بسم الله الرحمن الرحیم

محاسبات فنی عمومی

رشتهٔ متالورژی

زمینهٔ صنعت

شاخهٔ آموزش فنی و حرفه‌ای

شمارهٔ درس ۲۳۲۰

۶۲۰/۰۰۴۲ نظم‌دارشهری، سیاوش
م ۵۱۹ ن محاسبات فنی عمومی / مؤلفان : سیاوش نظم‌دارشهری، بهروز نصیری‌زنوزی، صمد
۱۳۹۴ خادمی‌اقدم. ــ تهران : شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران، ۱۳۹۴.
۱۳۸ص. : مصور. ــ (آموزش فنی و حرفه‌ای؛ شمارهٔ درس ۲۳۲۰)
متون درسی رشتهٔ متالورژی، زمینهٔ صنعت.
برنامه‌ریزی و نظارت، بررسی و تصویب محتوا : کمیسیون برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های درسی رشتهٔ متالورژی دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش وزارت آموزش‌و پرورش.
۱. ریاضیات مهندسی. الف. نصیری زنوزی، بهروز، نویسنده همکار. ب. خادمی اقدم، صمد، نویسنده همکار. ج. ایران. وزارت آموزش و پرورش. دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش. د. عنوان. هـ. فروست.

۱۳۹۴

همکاران محترم و دانش‌آموزان عزیز :

پیشنهادات و نظرات خود را دربارهٔ محتوای این کتاب بـه نشانی تهران ـ صندوق پستی شمارهٔ ۴۸۷۴/۱۵ دفتر تألیف‌کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش، ارسال فرمایند.

پیام‌نگار (ایمیل) **info@tvoccd.sch.ir**

وب‌گاه (وب‌سایت) **www.tvoccd.sch.ir**

این کتاب با توجه به برنامهٔ سالی ــ واحدی و براساس پیشنهاد هنرآموزان رشتهٔ متالورژی سراسر کشور و تصویب کمیسیون تخصصی رشتهٔ متالورژی در تابستان ۸۵ مورد بررسی و اصلاح قرار گرفت.

وزارت آموزش و پرورش
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

برنامه‌ریزی محتوا و نظارت بر تألیف : **دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش**

نام کتاب : **محاسبات فنی عمومی ـ ۳۵۸/۵۱**

مؤلفان : **سیاوش نظم‌دارشهری، بهروز نصیری‌زنوزی و صمد خادمی‌اقدم**

آماده‌سازی و نظارت بر چاپ و توزیع : **ادارهٔ کل نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی**

تهران : خیابان ایرانشهر شمالی ـ ساختمان شمارهٔ ۴ آموزش و پرورش (شهید موسوی)

تلفن : ۹ـ۸۸۸۳۱۱۶۱، دورنگار : ۸۸۳۰۹۲۶۶، کدپستی : ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹،

وب‌سایت : www.chap.sch.ir

صفحه‌آرا : **زهره بهشتی‌شیرازی**

طراح جلد : **طاهره حسن‌زاده**

ناشر : **شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران : تهران ـ کیلومتر ۱۷ جادهٔ مخصوص کرج ـ خیابان ۶۱ (دارو پخش)**

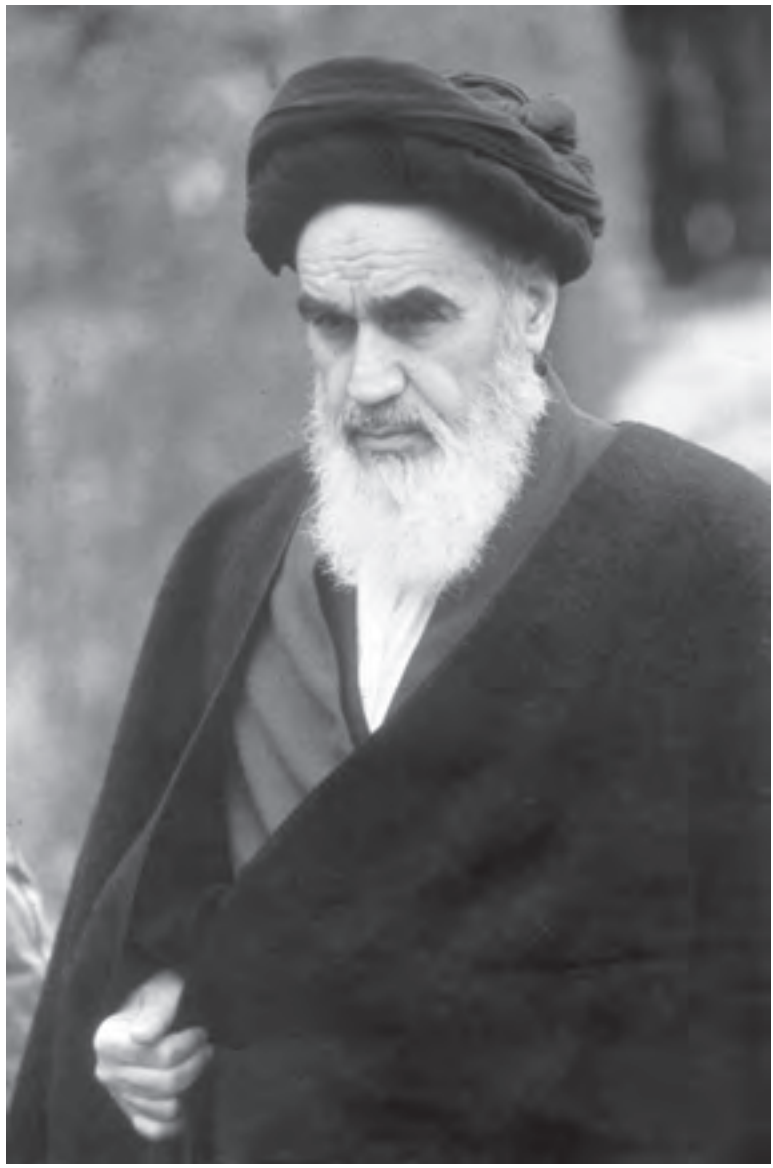
تلفن : ۵ ـ ۴۴۹۸۵۱۶۱، دورنگار : ۴۴۹۸۵۱۶۰، صندوق پستی : ۱۳۹ـ ۳۷۵۱۵

چاپخانه : **شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران «سهامی خاص»**

سال انتشار : **۱۳۹۴**

حقّ چاپ محفوظ است.

ISBN 964-05-0651-6 **شابک ۶-۰۶۵۱-۰۵-۹۶۴**



شما عزیزان کوشش کنید که از این وابستگی بیرون آیید و احتیاجات کشور خودتان را برآورده سازید، از نیروی انسانی ایمانی خودتان غافل نباشید و از اتّکای به اجانب بپرهیزید.

امام خمینی «قدّس سرّه الشّریف»

فهرست

مقدمه ۱

فصل اوّل ــ کاربرد محاسبات طولی در حلّ مسایل فنی ۲

۱ــ۱ــ تعریف اندازه‌گیری ۲

۱ــ۲ــ واحد اندازه‌گیری طول در سیستم SI ۲

۱ــ۳ــ واحد اندازه‌گیری طول در سیستم F.P.S ۴

۱ــ۴ــ مقیاس ۶

۱ــ۵ــ تلرانس ۶

۱ــ۶ــ محاسبه طول قطعات خمیده هندسی ۹

۱ــ۷ــ محاسبه طول گسترده قطعات خمیده ۱۰

۱ــ۸ــ روابط مثلث قائم‌الزاویه ۱۶

فصل دوم ــ زاویه و زمان ۱۸

۲ــ۱ــ زاویه ۱۸

۲ــ۲ــ زمان ۲۳

فصل سوم ــ کاربرد محاسبات سطوح در حلّ مسایل فنی ۲۷

۳ــ۱ــ واحد اندازه‌گیری سطح ۲۷

۳ــ۲ــ اجزا و اضعاف مترمربع ۲۷

۳ــ۳ــ روابط سطوح هندسی قطعات گوشه‌دار ۲۸

۳ــ۴ــ روابط سطوح قطعات قوسدار ۳۱

۳ــ۵ــ ریخت و ریز و درصد آن ۳۴

فصل چهارم ــ کاربرد محاسبات احجام هندسی در حلّ مسایل فنی ۳۸

۴ــ۱ــ واحد اندازه‌گیری حجم در سیستم SI ۳۸

۴ــ۲ــ محاسبه سطح جانبی و سطح کل احجام هندسی ۳۹

۴ــ۳ــ محاسبه حجم احجام هندسی ۴۳

۴ـ۴ـ محاسبه حجم احجام مرکب ۴۶

فصل پنجم ــ جرم و چگالی ۵۰
۵ـ۱ـ تعریف جرم ۵۰
۵ـ۲ـ واحد جرم ۵۱
۵ـ۳ـ اجزا و اضعاف واحد جرم ۵۲
۵ـ۴ـ روابط اجزا و اضعاف واحد جرم ۵۲
۵ ــ۵ـ واحدهای جرم در سیستم‌های دیگر اندازه‌گیری ۵۳
۵ـ۶ـ تعریف چگالی ۵۴
۵ـ۷ـ واحد چگالی در سیستم SI ۵۴
۵ـ۸ـ رابطه ریاضی بین جرم، حجم و چگالی ۵۵

فصل ششم ــ وزن ۶۲
۶ـ۱ـ تعریف وزن ۶۲
۶ـ۲ـ شتاب ثقل زمین در نقاط مختلف ۶۳
۶ـ۳ـ واحدهای وزن و شتاب ثقل ۶۶
۶ـ۴ـ رابطه وزن، جرم و شتاب ثقل ۶۸
۶ـ۵ـ رابطه وزن مخصوص و جرم مخصوص ۶۹

فصل هفتم ــ کار و توان ۷۴
۷ـ۱ـ کار ۷۴
۷ـ۲ـ توان ۷۵
۷ـ۳ـ ضریب بهره ۷۶

فصل هشتم ــ انتقال حرکت ۷۹
۸ـ۱ـ سرعت در حرکت یکنواخت مستقیم‌الخط ۸۰
۸ـ۲ـ سرعت در حرکت یکنواخت دورانی ۸۲
۸ـ۳ـ انتقال حرکت به‌وسیله تسمه و چرخ تسمه ۸۴

فصل نهم ــ حرارت ۸۷
۱ــ۹ــ ماهیت حرارت ۸۷
۲ــ۹ــ درجه حرارت ۸۸
۳ــ۹ــ اساس و نحوهٔ اندازه‌گیری درجه حرارت ۸۸
۴ــ۹ــ واحدهای درجه حرارت ۸۹
۵ــ۹ــ رابطه تبدیل واحدهای درجه حرارت ۹۰
۶ــ ۹ــ تعریف مقدار حرارت ۹۱
۷ــ۹ــ واحدهای مقدار حرارت ۹۲
۸ ــ۹ــ رابطه کالری و واحد مکانیکی کار و انرژی ۹۳
۹ــ۹ــ تعریف ظرفیت حرارتی ۹۴
۱۰ــ۹ــ تعریف گرمای ویژه ۹۴
۱۱ــ۹ــ تعریف نقطه ذوب ۹۶
۱۲ــ۹ــ تعریف گرمای نهان‌گداز ۹۶
۱۳ــ۹ــ تعریف گرمای نهان تبخیر ۹۷
۱۴ــ۹ــ رابطه مقدار گرما ۹۷
۱۵ــ۹ــ قدرت حرارتی (ارزش گرمایی) ۹۹
۱۶ــ۹ــ راندمان حرارتی کوره ۱۰۰

فصل دهم ــ پیوست‌ها ۱۱۰
۱ــ۱۰ــ ارزشیابی ۱۱۰
۲ــ۱۰ــ پاسخ تمرین‌ها ۱۱۶
۳ــ۱۰ــ جداول ۱۲۹

فهرست منابع ۱۳۸

مقدمه

کتاب حاضر بر اساس تجزیه و تحلیل مشاغل تکنسین‌های مدلسازی و ریخته‌گری تهیه شده است. هدف کلی کتاب، دادن دید فنی در محاسبات برای هنرجویان گروه مواد است. برای نیل به این هدف سعی شده است در ادامه مطالب علمی ریاضی و فیزیک، مسایل کاربردی آن‌ها در مشاغل مدلسازی و ریخته‌گری مورد بررسی قرار گیرد ؛ تا فارغ‌التحصیلان توانایی انجام محاسبات فنی پایه در صنایع مربوطه را به‌دست آورند.

کتاب از نه فصل تشکیل شده است. در ابتدای کتاب، هدف کلی و در ابتدای هر فصل هدف‌های رفتاری تعیین شده است تا هنرآموزان محترم پس از پایان فصل براساس هدف‌ها، هنرجویان را ارزشیابی کنند.

در فصل دهم کتاب دو گروه سؤال به منظور ارزشیابی آموخته‌های فراگیران درنظر گرفته شده است. به‌منظور عمق دادن به مطالب یادگیری در این فصل پاسخ تمرین‌های تمام فصول و جداول لازم ارائه شده است.

با تمام سعی و کوششی که در تهیه مطالب کتاب به عمل آمده است با کمال تواضع اذعان داریم که بدون نقص نیست. لذا از همکاران محترم تقاضا داریم ؛ در صورت برخورد با هرگونه نقص در بیان مطالب و یا غلط‌های چاپی، ما را مستحضر فرمایند تا در چاپ‌های بعدی نواقص موجود برطرف شود.

کمیسیون تخصصی رشتهٔ متالورژی

هدف کلی

فراگیر پس از پایان این واحد درسی، محاسبات فنی پایه رشته‌های مدلسازی و ریخته‌گری شامل «طول، سطح، حجم، زاویه و زمان، جرم، وزن، سرعت برش، حرارت، کار و توان» را انجام می‌دهد.

فصل اوّل

کاربرد محاسبات طولی در حلّ مسایل فنی

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود :
۱ــ اندازه‌گیری را تعریف کند.
۲ــ واحد اندازه‌گیری طول در سیستم SI را شرح دهد.
۳ــ تبدیلات مربوط به اجزا و اضعاف متر را انجام دهد.
۴ــ واحد اندازه‌گیری طول در سایر سیستم‌ها را شرح دهد.
۵ــ مفهوم تلرانس را بیان کند.
۶ــ طول گسترده قطعات قوسدار را محاسبه کند.
۷ــ با استفاده از قضیه فیثاغورث مسایل فنی را حل کند.

۱ــ کاربرد محاسبات طولی در حلّ مسایل فنی

۱ــ۱ــ تعریف اندازه‌گیری

اندازه‌گیری عبارت است از مقایسه کمیتی با واحد مقرره قانونی مربوطه، مثلاً مقایسه طول با متر، زاویه با درجه، زمان با ثانیه و شدت جریان برق با آمپر و... .

۱ــ۲ــ واحد اندازه‌گیری طول در سیستم SI [۱]

واحد اندازه‌گیری طول در سیستم SI متر (m) است.

۱ــ۲ــ۱ــ تعریف متر: تا سال ۱۹۶۰ میلادی (۱۳۳۸ شمسی) برای مقایسه واحد

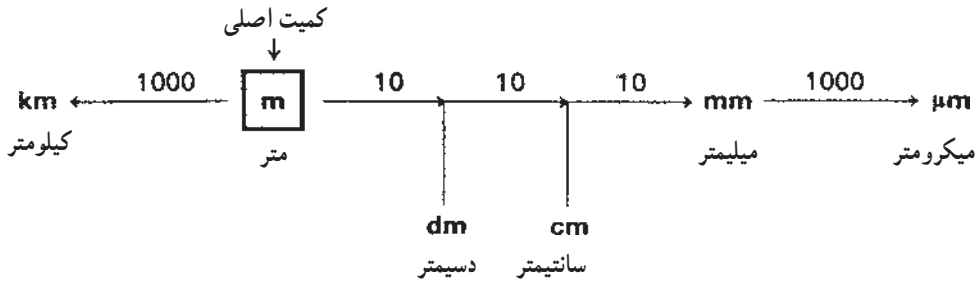
۱ــ System International

طول از متر مبنایی استفاده می‌کردند، که طول آن تقریباً $\frac{۱}{۴۰۰۰۰۰۰۰}$ طول نصف‌النهار کره زمین است (شکل ۱ــ۱).

شکل ۱ــ۱ــ تعریف متر تا سال ۱۹۶۰ میلادی

در سال ۱۹۸۳ در هفدهمین کنفرانس اوزان و مقادیر تعریف جدید متر ارائه شد. یک متر مسافتی است که نور در عرض $\frac{۱}{۲۹۹۷۹۲۴۵۸}$ ثانیه در خلأ می‌پیماید.

۲ــ۲ــ۱ــ اجزا و اضعاف متر: برای نشان دادن اجزا و اضعاف متر، از پیشوندهایی استفاده می‌شود که در جلوی نام واحد اصلی قرار می‌گیرند. در شکل ۲ــ۱ اجزا و اضعاف متر نشان داده شده است.



شکل ۲ــ۱ــ اجزا و اضعاف متر

مسأله نمونه ۱: ۳۲ دسیمتر چند متر است؟

حلّ:

$۱dm = ۰/۱m$

$۳۲dm = ۳۲ \times ۰/۱m = ۳/۲m$

مسأله نمونه ۲: ۴۵ میکرومتر را برحسب میلیمتر به‌دست آورید.

حلّ:

$۱\mu m = ۰/۰۰۱mm$

$۴۵\mu m = ۴۵ \times ۰/۰۰۱mm = ۰/۰۴۵mm$

مسأله نمونه ۳: ۳/۴ کیلومتر چند سانتیمتر است؟

حلّ:

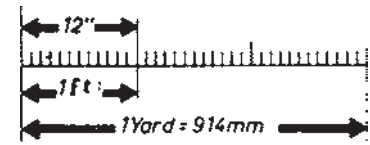
$۱km = ۱۰۰۰m \qquad ۱m = ۱۰۰cm$

$$1km = 1000 \times 100cm = 100000cm$$

$$3/4km = 3/4 \times 100000cm = 340000cm$$

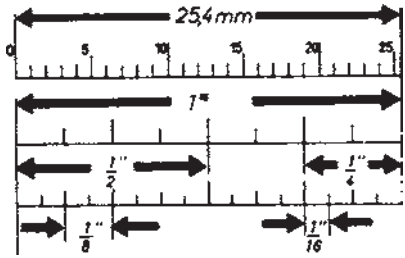
۳ــ۱ــ واحد اندازه‌گیری طول در سیستم F.P.S

واحد اندازه‌گیری طول (در کشورهای آمریکا و انگلیس) فوت (foot) است. هر فوت ۱۲ اینچ (Inch) و هر اینچ برابر ۲۵/۴ میلیمتر است (شکل ۳ــ۱).



شکل ۳ــ۱ــ اجزا و اضعاف فوت

چون در کارهای ریخته‌گری و مدلسازی، ابعاد کوچکتر از یک اینچ نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد، لذا معمولاً یک اینچ را به ۱۶ قسمت مساوی تقسیم کرده و اجزای آن را با کسرهای متعارفی نشان می‌دهند (شکل ۴ــ۱).



شکل ۴ــ۱ــ تقسیمات اینچ

$$1'', \frac{15''}{16}, \frac{7''}{8}, \frac{13''}{16}, \frac{3''}{4}, \frac{11''}{16}, \frac{5''}{8}, \frac{9''}{16}, \frac{1''}{2}, \frac{7''}{16}, \frac{3''}{8}, \frac{5''}{16}, \frac{1''}{4}, \frac{3''}{16}, \frac{1''}{8}, \frac{1''}{16}$$

مسأله نمونه ۱: $\frac{1''}{8}$ را به میلیمتر تبدیل کنید.

حلّ:

$$1'' = 25/4mm$$

$$\frac{1''}{8} = \frac{1}{8} \times 25/4mm = \frac{1 \times 25/4mm}{8} = 3/175mm$$

مسأله نمونه ۲: $1\frac{1''}{4}$ را به میلیمتر تبدیل کنید.

حلّ:

$$1\frac{1''}{4} = \frac{5''}{4} = \frac{5 \times 25/4mm}{4} = 31/75mm$$

تمرین‌ها

۱ــ جدول زیر را کامل کنید.

	الف	ب	ج	د
متر	۰/۶۸	?	?	?
دسیمتر	?	۱۲۵	?	?
سانتیمتر	?	?	۳۸۵/۶	?
میلیمتر	?	?	?	۱۲۵۳۸۲

۲ــ اندازه‌های اینچی داده شده را به میلیمتر تبدیل کنید.

$$\frac{۱''}{۸}, \frac{۱''}{۴}, \frac{۳''}{۸}, \frac{۲۵''}{۸}, ۳\frac{۱''}{۴}, ۵\frac{۱''}{۲}$$

۳ــ اندازه‌های داده شده را به اینچ تبدیل کنید.

۴۴/۴۵۰mm ۱۹۰/۵mm ۹/۵۲۵mm

۴ــ حاصل عبارات زیر را به دست آورید.

الف) $۵/۸۵\text{m} + ۳\frac{۳}{۴}\text{dm} + ۷/۵\text{cm} + ۲۸۳\text{mm} = ?\,\text{m}$

ب) $۰/۷۸۵\text{m} - ۵/۶\text{dm} + ۱۷/۸\text{cm} + ۰/۶۵\text{dm} = ?\,\text{mm}$

ج) $۸۲۵/۹\text{mm} - ۷/۲۵\text{cm} + ۱/۲۳۴\text{dm} - ۰/۰۰۳\text{mm} = ?\,\text{cm}$

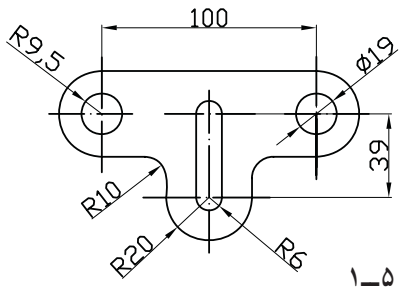
۵ــ حاصل عبارت زیر را برحسب متر به‌دست آورید.

$۱/۲۳۱\text{km} - ۵۸۴\text{m} - ۰/۳۵۷\text{km} - ۱۳۸۵\text{dm} = ?$

۶ــ حاصل عبارت زیر را برحسب سانتیمتر به‌دست آورید.

$۰/۷۸۵\,\text{m} - ۱۲\text{in} + ۶/۵\,\text{dm} - ۳۰۰\text{mm} = ?$

۷ــ طول و عرض بدنه‌ی قطعه شکل ۵ــ۱ را محاسبه کنید.



شکل ۵ــ۱

۸ــ از یک الوار به طول ۵/۲۰ متر قطعات زیر بریده خواهد شد :

۳ قطعه هرکدام به طول ۴۸۰میلیمتر، ۴ قطعه هرکدام ۵/۰۵ دسیمتر، ۲ قطعه هرکدام ۲۸/۴ میلیمتر، شیار برش ۲/۵ میلیمتر، طول باقیمانده را برحسب سانتیمتر به‌دست آورید.

۴ــ۱ــ مقیاس

قطعات مدل و قالب را همیشه نمی‌توان با ابعاد حقیقی (مقیاس ۱ :۱) نمایش داد. در مواردی لازم است قطعات کوچک را با مقیاس افزاینده و قطعات بزرگ را با مقیاس کاهنده رسم کرد. در جدول ۱ــ۱ مقیاس‌های افزاینده و کاهنده استاندارد را مشاهده می‌کنید.

جدول ۱ــ۱ــ مقیاس

مقیاس افزاینده	مقیاس حقیقی	مقیاس کاهنده
۲: ۱	۱: ۱	۱: ۲
۵: ۱		۱: ۵
۱۰: ۱		۱: ۱۰
۲۰: ۱		۱: ۲۰

برای محاسبه طول ترسیمی از رابطه زیر استفاده می‌شود :

مقیاس × طول حقیقی = طول ترسیمی

$$ZM = WM \times M$$

مسأله نمونه : طول ترسیمی قطعه‌ای به طول ۱۸۰ میلیمتر با مقیاس ۵ :۱ چند میلیمتر است؟

حلّ : $ZM = WM \times M = ۱۸۰mm \times \frac{۱}{۵} = ۳۶mm$

۵ــ۱ــ تلرانس

تفاضل بزرگترین اندازه از کوچکترین اندازه یک قطعه را تلرانس گویند. به بیان دیگر تلرانس عبارت است از : تفاضل انحراف بالایی از انحراف پایینی. در شکل ۶ــ۱ این مفاهیم نشان

داده شده است.

علایم اختصاری

N = اندازه اسمی

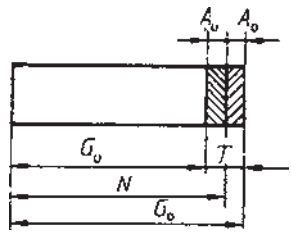
A_o = انحراف بالایی

A_u = انحراف پایینی

G_o = بزرگترین اندازه

G_u = کوچکترین اندازه

T = تلرانس



شکل ۶ــ۱

$$G_o = N + A_o \qquad G_u = N + A_u \qquad T = G_o - G_u$$

مسأله نمونه ۱: طول ۴۲ میلیمتری در یک مدل مجاز است از اندازه ۴۲/۱ تا ۴۱/۹۵ میلیمتر ساخته شود. اندازه اسمی انحراف بالایی و انحراف پایینی را در یک شکل نشان دهید.

حلّ:

A_o

$+۰/۱$

N —— ۴۲

$-۰/۰۵$

A_u

مسأله نمونه ۲: روی نقشه‌ای اندازه $۲۸۰^{+۱/۹}_{-۱/۹}$ نوشته شده است. انحراف اندازهٔ بزرگترین و کوچکترین اندازه و تلرانس را به‌دست آورید.

حلّ:

$A_o = +۱/۹\,mm \qquad A_u = -۱/۹\,mm$

$G_o = N + A_o = ۲۸۰\,mm + ۱/۹\,mm = ۲۸۱/۹\,mm$

$G_u = N + A_u = ۲۸۰\,mm + (-۱/۹mm) = ۲۷۸/۱mm$

$T = G_o - G_u = ۲۸۱/۹\,mm - ۲۷۸/۱mm = ۳/۸\,mm$

تمرین‌ها

۱ــ جدول زیر را کامل کنید.

WM (mm)	ZM (mm) ۱:۲	۱:۵	۲:۱
۱۵	۷/۵	۳	۳۰
۱۰	?	?	?
۳۶/۵	?	?	?
۱۲۵	?	?	?
۴۲	?	?	?
۳۶۰	?	?	?
۳۱۴۵	?	?	?

۲ــ در یک نقشه جغرافیایی که با مقیاس ۱ : ۳۰۰۰۰۰ ترسیم شده است، فاصله دو دهکده از یکدیگر ۵۰ میلیمتر اندازه‌گیری شده است. حساب کنید :

الف) فاصله حقیقی دو دهکده را برحسب km

ب) هر سانتیمتر طول خطوط ترسیمی در نقشه معادل چند کیلومتر است؟

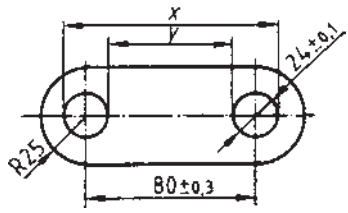
۳ــ قطعه‌ای با طول ۱۲۰ میلیمتر در روی نقشه‌ای ۲۴ میلیمتر رسم شده است. مقیاس رسم را به‌دست آورید.

۴ــ در هر کدام از اندازه‌های زیر، مقادیر انحراف اندازه، کوچکترین و بزرگترین اندازه و تلرانس را به دست آورید.

الف) $95\ ^{+0/02}_{-0/01}$

ب) $38/7\ ^{+0/25}_{-0/2}$

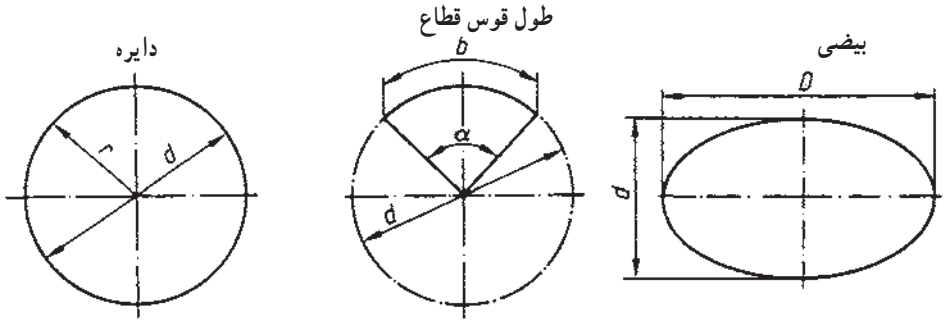
۵ــ بزرگترین و کوچکترین اندازه x و y را در شکل ۷ــ۱ به‌دست آورید.



شکل ۷ــ۱

۶ــ۱ــ محاسبه طول قطعات خمیده هندسی

قطعات خمیده هندسی عبارتند از : دایره، طول قوسی از دایره و بیضی. روابط محیط این قطعات در شکل ۸ــ۱ داده شده است.



شکل ۸ــ۱ــ روابط طول قطعات خمیده

$$U = d \times \pi = ۲ \times r \times \pi \qquad b = \frac{d \times \pi \times \alpha}{۳۶۰^\circ} \qquad U \approx \frac{D + d}{۲} \times \pi$$

فرمول مربوط به محیط بیضی برای بیضی نزدیک به دایره صادق است.

$$d = \frac{U}{\pi} \qquad d = \frac{b \times ۳۶۰^\circ}{\alpha \times \pi} \qquad D \approx \frac{۲U}{\pi} - d$$

$$(\pi = ۳/۱۴۱۵۹\cdots) \qquad \alpha = \frac{b \times ۳۶۰^\circ}{d \times \pi} \qquad d \approx \frac{۲U}{\pi} - D$$

علایم اختصاری

U = محیط　　D= قطر بزرگ　　α = زاویه مرکزی

d = قطر یا قطر کوچک　　b = طول کمان　　r = شعاع

مسأله نمونه: طول قوس قطاع دایره‌ای به قطر ۳۲۴ میلیمتر را به‌دست آورید. زاویه مرکزی قطاع ۷۲ درجه است.

حلّ:

$$b = \frac{d \times \pi \times \alpha}{۳۶۰^\circ} = \frac{۳۲۴mm \times ۳/۱۴ \times ۷۲^\circ}{۳۶۰^\circ} = ۲۰۳/۶mm$$

تمرین‌ها

۱ــ محیط دایره‌هایی را که قطر آن‌ها در زیر داده شده است،به دست آورید. «تا دو رقم اعشار»

الف) ۶۰ mm　　ب) ۸/۵ cm　　ج) ۱۴/۳ mm　　د) ۹/۸۳ dm

۲ــ محیط دایره در تمرینات زیر داده شده است. قطر آن‌ها را تا ۲ رقم اعشار به دست آورید.

الف) ۶۲۸/۳۲ mm　　ب) ۵۷۸/۰۵ cm　　ج) ۲۲۱/۴۸ mm

۳ــ طول قوس قطاع دایره را در تمرینات زیر به‌دست آورید.

الف) d = ۲۵۰ mm　　ب) d = ۱۵۴۰ mm　　ج) d = ۱۲۰ mm

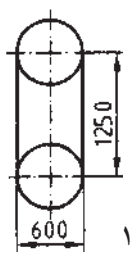
$\alpha = ۱۲۰^\circ$　　$\alpha = ۸۰^\circ$　　$\alpha = ۴۳^\circ$

۴ــ محیط بیضی در تمرینات زیر را محاسبه کنید.

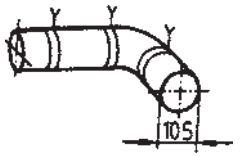
الف) D = ۲۰۰ mm　　ب) D = ۲/۴۰ m　　ج) D = ۸۴ mm

d = ۱۰۰ mm　　d = ۱/۴۰ m　　d = ۳۲ mm

۵ــ طول اره نواری شکل ۹ــ۱ را به‌دست آورید. برای لحیم‌کاری لبه‌ها ۱۵ میلیمتر منظور کنید.

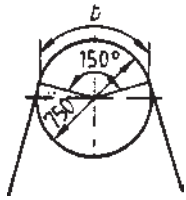


شکل ۹ــ۱



شکل ۱۰ــ۱

۶ــ دو تکه ماهیچه در سه محل به وسیله دو عدد سیم‌پیچ به یکدیگر متصل شده‌اند (شکل ۱۰ــ۱). برای پیچاندن سیم‌ها در انتهای هر کدام ۵۰ میلیمتر طول اضافی منظور شده است. طول سیم موردنیاز را به دست آورید.

