \ , \ \theta_1 = 10^\circ\text{C} \end{array}\right\} \xrightarrow{\text{دمای تعادل}} \theta = ?$$

$$\underset{(0/25)}{Q_{\text{آب}}} + Q_{\text{فلز}} = 0 \rightarrow \underset{(0/25)}{m_1 c_1(\theta - \theta_1)} + m_2 c_2(\theta - \theta_2) = 0$$

$$\rightarrow 1\times 900\times(\theta - 80) + \underset{(0/25)}{0/5\times 4200\times(\theta - 10)} = 0$$

$$\rightarrow 900\theta - 72000 + 2100\theta - 21000 = 0 \rightarrow 3000\theta - 93000 = 0 \rightarrow \theta = \frac{93000}{3000} = 31^\circ\text{C}\ (0/25)$$

۱۲

$$A = 3\times 6 = 18\text{m}^2 \ , \ L = 10\text{cm} = 0/1\text{m} \ , \ k = 0/2\frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}} \ , \ T_H - T_L = 30 - (-10) = 40\text{K}$$

$$H = k\frac{A(T_H - T_L)}{L} = \frac{0/2\times 18\times 40}{0/1} = 1440\text{W} \rightarrow H = 1440\text{W} \quad (0/25)$$

$$\underset{(0/25)}{\phantom{H = k\frac{A(T_H - T_L)}{L}}} \qquad \underset{(0/25)}{\phantom{\frac{0/2\times 18\times 40}{0/1}}}$$

۱۳ ابتدا با استفاده از قانون گازها و با فرض ثابت بودن دما، فشار در ته دریاچه را محاسبه می‌کنیم:

$$P_2 = P_0 = 10^5\text{Pa} \ , \ V_2 = 7V_1$$

$$\frac{P_1 V_1}{\cancel{T_1}} = \frac{P_2 V_2}{\cancel{T_2}} \xrightarrow{\text{دما ثابت}} P_1 V_1 = P_2 V_2$$

$$\rightarrow P_1 \cancel{V_1} = 10^5\times 7\cancel{V_1} \rightarrow P_1 = 7\times 10^5\text{Pa}$$ فشار انتهای دریاچه (0/25)

حال با توجه به رابطه $P = P_0 + \rho gh$ عمق دریاچه محاسبه می‌شود:

$$\underset{(0/25)}{P = P_0 + \rho gh} \rightarrow 7\times 10^5 = 10^5 + 1000\times 10\times h \rightarrow 7\times 10^5 - 10^5 = 10^4 h \rightarrow 6\times 10^5 = 10^4 h$$

$$\rightarrow h = \frac{6\times 10^5}{10^4} = 60\text{m} \rightarrow h = 60\text{m}\ (0/25)$$

فصل ۵ ترمودینامیک

کلیدواژه

حالت - متغیر ترمودینامیکی - فرایندهای ترمودینامیکی - انرژی درونی - منبع گرما - قانون اول ترمودینامیکی - چرخه ترمودینامیکی - ماشین گرمایی - بازده - قانون دوم ترمودینامیک - ضریب عملکرد یخچال

مفاهیم آموزشی

علم ترمودینامیک

ترمودینامیک: علمی است که به مطالعه رابطه بین گرما و کار و تبدیل گرما به کار مکانیکی می‌پردازد.

دستگاه: جسمی است که با محیط پیرامون خود گرما و کار مبادله می‌کند.

محیط: اجسام پیرامون دستگاه را که با دستگاه تبادل انرژی دارند محیط می‌گویند.

تعادل ترمودینامیکی: اگر در حجم معینی از یک گاز، دما و فشار در همه نقاط گاز ثابت باشد، تعادل ترمودینامیکی رخ داده است.

متغیرهای ترمودینامیکی: کمیت‌های فشار، حجم و دما (P، V و T) را که حالت تعادل دستگاه با آنها مشخص می‌شود متغیرهای ترمودینامیکی می‌گویند.

معادله حالت گاز: رابطه بین متغیرهای ترمودینامیکی یک گاز را معادله حالت گاز می‌گویند. معادله حالت برای یک گاز آرمانی برابر است با:

$$PV = nRT$$

فرایند ترمودینامیکی: تغییر دستگاه از یک حالت تعادل به حالت تعادل دیگر را فرایند ترمودینامیکی می‌گویند.

فرایند ایستاوار: فرایندی که در آن دستگاه همواره نزدیک به حالت تعادل است را ایستاوار می‌گویند.

گرما: انرژی‌ای است که به دلیل اختلاف دما بین دو جسم مبادله می‌شود.

منبع گرمایی: جسمی است که با مبادله گرما، تغییر دمای محسوسی نمی‌کند.

انرژی درونی: برابر است با مجموع انرژی‌های جنبشی و پتانسیل ذرات یک جسم که آن را با U نشان می‌دهند.

نکته مهم: انرژی درونی یک گاز کامل فقط تابع دمای مطلق گاز است.

نکته: تبادل انرژی بین دستگاه و محیط از طریق گرما و کار صورت می‌گیرد.

نکته: تغییر انرژی درونی به گرما و کار مبادله شده بین دستگاه و محیط بستگی دارد.

قانون اول ترمودینامیک: اگر در یک فرایند ایستاوار، دستگاه گرمای Q را بگیرد و کار W روی آن انجام شود، تغییر انرژی درونی دستگاه برابر است با مجموع گرمای داده شده به دستگاه و کار انجام شده روی آن:

$$\Delta U = Q + W$$

نکته مهم: اگر به دستگاه گرما داده شود علامت Q مثبت و اگر از دستگاه گرما گرفته شود علامت Q منفی است.

نکته مهم: اگر بر روی دستگاه کار انجام شود (حجم دستگاه کاهش یابد) علامت W مثبت و اگر دستگاه روی محیط کار انجام دهد (حجم دستگاه افزایش یابد) علامت W منفی است.

نکته: فرایندهایی که یک گاز کامل را از حالت اولیه یکسان (P_1, V_1, T_1) به حالت نهایی یکسان (P_2, V_2, T_2) می‌رسانند، تغییر انرژی درونی یکسانی دارند ولی کار و گرمای مبادله شده در آنها می‌تواند متفاوت باشد.

نکته: در تبادل کار و گرمای یک دستگاه با محیط، انرژی درونی می‌تواند افزایش یابد ($\Delta U > 0$) یا کاهش یابد ($\Delta U < 0$) یا تغییر نکند. ($\Delta U = 0$)

مثال ۱: در یک فرایند ترمودینامیکی بر روی دستگاه ۴۵۰J کار انجام شده و ۲۵۰J گرما توسط دستگاه از محیط گرفته شده است. تغییر انرژی درونی دستگاه چقدر است؟

$$W = +450J \quad , \quad Q = +250J$$

$$\Delta U = Q + W = 450 + 250 = 700J \rightarrow \Delta U = 700J$$

مثال ۲: اگر در یک فرایند ترمودینامیکی ۱۵۰۰J گرما به دستگاه داده شود، دستگاه ۴۰۰J کار روی محیط انجام دهد، تغییر انرژی درونی دستگاه چقدر است؟

$$Q = +1500J \quad , \quad W = -400J$$

$$\Delta U = Q + W = +1500 - 400 = +1100J \rightarrow \Delta U = 1100J$$

علامت مثبت نشان‌دهنده آن است که انرژی درونی دستگاه افزایش یافته است.

فصل ۵ ترمودینامیک

کلیدواژه

معادله حالت - متغیر ترمودینامیکی - فرایندهای ترمودینامیکی - انرژی درونی - منبع گرما - قانون اول ترمودینامیکی - چرخه ترمودینامیکی - ماشین گرمایی - بازده - قانون دوم ترمودینامیک - ضریب عملکرد یخچال

سرفصل آموزشی

علم ترمودینامیک

ترمودینامیک: علمی است که به مطالعه رابطه بین گرما و کار و تبدیل گرما به کار مکانیکی می‌پردازد.

دستگاه: جسمی است که با محیط پیرامون خود گرما و کار مبادله می‌کند.

محیط: اجسام پیرامون دستگاه را که با دستگاه تبادل انرژی دارند محیط می‌گویند.

تعادل ترمودینامیکی: اگر در حجم معینی از یک گاز، دما و فشار در همه نقاط گاز ثابت باشد، تعادل ترمودینامیکی رخ داده است.

متغیرهای ترمودینامیکی: کمیت‌های فشار، حجم و دما (P، V و T) را که حالت تعادل دستگاه با آنها مشخص می‌شود متغیرهای ترمودینامیکی می‌گویند.

معادله حالت گاز: رابطه بین متغیرهای ترمودینامیکی یک گاز را معادله حالت گاز می‌گویند. معادله حالت برای یک گاز آرمانی برابر است با:

$$PV = nRT$$

فرایند ترمودینامیکی: تغییر دستگاه از یک حالت تعادل به حالت تعادل دیگر را فرایند ترمودینامیکی می‌گویند.

فرایند ایستاوار: فرایندی که در آن دستگاه همواره نزدیک به حالت تعادل است را ایستاوار می‌گویند.

گرما: انرژی‌ای است که به دلیل اختلاف دما بین دو جسم مبادله می‌شود.

منبع گرمایی: جسمی است که با مبادله گرما، تغییر دمای محسوسی نمی‌کند.

انرژی درونی: برابر است با مجموع انرژی‌های جنبشی و پتانسیل ذرات یک جسم که آن را با U نشان می‌دهند.

نکته مهم: انرژی درونی یک گاز کامل فقط تابع دمای مطلق گاز است.

نکته: تبادل انرژی بین دستگاه و محیط از طریق گرما و کار صورت می‌گیرد.

نکته: تغییر انرژی درونی به گرما و کار مبادله شده بین دستگاه و محیط بستگی دارد.

قانون اول ترمودینامیک: اگر در یک فرایند ایستاوار، دستگاه گرمای Q را بگیرد و کار W روی آن انجام شود، تغییر انرژی درونی دستگاه برابر است با مجموع گرمای داده شده به دستگاه و کار انجام شده روی آن:

$$\Delta U = Q + W$$

نکته مهم: اگر به دستگاه گرما داده شود علامت Q مثبت و اگر از دستگاه گرما گرفته شود علامت Q منفی است.

نکته مهم: اگر بر روی دستگاه کار انجام شود (حجم دستگاه کاهش یابد) علامت W مثبت و اگر دستگاه روی محیط کار انجام دهد (حجم دستگاه افزایش یابد) علامت W منفی است.

نکته: فرایندهایی که یک گاز کامل را از حالت اولیه یکسان (P_1, V_1, T_1) به حالت نهایی یکسان (P_2, V_2, T_2) می‌رسانند، تغییر انرژی درونی یکسانی دارند ولی کار و گرمای مبادله شده در آنها می‌تواند متفاوت باشد.

نکته: در تبادل کار و گرمای یک دستگاه با محیط، انرژی درونی می‌تواند افزایش یابد ($\Delta U > 0$) یا کاهش یابد ($\Delta U < 0$) یا تغییر نکند. ($\Delta U = 0$)

مثال ۱: در یک فرایند ترمودینامیکی بر روی دستگاه ۴۵۰J کار انجام شده و ۲۵۰J گرما توسط دستگاه از محیط گرفته شده است. تغییر انرژی درونی دستگاه چقدر است؟

$$Q = +250J \quad , \quad W = +450J$$

$$\Delta U = Q + W = 250 + 450 = 700J \rightarrow \Delta U = 700J$$

مثال ۲: اگر در یک فرایند ترمودینامیکی ۱۵۰۰J گرما به دستگاه داده شود، دستگاه ۴۰۰J کار روی محیط انجام دهد، تغییر انرژی درونی دستگاه چقدر است؟

$$Q = +1500J \quad , \quad W = -400J$$

$$\Delta U = Q + W = +1500 - 400 = +1100J \rightarrow \Delta U = 1100J$$

علامت مثبت نشان‌دهنده آن است که انرژی درونی دستگاه افزایش یافته است.

فصل ۵ ترمودینامیک

کلیدواژه

معادله حالت - متغیر ترمودینامیکی - فرایندهای ترمودینامیکی - انرژی درونی - منبع گرما - قانون اول ترمودینامیکی - چرخه ترمودینامیکی - ماشین گرمایی - بازده - قانون دوم ترمودینامیک - ضریب عملکرد یخچال

سرفصل آموزشی

علم ترمودینامیک

ترمودینامیک: علمی است که به مطالعه رابطه بین گرما و کار و تبدیل گرما به کار مکانیکی می‌پردازد.

دستگاه: جسمی است که با محیط پیرامون خود گرما و کار مبادله می‌کند.

محیط: اجسام پیرامون دستگاه را که با دستگاه تبادل انرژی دارند محیط می‌گویند.

تعادل ترمودینامیکی: اگر در حجم معینی از یک گاز، دما و فشار در همه نقاط گاز ثابت باشد، تعادل ترمودینامیکی رخ داده است.

متغیرهای ترمودینامیکی: کمیت‌های فشار، حجم و دما (P، V و T) را که حالت تعادل دستگاه با آنها مشخص می‌شود متغیرهای ترمودینامیکی می‌گویند.

معادله حالت گاز: رابطه بین متغیرهای ترمودینامیکی یک گاز را معادله حالت گاز می‌گویند. معادله حالت برای یک گاز آرمانی برابر است با:

$$PV = nRT$$

فرایند ترمودینامیکی: تغییر دستگاه از یک حالت تعادل به حالت تعادل دیگر را فرایند ترمودینامیکی می‌گویند.

فرایند ایستاوار: فرایندی که در آن دستگاه همواره نزدیک به حالت تعادل است را ایستاوار می‌گویند.

گرما: انرژی‌ای است که به دلیل اختلاف دما بین دو جسم مبادله می‌شود.

منبع گرمایی: جسمی است که با مبادله گرما، تغییر دمای محسوسی نمی‌کند.

انرژی درونی: برابر است با مجموع انرژی‌های جنبشی و پتانسیل ذرات یک جسم که آن را با U نشان می‌دهند.

نکته مهم: انرژی درونی یک گاز کامل فقط تابع دمای مطلق گاز است.

نکته: تبادل انرژی بین دستگاه و محیط از طریق گرما و کار صورت می‌گیرد.

نکته: تغییر انرژی درونی به گرما و کار مبادله شده بین دستگاه و محیط بستگی دارد.

قانون اول ترمودینامیک: اگر در یک فرایند ایستاوار، دستگاه گرمای Q را بگیرد و کار W روی آن انجام شود، تغییر انرژی درونی دستگاه برابر است با مجموع گرمای داده شده به دستگاه و کار انجام شده روی آن:

$$\Delta U = Q + W$$

نکته مهم: اگر به دستگاه گرما داده شود علامت Q مثبت و اگر از دستگاه گرما گرفته شود علامت Q منفی است.

نکته مهم: اگر بر روی دستگاه کار انجام شود (حجم دستگاه کاهش یابد) علامت W مثبت و اگر دستگاه روی محیط کار انجام دهد (حجم دستگاه افزایش یابد) علامت W منفی است.

نکته: فرایندهایی که یک گاز کامل را از حالت اولیه یکسان (P_1, V_1, T_1) به حالت نهایی یکسان (P_2, V_2, T_2) می‌رسانند، تغییر انرژی درونی یکسانی دارند ولی کار و گرمای مبادله شده در آنها می‌تواند متفاوت باشد.

نکته: در تبادل کار و گرمای یک دستگاه با محیط، انرژی درونی می‌تواند افزایش یابد $(\Delta U > 0)$ یا کاهش یابد $(\Delta U < 0)$ یا تغییر نکند. $(\Delta U = 0)$

مثال ۱: در یک فرایند ترمودینامیکی بر روی دستگاه ۴۵۰J کار انجام شده و ۲۵۰J گرما توسط دستگاه از محیط گرفته شده است. تغییر انرژی درونی دستگاه چقدر است؟

$$Q = +250J \quad , \quad W = +450J$$

$$\Delta U = Q + W = 450 + 250 = 700J \rightarrow \Delta U = 700J$$

مثال ۲: اگر در یک فرایند ترمودینامیکی ۱۵۰۰J گرما به دستگاه داده شود، دستگاه ۴۰۰J کار روی محیط انجام دهد، تغییر انرژی درونی دستگاه چقدر است؟

$$Q = +1500J \quad , \quad W = -400J$$

$$\Delta U = Q + W = +1500 - 400 = +1100J \rightarrow \Delta U = 1100J$$

علامت مثبت نشان‌دهنده آن است که انرژی درونی دستگاه افزایش یافته است.

مثال۳: در یک فرایند ترمودینامیکی کار انجام شده توسط دستگاه ۲۰۰J و تغییر انرژی درونی دستگاه ۱۲۰۰J- است گرمای مبادله شده را محاسبه کنید.

$W = -200J \quad , \quad \Delta U = -1200J$

وقتی کار انجام شد توسط دستگاه ۲۰۰J باشد کار انجام شده بر روی دستگاه ۲۰۰- است:

$$\Delta U = Q + W \rightarrow -1200 = Q - 200 \rightarrow Q = -1000J$$

علامت Q منفی است پس در این فرایند ۱۰۰۰J گرما از دستگاه گرفته شده است.

نکته با انجام هر فعالیتی طبق قانون اول ترمودینامیک انرژی درونی بدن به کار و گرما تبدیل می‌شود.

نکته آهنگ سوخت و ساز بدن، آهنگ تبدیل انرژی شیمیایی مواد غذایی به انرژی درونی است که بر حسب کیلوکالری بر ساعت $(\frac{kcal}{h})$ یا وات بیان می‌شود.

فرایندهای خاص

چند نوع فرایند ترمودینامیکی که به بررسی آنها می‌پردازیم عبارتند از:

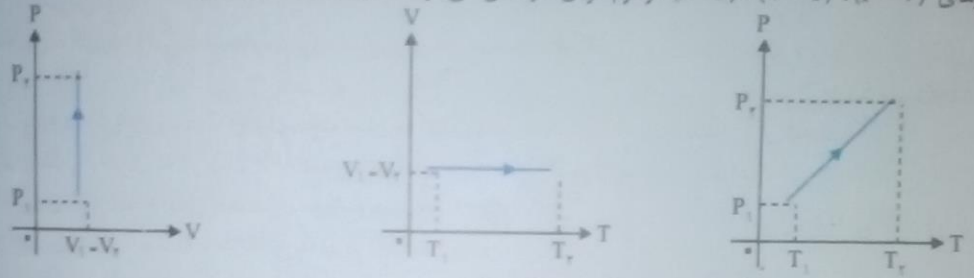
۱- فرایند هم‌حجم ۲- فرایند هم‌فشار ۳- فرایند هم‌دما ۴- فرایند بی‌دررو

فرایند هم‌حجم

فرایندی که در آن حجم گاز ثابت می‌ماند فرایند هم‌حجم نام دارد. در این فرایند چون حجم گاز تغییری نمی‌کند؛ کار انجام شده روی دستگاه صفر است ($W = 0$) و تغییر انرژی درونی در این فرایند برابر است با:

$$\Delta U = Q + W \xrightarrow{W=0} \Delta U = Q$$

نمودارهای $(P - V)$، $(V - T)$، $(P - T)$ در گرم کردن گاز کامل طی فرایند هم‌حجم به صورت زیر است:



نکته اگر گاز به صورت هم‌حجم گرما از دست دهد جهت پیکان‌ها وارونه می‌شود.

گرمای ویژه مولی گاز در حجم ثابت (C_V): مقدار گرمایی است که دمای یک مول از گاز را در حجم ثابت، ۱K افزایش می‌دهد.

محاسبه گرما در فرایند هم‌حجم

گرمای مبادله شده در فرایند هم‌حجم از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$Q = nC_V\Delta T$$

که در این رابطه: n: تعداد مول گاز

C_V: گرمای ویژه مولی گاز برحسب $\frac{J}{mol.K}$ ، ΔT: افزایش دمای گاز برحسب کلوین یا درجه سلسیوس است.

نکته گرمای ویژه مولی در گازهای کامل تک اتمی تقریباً برابر با $\frac{3}{2}R$ و در گازهای کامل دو اتمی تقریباً برابر با $\frac{5}{2}R$ است.

$(R = 8/31\frac{J}{mol.K}$ ثابت جهانی گازها) $C_V = \frac{5}{2}R$: دو اتمی $C_V = \frac{3}{2}R$: تک اتمی

نتیجه مهم در فرایند هم‌حجم، رابطه گرما و تغییر انرژی درونی به صورت زیر است:

$$\Delta U = Q = nC_V\Delta T$$

مثال۱: اگر به ۲ مول گاز کامل دو اتمی در حجم ثابت، ۴۰۰J گرما دهیم دمای آن چه مقدار افزایش می‌یابد؟ $(R = 8\frac{J}{mol.K})$

$n = 2mol$ ، دو اتمی ، حجم ثابت ، $Q = +400J$ ، $\Delta T = ?$

$$Q = nC_V\Delta T \xrightarrow{C_V = \frac{5}{2}R} Q = n \times \frac{5}{2}R \times \Delta T \rightarrow +400 = 2 \times \frac{5}{2} \times 8 \times \Delta T \rightarrow 400 = 40\Delta T$$

$$\rightarrow \Delta T = \frac{400}{40} = 10K$$

مثال ۲: اگر دمای ۳ مول گاز کامل تک اتمی در حجم ثابت، ۲۰K افزایش یابد تغییر انرژی درونی گاز چقدر است؟

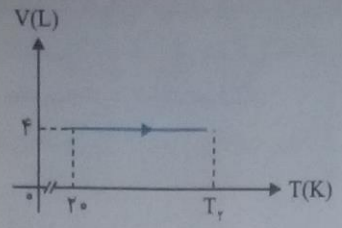
تک اتمی

$\Delta T = 20K \quad , \quad \Delta U = ?$ $(R = 8\frac{J}{mol.K})$

حجم ثابت $\rightarrow \Delta U = Q = nC_V\Delta T \xrightarrow{C_V=\frac{3}{2}R} \Delta U = n\times\frac{3}{2}R\times\Delta T$

$= 3\times\frac{3}{2}\times 8\times 20 = 720J \rightarrow \Delta U = 720J$

مثال ۳: شکل زیر نمودار $V-T$، ۲ مول گاز کامل تک اتمی را طی فرایندی هم‌حجم نشان می‌دهد. اگر گرمای مبادله شده طی این فرایند، ۹۶J باشد، دما و فشار نهایی گاز را محاسبه کنید. $(R \simeq 8\frac{J}{mol.K})$



تک اتمی ، هم حجم . $n = 2mol$

$V_1 = V_2 = 4L = 4\times10^{-3}m^3$ ، $T_1 = 20K$

$Q = +96J$ ، $T_2 = ?$ ، $P_2 = ?$

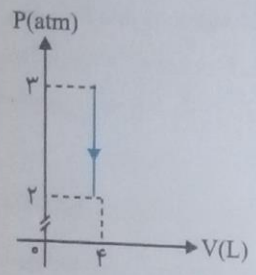
$Q = nC_V\Delta T \rightarrow Q = n\times\frac{3}{2}R(T_2 - T_1) \rightarrow 96 = 2\times\frac{3}{2}\times 8\times(T_2 - 20) \rightarrow 96 = 24(T_2 - 20)$

$T_2 - 20 = \frac{96}{24} = 4 \rightarrow T_2 = 4 + 20 = 24K \rightarrow T_2 = 24K$ دمای نهایی:

$P_2V_2 = nRT_2 \rightarrow P_2\times 4\times10^{-3} = 2\times 8\times 24 \rightarrow P_2 = \frac{384}{4\times10^{-3}} = 96\times10^3 Pa$

$\rightarrow P_2 = 96\times10^3 Pa$ فشار نهایی:

مثال ۴: شکل زیر نمودار $P-V$ یک مول گاز کامل تک اتمی را طی یک فرایند هم‌حجم نشان می‌دهد:



الف) گرمای مبادله شده گاز را محاسبه کنید. $(R \simeq 8\frac{J}{mol.K})$

هم‌حجم ، تک اتمی $P_1 = 3atm = 3\times10^5 Pa$

$P_2 = 2atm = 2\times10^5 Pa$

$V_1 = V_2 = 4L = 4\times10^{-3}m^3$

$n = 1mol$

$Q = nC_V\Delta T = n\times\frac{3}{2}R(T_2 - T_1) = \frac{3}{2}(nRT_2 - nRT_1) \xrightarrow{PV=nRT} Q = \frac{3}{2}(P_2V_2 - P_1V_1)$

$\rightarrow Q = \frac{3}{2}(2\times10^5\times4\times10^{-3} - 3\times10^5\times4\times10^{-3}) = \frac{3}{2}(800 - 1200) = \frac{3}{2}\times(-400) = -600J$

$\rightarrow Q = -600J$

چون علامت Q منفی است بنابراین گاز گرما از دست داده است.