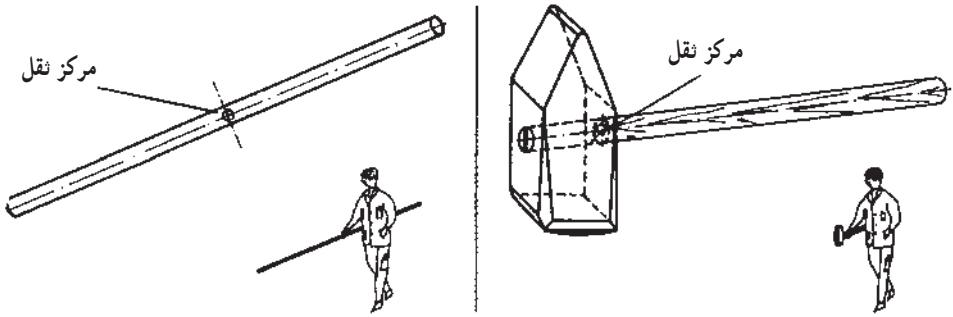


شکل ۱۱ــ۱

۷ــ در چرخ تسمه شکل ۱۱ــ۱ طول قوس b (طول درگیری تسمه با چرخ) را به‌دست آورید.

۷ــ۱ــ محاسبه طول گسترده قطعات خمیده

۱ــ۷ــ۱ــ مرکز ثقل: مرکز ثقل نقطه‌ای از جسم است که می‌توان جرم را در آن نقطه متمرکز فرض کرد. چنانچه در آن محل نیرویی معادل با نیروی وزن جسم و در جهت مخالف به جسم اثر کند، آن را در حال تعادل نگه می‌دارد (شکل ۱۲ــ۱).

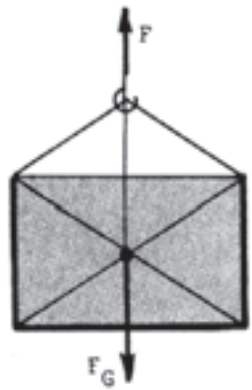


شکل ۱۲ــ۱ــ نمایش مرکز ثقل در قطعه

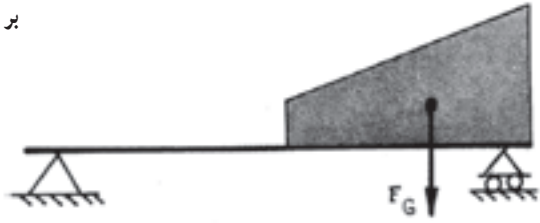
مواردی در صنعت پیش می‌آید که تعیین مرکز ثقل را ضروری می‌سازد :

الف) بلند کردن یک جسم به‌وسیله جرثقیل. در این مورد لازم است به منظور حفظ تعادل، امتداد نیروی قلاب جرثقیل در امتداد مرکز ثقل جسم باشد (شکل ۱۳ــ۱).

ب) محاسبات بارهای گسترده همگن. در این مورد برای سهولت محاسبه، نیروی وزن به‌صورت یک نیروی متمرکز واقع بر مرکز ثقل آن فرض می‌شود (شکل ۱۴ــ۱).



شکل ۱۳ــ۱ــ نیروی وزن واقع بر مرکز ثقل



شکل ۱۴ــ۱ــ نیروی وزن واقع بر مرکز ثقل در بار گسترده

ج) محاسبه سطح کل و حجم با روش گولدن (صفحه ۴۱).

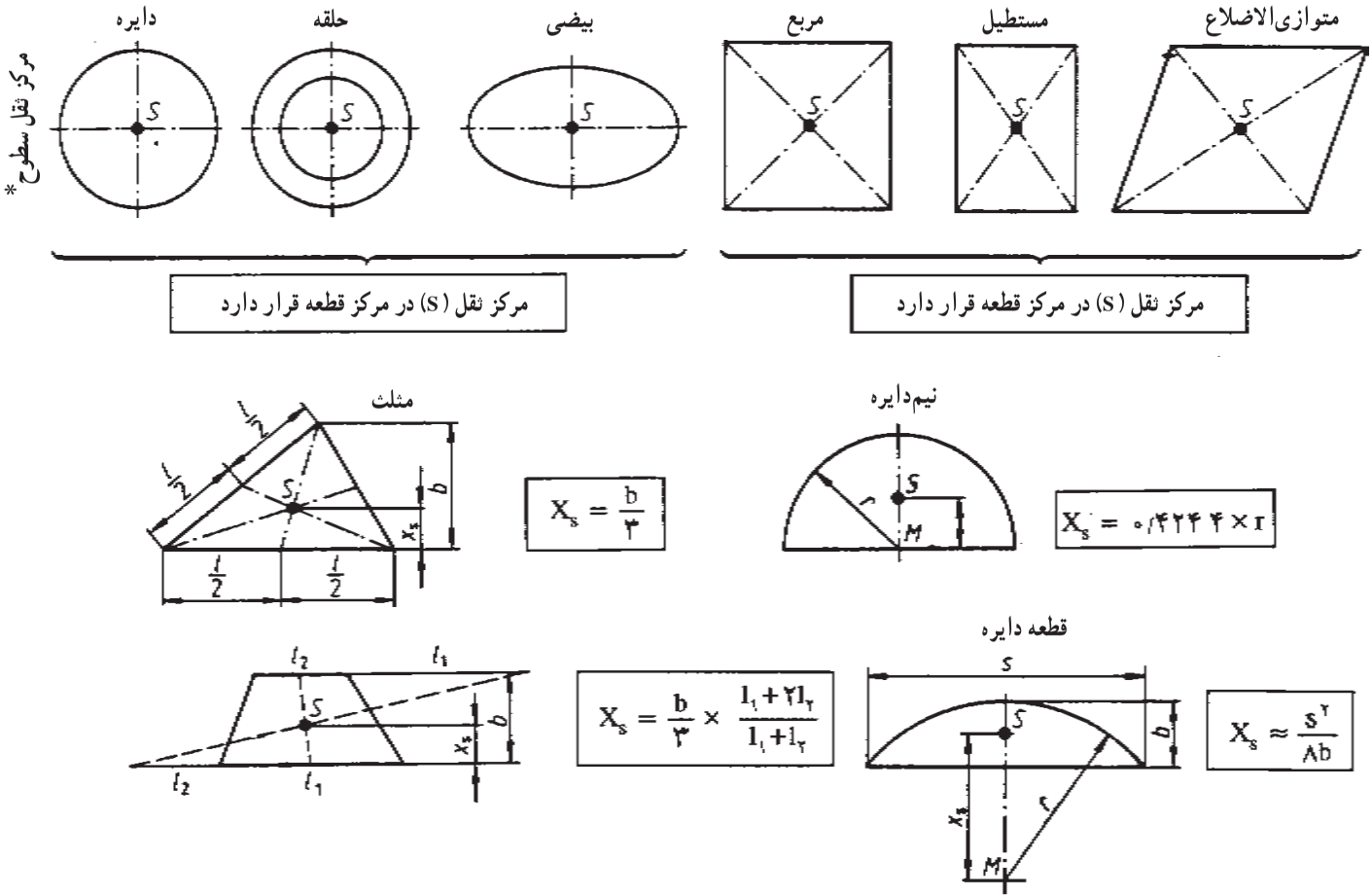
د) محاسبه نیروی وارد بر قالب

هـ) محاسبه طول گسترده

برای محاسبه مرکز ثقل دو حالت وجود دارد.

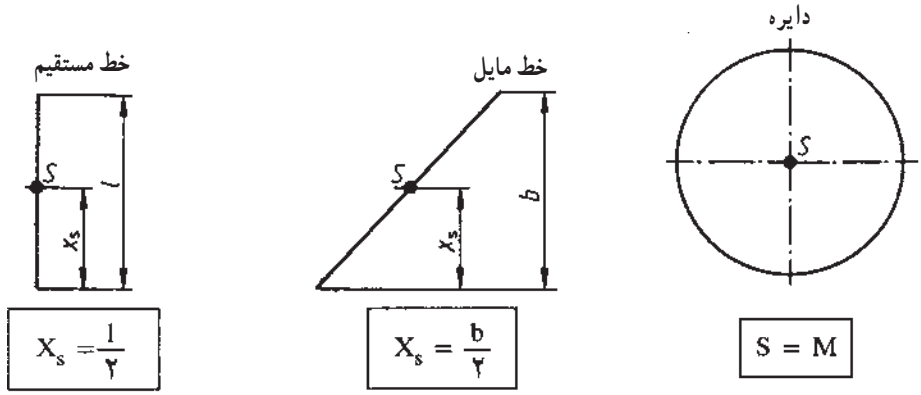
ــ مرکز ثقل سطوح (شکل ۱۵ــ۱).

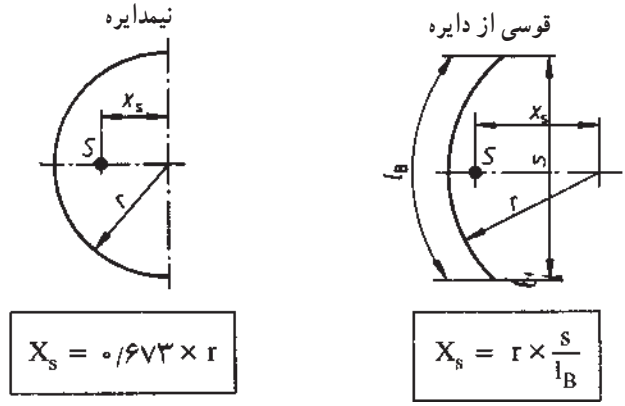
ــ مرکز ثقل خطوط (شکل ۱۶ــ۱).



شکل ۱۵ــ۱ــ مرکز ثقل سطوح

مرکز ثقل خطوط*



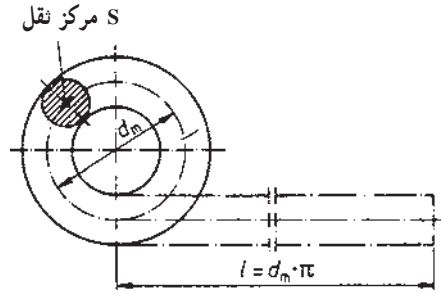


شکل ۱۶ــ۱ــ مرکز ثقل خطوط

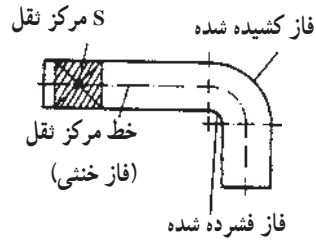
۲ــ۷ــ۱ــ محاسبه طول گسترده: طول گسترده عبارت است از طول مستقیم قطعات خم شده (شکل ۱۷ــ۱) و مقدار آن برابر است با طول مرکز قطعه که به نام خط مرکز ثقل (= فاز خنثی) نامیده می‌شود (شکل ۱۸ــ۱).

---

* روابط این صفحه برای اطلاعات عمومی داده شده است.

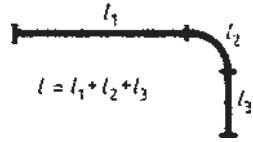


شکل ۱۷ــ۱ــ طول گسترده



شکل ۱۸ــ۱ــ نمایش طول گسترده

برای محاسبه طول گسترده لازم است ابتدا مرکز ثقل قطعه را مشخص کرده و سپس طول آن را محاسبه کرد. مواردی پیش می‌آید که قطعه از قسمت‌های مختلف تشکیل شده است (شکل ۱۸ــ۱). در این‌گونه موارد قطعه را به اجزای کوچکتر تقسیم کرده و طول هرکدام را جداگانه محاسبه می‌کنند و با جمع آن طول گسترده کل قطعه حاصل می‌شود (شکل ۱۹ــ۱).



شکل ۱۹ــ۱ــ محاسبه طول گسترده قطعه مرکب

مسأله نمونه: طول گسترده قلاب شکل ۲۰ــ۱ را به‌دست آورید.

حلّ:

$$l = l_1 + l_2$$

$$l_1 = (120 - 40 - 10)\,mm$$

$$l_1 = 70\,mm$$

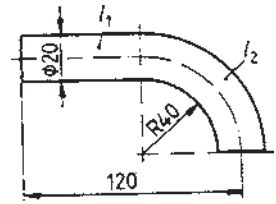
$$l_2 = \frac{d_m \times \pi}{4}$$

$$l_2 = \frac{(80 + 20)\,mm \times \pi}{4}$$

$$l_2 = 78/54\,mm$$

$$l = (70 + 78/54)\,mm$$

$$l = 148/54\,mm$$

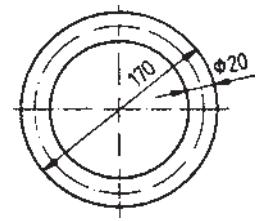


شکل ۲۰ــ۱

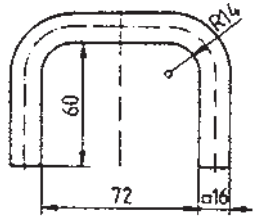
تمرین‌ها

۱ــ طول گسترده قانجاق ماهیچه شکل ۲۱ــ۱ را به‌دست آورید.

۲ــ طول گسترده بست درجه شکل ۲۲ــ۱ را به‌دست آورید.



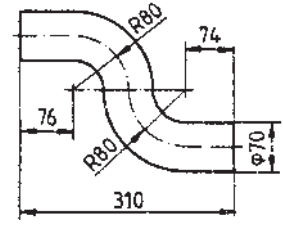
شکل ۲۱ــ۱ــ قانجاق ماهیچه



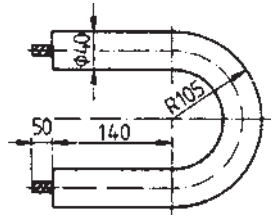
شکل ۲۲ــ۱ــ بست درجه

۳ــ ماهیچه شکل ۲۳ــ۱ لازم است از میله‌ای درست شود. حساب کنید طول مواد اولیه را اگر در اتمام کار ۱۰ میلیمتر اضافه طول درنظر گرفته شود.

۴ــ سوراخ ماهیچه خم قوسدار شکل ۲۴ــ۱ به‌وسیله ریسمان مومی پر خواهد شد. طول ریسمان مومی مورد نیاز را به‌دست آورید.



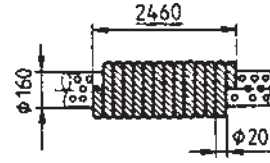
شکل ۲۳ــ۱ــ ماهیچه



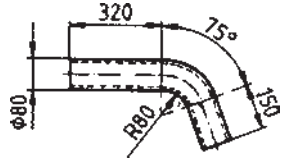
شکل ۲۴ــ۱ــ ماهیچه خم

۵ــ طول ریسمان شکل ۲۵ــ۱ را برحسب متر به‌دست آورید.

۶ــ چند متر لوله برای ساخت قطعه شکل ۲۶ــ۱ موردنیاز است؟



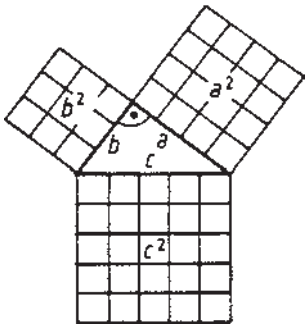
شکل ۲۵ــ۱



شکل ۲۶ــ۱

۸ــ۱ــ روابط مثلث قائم‌الزاویه

۱ــ۸ــ۱ــ قضیه فیثاغورث: در هر مثلث قائم‌الزاویه مربع وتر برابر است با مجموع مربعات دو ضلع دیگر (شکل ۲۷ــ۱).



شکل ۲۷ــ۱ــ قضیه فیثاغورث

علایم اختصاری

a و b = اضلاع مجاور به زاویهٔ قائمه

c = ضلع روبرو به زاویه قائمه (وتر)

$$\boxed{c^۲ = a^۲ + b^۲}$$

$$\Leftrightarrow \quad c = \sqrt{a^۲ + b^۲}$$

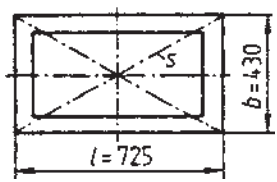
$$a^۲ = ۱۶$$

$$+b^۲ = ۹$$

$$c^۲ = ۲۵$$

مسأله نمونه: قطر s در قاب شکل ۲۸ــ۱ چه اندازه‌ای باشد تا قائمه بودن زوایای قاب تضمین شود.

حلّ:



شکل ۲۸ــ۱ــ قاب

$$s^۲ = l^۲ + b^۲$$

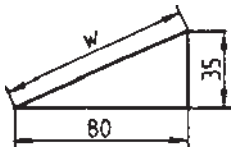
$$s^۲ = (۷۲۵mm)^۲ + (۴۳۰mm)^۲ = ۷۱۰۵۲۵mm^۲$$

$$s = \sqrt{۷۱۰۵۲۵mm^۲}$$

$$s = ۸۴۲/۹۳mm$$

تمرین‌ها

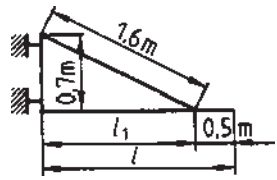
۱ــ اندازه W در گوه شکل ۲۹ــ۱ را به‌دست آورید.



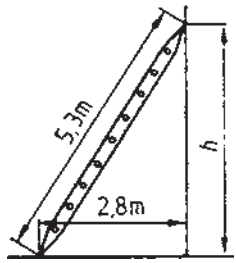
شکل ۲۹ــ۱

۲ــ در بازوی نوسانی شکل ۳۰ــ۱ طول l را محاسبه کنید.

۳ــ تکیه‌گاه نردبان شکل ۳۱ــ۱ در چه ارتفاعی از دیوار قرار دارد؟



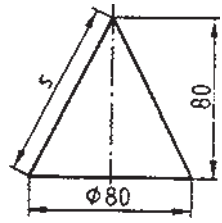
شکل ۳۰ــ۱



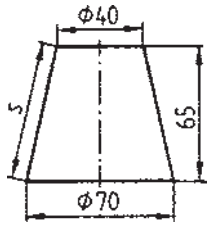
شکل ۳۱ــ۱

۴ــ طول مولّد مخروط شکل ۳۲ــ۱ را محاسبه کنید.

۵ــ طول مولد مخروط ناقص شکل ۳۳ــ۱ را به‌دست آورید.



شکل ۳۲ــ۱

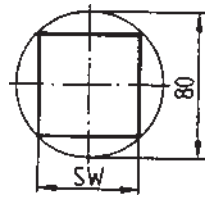


شکل ۳۳ــ۱

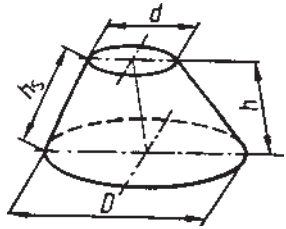
۶ــ در انتهای میله گردی زبانه چهارگوش مطابق شکل ۳۴ــ۱ ایجاد خواهد شد. اندازه آچارخور SW را به‌دست آورید.

۷ــ اندازه طول مولد در مخروط شکل ۳۵ــ۱ را محاسبه کنید.

$h = ۰/۹۰m$ ، $d = ۰/۸۰m$ ، $D = ۱/۴۰m$



شکل ۳۴ــ۱



شکل ۳۵ــ۱

فصل دوم

زاویه و زمان

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود :

۱ــ زاویه را تعریف کند.

۲ــ واحد زاویه در سیستم SI را بیان کند.

۳ــ چهار عمل اصلی زوایا را انجام دهد.

۴ــ واحد زمان در سیستم SI را بیان کند.

۵ــ چهار عمل اصلی مربوط به زمان را انجام دهد.

۲ــ زاویه و زمان

۱ــ۲ــ زاویه

۱ــ۱ــ۲ــ تعریف زاویه: زاویه از تقاطع دو خط پدید می‌آید (شکل ۱ــ۲). مقدار هر زاویه از حاصل تقسیم طول قوس مقابل به آن زاویه بر شعاع مربوطه به دست می‌آید.

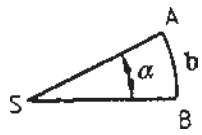
علایم اختصاری

S = رأس زاویه

SA و SB = اضلاع زاویه

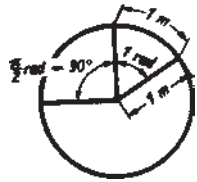
$\alpha \measuredangle$ = زاویه α

b = طول قوس مقابله به زاویه α



شکل ۱ــ۲ــ تشکیل زاویه

برای نشان دادن زاویه از حروف یونانی α (آلفا)، β (بتا)، γ (گاما)، δ (دلتا) و ε (اپسیلون) استفاده می‌شود.



شکل ۲ــ۲ــ تعریف رادیان

۲ــ۱ــ۲ــ واحد زاویه: واحد زاویه رادیان است. مقدار آن در دایره‌ای به شعاع یک متر، برابر است با طول قوس روبرو به اندازه یک متر بر شعاع آن (شکل ۲ــ۲).

$$۱\text{rad} = \frac{۱\text{m}}{۱\text{m}}$$

مسأله نمونه: در دایره‌ای به شعاع ۱۰۰ میلیمتر حساب کنید :

الف) مقدار زاویه مقابل به کمان $\overset{\frown}{b} = ۱۵۰\text{mm}$ را

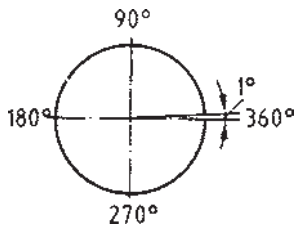
ب) زاویه دایره کامل را

حلّ :

الف) $\alpha = \frac{\overset{\frown}{b}}{r} = \frac{۱۵۰\text{mm}}{۱۰۰\text{mm}} = \frac{۱/۵\text{m}}{۱\text{m}} = ۱/۵\text{rad}$

ب) $\alpha = \frac{\overset{\frown}{b}}{r} = \frac{U}{r} = \frac{r \times ۲ \times \pi}{r} = ۲\pi\text{rad} = ۶/۲۸\text{rad}$

$\alpha = \overset{\frown}{۲\pi}\text{rad}$



شکل ۳ــ۲ــ تعریف درجه

برای اندازه‌گیری زاویه در صنعت از واحد دیگری به نام درجه استفاده می‌شود. یک درجه برابر است با $\frac{۱}{۳۶۰}$ زاویه دایره کامل یا $\frac{۱}{۹۰}$ زاویه قائمه (شکل ۳ــ۲).

از آنجایی که زاویه دایره کامل ۳۶۰ درجه است. بنابراین، می‌توان نوشت :

$$۲\pi\text{rad} = ۳۶۰^\circ$$

$$۱\text{rad} = \frac{۳۶۰^\circ}{۲\pi} = \frac{۳۶۰^\circ}{۲ \times ۳/۱۴} = ۵۷/۲۹۶^\circ$$

$$\boxed{۱\text{rad} = ۵۷/۳^\circ}$$

$$۳۶۰^\circ = ۲\pi\text{rad}$$

$$۱^\circ = \frac{۲\pi\text{rad}}{۳۶۰^\circ} \Rightarrow \boxed{۱^\circ = \frac{\pi}{۱۸۰}\text{rad}}$$

مسأله نمونه ۱: زاویه $\alpha = ۳۰^\circ$ را به رادیان تبدیل کنید.

$$۱^\circ = \frac{\pi}{۱۸۰}\,\text{rad}$$

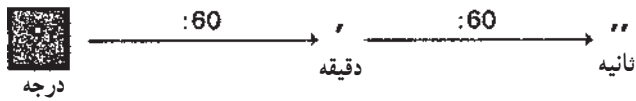
$$\alpha = ۳۰^\circ = ۳۰ \times ۱^\circ = ۳۰ \times \frac{\pi}{۱۸۰}\,\text{rad} = \frac{\pi}{۶}\,\text{rad} = ۰/۵۲۳\,\text{rad}$$

مسأله نمونه ۲: زاویه $\beta = ۰/۷۳۳۰\,\text{rad}$ چند درجه است؟

$$۱\,\text{rad} = ۵۷/۳^\circ$$

$$\beta = ۰/۷۳۳۰\,\text{rad} = ۰/۷۳۳۰ \times ۱\,\text{rad} = ۰/۷۳۳۰ \times ۵۷/۳^\circ = ۴۲^\circ$$

۳ــ۱ــ۲ــ اجزای درجه: اجزای درجه عبارتند از دقیقه و ثانیه. ضریب تبدیل اجزای درجه به یکدیگر عدد ۶۰ است (شکل ۴ــ۲).



شکل ۴ــ۲ــ اجزای درجه

توجه: در محاسبات زوایا به مواردی برخورد می‌کنیم که مقدار زاویه به‌صورت اعشاری به‌دست می‌آید (مانند $۳۲/۶^\circ$). در این‌گونه موارد، بهتر است که قسمت اعشاری را به واحدهای کوچکتر درجه تبدیل کرد.

مسأله نمونه۱: $۴۵/۴^\circ$ را برحسب درجه و اجزای آن به‌دست آورید.

حلّ: $۴۵/۴^\circ = ۴۵^\circ + ۰/۴^\circ = ۴۵^\circ + ۰/۴ \times ۱^\circ = ۴۵^\circ + ۰/۴ \times ۶۰' = ۴۵^\circ, ۲۴'$

مسأله نمونه۲: $۶۴/۳۸^\circ$ را برحسب درجه و اجزای آن به‌دست آورید.

حلّ:

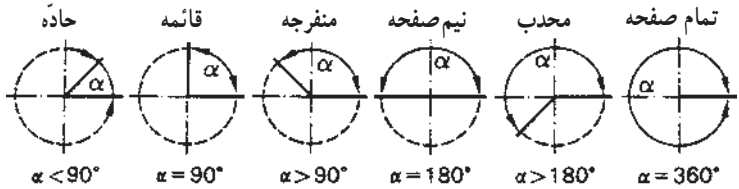
$$۶۴/۳۸^\circ = ۶۴^\circ + ۰/۳۸^\circ = ۶۴^\circ + ۰/۳۸ \times ۶۰' = ۶۴^\circ + ۲۲/۸'$$

$$= ۶۴^\circ + ۲۲/۸' = ۶۴^\circ + ۲۲' + ۰/۸' = ۶۴^\circ + ۲۲' + ۰/۸ \times ۶۰''$$

$$= ۶۴^\circ + ۲۲' + ۴۸''$$

$$۶۴/۳۸^\circ = ۶۴^\circ, ۲۲', ۴۸''$$

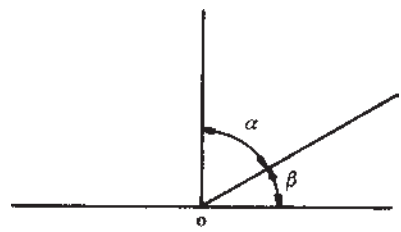
۴ــ۱ــ۲ــ انواع زاویه: در هندسه زوایای نشان داده شده در شکل ۵ــ۲ تعریف شده است.



شکل ۵ــ۲ــ انواع زاویه

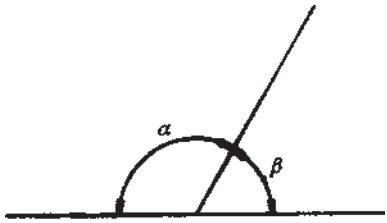
۵ــ۱ــ۲ــ زوایای متمم: دو زاویه را متمم یکدیگر گویند در صورتی که مجموع زوایای آن‌ها ۹۰ درجه باشد (شکل ۶ــ۲).

۶ــ۱ــ۲ــ زوایای مکمل: چنانچه مجموع دو زاویه ۱۸۰° باشد (شکل ۷ــ۲)، آن‌دو زاویه را مکمل یکدیگر گویند.



$\alpha + \beta = 90°$

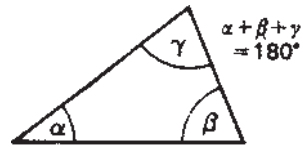
شکل ۶ــ۲ــ زوایای متمم



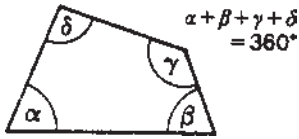
$\alpha + \beta = 180°$

شکل ۷ــ۲ــ زوایای مکمل

۷ــ۱ــ۲ــ زوایای چندضلعی‌ها: مجموع زوایای داخلی هر مثلث ۱۸۰° (شکل ۸ــ۲) و مجموع زوایای داخلی هر چهار ضلعی ۳۶۰° است (شکل ۹ــ۲).

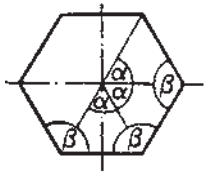


شکل ۸ــ۲



شکل ۹ــ۲

زاویه مرکزی چندضلعی‌های منتظم (α) و زاویه بین دو ضلع (β) (شکل ۱۰ــ۲) از روابط زیر به‌دست می‌آید.



شکل ۱۰ــ۲

علایم اختصاری

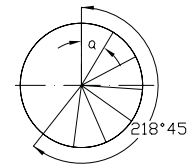
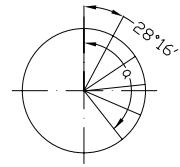
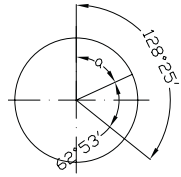
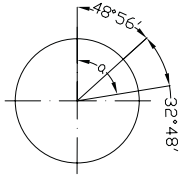
n = تعداد اضلاع

α = زاویه مرکزی مقابل به ضلع $\quad \alpha = \frac{360°}{n}$

β = زاویه بین دو ضلع $\quad \beta = 180° - \alpha$

۸ــ۱ــ۲ــ چهار عمل اصلی زوایا: چهار عمل اصلی زوایا به شرح جدول ۱ــ۲ انجام می‌گیرد.

جدول ۱ــ۲ــ چهار عمل اصلی زوایا

تقسیم (چند قسمت کردن)	ضرب (چند برابر کردن)	تفریق	جمع
			
۲۱۸°,۴۵′:۷ ۲۱۸°,۴۵′ | ۷ ۲۱۷ ۳۱°,۱۵′ ۱°,۴۵′ = ۱۰۵′ ۱۰۵ ۰۰۰ $\alpha = ۳۱°,۱۵′$	۲۸°,۱۶′ × ۵ ۱۴۰°,۸۰′ $\alpha = ۱۴۱°,۲۰′$	۱۲۸°,۲۵′ − ۶۲°,۵۳′ ۱۲۷°,۸۵′ − ۶۲°,۵۳′ $\alpha = ۶۵°,۳۲′$	۴۸°,۵۶′ + ۳۲°,۴۸′ ۸۰°,۱۰۴′ $\alpha = ۸۱°,۴۴′$

تمرین‌ها

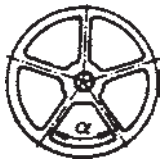
۱ــ در یک مثلث $\alpha = ۳۵°,۱۰′,۴۵″$ و زاویه β به اندازهٔ $۶۳°,۵۵′,۳۲″$ از زاویه α بزرگتر است. مقدار زوایای β و γ را به‌دست آورید.

۲ــ در یک مثلث زاویه β دو برابر زاویه α و زاویهٔ γ سه برابر زاویه α است. اندازه زوایای مثلث را به‌دست آورید.

۳ــ در یک مثلث زاویه β دو برابر زاویه α و زاویه γ دو برابر زوایای α و β است. زوایای مثلث را به‌دست آورید.

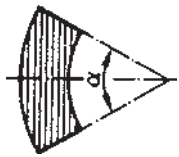
۴ــ زاویه مرکزی و زاویه بین دو ضلع چندضلعی‌های منتظم ۵، ۶، ۸ و ۱۲ ضلعی را به‌دست آورید.

۵ــ مقدار زاویه بین دو بازوی چرخ در شکل ۱۱ــ۲ را به‌دست آورید.



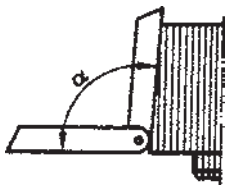
شکل ۱۱ــ۲

۶ــ یک حلقه مطابق شکل ۱۲ــ۲ به ۸ عدد لقمه تقسیم خواهد شد. اندازه زاویه α را به‌دست آورید.



شکل ۱۲ــ۲

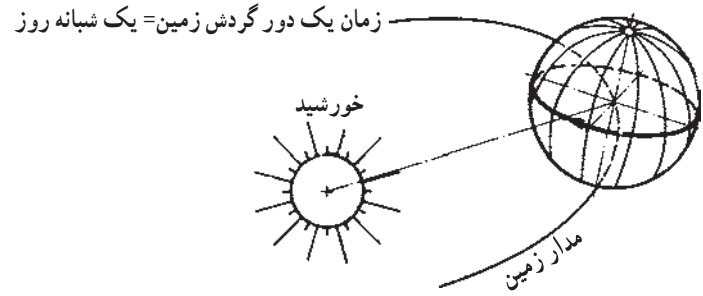
۷ــ ماهیچه شکل ۱۳ــ۲ لازم است 5° شیب داشته باشد. مقدار زاویه α برای کنترل آن چند درجه است؟



شکل ۱۳ــ۲

۲ــ۲ــ زمان

۱ــ۲ــ۲ــ واحد زمان: واحد زمان ثانیه است و آن زمانی است برابر با $\frac{۱}{۸۶۴۰۰}$ شبانه‌روز متوسط سال شمسی (شکل ۱۴ــ۲).