ب) تغییر انرژی درونی گاز چقدر است؟

فرایند هم‌حجم است. $\rightarrow \Delta U = Q = -600J \rightarrow \Delta U = -600J$

ج) دمای نهایی گاز چقدر است؟

$P_2V_2 = nRT_2 \rightarrow T_2 = \frac{P_2V_2}{nR} = \frac{2\times10^5\times4\times10^{-3}}{1\times8} = 100K \rightarrow T_2 = 100K$

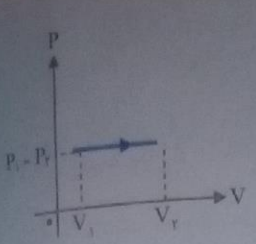
د) دمای اولیه گاز چقدر است؟

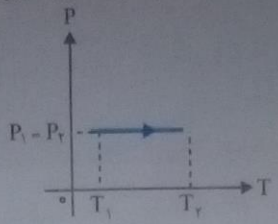
$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2} \xrightarrow[V_1=V_2]{\text{هم‌حجم}} \frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \rightarrow \frac{3atm}{T_1} = \frac{2atm}{100} \rightarrow T_1 = \frac{100\times3}{2} = 150K \rightarrow T_1 = 150K$

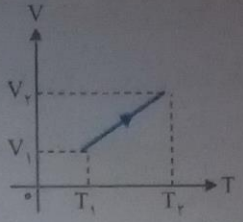
فرایند هم‌فشار

فرایندی که در آن فشار گاز ثابت است، فرایند هم‌فشار نام دارد.

نمودارهای P-V، P-T و V-T برای یک فرایند انبساط هم‌فشار به صورت زیر است:







نکته: اگر گاز در فرایند هم‌فشار متراکم شود جهت پیکان‌ها وارونه می‌شود.

نکته: در فرایند هم‌فشار هم کار و هم گرما بین دستگاه و محیط مبادله می‌شود.

محاسبه کار در فرایند هم‌فشار:

کار محیط روی دستگاه در فرایند هم‌فشار از رابطه زیر به دست می‌آید:

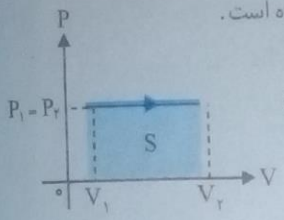
$$W = -P\Delta V$$

طبق رابطه فوق:

اگر گاز منبسط شود $\Leftarrow \Delta V > 0 \Leftarrow$ علامت W (کار محیط روی دستگاه) منفی است.

اگر گاز متراکم شود $\Leftarrow \Delta V < 0 \Leftarrow$ علامت W (کار محیط روی دستگاه) مثبت است.

نکته مهم: مساحت زیر نمودار P-V در فرایند هم‌فشار برابر قدرمطلق کار محیط روی دستگاه است.



$$S = |W|$$

نکته: در حالت کلی می‌توان نشان داد برای تمام فرایندها، مساحت زیر نمودار P-V برابر با قدرمطلق کار محیط روی دستگاه است.

محاسبه گرما در فرایند هم‌فشار:

مشابه فرایند هم‌حجم، گرمای مبادله شده در فرایند هم‌فشار از رابطهٔ زیر به دست می‌آید:

که در این رابطه C_P : گرمای ویژه مولی در فشار ثابت است.

$$Q = nC_P\Delta T$$

نکته مهم: گرمای ویژه مولی در فشار ثابت برای گاز کامل تک اتمی تقریباً برابر با $\frac{5}{2}R$ و برای گازهای کامل دو اتمی تقریباً برابر با $\frac{7}{2}R$ است.

نتیجه مهم: کار، گرما و تغییر انرژی درونی در فرایند هم‌فشار به صورت زیر است:

$$W = -P\Delta V \quad , \quad Q = nC_P\Delta T \quad , \quad \Delta U = Q + W$$

مثال ۱: حجم گاز کاملی در دمای $27^\circ C$ برابر $3\,L$ است. اگر در فشار ثابت $1/5\,atm$ دمای آن را به $127^\circ C$ برسانیم. کاری که گاز روی محیط انجام می‌دهد. چقدر است؟ $(R \simeq 8 \frac{J}{mol.K})$

$$T_1 = 27 + 273 = 300K \quad , \quad V_1 = 3L = 3 \times 10^{-3} m^3 \quad , \quad W = ?$$

$$T_2 = 127 + 273 = 400K \quad , \quad P_1 = P_2 = 1/5\,atm = 1/5 \times 10^5 Pa$$

برای محاسبه W باید ابتدا حجم نهایی گاز (V_2) را با استفاده از قانون گازها محاسبه کنیم:

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2} \xrightarrow[P_1=P_2]{\text{هم‌فشار}} \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \rightarrow \frac{3}{300} = \frac{V_2}{400} \rightarrow V_2 = \frac{3 \times 400}{300} = 4L$$

$$\rightarrow V_2 = 4L = 4 \times 10^{-3} m^3$$

کار محیط روی گاز برابر است با:

$$W = -P\Delta V = -P(V_2 - V_1) = -1/5 \times 10^5 (4 \times 10^{-3} - 3 \times 10^{-3}) = -1/5 \times 10^5 \times 10^{-3} = -150J$$

$$\rightarrow W = -150J$$

کار گاز روی محیط = -(کار محیط روی گاز) = -(-150J) = 150J

مثال ۲: حجم ۰/۵mol گاز کامل تک اتمی در فشار ثابت ۲atm از ۲L به ۰/۵L کاهش می‌یابد:

الف) کار انجام شده روی گاز چقدر است؟

$n = 0/5\,mol \;,\; P_1 = P_2 = 2\,atm = 2\times10^5\,Pa \;,\; V_1 = 2\,lit = 2\times10^{-3}\,m^3$

$V_2 = 0/5\,L = 0/5\times10^{-3}\,m^3$ فشار ثابت، تک اتمی،

$W = -P\Delta V = -2\times10^5\times(0/5\times10^{-3} - 2\times10^{-3}) = -2\times10^5\times(-1/5)\times10^{-3} = 3\times10^2 = 300J$

$\rightarrow W = +300J$

ب) گرمای مبادله شده بین گاز و محیط چقدر است؟

$$Q = nC_p\Delta T = n\times\frac{5}{2}R(T_2 - T_1) = \frac{5}{2}(nRT_2 - nRT_1) = \frac{5}{2}(P_2V_2 - P_1V_1)$$

$$= \frac{5}{2}(2\times10^5\times0/5\times10^{-3} - 2\times10^5\times2\times10^{-3})$$

$$\rightarrow Q = \frac{5}{2}(100 - 400) = \frac{5}{2}\times(-300) = -750J \rightarrow Q = -750J$$

علامت Q منفی است، بنابراین گاز گرما از دست داده است.

ج) تغییر انرژی درونی گاز را محاسبه کنید.

$$\Delta U = Q + W = -750 + 300 = -450J \rightarrow \Delta U = -450J$$

د) اگر دمای اولیه گاز ۱۰۰K باشد دمای نهایی آن چقدر است؟

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2} \xrightarrow[P_1=P_2]{\text{هم‌فشار}} \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \rightarrow \frac{2}{100} = \frac{0/5}{T_2} \rightarrow T_2 = \frac{100\times0/5}{2} = 25K \rightarrow T_2 = 25K$$

مثال ۳: اگر به ۴ لیتر گاز کامل دو اتمی با دمای اولیه ۱۰۰K در فشار جو ($1\times10^5\,Pa$)، ۵۶۰J گرما دهیم دمای نهایی آن چقدر می‌شود؟ ($R \simeq 8\frac{J}{mol.K}$)

$V_1 = 4L = 4\times10^{-3}\,m^3 \;,\; T_1 = 100K \;,\; P_1 = P_2 = 1\times10^5\,Pa \;,\; Q = +560J$ ، هم‌فشار، دو اتمی ، $T_2 = ?$

$$Q = nC_p\Delta T \rightarrow Q = n\times\frac{7}{2}R(T_2 - T_1)$$

برای محاسبه T_2 در رابطه فوق ابتدا باید تعداد مول گاز را با استفاده از قانون گازها محاسبه کنیم:

$$P_1V_1 = nRT_1 \rightarrow n = \frac{P_1V_1}{RT_1} = \frac{1\times10^5\times4\times10^{-3}}{8\times100} = \frac{400}{800} = \frac{1}{2}mol \rightarrow n = \frac{1}{2}mol$$

$$Q = n\times\frac{7}{2}R(T_2 - T_1) \rightarrow 560 = \frac{1}{2}\times\frac{7}{2}\times8\times(T_2 - 100) \rightarrow 560 = 14(T_2 - 100)$$

$$\rightarrow T_2 - 100 = \frac{560}{14} = 40$$

$T_2 - 100 = 40 \rightarrow T_2 = 140K$ دمای نهایی گاز

مثال ۴: مقداری گاز کامل تک اتمی در یک انبساط هم‌فشار، ۳۰۰J گرما دریافت می‌کند. کار انجام شده در این فرایند چقدر است؟

$W = ? \;,\; Q = +300J$ ، هم‌فشار، تک اتمی

$$Q = nC_p\Delta T = n\times\frac{5}{2}R(T_2 - T_1) = \frac{5}{2}(nRT_2 - nRT_1) = \frac{5}{2}(P_2V_2 - P_1V_1)$$

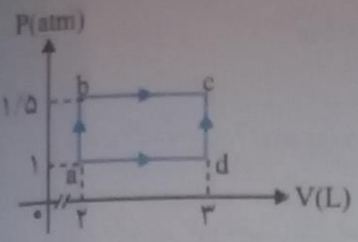
$$\xrightarrow[P_2=P_1=P]{\text{هم فشار}} Q = \frac{5}{2}P(V_2 - V_1)$$

$$\rightarrow Q = \frac{5}{2}P\Delta V \rightarrow 300 = \frac{5}{2}P\Delta V \rightarrow P\Delta V = \frac{600}{5} = 120 \rightarrow P\Delta V = 120$$

$$W = -P\Delta V \rightarrow W = -120J$$

مثال ۵: مقداری گاز کامل تک اتمی مطابق شکل زیر از دو مسیر abc و adc به طور آرمانی از حالت اولیه a به حالت نهایی c رفته است.

الف) تغییر انرژی درونی گاز در مسیر abc چقدر است؟



ab فرایند ⟵ هم‌حجم ، bc فرایند ⟵ هم‌فشار

$$\Delta U_{abc} = W_{abc} + Q_{abc} = (W_{ab} + W_{bc}) + (Q_{ab} + Q_{bc})$$

مقدار کار و گرماهای هر مسیر را جداگانه محاسبه می‌کنیم:

ab فرایند هم‌حجم است. ⟵ $W_{ab} = 0$

bc فرایند هم‌فشار است. ⟵ $W_{bc} = -P\Delta V = -1/5 \times 10^5 \times (3 \times 10^{-3} - 2 \times 10^{-3})$

$$= -1/5 \times 10^5 \times 1 \times 10^{-3} = -150J \longrightarrow W_{bc} = -150J$$

ab فرایند هم‌حجم است. ⟵ $Q_{ab} = nC_V\Delta T = n \times \frac{3}{2}R(T_b - T_a) = \frac{3}{2}(nRT_b - nRT_a) = \frac{3}{2}(P_bV_b - P_aV_a)$

$$\longrightarrow Q_{ab} = \frac{3}{2}(1/5 \times 10^5 \times 2 \times 10^{-3} - 1 \times 10^5 \times 2 \times 10^{-3}) = \frac{3}{2}(300 - 200) = 150J \longrightarrow Q_{ab} = 150J$$

bc فرایند هم‌فشار است. ⟵ $Q_{bc} = nC_P\Delta T = n \times \frac{5}{2}R(T_c - T_b) = \frac{5}{2}(nRT_c - nRT_b) = \frac{5}{2}(P_cV_c - P_bV_b)$

$$\longrightarrow Q_{bc} = \frac{5}{2}(1/5 \times 10^5 \times 3 \times 10^{-3} - 1/5 \times 10^5 \times 2 \times 10^{-3}) = \frac{5}{2}(450 - 300) = 375J \longrightarrow Q_{bc} = 375J$$

$$\Delta U_{abc} = (0 - 150) + (150 + 375) = 375J \longrightarrow \Delta U_{abc} = 375J$$

ب) تغییر انرژی درونی در مسیر adc چقدر است؟

فرایندهایی که از حالت اولیه یکسان به حالت نهایی یکسان می‌رسند تغییر انرژی درونی یکسانی دارند بنابراین:

$$\Delta U_{adc} = 375J$$

فرایند هم‌دما

فرایندی که در آن دما ثابت است فرایند هم‌دما نام دارد. در این فرایند تغییر انرژی درونی صفر است و در نتیجه:

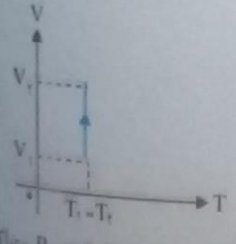
$$\Delta U = Q + W \longrightarrow Q = -W$$

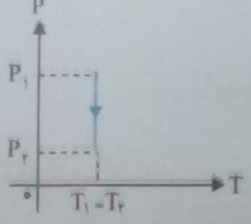
نکته: طبق رابطه فوق در فرایند هم‌دما Q و W قرینه یکدیگر هستند بنابراین:

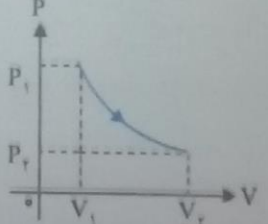
در تراکم هم‌دما چون کار انجام شده روی گاز (W) مثبت است علامت (Q) منفی است. یعنی گاز گرما از دست داده است.

در انبساط هم‌دما نیز چون کار انجام شده روی گاز (W) منفی است، علامت (Q) مثبت است. یعنی گاز گرما گرفته است.

نکته: نمودارهای V-T، P-T و P-V انبساط هم‌دمای یک گاز کامل به صورت زیر است:







مثال ۱: مقداری گاز کامل را در دمای ثابت از حالت اولیه $V_1 = 5L$ و $P_1 = 3atm$ تا حالت نهایی با فشار $P_2 = 6atm$ متراکم می‌کنیم.

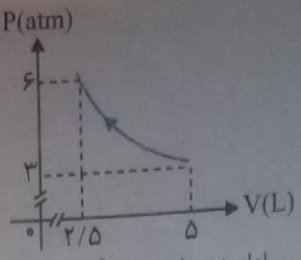
الف) حجم نهایی گاز را محاسبه و نمودار P-V آن را رسم کنید.

فرایند هم‌دما ، $V_1 = 5L = 5 \times 10^{-3}m^3$ ، $P_1 = 3atm = 3 \times 10^5Pa$

$P_2 = 6atm = 6 \times 10^5Pa$ ، $V_2 = ?$

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2} \xrightarrow[T_1=T_2]{\text{فرایند هم‌دما}} P_1V_1 = P_2V_2 \longrightarrow 3 \times 5 = 6 \times V_2$$

فرایند تراکم هم‌دماست که نمودار آن به صورت زیر است:



$$\rightarrow V_2 = \frac{15}{6} = 2/5L \rightarrow V_2 = 2/5L$$

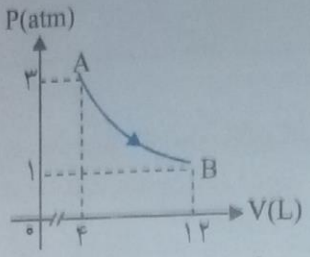
ب) اگر مساحت سطح زیر نمودار ۴۰۰J باشد، کار انجام شده بر روی گاز و گرمای مبادله شده را به دست آورید.

می‌دانیم قدرمطلق کار در هر فرایند برابر است با مساحت سطح زیر نمودار P - V در آن فرایند بنابراین:

در فرایند هم‌دما : $Q = -W \rightarrow Q = -400J$

$$|W| = S = 400J \xrightarrow{\text{تراکم}} W = +400J$$

مثال۲: در شکل زیر نمودار P-V برای ۰/۵mol گاز کامل تک اتمی رسم شده است:



الف) دمای گاز در نقطه A چند کلوین است؟ $(R = 8\frac{J}{mol.K})$

$$P_A = 3atm = 3\times10^5 Pa \ , \ V_A = 4L = 4\times10^{-3}m^3$$

$$P_B = 1atm = 1\times10^5 Pa \ , \ V_B = 12L = 12\times10^{-3}m^3$$

$$P_AV_A = nRT_A \rightarrow T_A = \frac{P_AV_A}{nR} = \frac{3\times10^5\times4\times10^{-3}}{0/5\times8} = \frac{12\times10^2}{4} = 300K \rightarrow T_A = 300K$$

ب) تغییر انرژی درونی گاز طی این فرایند چقدر است؟

ابتدا باید از هم‌دما بودن این فرایند مطمئن شویم. این فرایند در صورتی هم‌دماست که:

$$P_AV_A = P_BV_B$$

$$P_AV_A = 3\times4 = 12$$

$$P_BV_B = 1\times12 = 12 \rightarrow P_AV_A = P_BV_B \rightarrow$$ فرایند AB هم‌دما است. $\rightarrow \Delta U = 0$

ج) اگر گرمای مبادله شده طی این فرایند ۱۳۰۰J باشد کار انجام شده بر روی گاز چقدر است؟

فرایند هم‌دما است. $\rightarrow W = -Q \rightarrow W = -1300J$

فرایند بی‌دررو

اگر در طول فرایندی بین دستگاه و محیط، گرمایی مبادله نشود به این فرایند، بی‌دررو می‌گوییم. قانون اول ترمودینامیک در مورد

$$\Delta U = \cancel{Q} + W \rightarrow \Delta U = W$$

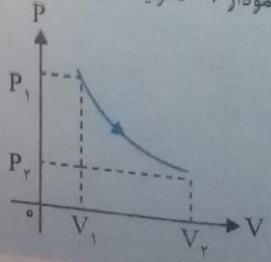
فرایند بی‌دررو به صورت زیر است:

در انبساط بی‌دررو چون کار محیط روی دستگاه (W) منفی است پس ΔU هم منفی است یعنی انرژی درونی گاز کاهش می‌یابد.

در تراکم بی‌دررو چون کار محیط روی دستگاه (W) مثبت است پس ΔU هم مثبت است یعنی انرژی درونی گاز افزایش می‌یابد.

نکته: برای انجام فرایند به صورت بی‌دررو یا باید دستگاه را کاملاً عایق‌بندی کرده و تراکم و انبساط را به آهستگی انجام دهیم و یا اینکه دستگاه را چنان با سرعت متراکم یا منبسط کنیم که گاز فرصت تبادل گرما با محیط را پیدا نکند.

نکته: نمودار P-V فرایند بی‌دررو منحنی شبیه نمودار P-V فرایند هم‌دما است:



الف) فشار نهایی در تراکم هم‌دما چقدر است؟

$$T_{1_{\text{هم‌دما}}} = 300K \quad , \quad T_{1_{\text{بی‌دررو}}} = 300K \quad , \quad P_{2_{\text{بی‌دررو}}} = 2atm = 2 \times 10^5 Pa \quad , \quad n = 2mol$$

$$T_{2_{\text{هم‌دما}}} = 300K \quad , \quad T_{2_{\text{بی‌دررو}}} = 400K \quad , \quad P_{2_{\text{هم‌دما}}} = ?$$

مطابق قانون گازها : $PV = nRT \rightarrow nR = \frac{PV}{T} \rightarrow (\frac{P_2 V_2}{T_2})_{\text{هم‌دما}} = (\frac{P_2 V_2}{T_2})_{\text{بی‌دررو}}$

$$V_{2_{\text{هم‌دما}}} = V_{2_{\text{بی‌دررو}}} \rightarrow (\frac{P_2}{T_2})_{\text{هم‌دما}} = (\frac{P_2}{T_2})_{\text{بی‌دررو}}$$

$$\rightarrow \frac{P_{2_{\text{هم‌دما}}}}{300} = \frac{2}{400} \rightarrow P_{2_{\text{هم‌دما}}} = \frac{300 \times 2}{400} = 1/5 atm \rightarrow P_{2_{\text{هم‌دما}}} = 1/5 atm$$

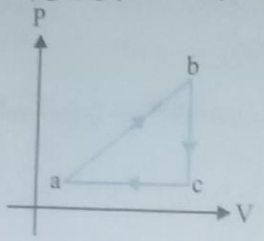
ب) تغییر انرژی درونی در فرایند بی‌دررو چقدر است؟ $(R = 8 \frac{J}{mol.K})$

می‌دانیم تغییر انرژی درونی در هر فرایند برابر است با:

$$\Delta U = nC_V \Delta T \rightarrow \Delta U = 2 \times \frac{3}{2} \times 8 \times (400 - 300) = 2400J \rightarrow \Delta U = 2400J$$

چرخه

چرخه ترمودینامیکی: زنجیره‌ای از فرایندها است که در آن دستگاه پس از طی چند فرایند به حالت اولیه خود بازمی‌گردد. مثال:



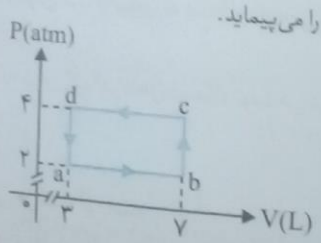
نکته: چون در یک چرخه حالت اولیه و نهایی یکسان است تغییر انرژی درونی صفر است $(\Delta U = 0)$. قانون اول ترمودینامیک برای یک چرخه به صورت زیر است:

$$Q + W = \Delta U \rightarrow Q + W = 0 \rightarrow Q = -W$$ (در چرخه ترمودینامیکی)

نکته: کار کل انجام شده در یک چرخه نمودار $P-V$ برابر است با مساحت داخل چرخه.