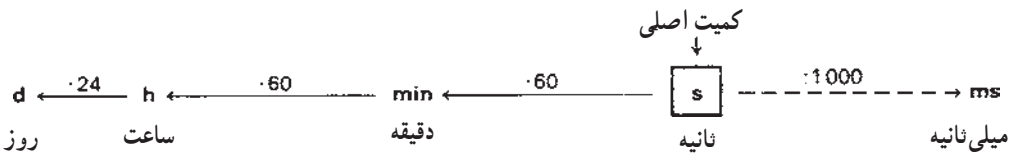
شکل ۱۴ــ۲ــ تعریف شبانه‌روز

این تعریف تا سال ۱۹۶۷ میلادی (۱۳۴۵ شمسی) معتبر بود. در سیزدهمین کنفرانس بین‌المللی اوزان و مقادیر، تعریف جدیدی برای ثانیه به شرح زیر پیشنهاد شد و مورد تصویب قرار گرفت.

هر ثانیه زمانی است برابر ۹۱۹۲۶۳۱۷۷۰ برابر زمان دوره تناوب پرتو اتم سزیم ۱۳۳ (۱۳۳ Cs).

۲ــ۲ــ۲ــ اجزا و اضعاف واحد زمان: اضعاف واحد زمان (ثانیه) عبارتند از : دقیقه، ساعت و روز، و واحد کوچکتر ثانیه میلی‌ثانیه است.

شکل ۱۵ــ۲ ضریب تبدیل و علایم اختصاری آن‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۱۵ــ۲ــ اجزا و اضعاف واحد زمان

توجّه: در مواردی که هدف نشان دادن مدت زمان باشد علایم اختصاری را در سمت راست عدد مربوط می‌نویسند.

در صورتی که هدف نشان دادن زمان باشد، علایم اختصاری بالای عدد مربوطه نوشته می‌شود.

مثال: ساخت یک قطعه ۱۱ ساعت و ۲۵ دقیقه طول می‌کشد. ۱۱ h و ۲۵ min

ساخت قطعه در ساعت ۱۱ و ۲۵ دقیقه تمام می‌شود. 11^{h} و 25^{min}

۳ــ۲ــ۲ــ چهار عمل اصلی زمان: عملیات چهار عمل اصلی در محاسبات زمان مشابه زوایا است.

تقسیم	ضرب	تفریق	جمع
۴۸h۳۴min۱۵s:۵	۱۸h۲۴min۳۶s×۴	۷۲h۱۲min۸s	۳۶h۴۸min۵۲s
۴۵h:۵=۹h	۷۲h۹۶min۱۴۴s	−۴۸h۲۵min۱۳s	+۱۵h۳۴min۱۵s
+۲۱۰min:۵=۴۲min	=۷۲h۹۸min۲۴s	۷۱h۷۱min۶۸s	=۵۱h۸۲min۶۷s
+۲۵۵s:۵=۵۱s	**=۷۳h۳۸min۲۴s**	−۴۸h۲۵min۱۳s	=۵۱h۸۳min۷s
=۹h۴۲min۵۱s		**=۲۳h۴۶min۵۵s**	**=۵۲h۲۳min۷s**

۴ــ۲ــ۲ــ تبدیل اضعاف واحد زمان

$۱\min = ۱h : ۶۰ = ۰/۰۱۶۶۶۷h$

$۱s = ۱h : ۳۶۰۰ = ۰/۰۰۰۲۷۸h$

$۰/۱h = ۰/۱ \times ۶۰\min = ۶\min$

$۰/۱\min = ۰/۱ \times ۶۰s = ۶s$

مسأله نمونه۱: $۲۶h,۱۸\min,۵۶s$ را به اعشاری تبدیل کنید.

حلّ:

$$\begin{array}{lll} ۲۶h & = ۲۶/۰۰۰۰h \\ +۱۸\min & = ۱۸ \times ۰/۰۱۶۶۶۷h = ۰/۳۰۰۰h \\ +۵۶s & = ۵۶ \times ۰/۰۰۰۲۷۸h = ۰/۰۱۵۶h \\ \hline ۲۶h۱۸\min ۵۶s & = ۲۶/۳۱۵۶h \end{array}$$

مسأله نمونه۲: $۸/۳۲h$ را به‌صورت ساعت، دقیقه و ثانیه بنویسید.

حلّ:

$$\begin{array}{lll} ۸h & \rightarrow ۸h \\ ۰/۳۲h = ۰/۳۲ \times ۶۰\min = ۱۹/۲\min & \rightarrow & ۱۹\min \\ ۰/۲\min = ۰/۲ \times ۶۰s = ۱۲s & \rightarrow & ۱۲s \\ \hline ۸/۳۲h & = ۸h۱۹\min ۱۲s \end{array}$$

تمرین‌ها

۱ــ زمان‌های داده شده را به ثانیه تبدیل کنید.

الف) $\frac{۱}{۴}\min$ ب) $\frac{۱}{۳۰}\min$ ج) $۱/۷\min$ د) $۵۷\frac{۳}{۴}\min$

۲ــ زمان‌های داده شده را به دقیقه تبدیل کنید.

الف) $۴۵s$ ب) $۵۳۴s$ ج) $۲\frac{۱}{۴}h$ د) $۱۰\frac{۵}{۶}h$

۳ــ زمان‌های زیر را به‌صورت ساعت، دقیقه و ثانیه نشان دهید.

الف) $۳۶۶۱s$ ب) $۸۴۶۰s$ ج) $۹۴۹۸s$ د) $۳۷۸۵۰s$

۴ــ حاصل عملیات زیر را به‌صورت ساعت، دقیقه و ثانیه به‌دست آورید.

الف) $۱۲h + ۲۳۸\min + ۱۳۲s$

ب) $(۲h۲۱\min ۴۵s) \times ۶$

ج) $(۳۳h۱۲\min ۴۸s):۸$

د) $۲h۳۰\min\times۷+۱h۳۲\min\times۵$

۵ــ در مدت $۸\frac{۱}{۲}h$ یک ماشین قالب‌گیری، ۶۰ قالب را آماده می‌کند. برای تولید هر قالب چه زمانی صرف می‌شود؟

۶ــ مدلسازی برای تولید یک مدل زمان‌های زیر را مصرف کرده است :

نقشه‌خوانی و خط‌کشی ۱۲ min و ۱ h، تهیه چوب و برش آن‌ها ۲۷ min و ۱ h، کار روی مدل ۴۲ min و ۵ h، و رنگ‌کاری ۲۸ min. زمان تولید مدل را به‌دست آورید.

۷ــ در یک کارگاه ریخته‌گری کارگرها از ساعت ۴۵^{min} و ۶^{h} تا ۳۰^{min} و ۱۶^{h} کار می‌کنند. زمان استراحت از ساعت ۱۰^{min} و ۹^{h} تا ۲۵^{min} و ۹^{h} و زمان ناهار و نماز از ساعت ۴۵^{min} و ۱۲^{h} تا ۴۵^{min} و ۱۳^{h} طول می‌کشد. مطلوب است محاسبه :

الف) مدت زمان کار کارگرها

ب) مدت زمان هفتگی کار کارگرها (کار هفتگی ۵ روز است).

فصل سوم

کاربرد محاسبات سطوح در حلّ مسایل فنی

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود :

۱ــ واحد اندازه‌گیری سطح در سیستم SI را نام ببرد.

۲ــ تبدیلات مربوط به اجزای واحد سطح را انجام دهد.

۳ــ مساحت سطوح هندسی ساده و مرکب را محاسبه کند.

۴ــ دور ریز و درصد آن را محاسبه کند.

۳ــ کاربرد محاسبات سطوح در حل مسایل فنّی

۱ــ۳ــ واحد اندازه‌گیری سطح

واحد اندازه‌گیری سطح در سیستم SI، مترمربع است، و آن برابر سطح مربعی است که طول و عرض آن یک متر باشد.

۲ــ۳ــ اجزا و اضعاف مترمربع

اجزا و اضعاف مترمربع در شکل ۱ــ۳ نشان داده شده است. شایان توجه است که ضریب تبدیل در اجزا و اضعاف مترمربع عدد ۱۰۰ است.

شکل ۱ــ۳ــ اجزا و اضعاف مترمربع

از واحد هکتار برای سنجش سطح زمین‌های بزرگ و از کیلومترمربع برای سنجش سطح کشورها استفاده شود.

۳ــ۳ــ روابط سطوح هندسی قطعات گوشه‌دار

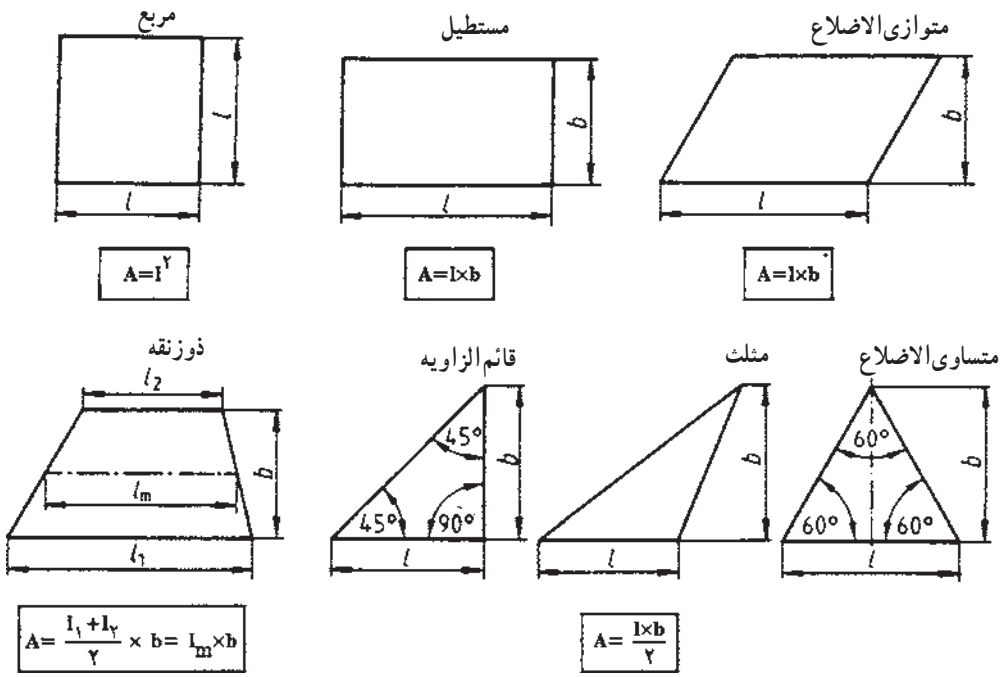
در شکل ۲ــ۳ روابط سطوح هندسی به عنوان یادآوری داده شده است تا در محاسبه سطح قطعات صنعتی که معمولاً سطوح مرکب هستند، مورد استفاده قرار گیرد.

علایم اختصاری

A = مساحت

l = طول

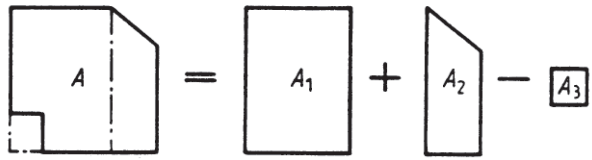
l_m = طول متوسط



شکل ۲ــ۳ــ مساحت سطوح هندسی گوشه‌دار

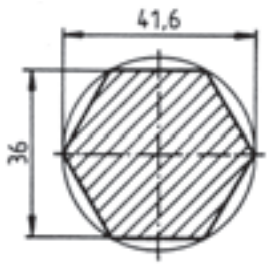
۱ــ۳ــ۳ــ محاسبه مساحت سطوح مرکب: برای محاسبه سطوح مرکب، ابتدا سطح آن‌ها را به سطوح هندسی تفکیک می‌کنیم و پس از محاسبه سطح هر یک از آن‌ها، با جمع جبری مقادیر سطوح

هندسی، مساحت سطح مرکب را به دست می‌آوریم (شکل ۳ــ۳).



$$A = A_1 + A_2 - A_3$$

شکل ۳ــ۳ــ سطح مرکب



شکل ۴ــ۳

مسأله نمونه: مساحت سطح هاشورخورده در قطعه مطابق شکل ۴ــ۳ را به دست آورید.

حلّ: سطح هاشورخورده را به شش مثلث و یا دو ذوزنقه تقسیم می‌کنیم.

$A = \text{مساحت ذوزنقه} \times ۲$

$A = \frac{l_۱ + l_۲}{۲} \times b \times ۲$

$A = \frac{(۴۱/۶ + ۲۰/۸)mm}{۲} \times ۱۸mm \times ۲$

$A = ۱۱۲۳/۲mm^۲$

یا

$A = \text{مساحت مثلث} \times ۶$

$A = \frac{l \times b}{۲} \times ۶$

$A = \frac{۲۰/۸mm \times ۱۸mm}{۲} \times ۶$

$A = ۱۱۲۳/۲mm^۲$

تمرین‌ها

۱ــ عوامل مجهول در جدول روبه‌رو را به دست آورید :

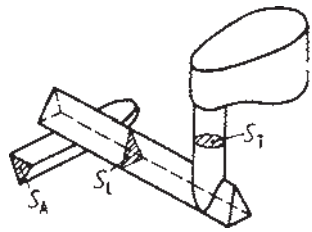
$mm^۲$	$cm^۲$	$dm^۲$	$m^۲$
۳۵۰۰۰	۳۵۰	۳/۵	۰/۰۳۵
?	?	?	۲/۵
?	?	۱۶۸	?
?	۲۱۴۰	?	?
۱۸۵۱۹	?	?	?
?	?	?	۰/۰۰۰۰۸۶
?	?	۰/۸۷	?

۲ــ حاصل عبارات زیر را به دست آورید :

الف) $۲۳۷/۵mm^۲ + ۱۹۳/۸cm^۲ + ۴/۳۲dm^۲ + ۳۵۲۴/۳cm^۲ = ?cm^۲$

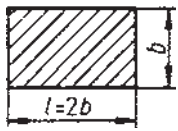
ب) $۲۲/۵m^۲ - ۷۰/۵dm^۲ - ۰/۳۲dm^۲ - ۸۳۷۵mm^۲ = ?m^۲$

توجه: مسایل ۳ تا ۶ در ارتباط با سیستم راهگاهی طرح شده‌اند با توجه به شکل ۵ــ۳ که یک سیستم راهگاهی را نشان می‌دهد، آن‌ها را حل کنید.



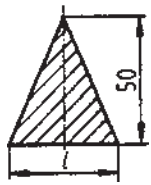
S_T = سطح مقطع لولهٔ راهگاه
S_L = سطح مقطع راهبار
S_A = سطح مقطع راهباره

شکل ۵ــ۳ــ سیستم راهگاهی



شکل ۶ــ۳

۳ــ طول و عرض مقطع راهبار شکل ۶ــ۳ را به دست آورید. اگر مساحت مقطع آن ۱۲۵۰ میلیمتر مربع باشد.

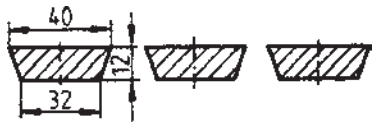


شکل ۷ــ۳

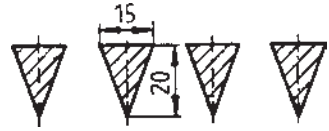
۴ــ اگر مساحت مقطع راهبار شکل ۷ــ۳، ۷۵۰ میلیمتر مربع باشد، اندازهٔ l را به دست آورید.

۵ــ مساحت محل مقاطع راهباره شکل ۸ــ۳ را به دست آورید.

۶ــ مساحت کل کانال‌های راهبار شکل ۹ــ۳ را به دست آورید.



شکل ۹ــ۳



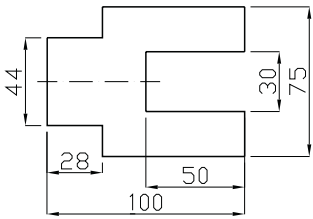
شکل ۸ــ۳

۷ــ از یک الوار ۶۰۰mm×۱۰۰mm تعداد ۸ قطعه مثلث متساوی‌الاضلاع با طول قاعده $l=۱۰۰mm$ و عرض $b=۹۰mm$ بریده خواهد شد. چند میلیمتر مربع از الوار دور ریخته می‌شود؟

۸ــ صفحه راهنمای مطابق شکل ۱۰ــ۳ از ورق به ابعاد ۱۰۵mm×۸۰mm ساخته شده است. مطلوب است محاسبه :

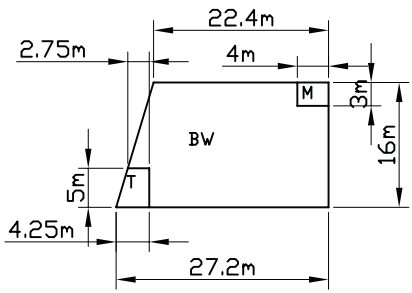
الف) مساحت قطعه تمام شده

ب) سطح دورریز برحسب سانتیمترمربع



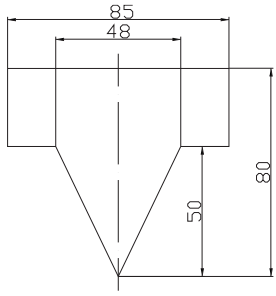
شکل ۱۰ــ۳

۹ــ مساحت کارگاه (BW) را بدون درنظر گرفتن سطح دستشویی (T) و اتاق استادکار (M) به‌دست آورید (شکل ۱۱ــ۳).



شکل ۱۱ــ۳

۱۰ــ مساحت شابلن راهباره شکل ۱۲ــ۳ را به‌دست آورید.



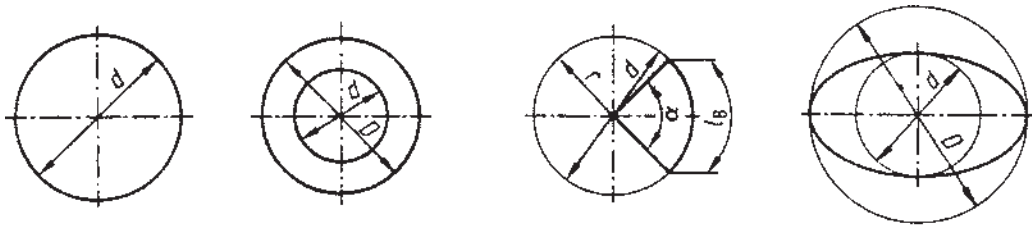
شکل ۱۲ــ۳

۴ــ۳ــ روابط سطوح قطعات قوسدار

در شکل ۱۳ــ۳ روابط مربوط به محاسبه سطح قطعات قوسدار را مشاهده می‌کنید.

علایم اختصاری

d = قطر یا قطر کوچک	l_B = طول قوس	D = قطر بزرگ
s = طول وتر	α° = زاویه مرکزی	h = ارتفاع وتر



دایره

$$A = \frac{d^2 \times \pi}{4}$$

تاج دایره

$$A = \frac{D^2 \times \pi}{4} - \frac{d^2 \times \pi}{4}$$

$$A = (D^2 - d^2) \times \frac{\pi}{4}$$

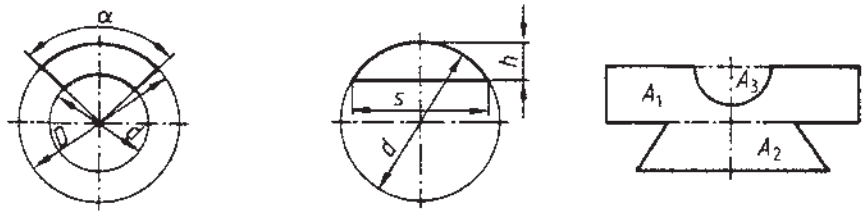
قطاع دایره

$$A = \frac{d^2 \times \pi}{4} \times \frac{\alpha}{360^\circ}$$

$$A = \frac{l_B \times r}{2}$$

بیضی

$$A = \frac{D \times d \times \pi}{4}$$



قطاع تاج دایره

$$A = (D^2 - d^2) \times \frac{\pi}{4} \times \frac{\alpha}{360^\circ}$$

قطعه دایره

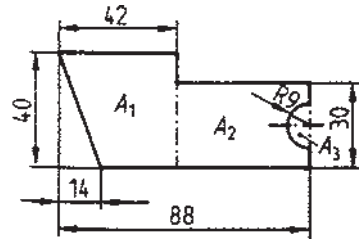
$$A \approx \frac{2}{3} s \times h$$

قطعه مرکب

$$A = A_1 + A_2 - A_3$$

شکل ۱۳ــ۳ــ روابط سطوح هندسی قوسدار

مسأله نمونه: مساحت قطعه مطابق شکل ۱۴ــ۳ را بر حسب میلیمتر مربع به دست آورید.



شکل ۱۴ــ۳

$$A = A_1 + A_2 - A_3$$

$$A_1 = \frac{l_1 + l_2}{2} \times b \text{ (ذوزنقه)} = \frac{(42 + 28)mm}{2} \times 40mm = 1400mm^2$$

$$A_2 = l \times b \text{ (مستطیل)} = 46mm \times 30mm = 1380mm^2$$

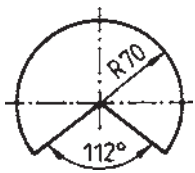
$$A_3 = d^2 \times \frac{\pi}{4} \times \frac{1}{2} \text{ (نیمدایره)} = (18mm)^2 \times \frac{\pi}{4} \times \frac{1}{2} = 127/2mm^2$$

$$A = (1400 + 1380 - 127/2)mm^2 = 2652/8mm^2$$

تمرین‌ها

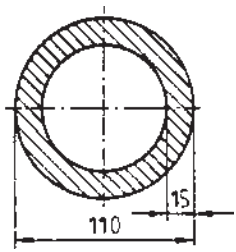
۱ــ سطح مقطع لوله راهگاه در یک قالب $\frac{1}{3}$ سطح مقطع راهبار پیش‌بینی شده است. اگر سطح مقطع راهبار ۲۱۱۹/۵ میلیمتر مربع باشد، قطر لوله راهگاه را به‌دست آورید.

۲ــ سطح گسترده یک مخروط در شکل ۱۵ــ۳ نشان داده شده است. مقدار آن را برحسب سانتیمتر مربع به دست آورید.



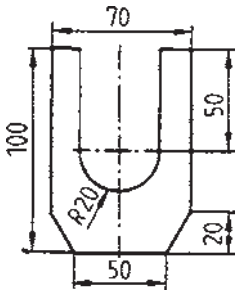
شکل ۱۵ــ۳

۳ــ سطح مقطع شکل ۱۶ــ۳ چه نیرویی را می‌تواند تحمل کند؟ اگر یک سانتیمتر مربع آن بتواند ۸۵۰۰ نیوتن نیرو را تحمل کند.



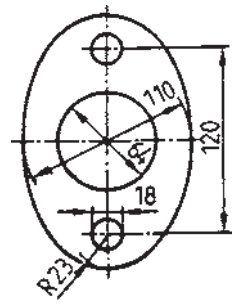
شکل ۱۶ــ۳

۴ــ جرم قطعه شکل ۱۷ــ۳ چند کیلوگرم است؟ اگر ۱ دسیمترمربع از آن ۱/۲ کیلوگرم جرم داشته باشد.

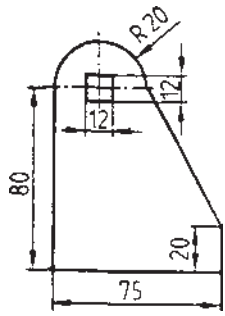


شکل ۱۷ــ۳

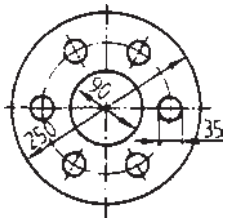
۵ــ مساحت قطعه شکل ۱۸ــ۳ را برحسب سانتیمتر مربع به دست آورید.
۶ــ مساحت تکیه‌گاه گونیایی شکل ۱۹ــ۳ را برحسب میلیمترمربع به‌دست آورید.
۷ــ سطح فلانج شکل ۲۰ــ۳ را برحسب دسیمتر مربع به‌دست آورید.



شکل ۱۸ــ۳



شکل ۱۹ــ۳



شکل ۲۰ــ۳

۵ــ۳ــ ریخت و ریز و درصد آن

برای تعیین قیمت مواد اولیه یک قطعه تولیدی لازم است ماده اولیه به کار رفته در آن و همچنین دورریز ماده محاسبه شود.

تفاوت ماده خام از ماده به کار رفته در قطعه تولیدی را دورریز می‌نامیم. برای محاسبه دورریز از رابطه زیر استفاده می‌شود :

علایم اختصاری

M_R = مقدار ماده خام

M_F = مقدار قطعه تولیدی

M_V = دورریز

$$M_R = M_F + M_V$$

$$M_F = M_R - M_V$$

$$M_V = M_R - M_F$$

از رابطه دورریز در موارد زیر استفاده می‌شود :

ــ **دورریز سطحی:** در برش چوب، صفحات و ورق‌ها

ــ **دورریز طولی:** در برش الوارهای چوبی و پروفیل‌ها

ــ **دورریز حجمی:** در ساخت مدل‌ها

در اکثر موارد دورریز برحسب درصد محاسبه می‌شود.

$$\%M_V = \frac{M_V \times ۱۰۰}{M_F}$$

مسأله نمونه ۱: از یک میله فولاد نقره به طول ۲ متر و قطر ۱۰ میلیمتر قطعات ۸۵cm، ۲۰۰mm، ۴۳cm، ۲۷۰mm، ۸۰mm و ۱۲۵ میلیمتری بریده خواهد شد. پهنای شیار اره ۳ میلیمتر بوده و بقیه میله دور ریخته می‌شود. حساب کنید درصد دورریز را.

حلّ:

$$M_F = (۸۵۰ + ۲۰۰ + ۴۳۰ + ۲۷۰ + ۸۰ + ۱۲۵)mm$$

$$M_F = ۱۹۵۵mm$$

$$M_V = M_R - M_F = (۲۰۰۰ - ۱۹۵۵)mm$$

$$M_V = ۴۵mm$$

$$\%M_V = \frac{M_V \times ۱۰۰}{M_F} = \frac{۴۵mm \times ۱۰۰}{۱۹۵۵mm}$$

$$M_V = ۲/۳\%$$

مسأله نمونه۲: قطعهٔ اتصال شکل ۲۱ــ۳ از ورقی به ابعاد $۱۳۶mm \times ۸۵mm$ بریده می‌شود. سطح ماده اولیه، سطح قطعه تمام شده، سطح و درصد دورریز را محاسبه کنید.

حلّ:

$$M_R = ۱۳/۶cm \times ۸/۵cm$$

$$M_R = ۱۱۵/۶cm^۲$$

$$M_F = ۲ \times A_۱ + A_۲$$

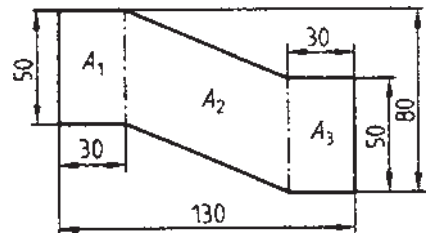
$$M_F = ۲cm \times ۳cm \times ۵cm + ۵cm \times ۷cm$$

$$M_F = (۳۰ + ۳۵)cm^۲$$

$$M_F = ۶۵cm^۲$$

$$M_V = M_R - M_F = (۱۱۵/۶ - ۶۵)cm^۲$$

$$M_V = ۵۰/۶cm^۲$$



شکل ۲۱ــ۳

$$\%M_V = \frac{M_V \times ۱۰۰}{M_F} = \frac{۵۰/۶cm^۲ \times ۱۰۰}{۶۵cm^۲}$$

$$M_V = ۷۷/۸۵\%$$

تمرین‌ها

۱ــ عوامل مجهول در جدول زیر را مشخص کرده و در محل‌های تعیین شده بنویسید.

	M_F	M_R	$\%M_V$
۱.	۲/۹۷m	۳/۱۵m	?٪
۲.	۲/۵۰m	?m	۹/۵٪
۳.	۹۷cm	۱/۱۲m	?٪
۴.	?m	۲/۲۰m	۸٪

۲ــ چهار الوار چوبی هر کدام به طول ۳/۸۵ متر بریده خواهند شد. برای این منظور ۲ الوار ۴ متری، یک الوار ۴/۲۵ متر و یک الوار ۴/۵ متر در دسترس است. درصد ریخت و ریز را به دست آورید.

۳ــ از یک لوله آلومینیم به طول ۳/۶ متر ۸ قطعه با طول‌های مساوی و با شیار برش ۳ میلیمتر بریده خواهد شد. طول قطعه باقیمانده ۳/۶ سانتیمتر است. مطلوب است محاسبه :

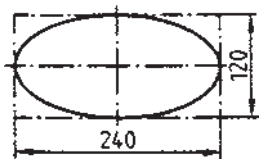
الف) طول دورریز

ب) طول قطعات تمام شده

ج) درصد دورریز

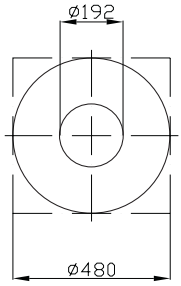
۴ــ از یک صفحه به ابعاد $۲۵۰۰mm \times ۱۲۵۰mm$، تعداد ۱۶ قطعه با ابعاد $۶۰۰mm \times ۳۰۰mm$ بریده خواهد شد. دورریز را برحسب مترمربع و درصد محاسبه کنید.

۵ــ درصد ریخت و ریز قطعه نشان داده شده در شکل ۳ــ۲۲ را به دست آورید.



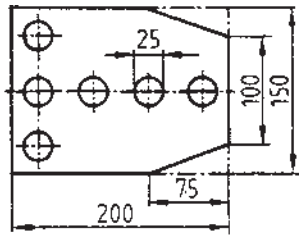
شکل ۳ــ۲۲

۶ــ درصد ریخت و ریز قطعه نشان داده شده درشکل ۲۳ــ۳ را به‌دست آورید.



شکل ۲۳ــ۳

۷ــ درصد ریخت و ریز قطعه نشان داده شده درشکل ۲۴ــ۳ را به‌دست آورید.



شکل ۲۴ــ۳

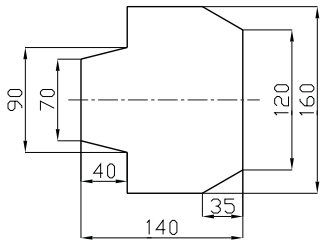
۸ــ از چهار عدد قطاع دایره شکل ۲۵ــ۳ صفحه چوبی مدور به قطر ۳۲۰ میلیمتر ساخته خواهد شد. قطاع‌ها روی چوبی به ابعاد ۷۶۰mm×۱۷۰mm خط‌کشی و بریده می‌شوند. درصد دورریز را به‌دست آورید.

شکل ۲۵ــ۳

۹ــ طوقه چوبی با قطر بزرگ ۲۴۰ میلیمتر و قطر کوچک ۱۸۰ میلیمتر از ۶ عدد قطاع شکل ۲۶ــ۳ ساخته خواهد شد اگر برای برش هر قطاع از تخته‌ای به ابعاد ۲۸۰mm×۱۰۵mm استفاده شود، درصد دورریز را به دست آورید.

شکل ۲۶ــ۳

۱۰ــ درصد دورریز برای ساخت شابلن شکل ۲۷ــ۳ را به دست آورید. اگر برای ساخت آن از چوب ۱۸۰mm×۱۶۰mm استفاده شود.



شکل ۲۷ــ۳

فصل چهارم

کاربرد محاسبات احجام هندسی در حلّ مسایل فنی

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود :

۱ــ واحد اندازه‌گیری حجم در سیستم SI را نام ببرد.

۲ــ تبدیلات مربوط به اجزای واحد حجم را انجام دهد.

۳ــ سطح کل و سطح جانبی احجام هندسی (مکعب، منشور، هرم و...) را محاسبه کند.

۴ــ حجم احجام هندسی (مکعب، منشور، استوانه، هرم، مخروط و کره) را محاسبه کند.

۵ــ حجم احجام مرکب را به دست آورد.