نکته: اگر چرخه ساعتگرد باشد کار انجام شده بر روی دستگاه منفی و اگر چرخه پادساعتگرد باشد کار انجام شده بر روی دستگاه مثبت است.

مثال ۱: گازی چرخه ترمودینامیکی فرضی زیر را می‌پیماید.



الف) کار انجام شده بر روی گاز در این چرخه چقدر است؟

$$|W| = S_{abcd} = (\cancel{7}\cancel{4}3) \times 10^{-2} \times (\cancel{4}\cancel{2}) \times 10^5 = 800J \rightarrow |W| = 800J$$

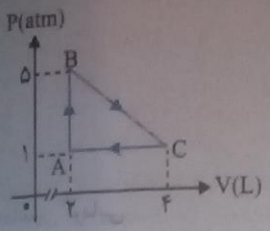
چرخه پادساعتگرد است. $\rightarrow W = +800J$

ب) گرمای مبادله شده بین گاز و محیط در این چرخه چقدر است؟ در یک چرخه : $Q = -W \rightarrow Q = -800J$

در این چرخه، گاز ۸۰۰J گرما به محیط داده است.

مثال ۲: یک مول گاز تک اتمی چرخه‌ای مطابق شکل مقابل می‌پیماید. $(R = 8 \frac{J}{mol.K})$

الف) کار انجام شده در چرخه را محاسبه کنید.



$$|W| = S_{ABC} = \frac{(4-2)\times 10^{-3} \times (5-1)\times 10^{5}}{2}$$

$$= 4\times 10^{2} = 400J \xrightarrow{\text{چرخه ساعتگرد}} W = -400J$$

ب) کار انجام شده، گرمای مبادله شده و تغییر انرژی درونی در فرایند AB را محاسبه کنید.

فرایند AB هم‌حجم است.

$$W_{AB} = 0$$

$$Q_{AB} = nC_V\Delta T = n\times\frac{3}{2}R(T_B - T_A) = \frac{3}{2}(nRT_B - nRT_A)$$

$$= \frac{3}{2}(P_BV_B - P_AV_A) = \frac{3}{2}(5\times 10^{5}\times 2\times 10^{-3} - 1\times 10^{5}\times 2\times 10^{-3})$$

$$= \frac{3}{2}(1000 - 200) = 1200J \rightarrow Q_{AB} = 1200J$$

$$\Delta U_{AB} = Q_{AB} + W_{AB} = 0 + 1200 = 1200J \rightarrow \Delta U_{AB} = 1200J$$

ج) کار انجام شده، گرمای مبادله شده و تغییر انرژی درونی در فرایند CA را محاسبه کنید.

فرایند CA هم‌فشار است.

$$W_{CA} = -P\Delta V = -1\times 10^{5}\times(2\times 10^{-3} - 4\times 10^{-3}) = -1\times 10^{5}\times(-2)\times 10^{-3}$$

$$= 200J \rightarrow W_{CA} = +200J$$

$$Q_{CA} = nC_P\Delta T = n\times\frac{5}{2}R(T_A - T_C) = \frac{5}{2}(nRT_A - nRT_C)$$

$$= \frac{5}{2}(P_AV_A - P_CV_C) = \frac{5}{2}(1\times 10^{5}\times 2\times 10^{-3} - 1\times 10^{5}\times 4\times 10^{-3})$$

$$= \frac{5}{2}(200 - 400) = -500J \rightarrow Q_{CA} = -500J$$

$$\Delta U_{CA} = Q_{CA} + W_{CA} = -500 + 200 = -300J \rightarrow \Delta U_{CA} = -300J$$

ماشین‌های گرمایی

ماشین گرمایی: دستگاهی است که طی یک چرخه ترمودینامیکی مقداری گرما از محیط دریافت و بخشی از آن را به کار تبدیل می‌کند.

انواع ماشین‌های گرمایی:

۱- ماشین گرمایی برون‌سوز: ماشینی است که در آن گرما از بیرون به دستگاه داده می‌شود و انواع آن عبارتند از:

ماشین بخار، ماشین استرلینگ، ماشین نیوکامن.

۲- ماشین گرمایی درون‌سوز: ماشینی است که در آن گرما در داخل دستگاه تولید می‌شود و انواع آن عبارتند از:

ماشین بنزینی، ماشین دیزلی.

ماشین بخار وات:

در ماشین بخار وات دستگاهی که چرخه را طی می‌کند، آب است.

نکته: چرخه آرمانی چرخه‌ای است که فرایندهای آن ایستاوار و بدون اتلاف باشد.

چرخه آرمانی یک ماشین بخار وات را چرخه رانکین می‌گویند.

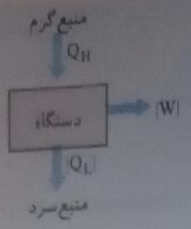
ماشین درون‌سوز بنزینی:

چرخه ماشین‌های بنزینی شامل شش فرایند است که عبارتند از: ضربهٔ مکش، ضربهٔ تراکم، آتش گرفتن، ضربهٔ انجام کار، تخلیه، ضربهٔ خروج گاز.

چرخه آرمانی یک ماشین بنزینی را چرخه اتو می‌گویند.

نکته مهم: طرز کار طرح‌وار یک ماشین گرمایی آرمانی به صورت روبه‌رو است که در آن دستگاه مقداری گرما از منبع گرم گرفته Q_H، بخشی از آن را به کار تبدیل $|W|$ و بخشی دیگر را به منبع سرد $|Q_L|$ می‌دهد. با توجه به شکل و قانون پایستگی انرژی می‌توان نوشت:

$$Q_H = |W| + |Q_L|$$



بازده ماشین گرمایی

بازده یک ماشین گرمایی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\eta = \frac{\text{انرژی مفید خروجی}}{\text{انرژی داده شده به ماشین}} \rightarrow \eta = \frac{|W|}{Q_H} \text{ یا } \eta = 1 - \frac{|Q_L|}{Q_H}$$

نکته: بازده ماشین‌های گرمایی واقعی کمتر از بازده ماشین‌های گرمایی آرمانی است.

بازده تقریبی برخی از ماشین‌های گرمایی به صورت زیر است:

بازده ماشین درون‌سوز بنزینی: ۲۰ تا ۳۰ درصد

بازده ماشین درون‌سوز دیزلی: ۳۰ تا ۳۵ درصد

بازده ماشین برون‌سوز بخار: ۳۰ تا ۴۰ درصد

مثال ۱: بازده یک موتور بنزینی ۲۵ درصد است. اگر در هر چرخه ۲۰۰۰J گرما به موتور داده شود در هر چرخه:

الف) کار انجام شده توسط موتور چقدر است؟

$$\eta = \frac{۲۵}{۱۰۰} = ۰/۲۵ \ , \ Q_H = ۲۰۰۰J \ , \ |W| = ?$$

$$\eta = \frac{|W|}{Q_H} \rightarrow |W| = \eta \times Q_H = ۰/۲۵ \times ۲۰۰۰ = ۵۰۰J \rightarrow |W| = ۵۰۰J$$

ب) چند ژول گرما به منبع سرد داده می‌شود؟

$$Q_H = |W| + |Q_L| \rightarrow |Q_L| = Q_H - |W| = ۲۰۰۰ - ۵۰۰ = ۱۵۰۰J \rightarrow |Q_L| = ۱۵۰۰J$$

مثال ۲: یک ماشین گرمایی آرمانی در هر دقیقه $۲ \times ۱۰^۴ J$ گرما از منبع گرم دریافت و $۳ \times ۱۰^۳ J$ گرما به منبع سرد می‌دهد.

الف) این ماشین در هر دقیقه چند ژول کار انجام می‌دهد؟

$$Q_H = ۲ \times ۱۰^۴ = ۲۰۰۰۰J \ , \ |Q_L| = ۳ \times ۱۰^۳ J = ۳۰۰۰J$$

$$Q_H = |W| + |Q_L| \rightarrow |W| = Q_H - |Q_L| = ۲۰۰۰۰ - ۳۰۰۰ = ۱۷۰۰۰J \rightarrow |W| = ۱۷۰۰۰J$$

ب) بازده ماشین چقدر است؟

$$\eta = \frac{|W|}{Q_H} = \frac{۱۷۰۰۰}{۲۰۰۰۰} = \frac{۱۷}{۲۰} \rightarrow \text{درصد بازده} = \frac{۱۷}{۲۰} \times ۱۰۰ = ۸۵\ \%$$

توان یک موتور بنزینی ۵kW و بازده آن ۲۰ درصد است. در هر دقیقه چه مقدار گرما به موتور داده می‌شود؟

$$P = ۵kW = ۵۰۰۰W \ , \ \eta = \frac{۲۰}{۱۰۰} = ۰/۲ \ , \ \Delta t = ۱min = ۶۰s \ , \ Q_H = ?$$

کار انجام شده توسط موتور در هر دقیقه:

$$P = \frac{|W|}{\Delta t} \rightarrow |W| = P.\Delta t = ۵۰۰۰ \times ۶۰ = ۳۰۰۰۰۰ = ۳ \times ۱۰^۵ J \rightarrow |W| = ۳ \times ۱۰^۵ J$$

گرمای داده شده به موتور در هر دقیقه:

$$\eta = \frac{|W|}{Q_H} \rightarrow Q_H = \frac{|W|}{\eta} = \frac{۳ \times ۱۰^۵}{۰/۲} = ۱۵ \times ۱۰^۵ J \rightarrow Q_H = ۱۵ \times ۱۰^۵ J$$

قانون دوم ترمودینامیک (به بیان ماشین گرمایی): ممکن نیست دستگاه طی چرخه‌ای همه گرمای جذب شده از منبع گرم را به کار تبدیل کند. (ممکن نیست بازده ماشین گرمایی ۱۰۰ درصد شود.)

بازده چرخه کارنو: بیشترین بازده یک ماشین گرمایی که بین دو منبع با دماهای T_H و T_L کار می‌کند را بازده ماشین کارنوی آن می‌گویند که از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\eta_{\text{کارنو}} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$ (T_L و T_H بر حسب کلوین است.)

نکته: بازده ماشین کارنو به جنس ماده‌ای که چرخه را می‌پیماید بستگی ندارد.

قضیه کارنو: بازده یک ماشین گرمایی که بین دو منبع با دماهای T_L و T_H کار می‌کند هرگز نمی‌تواند بیشتر از بازده ماشین کارنویی باشد که بین این دو منبع کار می‌کند یعنی: $\eta \leq \eta_{کارنو}$

مثال ۱: یک ماشین گرمایی بین دماهای $T_H = ۴۰۰K$ و $T_L = ۳۰۰K$ کار می‌کند. بازده ماشین کارنویی که بین این دو دما کار می‌کند چقدر است؟

$$\eta_{کارنو} = ۱ - \frac{T_L}{T_H} = ۱ - \frac{۳۰۰}{۴۰۰} = ۱ - ۰/۷۵ = ۰/۲۵ \times ۱۰۰ = ۲۵\,\%$$

مثال ۲: یک ماشین کارنو بین دماهای $T_L = ۱۰۰K$ و $T_H = ۵۰۰K$ کار می‌کند. اگر این ماشین در هر چرخه ۲۰۰J گرما از منبع گرم بگیرد:

الف) در هر چرخه چه مقدار کار انجام می‌دهد؟

$$\eta_{کارنو} = ۱ - \frac{T_L}{T_H} = ۱ - \frac{۱۰۰}{۵۰۰} = ۱ - ۰/۲ = ۰/۸ \rightarrow \eta = \eta_{کارنو} = ۰/۸$$

$$\eta = \frac{|W|}{Q_H} \rightarrow |W| = \eta \times Q_H = ۰/۸ \times ۲۰۰ = ۱۶۰J \rightarrow |W| = ۱۶۰J$$

ب) در هر چرخه چه مقدار گرما به منبع سرد می‌دهد؟

$$|Q_L| = Q_H - |W| = ۲۰۰ - ۱۶۰ = ۴۰J \rightarrow |Q_L| = ۴۰J$$

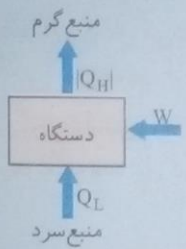
یخچال

قانون دوم ترمودینامیک به بیان یخچالی: ممکن نیست گرما خودبه‌خود از جسم سرد به جسم گرم منتقل شود.

نکته: با انجام کار می‌توان گرما را از جسم سرد به جسم گرم منتقل کرد.

یخچال: وسیله‌ای است که با استفاده از کار، گرما را از جسم سرد به جسم گرم منتقل می‌کند. طرز کار یخچال‌ها وارون ماشین‌های گرمایی است.

نکته مهم: طرز کار طرح‌وار یک یخچال به‌صورت زیر است:



$$|Q_H| = W + Q_L$$

ضریب عملکرد یخچال: نسبت گرمای گرفته شده از منبع سرد به کار موتور یخچال را ضریب عملکرد یخچال می‌گویند که از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$K = \frac{Q_L}{W} \text{ یا } K = \frac{Q_L}{|Q_H| - Q_L}$$

نکته: بیشترین ضریب عملکرد یخچال را ضریب عملکرد یخچال کارنو می‌گویند که از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$K_{کارنو} = \frac{T_L}{T_H - T_L}$$

مثال ۱: موتور یک یخچال در هر دقیقه با مصرف $۱۰^۵J$ انرژی الکتریکی ۵×۱۰^۵J گرما از درون یخچال می‌گیرد.

الف) در این مدت یخچال چند ژول گرما به فضای بیرون می‌دهد؟

$$t = ۶۰s \;,\; W = ۱۰^۵J \;,\; Q_L = ۵ \times ۱۰^۵J \;,\; Q_H = ?$$

$$|Q_H| = W + Q_L = ۱۰^۵ + ۵ \times ۱۰^۵ = ۶ \times ۱۰^۵J \rightarrow |Q_H| = ۶ \times ۱۰^۵J$$

ب) ضریب عملکرد آن چند است؟

$$K = \frac{Q_L}{W} = \frac{۵ \times ۱۰^۵}{۱۰^۵} = ۵ \rightarrow K = ۵$$

مثال ۲: ضریب عملکرد یک یخچال ۳ است؛ اگر در هر دقیقه ۹×۱۰^۴J گرما از درون آن گرفته شود.

الف) توان مصرفی یخچال چقدر است؟

$$K = ۳ \;,\; t = ۶۰s \;,\; Q_L = ۹ \times ۱۰^۴J \;,\; P = ?$$

برای محاسبه توان مصرفی ابتدا باید کار یخچال را محاسبه کرد:

$$K = \frac{Q_L}{W} \rightarrow W = \frac{Q_L}{K} = \frac{۹\times۱۰^۴}{۳} = ۳\times۱۰^۴ J \rightarrow W = ۳۰۰۰۰J$$

$$P = \frac{W}{t} = \frac{۳۰۰۰۰}{۶۰} = ۵۰۰W \rightarrow P = ۵۰۰W$$

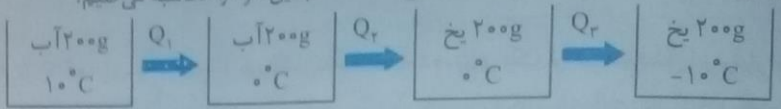
ب) در هر دقیقه چه مقدار گرما به خارج از یخچال داده می‌شود؟

$$Q_H = Q_L + W = ۹۰۰۰۰ + ۳۰۰۰۰ = ۱۲۰۰۰۰J = ۱۲۰kJ \rightarrow Q_H = ۱۲۰kJ$$

مثال ۳: توان یک یخچال ۲۰۰W و ضریب عملکرد آن ۴ است. چه مدت طول می‌کشد تا دراین یخچال ۲۰۰g آب $۱۰^\circ C$ به یخ $-۱۰^\circ C$ تبدیل شود؟ $\left(L_F = ۳۳۵۰۰۰\frac{J}{kg}\ ,\ c_{آب} = ۴۲۰۰\frac{J}{kg.K}\ ,\ c_{یخ} = ۲۱۰۰\frac{J}{kg.K}\right)$

$$P = ۲۰۰W\ ,\ K = ۴\ ,\ t = ?\ ,\ m = ۲۰۰g\ ,\quad ۱۰^\circ C \text{ آب} \rightarrow -۱۰^\circ C \text{ یخ}$$

ابتدا مقدار کل گرمایی که آب $۱۰^\circ C$ از دست می‌دهد تا به یخ $-۱۰^\circ C$ تبدیل شود را محاسبه می‌کنیم:



$$Q_۱ = mc_{آب}\Delta T = ۰/۲\times۴۲۰۰\times(۰-۱۰) = -۸۴۰۰J$$

$$Q_۲ = -mL_f = -۰/۲\times۳۳۵۰۰۰ = -۶۷۰۰۰J$$

$$Q_۳ = mc_{یخ}\Delta T = ۰/۲\times۲۱۰۰\times(-۱۰-۰) = -۴۲۰۰J$$

$$Q_{کل} = Q_۱ + Q_۲ + Q_۳ = -۸۴۰۰ - ۶۷۰۰۰ - ۴۲۰۰ = -۷۹۶۰۰J$$

بنابراین گرمایی که یخچال از آب می‌گیرد برابر است با: $Q_L = ۷۹۶۰۰J$

$$K = \frac{Q_L}{W} \rightarrow W = \frac{Q_L}{K} = \frac{۷۹۶۰۰}{۴} = ۱۹۹۰۰J \rightarrow W = ۱۹۹۰۰J$$

$$P = \frac{W}{t} \rightarrow t = \frac{W}{P} = \frac{۱۹۹۰۰}{۲۰۰} = ۹۹/۵s \rightarrow t = ۹۹/۵s$$

نکته: دو بیان قانون دوم ترمودینامیک معادل یکدیگرند. یعنی اگر قانون دوم ترمودینامیک به بیان یخچالی نقض شود، قانون دوم ترمودینامیک به بیان ماشین گرمایی نیز نقض می‌شود و بالعکس.

۱۵۱

پرسش ۵-۱

روی قوطی‌های اسپری، هشدار داده شده است که از انداختن آن در آتش خودداری کنید. علت این توصیه را بر اساس فرایند هم‌حجم توضیح دهید.

با افزایش دما حجم قوطی تقریباً ثابت است (فرایند هم حجم) ولی فشار گاز داخل آن افزایش می‌یابد که این افزایش فشار اگر از حد معینی (بسته به جنس گاز و اندازه قوطی) بیشتر شود باعث انفجار قوطی خواهد شد.

۱۵۲

تمرین ۵-۱

دمای n مول گاز با گرمای ویژه مولی در حجم ثابت C_V، در یک فرایند هم‌حجم از $T_۱$ به $T_۲$ رسیده است.

الف) تغییر انرژی درونی گاز در این فرایند را بیابید.

در فرایند هم‌حجم $W = ۰$ بنابراین:

$$\Delta U = Q + \cancel{W} \rightarrow \Delta U = Q = nC_V\Delta T \rightarrow \Delta U = nC_V\Delta T = nC_V(T_۲ - T_۱)$$

ب) اگر این گاز، گاز آرمانی و تک اتمی باشد، تغییر انرژی درونی آن به چه صورتی نوشته می‌شود؟

در گاز کامل تک اتمی داریم $C_V = \frac{۳}{۲}R$ بنابراین:

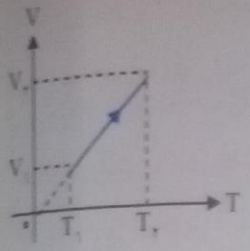
$$\Delta U = n\times\frac{۳}{۲}R\times\Delta T \rightarrow \Delta U = \frac{۳}{۲}nR\Delta T$$

تمرین ۵-۲

۱۵۳

نشان دهید نمودار V-T برای فرایند هم‌فشار یک گاز آرمانی، خط راستی است که امتداد آن از مبدأ مختصات می‌گذرد.

چون گاز آرمانی است با استفاده از معادله حالت گاز داریم:



$$PV = nRT \rightarrow V = \frac{nRT}{P} \rightarrow V = (\frac{nR}{P})T$$

چون $(\frac{nR}{P})$ مقداری ثابت است رابطه فوق معادله خط راستی است که امتداد آن از مبدأ مختصات می‌گذرد.

تمرین ۵-۳

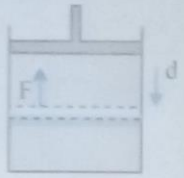
۱۵۳

نشان دهید رابطهٔ ۵-۳ که برای یک انبساط هم‌فشار به دست آمده، برای یک تراکم هم‌فشار نیز برقرار است.

اگر طی یک فرایند تراکم در پیستون، فشار گاز P، مساحت پیستون A و جابه‌جایی آن d در نظر گرفته شود با توجه به اینکه نیرویی که از طرف گاز به پیستون وارد می‌شود در خلاف جهت جابه‌جایی است، می‌توان نوشت:

در تراکم، $Ad = V_1 - V_2 = -\Delta V$: کار گاز روی پیستون $= F \times d \times \cos 180^\circ = -Fd = -PAd$

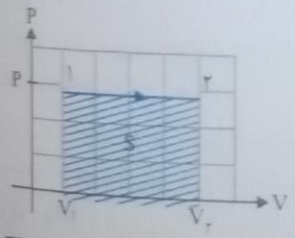
کار پیستون روی گاز $\rightarrow W = -P\Delta V$: کار گاز روی پیستون $\rightarrow -p(-\Delta V) = P\Delta V$



۱۵۳

فعالیت ۵-۱

با توجه به نمودار شکل روبه‌رو، نشان دهید در فرایند هم‌فشار، مساحت سطح زیر نمودار P-V برابر با قدرمطلق کار انجام شده است.



$$\left.\begin{aligned} W &= -P\Delta V = -P(V_2 - V_1) \\ S &= (P - 0)(V_2 - V_1) = P(V_2 - V_1) \end{aligned}\right\} \rightarrow S = |W|$$

۱۵۷

تمرین ۵-۴

مشابه آنچه که برای تراکم هم‌دما شرح دادیم، انبساط هم‌دمای گاز کامل را شرح دهید و علامت‌های Q و W را برای چنین فرایندی تعیین و نمودارهای P-T و V-T را برای آن رسم کنید.