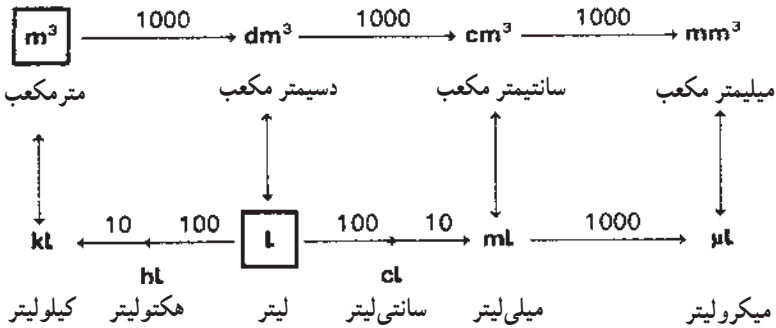
۴ــ کاربرد محاسبات احجام هندسی در حلّ مسایل فنی

۱ــ۴ــ واحد اندازه‌گیری حجم در سیستم SI

واحد اندازه‌گیری حجم در سیستم SI مترمکعب بوده و عبارت است از حجم مکعبی که طول، عرض و ارتفاع آن ۱ متر باشد.

۱ــ۱ــ۴ــ اجزا و اضعاف واحد حجم: برای اندازه‌گیری احجام توپر از اجزاء واحد حجم مانند دسیمتر مکعب، سانتیمتر مکعب و میلیمتر مکعب استفاده می‌شود. شکل ۱ــ۴ ضمن معرفی اجزا و اضعاف واحد حجم، روش تبدیل آن‌ها به یکدیگر را نیز نشان می‌دهد.

برای سنجش حجم مایعات از واحدی به نام لیتر استفاده می‌شود. در شکل ۱ــ۴ اجزا و اضعاف لیتر نشان داده شده است.



شکل ۱ــ۴ ــ اجزا و اضعاف مترمکعب

۲ــ۴ــ محاسبه سطح جانبی و سطح کل احجام هندسی

علایم اختصاری

h = ارتفاع وجه h_s ارتفاع

A = سطح قاعده

A_1 = سطح قاعده پایینی

A_2 = سطح قاعده بالایی

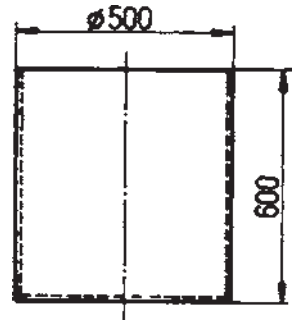
A_M = سطح جانبی

Ao = سطح کل

U_g = محیط قاعده

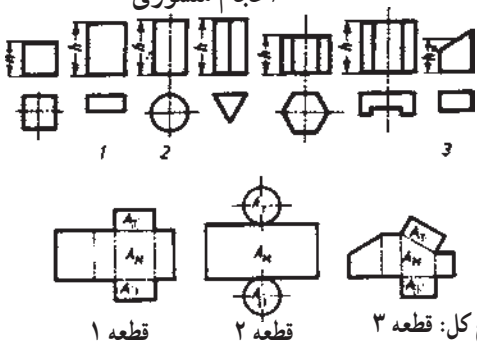
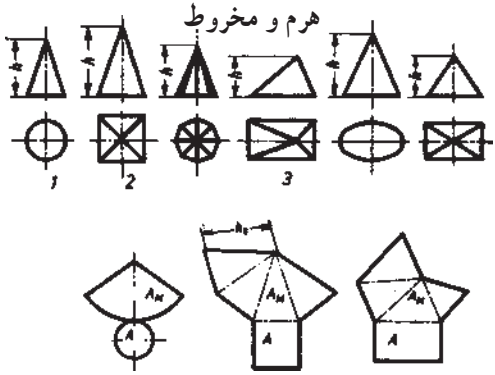
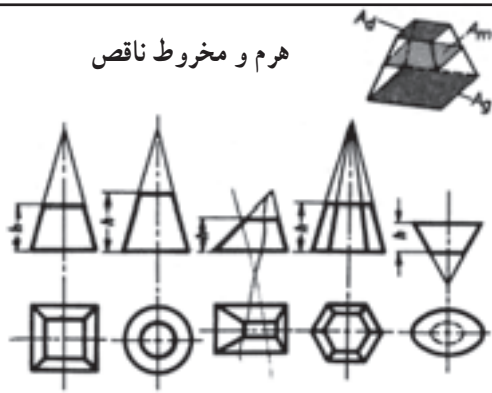
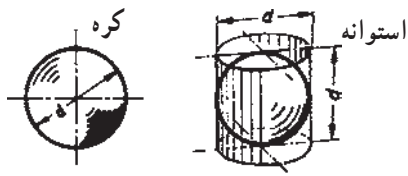
در جدول ۱ــ۴ روابط سطح جانبی و سطح کل احجام هندسی را مشاهده می‌کنید.

مسأله نمونه: منبعی مطابق شکل ۲ــ۴ از ورق آهنی ساخته خواهد شد. مطلوب است محاسبه : سطح ورق مورد نیاز برای ساخت آن (M_R) در صورتی که مقدار دورریز ۸ درصد منظور شود.



شکل ۲ــ۴

جدول ۱ــ۴ــ سطح جانبی و سطح کل احجام هندسی

ارتفاع × محیط قاعده = سطح جانبی $A_M = U_g \times h$ + سطح قاعدهٔ پایین = سطح کل سطح قاعده بالا + سطح جانبی $A_o = A_1 + A_M + A_2$	احجام منشوری  سطح کل: قطعه ۳ قطعه ۲ قطعه ۱
نصف ارتفاع وجه × محیط قاعده = سطح جانبی $A_M = U_g \times \frac{h_s}{2}$ سطح جانبی + سطح قاعده = سطح کل $A_o = A + A_M$	هرم و مخروط  سطح کل: قطعه ۳ قطعه ۲ قطعه ۱
× محیط قاعده متوسط = سطح جانبی ارتفاع وجه $A_M = \frac{U_1 + U_2}{2} \times h_s$ + سطح قاعده = سطح کل سطح سقف + سطح جانبی $A_o = A_1 + A_M + A_2$	هرم و مخروط ناقص 
سطح جانبی استوانه محیطی = سطح کل $A_o = \pi \times d \times d = \pi d^2 = 4\pi r^2$ ارتفاع × محیط قاعده = سطح جانبی $A_M = 2\pi r \times h$	کره استوانه 
$A = \frac{\pi}{2} D(D - \sqrt{D^2 - d^2})$ = سطح عرقچین D قطر کره و d قطر عرقچین	عرقچین کروی

حلّ:

$$A_O = A_M + A$$

$$A_M = U_g \times h = ۳/۱۴ \times ۵۰۰mm \times ۶۰۰mm = ۹۴۲۰۰۰mm^۲$$

$$A = \frac{\pi \times d^۲}{۴} = \frac{۳/۱۴ \times (۵۰۰mm)^۲}{۴} = ۱۹۶۲۵۰mm^۲$$

$$A_O = ۹۴۲۰۰۰mm^۲ + ۱۹۶۲۵۰mm^۲ = ۱۱۳۸۲۵۰mm^۲ = ۱/۱۳۸۲۵m^۲$$

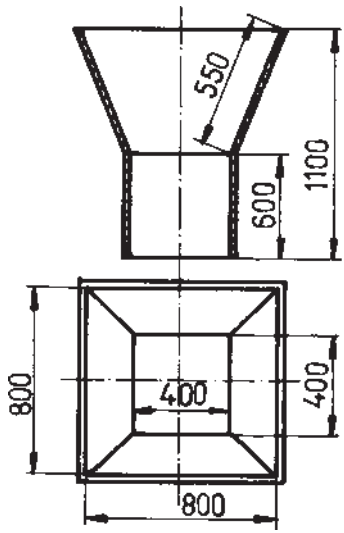
$$٪M_V = \frac{M_V \times ۱۰۰}{M_F} \Rightarrow ۸ = \frac{M_V \times ۱۰۰}{۱/۱۳۸۲۵m^۲} \Rightarrow M_V = \frac{۸ \times ۱/۱۳۸۲۵m^۲}{۱۰۰} = ۰/۰۹۱۰۶m^۲$$

$$M_R = M_F + M_V = ۱/۱۳۸۲۵m^۲ + ۰/۰۹۱۰۶m^۲ = ۱/۲۲۹۳۱m^۲$$

۱ــ۲ــ۴ــ محاسبه سطح جانبی و سطح کل احجام مرکب: برای محاسبه سطح احجام مرکب، ابتدا آن‌ها را به احجام هندسی تفکیک کرده و پس از محاسبه سطح هر یک از آن‌ها، با جمع جبری مقادیر حاصل، سطح حجم مرکب را به دست می‌آوریم.

مسأله نمونه: سطح جانبی قیف مطابق شکل ۳ــ۴ را برحسب مترمربع به دست آورید.

حلّ:



شکل ۳ــ۴

$$A_M = A_{M۱} + A_{M۲}$$

$$A_{M۱} = U_g \times h = ۰/۴m \times ۴ \times ۰/۶m = ۰/۹۶m^۲$$

$$A_{M۲} = ۴(\frac{a+b}{۲} \times h)$$

$$A_{M۲} = ۴(\frac{۰/۴ + ۰/۸}{۲} \times ۰/۵)$$

$$A_{M۲} = ۱/۲m^۲$$

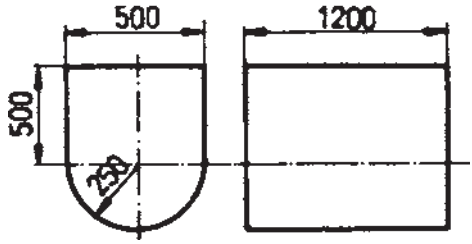
$$A_M = ۰/۹۶m^۲ + ۱/۲m^۲ = ۲/۱۶m^۲$$

تمرین‌ها

۱ــ جدول زیر را کامل کنید.

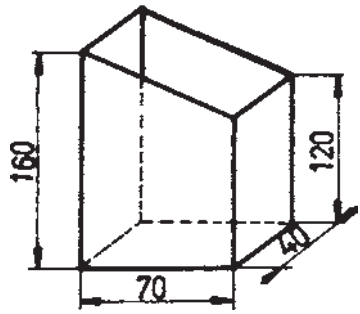
m^3	dm^3	cm^3	mm^3
۰/۰۳۵	۳۵/۰	۳۵۰۰۰	۳۵۰۰۰۰۰
۲/۵	?	?	?
?	۱۶۸	?	?
?	?	۲۱۴۰	?
?	?	?	۱۸۵۱۹
۰/۰۰۰۰۸۶	?	?	?
?	۰/۸۷	?	?

۲ــ سطح کل منبع مطابق شکل ۴ــ۴ را برحسب دسیمترمربع به‌دست آورید.



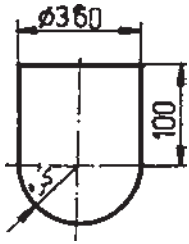
شکل ۴ــ۴

۳ــ سطح کل منبع مطابق شکل ۵ــ۴ را برحسب سانتیمترمربع به‌دست آورید.



شکل ۵ــ۴

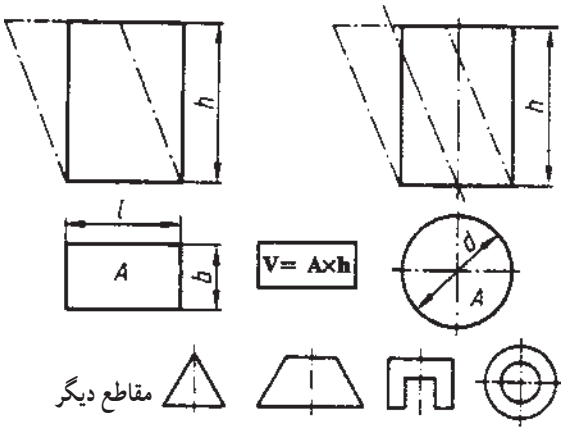
۴ــ سطح کل منبع مطابق شکل ۶ــ۴ را برحسب میلیمترمربع به‌دست آورید.



شکل ۶ــ۴

۳ــ۴ــ محاسبه حجم احجام هندسی

۱ــ۳ــ۴ــ منشور و استوانه (شکل ۷ــ۴)



شکل ۷ــ۴

علایم اختصاری

V = حجم

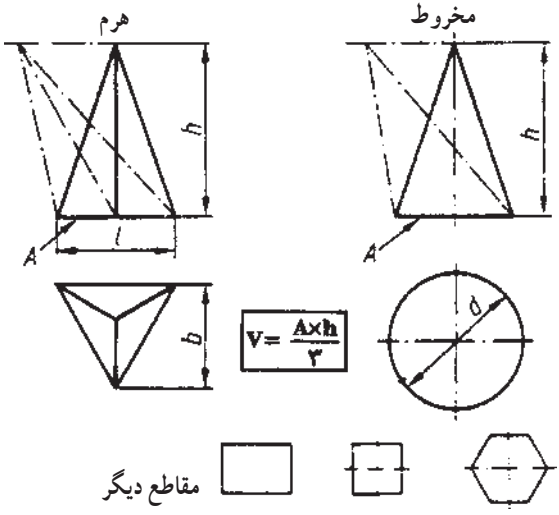
d = قطر کوچک یا قطر داخلی

D = قطر بزرگ یا قطر خارجی

A = سطح قاعده

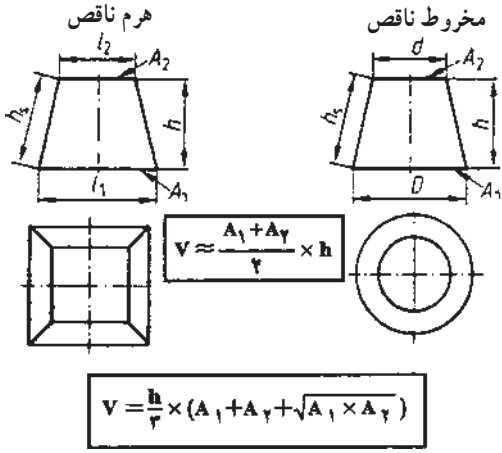
h = ارتفاع

۲ــ۳ــ۴ــ مخروط و هرم (شکل ۸ــ۴)



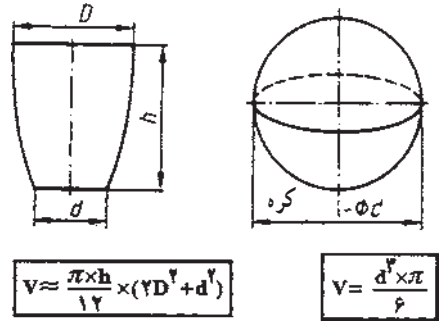
شکل ۸ــ۴

۳ــ۳ــ۴ــ مخروط و هرم ناقص (شکل ۹ــ۴)

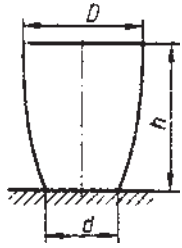


شکل ۹ــ۴

۴ــ۳ــ۴ــ کره و بوته ریخته‌گری (شکل ۱۰ــ۴)



شکل ۱۰ــ۴



شکل ۱۱ــ۴

مسأله نمونه: بوته ریخته‌گری شکل ۱۱ــ۴ در دسترس است. مطلوب است محاسبه :

الف) حجم آن برحسب مترمکعب و لیتر اگر قطر بزرگ ۶۰۰ میلیمتر، قطر کوچک ۴۰۰ میلیمتر و ارتفاع آن ۱۱۰۰ میلیمتر باشد.

ب) چند قطعه به حجم $V_C = ۶۴/۵dm^۳$ را می‌توان به وسیله آن ریخته‌گری کرد؟ اگر ۸۵ درصد حجم آن پر باشد و ۱۰ درصد مذاب در بوته باقی بماند.

حلّ:

الف) $V \approx \frac{h \times \pi}{۱۲}(۲D^۲ + d^۲) \approx \frac{۱/۱m \times ۳/۱۴}{۱۲}(۲ \times ۰/۶^۲ + ۰/۴^۲)m^۲ \approx ۰/۲۵۳۲m^۳$

$\approx ۲۵۳/۲l$

$٪۱۰۰ - ٪۱۰ = ٪۹۰$

ب) $V_M = ٪۹۰(V \times ٪۸۵) = ۰/۹۰(۲۵۳/۲ \times ۰/۸۵) = ۱۹۳/۷dm^۳$

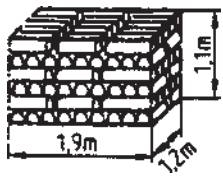
تعداد قطعه $= \frac{V_M}{V_C} = \frac{۱۹۳/۷}{۶۴/۵} \approx ۳$

تمرین‌ها

۱ــ با توجه به شکل ۱۲ــ۴ مطلوب است محاسبه :

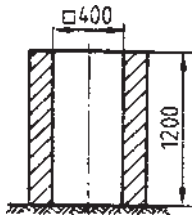
الف) حجم اشغالی توسط لوله‌های فولادی

ب) جرم جعبه اگر هر مترمکعب آن ۴۰۰۰ کیلوگرم جرم داشته باشد.



شکل ۱۲ــ۴

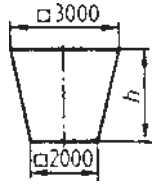
۲ــ کوکیل شکل ۱۳ــ۴ اگر تا ۹۰ درصد ارتفاع آن از مذاب پر شود می‌تواند چند دسیمتر مکعب مذاب را در خود جای دهد؟



شکل ۱۳ــ۴

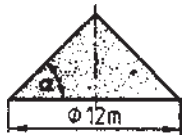
۳ــ نسبت حجم دو مکعب $V_۱ : V_۲ = ۲:۳$ است. اگر طول ضلع مکعب اوّلی $s_۱ = ۵۲mm$ باشد. حجم $V_۱$ و $V_۲$ را برحسب سانتیمترمکعب به‌دست آورید.

۴ــ بونکر ماسه شکل ۱۴ــ۴ باید ۲۰ تن ماسه را در خود جای دهد. اگر هر تن ماسه به یک مترمکعب فضا نیاز داشته باشد، ارتفاع بونکر را به دست آورید.



شکل ۱۴ــ۴

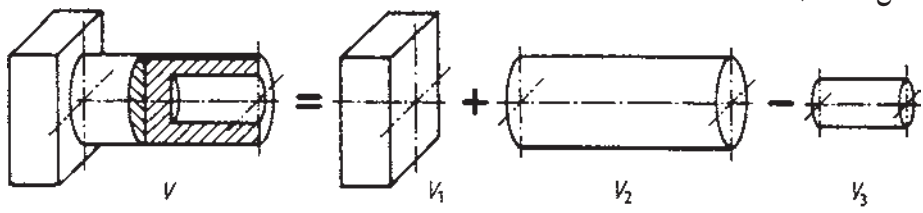
۵ــ مخزن مخروطی شکل ۱۵ــ۴ گنجایش چند مترمکعب ماسه را دارد؟ زاویه شیب آن $\alpha = ۴۵^\circ$ است.



شکل ۱۵ــ۴

۴ــ۴ــ محاسبه حجم احجام مرکب

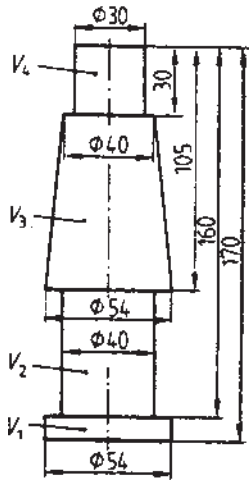
حجم احجام مرکب از تجزیه حجم مرکب به احجام هندسی و جمع جبری آن‌ها به دست می‌آید (شکل ۱۶ــ۴).



$$V = V_۱ + V_۲ - V_۳$$

شکل ۱۶ــ۴

مسأله نمونه: برای تولید ۸۰ عدد ماهیچه شکل ۱۷ــ۴ چند دسیمتر مکعب ماسه ماهیچه مورد نیاز است؟



شکل ۱۷ــ۴

حلّ:

$$V = (V_۱ + V_۲ + V_۳ + V_۴) \times ۸۰$$

$$V_۱ = d^۲ \times ۰/۷۸۵ \times h = (۰/۵۴dm)^۲ \times ۰/۷۸۵ \times ۰/۱dm$$

$$V_۱ = ۰/۰۲۲۹dm^۳$$

$$V_۲ = d^۲ \times ۰/۷۸۵ \times h = (۰/۴dm)^۲ \times ۰/۷۸۵ \times ۰/۵۵dm$$

$$V_۲ = ۰/۰۶۹۱dm^۳$$

$$V_۳ = \frac{A_۱ + A_۲}{۲} \times h$$

$$A_۱ = D^۲ \times ۰/۷۸۵ = (۰/۵۴dm)^۲ \times ۰/۷۸۵ = ۰/۲۲۹dm^۲$$

$$A_۲ = d^۲ \times ۰/۷۸۵ = (۰/۴dm)^۲ \times ۰/۷۸۵ = ۰/۱۲۶dm^۲$$

$$V_{۳}=\frac{(۰/۲۲۹+۰/۱۲۶)dm^{۲}}{۲}\times ۰/۷۵dm$$

$$V_{۳}=۰/۱۳۳۱dm^{۳}$$

$$V_{۴}=d^{۲}\times ۰/۷۸۵\times h=(۰/۳dm)^{۲}\times ۰/۷۸۵\times ۰/۳dm$$

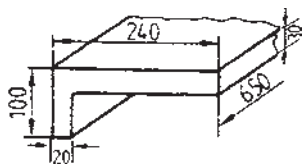
$$V_{۴}=۰/۰۲۱۲dm^{۳}$$

$$V=(۰/۰۲۲۹+۰/۰۶۹۱+۰/۱۳۳۱+۰/۰۲۱۲)dm^{۳}\times ۸۰=۰/۲۴۶۳dm^{۳}\times ۸۰$$

$$V=۱۹/۷۰۴dm^{۳}$$

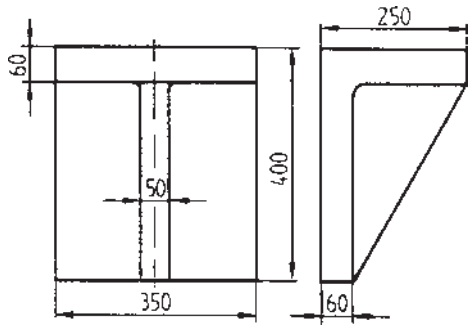
تمرین‌ها

۱ــ حجم نبشی شکل ۱۸ــ۴ را برحسب دسیمتر مکعب به دست آورید.



شکل ۱۸ــ۴

۲ــ حجم ماده لازم برای ریخته‌گری ۶ عدد قطعه گونیایی ناودار شکل ۱۹ــ۴ را برحسب سانتیمترمکعب به دست آورید.

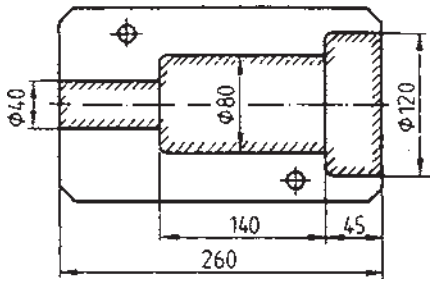


شکل ۱۹ــ۴

۳ــ با توجه به جعبه ماهیچه شکل ۲۰ــ۴، مطلوب است محاسبه :

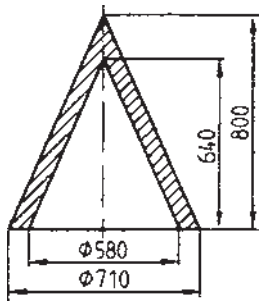
الف) مقدار ماسه مورد نیاز برحسب $dm^{۳}$ (دسیمترمکعب) برای ساخت یک ماهیچه اگر ضریب تراکم $۱\frac{۱}{۴}$ حجم درنظر گرفته شود.

ب) ماسه مورد نیاز برای تهیه ۲۵۰ عدد ماهیچه.



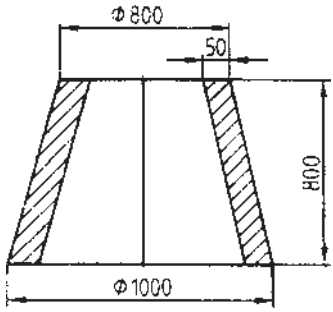
شکل ۲۰ــ۴

۴ــ حجم ماده لازم برای ساخت قطعه مخروطی شکل ۲۱ــ۴ را برحسب دسیمتر مکعب به‌دست آورید.



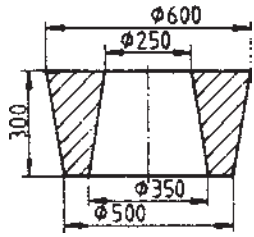
شکل ۲۱ــ۴

۵ــ حجم مدل طبیعی ساخته شده از چوب کاج شکل ۲۲ــ۴ چند دسیمتر مکعب است؟



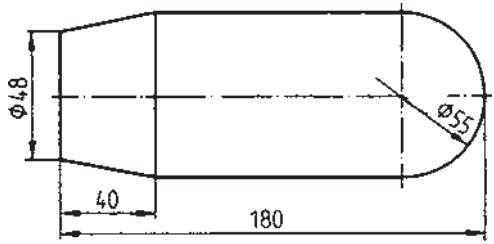
شکل ۲۲ــ۴

۶ــ حجم تغذیه رینگی شکل ۲۳ــ۴ (قسمت هاشور خورده) را برحسب دسیمترمکعب به‌دست آورید.



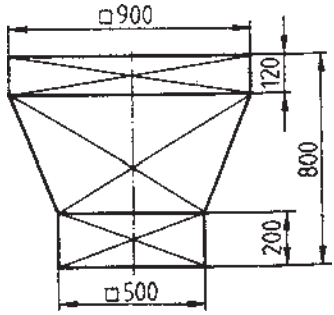
شکل ۲۳ــ۴

۷ــ با توجه به شکل ماهیچه ۲۴ــ۴ مطلوب است محاسبه حجم ۷۵۰ عدد از آن برحسب سانتیمترمکعب.



شکل ۲۴ــ۴

۸ــ با توجه به شکل ۲۵ــ۴، مطلوب است محاسبه حجم ماسه برحسب دسیمترمکعب که می‌تواند داخل آن انبار شود.



شکل ۲۵ــ۴

فصل پنجم

جرم و چگالی

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود :

۱ــ مفهوم جرم را تعریف کند.

۲ــ واحد جرم را شرح دهد.

۳ــ چگالی را تعریف کند.

۴ــ رابطه ریاضی بین جرم، حجم و چگالی را بررسی کند.

۵ــ چگالی نسبی را تعریف کند.

۶ــ جرم قطعات را با روش محاسبه حجم به‌دست آورد.

۵ــ جرم و چگالی

جرم[۱] یکی از کمیت‌های اصلی فیزیکی اجسام است که تعیین مقدار آن در محاسبات فنّی به‌منظور برآورد هزینه تولید قطعات صنعتی نظیر قطعات : آهنگری، ریخته‌گری، ورق‌کاری و ماشین‌کاری نقش اساسی داشته و ضروری است. چنانچه جرم موجود در واحد حجم در نظر گرفته شود، به آن جرم حجمی یا چگالی[۲] می‌گویند. در این قسمت تعاریف مقدماتی و رابطه بین جرم، حجم، چگالی و مسایل مربوطه توضیح داده می‌شود.

۱ــ۵ــ تعریف جرم

به مقدار ماده موجود در یک جسم یعنی مجموعه اتم‌هایی که در آن به حالت‌های فیزیکی جامد، مایع و گاز وجود دارد، جرم جسم می‌گویند. در واقع تمام مواد دارای جرم هستند. به‌طوری که هرچه

۱ــ Mass ۲ــ Density

ماده موجود در جسم بیشتر باشد، جرم آن نیز بیشتر خواهد بود.

در شرایط عادی که جسم بی‌حرکت است و یا سرعت حرکت آن چندان زیاد نیست، عملاً جرم جسم ثابت بوده و تغییر نمی‌کند (ولی ثابت شده است که در سرعت‌های بسیار زیاد و نزدیک به سرعت نور جرم جسم به‌طور محسوسی افزایش می‌یابد). جرم را با حرف m نمایش می‌دهند.

جرم هر جسم دارای دو ویژگی مهم زیر است :

ــ **مقاومت در مقابل تغییر حرکت:** اگر جرم جسمی زیاد باشد، برای به حرکت‌درآوردن آن (یا درصورتی که متحرک باشد برای کاهش یا افزایش سرعت آن) نیروی زیادی لازم است و چنانچه جرم جسم کوچک باشد، برای تغییر سرعت آن احتیاج به نیروی کمتری خواهد بود. مثلاً ضربه و نیروی لازم برای به حرکت درآوردن یک استوانه آهنی توپُر به مراتب بیشتر از حالتی است که همین استوانه توخالی باشد.

ــ **جاذبه:** مطابق قانون جاذبه عمومی (قانون نیوتن) تمام اجسام متناسب با جرم‌های خود، همدیگر را جذب می‌کنند. مثلاً زمین که جسمی بزرگ و دارای جرم زیادی است، همه اجسام را به طرف مرکز خود کشیده و جذب می‌کند (این نیروی جاذبه را در مورد زمین وزن جسم می‌گویند).

توضیح: باید توجه داشت که دو کمیّت جرم و وزن را نمی‌توان به جای یکدیگر به کار برد. چنین عملی کاملاً غلط بوده و صحیح نیست. جرم عبارت است از : ذرات متشکله جسم که به‌وسیله ترازو اندازه‌گیری شده و برحسب کیلوگرم بیان می‌شود. درحالی که وزن، نیروی وارد از طرف زمین بر جسم بوده و با اسبابی به نام نیروسنج توزین می‌شود. واحد وزن مانند نیرو نیوتن است. جرم یک جسم در نقاط مختلف زمین ثابت است درصورتی که وزن جسم تغییر کرده و در شرایط مختلف نظیر ارتفاع از سطح زمین، محیط اطراف جسم (خلأ، هوا یا آب) و همچنین شتاب حرکت جسم تفاوت دارد. (مقایسه جرم و وزن در فصل ششم کتاب تشریح می‌شود).

۲ــ۵ــ واحد جرم

واحد اصلی جرم در دستگاه بین‌المللی (SI) کیلوگرم است که آن را با علامت اختصاری kg نشان می‌دهند. کیلوگرم استاندارد، جرم استوانه‌ای از آلیاژ پلاتین ــ ایریدیم است که در اداره استاندارد بین‌المللی در نزدیکی شهر پاریس (فرانسه) نگهداری می‌شود.

برای تعیین جرم استاندارد در کشورهای دیگر، نمونه‌های ثانوی این استوانه (با دقت دو،

درصد میلیون) ساخته شده است. در ایران نیز نمونه دقیق این استوانه در مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی کرج نگهداری می‌شود. به کمک یک ترازوی دقیق شاهین‌دار می‌توان جرم کیلوگرم را از طریق مقایسه با استوانه استاندارد امتحان کرده و در کارهای مختلف به‌کار برد.

یک کیلوگرم برابر است با جرم ۱۰۰۰/۰۲۸ سانتیمتر مکعب آب خالص $4^{\circ}C$ که در محاسبات فنّی می‌توان یک کیلوگرم را تقریباً معادل ۱۰۰۰ سانتیمتر مکعب آب خالص منظور کرد.

۳ــ۵ــ اجزا و اضعاف واحد جرم

برای اندازه‌گیری جرم اجسام کوچک یا بزرگ از واحد فرعی کیلوگرم استفاده می‌کنند. واحدهای متداول در این مورد عبارتند از :

اجزای کیلوگرم:
- میلی‌گرم (mg)
- گرم (g)

اضعاف کیلوگرم:
- تُن (t)
- مِگاتُن (Mt)

۴ــ۵ــ روابط اجزا و اضعاف واحد جرم

تبدیل واحدهای فرعی جرم به کیلوگرم و روابط بین آن‌ها با نماد علمی به شکل زیر است :

$1g = \frac{1}{1000} kg = 10^{-3} kg$
$1mg = \frac{1}{1000} g = 10^{-3} g = 10^{-3} \times 10^{-3} kg = 10^{-6} kg$
$1t = 1000 kg = 10^{3} kg$
$1Mt = 10^{6} t = 10^{6} \times 10^{3} kg = 10^{9} kg$

مثال: جرم یک قطعه کوچک فلزی توسط یک ترازوی دقیق برابر **۴۲۵** میلی‌گرم تعیین شده است. جرم این قطعه را برحسب kg با نماد علمی مشخص کنید.