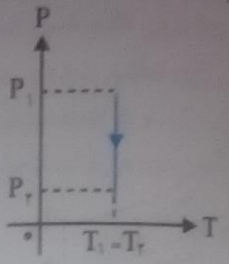
در انبساط هم‌دما، استوانه حاوی گاز را در تماس با یک منبع گرمایی با دمای ثابت و برابر با دمای اولیه گاز قرار می‌دهیم. فشار گاز داخل استوانه را با برداشتن تدریجی ساچمه‌های سربی روی پیستون، به آهستگی کاهش می‌دهیم، حجم گاز داخل استوانه به تدریج زیاد می‌شود. چون در این فرایند دما ثابت است تغییر انرژی درونی صفر است و می‌توانیم بنویسیم:

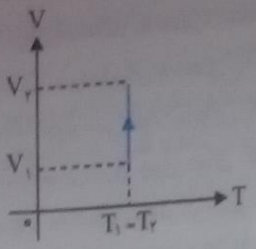
$$\Delta U = Q + W = 0 \rightarrow Q + W = 0 \rightarrow Q = -W$$

چون در انبساط، کار انجام شده بر روی گاز منفی است، Q مثبت می‌شود. یعنی در انبساط هم‌دما گاز گرما می‌گیرد.

$W \rightarrow$ منفی ، $Q \rightarrow$ مثبت

نمودارهای P-T و V-T این فرایند به صورت زیر است:





فعالیت ۵-۲

۱۵۷ **انتهای یک سرنگ حاوی هوا را مسدود و آن را وارد حجم بزرگی از آب کنید، پس از مدتی، پیستون سرنگ را به آرامی بشارید. هوای درون سرنگ چه فرایندی را طی می‌کند؟**

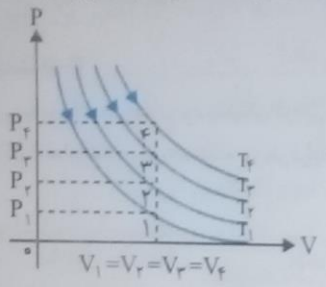
این فرایند یک تراکم هم‌دما است که در آن آب نقش یک منبع گرمایی را دارد.

تمرین ۵-۵

۱۵۸ **در شکل روبه‌رو، نمودار P-V مربوط به انبساط هم‌دمای یک گاز آرمانی در دماهای مختلف رسم شده است.**

الف) نشان دهید: $T_4 > T_3 > T_2 > T_1$. (راهنمایی: **خطی عمود بر محور V یا عمود بر محور P رسم کنید، به گونه‌ای که هر چهار نمودار را قطع کند و سپس قانون گازهای آرمانی را برای نقطه‌های برخورد با منحنی‌ها به کار ببندید**)

خطی عمود بر محور V رسم می‌کنیم به طوری که هر چهار نمودار را قطع کند. نقاط برخورد را نامگذاری می‌کنیم.



با توجه به قانون گازها می‌توان نوشت:

$$P_1V_1 = nRT_1 \quad , \quad P_2V_2 = nRT_2 \quad , \quad P_3V_3 = nRT_3 \quad , \quad P_4V_4 = nRT_4$$

با توجه به نمودار، رابطه فشار در نقاط ۱ و ۲ و ۳ و ۴ برابر است با:

$$P_1 < P_2 < P_3 < P_4$$

چون حجم گاز در تمام این نقاط با هم برابر است می‌توان نوشت:

$$P_1V_1 < P_2V_2 < P_3V_3 < P_4V_4$$

با استفاده از قانون گازها داریم:

$$nRT_1 < nRT_2 < nRT_3 < nRT_4$$

با حذف مقدار nR از نامساوی می‌توان نوشت:

$$T_1 < T_2 < T_3 < T_4$$

ب) در یک تغییر حجم معین، اندازهٔ کار انجام شده در کدام فرایند بیشتر است؟

چون قدر مطلق کار انجام شده برابر با سطح زیر نمودار (P – V) است، هرچه نمودار بالاتر باشد مساحت زیر آن و در نتیجه کار انجام شده در آن فرایند بیشتر است. پس: $|W_1| < |W_2| < |W_3| < |W_4|$

۱۵۹

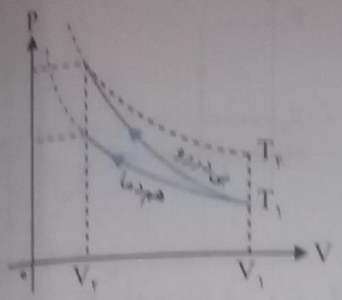
فعالیت ۵-۳

وقتی در یک نوشابهٔ گازدار حبابی سرد را سریع باز می‌کنیم، مشاهده می‌شود که هالهٔ رقیقی در اطراف دهانهٔ نوشابه ایجاد می‌شود. این پدیده را توجیه کنید. در قسمت بالای بطری نوشابه‌ای که در آن باز نشده مخلوطی از گاز کربن‌دی‌اکسید و بخار آب وجود دارد. وقتی که در نوشابه را سریع باز می‌کنیم به علت سرعت بالای انجام این کار، گاز داخل بطری نوشابه فرصت تبادل گرما با محیط را ندارد و فرایندی بی‌دررو را طی می‌کند. در این فرایند فشار گاز کاهش و حجم آن افزایش می‌یابد. در نتیجه انرژی درونی گاز و دمای آن کاهش می‌یابد و این کاهش دما باعث می‌شود تا بخار آب موجود در بطری نوشابه به مایع تبدیل و به صورت ابری رقیق دیده شود.

تمرین ۵-۶

۱۶۵

مثال ۵-۱۱ را با فرض آنکه گاز به جای انبساط، تراکم یابد پاسخ دهید.



در شکل، دو منحنی هم‌دما برای دماهای T_1 و T_2 رسم شده‌اند. در تراکم هم‌دما، دما تغییر نمی‌کند. بنابراین گاز در مسیر (T_1) باقی می‌ماند ولی در تراکم بی‌دررو، چون دمای گاز افزایش می‌یابد گاز از مسیر (T_1) خارج و به دمایی بالاتر در مسیر (T_2) می‌رود. در اینجا چون سطح زیر نمودار فرایند بی‌دررو بیشتر است $|W|$ برای این فرایند مقدار بیشتری دارد.

پرسش ۵-۲

۱۶۱

سرنگ آتش‌زنه استوانهٔ کوچکی است مجهز به پیستونی که کاملاً بر سطح داخلی استوانه منطبق است. در فضای محبوس داخل سرنگ، فقط هوا و تکه کاغذ کوچکی قرار دارد. با راندن سریع پیستون به داخل، و تراکم بی‌دررو هوای محبوس، تکهٔ کاغذ مشتعل می‌شود. معمولاً از کاغذ نیتروسلولز در این آزمایش استفاده می‌شود که نقطهٔ اشتعال بسیار پایینی دارد. چرا کاغذ در این فرایند آتش می‌گیرد؟

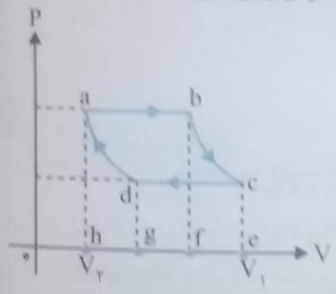
می‌دانیم در تراکم بی‌دررو دمای گاز افزایش می‌یابد بنابراین اگر تراکم سرنگ سریع و مقدار آن زیاد باشد دمای هوای داخل سرنگ به حدی افزایش می‌یابد که باعث اشتعال کاغذ درون سرنگ می‌شود.

فعالیت ۵-۴

۱۶۲

شکل روبه‌رو یک چرخهٔ ترمودینامیکی فرضی را نشان می‌دهد.

الف) کار انجام شده روی دستگاه در هر فرایند را بر حسب سطح زیر نمودار آن بیان کنید.



$$|W_{ab}| = S_{abfh} \xrightarrow{\text{انبساط}} W_{ab} = -S_{abfh}$$

$$|W_{cd}| = S_{cdge} \xrightarrow{\text{تراکم}} W_{cd} = +S_{cdge}$$

$$|W_{bc}| = S_{bcef} \xrightarrow{\text{انبساط}} W_{bc} = -S_{bcef}$$

$$|W_{da}| = S_{dahg} \xrightarrow{\text{تراکم}} W_{da} = +S_{dahg}$$

ب) نشان دهید مقدار کار کل انجام شده روی دستگاه برابر با مساحت داخل چرخه است.

$$W_t = W_{ab} + W_{bc} + W_{cd} + W_{da} = -S_{abfh} - S_{bcef} + S_{cdge} + S_{dahg} = -S_{abceh} + S_{adceh} = -S_{abcd}$$

$$\Rightarrow W_t = -S_{abcd} = -S_{\text{چرخه}}$$

پ) کار کل انجام‌شده روی دستگاه مثبت است یا منفی؟ توضیح دهید.

چون مساحت زیر نمودار در بخش انبساط (abc) بزرگ‌تر از مساحت زیر نمودار در بخش تراکم cda است. بنابراین کار انجام شده بر روی دستگاه در این چرخه منفی است:

$$W_t = -S_{\text{چرخه}}$$

۱۶۴

فعالیت ۵-۵

در مورد ماشین‌های بخاری که امروزه در نیروگاه‌های گرمایی (حرارتی) استفاده می‌شوند و نحوهٔ کارکرد آنها تحقیق کنید و نتیجه تحقیق را به صورت پوستر یا پرده‌نگار در کلاس ارائه نمایید. سعی کنید از تصاویر مناسب آموزشی بهره ببرید.

دانش‌آموزان عزیز می‌توانند با مراجعه به سایت www.mechanism.ir و جستجوی عبارت «توربین بخار چیست» و «توربین چیست» در قسمت جستجو در سایت، تصاویر و توضیحاتی را در مورد توربین‌های بخار نیروگاه‌های حرارتی به دست آورند.

فعالیت ۵-۶

۱۶۴

قایق پوت - پوت، نوعی قایق است اسباب‌بازی است که اساس کار آن مانند ماشین‌های برون سوز است. در مورد این قایق‌های اسباب‌بازی تحقیق کرده و سعی کنید آن را بسازید. در این قایق‌ها مخزنی از آب قرار دارد که توسط یک ماده اشتعال‌زا مانند الکل یا شمع، گرم و به نقطه جوش می‌رسد. فشار بخار آبی که از انتهای قایق خارج می‌شود نیروی پیشران آن را تأمین می‌کند. (دانش‌آموزان عزیز می‌توانند با مراجعه به سایت www.aparat.com مراحل ساخت قایق بخار را آموزش ببینند.)

پرسش ۵-۳

۱۷۳

با فرض آنکه بتوان ضریب عملکرد یک یخچال را با ضریب عملکرد یخچال کارنو توصیف کرد، به گمان شما یک کولر گازی در آب و هوای معتدل بهتر کار می‌کند یا در آب و هوای گرم؟

در آب و هوای معتدل بهتر کار می‌کند. زیرا هر قدر دمای منبع گرم T_H (دمای هوای بیرون) بیشتر باشد مقدار $T_H - T_L$ بیشتر است بنابراین با افزایش مقدار مخرج در رابطه $K = \frac{T_L}{T_H - T_L}$ ضریب عملکرد کاهش می‌یابد.

پرسش‌ها و مسئله های فصل ۵

۱۷۵

۱- ظرفی شامل $3/0kg$ آب است. با هم زدن آب داخل ظرف، $40kJ$ کار روی آن انجام می‌دهیم و در این مدت $31kJ$ گرما از ظرف به بیرون منتقل می‌شود. انرژی درونی آب چقدر تغییر می‌کند؟

$W = 40kJ \ , \ Q = -31kJ \ , \ \Delta U = ?$

قانون اول ترمودینامیک: $\Delta U = Q + W = -31 + 40 = 9kJ \rightarrow \Delta U = 9kJ$

۲- الف) در فرایند هم‌حجم چگونه می‌توان فشار گاز را افزایش یا کاهش داد؟

در فرایند هم‌حجم با افزایش دما، فشار گاز افزایش و با کاهش دما، فشار گاز کاهش می‌یابد.

ب) در فرایند هم‌فشار چگونه می‌توان حجم گاز را افزایش یا کاهش داد؟

در فرایند هم‌فشار اگر دما افزایش یابد، حجم گاز افزایش و اگر دما کاهش یابد، حجم گاز کاهش می‌یابد.

۳- ته یک سرنگ را که دستهٔ آن می‌تواند آزادانه حرکت کند مسدود می‌کنیم. آن را درون مقداری آب می‌اندازیم و آب را به تدریج گرم می‌کنیم. هوای درون چه فرایندی را طی می‌کند؟ فرآیند انبساط هم‌فشار

۴- حجم ۰/۵۰ مول از یک گاز آرمانی تک اتمی ۸/۳ لیتر و فشار آن ۱/۵ اتمسفر است.

الف) مقداری گرما به گاز می‌دهیم تا فشار آن از طریق یک فرایند هم حجم دو برابر شود. کار و گرمای مبادله شده را برای این فرایند محاسبه کنید.

$n = 0/5mol$ ، گاز تک‌اتمی ، $V_1 = 8/3L = 8/3 \times 10^{-3} m^3$ ، $P_1 = 1/5atm = 1/5 \times 10^5 Pa$

$P_2 = 2P_1 = 2 \times 1/5 \times 10^5 = 3 \times 10^5 Pa$ ، فرآیند هم حجم ، $W = ? \ , \ Q = ?$

کارهای انجام شده در فرایند هم‌حجم صفر است بنابراین: $W = 0$

گرمای مبادله شده در فرایند هم‌حجم برابر است با:

$$Q = nC_V\Delta T = n \times \frac{3}{2}R(T_2 - T_1) = \frac{3}{2}(nRT_2 - nRT_1) = \frac{3}{2}(P_2V_2 - P_1V_1) \xrightarrow[V\text{ثابت}]{\text{فرآیندهم‌حجم}} Q = \frac{3}{2}V\Delta P$$

$$\rightarrow Q = \frac{3}{2} \times 8/3 \times 10^{-3} \times \cancel{(3-1/5)}^{1/5} \times 10^5 = 18/675 \times 10^2 J \rightarrow Q = 1/9 \times 10^3 J$$

ب) اگر به جای گرما داده به گاز، مقداری گرما از گاز بگیریم تا حجم آن در طی یک فرایند هم‌فشار نصف شود، کار و گرمای مبادله شده در این فرایند چقدر می‌شود؟

فرآیندهم‌فشار ، $V_1 = 8/3 \times 10^{-3} m^3$ ، $V_2 = \frac{1}{2}V_1 = \frac{1}{2} \times 8/3 \times 10^{-3} = 4/15 \times 10^{-3} m^3$ ، $W = ? \ , \ Q = ?$

کار انجام شده در فرایند هم‌فشار برابر است با:

$$W = -P\Delta V = -1/5 \times 10^5 \times \cancel{(4/15 - 8/3)}^{-4/15} \times 10^{-3} = +6/225 \times 10^2 J \rightarrow W = 6/2 \times 10^2 J$$

گرمای مبادله شده در فرایند هم‌فشار نیز برابر است با:

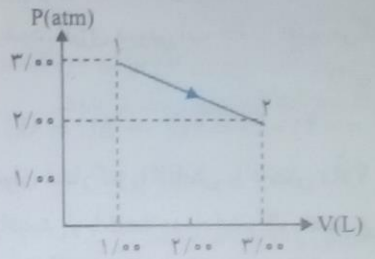
$$Q = nC_p\Delta T = n \times \frac{5}{2} \times R(T_2 - T_1) = \frac{5}{2}(nRT_2 - nRT_1) = \frac{5}{2}(P_2V_2 - P_1V_1) \xrightarrow[P \text{ ثابت}]{\text{هم‌فشار}} Q = \frac{5}{2}P\Delta V$$

$$Q = \frac{5}{2} \times 1/5 \times 10^5 \times (\underbrace{4/15 - 8/3}_{-4/15}) \times 10^{-3} = 15/5625 \times 10^2 J \rightarrow Q = 1/6 \times 10^3 \times 10^2 J$$

نکته: برای گازهای تک‌اتمی گرمای مبادله شده در فرایند هم‌حجم را می‌توان از رابطه $Q_{\text{هم‌حجم}} = \frac{3}{2}V\Delta P$ و گرمای مبادله شده در فرایند هم‌فشار را می توان از رابطه $Q_{\text{هم‌فشار}} = \frac{5}{2}P\Delta V$ به‌دست آورد.

نکته: برای گازهای دواتمی نیز گرمای مبادله شده در فرایند هم‌حجم از رابطه $Q_{\text{هم‌حجم}} = \frac{5}{2}V\Delta P$ و هم‌فشار از رابطه $Q_{\text{هم‌فشار}} = \frac{7}{2}P\Delta V$ به‌دست می‌آید.

۵- نمودار P - V ی گازی رقیق در شکل روبه‌رو نشان داده شده است. در این فرایند با فرض آنکه انرژی درونی در نقطهٔ (۱) برابر ۴۵۶J و در نقطهٔ (۲) برابر ۹۱۲J باشد، چقدر گرما مبادله شده است؟ آیا گاز گرما گرفته است یا از دست داده است؟



با توجه به انرژی درونی اولیه و نهایی، تغییر انرژی درونی فرایند برابر است با:

$$U_1 = 456J \ , \ U_2 = 912J \rightarrow \Delta U = U_2 - U_1 = 912 - 456 = 456J \rightarrow \Delta U = 456J$$

برای محاسبه گرمای مبادله شده ابتدا باید کار انجام شده در این فرایند را محاسبه کنیم که برابر است با مساحت سطح زیر نمودار P-V:

$$|W|_{\text{چرخه}} = S_{\text{ذوزنقه}} = \frac{\text{ارتفاع} \times \text{مجموع دو قاعده}}{2} = \frac{(2+3) \times 10^5 \times (3-1) \times 10^{-3}}{2} = \frac{5 \times 10^5 \times \cancel{2} \times 10^{-3}}{\cancel{2}}$$

$$= 5 \times 10^2 = 500J \rightarrow |W| = 500J$$

چون در این فرایند گاز منبسط شده علامت کار منفی است: $W = -500J$

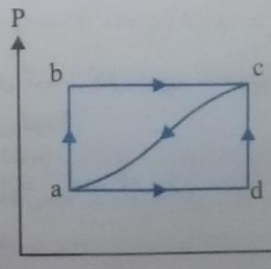
حال با دانستن تغییر انرژی درونی و کار انجام شده و با استفاده از قانون اول ترمودینامیک، گرمای مبادله شده برابر است با:

$$Q = \Delta U - W = 456 - (-500) = 456 + 500 = 956\,J \rightarrow Q = 956\,J$$

علامت Q مثبت است بنابراین گاز در این فرایند گرما گرفته است.

۶- گازی مطابق شکل، از طریق مسیر abc از حالت a به c، می‌رود. گاز در این مسیر، ۹۰ ژول گرما می‌گیرد و ۷۰ ژول کار انجام می‌دهد.

الف) تغییر انرژی درونی گاز در مسیر abc چقدر است؟



$$Q = +90J \ , \ W = -70J \rightarrow \Delta U = Q + W = 90 - 70 = 20J \rightarrow \Delta U = 20J$$

پ) اگر برای رسیدن به حالت c فرایند از مسیر adc انجام شود، کار انجام شده توسط گاز در مقایسه با مسیر abc بیشتر است یا کمتر؟ گرمای داده شده به گاز بیشتر است یا کمتر؟

چون مساحت سطح زیر نمودار در مسیر adc کمتر است، قدر مطلق کار نیز در این مسیر کمتر است.

نقاط ابتدا و انتهای هر دو مسیر مشترک است پس تغییر انرژی درونی هر دو مسیر یکسان است؛ از طرفی چون گاز در مسیر adc کار کمتری را انجام داده است، گرمای کمتری نیز دریافت کرده است.

پ) اگر گاز را از مسیر خمیده از حالت c به حالت a برگردانیم، چقدر باید از آن انرژی بگیریم؟

انرژی که از گاز در مسیر c به a گرفته می‌شود برابر با تغییر انرژی درونی گاز در این مسیر است، بنابراین:

$$\Delta U_{a\to c} = 20J \to \Delta U_{c\to a} = -20J$$

۷- ۱۲/۰g گاز اکسیژن (O_2) در فشار متعارف جو ($1/01\times10^5 Pa$) از $25/0^\circ C$ تا $125^\circ C$ گرم می‌شود. نسبت تغییر انرژی درونی گاز به گرمای داده شده به آن را به‌دست آورید؟

روش اول:

$$\left.\begin{array}{l}\Delta U = nC_V\Delta T \text{ : تغییر انرژی درونی در هر فرایند}\\ Q = nC_p\Delta T \text{ : گرمای مبادله شده در فرایند هم‌فشار}\end{array}\right\} \to \frac{\Delta U}{Q} = \frac{nC_V\Delta T}{nC_p\Delta T} = \frac{C_V}{C_p} \to \frac{\Delta U}{Q} = \frac{21/2}{29/4} = 0/721$$

روش دوم: برای اکسیژن داریم:

$$C_V = 21/2\frac{J}{mol\cdot K}\ ,\ C_p = 29/4 = \frac{J}{mol\cdot K}\ ,\ M_{O_2} = 32\frac{g}{mol}\ ,\ \Delta T = 125-25 = 100K\ ,\ m = 12g$$

$$n = \frac{m}{M} = \frac{12}{32} = \frac{3}{8}mol \to n = \frac{3}{8}mol : O_2 \text{ تعداد مول گاز}$$

$$\left.\begin{array}{l}\Delta U = nC_V\Delta T = \frac{3}{8}\times21/2\times100 = \frac{6360}{8}J\\ \Delta Q = nC_p\Delta T = \frac{3}{8}\times29/4\times100 = \frac{8820}{8}J\end{array}\right\} \to \frac{\Delta U}{Q} = \frac{\frac{6360}{8}}{\frac{8820}{8}} = \frac{6360}{8820} = 0/7 \to \frac{\Delta U}{Q} = 0/721$$

۸- یک مکعب آلومینیمی تو پُر به ضلع $20/0cm$ از $50/0^\circ C$ تا $150/0^\circ C$ در فشار متعارف جو ($1/01\times10^5 Pa$) گرم می‌شود. کار انجام شده توسط مکعب و تغییر انرژی درونی آن را محاسبه کنید.

$$V_1 = 20\times20\times20 = 8000cm^3\ ,\ \Delta T = 150-50 = 100K\ ,\ P = 1/01\times10^5 Pa$$ فشار ثابت است

$$\alpha_{AL} = 23\times10^{-6}\frac{1}{K}\ ,\ c_{AL} = 900\frac{J}{mol\cdot K}\ ,\ \rho_{AL} = 2/7\times10^3\frac{kg}{m^3}$$

ابتدا تغییر حجم جسم را از رابطه انبساط حجمی جامدها محاسبه می‌کنیم:

$$\Delta V = V_1(3\alpha)\Delta T = 8000\times3\times23\times10^{-6}\times100 = 55/2cm^3 \to \Delta V = 55/2\times10^{-6}m^3$$

کار انجام شده در فرایند هم‌فشار برابر است با:

$$W = -P\Delta V = -1/01\times10^5\times55/2\times10^{-6} = -5/57J \to W = -5/57J$$ کار انجام شده توسط مکعب

برای محاسبه تغییر انرژی درونی مکعب با استفاده از قانون اول ترمودینامیک ($\Delta U = Q+W$) به گرمای داده شده به مکعب نیاز داریم:

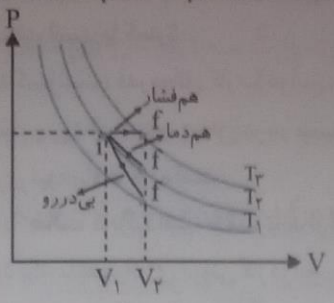
$$\begin{cases}Q = mc_{Al}\Delta\theta = 21/6\times900\times100 = 194/4\times10^4 J \to Q = 1/94\times10^6 J\\ m = \rho V = 2/7\times10^3\times8000\times10^{-6} = 21/6kg\end{cases}$$

کار انجام شده توسط مکعب نسبت به گرمای داده شده به آن بسیار ناچیز است؛ بنابراین با صرف‌نظر کردن از کار انجام شده توسط مکعب داریم:

$$\Delta U = Q + W \xrightarrow{W=0} \Delta U = Q = 1/94\times10^6\ J$$

نتیجه: در جامدها تقریباً همه گرمای داده شده به جسم صرف تغییر انرژی درونی آن می‌شود.