حلّ: چون هر میلی‌گرم برابر یک میلیونیم کیلوگرم است، می‌توان نوشت :

$$1mg = 10^{-6} kg$$

$$425mg = 425 \times 10^{-6} kg = 4/25 \times 10^{-4} kg$$

۵ــ۵ــ واحدهای جرم در سیستم‌های دیگر اندازه‌گیری

سیستم‌های دیگری برای اندازه‌گیری جرم وجود دارد که مربوط به دستگاه واحد SI نیست ولی به‌علت کاربرد آن‌ها در علوم و صنایع، مختصری راجع به آن‌ها توضیح داده می‌شود :

ــ **واحد جرم اتمی**[1]: برای اندازه‌گیری جرم بسیار کوچک ملکول‌ها، اتم‌ها و ذرات کوچکتر از آن‌ها استاندارد معمولی جرم یعنی kg بسیار بزرگ است. از این رو استاندارد جرم معینی با قرارداد بین‌المللی که در مقیاس اتمی انتخاب شده است، پذیرفته شده که آن را با علامت U نمایش می‌دهند. این واحد برابر است با $\frac{1}{12}$ جرم اتم کربن (C^{12}). رابطه بین واحد جرم اتمی و کیلوگرم چنین است :

$$1U = 1/6605 \times 10^{-27} kg$$

لازم به توضیح است که در گذشته، مبنای انتخاب این واحد بر روی جرم اتمی ئیدروژن و سپس اتم اکسیژن بوده و امروزه استاندارد آن برای جرم اتم کربن است.

ــ **واحد جرم در سیستم انگلیسی:** واحدهای متداول در این سیستم عبارتند از :

۱ اسلاگ[2] = 14/59kg
۱(oz) اُنس[3] = 28/35g
۱(lb) پوند[4] = 0/45359237kg ≈ 0/454kg = 454g
۱(carat) قیراط = 2×10^{-4} kg = 0/2g
۱(cwt)[5] = 50/80kg
۱t تُن کوچک[6] = 2000lb = 907/184kg
۱t تُن بزرگ[7] = 1016/05kg

۱ــ U=awu=The atomic weight unit
۲ــ Slug
۳ــ Ounce
۴ــ Pound = Libra
۵ــ Hundredweight
۶ــ Short ton
۷ــ Long ton

باید توجه داشت که غیر از اسلاگ، بقیه واحدها مربوط به واحد جرم نیستند بلکه برای وزن اجسام به‌کار می‌روند با این حال غالباً به غلط به همین عنوان استفاده می‌شوند. مثلاً وقتی نوشته می‌شود که : $1lb = 0/454kg$ به این معناست که در شرایط متعارف جاذبه زمین، $0/454kg$ جرمی است که یک پوند وزن دارد. چنانچه بخواهیم واحدهای مذکور را به یکدیگر تبدیل کنیم، کافی است که معادل آن‌ها را برحسب kg یا g بر هم تقسیم کنیم. مثلاً : یک پوند ۱۶ اُنس است زیرا :

$$1lb = \frac{454}{28/35} = 16oz$$

۶ــ۵ــ تعریف چگالی

چگالی یا جرم حجمی یا جرم مخصوص عبارت است از : جرم موجود در واحد حجم (مثلاً یک سانتیمترمکعب). چگالی را با حرف یونانی ρ (رُو) نمایش می‌دهند.

با تعریف فوق می‌توان نتیجه گرفت که جرم موجود در یک جسم متناسب با حجم آن است به‌طوری که ضریب تناسب، همان چگالی جسم خواهد بود. به عبارت دیگر هرچه حجم جسم بیشتر باشد، جرم آن نیز بیشتر خواهد بود. یعنی : حجم ~ جرم. بنابراین، می‌توان نوشت :

$$\text{جرم} = \text{چگالی} \Rightarrow \text{حجم} \times \text{چگالی} = \text{جرم}$$

۷ــ۵ــ واحد چگالی در سیستم SI

چگالی در این سیستم برحسب : $\frac{\text{کیلوگرم}}{\text{مترمکعب}}$ $(\frac{kg}{m^3})$ بیان می‌شود. مثلاً چگالی آلومینیم جامد $2700\frac{kg}{m^3}$ است. به‌عبارت دیگر هر مترمکعب آلومینیم جامد ۲۷۰۰ کیلوگرم جرم دارد. چنانچه جرم جسم برحسب گرم و حجم آن برحسب سانتیمترمکعب باشد، در این صورت چگالی برحسب $\frac{\text{گرم}}{\text{سانتیمترمکعب}}$ $(\frac{g}{cm^3})$ بیان می‌شود. در مورد آلومینیم جامد می‌توان گفت که هر سانتیمترمکعب آن ۲/۷ گرم جرم دارد. زیرا :

$$\text{چگالی آلومینیم جامد} = 2700\frac{kg}{m^3} = \frac{2700 \times 1000g}{10^6 cm^3} = 2/7\frac{g}{cm^3}$$

از این مثال می‌توان نتیجه گرفت که هر $\frac{g}{cm^3}$ معادل $1000\frac{kg}{m^3}$ است.

در محاسبات فنی ممکن است واحد جرم را kg و واحد حجم را دسیمترمکعب (dm^3) منظور کنند به‌عنوان مثال برای آهن جامد با چگالی $۷/۸\frac{g}{cm^3}$، می‌توان نوشت :

$$\text{چگالی آهن جامد} = ۷/۸\frac{g}{cm^3} = \frac{۷/۸\times ۱۰۰۰g}{۱۰۰۰cm^3}$$

از طرفی هر $۱۰۰۰g$ برابر یک کیلوگرم و هر $۱۰۰۰cm^3$ برابر یک دسیمترمکعب است.
از این‌رو :

$$\text{چگالی آهن جامد} = ۷/۸\frac{g}{cm^3} = ۷/۸\frac{kg}{dm^3}$$

در مورد مایعات اگر حجم برحسب لیتر (lit) بیان شود، در این صورت واحد چگالی $\frac{kg}{lit}$ خواهد بود. مثلاً چگالی نفت $۰/۸\frac{kg}{lit}$ و چگالی آب خالص $۱\frac{kg}{lit}$ است.

در بعضی موارد ممکن است جرم حجمی یا چگالی برحسب $\frac{\text{تُن}}{\text{مترمکعب}}$ $(\frac{t}{m^3})$ بیان شود که در این صورت معادل با واحدهای $\frac{kg}{dm^3}$ و $\frac{g}{cm^3}$ خواهد بود. زیرا :

$$۱\frac{t}{m^3} = \frac{۱۰۰۰kg}{۱۰۰۰dm^3} = ۱\frac{kg}{dm^3} = \frac{۱۰۰۰g}{۱۰۰۰cm^3} = ۱\frac{g}{cm^3}$$

۸ــ۵ــ رابطه ریاضی بین جرم، حجم و چگالی

چنانچه جرم جسمی m و حجم آن V باشد، با توجه به تعریف چگالی (که عبارت است از : جرم موجود در واحد حجم) و به کمک یک تناسب مستقیم به سهولت می‌توان رابطه مورد نظر را به‌دست آورد :

$$\begin{matrix} V(cm^3) & m(g) \\ ۱(cm^3) & ?=\rho \end{matrix} \Rightarrow \rho = \frac{m}{V}$$

و یا :

$$\boxed{m = \rho \times V}$$

ــ چگالی نسبی: عبارت است از : نسبت چگالی یک جسم به چگالی جسم دیگر. معمولاً چگالی جامدات و مایعات را با آب خالص $۴^\circ C$ مقایسه می‌کنند. مثلاً وقتی گفته می‌شود که چگالی

مس جامد نسبت به آب، ۸/۹ است، یعنی جرم یک سانتیمترمکعب مس جامد ۸/۹ برابر جرم یک سانتیمترمکعب آب است. به‌عبارت دیگر مس جامد ۸/۹ برابر از آب چگالتر است. چون چگالی نسبی برابر نسبت دو چگالی است لذا فاقد واحد خواهد بود. بنابراین، برای این مثال می‌توان نوشت :

$$\text{چگالی نسبی مس} = \frac{\text{چگالی مس}}{\text{چگالی آب}} = \frac{۸/۹ \frac{g}{cm^۳}}{۱ \frac{g}{cm^۳}} = ۸/۹ \text{ (بدون واحد)}$$

چنانچه ملاحظه می‌شود چگالی یک جسم نسبت به آب عددی است که با چگالی آن برابر است.

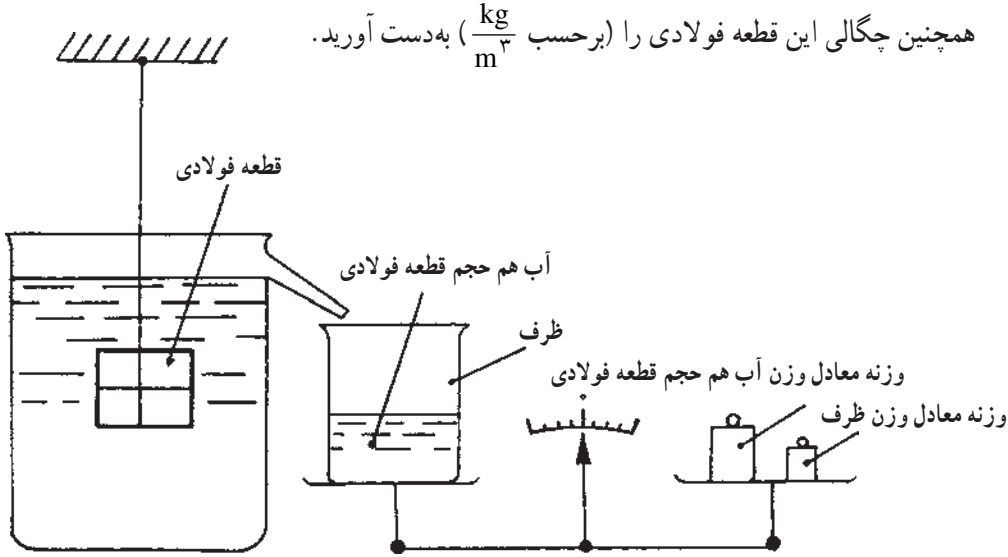
توضیح: چنانچه جرم جسم و جرم آب هم حجم آن معلوم باشد، به‌سهولت می‌توان چگالی نسبی جسم را محاسبه و تعیین کرد :

$$d \text{ چگالی نسبی جسم} = \frac{\rho \text{ چگالی جسم}}{\rho' \text{ چگالی آب}} = \frac{\frac{m}{V}}{\frac{m'}{V}} = \frac{\text{جرم جسم } m}{\text{جرم آب هم حجم جسم } m'}$$

و یا :

$$\boxed{d = \frac{\rho}{\rho'} = \frac{m}{m'}} \qquad (\rho' = ۱ \frac{g}{cm^۳})$$

مثال: جرم یک قطعه فولادی به کمک ترازوی دقیقی برابر ۸۹۴ گرم تعیین شده است. چنانچه جرم آب هم‌حجم این قطعه نیز مطابق شکل ۱ــ۵ برابر ۱۲۰ گرم معلوم شود، چگالی نسبی و همچنین چگالی این قطعه فولادی را (برحسب $\frac{kg}{m^۳}$) به‌دست آورید.



شکل ۱ــ۵ــ تعیین چگالی نسبی یک جسم جامد

حلّ: با توجه به شکل و رابطه $d=\frac{m}{m'}$ چگالی نسبی این قطعه برابر است با :

$$d=\frac{۸۹۴}{۱۲۰}=۷/۴۵$$

چگالی این قطعه نیز برحسب $\frac{g}{cm^۳}$ از لحاظ عددی همین اندازه است. زیرا :

چگالی آب $\rho'=۱\frac{g}{cm^۳}$ و $\frac{\rho}{\rho'}=\frac{m}{m'}$

$$\frac{\rho}{۱}=\frac{۸۹۴}{۱۲۰}=۷/۴۵\frac{g}{cm^۳}$$

و چون هر $\frac{g}{cm^۳}$ معادل $۱۰۰۰\frac{kg}{m^۳}$ است، از این‌رو :

$$\rho=۷/۴۵\times۱۰۰۰=۷۴۵۰\frac{kg}{m^۳}$$

حلّ چند مسأله نمونه

مسأله ۱: در داخل یک بوته ذوب فلزات ۲۴/۲kg آلومینیم مذاب با چگالی $۲/۳۵\frac{g}{cm^۳}$ ریخته و پر شده است. تعیین کنید :

الف) حجم داخلی این بوته برحسب دسیمترمکعب.

ب) در این بوته به جای آلومینیم مذاب چند کیلوگرم چدن مذاب با چگالی $۶/۸\frac{g}{cm^۳}$ جای می‌گیرد؟

ج) چنانچه تمامی آلومینیم مذاب به داخل یک قالب ریخته شود، حجم آن پس از انجماد و سردشدن چند دسیمتر مکعب خواهد شد؟ درصورتی که چگالی آلومینیم جامد $۲/۷\frac{g}{cm^۳}$ باشد.

حلّ:

الف) حجم داخلی بوته را می‌توان از رابطه چگالی تعیین کرد :

چگالی آلومینیم مذاب $\rho=\frac{m}{V}=\frac{\text{جرم آلومینیم مذاب}}{\text{حجم داخلی بوته}}\Rightarrow ۲/۳۵=\frac{۲۴/۲\times۱۰۰۰}{V}$

$$V=\frac{۲۴/۲\times۱۰۰۰}{۲/۳۵}=۱۰۲۹۷/۸۷cm^۳\approx۱۰/۳dm^۳$$

ب) ظرفیت این بوته براساس گنجایش چدن مذاب برابر است با :

$$m=\rho\times V$$

$$m=۶/۸\times۱۰۲۹۷/۸۷=۷۰۰۲۵/۵g\approx۷۰kg$$

ج) آلومینیم مذاب مانند اغلب اجسام و فلزات، پس از انجماد و سردشدن منقبض شده و حجم آن کاهش می‌یابد به‌طوری که چگالی آن افزایش یافته و از $۲/۳۵\frac{g}{cm^۳}$ به $۲/۷\frac{g}{cm^۳}$ می‌رسد. به سهولت می‌توان به‌کمک رابطه چگالی، حجم آلومینیم جامد را محاسبه کرد. بدیهی است که پس از انجماد جرم آلومینیم تغییر نکرده و همان مقدار ۲۴/۲kg خواهد بود. ولی حجم آن کاهش یافته که چنین است :

$$m = \rho \times V$$

$$۲۴/۲ \times ۱۰۰۰ = ۲/۷V \Rightarrow V = \frac{۲۴/۲ \times ۱۰۰۰}{۲/۷}$$

$$V = ۸۹۶۲/۹۶cm^۳ \approx ۹dm^۳$$

مسأله ۲: قطر سیمی از مس ۴ میلیمتر است. چنانچه چگالی مس $۸/۹\frac{g}{cm^۳}$ باشد، جرم ۱۰۰ متر از این سیم را محاسبه و تعیین کنید.

حلّ: چون مقطع هر سیم دایره‌ای شکل است، از این رو سیم به شکل یک استوانه طویل بوده که حجم آن برابر است با حاصل‌ضرب سطح مقطع سیم در طول آن. یعنی :

$$V = \frac{\pi d^۲}{۴} \times l \quad (l = ۱۰۰m = ۱۰^۴ cm \text{ و طول سیم } d = ۴mm = ۰/۴cm \text{ قطر سیم})$$

درنتیجه :

$$V = \frac{۳/۱۴ \times (۰/۴)^۲}{۴} \times ۱۰^۴ = ۱۲۵۶cm^۳ \quad \text{حجم سیم مسی}$$

و جرم آن چنین است :

$$m = \rho \times V = ۸/۹ \times ۱۲۵۶ = ۱۱۱۷۸/۴g$$

$$m = \frac{۱۱۱۷۸/۴}{۱۰۰۰} \approx ۱۱/۲kg \quad \text{جرم ۱۰۰ متر سیم مسی به قطر ۴ میلیمتر}$$

مسأله ۳: جرم یک ظرف شیشه‌ای خالی، ۴۵ گرم است. چنانچه این ظرف پر از آب شود، جرم آن ۹۵ گرم و اگر پر از جیوه شود، ۷۲۵ گرم جرم خواهد داشت. مطلوب است حجم داخلی ظرف و چگالی جیوه.

حلّ: جرم آب داخل ظرف برابر است با :

$$m_{H_۲O} = ۹۵ - ۴۵ = ۵۰ \text{ گرم}$$

و چون چگالی آب $\rho_{H_2O} = ۱ \frac{g}{cm^۳}$ از این‌رو حجم داخلی ظرف چنین خواهد بود :

$$\rho_{H_2O} = \frac{m_{H_2O}}{V} \Rightarrow V = \frac{m_{H_2O}}{\rho_{H_2O}} = \frac{۵۰}{۱} = ۵۰ cm^۳$$

از طرفی جرم جیوه داخل ظرف بدین ترتیب محاسبه می‌شود :

$$m_{Hg} = ۷۲۵ - ۴۵ = ۶۸۰ g$$

که به این ترتیب با معلوم شدن جرم جیوه و حجم آن چگالی جیوه به‌دست می‌آید :

$$\rho_{Hg} = \frac{m_{Hg}}{V} = \frac{۶۸۰}{۵۰} = ۱۳/۶ \frac{g}{cm^۳}$$

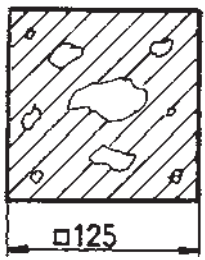
با توجه به این مسأله معلوم می‌شود که چگونه چگالی اجسام مایع را می‌توان فقط با تعیین جرم و جرم هم‌حجم آن‌ها از آب با استفاده از ترازو (بدون اندازه‌گیری حجم) تعیین کرد.

تمرین‌ها

۱ــ چگالی یخ برابر $۱/۰۹۲ \frac{g}{cm^۳}$ است. چنانچه ابعاد یک قالب از یخ $۱۰۰ \times ۲۵ \times ۲۵$ سانتیمتر باشد، جرم آن را برحسب kg محاسبه کنید.

۲ــ جرم یک قطعه آلومینیمی ۸۳۷g است. آن را در ظرف پر از آب فرو می‌بریم ۳۱۰cc (سانتیمترمکعب) آب از ظرف خارج می‌شود. چگالی آلومینیم را تعیین کنید.

۳ــ یک مکعب چدنی ریختگی (با حفره‌های انقباضی[۱]) مطابق شکل ۲ــ۵ جرمی برابر ۱۲kg دارد چنانچه چگالی چدن $۷/۲ \frac{g}{cm^۳}$ باشد، الف) حجم حفره‌های داخلی آن چند سانتیمترمکعب است؟ ب)جرم سالم (بدون حفره) این مکعب را به‌دست آورید.



شکل ۲ــ۵ــ تعیین حجم حفره‌های داخلی یک قطعه ریختگی

۴ــ می‌توان طلا را تا ۰/۱μm (متر$^{-۶}$۱۰ = ۱ میکرومتر) به‌صورت ورق درآورد. مطلوب است محاسبه سطح ورقی که از ۲g طلا تهیه می‌شود.

$$\rho_{Au} = ۱/۹۲ \times ۱۰^۴ \frac{kg}{m^۳}$$

۱ــ Shrinkage Cavity

۵ــ اختلاف جرم بین دو استوانه هم‌حجم آهنی و آلومینیمی ۱۲/۷۵kg است. جرم هر استوانه را محاسبه و تعیین کنید.

$$\rho_{Fe} = ۷۸۰۰\frac{kg}{m^۳} \quad و \quad \rho_{Al} = ۲۷۰۰\frac{kg}{m^۳}$$

۶ــ جرم یک میله آهنی به طول ۲ متر و سطح مقطع ۴۰۵ میلیمترمربع برابر ۶/۲۸ کیلوگرم تعیین شده است. چگالی این میله را برحسب $\frac{kg}{m^۳}$ به دست آورید.

۷ــ جرم یک درجه قالب‌گیری با ماسه محتوی آن روی هم ۴۱/۳kg است. چنانچه رطوبت ماسه این درجه حذف و کاملاً خشک شود، جرم کل آن کاهش یافته و به ۳۸/۶kg می‌رسد. در صورتی که حجم داخلی این درجه ۲۶ دسیمتر مکعب و جرم درجه بدون ماسه5kg باشد، مطلوب است محاسبه و تعیین :

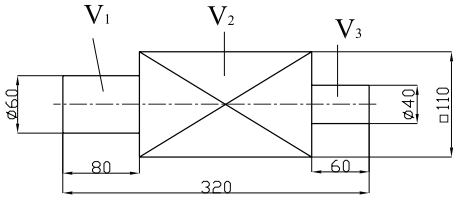
الف) چگالی ماسه مرطوب درجه.

ب) چگالی ماسه خشک شده.

ج) درصد رطوبت این ماسه.

۸ــ جرم ماهیچه شکل ۳ــ۵ را برحسب کیلوگرم به‌دست آورید.

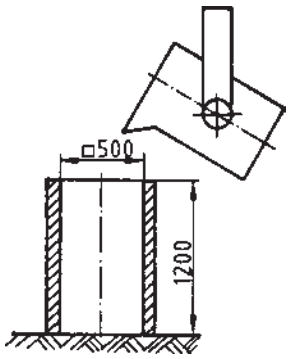
$$\rho = ۱/۲\frac{kg}{dm^۳}$$



شکل ۳ــ۵

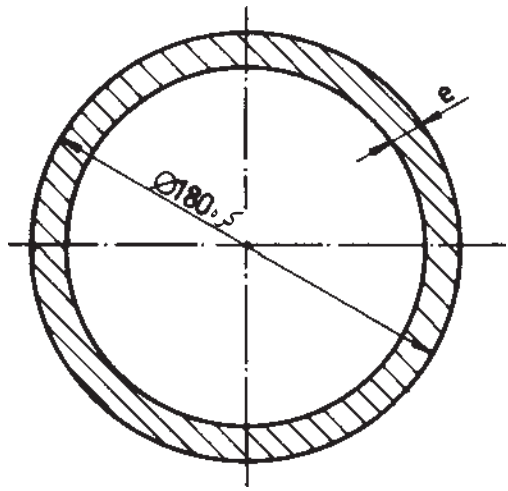
۹ــ به‌وسیله پاتیل ریخته‌گری با ۲۸/۰۸ تن بار مفید، قالب کوکیل فولادی شکل ۴ــ۵ پر می‌شود. با این مذاب چند کوکیل را می‌توان پر کرد؟

$$\rho = ۷/۸\frac{kg}{dm^۳}$$



شکل ۴ــ۵

۱۰ــ قطر خارجی یک کره توخالی از یک نوع آلیاژ مس، ۱۸۰ میلیمتر است (شکل ۵ــ۵). اگر جرم این کره ۳۶۷۶ گرم و چگالی آلیاژ $۸\frac{g}{cm^۳}$ باشد، قطر داخلی و همچنین ضخامت جداره آن چند میلیمتر خواهد بود؟ $\pi = ۳$



شکل ۵ــ۵ــ تعیین ضخامت جداره یک کره توخالی با معلوم بودن جرم و چگالی آن

۱۱ــ جرم یک مدل چوبی ۴kg و چگالی آن $۵۰۰\frac{kg}{m^۳}$ است. اگر این مدل برای ریخته‌گری یک نوع آلیاژ برنج با چگالی $۸/۵\times۱۰^۳\frac{kg}{m^۳}$ به کار رود، جرم آلیاژ را محاسبه و تعیین کنید. از انقباض برنج هنگام سرد شدن صرف‌نظر می‌شود.

۱۲ــ آلیاژی تشکیل شده است از ۲/۹۲kg قلع و ۱/۳۶۸kg سرب. اگر حجم این آلیاژ برابر مجموع حجم‌های تشکیل دهنده آن باشد، الف) چگالی آلیاژ را به دست آورید. ب) درصد قلع و سرب را تعیین کنید.

$$\rho_{Pb} = ۱/۱۴\times۱۰^۴\frac{kg}{m^۳} \quad \text{و} \quad \rho_{Sn} = ۷/۳\times۱۰^۳\frac{kg}{m^۳}$$

توجه: در آلیاژسازی هنگامی که دو یا چند فلز با هم آلیاژ می‌شوند، تغییراتی در حجم کل به‌وجود می‌آید (کاهش یا افزایش حجم). ولی در تمرین‌های این قسمت از تغییرات حاصله (به علت ناچیز بودن) صرفنظر می‌شود.

فصل ششم

وزن

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود :

۱ــ وزن را تعریف کند.

۲ــ شتاب ثقل زمین در نقاط مختلف را بررسی کند.

۳ــ کاربرد واحد وزن و شتاب ثقل زمین را شرح دهد.

۴ــ رابطه وزن، جرم و شتاب ثقل را بیان کند.

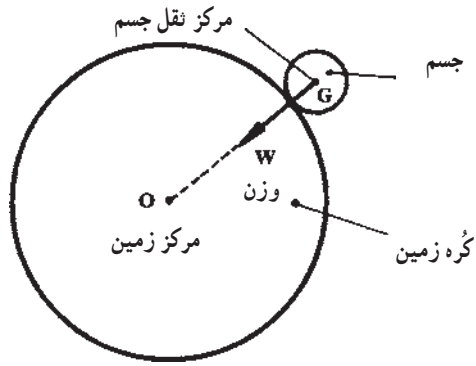
۶ــ وزن

۱ــ۶ــ تعریف وزن

یکی ازخصوصیات مهمّ ماده، ایجاد میدان جاذبه در اطراف آن است. کُره زمین نیز با جرم $۵/۹۸ \times ۱۰^{۲۴}$ kg، با ایجاد میدان جاذبه مادی همه اجسام را با نیرویی به طرف مرکز خود جذب می‌کند. این نیروی جاذبه را «وزن[۱]» می‌گویند. در حقیقت وزن یک جسم عبارت از : برآیند نیروهایی است که از طرف کُره زمین به ذرّات آن وارد می‌شود. به‌طوری که نقطه اثر این نیرو مرکز ثقل جسم و جهت آن به طرف مرکز زمین است (شکل ۱ــ۶). به هر حال میدان جاذبه زمین عامل ایجاد وزن در اجسام است. وزن مانند نیرو کمیتی برداری[۲] بوده که اندازه آن را با حرف W نمایش می‌دهند.

۱ــ۱ــ۶ــ شدت میدان جاذبه زمین: نیرویی که زمین در هر نقطه بر واحد جرم (kg) وارد می‌کند، شدت میدان جاذبه در آن نقطه را مشخص می‌کند. شدت میدان جاذبه را با حرف g نشان می‌دهند. هرچه شدت میدان جاذبه افزایش یابد، وزن جسم نیز متناسب با آن بیشتر می‌شود.

۱ــ Weight ۲ــ Vectorial



شکل ۱ــ۶ــ اثر میدان جاذبه زمین بر یک جسم (وزن)

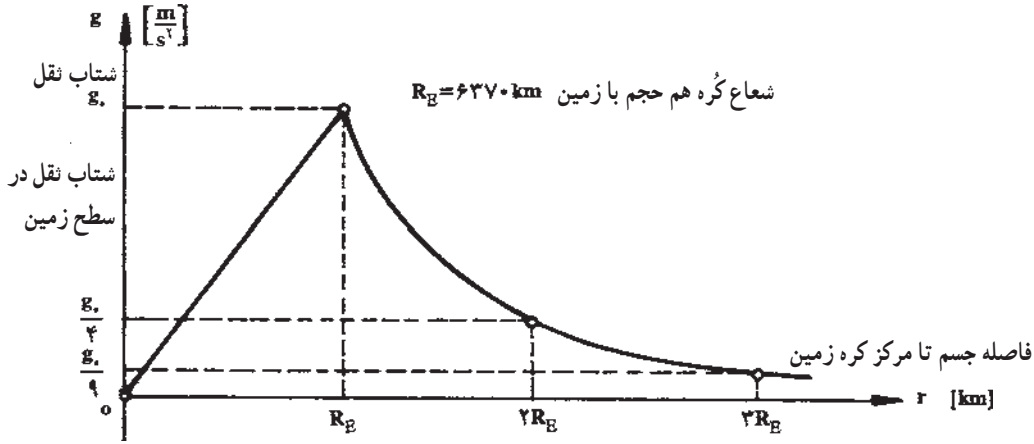
چون واحد نیرو نیوتن است، لذا با توجه به تعریف مذکور، g برحسب نیوتن بر کیلوگرم بیان می‌شود.

توضیح: براساس مطالبی که در فیزیک آمده است، هرگاه جسمی در میدان جاذبه زمین و در نزدیکی آن در امتداد خط قائم (امتداد شاقول) سقوط کند (به‌طور آزاد)، حرکتی خواهد داشت مستقیم‌الخط تندشونده به‌طوری که شتاب این حرکت یعنی تغییرات سرعت آن در واحد زمان، همان شدت میدان جاذبه (g) خواهد بود. به همین علت می‌توان همواره به جای عبارت «شدت میدان جاذبه زمین»، معادل آن یعنی «شتاب ثقل زمین» را به کار بُرد. چون واحد سرعت متر بر ثانیه است، از این‌رو با توجه به تعریف شتاب، واحد آن در سیستم SI علاوه‌بر نیوتن بر کیلوگرم، متر بر مجذور ثانیه نیز خواهد بود. در محاسبات فنّی اغلب از واحد اخیر استفاده می‌شود.

۲ــ۶ــ شتاب ثقل زمین در نقاط مختلف

شدت جاذبه یا شتاب ثقل در سطح زمین تقریباً ۹/۸ نیوتن بر کیلوگرم (یا متر بر مجذور ثانیه) است. اگر جسمی را به نقطه‌ای خیلی دور از کُره زمین ببریم (خارج از جوّ)، شتاب ثقل در آن نقطه صفر شده و درنتیجه بی‌وزن خواهد شد. درحالی که همه اجسام مجاور زمین دارای وزن هستند.

شتاب ثقل در نقاط مختلف متناسب با عکس مجذور فاصله تا مرکز زمین است. به‌طوری که در نقاط نزدیک به مرکز، شدت میدان قویتر بوده و شتاب ثقل بیشتر خواهد شد و در نقاط دورتر از مرکز، شدت میدان ضعیفتر و شتاب ثقل کمتر است. این قانون تا سطح زمین صادق است و شتاب ثقل



شکل ۲ــ۶ــ تغییرات شتاب ثقل زمین نسبت به فاصله تا مرکز آن (زمین کره‌ای متجانس فرض شده است.)

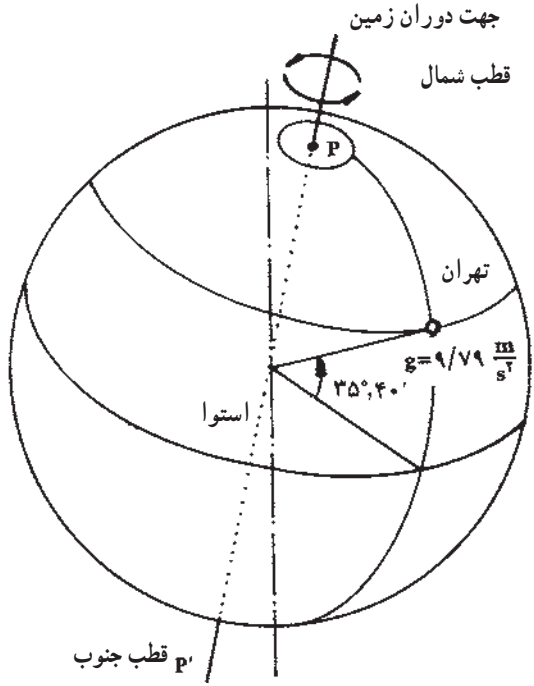
در درون زمین کمتر از سطح آن است (در مرکز زمین شتاب ثقل صفر است) بنابراین، روی خط قائم مکان در هر نقطه شتاب روی سطح زمین حداکثر است (شکل ۲ــ۶).

محاسبه نشان داده است که به ازاءِ هر ۳ متر از سطح زمین (به سمت بالا) مقدار g به اندازه یک‌صد هزارم متر بر مجذور ثانیه کاهش می‌یابد.

علاوه‌بر تغییرات و کاهش اندازه g برحسب ارتفاع از سطح زمین، مقدار آن از قطبین تا خط استوای زمین نیز به‌تدریج کاسته می‌شود. به‌طوری که شتاب ثقل در قطب ماکزیمم و برابر ۹/۸۳ متر بر مجذور ثانیه و در استوا (در کنار اقیانوس و سطح دریای آزاد)، مینیمم و برابر ۹/۷۸ متر بر مجذور ثانیه است (تغییرات g برحسب عرض جغرافیایی، ناشی از چرخش و دوران زمین است. هرچه سرعت محیطی زمین بیشتر باشد، مقدار آن کاهش می‌یابد. حداکثر سرعت محیطی زمین در استوا حول محور فرضی آن است. در قطب، روی محور زمین این سرعت صفر است). مقدار g در تهران با عرض جغرافیایی حدود ′۴۰ و °۳۵ شمالی برابر ۹/۷۹ متر بر مجذور ثانیه تعیین شده است (شکل ۳ــ۶).

باید توجه داشت که حتی لایه‌ها و طبقات نامتجانس پوسته جامد زمین (کوه‌ها، چین‌خوردگی‌ها و ناهمواری‌های سطح آن) بر روی اندازه و جهت g تأثیر دارند به‌طوری که تغییرات چگالی این لایه‌ها نیز شتاب ثقل را تغییر می‌دهند.