۹- مطابق شکل روبه‌رو، حجم گازی آرمانی طی سه فرایند هم‌فشار، هم‌دما و بی‌دررو از V_1 به حجم بزرگ‌تر V_2 می‌رسد.



الف) اندازهٔ کار انجام شده توسط گاز را در این سه فرایند مقایسه کنید.

با توجه به مساحت سطح زیر نمودار در سه فرایند داریم:

$$|W_{\text{هم‌فشار}}| > |W_{\text{هم‌دما}}| > |W_{\text{بی‌دررو}}|$$

ب) دمای نهایی را در این فرایندها مقایسه کنید.

مطابق نمودار $T_1 < T_2 < T_3$ بنابراین:

$$T_{f\,\text{هم‌فشار}} > T_{f\,\text{هم‌دما}} > T_{\text{بی‌دررو}}$$

پ) گرمای داده شده به گاز را در این فرایندها مقایسه کنید.

در فرایند بی‌دررو $Q_{\text{بی‌دررو}} = 0$

در فرایند هم‌دما داریم:

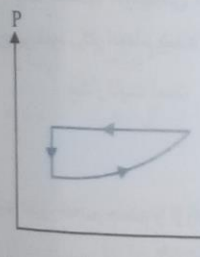
$$\left.\begin{array}{l}\Delta U = 0 \Rightarrow Q = -W \\ \text{فرایند انبساط} \Rightarrow W < 0\end{array}\right\} \Rightarrow Q_{\text{هم‌دما}} > 0$$

در فرایند هم‌فشار داریم:

$$Q_{\text{هم‌فشار}} = nC_P\Delta T = \frac{C_P}{R}nR\Delta T = \frac{C_P}{R}P\Delta V = \frac{C_P}{R}|W_{\text{هم‌فشار}}|$$

$$\left.\begin{array}{l}Q_{\text{هم‌فشار}} = \dfrac{C_P}{R}|W_{\text{هم‌فشار}}| \\ Q_{\text{هم‌دما}} = |W_{\text{هم‌دما}}|\end{array}\right\} \xrightarrow[\frac{C_P}{R} > 1]{|W_{\text{هم‌فشار}}| > |W_{\text{هم‌دما}}|} Q_{\text{هم‌فشار}} > Q_{\text{هم‌دما}} > Q_{\text{بی‌دررو}} = 0$$

۱۰- برای چرخهٔ گازی که نمودار $P - V$ ی آن در اینجا نشان داده شده است، ΔU گاز، W و Q مثبت است یا منفی، و یا برابر صفر است؟



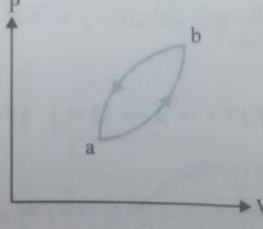
تغییر انرژی درونی در یک چرخه صفر است بنابراین: $\Delta U = 0$

چرخه پادساعتگرد است بنابراین کار انجام شده در چرخه مثبت است (W مثبت)

$$\text{درچرخه}: \Delta U = 0 \rightarrow Q + W = 0 \rightarrow Q = -W \xrightarrow{W\text{مثبت}} Q < 0$$

۱۱- شکل روبه‌رو چرخه‌ای را نشان می‌دهد که یک گاز طی کرده است.

الف) تعیین کنید که گاز در این چرخه گرما گرفته یا از دست داده است؟



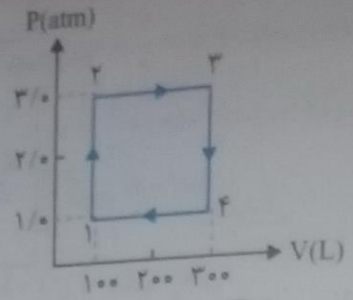
$$\text{چرخه ساعتگرد} \rightarrow W < 0 \xrightarrow{Q=-W} Q > 0 \rightarrow \text{گاز گرما گرفته است.}$$

ب) اگر مقدار گرمای مبادله شده در این چرخه ۴۰۰J باشد، کار انجام شده روی گاز چقدر است؟

$$\text{در چرخه}: Q = -W \rightarrow W = -Q = -400 \rightarrow W = -400\text{J}, \quad Q = 400\text{J}$$

۱۲- یک گاز کامل دواتمی چرخهٔ نشان داده شده در شکل زیر را می‌پیماید. دمای گاز در حالت (۱) برابر ۲۰۰K است.

الف) دما در سه نقطهٔ دیگر چقدر است؟



$$\frac{P_1V_1}{T_1}=\frac{P_2V_2}{T_2}\xrightarrow{\text{فرایند ۱ به ۲ هم‌حجم}}\frac{P_1}{T_1}=\frac{P_2}{T_2}\rightarrow\frac{1}{200}=\frac{3}{T_2}\rightarrow T_2=600K$$

$$\frac{P_2V_2}{T_2}=\frac{P_3V_3}{T_3}\xrightarrow{\text{فرایند ۲ به ۳ هم‌فشار}}\frac{V_2}{T_2}=\frac{V_3}{T_3}\rightarrow\frac{100}{600}=\frac{300}{T3}\rightarrow T_3=1800K$$

$$\frac{P_3V_3}{T_3}=\frac{P_4V_4}{T_4}\xrightarrow{\text{فرایند ۳ به ۴ هم‌حجم}}\frac{P_3}{T_3}=\frac{P_4}{T_4}\rightarrow\frac{3}{1800}=\frac{1}{T_4}\rightarrow T_4=600K$$

ب) کار انجام شده در چرخه چقدر است؟

$$|W|_{\text{چرخه}}=S=(3-1)\times10^5\times(300-100)\times10^{-3}=2\times10^5\times200\times10^{-3}=400\times10^2J=4\times10^4J$$

$$\text{چرخه ساعتگرد}\rightarrow W=-4\times10^4J$$

پ) در چه فرایندهایی گاز گرما گرفته است؟

با توجه به رابطه‌های $Q_{\text{هم‌حجم}}=nC_V\Delta T$ و $Q_{\text{هم‌فشار}}=nC_P\Delta T$ در فرایندهای هم‌حجم و هم‌فشار گرمای مبادله شده با افزایش دما مثبت و با کاهش دما منفی است بنابراین:

فرایند ۱ به ۲ $\xrightarrow{\text{افزایش دما}}Q>0\rightarrow$ گاز گرما گرفته است

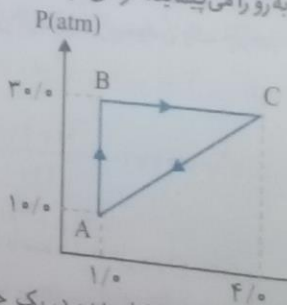
فرایند ۲ به ۳ $\xrightarrow{\text{افزایش دما}}Q>0\rightarrow$ گاز گرما گرفته است

ت) در چه فرایندهای گاز گرما از دست داده است؟

فرایند ۳ به ۴ $\xrightarrow{\text{کاهش دما}}Q<0\rightarrow$ گاز گرما از دست داده است

فرایند ۴ به ۱ $\xrightarrow{\text{کاهش دما}}Q<0\rightarrow$ گاز گرما از دست داده است

۱۳- گاز داخل یک استوانه، چرخه‌ای مطابق شکل روبه‌رو را می‌پیماید. گرمای مبادله شده در این چرخه چند ژول است؟



با توجه به اینکه در یک چرخه $Q=-W$ برای محاسبه گرمای مبادله شده در یک چرخه باید کار انجام شده در چرخه را محاسبه کنیم:

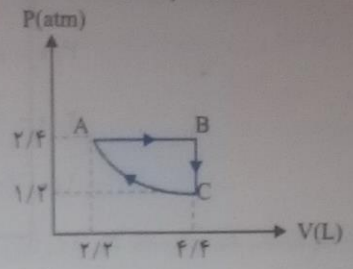
$$|W_{\text{چرخه}}|=S_{\text{مثلث}}=\frac{(3-1)\times10^5\times(4-1)\times10^{-3}}{2}=\frac{2\times10^5\times3\times10^{-3}}{2}=300J$$

$$\text{چرخه ساعتگرد}\rightarrow W=-300J$$

$$Q=-W=-(-300)=+300J\rightarrow Q=300J$$

۱۴- دستگاهی متشکل از ۰/۳۲mol گاز کامل تک‌اتمی حجمی برابر ۲/۲L را در فشار ۲/۴atm اشغال کرده است. این دستگاه چرخه‌ای مطابق شکل را می‌پیماید که در آن فرایند CA فرایندی هم‌دما است.

الف) دما در نقاط A و B و C چقدر است؟



$$n = ۰/۳۲mol \;,\; R = ۸\frac{J}{mol\cdot K}$$

در نقطه A: $P_AV_A = nRT_A \rightarrow T_A = \frac{P_AV_A}{nR} = \frac{۲/۴\times۱۰^۵ \times ۲/۲\times۱۰^{-۳}}{۰/۳۲\times۸} = ۲۰۶/۲۵K \rightarrow T_A = ۲۰۶/۲۵K$

$$\frac{P_AV_A}{T_A} = \frac{P_BV_B}{T_B} \xrightarrow{\text{فرایند A به B هم‌فشار}} \frac{V_A}{T_A} = \frac{V_B}{T_B} \rightarrow \frac{۲/۲}{۲۰۶/۲۵} = \frac{۴/۴}{T_B}$$

$$\rightarrow T_B = \frac{۴/۴\times۲۰۶/۲۵}{۲/۲} = ۴۱۲/۵K \rightarrow T_B = ۴۱۲/۵K$$

$$\frac{P_BV_B}{T_B} = \frac{P_CV_C}{T_C} \xrightarrow{\text{فرایند B به C هم‌حجم}} \frac{P_B}{T_B} = \frac{P_C}{T_C} \rightarrow \frac{۲/۴}{۴۱۲/۵} = \frac{۱/۲}{T_C}$$

$$\rightarrow T_C = \frac{۴۱۲/۵\times۱/۲}{۲/۴} = ۲۰۶/۲۵K \rightarrow T_c = ۲۰۶/۲۵K$$

ب) ΔU را برای هریک از سه فرایند چرخه به دست آورید.

تغییر انرژی درونی در همه فرایندها از رابطه $\Delta U = nC_v\Delta T$ به‌دست می‌آید: $n = ۰/۳۲mol \;,\; C_v = \frac{۳}{۲}R$

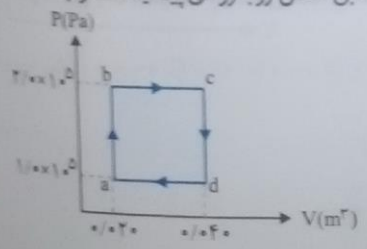
$$\Delta U_{AB} = nC_v(T_B - T_A) = ۰/۳۲\times\frac{۳}{۲}\times۸\times(۴۱۲/۵ - ۲۰۶/۲۵) = ۷۹۲J \rightarrow \Delta U_{AB} = ۷۹۲J$$

$$\Delta U_{BC} = nC_v(T_C - T_B) = ۰/۳۲\times\frac{۳}{۲}\times۸\times(۲۰۶/۲۵ - ۴۱۲/۵) = -۷۹۲J \rightarrow \Delta U_{BC} = -۷۹۲J$$

$\Delta U_{CA} = ۰ \rightarrow$ فرایند CA هم‌دما است.

۱۵- یک مول از یک گاز تک‌اتمی در یک ماشین گرمایی آرمانی، چرخه‌ای را مطابق شکل روبه‌رو می‌پیماید. مطلوب است:

الف) کار انجام شده توسط ماشین گرمایی در پیمودن یک چرخه.



کار انجام شده در یک چرخه برابر است با مساحت داخل چرخه بنابراین:

$$|W_{\text{چرخه}}| = S = (۲-۱)\times۱۰^۵\times(۰/۰۴ - ۰/۰۲) = ۲۰۰۰ \xrightarrow{\text{چرخه ساعتگرد}} W = -۲۰۰۰J$$

ب) گرمای مبادله شده در فرایند abc.

$$Q_{abc} = Q_{ab} + Q_{bc}$$

فرایند ab هم‌حجم است $\rightarrow Q_{ab} = \frac{۳}{۲}V\Delta P = \frac{۳}{۲}\times۰/۰۲\times(۲-۱)\times۱۰^۵ = ۳۰۰۰J \rightarrow Q_{ab} = ۳/۰kJ$

فرایند bc هم‌فشار است $\rightarrow Q_{bc} = \frac{۵}{۲}P\Delta V = \frac{۵}{۲}\times۲\times۱۰^۵\times(۰/۰۴ - ۰/۰۲) = ۱۰۰۰۰J \rightarrow Q_{bc} = ۱۰kJ$

$$\rightarrow Q_{abc} = ۳/۰ + ۱۰ = ۱۳kJ \rightarrow Q_{abc} = ۱۳kJ$$

ب) گرمای مبادله شده در فرایند cda،

$$Q_{cda} = Q_{cd} + Q_{da}$$

فرایند cd هم‌حجم است. $\rightarrow Q_{cd} = \frac{3}{2} \times V\Delta P = \frac{3}{2} \times 0/04 \times (1-2) \times 10^5 = -6000J \rightarrow Q_{cd} = -6/0kJ$

فرایند bc هم‌فشار است. $\rightarrow Q_{da} = \frac{5}{2} P\Delta V = \frac{5}{2} \times 1 \times 10^5 \times (0/02 - 0/04) = -5000J \rightarrow Q_{da} = -5/0kJ$

$$\rightarrow Q_{cda} = -6/0 - 5/0 = -11kJ \rightarrow Q_{cda} = -11kJ$$

پ) تغییر انرژی درونی در فرایند abc

$$\Delta U_{abc} = \Delta U_{ab} + \Delta U_{bc} = (Q_{ab} + W_{ab}) + (Q_{bc} + W_{bc})$$

فرایند ab هم‌حجم است. $\rightarrow W_{ab} = 0$

فرایند bc هم‌فشار است. $\rightarrow W_{bc} = -P\Delta V = -2 \times 10^5 \times (0/04 - 0/02) = -4/0kJ \rightarrow W_{bc} = -4/0kJ$

$$\Delta U_{abc} = (3/0 + 0) + (10 - 4/0) = 9/0kJ \rightarrow \Delta U_{abc} = 9/0kJ$$

۱۶- یک ماشین گرمایی آرمانی در هر چرخه $100/0J$ گرما از منبع دما بالا می‌گیرد و $60/0J$ گرما به منبع دما پایین می‌دهد.

الف) بازده این ماشین چقدر است؟

$$Q_H = 100J \ , \ Q_L = -60j \ , \ t = 0/5s \ , \ \eta = ? \ , P = ?$$

$$\eta = 1 - \frac{|Q_L|}{Q_H} = 1 - \frac{60}{100} = 1 - 0/6 = 0/4 \rightarrow \eta = 40\%$$

ب) اگر هر چرخه $0/500s$ طول بکشد، توان خروجی این ماشین چقدر است؟

$$|W| = Q_H - |Q_L| = 100 - 60 = 40J \ , \ P = \frac{|W|}{t} = \frac{40}{0/5} = 80W \rightarrow P = 80W$$

۱۷- بازدهٔ یک ماشین آرمانی $25/0$ درصد است و در هر چرخه $8/2 \times 10^3 J$ کار انجام می‌دهد.

الف) Q_H و $|Q_L|$ را در هر چرخه ماشین به‌دست آورید.

$$\eta = \frac{25}{100} = 0/25 \ , \ |W| = 8/2 \times 10^3 J \ , \ Q_H = ? \ , \ Q_L = ?$$

$$\eta = \frac{|W|}{Q_H} \rightarrow Q_H = \frac{|W|}{\eta} = \frac{8/2 \times 10^3}{0/25} = 32/8 \times 10^3 J \rightarrow Q_H = 32/8 \times 10^3 J$$

$$Q_H = |W| + |Q_L| \rightarrow |Q_L| = Q_H - |W| = 32/8 \times 10^3 - 8/2 \times 10^3 = 24/6 \times 10^3 \rightarrow |Q_L| = 24/6 \times 10^3 J$$

ب) اگر با تنظیم موتور، بازدهٔ ماشین به $30/0$ درصد افزایش یابد، Q_H و $|Q_L|$ به ازای همان مقدار کار چقدر می‌شود؟

$$\eta = \frac{30}{100} = 0/3 \ , \ |W| = 8/2 \times 10^3 J \ , \ Q_H = ? \ , \ Q_L = ?$$

$$\eta = \frac{|W|}{Q_H} \rightarrow Q_H = \frac{|W|}{\eta} = \frac{8/2 \times 10^3}{0/3} = 27/3 \times 10^3 J \rightarrow Q_H = 27/3 \times 10^3 J$$

$$|Q_L| = Q_H - |W| = 27/3 \times 10^3 - 8/2 \times 10^3 = 19/1 \times 10^3 J \rightarrow |Q_L| = 19/1 \times 10^3 J$$

۱۸- یک ماشین بخار در هر دقیقه $1/5 \times 10^5 MJ$ گرما از دیگ بخار دریافت می‌کند و $9/0 \times 10^4 MJ$ گرما در چگالنده از دست می‌دهد. با فرض آرمانی بودن این ماشین

الف) کار انجام شده توسط ماشین در هر دقیقه چند مگاژول است؟

$$Q_H = 1/5 \times 10^5 MJ \ , \ |Q_L| = 9 \times 10^4 MJ = 0/9 \times 10^5 MJ \ , \ |W| = ?$$

$$|W| = Q_H - |Q_L| = 1/5 \times 10^5 - 0/9 \times 10^5 = 0/6 \times 10^5 MJ \rightarrow |W| = 6 \times 10^4 MJ$$

ب) بازده این ماشین چقدر است؟

$$\eta = \frac{|W|}{Q_H} = \frac{۶\times۱۰^۴}{۱/۵\times۱۰^۵} = ۰/۴ = ۴۰٪ \rightarrow \eta = ۴۰٪$$

۱۹- یک ماشین گرمایی درون‌سوز در هر چرخه ۸/۰۰kJ گرما از سوزاندن سوخت دریافت می‌کند و ۲/۰۰kg کار تحویل می‌دهد. گرمای حاصل از سوخت $۵/۰\times۱۰^۴ J/g$ است و ماشین در هر ثانیه ۴۰/۰ چرخه را می‌پیماید. کمیت‌های زیر را حساب کنید.

الف) بازده ماشین،

هر ثانیه ۴۰ چرخه ، $Q_H = ۸kJ = ۸\times۱۰^۳ J$ ، $|W| = ۲kJ = ۲\times۱۰^۳ J$ ، گرمای سوختن $= ۵\times۱۰^۴ \frac{J}{g}$

$$\eta = \frac{|W|}{Q_H} = \frac{۲\times\cancel{۱۰^۳}}{۸\times\cancel{۱۰^۳}} = ۰/۲۵ \rightarrow \eta = ۲۵٪$$

ب) با فرض آرمانی بودن ماشین، گرمای تلف شده در هر چرخه،

$$|Q_L| = Q_H - |W| = ۸\times۱۰^۳ - ۲\times۱۰^۳ = ۶\times۱۰^۳ J \rightarrow |Q_L| = ۶\times۱۰^۳ J$$

پ) سوخت مصرف شده در هر چرخه و

$$\frac{\text{گرم سوخت}}{\text{انرژی تولیدی}}: \quad \frac{۱}{x} = \frac{۵\times۱۰^۴}{۸\times۱۰^۳} \rightarrow x = \frac{۸\times۱۰^۳}{۵\times۱۰^۴} = ۰/۱۶g \rightarrow x = ۰/۱۶g$$

ت) توان ماشین.

$$|W| = ۴۰\times۲\times۱۰^۳ = ۸\times۱۰^۴ \ , \ t = ۱s \ , \ P = \frac{|W|}{t} \rightarrow P = \frac{۸\times۱۰^۴}{۱} = ۸\times۱۰^۴ W$$

توان ماشین

۲۰- مخترعی مدعی است ماشینی ساخته که بین نقطه‌های جوش (در فشار متعارف جو) و انجماد آب کار می‌کند و بازدهٔ آن ۷۰/۰ درصد است. آیا ادعای این مخترع می‌تواند درست باشد؟ توضیح دهید.

بازده کارنوی ماشین گرمایی که بین این دو دما کار می‌کند را بدست می آوریم:

$$T_H = ۱۰۰ + ۲۷۳ = ۳۷۳K \ , \ T_L = ۰ + ۲۷۳ = ۲۷۳K \ , \ \eta_{\text{کارنو}} = ?$$

$$\eta_{\text{کارنو}} = ۱ - \frac{T_L}{T_H} = ۱ - \frac{۲۷۳}{۳۷۳} = ۱ - ۰/۷۳ = ۰/۲۷ \rightarrow \eta_{\text{کارنو}} = ۲۷٪$$

با توجه به اینکه حداکثر بازده ماشین گرمایی که بین این دماها کار می‌کند، ۲۷ درصد است ادعای این مخترع نادرست است.

۲۱- می‌خواهیم بازده یک ماشین کارنو را افزایش دهیم. با مثالی عددی بررسی کنید آیا بهتر است که دمای منبع دمابالا را افزایش دهیم یا دمای منبع دماپایین را به همان مقدار کاهش دهیم؟

با فرض $T_H = ۴K$ و $T_L = ۲K$ بازده کارنو برابر است با:

$$\eta_{\text{کارنو}} = ۱ - \frac{T_L}{T_H} = ۱ - \frac{۲}{۴} = ۰/۵$$

اگر دمای منبع دما بالا را یک درجه افزایش دهیم داریم:

$$\eta_{\text{کارنو}} = ۱ - \frac{۲}{۴+۱} = \frac{۳}{۵} = ۰/۶$$

اگر دمای منبع دما پایین را یک درجه کاهش دهیم داریم:

$$\eta_{\text{کارنو}} = ۱ - \frac{۱}{۴} = \frac{۳}{۴} = ۰/۷۵$$

با توجه به نتایج بدست آمده در مثال فوق برای افزایش بازده ماشین کارنو بهتر است دمای منبع دما پایین را کاهش دهیم.