یکی دیگر از علل تغییرات g برحسب عرض جغرافیایی، مربوط به کروی‌نبودن کامل شکل زمین است. مثلاً شعاع قطبی و استوایی زمین به‌ترتیب برابر : ۶۳۵۷km و ۶۳۷۸km است (در



شکل ۳ــ۶ــ تغییرات g برحسب عرض جغرافیایی

قطبین فرورفته و در استوا برآمده است). از این رو علاوه بر اختلاف g برحسب سرعت محیطی زمین، اختلافی برابر ۰/۰۳۵ متر بر مجذور ثانیه در این نقاط مشاهده می‌شود.

اندازه‌گیری و تعیین g نقش بسیار مهمّی در اکتشاف معادنی نظیر نفت و فلزات دارد.

تغییرات شتاب ثقل زمین در نقاط مختلف، باعث شد که سازمان بین‌المللی SI اندازه آن را برابر ۹/۸۰۶۶۵ متر بر مجذور ثانیه استاندارد کند (در عرض جغرافیایی ۴۵° و در سطح دریاهای آزاد). در محاسبات فنّی و در حلّ مسایل، شتاب ثقل زمین را اغلب برابر ۹/۸ متر بر مجذور ثانیه منظور می‌کنند.

مثال: وزن یک جسم در تهران (حدود مدار ۳۶°) که شتاب ثقلی برابر ۹/۷۹ متر بر مجذور ثانیه دارد، ۸۴۰۰ نیوتن است، وزن این جسم در مدار ۹۰° (قطب) که شتاب ثقل آن ۹/۸۳ متر بر مجذور ثانیه است، چند نیوتن بیشتر خواهد شد؟ درصد این افزایش را نیز محاسبه کنید.

حلّ: وزن یک جسم در هر نقطه روی سطح زمین متناسب با شتاب ثقل در همان نقطه است. لذا نسبت اندازه‌های وزن جسم در قطب و تهران برابر نسبت اندازه‌های شتاب ثقل در آن دو نقطه

خواهد بود یا به‌عبارت ریاضی :

$$\frac{\text{وزن جسم در قطب}}{\text{وزن جسم در تهران}} \quad \frac{W_p}{W} = \frac{g_p}{g} \Rightarrow W_p = \frac{g_p}{g} \times W$$

بنابراین : $W_p = \frac{۹/۸۳}{۹/۷۹} \times ۸۴۰۰ = ۸۴۳۴/۳۲$ نیوتن

تفاوت وزن در این دو نقطه چنین است :

$W_P - W = ۸۴۳۴/۳۲ - ۸۴۰۰ = ۳۴/۳۲$ نیوتن

و درصد این اضافه وزن برابر خواهد شد با :

$$\frac{۳۴/۳۲}{۸۴۰۰} \times ۱۰۰ = ۰/۴۰۸\%$$

۳ــ۶ــ واحدهای وزن و شتاب ثقل

وزن یک جسم در هر نقطه علاوه‌بر جرمش به شتاب جاذبه در همان نقطه نیز بستگی دارد. از این‌رو در تعریف وزن اجسام، واحدهای هر دو کمیت : جرم و شتاب، دخالت دارند. واحدهای متداول در این مورد عبارتند از :

۱ــ۳ــ۶ــ واحدهای وزن: واحد وزن (مانند نیرو) در دستگاه بین‌المللی SI نیوتن نام دارد. یک نیوتن، نیرویی است که اگر به جرم یک کیلوگرم وارد شود، به آن شتابی برابر یک متر بر مجذور ثانیه($\frac{m}{s^2}$) می‌دهد. نیوتن را با علامت اختصاری N نشان می‌دهند. هر نیوتن برحسب واحدهای اصلی (پایه) SI برابر است با :

$$۱N = ۱kg \times ۱\frac{m}{s^2}$$

برای نمایش واحدهای فرعی و بزرگتر از نیوتن از پیشوندهای : دکا (da)، کیلو (k) و مگا (M) استفاده می‌شود که در این صورت می‌توان نوشت :

$۱daN = ۱۰N$ دکانیوتن

$۱kN = ۱۰^۳N$ کیلو نیوتن

$۱MN = ۱۰^۶N$ مگا نیوتن

وزن اجسام سبک با واحد فرعی و کوچک دین (dyn) سنجیده می‌شود و آن نیرویی است که اگر به جرم یک گرم وارد شود، به آن شتابی برابر یک سانتیمتر بر مجذور ثانیه ($\frac{cm}{s^2}$) می‌دهد. با این تعریف می‌توان نشان داد که نیوتن برابر صدهزار دین است :

$$1N = 1kg \times 1\frac{m}{s^2} = 1000g \times \frac{100cm}{s^2} = 10^5 dyn$$

یکی دیگر از واحدهای فرعی وزن که امروز در مسایل علمی، نسبت به گذشته کمتر به‌کار می‌رود، کیلوگرم نیرو (kgf) است. ولی در محاسبات فنی در اغلب موارد از این واحد استفاده می‌شود. هر کیلوگرم نیرو برابر است با :

$$1kgf = 9/80665N \approx 9/8N$$

بنابراین، یک گرم نیرو، یک هزارم کیلوگرم نیرو خواهد بود. یعنی : $1gf = 10^{-3} kgf$

توضیح: اصطلاح آلمانی کیلوپوند (kp) که یکی از واحدهای وزن (و نیرو) است، در حقیقت همان کیلوگرم نیرو است که ممکن است از آن در بعضی مسایل فنی استفاده شود. در این صورت بدیهی است که :

$$1P = 1gf \text{ (پوند)} \Rightarrow 1kp = 1kgf \text{ (کیلوپوند)}$$

و در محاسبات تقریبی چنانچه شتاب ثقل $10\frac{m}{s^2}$ فرض شود، خواهیم داشت :

$$1kp = 9/8N \simeq 10N = 1daN$$

در سیستم انگلیسی، واحد وزن عبارت است از : پوند ــ نیرو (lbf) که برحسب نیوتن چنین است :

$$1lb = 0/4536 \times 9/80665 = 4/448N$$

۲ــ ۳ــ۶ــ واحدهای شتاب ثقل: در سیستم SI واحد شتاب، متر بر مجذور ثانیه است که ممکن است در محاسبات از واحد فرعی آن سانتیمتر بر مجذور ثانیه نیز استفاده شود. به عنوان مثال در مورد شتاب ثقل زمین می‌توان نوشت :

$$9/8\frac{m}{s^2} = 980\frac{cm}{s^2}$$

۴ــ۶ــ رابطه وزن، جرم و شتاب ثقل

مطابق قانون اساسی دینامیک، هرگاه جسمی به جرم m تحت تأثیر نیروی ثابت F (از لحاظ جهت و اندازه) قرار گیرد، حرکتی خواهد داشت متشابه‌التغییر که اندازه شتاب آن برابر است با :

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

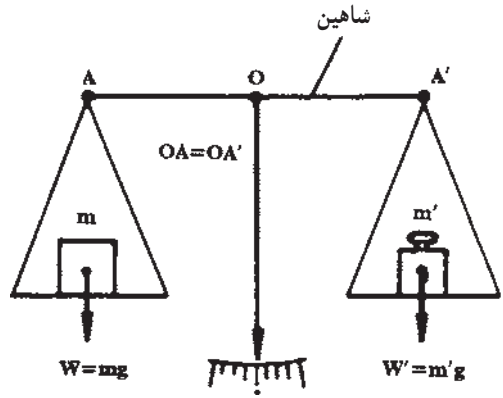
حال اگر نیروی ثابت مذکور، وزن جسم (W) باشد و فقط جسم تحت تأثیر این نیرو قرار گرفته و به طور آزاد سقوط کند، شتاب حاصله مساوی شتاب ثقل زمین (g) خواهد شد که در این صورت رابطه اخیر چنین است :

$$g = \frac{W}{m} \Rightarrow \boxed{W = m \times g}$$

به کمک این رابطه می‌توان نشان داد که نسبت دو جرم، با نسبت وزن آن دو (در هر نقطه) برابر است. زیرا :

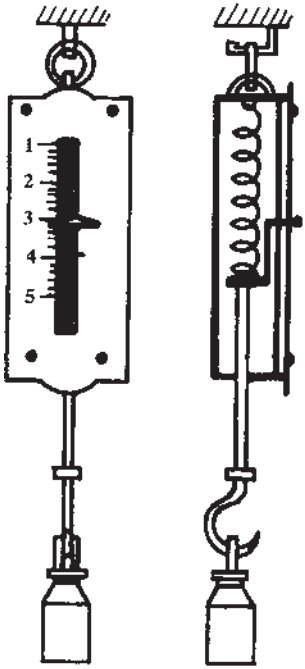
$$\left.\begin{aligned} W &= m \times g \\ W' &= m' \times g \end{aligned}\right\} \Rightarrow \boxed{\frac{W}{W'} = \frac{m}{m'}}$$

از این رو برای تعیین جرم اجسام از ترازوی شاهین‌دار استفاده کرده و جرم جسم را با جرم وزنه استاندارد مقایسه می‌کنند. در ترازو، طول دو بازوی شاهین برابر بوده و اگر جرم جسم، با جرم وزنه برابر باشد، وزن آن دو نیز یکسان خواهد بود. لذا چنانچه وزن جسم کاهش یا افزایش یابد، این تغییرات به همان اندازه روی وزنه نیز اعمال می‌شود و ترازو میزان خواهد شد (شکل ۴ــ۶).



شکل ۴ــ۶ــ تعیین جرم اجسام توسط ترازوی شاهین‌دار

برای تعیین وزن اجسام از دستگاهی به نام نیروسنج استفاده می‌کنند. در داخل نیروسنج فنری وجود دارد که طول آن برحسب نیروی کشش تغییر می‌کند. از این خاصیت استفاده کرده و آن را برای وزنه‌های معین مدرج می‌کنند (شکل ۵ــ۶). بنابراین، نیروسنج وزن و تغییرات آن را نشان می‌دهد. در حالی که ترازوی شاهین‌دار، جرم جسم را مشخص و تعیین کرده و نمی‌تواند تغییرات وزن را معلوم کند.



شکل ۵ــ۶ــ نیروسنج و اندازه‌گیری وزن اجسام (سمت چپ در نما و سمت راست در برش)

۵ــ۶ــ رابطه وزن مخصوص و جرم مخصوص

وزن واحد حجم یک جسم را وزن مخصوص یا وزن حجمی می‌گویند و آن را با D نمایش می‌دهند. از این رو همواره می‌توان رابطه : $D = \frac{W}{V}$ را برقرار کرد که به کمک آن و روابط : $W = m \times g$ و $m = \rho \times V$ رابطه بین وزن مخصوص و جرم مخصوص به دست می‌آید :

$$D = \frac{W}{V} = \frac{m \times g}{V} = \frac{\rho \times V \times g}{V} \Rightarrow \boxed{D = \rho \times g}$$

که در آن : ρ چگالی جسم برحسب $\frac{kg}{m^3}$ ، g شتاب ثقل زمین برحسب $\frac{m}{s^2}$ و D وزن مخصوص جسم برحسب $\frac{N}{m^3}$ است.

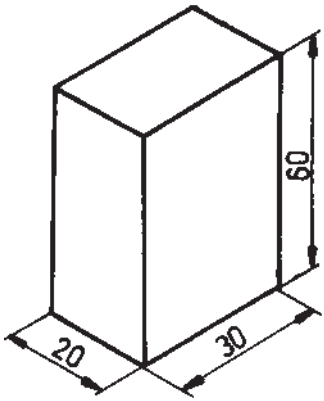
مسأله نمونه: شکل ۶ــ۶ ابعاد و چگالی قطعه‌ای از یک نوع برنز را نشان می‌دهد. مطلوب است محاسبه و تعیین :

الف) جرم جسم برحسب گرم و کیلوگرم.

ب) وزن جسم برحسب واحدهای : N، dyn و kgf.

$$g = ۹/۸ \frac{m}{s^۲}$$

$$\rho = ۸/۸۵۹ \frac{g}{cm^۳}$$



شکل ۶ــ۶ــ تعیین جرم و وزن یک قطعه

حلّ: الف) حجم قطعه برابر است با :

$$V = a \times b \times h$$

$$V = ۳۰ \times ۲۰ \times ۶۰ = ۳۶۰۰۰ mm^۳ = ۰/۰۳۶ dm^۳$$

$$\rho = ۸/۸۵ \frac{g}{cm^۳} = ۸/۸۵ \frac{kg}{dm^۳}$$

$$m = \rho \times V \Rightarrow m = ۸/۸۵ \times ۰/۰۳۶ = ۰/۳۱۸۶ kg = ۳۱۸/۶ g$$ جرم قطعه

ب) وزن قطعه را می‌توان از رابطه $W = m \times g$ تعیین کرد :

$$W = ۰/۳۱۸۶ \times ۹/۸ = ۳/۱۲۲۳ N$$

$$W = ۳/۱۲۲۳ \times ۱۰۰۰۰۰ = ۳/۱۲۲۳ \times ۱۰^۵ dyn$$

$$W = \frac{۳/۱۲۲۳}{۹/۸} = ۰/۳۱۸۶ kgf$$

در خاتمه بحث‌های این قسمت باید متذکر شد که همواره لازم است هنرجویان دو کمیت جرم و وزن را به دقت از یکدیگر تمیز دهند. جرم خاصیت ذاتی جسم بوده و مقدار ماده تشکیل دهنده آن را مشخص می‌کند. در سرعت‌های معمولی، جرم یک جسم ثابت است و با ترازوی شاهین‌دار سنجیده می‌شود. جرم کمیتی است غیر برداری (عددی[۱]) و واحد آن کیلوگرم است. در حالی که وزن، نیروی وارد از طرف زمین بر جسم بوده که اندازه و جهت آن در نقاط مختلف تغییر می‌کند. (چون وزن از جنس نیرو است، لذا کمیتی است برداری). وزن جسم با وسیله‌ای به نام نیروسنج اندازه‌گیری

۱ــ Scaler

می‌شود و واحد آن نیوتن است. به علاوه وزن اجسام، براساس قانون ارشمیدس در داخل مایعات و گازها (سیّالات) کاسته شده و سبک می‌شود. مطابق این قانون می‌توان گفت :

«هرگاه جسمی در سیّال غوطه‌ور شود، به اندازه وزن سیّال هم حجمش سبک می‌شود».

به‌طوری که می‌توان وزن آن را در درون سیّال (وزن ظاهری W') از رابطه زیر تعیین کرد :

$$W' = W - V \times D'$$

که در آن D' و V به ترتیب عبارتند از : وزن مخصوص سیّال و حجم جسم.

تمرین‌ها

۱ــ مطلوب است تعیین جرم و وزن هوای یک کارگاه ریخته‌گری که کف آن ۴۰ مترمربع و ارتفاعش ۴/۲ متر است.

$$\text{چگالی هوا } \rho = ۱/۲۹۳ \frac{kg}{m^۳} \qquad g = ۹/۸ \frac{m}{s^۲}$$

۲ــ وزن یک جسم بر روی سطح کره زمین ۶/۳۷kN است. الف) جرم آن را تعیین کنید. ب) وزن جسم را بر روی سطح کره ماه برحسب نیوتن به دست آورید.

$$\text{شتاب ثقل زمین } g = ۹/۸ \frac{m}{s^۲} \qquad \text{شتاب ثقل ماه } = ۱/۶۷ \frac{m}{s^۲}$$

۳ــ قطر و ارتفاع داخلی یک منبع به شکل استوانه، به ترتیب برابر ۵۸ و ۸۷ سانتیمتر است. چنانچه ۹۵ درصد این منبع با سوخت مایعی به چگالی نسبی ۰/۸۲ پر شود، حجم آن را برحسب لیتر و وزن آن را برحسب کیلوگرم نیرو به دست آورید :

$$\pi = ۳/۱۴$$

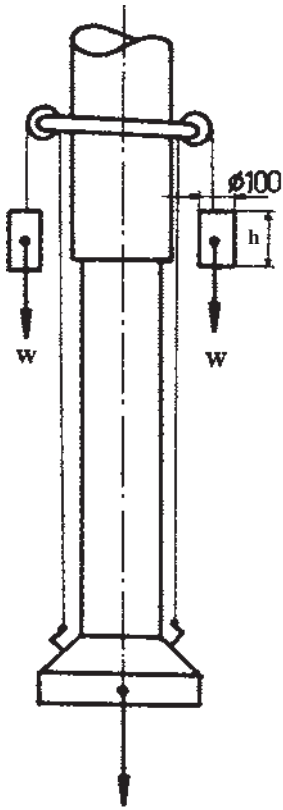
توجّه: در حلّ این تمرین مقدار عددی شتاب ثقل زمین دخالتی نداشته و در محاسبه حذف می‌شود.

۴ــ دودکش متحرک یک کوره بوته‌ای[۱] مطابق شکل ۷ــ۶ باید همواره توسط دو وزنه استوانه‌ای شکل مساوی (از جنس سرب) به حال تعادل باشد.

۱ــ Crucible Furnace

وزن این دودکش ۱۵/۹۶ کیلوگرم نیرو است. نیروی کشش زنجیرها و ارتفاع استوانه هر وزنه را تعیین کنید. از تمام اصطکاک‌ها و وزن زنجیرها صرف‌نظر می‌شود.

وزن مخصوص سرب $D = ۱۱/۴ \frac{kgf}{dm^۳}$



شکل ۷ــ۶ــ تعیین اندازه وزنه‌های دودکش یک کوره بوته‌ای

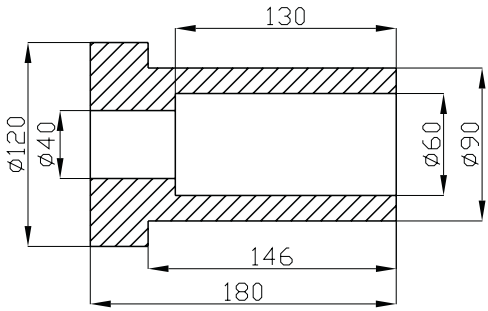
۵ــ شکل ۸ــ۶ ابعاد یک قطعه (بوش) از آلیاژ ریختگی مس و قلع را برحسب میلیمتر نشان می‌دهد. مطلوب است محاسبه و تعیین :

الف) حجم قطعه برحسب $dm^۳$.

ب) وزن قطعه برحسب N.

ج) وزن ۲۵ عدد از آن برحسب kN

($g = ۹/۸ \frac{m}{s^۲}$ و $= ۸/۲ \frac{kg}{dm^۳}$ چگالی آلیاژ).



شکل ۸ــ۶ــ تعیین جرم و وزن یک قطعه

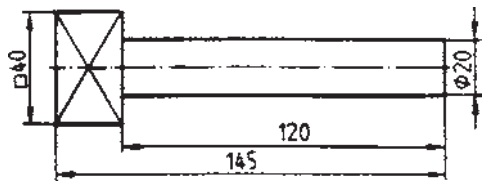
۶ــ وزن یک قطعه از چدن، پس از ریخته‌گری ۲۱ کیلوگرم نیرو به دست آمده است. در صورتی که حجم خارجی این قطعه ۳/۱ دسیمتر مکعب باشد، آیا در داخل آن حفره‌هایی وجود دارد؟ در صورت حفره‌دار بودن حجم آن‌ها چه اندازه است؟

$$\text{وزن مخصوص چدن} = ۷ \frac{\text{kgf}}{\text{dm}^۳}$$

۷ــ شکل ۹ــ۶ ابعاد یک قطعه فولادی را نشان می‌دهد مطلوب است :

الف) حجم قطعه برحسب $\text{dm}^۳$.

ب) وزن ۲۰ عدد از این قطعه برحسب N.



شکل ۹ــ۶

$$g = ۱۰ \frac{\text{m}}{\text{s}^۲}$$

$$\rho = ۷/۸ \frac{\text{kg}}{\text{dm}^۳}$$

فصل هفتم

کار و توان

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود :

۱ــ کار را تعریف کند.

۲ــ واحد کار در سیستم SI را شرح دهد.

۳ــ توان را تعریف کند.

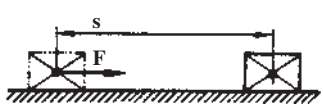
۴ــ واحد توان را شرح دهد.

۵ــ ضریب بهره را تعریف کند.

۷ــ کار و توان

۱ــ۷ــ کار

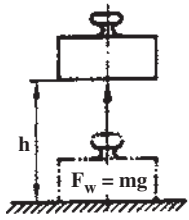
برای بلند کردن بوته ریخته‌گری و یا کشیدن یک چهارچرخه و رندیدن تخته‌های چوب لازم است کار انجام گیرد. برای انجام این فعالیت، باید نیرویی (مانند نیروی وزن بوته، نیروی مقاوم چرخ یا نیروی مقاومت چوب) در یک مسافت جابه‌جا شود. در اینجا یک کار مکانیکی انجام می‌شود و مدت زمان انجام کار نقشی در آن ندارد (شکل ۱ــ۷).



کار می‌تواند همچنین در یک الکتروموتور و یا ماشین حرارتی انجام پذیرد. در این‌صورت، صحبت از کار الکتریکی و یا کار ترمودینامیکی خواهد بود.

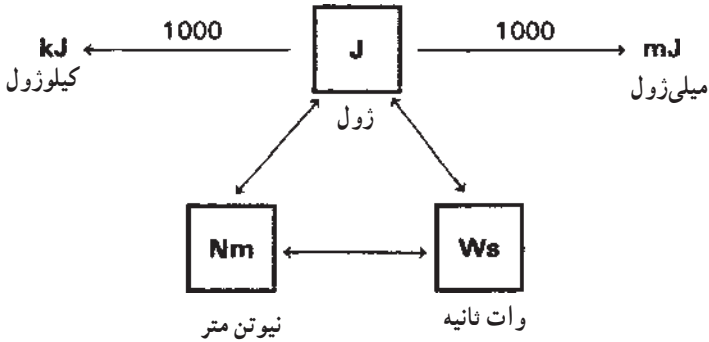
$W = F \times s$ | کار در راستای افق = نیرو × طول مسیر

$W = F_W \times h = mgh$ | کار در راستای قائم = نیروی وزن × ارتفاع



شکل ۱ــ۷

۱ــ۱ــ۷ــ واحد کار در سیستم SI: واحد کار در سیستم SI ژول است و آن عبارت است از تغییر مکان نیروی یک نیوتنی به اندازه یک متر. واحد کار الکتریکی، وات ثانیه است که با ژول برابر است. در شکل ۲ــ۷ واحدهای کار، اجزا و اضعاف آن نشان داده شده است.



شکل ۲ــ۷ ــ اجزا و اضعاف ژول

۲ــ۷ــ توان

در مواردی که صحبت از انجام یک کار در زمان معینی است، صحبت توان به میان می‌آید. هرچه زمان انجام کار کوتاه‌تر باشد، به همان نسبت توان بیشتر خواهد بود (شکل ۳ــ۷).

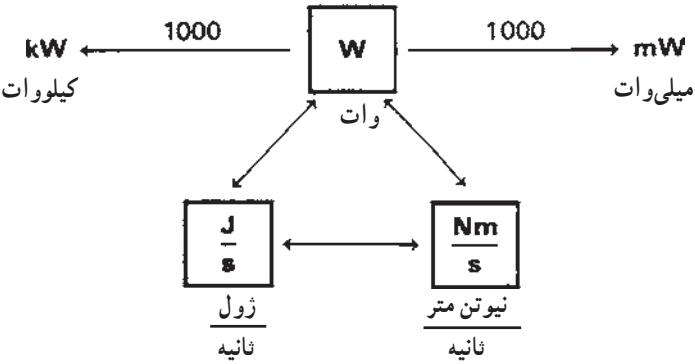
شکل ۳ــ۷ــ توان

$$\text{توان} = \frac{\text{کار}}{\text{زمان}} = \frac{\text{تغییر مکان} \times \text{نیرو}}{\text{زمان}} = \text{سرعت} \times \text{نیرو}$$

$$P = \frac{W}{t} = \frac{F \times s}{t} = F \times v$$

$$P = \frac{F_W \times h}{t} = \frac{mgh}{t}$$

۱ــ۲ــ۷ــ واحد توان: واحد توان در سیستم SI، وات است و آن عبارت است از یک ژول کار انجام شده در یک ثانیه. شکل ۴ــ۷ واحد توان، اجزا و اضعاف آن را نشان می‌دهد.



شکل ۴ــ۷ــ اجزا و اضعاف وات

۳ــ۷ــ ضریب بهره

در وسایل انتقال حرکت و یا ماشین‌های مبدل انرژی مقداری از توان گرفته شده صرف برطرف کردن عواملی مانند اصطکاک، مقاومت الکتریکی شده و یا بخشی از آن تبدیل به حرارت می‌شود، و بقیهٔ آن به‌صورت توان گرفته شده یا توان مفید ظاهر می‌شود. نسبت توان گرفته شده به توان داده شده را ضریب بهره، راندمان یا بازده گویند.

$$\text{ضریب بهره} = \frac{\text{توان گرفته شده}}{\text{توان داده شده}}$$

$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}} = \frac{{}^{1}P_e}{P_i}$$

مثال: الکتروموتوری باری به وزن ۲۲/۵ کیلو نیوتن را در مدت ۴۵ ثانیه به ارتفاع ۸ متری می‌رساند، مطلوب است محاسبه :

الف) کار انجام شده برحسب کیلوژول　　ب) توان گرفته شده موتور

ج) توان داده شده به موتور اگر ضریب بهره ۰/۸ باشد.

حلّ:

الف) $W = F_W \times h = ۲۲۵۰۰N \times ۸m = ۱۸۰۰۰۰Nm = ۱۸۰kj$

ب) $P_{ab} = \frac{W}{t} = \frac{۱۸۰kj}{۴۵s} = ۴\frac{kj}{s}$

ج) $P_{zu} = \frac{P_{ab}}{\eta} = \frac{۴kj}{s \times ۰/۸} = ۵\frac{kj}{s}$

۱ــ P_{ab} = توان گرفته شده　　P_{zu} = توان داده شده

P_e = توان مفید　　P_i = توان اولیه

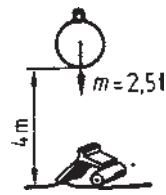
تمرین‌ها

۱ــ یک کوکیل از جنس فولاد ریختگی دارای طول ۵۲۰ میلیمتر، پهنای ۴۶۰ میلیمتر و ارتفاع ۱۲۸۰ میلیمتر است. برای بلند کردن آن تا ارتفاع ۳/۲۵ متر چه مقدار کار مکانیکی برحسب ژول مورد نیاز است؟

$$\rho = ۷/۸ \frac{kg}{dm^۳}$$

$$g = ۱۰ \frac{m}{s^۲}$$

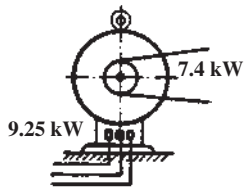
۲ــ برای خرد کردن قراضه‌های ریخته‌گری، وزنه کروی شکل، مطابق شکل ۵ــ۷ را ۶ مرتبه روی آن‌ها رها می‌کنیم. کار انجام شده برحسب کیلوژول چقدر است؟



شکل ۵ــ۷

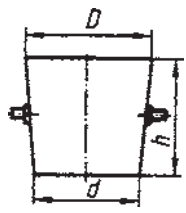
$$g = ۱۰ \frac{m}{s^۲}$$

۳ــ ضریب بهره الکتروموتور در شکل ۶ــ۷ را به‌دست آورید.



شکل ۶ــ۷

۴ــ جرم پاتیل شکل ۷ــ۷، ۱/۲ تن است. قطر بزرگ داخلی بوته ۹۰۰ میلیمتر و قطر کوچک داخلی آن ۸۰۰ میلیمتر و ارتفاع آن ۹۶۰ میلیمتر است. $\frac{۵}{۶}$ حجم آن با مذاب چدن با جرم مخصوص $۶۵۰۰ kg/m^۳$ پر شده است. یک جرثقیل کارگاهی آن را در زمان ۲۶ ثانیه به ارتفاع ۵/۲ متری می‌رساند. اگر ضریب بهره جرثقیل ۰/۷۲ باشد، توان مفید و توان داده شدهٔ آن چند کیلووات است؟



شکل ۷ــ۷

$$g = ۱۰ \frac{m}{s^۲}$$

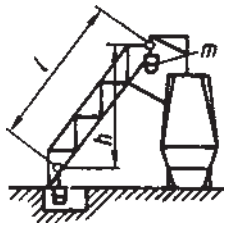
۵ــ جرثقیل مایل کوره بلند شکل ۸ــ۷ دارای مشخصاتی به شرح زیر است :

$$\eta = ۰/۷ \quad ، m = ۲/۸t \quad ، l:h = ۹:۷ \quad ، l = ۴۵m \ ، \quad g = ۱۰ \frac{m}{s^۲}$$

این بالابر در زمان ۲۴ ثانیه به‌طور همزمان ۶ واگن را به مدخل کوره می‌رساند مطلوب است محاسبه :

الف) توان مفید بالابر برحسب kW

ب) توان داده شده بالابر برحسب kW

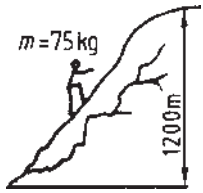


شکل ۸ــ۷

۶ــ با توجه به شکل ۹ــ۷ مطلوب است محاسبه :

الف) برای صعود به کوه چقدر کار مورد نیاز است؟

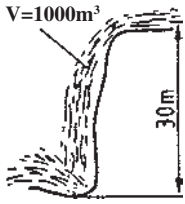
ب) اگر صعود در مدت زمان ۳ ساعت انجام پذیرد توان مصرفی چند وات است؟



شکل ۹ــ۷

$$g = ۹/۸ \frac{m}{s^۲}$$

۷ــ چه توانی برحسب کیلووات از نیروی آب در شکل ۱۰ــ۷ در مدت یک دقیقه حاصل می‌شود.



شکل ۱۰ــ۷

$$\rho_{آب} = ۱۰۰۰ \frac{kg}{m^۳}$$

$$g = ۱۰ \frac{m}{s^۲}$$

فصل هشتم

انتقال حرکت

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود :
۱ــ سرعت در حرکت یکنواخت مستقیم‌الخط را تعریف کند.
۲ــ رابطه سرعت یکنواخت مستقیم‌الخط را بنویسد.
۳ــ سرعت در حرکت یکنواخت دورانی را تعریف کند.
۴ــ رابطه سرعت دورانی یکنواخت را بنویسد.
۵ــ محاسبات مربوط به انتقال حرکت با چرخ تسمه‌ها را انجام دهد.

۸ــ انتقال حرکت

برای انتقال حرکت و نیرو در ماشین‌های اره، رنده، فرز، مته و سنگ و همچنین انتقال مذاب و مواد توسط جرثقیل‌ها و نوارهای نقاله از وسایل انتقال حرکت مختلفی مانند چرخ تسمه‌ها، چرخ‌لنگ‌ها، چرخ دنده‌ها، حلزون و چرخ حلزون، استفاده می‌شود.

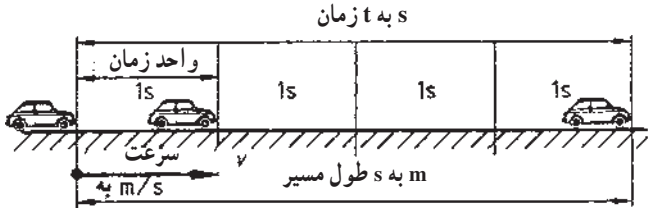
قبل از پرداختن به وسایل انتقال حرکت، لازم است ابتدا حرکت و انواع آن، همچنین سرعت خطی، سرعت محیطی و سرعت برش مورد بررسی قرار گیرد.

تعریف حرکت

هرگاه محل استقرار جسمی تغییر کند گوییم آن جسم حرکت کرده است. حرکت می‌تواند مستقیم (خطی) یا دایره‌ای (محیطی) باشد. هرگاه وسیله نقلیه یا ابزاری در زمان‌های مساوی مسافت‌های برابری را طی کند، حرکت را حرکت یکنواخت و در غیر این صورت حرکت غیریکنواخت گویند.

۱ــ۸ ــ سرعت در حرکت یکنواخت مستقیم‌الخط

سرعت عامل مهمی برای سنجش حرکت است. بنا به تعریف، مسافت پیموده شده بر زمان را سرعت متحرک گویند (شکل ۱ــ۸). هرگاه سرعت وسیله نقلیه یا ابزار یا دستگاهی در مسیر مستقیم در زمان‌های مساوی ثابت بماند سرعت در حرکت یکنواخت مستقیم‌الخط مطرح می‌شود.



شکل ۱ــ۸

$$\text{سرعت} = \frac{\text{طول مسیر}}{\text{زمان}} \qquad v = \frac{s}{t}$$

۱ــ۱ــ۸ــ واحد سرعت: واحد سرعت در سیستم SI متر بر ثانیه است و آن سرعت متحرکی است که در هر ثانیه مسافتی برابر یک متر را طی کند. سرعت می‌تواند بر حسب موارد و محل کاربرد واحدهای دیگری نیز داشته باشد.

واحدها :	v به m/s	s به m	t به s
یا :	v به mm/s	s به mm	t به s
	v به m/min	s به m	t به min
	v به km/h	s به km	t به h

مسأله نمونه: یک جرثقیل سقفی حمل‌کننده مذاب با سرعت ۰/۴۲ متر بر ثانیه حرکت کرده و به طور همزمان یک بوته ریخته‌گری را با سرعت ۴ متر بر دقیقه بلند می‌کند. اگر زمان حرکت ۳۶ ثانیه باشد، مطلوب است محاسبه :

الف) مسافت پیموده شده افقی ب) مسافت پیموده شده عمودی

حلّ:

الف) $s_۱ = v_۱ \times t = ۰/۴۲ \frac{m}{s} \times ۳۶s$

$s_۱ = ۱۵/۱۲m$

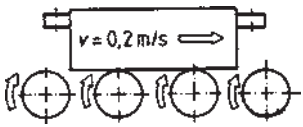
ب) $s_۲ = v_۲ \times t = ۴\frac{m}{min} \times ۰/۶\,min$

$s_۲ = ۲/۴m$

تمرین‌ها

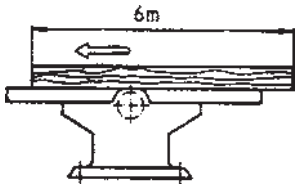
۱ــ اتومبیلی برای طی مسافت ۳۸۲/۵ کیلومتر در اتوبانی ۴ ساعت و ۱۵ دقیقه وقت صرف می‌کند. سرعت متوسط آن چند کیلومتر بر ساعت و چند متر بر ثانیه است؟

۲ــ درجه‌های قالب ریخته‌گری در شکل ۲ــ۸ در مدت ۲ دقیقه چه مسافتی را طی می‌کنند؟



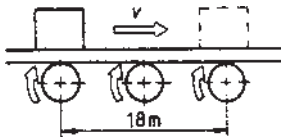
شکل ۲ــ۸

۳ــ اگر زمان رنده‌کاری هر الوار ۳۰ ثانیه طول بکشد سرعت پیشروی متوسط در ماشین رنده شکل ۳ــ۸ چند متر بر دقیقه است؟



شکل ۳ــ۸

۴ــ قطعه‌ای به وسیله نوار نقاله شکل ۴ــ۸ در زمان ۱۲ ثانیه به مسافت ۱۸ متری حمل می‌شود. سرعت نوار نقاله چند متر برثانیه است؟



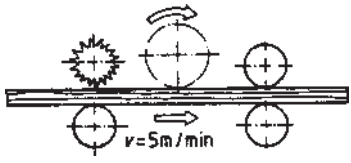
شکل ۴ــ۸

۵ــ در یک ماشین رنده یک صفحه فرم به طول ۱/۸ متر رنده‌کاری خواهد شد. زمان کورس رفت ۵ ثانیه و زمان کورس برگشت ۲/۴ ثانیه می‌باشد. مطلوب است محاسبه :

الف) سرعت کاری $v_۱$

ب) سرعت برگشت $v_۲$

۶ــ چند متر الوار را می‌توان در $\frac{۳}{۴}$ ساعت به‌وسیله ماشین رنده مطابق شکل ۵ــ۸ رندید؟

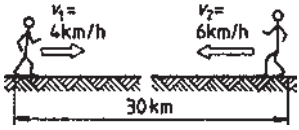


شکل ۵ــ۸

۷ــ در شکل ۶ــ۸ مطلوب است :

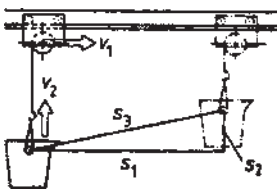
الف) مدت زمانی که طول می‌کشد دو کارگر به هم برسند.

ب) مسافت طی شده توسط هر کارگر چقدر است؟



شکل ۶ــ۸

۸ــ جرثقیل سقفی شکل ۷ــ۸ یک بوته ریخته‌گری را با سرعت $v_2 = ۳/۲ \frac{m}{s}$ متر بر ثانیه به ارتفاع $s_2 = ۶/۴m$ حمل می‌کند. مطلوب است محاسبه :



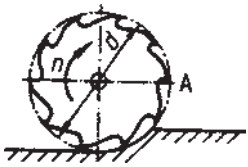
شکل ۷ــ۸

الف) زمان لازم برای انجام آن

ب) سرعت افقی جرثقیل v_1 بر حسب متر بر ثانیه اگر $s_1 = ۴۲m$ باشد.

۲ــ۸ــ سرعت در حرکت یکنواخت دورانی

در کارهای براده‌برداری لبه برنده ابزار A شکل ۸ــ۸ (به عنوان مثال اره مجموعه‌ای، تیغه فرز، مته و...) با سرعت یکنواخت روی دایره‌ای حرکت می‌کند. در این حرکت از حاصلضرب طول مسیر $s = d \times \pi$ در تعداد دوران n سرعت برش v به دست می‌آید. همچنین در کارهای غیر براده‌برداری (مانند چرخ‌ها) سرعت محیطی v محاسبه می‌شود.



شکل ۸ــ۸

سرعت برش (سرعت محیطی)	= تعداد دوران × محیط دایره

$$v = d \times \pi \times n$$

واحدها : v به m/s d به m n به ۱/s

یا : v به m/min d به m n به ۱/min

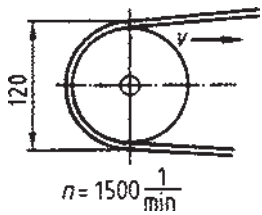
مسأله نمونه: یک اره مجموعه‌ای به قطر ۲۶۰ میلیمتر با تعداد دوران ۲۸۰۰ دور بر دقیقه کار می‌کند. سرعت برش آن را بر حسب متر بر ثانیه به‌دست آورید.

حلّ:

$$v = d \times \pi \times n = ۰/۲۶m \times ۳/۱۴ \times \frac{۲۸۰۰}{۶۰s} = ۳۸/۱\frac{m}{s}$$

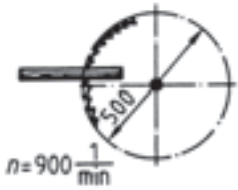
تمرین‌ها

۱ــ سرعت تسمه در شکل ۹ــ۸ چند متر بر ثانیه است؟ اگر قطر مؤثر چرخ تسمه ۱۲۰ میلیمتر و تعداد دوران آن ۱۵۰۰ دور بر دقیقه باشد.



شکل ۹ــ۸

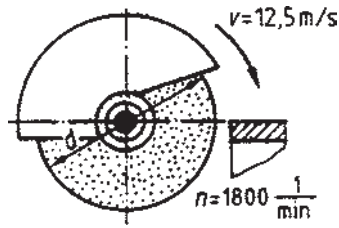
۲ــ سرعت برش در اره مجموعه شکل ۱۰ــ۸ چند متر بر ثانیه است؟



شکل ۱۰ــ۸

۳ــ میله‌ای به قطر ۵۰ میلیمتر روی ماشین تراش با چه سرعت برشی (بر حسب متر بر دقیقه) تراشیده می‌شود؟ اگر تعداد دوران آن ۲۶۰ دور بر دقیقه باشد.

۴ــ کارخانه سازنده سنگ سنباده‌ای سرعت ۱۲/۵ متر بر ثانیه را برای سنگ سنباده توصیه کرده است (شکل ۱۱ــ۸). اگر تعداد دوران محور ۱۸۰۰ دور بر دقیقه باشد، قطر سنگ سنباده چند میلیمتر باید انتخاب شود؟

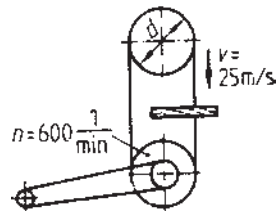


شکل ۱۱ــ۸

۵ــ در ماشین اره نواری شکل ۱۲ــ۸ مطلوب است محاسبه:

الف) قطر فلکه اره نواری

ب) اگر تعداد دوران به ۶۸۰ دور بر دقیقه تغییر یابد، سرعت برش چند متر بر دقیقه خواهد شد؟



شکل ۱۲ــ۸

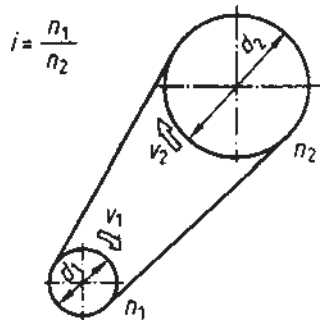
۶ــ قطر میز یک دستگاه تمیز کننده قطعات ریخته‌گری ۳/۲ متر است. تعداد دوران آن چند دور بر دقیقه انتخاب شود تا سرعت محیطی آن ۰/۲ متر بر ثانیه باشد.

۷ــ در تمرینات زیر مقادیر مجهول را پیدا کرده و در جدول بنویسید.

	۱ ۲ ۳	۱ ۲ ۳	۱ ۲ ۳	۱ ۲ ۳
	ماشین اره مجموعه‌ای	ماشین اره‌نواری	ماشین رنده	ماشین فرز
d به mm	۳۲۰ ۴۰۰ ?	? ۳۶۰ ۷۵۰	۱۰۰ ? ۸۰	? ۱۲۰ ۶۰
n به ۱/min	۲۸۰۰ ? ۳۲۰۰	۵۵۰ ? ۶۰۰	? ۵۸۰۰ ۶۵۰۰	۵۲۰۰ ? ۴۸۰۰
v به m/s	? ۳۶ ۴۰	۲۳ ۱۸ ?	۳۲ ۳۶/۴ ?	۲۸/۶ ۳۰/۲ ?

۳ــ۸ــ انتقال حرکت به‌وسیله تسمه و چرخ تسمه

ــ نسبت ساده: در دستگاه تسمه و چرخ تسمه شکل ۱۳ــ۸ سرعت محیطی دو چرخ با قطرهای مختلف با هم برابر است. اگر از لغزش بین تسمه و چرخ تسمه صرف‌نظر شود، می‌توان نوشت :



شکل ۱۳ــ۸

سرعت محیطی چرخ محرک : $v_1 = d_1 \times \pi \times n_1$

سرعت محیطی چرخ متحرک : $v_2 = d_2 \times \pi \times n_2$

$$v_1 = v_2$$

$$d_1 \times \pi \times n_1 = d_2 \times \pi \times n_2$$

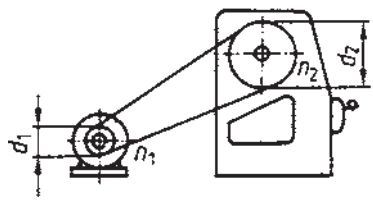
$$d_1 \times n_1 = d_2 \times n_2 \qquad \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1}$$

نسبت دورها و یا نسبت قطرها را نسبت انتقال حرکت نامیده و با حرف i نمایش می‌دهیم.

$$i = \frac{n_1}{n_2} \qquad i = \frac{d_2}{d_1}$$

مسأله نمونه: در دستگاه انتقال حرکت شکل ۱۴ــ۸ تعداد دوران چرخ متحرک و نسبت انتقال

حرکت را به دست آورید :



شکل ۱۴ــ۸

$d_1 = ۸۴mm$

$n_1 = ۱۲۰۰ / min$

$d_2 = ۲۹۴mm$

حلّ:

$$d_1 \times n_1 = d_2 \times n_2$$

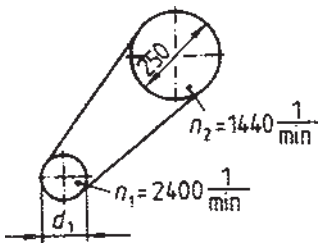
$$n_2 = \frac{d_1 \times n_1}{d_2} = \frac{۸۴mm \times ۱۲۰۰}{۲۹۴mm \times min} = ۳۴۳ / min$$

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{۱۲۰۰ / min}{۳۴۳ / min} = ۳ / ۵ : ۱$$

تمرین‌ها

۱ــ نسبت انتقال حرکت در دستگاه چرخ تسمه‌ای را به دست آورید که قطر چرخ محرک آن ۶۰ میلیمتر و قطر چرخ متحرک آن ۲۱۰ میلیمتر باشد.

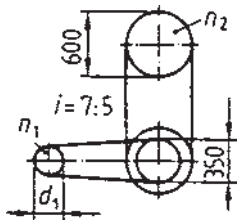
۲ــ در دستگاه انتقال حرکت شکل ۱۵ــ۸ قطر چرخ محرک و نسبت انتقال حرکت را به‌دست آورید.



شکل ۱۵ــ۸

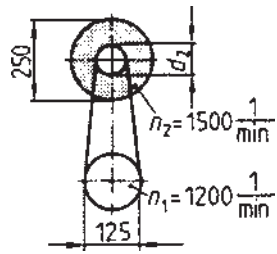
۳ــ در یک دستگاه چرخ تسمه ذوزنقه‌ای نسبت انتقال حرکت ۱ :۲/۵ و قطر مؤثر چرخ محرک ۱۶۰ میلیمتر است. قطر مؤثر چرخ متحرک را به‌دست آورید.

۴ــ سرعت محیطی اره نواری شکل ۱۶ــ۸، ۵۰/۲۴ متر بر ثانیه است. تعداد دوران n_2 قطر d_1 و تعداد دوران موتور را محاسبه کنید.



شکل ۱۶ــ ۸

۵ــ قطر چرخ متحرک ماشین سنگ سنبادہ شکل ۱۷ــ۸ را به‌دست آورید. همچنین سرعت برش سنگ سنباده را برحسب متر بر ثانیه و نسبت انتقال حرکت را تعیین کنید.



شکل ۱۷ــ ۸

فصل نهم

حرارت

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود :
۱ــ دما (درجه حرارت) را تعریف کند.
۲ــ تبدیلات مربوط به واحدهای درجه حرارت را انجام دهد.
۳ــ مقدار گرما (حرارت) را تعریف کند.
۴ــ گرمای ویژه، گرمای نهان‌گداز، گرمای نهان تبخیر را تعریف کند.
۵ــ رابطه مقدار گرما را بنویسد.
۶ــ مقدار گرمای لازم برای ذوب فلزات و احتراق سوخت‌ها را محاسبه کند.
۷ــ راندمان حرارتی کوره را محاسبه کند.

۹ــ حرارت

۱ــ۹ــ ماهیت حرارت

حرارت یا گرما شکل خاصّی از انرژی است (انرژی به توانایی یا استعداد انجام کار می‌گویند). در حقیقت این انرژی به لرزش و جنبش اتم‌ها یا مولکول‌های تشکیل‌دهنده جسم مربوط است. در یک جسم، بر هر اتم یا ذره، از طرف مجموعه اتم‌ها و ذرات دیگر، نیروهای جاذبه و دافعه زیادی وارد می‌شود که ارتباط و استقرار آن‌ها، شکل و مجموعه اتمی جسم را مشخص و تعیین می‌کند. اگر براثر نیروی خارجی (اعمال حرارت، فشار، اصطکاک، ضربه و ...) دامنه نوسان‌ها و ارتعاشات درونی بین اتمی، افزایش یابد، نیروهای جاذبه و دافعه کاهش یافته و جسم ذوب می‌شود (اتم‌ها یا مجموعه‌ای از آن‌ها روی هم می‌لغزند). چنانچه تأثیر عوامل خارجی مذکور بیشتر شود، انرژی جنبشی و ارتعاشی ذرات افزایش یافته و جسم به حالت گاز درمی‌آید. بنابراین، «حرارت یا گرما براثر حرکت و جنبش نامنظم مولکول‌های جسم به‌وجود می‌آید».

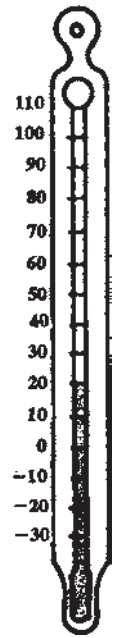
۲ــ۹ــ درجه حرارت

وقتی تحرّک و شدت ارتعاش اتم‌ها یا مولکول‌های یک جسم زیاد شود، گفته می‌شود که جسم گرمتر شده است. این حرکت گرمایی، در حقیقت مشخص کنندهٔ کمیّتی است که به آن درجه حرارت یا دما[1] می‌گویند. دمای یک جسم مربوط است به انرژی متوسط حرکت گرمایی مولکول‌های آن.

چنانچه دو جسم را که با درجه حرارت‌های مختلف گرم شده‌اند به‌هم تماس دهیم، نوعی انتقال انرژی یا مبادله گرما انجام می‌گیرد و آنکه گرمتر است سرد شده و دمای جسم دیگر را بالا می‌برد. چون اندازه‌گیری دامنه ارتعاشات مولکول‌ها به سهولت و در شرایط غیرآزمایشگاهی ممکن نیست از این رو اندازه‌گیری حرارت درونی یا بیرونی یک جسم به‌وسیله مقایسه آن با حرارت یک جسم مشخص و در شرایط معینی به‌عمل می‌آید که در مجموع می‌توان گفت که نسبت گرمایی آن دو جسم تعیین می‌شود. به عبارت دیگر تعیین درجه حرارت بر پایه مقایسه و تأثیرپذیری و یا بی‌اثر بودن ارتعاش مولکولی یک جسم بر جسم دیگر بیان می‌شود. لذا بر این اساس، گرمی و سردی، یک امر نسبی است که با درجه حرارت مشخص می‌شود.

۳ــ۹ــ اساس و نحوهٔ اندازه‌گیری درجه حرارت

درجه حرارت عاملی است که احساس سردی یا گرمی را در انسان ایجاد می‌کند. ولی احساس انسان به‌طور دقیق قادر به تشخیص درجه حرارت اجسام نیست و به‌علاوه حدود درجه حرارت قابل اندازه‌گیری از این طریق، محدود است. از این رو باید متوسّل به تأثیر حرارت بر حساس‌ترین خاصیت اجسام شد. مهمترین این تأثیرات عبارتند از : انبساط حجمی مایعات (مخصوصاً جیوه و الکل)، انبساط طولی فلزات و آلیاژها، تغییر حالت اجسام (نقطه زینتر[2] و خمیری شدن، نقطه ذوب، نقطه جوش و ...)، ازدیاد فشار گازهای نزدیک به گاز ایده‌آل نظیر : هلیُم، ئیدروژن و ازت، تغییرات مقاومت و جریان الکتریکی در فلزات، تغییر ولتاژ و نیروی محرّکه الکتریکی، تغییرات رنگ و تشعشع اجسام گداخته و مُلتهب.



شکل ۱ــ۹ــ اندازه‌گیری درجه حرارت در یک دماسنج جیوه‌ای

۱ــ Temperature

۲ــ Sinter

براساس یکی از تأثیرات و شرایط مذکور، دماسنج یا ترمومتر[1]، طراحی و ساخته می‌شود که در موارد مختلف اندازه‌گیری، قابل استفاده است. درجه‌بندی دماسنج‌ها یکسان نیست ولی آنچه مشخص است تعیین دو نقطه اصلی ثابت مانند ذوب یخ و نقطه جوش آب (هم‌سطح دریای آزاد که فشار هوا ۱ آتمسفر است.) به‌عنوان مقیاس و مبنای اصلی است. شکل ۱ــ۹ تأثیر حرارت بر انبساط جیوه را در طول لوله باریک یک دماسنج که مقطع آن در تمام قسمت‌ها یکسان است، نشان داده است.

۴ــ۹ــ واحدهای درجه حرارت

درجه حرارت با واحدها و مقیاس‌های دمایی مختلف و براساس درجه‌بندی دماسنج‌ها بیان می‌شود که متداولترین و مشهورترین آن‌ها عبارتند از :

۱ــ۴ــ۹ــ درجه‌بندی سلسیوس[2]: این درجه‌بندی صد قسمتی (سانتیگراد) است. در این مقیاس نقطه ذوب یخ برابر صفر، و نقطه جوش آب در شرایط یک آتمسفر فشار، برابر ۱۰۰ تعیین شده است. این درجه‌بندی و مقیاس، در اکثر کشورهای جهان ازجمله ایران مورد استفاده است و با علامت $^{\circ}C$ مشخص می‌شود.

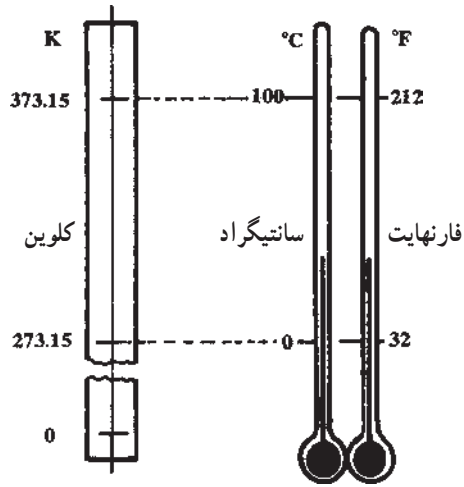
۲ــ۴ــ۹ــ درجه‌بندی فارنهایت[3]: در این مقیاس، دمای انجماد آب (که برابر است با نقطه ذوب یخ)، $0\ ^{\circ}C$ برابر ۳۲ درجه فارنهایت و نقطه جوش آب $100\ ^{\circ}C$ و معادل ۲۱۲ درجه فارنهایت درنظر گرفته شده است. در این‌صورت فاصله بین نقطه ذوب یخ و نقطه جوش آب ۱۸۰ قسمتی خواهد بود. زیرا :

درجه فارنهایت $212 - 32 = 180$

این واحد در کشورهای انگلیسی زبان متداول است و با علامت $^{\circ}F$ مشخص می‌شود.

۳ــ۴ــ۹ــ درجه‌بندی کلوین[4]: واحد اندازه‌گیری درجه حرارت در سیستم SI، درجه کلوین است که آن را با علامت K مشخص می‌کنند. صفر این درجه‌بندی معادل ۲۷۳/۱۵- درجه سانتیگراد و فاصله درجات آن نیز به همان اندازه سانتیگراد است. این درجه حرارت پایین‌ترین حدّ دمای ممکن است (صفر مطلق). در این دما که برای تمام اجسام یکسان است، انرژی داخلی مادّه به حدّاقل ممکن می‌رسد. شکل ۲ــ۹ مقایسه درجه‌بندی‌های کلوین، سانتیگراد و فارنهایت را نشان می‌دهد.

۱ــ Thermometer
۲ــ Anders Celecius
۳ــ Gabriel Fahrenheit
۴ــ William Thomson Kelvin



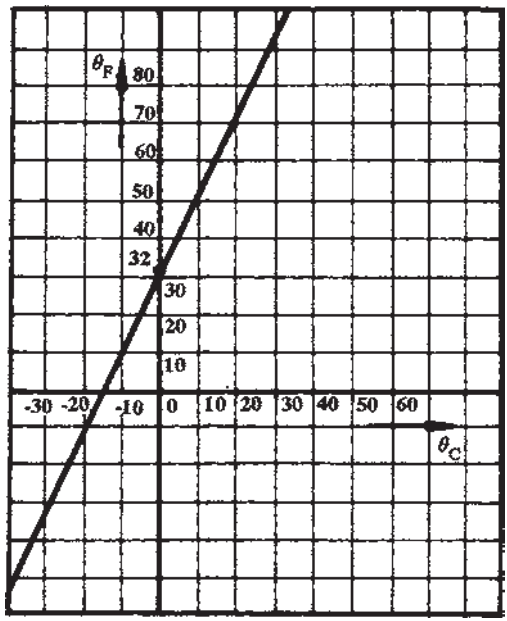
شکل ۲ــ۹ــ مقایسه درجه‌بندی‌های کلوین، سانتیگراد و فارنهایت

۵ ــ۹ــ رابطه تبدیل واحدهای درجه حرارت

به کمک این دو رابطه، می‌توان تمام واحدهای درجه حرارت را به یکدیگر تبدیل کرد :

$$\frac{\theta_F - ۳۲}{۱۸۰} = \frac{\theta_C}{۱۰۰} \qquad T_K = \theta_C + ۲۷۳/۱۵$$

که در آن‌ها θ_C درجه حرارت سانتیگراد، θ_F درجه حرارت فارنهایت (θ تِتا حرف یونانی است) و T_K درجه حرارت کلوین است. شکل ۳ــ۹ نمودار تغییرات تابع θ_F را نسبت به θ_C نشان می‌دهد. این نمودار، خطی است مستقیم که به کمک آن می‌توان درجه حرارت جسم را از سانتیگراد به فارنهایت (و بالعکس) تبدیل کرد.



شکل ۳ــ۹ــ نمودار تغییرات درجه حرارت فارنهایت نسبت به درجه حرارت سانتیگراد

مثال ۱: نقطه ذوب مس $۱۰۸۳\ ^\circ C$ است. نقطه ذوب آن را برحسب درجه فارنهایت و درجه کلوین تعیین کنید.

حلّ:

$$\frac{\theta_F - ۳۲}{۱۸۰} = \frac{\theta_C}{۱۰۰}$$

$$\frac{\theta_F - ۳۲}{۱۸۰} = \frac{۱۰۸۳}{۱۰۰} \Rightarrow \theta_F - ۳۲ = \frac{۱۸۰ \times ۱۰۸۳}{۱۰۰} = ۱۹۴۹/۴ \Rightarrow$$

$$\theta_F = ۱۹۴۹/۴ + ۳۲ = ۱۹۸۱/۴^\circ F$$

$$T_K = \theta_C + ۲۷۳/۱۵$$

$$T_K = ۱۰۸۳ + ۲۷۳/۱۵ = ۱۳۵۶/۱۵K$$

مثال ۲: نقطه ذوب سرب ۶۰۰/۵ درجه کلوین و نقطه ذوب قلع ۴۴۹/۶ درجه فارنهایت است. کدام‌یک از آن‌ها دیر ذوب‌تر هستند؟ (نقطه ذوب کدام‌یک بیشتر است؟)

حلّ:

$$T_K = \theta_C + ۲۷۳/۱۵$$

نقطه ذوب سرب

$$۶۰۰/۵ = \theta_C + ۲۷۳/۱۵ \Rightarrow \theta_C = ۶۰۰/۵ - ۲۷۳/۱۵ = ۳۲۷/۳۵^\circ C$$

$$\frac{\theta_F - ۳۲}{۱۸۰} = \frac{\theta_C}{۱۰۰}$$

نقطه ذوب قلع $\frac{۴۴۹/۶ - ۳۲}{۱۸۰} = \frac{\theta_C}{۱۰۰} \Rightarrow \theta_C = \frac{۱۰۰(۴۴۹/۶ - ۳۲)}{۱۸۰} = ۲۳۲^\circ C$

چنانچه ملاحظه می‌شود، نقطه ذوب سرب بیشتر از نقطه ذوب قلع است که اختلاف آن‌ها برابر است با:

$$۳۲۷/۳۵ - ۲۳۲ = ۹۵/۳۵^\circ C$$

۶ــ۹ــ تعریف مقدار حرارت

تجربیات و شواهد متعددی وجود دارد که ثابت می‌کند هرگاه جسمی (جامد، مایع یا گاز) گرم شود، سرعت و شدت حرکت مولکول‌های آن زیاد شده و باعث تغییری در جسم می‌شود. ممکن است

این تغییر، با افزایش دما، یا تغییر حالت‌های فیزیکی جسم ظاهر شود. مثلاً وقتی به یک قطعه فلز، مقداری حرارت داده می‌شود، درجه حرارتش بالا می‌رود و چنانچه همین قطعه در نقطه ذوب فلز گرم شود، دمایش ثابت مانده و در عوض تغییر حالت می‌دهد به‌طوری که از وضعیت جامد خارج شده و به مذاب تبدیل می‌شود (تغییر فاز). ولی به‌هرحال قطعه فلزی مقداری حرارت گرفته و انرژی داخلی یا درونی آن بالا رفته است. به‌عبارت دیگر جنبش اتم‌های فلز (انرژی مکانیکی) بیشتر شده است. بنابراین هرچه سرعت اتم‌ها یا مولکول‌ها و تعداد آن‌ها بیشتر باشد، این انرژی نیز بیشتر خواهد بود (به همین علّت مقدار حرارت، با جرم جسم و ازدیاد دمای آن متناسب است). طبق تعریف می‌توان گفت که : «مقدار حرارت اندازه‌ای است از انرژی مکانیکی که می‌تواند باعث تغییرات دمایی یا حالت‌های فیزیکی مختلف در اجسام شده و انرژی داخلی آن‌ها را تغییر دهد».

مقدار حرارت نیز مانند انرژی مکانیکی دارای الگوی هندسی نبوده و برخلاف کمیت‌هایی نظیر طول و جرم، نمی‌توان از آن نمونه‌ای به‌عنوان واحد گرما ساخت و نگهداری کرد. مقدار حرارت را با حرف Q (یا H) نمایش می‌دهند.

۷ــ۹ــ واحدهای مقدار حرارت

چون حرارت نوعی انرژی است، لذا واحد آن نیز مانند واحد انرژی و کار در سیستم SI، ژول[۱] خواهد بود که عبارتست از کار نیروی یک نیوتن به اندازه یک متر. ولی قبل از آنکه مسلّم شود حرارت، انرژی مکانیکی مولکول‌های جسم است، ۳ واحد برای اندازه‌گیری آن متداول بوده که امروزه نیز هنوز معمول و رایج است. این واحدها عبارتند از :

کالری (cal)، کیلوکالری (kcal) و بی‌تی‌یو (B.T.U[۲])

۱ــ۷ــ۹ــ تعریف مقدار کالری: یک کالری مقدار حرارتی است که می‌تواند دمای یک گرم آب خالص را از $14/5^{\circ}C$ به $15/5^{\circ}C$ افزایش دهد. (مقدار گرمای لازم برای گرم‌کردن یک گرم آب به اندازه یک درجه سانتیگراد فقط در فاصله دمایی مذکور، برابر یک کالری است و هرچه این اختلاف در درجه حرارت‌های بالاتر انتخاب شود، کالری لازم کمی بیشتر خواهد بود).

۱ــ Joule

۲ــ علامت اختصاری British Thermal Unit (واحد حرارت بریتانیا)

۲ــ۷ــ۹ــ کیلوکالری: برابر ۱۰۰۰کالری و به‌عبارت دیگر گرمای لازم برای افزایش یک درجه سانتیگراد ($14/5^{\circ}C$ تا $15/5^{\circ}C$) برای یک کیلوگرم آب خالص است.

۳ــ۷ــ۹ــ بی‌تی‌یو: مقدار حرارتی است که می‌تواند درجه حرارت یک پوند (۴۵۳/۵۹ گرم) آب خالص را از $63^{\circ}F$ به $64^{\circ}F$ برساند. هر بی‌تی‌یو ۲۵۲ کالری است.

بنابراین :

$$1kcal = 1000cal = \frac{1000}{252} B.T.U. = 3/97 B.T.U$$

$$1B.T.U \approx \frac{1}{4} kcal$$ به‌طور تقریبی می‌توان نوشت :

در ایران واحد مقدار حرارت کالری (و همچنین ژول) تعیین شده است و واحد B.T.U در بعضی محاسبات صنعتی نظیر مسایل حرارتی مربوط به شوفاژ و تأسیسات حرارت مرکزی و پالایشگاه‌ها به‌کار می‌رود.