۲۲- مخترعی ادعا می‌کند چهار ماشین ساخته است که هر یک بین منبع‌های با دمای ۳۰۰K و ۴۰۰K کار می‌کنند. داده‌های هر ماشین در هر چرخه عبارت‌اند از:

ماشین A : $Q_H = ۲۰۰۰J$, $Q_L = -۱۷۵۰J$, $W = -۴۰J$

ماشین B : $Q_H = ۵۰۰J$, $Q_L = -۲۰۰J$, $W = -۴۰۰J$

ماشین C : $Q_H = ۶۰۰J$, $Q_L = -۲۰۰J$, $W = -۴۰۰J$

ماشین D : $Q_H = ۱۰۰J$, $Q_L = -۹۰J$, $W = -۱۰J$

با فرض آرمانی بودن این چهار ماشین:

الف) کدام‌یک از ماشین‌ها قانون اول ترمودینامیک را نقض می‌کنند؟

قانون اول ترمودینامیک همان قانون اول پایستگی انرژی است یعنی در هر ماشین گرمایی $|Q_H| = |Q_L| + |W|$ بنابراین:

ماشین A: $\begin{cases} |Q_L| + |W| = ۱۷۵۰ + ۴۰ = ۱۷۹۰J \\ Q_H = ۲۰۰۰J \end{cases}$ → قانون اول نقض می‌شود → $Q_H \neq |Q_H| + |W|$

ماشین B: $\begin{cases} |Q_L| + |W| = ۴۰۰ + ۲۰۰ = ۶۰۰J \\ Q_H = ۵۰۰J \end{cases}$ → قانون اول نقض می‌شود → $Q_H \neq |Q_L| + |W|$

ماشین C: $\begin{cases} |Q_L| + |W| = ۴۰۰ + ۲۰۰ = ۶۰۰J \\ Q_H = ۶۰۰J \end{cases}$ → قانون اول برقرار است → $Q_H = |Q_L| + |W|$

ماشین D: $\begin{cases} |Q_L| + |W| = ۱۰ + ۹۰ = ۱۰۰J \\ Q_H = ۱۰۰J \end{cases}$ → قانون اول برقرار است → $Q_H = |Q_L| + |W|$

ب) کدام‌یک از ماشین‌ها قابل ساخت هستند؟

حداکثر بازده یک ماشین گرمایی که بین دو منبع گرم و سرد با دمای ۳۰۰K و ۴۰۰K کار می‌کند برابر است با:

$$\eta_{\text{کارنو}} = ۱ - \frac{T_L}{T_H} = ۱ - \frac{۳۰۰}{۴۰۰} = \frac{۱}{۴} = ۰/۲۵ \rightarrow \eta_{\text{کارنو}} = ۰/۲۵$$

بازده ماشین‌های C و D را محاسبه کرده و با بازده کارنو مقایسه می‌کنیم، ماشینی قابل ساخت است که در آن هم قضیه کارنو و هم قانون اول ترمودینامیک برقرار باشد:

$$\eta_C = ۱ - \frac{|Q_L|}{|Q_H|} = ۱ - \frac{۲۰۰}{۶۰۰} = ۱ - ۰/۳۳ = ۰/۶۷ \rightarrow \eta_C > \eta_{\text{کارنو}} \rightarrow$$ قضیه کارنو برقرار نیست

$$\eta_D = ۱ - \frac{|Q_L|}{|Q_H|} = ۱ - \frac{۹۰}{۱۰۰} = ۱ - ۰/۹ = ۰/۱ \rightarrow \eta_D < \eta_{\text{کارنو}} \rightarrow$$ قضیه کارنو برقرار است

۲۳- یک ماشین کارنو بین دماهای ۲۸۰/۰K و ۳۶۰/۰K کار می‌کند. این ماشین در هر چرخه ۷۵۰/۰J گرما از منبع دما بالا می‌گیرد.

الف) در هر چرخه $|W|$ چقدر است؟

$$T_L = ۲۸۰K \ , \ T_H = ۳۶۰K \ , \ Q_H = ۷۵۰J \ , \ |W| = ? \ , \ |Q_L| = ?$$

$$\eta_{\text{کارنو}} = ۱ - \frac{T_L}{T_H} = ۱ - \frac{۲۸۰}{۳۶۰} = ۱ - \frac{۲۸}{۳۶} = \frac{۸}{۳۶} = \frac{۲}{۹}$$

$$\eta = \frac{|W|}{Q_H} \rightarrow |W| = \eta Q_H = \frac{۲}{۹} \times ۷۵۰ = \frac{۵۰۰}{۳} \rightarrow |W| = \frac{۵۰۰}{۳} J$$

ب) در هر چرخه چقدر گرما به منبع دما پایین داده می‌شود؟

$$|Q_L| = Q_H - |W| \rightarrow |Q_L| = ۷۵۰ - \frac{۵۰۰}{۳} = \frac{۱۷۵۰}{۳} \rightarrow |Q_L| = \frac{۱۷۵۰}{۳} J$$

۲۴- قرار است نیم ساعت دیگر مهمانی برای شما برسد در حالی که هیچ یخی را برای نوشابهٔ خود آماده نکرده‌اید. به سرعت ۱/۰۰L آب ۱۰/۰°C را در قالب‌های یخ می‌ریزید و در فریزر قرار می‌دهید. آیا در زمانی که مهمان می‌رسد، یخ خواهید داشت؟ ضریب عملکرد یخچال ۴/۰ و توان آن ۱۱۰/۰W است. (فرض کنید همهٔ توان الکتریکی یخچال صرف سرد کردن و یخ زدن آب می‌شود.)

$$V = ۱L = ۱ \times ۱۰^{-۳} m^۳ \ , \ c_{\text{آب}} = ۴۲۰۰ \frac{J}{kg \cdot K} \ , \ L_{F_{\text{یخ}}} = ۳۳۳/۷ \times ۱۰^۳ \frac{J}{kg} \ , \ \rho_{\text{آب}} = ۱۰۰۰ \frac{kg}{m^۳}$$

$$K = ۴ \ , \ P = ۱۱۰W \ , \ t = ?$$

با استفاده از رابطه $\rho = \frac{m}{V}$ جرم آب را محاسبه می‌کنیم:

$$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow m = \rho V = 1000 \times 1 \times 10^{-3} = 1kg \rightarrow m = 1kg$$

مقدار گرمایی که $1kg$ آب $10^\circ C$ از دست می‌دهد تا به یخ $0^\circ C$ تبدیل شود به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$Q = mc_{آب}\Delta\theta - mL_F = 1 \times 4200 \times (0 - 10) - (1 \times 333/7 \times 10^3)$$

$$= -42000 - 333700 = -375700J \rightarrow |Q_L| = 375700J$$

گرمایی که یخچال از آب برای یخ زدن می‌گیرد

کاری که یخچال برای یخ‌زدن آب انجام می‌دهد:

$$K = \frac{|Q_L|}{W} \rightarrow W = \frac{|Q_L|}{K} = \frac{375700}{4} = 93925J \rightarrow W = 93925J$$

زمانی که طول می‌کشد تا آب یخ بزند:

$$P = \frac{W}{t} \rightarrow t = \frac{W}{P} = \frac{93925}{110} = 853S \rightarrow t = 14\,min$$

باتوجه به اینکه تقریباً ۱۴ دقیقه طول می‌کشد تا همه آب به یخ $^\circ C$ تبدیل شود زمان کافی برای درست کردن یخ خواهیم داشت.

۲۵- یک کولر گازی در هر دقیقه $9/00 \times 10^4 J$ گرما از اتاق می‌گیرد و در همان مدت $1/3 \times 10^5 J$ گرما به فضای بیرون می‌دهد. با فرض آرمانی بودن کولر،

الف) توان مصرفی این کولر چند وات است؟

$$t = 60s \ , \ |Q_L| = 9 \times 10^4 J \ , \ Q_H = 13 \times 10^4 J \ , \ P = ? \ , \ K = ?$$

برای به‌دست آوردن توان مصرفی کولر ابتدا باید کار انجام شده توسط کولر را محاسبه کرد:

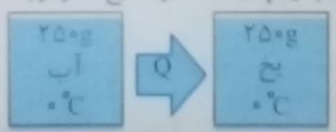
در یخچال‌ها: $|Q_H| = Q_L + W \rightarrow W = |Q_H| - Q_L = 13 \times 10^4 - 9 \times 10^4 = 4 \times 10^4 J \rightarrow W = 4 \times 10^4 J$

$$P = \frac{W}{t} = \frac{4 \times 10^4}{60} = \frac{2}{3} \times 10^3 W \rightarrow P = \frac{2}{3} \times 10^3 W$$ توان مصرفی کولر

ب) ضریب عملکرد آن چقدر است؟

$$K = \frac{|Q_L|}{W} = \frac{9 \times 10^4}{4 \times 10^4} = 2/25 \rightarrow K = 2/25$$ ضریب عملکرد کولر

۲۶- فرض کنید $250/0g$ آب صفر درجه سلسیوس در اختیار داریم. می‌خواهیم با قرار دادن این آب در یخچال، یخ تهیه کنیم. یخچال در اتاقی قرار دارد که دمای آن $22/0^\circ C$ است. دمای داخل یخچال در $-5/0^\circ C$ ثابت نگه داشته شده است. کمترین مقدار انرژی الکتریکی که باید به یخچال داده شود تا یخ صفر درجهٔ سلسیوس تشکیل شود، چقدر است؟



$$m = 250g = 0/25kg \ , \ T_H = 22 + 273 = 295K \ , \ T_L = -5 + 273 = 268K \ , \ W = ?$$

$$L_{F_0} = 333/7 \times 10^3 \frac{J}{kg}$$

$$Q_L = -mL_F = -0/25 \times 333/7 \times 10^3 = -83425J \rightarrow Q_L = 83425J$$

کمترین مقدار انرژی داده شده به یخچال زمانی است که یخچال بیشترین بازده را داشته باشد: $K = K_{کارنو}$

ضریب عملکرد یخچال:

$$K_{کارنو} = \frac{T_L}{T_H - T_L} = \frac{268}{295 - 268} = \frac{268}{27} = 10 \rightarrow K_{کارنو} = K = 10$$

$$K = \frac{|Q_L|}{W} \rightarrow W = \frac{|Q_L|}{K} = \frac{83425}{10} = 8342/5J \rightarrow W = 8342/5J$$

ارزشیابی مستمر

۱- درست یا نادرست بودن جمله‌های زیر را مشخص کنید. (۱ نمره)

الف) انرژی درونی یک گاز کامل فقط تابع دمای مطلق گاز است. ☐ درست ☐ نادرست

ب) در فرایند هم‌فشار، کار و گرما بین دستگاه و محیط مبادله می‌شود. ☐ درست ☐ نادرست

ج) تغییر انرژی درونی در تمام فرایندها از رابطه $\Delta U = nC_V \Delta T$ به دست می‌آید. ☐ درست ☐ نادرست

د) ماشین بخار، یک ماشین گرمایی درون‌سوز است. ☐ درست ☐ نادرست

۲- جاهای خالی را با کلمه‌های مناسب پر کنید. (۱)

الف) چرخهٔ آرمانی یک ماشین بنزینی را چرخه ..... می‌گویند.

ب) با انجام ..... می‌توان گرما را از جسم سرد به جسم گرم منتقل کرد.

ج) بیشترین ضریب عملکرد یخچال را ضریب عملکرد ..... یخچال می‌گویند.

د) اگر حجم دستگاه کاهش یابد علامت W ..... است.

۳- از داخل پرانتز عبارت درست را انتخاب کنید. (۱)

الف) بازده ماشین کارنو به جنس ماده ای که چرخه را می‌پیماید بستگی (دارد - ندارد).

ب) در فرایند (هم‌فشار - هم‌حجم) تغییر انرژی درونی دستگاه برابر با گرمای مبادله شده است.

ج) در فرایند (هم‌دما - بی‌دررو)، گرمایی بین محیط و دستگاه مبادله نمی‌شود.

د) در فرایندهای انبساط هم‌دما و انبساط بی‌دررو کار انجام شده در فرایند (هم‌دما - بی‌دررو) بیشتر است.

۴- گزینه درست را مشخص کنید. (۱)

الف) بازده ماشین کارنویی که بین دماهای ۱۰۰K و ۵۰۰K کار می‌کند چقدر است؟

الف) ۲۰ درصد ب) ۴۰ درصد ج) ۶۰ درصد د) ۸۰ درصد

ب) یخچالی با صرف انرژی ۴۰۰J مقدار ۱۲۰۰ J انرژی گرمایی را از داخل یخچال می‌گیرد. ضریب عملکرد این یخچال چقدر است؟

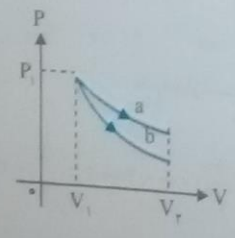
الف) ۱ ب) ۲ ج) ۳ د) ۴

۵- مفاهیم زیر را تعریف کنید. (۱)

الف) قانون اول ترمودینامیک:

ب) قانون دوم ترمودینامیک (به بیان ماشین گرمایی):

۶- شکل مقابل نمودارهای هم‌دما و بی‌دررو گاز کاملی را نشان می‌دهد: (۱)



الف) کدام‌یک از فرایندهای a و b بی‌دررو است؟

ب) تغییر انرژی کدام فرایند صفر است؟

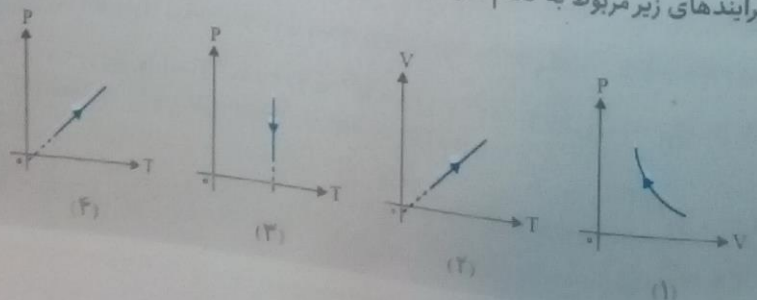
۷- مشخص کنید هرکدام از فرایندهای زیر مربوط به کدام نمودار است؟ (۱)

الف) انبساط هم‌دما

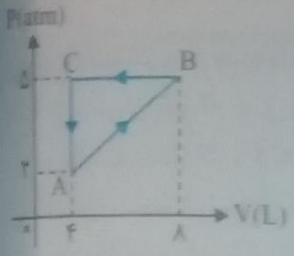
ب) هم‌حجم

ج) تراکم بی‌دررو

د) انبساط هم‌فشار



۸- ۰/۵ مول گاز تک اتمی چرخه‌ای مطابق شکل زیر طی می‌کند. (۱/۷۵) (نهایی ریاضی - دی ۹۲)



الف) کار انجام شده در این چرخه چقدر است؟

ب) گاز در فرآیند BC چند ژول گرما با محیط مبادله می‌کند؟

$$C_P = \frac{5}{2}R \qquad R = 8\frac{J}{mol.K}$$

۹- یک ماشین بخار آرمانی در هر دقیقه 3×10^{10} J گرما از دیگ بخار دریافت می‌کند و $1/8\times10^{10}$ J گرما در سردکننده از دست می‌دهد: (۱/۲۵) (نهایی ریاضی - خرداد ۹۵)

الف) کار انجام شده توسط ماشین در هر دقیقه چند ژول است؟

ب) بازده این ماشین چقدر است؟

پاسخ ارزشیابی مستمر

۱ الف) درست(۰/۲۵)، ب) درست(۰/۲۵)، ج) درست(۰/۲۵)، د) نادرست(۰/۲۵) ۲ الف) انبو(۰/۲۵)، ب) کارا(۰/۲۵)، ج) کارنو(۰/۲۵)، د) مثبت(۰/۲۵) ۳ الف) ندارد(۰/۲۵)، ب) هم‌حجم(۰/۲۵)، ج) بی‌دررو(۰/۲۵)، د) هم‌دما

۴ الف) گزینهٔ (د) (۰/۵) (۰/۵) $T_L = 100\,K, T_H = 500\,K, \eta_{کارنو} = 1 - \frac{T_L}{T_H} = 1 - \frac{1}{5} = \frac{4}{5} = 0/8 \times 100 = 80\%$

ب) گزینهٔ (ج) (۰/۵) $W = 400J, Q_L = 1200\,J, K = \frac{Q_L}{W} = \frac{1200}{400} = 3 \rightarrow K = 3$

۵ الف) اگر در یک فرایند ایستاوار، دستگاه گرمای Q را بگیرد و کار W روی دستگاه انجام شود(۰/۲۵)، تغییر انرژی درونی دستگاه برابر است با مجموع گرمای مبادله شده و کار انجام شده. $\Delta U = Q + W$ (۰/۲۵)

ب) ممکن نیست دستگاه طی چرخه‌ای همه گرمای جذب شده از منبع گرم را به کار تبدیل کند. (۰/۵)

۶ الف) شیب نمودار بی‌دررو بیشتر از هم‌دما است بنابراین فرایند b، بی‌دررو است. (۰/۵) ب) تغییر انرژی درونی فرایند هم‌دما صفر است از آنجا که فرایند a، هم‌دماست بنابراین تغییر انرژی درونی فرایند a صفر است. (۰/۵)

۷ الف) نمودار ۳، ب) نمودار۴، ج) نمودار۱، د) نمودار ۲ (هر مورد ۰/۲۵)

۸ الف) $|W| = S_{ABC} = \frac{(8-4)\times10^{-3}\times(5-2)\times10^{5}}{2} = 600J \rightarrow |W| = 600J$ (۰/۲۵) (۰/۲۵)

جرجه باز ساعتگرد $\rightarrow W = +600J$ (۰/۲۵)

ب) $Q = nC_P\Delta T = n\times\frac{5}{2}R(T_C - T_B) = \frac{5}{2}(nRT_C - nRT_B)$ (۰/۲۵) (۰/۲۵) فرایند BC هم‌فشار است

$\rightarrow Q = \frac{5}{2}(P_CV_C - P_BV_B) = \frac{5}{2}(5\times10^{5}\times4\times10^{-3} - 5\times10^{5}\times8\times10^{-3}) = \frac{5}{2}(2000 - 4000) = \frac{5}{2}(-2000)$ (۰/۲۵)

$\rightarrow Q = -5000J$ (۰/۲۵)

۹ الف) $Q_H = 3\times10^{10}J, |Q_L| = 1/8\times10^{10}J, |W| = ?$

$Q_H = |Q_L| + |W| \rightarrow |W| = Q_H - |Q_L| = 3\times10^{10} - 1/8\times10^{10} = 1/2\times10^{10}J \rightarrow |W| = 1/2\times10^{10}J$ (۰/۲۵) (۰/۲۵) (۰/۲۵)

ب) $\eta = \frac{|W|}{Q_H} = \frac{1/2\times10^{10}}{3\times10^{10}} = 0/4 = 40\%$ (۰/۲۵) بازه

سوالات امتحانی

آزمون دی ماه (نوبت اول) — نام: ..... — تاریخ: .....

۱- درست یا نادرست بودن جمله‌های زیر را مشخص کنید. ۲

الف) جرم جسم کمیتی برداری است. ☐ درست ☐ نادرست

ب) اگر سرعت جسمی را نصف کنیم، انرژی جنبشی جسم ۲ برابر می‌شود. ☐ درست ☐ نادرست

ج) با افزایش دما، نیروی هم‌چسبی بین مولکول‌ها کاهش می‌یابد. ☐ درست ☐ نادرست

د) ارتفاع جیوه در لوله مویین بالاتر از سطح جیوه در ظرف است. ☐ درست ☐ نادرست

۲- از داخل پرانتز عبارات درست را انتخاب کنید. ۲

الف) مجموع انرژی جنبشی و پتانسیل یک جسم را انرژی (درونی-مکانیکی) جسم می‌گویند.

ب) وقتی وزنه‌برداری وزنه‌ای را به آرامی پایین می‌آورد، کار ورزشکار روی وزنه (مثبت - منفی) است

ج) اگر نیروی هم‌چسبی بین مولکول‌های مایع از نیروی دگرچسبی بین مولکول‌های مایع و جامد (بیشتر - کمتر) باشد، مایع جامد را تر نمی‌کند.

د) پدیده (کشش سطحی - پخش) ناشی از حرکت نامنظم و کاتوره‌ای مولکول‌های مایع است.

۳- گزینه درست را مشخص کنید. ۱

الف) یک دماسنج دیجیتالی دمای جسمی را $23/5^\circ C$ نشان می‌دهد. خطای این وسیله چقدر است؟

الف) $\pm 0/5^\circ C$ ب) $\pm 1^\circ C$ ج) $\pm 0/1^\circ C$ د) $\pm 0/25^\circ C$

ب) با خط‌کشی که بر حسب میلی‌متر درجه‌بندی شده است، طول جسمی $142/7mm$ اندازه‌گیری می‌شود. رقم غیر قطعی این اندازه‌گیری کدام است؟

الف) ۱ ب) ۴ ج) ۲ د) ۷

۴- مفاهیم زیر را تعریف کنید. ۱

الف) کشش سطحی

ب) کار و انرژی پتانسیل کشسانی

۵- مرتبه بزرگی اعداد زیر را تخمین بزنید. ۱

الف) $0/00078 \times 10^9$ ب) 2500×10^{-6}

۶- عدد زیر را با نمادگذاری علمی و بر حسب یکای خواسته شده بنویسید. ۰/۵

الف) $175 \times 10^{-14} m =$ pm ب) $0/095 \times 10^4 mg =$ Tg

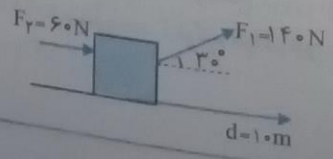
۷- دو ویژگی آب در لوله مویین را بنویسید. ۰/۵

۸- به چه جامداتی آمورف می‌گویند؟ مثالی بزنید. ۱

۹- چگالی الکل در SI، $800 \frac{kg}{m^3}$ است، جرم $20cm^3$ الکل چند گرم است؟ ۱/۵

۱۰- مطابق شکل زیر بر جعبه‌ای دو نیروی $F_1 = 140N$ و $F_2 = 60N$ وارد می‌شود. اگر نیروی اصطکاک جنبشی در حین حرکت $32N$ باشد، کار کل انجام شده بر روی جسم را در جابه‌جایی ۱۰متر محاسبه کنید.

$(\cos 30^\circ = 0/8, \cos 180^\circ = -1)$

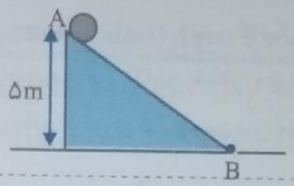


فیزیک ۱

۱۱- چتربازی با جرم کل ۷۰kg از بالنی که در ارتفاع ۸۰ m از سطح زمین است، با تندی $۲\frac{m}{s}$ به بیرون می‌پرد. اگر او با تندی $۴\frac{m}{s}$ به زمین برسد، کار نیروی مقاومت هوا روی چتربازدر طول مسیر چقدر است؟ (با توجه به قضیه کار و انرژی جنبشی حل شود) $(g = ۱۰\frac{N}{kg})$ ۱/۵

۱۲- جرم موتورسواری با موتورش ۱۵۰kg است. اگر این موتورسوار از تپه‌ای به ارتفاع ۵۰m به تپه‌ای پایین‌تر به ارتفاع ۲۰m پرشی انجام دهد. کار نیروی وزن موتورسوار در این جابه‌جایی چقدر است؟ $(g = ۱۰\frac{N}{kg})$ ۱

۱۳- جسمی به جرم ۲ kg مطابق شکل از ارتفاع ۵m روی سطح شیب‌دار از نقطه A رها می‌شود. اگر کار نیروهای مقاوم در طول مسیر ۲۰J باشد، سرعت جسم در نقطه B چقدر است؟ $(g = ۱۰\frac{N}{kg})$ ۱/۲۵



۱۴- تلمبه‌ای با توان ۲ kW در مدت ۱۰s مقدار ۶۰ لیتر آب را از سطح زمین تا ارتفاع ۱۵m بالا می‌فرستد. اگر چگالی آب $۱۰۰۰\frac{kg}{m^۳}$ باشد، بازده این تلمبه چند درصد است؟ $(g = ۱۰\frac{N}{kg})$ ۱/۷۵

سؤال‌های ویژه دانش‌آموزان تجربی

۱۵- روشی پیشنهاد کنید که به کمک آن بتوان حجم یک جسم جامد با شکل نامنظم را بدست‌آورد. ۰/۵

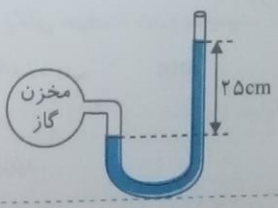
۱۶- آیا انرژی جنبشی یک جسم می‌تواند منفی باشد؟ توضیح دهید. ۰/۵

۱۷- چرا آب مایع مناسبی برای خاموش کردن بنزین شعله‌ور نیست؟ ۰/۵

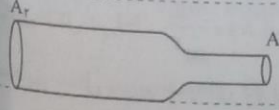
۱۸- مرتبه بزرگی تعداد ضربان قلب یک انسان در طول عمرش را تخمین بزنید. میانگین طول عمر انسان را ۷۵ سال، تعداد ضربان قلب در هر ثانیه را ۰/۸ و هر سال را ۳×۱۰^۷ در نظر بگیرید. ۰/۵

سؤال‌های ویژه دانش‌آموزان ریاضی و فیزیک

۱۵- در شکل زیر فشار جو $۱۰^۵ Pa$ است. فشار گاز درون مخزن چقدر است؟ $(g = ۱۰\frac{N}{kg}\ ,\ \rho_{مایع} = ۸\frac{g}{cm^۳})$ ۰/۷۵



۱۶- در شکل مقابل $A_۱ = ۲mm^۲$ و $A_۲ = ۸mm^۲$ است. اگر تندی آب در A برابر $۶ m/s$ باشد، تندی حرکت آب در $A_۲$ چقدر است؟ ۰/۵



۱۷- الف) اصل ارشمیدس را توضیح دهید. ۱

ب) چرا وقتی کامیون در حرکت است، پوشش برزنتی آن پف می‌کند؟

۱۸- یک ستون فرضی به سطح مقطع $۲m^۲$ در نظر بگیرید که از سطح دریای آزاد تا بالاترین بخش جو زمین ادامه دارد. اگر فشار هوا در سطح دریا $۱۰^۵ Pa$ باشد، چند کیلوگرم هوا در این ستون فرضی وجود دارد؟ $(g = ۱۰\frac{N}{kg})$ ۰/۷۵

پاسخ سوالات امتحانی

۱ الف) نادرست (۰/۵)، ب) نادرست (۰/۵)، ج) درست (۰/۵)، د) نادرست (۰/۵) ۲ الف) مکانیکی (۰/۵)، ب) منفی (۰/۵)، ج) بیشتر (۰/۵) د) پخش (۰/۵) ۳ الف) گزینهٔ (ج) (۰/۵)، خطای وسیله‌های رقمی، مثبت منفی یک واحد از آخرین رقمی است که می‌خوانند. ب) گزینهٔ (د) (۰/۵) آخرین رقم سمت راست عدد اندازه‌گیری شده، رقم غیر قطعی است. ۴ الف) به دلیل نیروهای جاذبه‌ای که مولکول‌های سطح مایع به یکدیگر وارد می‌کنند سطح مایع شبیه یک پوستهٔ تحت کشش رفتار می‌کند و کشش سطحی روی می‌دهد. (۰/۵) ب) کار نیروی فنر در یک جابه‌جایی برابر است با منفی تغییر انرژی پتانسیل کشسانی سامانه جسم - فنر در آن جابه‌جایی. ($W_{\text{فنر}} = -\Delta U_{\text{کشسانی}}$) (۰/۵)

۵ الف) $۰/۰۰۷۸ \times ۱۰^{۹} = ۷/۸ \times ۱۰^{-۳} \times ۱۰^{۹} - ۱۰^{۱} \times ۱۰^{-۳} \times ۱۰^{۹} - ۱۰^{۷}$ (۰/۵)

ب) $۲۵۰۰ \times ۱۰^{-۶} = ۲/۵ \times ۱۰^{۳} \times ۱۰^{-۶} - ۱۰^{۰} \times ۱۰^{۳} \times ۱۰^{-۶} - ۱۰^{-۳}$ (۰/۵)

۶ الف) $(۱۷۵ \times ۱۰^{-۱۴}\,\text{m})(۱) = (۱۷۵ \times ۱۰^{-۱۴}\,\text{m})\left(\frac{۱\,\text{pm}}{۱۰^{-۱۲}\,\text{m}}\right) = ۱۷۵ \times ۱۰^{-۱۴} \times ۱۰^{۱۲}\,\text{pm}$ (۰/۲۵)

$= ۱/۷۵ \times ۱۰^{۲} \times ۱۰^{-۱۴} \times ۱۰^{۱۲}\,\text{pm} = ۱/۷۵ \times ۱۰^{۰}\,\text{pm} = ۱/۷۵\,\text{pm}$ (۰/۲۵)

ب) $(۰/۰۹۵ \times ۱۰^{۴}\,\text{mg})(۱)(۱) = (۰/۰۹۵ \times ۱۰^{۴}\,\text{mg})\times\frac{۱\,\text{kg}}{۱۰^{۳}\,\text{mg}}\times\frac{۱\,\text{Tg}}{۱۰^{۱۲}\,\text{kg}}$ (۰/۲۵)

$= ۰/۰۹۵ \times ۱۰^{۴} \times ۱۰^{-۳} \times ۱۰^{-۱۲}\,\text{Tg} = ۹/۵ \times ۱۰^{-۲} \times ۱۰^{-۱۱}\,\text{Tg} = ۹/۵ \times ۱۰^{-۱۳}\,\text{Tg}$ (۰/۲۵)

۷ ۱- ارتفاع آب در لوله مویین بالاتر از ارتفاع آب در ظرف است. (۰/۲۵) ۲- سطح آب در لوله مویین فرورفته است. (۰/۲۵)

۸ به جامدهایی که در آنها مولکول‌ها به‌صورت نامنظم در کنار هم قرار داشته و معمولاً از سرد کردن سریع مایع مذاب پدید می‌آیند، آمورف می‌گویند؛ مثل شیشه. (۰/۵)

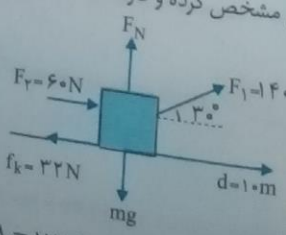
۹ ابتدا باید چگالی الکل را بر حسب $\frac{\text{g}}{\text{cm}^{۳}}$ محاسبه کنیم:

$$\rho_{\text{الکل}} = ۸۰۰\frac{\text{kg}}{\text{m}^{۳}} = (۸۰۰\frac{\text{kg}}{\text{m}^{۳}})(۱)(۱) = (۸۰۰\frac{\text{kg}}{\text{m}^{۳}})\left(\frac{۱۰^{۳}\,\text{g}}{۱\,\text{kg}}\right)\left(\frac{۱\,\text{m}^{۳}}{۱۰^{۶}\,\text{cm}^{۳}}\right)$$ (۰/۲۵)

$$= ۸ \times ۱۰^{۲} \times ۱۰^{۳} \times ۱۰^{-۶}\frac{\text{g}}{\text{cm}^{۳}} = ۰/۸\frac{\text{g}}{\text{cm}^{۳}} \rightarrow \rho_{\text{الکل}} = ۰/۸\frac{\text{g}}{\text{cm}^{۳}}\ (۰/۲۵),\ V = ۲۰\,\text{cm}^{۳}$$

$$\rho = \frac{\text{m}}{\text{V}} \rightarrow \text{m} = \rho\text{V} = ۰/۸ \times ۲۰ = ۱۶\,\text{g} \rightarrow \text{m} = ۱۶\,\text{g}\ (۰/۲۵)$$ (۰/۲۵)

۱۰ همه نیروهای وارد بر جسم را بر روی شکل مشخص کرده و کار تک‌تک نیروها را محاسبه می‌کنیم:



$W_{F_1} = F_1 d\cos۳۰^{\circ} = ۱۴۰ \times ۱۰ \times ۰/۸ = ۱۱۲۰\,\text{J}$ (۰/۲۵)

$W_{F_2} = F_2 d = ۶۰ \times ۱۰ = ۶۰۰\,\text{J}$ (۰/۲۵)

$W_{f_k} = f_k d \cos 180^\circ = 32 \times 10 \times (-1) = -320J$ (۰/۲۵)

$W_{F_N} = W_{mg} = 0$ (۰/۲۵) چون نیروهای F_N و mg عمود بر جابه‌جایی هستند، کار این نیروها صفر است:

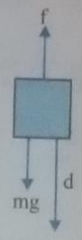
$W_t = \overset{0}{W_{F_N}} + \overset{0}{W_{mg}} + W_{F_1} + W_{F_2} + W_{f_k} = 1120 + 600 - 320 = 1400J \rightarrow W_t = 1400J$ (۰/۲۵)

(۰/۲۵)

۱۱ $m = 70kg$, $d = 80m$, $v_1 = 2\frac{m}{s}$, $v_2 = 4\frac{m}{s}$, $g = 10\frac{N}{kg}$, $W_f = ?$

نیروهای مقاومت هوا و وزن به این جسم وارد می‌شود

بنابراین:



$W_t = \Delta K \rightarrow W_f + W_{mg} = K_2 - K_1$ (۰/۲۵)

$W_{mg} = mgd = 70 \times 10 \times 80 = 56000J$ (۰/۲۵)

$K_1 = \frac{1}{2}mv_1^2 = \frac{1}{2} \times 70 \times 2^2 = 140J$ (۰/۲۵)

$K_2 = \frac{1}{2}mv_2^2 = \frac{1}{2} \times 70 \times 4^2 = 560J$ (۰/۲۵)

$\rightarrow W_f + 56000 = \overset{420}{560 - 140} \rightarrow W_f = 420 - 56000 = -55580J$

$\rightarrow W_f = -55580J$ (۰/۵)

۱۲ $m = 150kg$, $h_1 = 50m$, $h_2 = 20m$, $g = 10\frac{N}{kg}$, $W_{mg} = ?$

$W_{mg} = -\Delta U \underset{(۰/۲۵)}{=} -(U_2 - U_1) = -(mgh_2 - mgh_1) \underset{(۰/۲۵)}{=} -mg(h_2 - h_1) = -150 \times 10 \times \underset{(۰/۲۵)}{\overset{-30}{(20 - 50)}}$

$\rightarrow W_{mg} = 45000J$ (۰/۲۵)

۱۳ $m = 2kg$, $h_A = 5m$, $v_A = 0$, $W_{f_{مقاوم}} = -20J$, $h_B = 0$, $v_B = ?$

$W_f = E_B - E_A \rightarrow W_f = (K_B - \overset{0}{U_B}) - (\overset{0}{K_A} + U_A) \rightarrow W_f = K_B - U_A$

(۰/۲۵) (۰/۲۵)

$W_f = \frac{1}{2}mv_B^2 - mgh_A \rightarrow -20 = \frac{1}{2} \times 2 \times v_B^2 - 2 \times 10 \times 5 \rightarrow -20 = v_B^2 - 100$

(۰/۲۵) (۰/۲۵)

$\rightarrow v_B^2 = 80 \rightarrow v_B = \sqrt{80}\frac{m}{s}$ (۰/۲۵)

۱۴ $P = 2kW = 2000W$, $\Delta t = 10s$, $V = 60L = 60 \times 10^{-3}m^3$, $h = 15m$, $\rho_{آب} = 1000\frac{kg}{m^3}$

$R_a = ?$

$P_{ورودی} = \frac{E_{ورودی}}{\Delta t} \rightarrow E_{ورودی} = P_{ورودی}\Delta t = 2000 \times 10 = 20000J \rightarrow E_{ورودی} = 20000J$ (۰/۲۵)

(۰/۲۵)

$E_{خروجی} = \underset{(۰/۲۵)}{\Delta U} = mgh \xrightarrow{m=\rho V} E_{خروجی} = \rho Vgh = 1000 \times 60 \times 10^{-3} \times 10 \times 15 = 9000J$

$\rightarrow E_{خروجی} = 9000J$ (۰/۲۵)

$R_a = \frac{E_{خروجی}}{E_{ورودی}} = \frac{9000}{20000} = 0/45$ (۰/۲۵) $\rightarrow$ درصد بازده $= 0/45 \times 100 = 45\%$ (۰/۲۵)

(۰/۲۵)

پاسخ‌نامه سؤال‌های ویژه دانش‌آموزان تجربی

۱۵ جسم را داخل ظرف مدرج حاوی آب قرار می‌دهیم، اختلاف حجم آب، بعد و قبل از ورود جسم برابر است با حجم این جسم. (۰/۵)

۱۶ خیر با توجه به رابطه انرژی جنبشی $K = \frac{1}{2}mv^2$، چون هر دو کمیت m و v^2 مثبت هستند، حاصل‌ضرب آنها نیز همیشه مثبت است؛ بنابراین انرژی جنبشی کمیتی مثبت خواهد بود. (۰/۵)

۱۷ چون چگالی بنزین کمتر از آب است بنزین بر روی سطح آب قرار گرفته و همچنان شعله‌ور باقی می‌ماند. (۰/۵)

۱۸ مرتبهٔ تعداد ضربان قلب در هر ثانیه برابر است با: $0/8 = 8 \times 10^{-1} \sim 10^{1} \times 10^{-1} \sim 10^{0}\,beat$ (۰/۲۵)

مرتبهٔ بزرگی طول عمر میانگین انسان برابر است با: $75year = 7/5 \times 10 \sim 10^{1} \times 10 \sim 10^{2}\,year$ (۰/۲۵)

مرتبهٔ بزرگی هر سال بر حسب ثانیه برابر است با: $3 \times 10^{7}s \sim 10^{0} \times 10^{7} \sim 10^{7}s$ (۰/۲۵)

با توجه به اطلاعات بدست آمده تعداد ضربان قلب انسان در طول عمرش را می‌توان به‌صورت زیر تخمین زد:

$$N \sim (10^{2}\,year)\left(\frac{10^{7}\,s}{1\,year}\right)\left(\frac{10^{0}\,beat}{1\,s}\right) \sim 10^{2} \times 10^{7}\,beat \sim 10^{9}\,beat$$ (۰/۲۵)

(۰/۵)

پاسخ‌نامه سؤال‌های ویژه دانش‌آموزان ریاضی و فیزیک

۱۵ $P_0 = 10^{5}\,Pa \;,\; h = 25cm = 0/25m \;,\; g = 10\frac{N}{kg}$

$$\rho_{مایع} = (8\frac{g}{cm^3})(1)(1) = (8\frac{g}{cm^3})(\frac{1kg}{10^3\,g})(\frac{10^6\,cm^3}{1m^3}) = \frac{8 \times 10^6}{10^3}\frac{kg}{m^3} = 8 \times 10^3\frac{kg}{m^3}$$

$$P_{مخزن} = \underset{(0/25)}{P_0 + \rho gh} = 10^5 + 8 \times 10^3 \underset{(0/25)}{\times} 10 \times 0/25 = 100000 + 20000 = 120000Pa$$

$$\rightarrow P_{مخزن} = 1/2 \times 10^5\,Pa \quad (0/25)$$

۱۶ $A_1 = 2mm^2 \;,\; A_2 = 8mm^2 \;,\; v_1 = 6\frac{m}{s} \;,\; v_2 = ?$

معادله پیوستگی: $A_1v_1 = A_2v_2 \rightarrow 2 \times 6 = 8 \times v_2 \rightarrow v_2 = \frac{12}{8} = 1/5\,m/s \rightarrow v_2 = 1/5m/s$ (۰/۲۵) (۰/۲۵)

۱۷ الف) وقتی تمام یا قسمتی از یک جسم در شاره‌ای فرو رود، شاره نیرویی بالاسو بر آن وارد می‌کند که با وزن شارهٔ جابه‌جا شده توسط جسم برابر است. (۰/۵)

ب) با حرکت کامیون تندی جریان هوا در بالای پوشش برزنتی افزایش یافته و طبق اصل برنولی فشار هوا در آن قسمت کاهش می‌یابد. در نتیجه اختلاف فشار هوای داخل و بیرون پوشش برزنتی باعث پف کردن آن می‌شود (۰/۵)

۱۸ $A = 2m^2 \;,\; P_0 = 10^5\,Pa \;,\; g = 10\frac{N}{kg} \;,\; m = ?$

$$\underset{(0/25)}{P_0 = \frac{F}{A}} \rightarrow F = P_0A \xrightarrow[(0/25)]{F=mg} mg = P_0A \rightarrow m = \frac{P_0A}{g} = \frac{10^5 \times 2}{10} = 2 \times 10^4\,kg$$

$$\rightarrow m = 2 \times 10^4\,kg$$ (۰/۲۵)

سوالات امتحانی

آزمون خرداد ماه (نوبت دوم) نام ..... تاریخ .....

۱- درست یا نادرست بودن جمله‌های زیر را مشخص کنید. ۱

الف) به رقم‌هایی که بعد از اندازه‌گیری یک کمیّت فیزیکی ثبت می‌کنیم، رقم‌های بامعنا می‌گویند.

☐ درست ☐ نادرست

ب) کار نیروی وزن جسم همواره منفی است. ☐ درست ☐ نادرست

ج) ویژگی‌های فیزیکی همه مواد در مقیاس نانو تغییر می‌کند. ☐ درست ☐ نادرست

د) انبساط حجمی جامدات از مایعات بسیار کمتر است. ☐ درست ☐ نادرست

۲- از داخل پرانتز عبارت درست را انتخاب کنید. ۱

الف) دما و مقدار ماده کمیت‌های (اصلی - فرعی) هستند.

ب) انرژی جنبشی جسم به جهت حرکت آن بستگی (دارد - ندارد).

ج) وقتی مایعی به سرعت سرد می‌شود، معمولاً جامد (بلورین - بی‌شکل) به وجود می‌آید.

د) در رساناهای فلزی سهم (مولکول‌ها - الکترون‌های آزاد) در رسانش گرما بیشتر از اتم‌ها است.

۳- گزینه درست را مشخص کنید. ۲

الف) خطای اندازه‌گیری خط کشی که تا میلی‌متر مدرج شده کدام گزینه است؟

الف) $\pm 1mm$ ب) $\pm 0/5mm$ ج) $\pm 0/1mm$ د) $\pm 0/5cm$

ب) جرم یک قطعه فلزی ۱۰ g و چگالی آن $1 \times 10^{4} \frac{kg}{m^3}$ است. حجم این قطعه چند سانتی‌متر مکعب است؟

الف) $1cm^3$ ب) $0/1cm^3$ ج) $10cm^3$ د) $0/01cm^3$

ج) اگر حجم جسم بیشتر از حجم شاره جابه‌جا شده باشد:

الف) جسم در مایع غوطه‌ور است. ب) جسم بر روی مایع شناور است.

ج) نیروی شناوری بزرگ‌تر از نیروی وزن است. د) نیروی شناوری کوچک‌تر از نیروی وزن است.

د) دمای سردترین نقطه در قطب جنوب $-85^{\circ}C$ است. این دما بر حسب فارنهایت برابر است با:

الف) $-121^{\circ}F$ ب) $77^{\circ}F$ ج) $188^{\circ}F$ د) $-185^{\circ}F$

۴- مفاهیم زیر را تعریف کنید. ۱

الف) اصل برنولی ب) گرمای نهان ویژه ذوب

۵- عبارت‌های مناسب را به یکدیگر وصل کنید. ۱

الف) مرتبه بزرگی عدد 58000×10^{-4}	انرژی درونی
ب) مجموع انرژی‌های ذرات تشکیل‌دهنده جسم	10^{1}
ج) دلیل خمیدگی در نوار دو فلزه	گرماگیر
د) نوع فرایند میعان	تعادل گرمایی
	انرژی جنبشی
	10^{0}
	انبساط و انقباض
	گرمادهٔ

۶- آیا کار کل انجام شده بر روی یک جسم در یک جابه‌جایی می‌تواند منفی باشد؟ توضیح دهید. ۱/۵

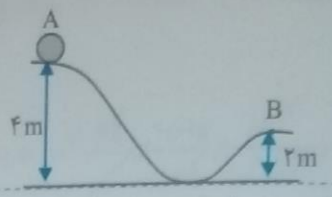
۷- چرا ارتفاع جیوه در لوله مویین پایین‌تر از سطح جیوه در ظرف است؟ ۱/۵

۸. دو عامل مؤثر در تابش گرمایی از یک جسم را نام ببرید. ۰/۵

۹. آزمایشی طراحی کنید که به کمک آن بتوانید فشار هوا را در محل زندگی خود اندازه‌گیری کنید. ۰/۷۵

۱۰- مطابق شکل زیر گلوله‌ای به جرم ۵۰۰g از نقطه A با تندی اولیه $4\,m/s$ رو به پایین حرکت می‌کند. اگر تندی گلوله در نقطه B برابر $6\,m/s$ باشد، کار نیروهای مقاوم در طول مسیر چقدر است؟ ۱/۵

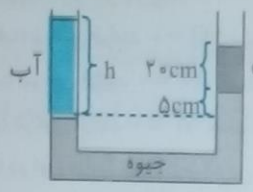
$(g \simeq N/kg)$



۱۱- بالابری با توان 1kw و بازده ۸۰ درصد باری به جرم ۲۵۰kg را در مدت ۱۰s چند متر بالا می‌برد؟ ۱/۵

$(g \simeq 10N/kg)$

۱۲- در یک لوله U شکل آب، جیوه و الکل به صورت زیر به حالت تعادل قرار دارند اگر ارتفاع الکل ۲۰cm و اختلاف ارتفاع جیوه در دو شاخه 5 cm باشد، ارتفاع آب چقدر است؟ ۱/۵



$P_{الکل} = 800\frac{kg}{m^3}$ ، $P_{آب} = 1000\frac{kg}{m^3}$

$p_{جیوه} = 13000\frac{kg}{m^3}$

۱۳- چند گرم یخ $-10^\circ C$ را با ۲۰۰g آب $50^\circ C$ مخلوط کنیم تا پس از تعادل گرمایی دمای تعادل $20^\circ C$ شود؟ ۲/۲۵

$(c_{یخ} = 2100\frac{g}{kg^\circ.c}$ ، $L_{f_{یخ}} = 330000\frac{J}{kg}$ ، $c_{آب} = 4200\frac{J}{kg.k})$

۱۴- یک ورقه مسی به ابعاد ۲ و ۵ متر بر اثر تغییر دمای 50k به اندازهٔ $180cm^2$ افزایش سطح پیدا می‌کند. ۰/۷۵

ضریب انبساط طولی مس را پیدا کنید.

سؤال‌های ویژه دانش‌آموزان تجربی

۱۵- گازی در دمای $20^\circ C$ دارای حجم $100cm^3$ است. این گاز را باید تا چه دمایی گرم کنیم تا در فشار ثابت حجم آن $200cm^3$ شود؟ ۰/۷۵

۱۶- در محفظه‌ای 64g اکسیژن با فشار 2atm و دمای $27^\circ C$ وجود دارد. حجم این محفظه چند لیتر است؟ ۱

$M_{O_2} = 32\frac{g}{mol}$ ، $R = 8\frac{J}{molK}$

۱۷- گلوله‌ای به جرم 500 g با تندی $4\,m/s$ به سمت فنری پرتاب شده و فنر را فشرده کرده و برای لحظه‌ای متوقف می‌شود. اگر انرژی پتانسیل کشسانی فنر در لحظه‌ی توقف 3 J باشد کار نیروی اصطکاک در طول مسیر چقدر است؟ (۱/۵) ۱/۵

۱۸- طبق اصل برنولی توضیح دهید چرا با ریکه آب با نزدیک‌تر شدن به سطح زمین باریک‌تر می‌شود؟ ۰/۵

۱۹- اگر سطح مقطع یک لوله را ۴ برابر کنیم، تندی جریان آب در لوله با فرض اینکه آب همه لوله را فرا گیرد، چند برابر می‌شود؟ ۰/۵

۲۰- فشار وارد شده از سوی 40cm جیوه معادل فشار چه ارتفاعی روغن است؟ ۰/۵

$\rho_{روغن} = 800\frac{kg}{m^3}$ ، $\rho_{جیوه} = 13000\frac{kg}{m^3}$

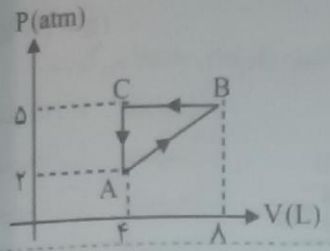
سؤال‌های ویژه دانش‌آموزان ریاضی و فیزیک

۱۵- ۰/۵ مول گاز تک اتمی چرخه‌ای مطابق شکل را طی می‌کند. (نهایی ریاضی - دی ۹۲)

الف) کار انجام شده در کل چرخه چقدر است؟

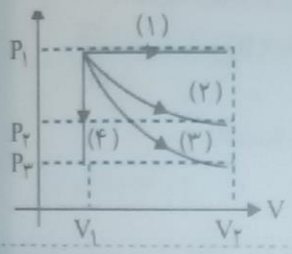
ب) گرمای مبادله شده گاز با محیط در فرایند BC چقدر است؟

$$(R = 8\frac{J}{moL.k} \quad , C_P = \frac{5}{2}R)$$



۱۶- ضریب عملکرد یک کولر گازی ۳ است. اگر در هر دقیقه 9×10^4 J گرما از درون اتاق گرفته شود، توان مصرفی کولر چند وات است؟

۱۷- گاز کاملی چهار فرایند هم‌حجم، هم‌فشار، هم‌دما و بی‌دررو را مطابق شکل طی می‌کند. در هر بخش شماره فرایند مربوط را بنویسید.



الف) در این فرایند $Q = 0$ است. ( )

ب) در این فرایند $\Delta T = 0$ است. ( )

ج) در این فرایند $W = 0$ است. ( )

د) در این فرایند $|W|$ بیشترین مقدار است. ( )

۱۸- از داخل پرانتز عبارت مناسب را انتخاب کنید.

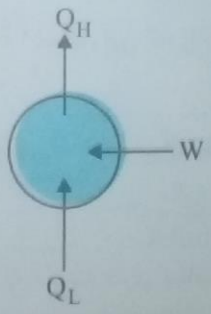
الف) براساس قانون (اول - دوم) ترمودینامیک گرما به خودی خود از جسم سرد به جسم گرم منتقل نمی‌شود.

ب) در تراکم بی‌دررو گاز کامل، دمای گاز (افزایش - کاهش) می‌یابد.

۱۹- در شکل مقابل یک دستگاه ترمودینامیکی را به صورت طرح وار مشاهده می‌کنید.

الف) این دستگاه چه نام دارد؟

ب) در هر چرخه این دستگاه چه رابطه‌ای بین کمیت‌های داده شده برقرار است؟



پاسخ سؤالات امتحانی

۱ الف) درست (۰/۲۵)، ب) نادرست (۰/۲۵)، ج) درست (۰/۲۵)، د) درست (۰/۲۵)، ۲ الف) اصلی (۰/۲۵)، ب) ندارد (۰/۲۵)، ج) بی‌شکل (۰/۲۵)، د) الکترون‌های آزاد (۰/۲۵) ۳ الف) گزینه (ب)، خطای اندازه‌گیری وسیله‌های درجه‌بندی شده، $\frac{۱}{۲}$ کمترین تقسیم‌بندی مقیاس آنهاست. (۰/۵)، $۱mm + ۲ = ۰/۵mm$، ب) گزینهٔ (الف)، ابتدا چگالی جسم را بر حسب $g/cm^۳$ محاسبه می‌کنیم:

$$m = ۱۰g, \rho = ۱۰^۴ \frac{kg}{m^۳} = (۱۰^۴ \frac{kg}{m^۳})(۱)(۱) = (۱۰^۴ \frac{\cancel{kg}}{\cancel{m^۳}})(\frac{۱۰۰۰g}{\cancel{۱kg}})(\frac{\cancel{۱m^۳}}{۱۰^۶ cm^۳}) =$$

$$\frac{۱۰^۴ \times ۱۰^۳}{۱۰^۶} \frac{g}{cm^۳} = ۱۰ \frac{g}{cm^۳}$$

$$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow V = \frac{m}{\rho} = \frac{۱۰}{۱۰} = ۱cm^۳ \rightarrow V = ۱cm^۳$$

ج) گزینهٔ (ب) (۰/۵)، د) گزینهٔ (الف) (۰/۵) $F = \frac{۹}{۵}\theta + ۳۲ = \frac{۹}{۵} \times (-۸۵) + ۳۲ = -۱۲۱^\circ F \rightarrow F = -۱۲۱^\circ F$

۴ الف) در مسیر حرکت شاره، با افزایش تندی شاره، فشار آن کاهش می‌یابد. (۰/۵) ب) مقدار گرمایی است که به یک کیلوگرم از جسم جامد در نقطه ذوب داده می‌شود تا به مایع تبدیل شود. (۰/۵)

۵ الف) ۱۰° (۰/۲۵)، ب) انرژی درونی (۰/۲۵)، ج) انبساط و انقباض (۰/۲۵)، د) گرماده (۰/۲۵)

۶ بله، اگر در جابه‌جایی یک جسم نیروی‌های مقاوم بیشتر از نیروی محرک باشند، جسم پس از طی مسافتی متوقف و کار کل انجام شده بر روی جسم منفی می‌شود؛ به بیان دیگر طبق تغییر کار و انرژی، جنبشی اگر سرعت جسم کاهش یابد، انرژی جنبشی آن نیز کاهش یافته و مطابق رابطه $W_t = K_۲ - K_۱$، کار کل نیروهای وارد بر جسم منفی می‌شود. (۰/۵)

۷ چون نیروی هم‌چسبی بین مولکول‌های جیوه بیشتر از نیروی دگرچسبی بین مولکول‌های جیوه و مولکول‌های شیشه است، بنابراین جیوه سطح شیشه را تر نمی‌کند و سطح جیوه در لوله مویین پایین‌تر از سطح جیوه درون ظرف است. (۰/۵)

۸ دما، مسافت، میزان صیقلی بودن و رنگ سطح جسم (۲ مورد کافی است) (۰/۵)

۹ آزمایش توریچلی: یک لوله شیشه‌ای بلند (به طول تقریبی ۸۰cm) با یک سر بسته را از جیوه پر کرده و درون ظرف محتوی جیوه به طور وارونه قرار می‌دهیم. فشار هوا در محل برابر است با فشار ارتفاع ستون جیوه در لوله. بنابراین با اندازه‌گیری ارتفاع جیوه درون لوله و دانستن چگالی جیوه ($\rho_{جیوه} = ۱۳۶۰۰ \frac{kg}{m^۳}$) می‌توان فشار هوا را در محل با استفاده از رابطه $P_{جیوه} = \rho_{جیوه} gh$ محاسبه کرد. (۰/۷۵)

۱۰

$$m = ۵۰۰g = ۰/۵kg, v_A = ۴m/s, h_A = ۴m, v_B = ۶m/s$$
$$h_B = ۲m, g = ۱۰ \frac{N}{kg}, W_f = ?$$

$$E_A = K_A + U_A = \frac{۱}{۲}mv_A^۲ + mgh_A = \frac{۱}{۲} \times ۰/۵ \times ۴^۲ + ۰/۵ \times ۱۰ \times ۴ = ۴ + ۲۰ = ۲۴J$$
$$\rightarrow E_A = ۲۴J \ (۰/۵)$$

$$E_B = K_B + U_B = \frac{۱}{۲}mv_B^۲ + mgh_B = \frac{۱}{۲} \times ۰/۵ \times ۶^۲ + ۰/۵ \times ۱۰ \times ۲ = ۹ + ۱۰ = ۱۹J$$
$$\rightarrow E_B = ۱۹J \ (۰/۵)$$

$$W_f = E_B - E_A = ۱۹ - ۲۴ = -۵J \rightarrow W_f = -۵J \ (۰/۵)$$

۱۱

$P = ۱kW = ۱۰۰۰W$, $Ra = \frac{۸۰}{۱۰۰} = ۰/۸$, $m = ۲۵۰kg$, $\Delta t = ۱۰s$, $h = ?$, $g = ۱۰\frac{N}{kg}$

$P_{ورودی} = \frac{E_{ورودی}}{\Delta t} \rightarrow E_{ورودی} = P_{ورودی}\Delta t = ۱۰۰۰ \times ۱۰ = ۱۰۰۰۰J \rightarrow E_{ورودی} = ۱۰۰۰۰J$ (۰/۵)

$Ra = \frac{E_{خروجی}}{E_{ورودی}} \rightarrow E_{خروجی} = Ra.E_{ورودی} = ۰/۸ \times ۱۰۰۰۰ = ۸۰۰۰J \rightarrow E_{خروجی} = ۸۰۰۰J$ (۰/۵)

$E_{خروجی} = \Delta U \rightarrow E_{خروجی} = mgh \rightarrow h = \frac{E_{خروجی}}{mg} = \frac{۸۰۰۰}{۲۵۰ \times ۱۰} = ۳/۲m \rightarrow h = ۳/۲m$ (۰/۵)

۱۲

$\rho_{الکل} = ۸۰۰\frac{kg}{m^۳}$, $h = ۲۰cm = ۰/۲m$

$\rho_{جیوه} = ۱۳۰۰۰\frac{kg}{m^۳}$, $h = ۵cm = ۰/۰۵m$

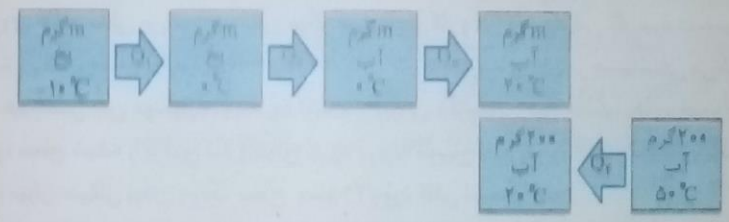
$\rho_{آب} = ۱۰۰۰\frac{kg}{m^۳}$, $h = ?$

$\rightarrow P_{آب} = P_{جیوه} + P_{الکل} \rightarrow \rho_{آب}\not{g}h_{آب} = \rho_{جیوه}\not{g}h_{جیوه} + \rho_{الکل}\not{g}h_{الکل}$ (۰/۵)

$\rightarrow ۱۰۰۰ \times h = ۱۳۰۰۰ \times ۰/۰۵ + ۸۰۰ \times ۰/۲ \rightarrow ۱۰۰۰h = ۶۵۰ + ۱۶۰$ (۰/۵)

$\rightarrow h = \frac{۸۱۰}{۱۰۰۰} = ۰/۸۱m \rightarrow h = ۸۱cm$ (۰/۵)

۱۴



$C_{یخ} = ۲۱۰۰\frac{J}{kg°C}$, $L_{f_{یخ}} = ۳۳۰۰۰۰\frac{J}{kg}$, $C_{آب} = ۴۲۰۰\frac{J}{kg°C}$

در تعادل گرمایی: $Q_۱ + Q_۲ + Q_۳ + Q_۴ = ۰$ (۰/۲۵)

$Q_۱ = mc_{یخ}\Delta\theta = m \times ۲۱۰۰ \times (۰ - (-۱۰)) = ۲۱۰۰m$ (۰/۲۵)

$Q_۲ = mL_{f_{یخ}} = m \times ۳۳۰۰۰۰ = ۳۳۰۰۰۰m$ (۰/۲۵)

$Q_۳ = mc_{آب}\Delta\theta = m \times ۴۲۰۰ \times (۲۰ - ۰) = ۸۴۰۰۰m$ (۰/۲۵)

$Q_۴ = mc_{آب}\Delta\theta = ۰/۲ \times ۴۲۰۰(\overset{-۳۰}{\cancel{۲۰ - ۵۰}}) = -۲۵۲۰۰J$ (۰/۲۵)

$\rightarrow ۲۱۰۰۰m + ۳۳۰۰۰۰m + ۸۴۰۰۰m - ۲۵۲۰۰ = ۰ \underset{(۰/۵)}{\rightarrow} ۴۳۵۰۰۰m = ۲۵۲۰۰ \rightarrow m = \frac{۲۵۲۰۰}{۴۳۵۰۰۰}$

$\rightarrow m \simeq ۰/۰۵۸kg \rightarrow m = ۵۸g$ (۰/۵)

۱۴

$A_۱ = ۲ \times ۵ = ۱۰m^۲$, $\Delta T = ۵۰k$, $\Delta A = ۱۸۰cm^۲$, $\alpha = ?$

$\Delta A = A_۱(۲\alpha)\Delta T \rightarrow \alpha = \frac{\Delta A}{۲A_۱\Delta T} = \frac{۱۸۰ \times ۱۰^{-۴}}{۲ \times ۱۰ \times ۵۰} = \frac{۱۸۰ \times ۱۰^{-۴}}{۱۰^۳} = ۱۸۰ \times ۱۰^{-۴} \times ۱۰^{-۳} = ۱۸۰ \times ۱۰^{-۷}\frac{۱}{k}$
(۰/۲۵) (۰/۲۵)

$\rightarrow \alpha = ۱/۸ \times ۱۰^{-۵}\frac{۱}{K}$ (۰/۲۵)

$T_1 = ۲۰۰ + ۲۷۳ = ۲۹۳k \ , \ V_1 = ۱۰۰cm^۳ \ , \ V_۲ = ۲۰۰cm^۳ \ , \ T_۲ = ?$

$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_۲V_۲}{T_۲} \xrightarrow{\text{فشارثابت}} \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_۲}{T_۲} \rightarrow \frac{۱۰۰}{۲۹۳} = \frac{۲۰۰}{T_۲} \rightarrow T_۲ = \frac{۲ \times ۲۹۳}{۱} =$

(۰/۲۵) (۰/۲۵)

$۵۸۶k \rightarrow T_۲ = ۵۸۶k$ (۰/۲۵)

$m = ۶۴g \ , P = ۲atm = ۲ \times ۱۰^۵ Pa \ , \ T = ۲۷ + ۲۷۳ = ۳۰۰K$ (۰/۲۵)

$V = ?, M_{O_۲} = ۳۲\frac{g}{mol} \ , R = ۸\frac{J}{mol.k}$

$n = \frac{m}{M} = \frac{۶۴}{۳۲} = ۲mol$ مقدار مول ماده (۰/۲۵)

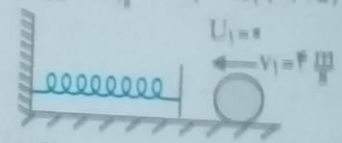
$PV = nRT \rightarrow V = \frac{nRT}{P} = \frac{۲ \times ۸ \times ۳۰۰}{۲ \times ۱۰^۵} = ۲۴۰۰ \times ۱۰^{-۵} = ۲۴ \times ۱۰^{-۳} m^۳$

(۰/۲۵)

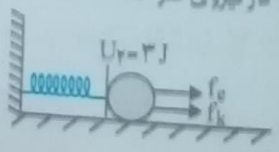
$V = ۲۴L$ (۰/۲۵)

$m = ۵۰۰g = ۰/۵kg \ , v_1 = ۴\frac{m}{s} \ , v_۲ = ۰ \ , \ U_۲ = ۳J \ , \ U_1 = ۰ \ , \ W_f = ?$

$W_t = \Delta k \rightarrow W_{Fe} + W_{f_k} = K_۲ - K_1$ (۰/۲۵) قضیه کار و انرژی جنبشی



$W_{Fe} = -\Delta U_{\text{کشسانی}} = -(U_۲ - U_1) = -(۳ - ۰) = -۳J$ (۰/۲۵) کار نیروی فنر



$K_1 = \frac{۱}{۲}mv_1^۲ = \frac{۱}{۲} \times ۰/۵ \times ۴^۲ = ۴J$ (۰/۲۵) انرژی جنبشی اولیه گلوله

$K_۲ = ۰$ (۰/۲۵) انرژی جنبشی نهایی گلوله

$\rightarrow -۳ + W_{f_k} = ۰ - ۴ \xrightarrow[(۰/۲۵)]{} W_{f_k} = -۴ + ۳ = -۱J \rightarrow W_{f_k} = -۱J$ (۰/۲۵)

با توجه به اینکه نیروهای عمودی سطح و وزن جسم عمود بر جابه‌جایی هستند کار این نیروها صفر است که از نوشتن آنها صرف‌نظر شده است. (۰/۲۵)

۱۸ الف) طبق معادله پیوستگی سطح مقطع و تندی شاره نسبت عکس دارند $(\frac{A_1}{A_۲} = \frac{v_۲}{v_1})$،

ب) طرفی با نزدیک‌تر شدن باریکه آب به زمین، تندی آن افزایش می‌یابد، پس طبق معادله پیوستگی سطح مقطع آن کاهش خواهد یافت. (۰/۵)

۱۹ $A_2 = 4A_1 \cdot \frac{v_2}{v_1} = ?$

$A_1 v_1 = A_2 v_2 \rightarrow \frac{v_2}{v_1} = \frac{A_1}{A_2} = \frac{A_1}{4A_1} = \frac{1}{4} \rightarrow \frac{v_2}{v_1} = \frac{1}{4}$ (۰/۲۵) (۰/۲۵)

۲۰ $P_{جیوه} = P_{روغن} \rightarrow \rho_{جیوه} g h_{جیوه} = \rho_{روغن} g h_{روغن} \rightarrow 13000 \times 40 = 800 \times h_{روغن}$ (۰/۲۵)

$\rightarrow h_{روغن} = \frac{13000 \times 40}{800} = 650\,cm$ (۰/۲۵)

پاسخ‌نامه سؤال‌های ریاضی و فیزیک

۱۵) الف)

$|W| = S_{ABC} = \frac{(4) \times 10^{-3} \times (2) \times 10^{5}}{2} = 6 \times 10^{2} J \rightarrow |W| = 600J$ (۰/۲۵) (۰/۲۵)

واسانگر $\rightarrow W = +600J$ (۰/۲۵)

فرایند BC هم‌فشار است $\rightarrow Q_{هم‌فشار} = \frac{5}{2} P\Delta V = \frac{5}{2} \times 5 \times 10^{5} \times (3-8) \times 10^{-3} = -5000J$

(۰/۲۵) (۰/۲۵) (۰/۲۵)

$\rightarrow Q_{هم‌فشار} = -5000J$ (۰/۲۵)

۱۶

$K = 3 \,,\, t = 1min = 60S \,,\, Q_L = 9 \times 10^{3} J \,,\, P = ?$

$K = \frac{Q_L}{W} \rightarrow W = \frac{Q_L}{K} = \frac{9 \times 10^{3}}{3} = 3 \times 10^{3} J \rightarrow W = 3 \times 10^{3} J$ (۰/۲۵) (۰/۲۵)

$P = \frac{W}{t} = \frac{3 \times 10^{3}}{60} = 500W \rightarrow P = 500W$ (۰/۲۵) (۰/۲۵)

۱۷) الف) فرایند ۳- گرمای مبادله شده در فرایند بی‌دررو صفر است. از میان نمودارهای ۲ و ۳ چون شیب نمودار (۳) بیشتر است، پس این نمودار بی‌دررو است. (۰/۲۵)

ب) فرایند ۲- در فرایند همدما $\Delta T = 0$ است. از بین نمودارهای ۲ و ۳ چون شیب نمودار ۲ کمتر است، این نمودار مربوط به فرایند همدما است. (۰/۲۵)

ج) فرایند ۳- در فرایند هم حجم $W = 0$ است. (۰/۲۵)

د) فرایند ۱- سطح زیر نمودار در این فرایند از سایر فرایندها بیشتر است. (۰/۲۵)

۱۸) الف) دوم (۰/۲۵)، ب) افزایش (۰/۲۵)

۱۹) الف) یخچال (۰/۲۵)، ب) $|Q_H| = Q_L + W$ (۰/۲۵)