۸ ــ۹ــ رابطه کالری و واحد مکانیکی کار و انرژی

همانطور که قبلاً گفته شد، گرما عبارتست از انرژی مکانیکی و جنبشی مولکول‌های جسم. ژول دانشمند انگلیسی با آزمایش‌های متعدد نشان داد که اگر انرژی یک کالری (مجموع انرژی‌های جنبشی مولکول‌های یک گرم آب در فاصله دمایی یک درجه سانتیگراد) توسط دستگاهی به کار تبدیل شود، این کار قادر خواهد بود یک وزنه ۴/۱۸۶۸ نیوتنی را به اندازه یک متر به‌طور قائم بالا ببرد و چون کار یک نیوتن به اندازه یک متر، ژول نامیده می‌شود، لذا می‌توان نوشت :

$$1cal \approx 4/19J \Rightarrow$$ ژول ۴/۱۸۶۸ = ۱ کالری

بنابراین کار معادل Q کالری چنین خواهد بود :

$$\boxed{J = 4/1868 cal}$$

به کمک این رابطه می‌توان واحدهای مقدار گرما را برحسب ژول (واحد مقدار حرارت در سیستم SI) تبدیل کرد.

$$1\,kcal = 1000cal = 4/1868 \times 1000J = 4186/8J \approx 4/19\,kJ$$

$$1B.T.U. \approx \frac{1}{4} kcal \Rightarrow 1B.T.U \approx \frac{4/19kJ}{4} \approx 1/05\,kJ$$

۹ــ۹ــ تعریف ظرفیت حرارتی

مقدار گرمای لازم برای افزایش یک درجه سانتیگراد از هر جسمی را ظرفیت حرارتی آن جسم نامیده و آن را با A نمایش می‌دهند. با این تعریف معلوم می‌شود که مقدار حرارت لازم برای آنکه درجه حرارت دو جسم با جرم‌های مساوی (ولی از دو جنس متفاوت) به یک اندازه افزوده شود، یکسان نیست. مثلاً برای آنکه ۳۰ کیلوگرم آلومینیم از $۲۰^{\circ}C$ به $۲۱^{\circ}C$ برسد، حدود $۶/۵kcal$ حرارت لازم دارد. درحالی که افزایش همین درجه حرارت برای ۳۰ کیلوگرم آهن به $۳/۴kcal$ حرارت نیازمند است. اگر Q مقدار گرمایی باشد که بتواند درجه حرارت جسم را به اندازه $\Delta\theta$ بالا ببرد، در این‌صورت می‌توان نوشت :

$$\boxed{A=\frac{Q}{\Delta\theta}} \qquad \boxed{\Delta\theta=\theta_{۲}-\theta_{۱}}$$

مثال: گرمای لازم برای بالا بردن درجه حرارت یک قطعه مسی از $۲۵^{\circ}C$ تا $۴۰۰^{\circ}C$ ، $۱۳/۹kcal$ است. ظرفیت حرارتی آن را برحسب کالری بر درجه سانتیگراد و همچنین ژول بر درجه کلوین تعیین کنید.

حلّ:

$$Q=۱۳/۹\,kcal=۱۳۹۰۰cal$$

$$A=\frac{Q}{\Delta\theta}\Rightarrow A=\frac{۱۳۹۰۰}{۴۰۰-۲۵}=۳۷/۰۶۷\frac{cal}{^{\circ}C}$$

چون اختلاف درجه حرارت کلوین و سانتیگراد برابر است $(\Delta T=\Delta\theta)$ لذا :

$$A=\frac{۱۳۹۰۰\times ۴/۱۹}{۴۰۰-۲۵}\frac{J}{K}=۱۵۵/۳\frac{J}{K}$$

۱۰ــ۹ــ تعریف گرمای ویژه

برای تعیین ظرفیت حرارتی اجسام، از ظرفیت حرارتی واحد جرم تحت‌عنوان «گرمای ویژه» استفاده می‌کنند و آن عبارت است از : مقدار حرارت لازم برای افزایش یک درجه سانتیگراد برای هر گرم (یا کیلوگرم) از جسم. گرمای ویژه اجسام در درجه حرارت‌های مختلف، برابر نیست. به‌طوری که اندازه آن را تحت فشار ثابت و یا حجم ثابت در درجه حرارت‌های مختلف، و حالت‌های فیزیکی متفاوت تعیین کرده و در جداولی درج کرده‌اند. گرمای ویژه را با حرف c نمایش می‌دهند. چون گرمای ویژه اجسام در درجه حرارت‌های مختلف متفاوت است، لذا در محاسبات و حلّ مسایل، متوسط (یا میانگین) آن را منظور می‌کنند. گرمای ویژه متوسط به صورت $\bar{c}$ مشخص می‌شود.

۱ــ۱۰ــ۹ــ واحد گرمای ویژه: چون گرمای ویژه، مقدار حرارت لازم برای افزایش یک درجه سانتیگراد از جسمی به جرم واحد را مشخص می‌کند، لذا مقدار حرارت موردنیاز برای افزایش درجه حرارت جسمی به اندازه $\Delta\theta$ و به‌جرم m، برابر است با : $Q = mc\Delta\theta$ و با تعیین مقدار c خواهیم داشت : $c = \frac{Q}{m\Delta\theta}$ که به کمک آن می‌توان واحدهای گرمای ویژه را مشخص کرد که عبارتند از :

$$\frac{cal}{g.^{\circ}C} = \frac{kcal}{kg.^{\circ}C} \quad و \quad \frac{J}{kg.K} = \frac{J}{kg.^{\circ}C} \Rightarrow ۱\frac{cal}{g.^{\circ}C} = ۴۱۸۶/۸\frac{J}{kg.K}$$

یادآوری می‌شود که فاصله درجات حرارتی سانتیگراد و کلوین یکسان است. به همین دلیل در محاسبات، برای مشخص‌کردن مقدار گرمای ویژه به‌کار بُردن واحد $\frac{J}{kg.^{\circ}C}$ به‌جای $\frac{J}{kg.K}$ (واحد گرمای ویژه در سیستم SI) معمول بوده و صحیح است.

در سیستم انگلیسی، واحد گرمای ویژه برحسب بی‌تی‌یو بر پوند درجه فارنهایت $(\frac{B.T.U}{Ib.^{\circ}C})$ بیان می‌شود.

جدول ۱ــ۹ گرمای ویژه برخی ازفلزات و آلیاژها را نشان می‌دهد (همچنین گرمای ویژه آب که در $۲۵^{\circ}C$ برابر واحد فرض، شده است).

جدول ۱ــ۹ــ گرمای ویژه پاره‌ای از مواد

فلز	گرمای ویژه $cal/g.^{\circ}C$	گرمای ویژه $kJ/kg.K$	آلیاژ[۱]	گرمای ویژه $cal/g.^{\circ}C$	گرمای ویژه $kJ/kg.K$
آلومینیم	۰/۲۱۷	۰/۹۰۸	چدن	۰/۱۱۶	۰/۴۸۵
آهن	۰/۱۱۳	۰/۴۷۳	فولاد	۰/۱۱۵	۰/۴۸۱
مس	۰/۰۹۳	۰/۳۹۰	برنج	۰/۰۹۴	۰/۳۹۳
منیزیم	۰/۲۳۴	۰/۹۸۰	برنز	۰/۰۸۲	۰/۳۴۳
سرب	۰/۰۳۱	۰/۱۳۰	سرب خشک	۰/۰۳۵	۰/۱۴۶
روی	۰/۰۹۱	۰/۳۸۱	دور آلومین	۰/۲۱۱	۰/۸۸۳
قلع	۰/۰۵۴	۰/۲۲۶	آب	۱	۴/۱۸۶

۱ــ درمورد آلیاژها ترکیب آن‌ها حائز اهمیت است و در هر مورد با نسبت‌های ترکیبی، گرمای ویژه تغییر می‌کند.

۱۱ــ۹ــ تعریف نقطه ذوب

درجه حرارتی است که در فشار یک آتمسفر، جسم تغییر شکل ساختمانی از حالت جامد به مایع می‌دهد. نقطه انجماد نیز با نقطه ذوب برابر بوده و آن درجه حرارتی است که می‌تواند در همین فشار تغییر شکل ساختمانی از حالت مایع به جامد ایجاد کند و در طول مدت ذوب یا انجماد، همواره درجه حرارت ثابت است.

۱۲ــ۹ــ تعریف گرمای نهان‌گداز

مقدار حرارتی است که واحد جرم جسم در نقطه ذوب و در فشار یک آتمسفر می‌گیرد، تا به‌حالت مایع درآید. گرمای نهان‌گداز را با حرف λ (لاندا) نمایش می‌دهند.

۱ــ۱۲ــ۹ــ واحد گرمای نهان‌گداز: اگر جرم جسمی m و گرمای نهان‌گداز آن λ باشد، بدیهی است که گرمای لازم برای ذوب آن (در نقطه ذوب)، $Q_\lambda = m.\lambda$ خواهد بود. از این رابطه می‌توان λ را به‌دست آورده و واحدهای آن را بیان کرد :

$$\boxed{\lambda = \frac{Q_\lambda}{m}} \Rightarrow \lambda \text{ واحدهای } : \frac{cal}{g} = \frac{kcal}{kg} \text{ و } \frac{J}{kg} \text{ و } \frac{kJ}{kg} \text{ و } \frac{B.T.U}{Ib}$$

برای تبدیل واحد $\frac{cal}{g}$ به واحد سیستم SI($\frac{J}{kg}$) می‌توان از تساوی زیر استفاده کرد.

$$۱\frac{cal}{g} = ۴/۱۸۶۸\times۱۰^{۳}\frac{J}{kg} \approx ۴/۱۹\ \frac{kJ}{kg}$$

در جدول ۲ــ۹ گرمای نهان‌گداز تعدادی جسم جامد (در نقطه ذوب آن‌ها) درج شده است.

جدول ۲ــ۹ــ گرمای نهان‌گداز و نقطه ذوب پاره‌ای از مواد

جسم	نقطه ذوب $T_m[K]$	گرمای نهان‌گداز $\lambda[J/kg]$	جسم	نقطه ذوب $T_m[K]$	گرمای نهان‌گداز $\lambda[J/kg]$
آلومینیم	۹۳۲	$۳/۸\times۱۰^{۵}$	نقره	۱۲۳۳	$۸/۸\times۱۰^{۴}$
مس	۱۳۵۶	$۱/۸\times۱۰^{۵}$	فولاد	۱۶۷۳	$۲/۱\times۱۰^{۵}$
طلا	۱۳۳۷	$۶/۶\times۱۰^{۴}$	گوگرد	۳۸۵/۸	$۵/۵\times۱۰^{۴}$
آهن	۱۸۰۳	$۲/۷\times۱۰^{۵}$	قلع	۵۰۵	$۵/۸\times۱۰^{۴}$

چدن سفید	۱۴۷۳	$۱/۳\times۱۰^{۵}$	تنگستن	۳۶۸۳	$۲/۶\times۱۰^{۴}$
چدن خاکستری	۱۴۲۳	$۹/۷\times۱۰^{۴}$	یخ	۲۷۳	$۳/۳۵\times۱۰^{۵}$
سرب	۶۰۰	$۲/۵\times۱۰^{۴}$	روی	۶۹۲	$۱/۱۸\times۱۰^{۵}$
جیوه	۲۳۴	$۱/۲۵\times۱۰^{۴}$			

۱۳ــ۹ــ تعریف گرمای نهان تبخیر

مقدار حرارتی است که، واحد جرم جسم مذاب در نقطه جوش و در فشار یک آتمسفر می‌گیرد تا به حالت بخار درآید. این کمیت را با حرف L نشان می‌دهند.

لازم به توضیح است که نقطه ذوب، نقطه تبخیر، گرمای نهان‌گداز و گرمای نهان تبخیر با فشار محیط تبخیر می‌کند و این تغییرات درمورد نقطه تبخیر و گرمای نهان تبخیر بسیار زیاد است.

در اکثر موارد گرمای نهان تبخیر اجسام، فلزات و آلیاژها حدود ۴ تا ۵ برابر گرمای نهان ذوب آن‌ها است. به همین علت انرژی جنبشی گازها به مراتب بیشتر از مایعات و درنتیجه بیشتر از اجسام جامد است. از طرف دیگر شباهت ساختمانی مایعات به جامدات به مراتب بیشتر از شباهت ساختمانی مایعات به گازها است و به‌همین دلیل است که در مواردی ساختمان مایعات را تقریباً همان ساختمان جامدات می‌دانند.

۱ــ۱۳ــ۹ــ واحد گرمای نهان تبخیر: اگر جرم جسم مذابی در نقطه جوش، m و گرمای نهان تبخیر آن L باشد، در این‌صورت، گرمای لازم برای تبدیل مذاب به‌حالت بخار برابر است با : $Q_L = m.L$ که با تعیین L می‌توان نوشت :

$$L = \frac{Q_L}{m}$$

چنانچه ملاحظه می‌شود این رابطه نظیر رابطه گرمای نهان‌گداز است. به همین دلیل واحدهای گرمای نهان‌تبخیر همان واحدهای نهان‌گداز خواهد بود.

۱۴ــ۹ــ رابطه مقدار گرما

در ریخته‌گری فقط ذوب کردن جسم کافی نیست و برای ایجاد سیالیّت و روانی و همچنین جلوگیری از انجماد بی‌موقع فلز مذاب در راهگاه‌ها و محفظه قالب، باید درجه حرارت مذاب را نیز

معمولاً تا $80^\circ C$ و در بعضی موارد تا $200^\circ C$ بالاتر از نقطه ذوب رسانید. بنابراین، حرارت لازم در ریخته‌گری، علاوه بر حرارت موردنیاز تا ذوب جسم به حرارت لازم برای افزایش تا فوق ذوب نیز نیاز دارد. این حرارت به جرم مذاب و گرمای ویژه آن در حالت مایع مستقیماً مربوط می‌شود. به این ترتیب مقدار حرارت لازم ریختن، برای یک قطعه به جرم m مجموع سه مقدار حرارت خواهد بود :

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

که در آن، مقادیر Q_1 ، Q_2 ، Q_3 به ترتیب عبارتند از : گرمای لازم برای گرم شدن تا نقطه ذوب، گرمای نهان‌گداز و گرمای لازم برای گرم شدن تا نقطه فوق ذوب. مقدار هرکدام از حرارت‌های مذکور از رابطه‌های جداگانه‌ای محاسبه شده که با جمع آن‌ها می‌توان رابطه کلّی و مقدار گرمای لازم برای ذوب فلز یا آلیاژ را تعیین کرد.

$$Q = m\bar{c}(\theta_m - \theta_i) + m\lambda + m\bar{c'}(\theta_p - \theta_m)$$

که در آن : θ_m نقطه ذوب، θ_i درجه حرارت محیط (معمولاً $25^\circ C$ انتخاب می‌شود) و θ_p درجه حرارت فوق ذوب (یا درجه حرارت مناسب ریختن) و $\bar{c}$ و $\bar{c'}$ به ترتیب گرمای ویژه متوسط فلز یا آلیاژ جامد در فاصله‌های دمایی مذکور هستند.

توضیح: درصورتی که میل ترکیبی جسمی با اکسیژن زیاد باشد، تبخیر و گاهی ذوب آن جسم در مجاورت هوا به سهولت ممکن نیست. مثلاً تبخیر و حتّی ذوب منیزیم خالص در محیط کارگاه و در تماس با هوا عملی نیست و به‌دلیل شدّت اکسیداسیون، آن را در غیاب هوا و یا تحت پوشش گاز SO_2 ذوب می‌کنند. ازطرف دیگر برخی از اجسام (مواد شیمیایی مرکب) اصولاً نمی‌توانند به‌حالت بخار در شرایط فشار محیط وجود داشته باشند. زیرا براثر افزایش درجه حرارت قبل از رسیدن به نقطه تبخیر، تجزیه شده و به عناصر متشکّله خود تبدیل می‌شوند. مانند، آهک و اکسید جیوه که قبل از تبخیر، به کلسیم و اکسیژن و یا جیوه و اکسیژن تبدیل می‌شوند. موضوع اکسیده شدن فلزات و عناصر و همچنین تصعید (تبخیر شدن مستقیم جسم جامد براثر حرارت بدون آنکه ذوب شود مانند گرافیت) یا تبخیر آن‌ها یکی ازموضوع‌های بسیار مهم در زمینه ریخته‌گری و ذوب فلزات و آلیاژها است که همواره با شناخت کامل قوانین فیزیکی و شیمیایی حاکم بر شرایط ذوب آن‌ها، می‌توان چگونگی عملیات ذوب و ریخته‌گری آلیاژها را استنباط کرد.

مثال: برای ذوب ۷۵ کیلوگرم مس و رسانیدن درجه حرارت مذاب به $130^\circ C$ فوق ذوب، چند کیلوژول و کیلوکالری حرارت مورد نیاز است؟ منحنی تغییرات درجه حرارت نسبت به گرما را

نیز رسم کنید.

درجه حرارت محیط $\theta_i = ۲۵^\circ C$، گرمای ویژه متوسط مس جامد $\bar{c} = ۴۰۰ \frac{J}{kg.K}$ (در فاصله دمایی محیط تا نقطه ذوب)، گرمای ویژه متوسط مذاب $\overline{c'} = ۴۴۰ \frac{J}{kg.K}$ (در فاصله دمایی نقطه ذوب تا نقطه فوق ذوب) گرمای نهان‌گداز مس $\lambda = ۱/۸ \times ۱۰^۵ \frac{J}{kg}$ و نقطه ذوب مس $\theta_m = ۱۰۸۳^\circ C$ است.

حلّ: به‌کمک رابطه مقدار گرما می‌توان حرارت خواسته شده را محاسبه و تعیین کرد :

$$Q = Q_۱ + Q_۲ + Q_۳$$

$$Q = m\bar{c}(\theta_m - \theta_i) + m\lambda + m\overline{c'}(\theta_p - \theta_m)$$

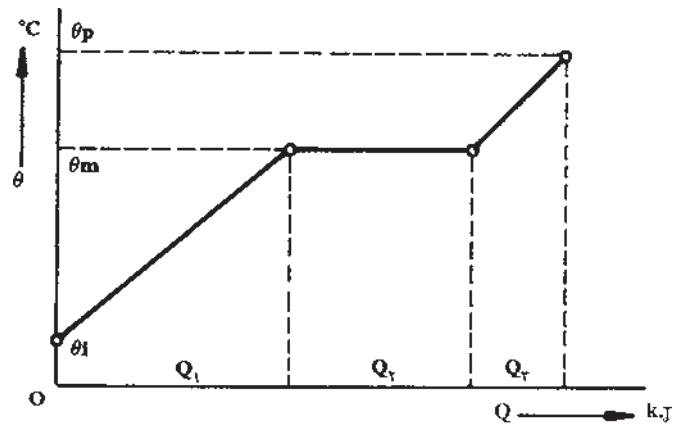
$$Q = ۷۵ \times ۴۰۰(۱۰۸۳ - ۲۵) + ۷۵ \times ۱/۸ \times ۱۰^۵ + ۷۵ \times ۴۴۰ \times ۱۳۰$$

$$Q = ۳/۱۷۴ \times ۱۰^۷ + ۱/۳۵ \times ۱۰^۷ + ۴/۲۹ \times ۱۰^۶ = ۴/۹۵۳ \times ۱۰^۷ J$$

$$Q = ۴۹۵۳۰ kJ \Rightarrow$$

$$Q = \frac{۴۹۵۳۰}{۴/۱۸۶۸} = ۱۱۸۳۰/۰۴ kcal$$

منحنی نمایش تغییرات درجه حرارت مس نسبت به گرمای داده شده مطابق شکل زیر می‌باشد.



۱۵ــ۹ــ قدرت حرارتی (ارزش گرمایی)

برای تعیین مقدار حرارتی که از احتراق سوخت‌ها آزاد می‌شود از قدرت حرارتی یا ارزش گرمایی آن‌ها استفاده می‌کنند که عبارت است از : مقدار حرارتی که واحد جرم یا واحد حجم یک

سوخت هنگام احتراق کامل ایجاد می‌کند. برای سوخت‌های جامد و مایع، ارزش گرمایی را برحسب واحد جرم (cal/g و یا kcal/kg) و برای سوخت‌های گازی برحسب واحد حجم (cal/lit و یا $kcal/m^3$) تعیین می‌کنند. در سیستم اندازه‌گیری بین‌المللی SI که واحد مقدار حرارت ژول است و هرکیلوکالری برابر ۴/۱۸۶۸ کیلوژول است، می‌توان نوشت :

$$۱\frac{kcal}{kg} = ۴/۱۸۶۸\frac{kJ}{kg} \Rightarrow ۱\frac{kJ}{kg} = \frac{۱}{۴/۱۸۶۸}\frac{kcal}{kg} \approx ۰/۲۴\frac{kcal}{kg}$$

قدرت حرارتی سوخت‌ها را با روش کالریمتری تعیین می‌کنند که در محاسبات مربوط به راندمان کوره‌ها و مصرف مقدار سوخت، اهمیت زیادی دارند.

اگر M کیلوگرم سوخت هنگام احتراق کامل Q' کیلوکالری گرما آزاد کند و ارزش گرمایی آن q_m باشد در این صورت خواهیم داشت :

$$\boxed{Q' = M.q_m}$$

برای سوخت‌های گازی، رابطه ارزش حرارتی چنین است :

$$\boxed{Q' = V.q_v}$$

که در آن V حجم سوخت مصرفی برحسب مترمکعب و q_v ارزش گرمایی سوخت برحسب کیلوکالری بر مترمکعب (یا کالری بر لیتر) است. در سیستم بین‌المللی SI واحد q_v برابر است با : J/m^3 که در این‌صورت :

$$۱\frac{kJ}{m^3} \approx ۰/۲۴\frac{kcal}{m^3}$$

۱۶ــ۹ــ راندمان حرارتی کوره

راندمان حرارتی کوره عبارت است از نسبت گرمای گرفته شده از کوره (گرمای مفید) به گرمای داده شده به کوره که با درصد بیان می‌گردد.

$$R = \frac{\text{گرمای گرفته شده (مفید)}}{\text{گرمای داده شده}} \times ۱۰۰$$

$$R = \frac{Q}{M.q_m} \times ۱۰۰$$

$$R = \frac{Q}{V.q_v} \times ۱۰۰$$

مثال: برای ذوب $m = ۱۰۰$ کیلوگرم آلومینیم و رساندن آن به ۵۵ درجه سانتیگراد فوق ذوب

$(\theta_p - \theta_m = ۵۵)$ چه مقدار حرارت موردنیاز است؟ چنانچه برای این مقدار آلومینیم از یک نوع سوخت با قدرت حرارتی $q_m = ۹۰۰۰ kcal/kg$ استفاده شود و راندمان حرارتی کوره $R = ۲۰$ درصد منظور شود، چه مقدار سوخت (M) لازم است؟

$\theta_m = ۶۶۰^\circ C$ نقطه ذوب آلومینیم

$\overline{C} = ۰/۲۴ kcal/kg^\circ C$ گرمای ویژه متوسط آلومینیم جامد

$\overline{C}' = ۰/۲۷ kcal/kg^\circ C$ گرمای ویژه متوسط آلومینیم مذاب

$\lambda = ۹۲ kcal/kg$ گرمای نهان گداز آلومینیم

$\theta_i = ۲۵^\circ C$ درجه حرارت محیط

حل: گرمای لازم، برای رسیدن دمای آلومینیم به نقطه ذوب $(Q_۱)$ برابر است با :

$$Q_۱ = m\overline{C}(\theta_m - \theta_i)$$

$$Q_۱ = ۱۰۰ \times ۰/۲۴(۶۶۰ - ۲۵) = ۱۵۲۴۰ kcal$$

گرمای نهان گداز ۱۰۰kg آلومینیم $Q_۲ = m\lambda = ۱۰۰ \times ۹۲ = ۹۲۰۰ kcal$

گرمای لازم برای فوق ذوب $Q_۳ = m\overline{C}'(\theta_p - \theta_m)$

$$Q_۳ = ۱۰۰ \times ۰/۲۷ \times ۵۵ = ۱۴۸۵ kcal$$

$$Q = Q_۱ + Q_۲ + Q_۳$$

کل گرمای لازم $Q = ۱۵۲۴۰ + ۹۲۰۰ + ۱۴۸۵ = ۲۵۹۲۵ kcal$

این گرما باید توسط سوخت تأمین شود که با توجه به راندمان کوره می‌توان نوشت :

$$\boxed{R = \frac{Q}{M.q_m}} \Rightarrow M = \frac{Q}{R.q_m} \Rightarrow M = \frac{۲۵۹۲۵}{\frac{۲۰}{۱۰۰} \times ۹۰۰۰} = ۱۴/۴ kg$$

جرم سوخت مصرفی

چنانچه چگالی این سوخت $\rho = ۰/۸۵ \frac{kg}{lit}$ باشد حجم سوخت مصرفی چنین خواهد بود :

$$V = \frac{M}{\rho} \Rightarrow V = \frac{۱۴/۴}{۰/۸۵} = ۱۶/۹۴۱ lit \approx ۱۷ lit$$

در جدول ۳ــ۹ ارزش گرمایی بعضی از سوخت‌ها درج شده است.

واحد ارزش گرمایی در سیستم انگلیسی برابر است با : بی‌تی‌یو بر پوند (Btu/lb) که معادل آن برای واحدهای kcal/kg و kJ/kg چنین است :

$$۱Btu/lb = ۰/۵۵۶ kcal/kg = ۲/۳۲۶ kJ/kg$$

جدول ۳ــ۹ــ ارزش حرارتی بعضی از سوخت‌ها (تقریبی)

سوخت	kcal/kg	kJ/kg (۱cal ≈ ۴/۲J)
جامد		
چوب با رطوبت کمتر از ۵٪	۱۴۰۰ــ۲۴۰۰	۵۸۸۰ــ۱۰۰۸۰
تورب (زغال‌سنگ نارس)	۱۶۰۰	۶۷۰۰
لینیت (زغال‌سنگ قهوه‌ای)	۲۰۰۰	۸۴۰۰
زغال‌سنگ قیردار	۷۵۰۰ــ۹۰۰۰	۳۱۵۰۰ــ۳۷۸۰۰
آنتراسیت (زغال‌سنگ درخشان)	۹۰۰۰	۳۷۸۰۰
زغال چوب	۷۰۰۰	۲۹۴۰۰
کک	۷۵۰۰	۳۱۵۰۰
بریکت (خاکه زغال‌سنگ و ۵٪ قطران)	۶۰۰۰	۲۵۲۰۰
مایع		
بنزین	۱۰۶۰۰	۴۴۵۰۰
گازوئیل (نفت گاز)	۹۰۰۰	۳۱۵۰۰
مازوت	۹۴۰۰	۳۹۵۰۰
نفت سفید	۹۲۰۰	۳۸۶۵۰
الکل‌ها	۶۰۰۰ــ۷۰۰۰	۲۵۲۰۰ــ۲۹۴۰۰
گاز	**kcal / m³**	**kJ / m³**
منوکسیدکربن CO	۳۱۰۰	۱۳۰۰۰
ئیدروژن H^2	۲۶۰۰	۱۱۰۰۰
متان CH_4	۹۵۰۰	۴۰۰۰۰
اتان C_2H_6	۱۶۸۰۰	۷۰۵۰۰
بوتان C_4H_{10}	۳۲۰۰۰	۱۳۴۵۰۰
بنزن C_6H_6	۳۳۰۰۰	۱۳۸۵۰۰
گاز طبیعی	۸۵۰۰	۳۵۷۰۰
گاز کوره ککسازی	۴۰۰۰	۱۶۸۰۰

ارزش حرارتی سوخت‌ها را در شرایط متعارفی و استاندارد ۱ آتمسفر و ۲۵ درجه سانتیگراد اندازه‌گیری می‌کنند. بیشترین ارزش حرارتی را سوخت‌هایی دارا هستند که فقط از C و H تشکیل شده‌اند. ارزش حرارتی کربن خالص حدود ۸۱۰۰kcal/kg است.

حل چند مسأله نمونه

مسأله ۱: درصورتی که درجه حرارت اوّلیه و ثانویه جسمی برحسب درجه سانتیگراد به ترتیب $\theta_{C1} = 400^\circ C$ و $\theta_{C2} = 720^\circ C$ باشد، اوّلاً مطلوب است :

الف) اختلاف این دو درجه حرارت برحسب تقسیم‌بندی سانتیگراد $(\Delta\theta_C = ?)$

ب) اختلاف آن دو برحسب تقسیم‌بندی کلوین $(\Delta T = ?)$

ج) اختلاف آن دو برحسب تقسیم‌بندی فارنهایت $(\Delta\theta_F = ?)$

ثانیاً روابطی به‌دست آورید که این اختلاف برای هر درجه حرارتی به کمک آن‌ها امکان‌پذیر باشد.

حلّ: اولاً قسمت الف :

$$\Delta\theta_C = \theta_{C2} - \theta_{C1} = 720 - 400 = 320^\circ C$$

قسمت ب : چون $T = \theta + 273$ بنابراین، می‌توان نوشت :

$$\Delta T = T_2 - T_1 = (720 + 273) - (400 + 273) = 320k$$

قسمت ج : ابتدا باید درجه حرارت‌های سانتیگراد اوّلیه و ثانویه جسم از روی فرمول $\frac{\theta_F - 32}{180} = \frac{\theta_C}{100}$ تبدیل به درجات حرارت فارنهایت شود، سپس اختلاف آن دو تعیین شود :

$$\frac{\theta_{F1} - 32}{180} = \frac{400}{100} \Rightarrow \theta_{F1} = \frac{400 \times 180}{100} + 32 = 752^\circ F$$

$$\frac{\theta_{F2} - 32}{180} = \frac{720}{100} \Rightarrow \theta_{F2} = \frac{720 \times 180}{100} + 32 = 1328^\circ F$$

اکنون می‌توان اختلاف آن‌ها را تعیین کرد :

$$\Delta\theta_F = \theta_{F2} - \theta_{F1} = 1328 - 752 = 576^\circ F$$

ثانیاً : چنانچه از حل قسمت اولاً معلوم می‌شود، اختلاف درجه حرارت‌های اوّلیه و ثانویه جسم برحسب تقسیم‌بندی سانتیگراد و تقسیم‌بندی کلوین تفاوتی ندارد و علت این امر را می‌توان از روی عملیات زیر و تعیین رابطه آن دو ملاحظه کرد :

$$\Delta\theta_C = \theta_{C2} - \theta_{C1}$$

$$\Delta T = T_2 - T_1 = (\theta_{C2} + 273) - (\theta_{C1} + 273) = \theta_{C2} - \theta_{C1}$$

در نتیجه می‌توان نتیجه گرفت : $\Delta\theta = \Delta T$

درمورد اختلاف درجه حرارت‌های فارنهایت برحسب تقسیم‌بندی سانتیگراد و کلوین باید چنین عمل کرد :

$$\frac{\theta_{F2} - 32}{180} - \frac{\theta_{F1} - 32}{180} = \frac{\theta_{C2} - \theta_{C1}}{100}$$

که پس از ساده کردن نتیجه می‌شود : $\Delta\theta_F = \frac{9}{5}\Delta\theta_c$ و چون $\Delta\theta = \Delta T$ بنابراین، به‌طور کلی می‌توان نوشت :

$$\Delta\theta_F = \frac{9}{5}\Delta\theta_C = \frac{9}{5}\Delta T$$

مسأله ۲: در یک کوره عملیات حرارتی، لازم است دمای یک میله فولادی به‌قطر ۲۰ میلیمتر و به طول ۲۰ سانتیمتر از $450^\circ C$ به $850^\circ C$ برسد. درصورتی که چگالی این فولاد $7/6 \frac{g}{cm^3}$ و گرمای ویژه متوسط آن در این فاصله دمایی $0/12 \frac{cal}{g.^\circ C}$ باشد، چه مقدار انرژی حرارتی برحسب کیلوکالری و کیلوژول توسط میله جذب خواهد شد؟ همچنین ظرفیت حرارتی آن را برحسب $\frac{kJ}{^\circ C}$ تعیین کنید.

حلّ: ابتدا به‌کمک حجم (استوانه) و چگالی میله، جرم آن را تعیین کنید.

طول میله $l = 20\,cm$ و قطر میله $d = 20\,mm = 2\,cm$

$$V = \frac{\pi d^2}{4} \times l \Rightarrow V = \frac{3/14 \times 2^2}{4} \times 20 = 62/8\,cm^3$$ حجم میله فولادی

$$m = \rho . V \Rightarrow m = 7/6 \times 62/8 = 477/28\,g$$ جرم میله

اکنون می‌توان مقدار انرژی حرارتی جذب شده توسط میله را محاسبه کرد :

$\theta_1 = 450^\circ C$ و $\theta_2 = 850^\circ C \Rightarrow \Delta\theta = \theta_2 - \theta_1 = 850 = 450 = 400^\circ C$ افزایش دما

$$Q = m\bar{c}\Delta\theta \Rightarrow Q = 477/28 \times 0/12 \times 400 \Rightarrow$$

$$Q = 22909/44\,cal \approx 23\,kcal$$

$$Q = 22909/44 \times 4/1868 = 95917/24\,J \approx 96\,kJ$$

ظرفیت حرارتی میله را می‌توان از رابطه $A = \frac{Q}{\Delta\theta}$ به‌دست آورد :

$$A = \frac{۹۶}{۴۰۰} = ۰/۲۴ \frac{kJ}{^\circ C}$$

چون $Q = m\bar{c}\Delta\theta$ در نتیجه : $A = \frac{Q}{\Delta\theta} = \frac{m\bar{c}\Delta\theta}{\Delta\theta} = mc$ لذا بدیهی است که تعیین ظرفیت حرارتی از این طریق نیز جواب یکسانی خواهد داشت :

$$A = m\bar{c} \Rightarrow A = ۴۷۷/۲۸ \times ۰/۱۲ = ۵۷/۲۷ \frac{cal}{^\circ C} \Rightarrow$$

$$A = ۰/۰۵۷۲۷ \frac{kcal}{^\circ C} = ۰/۰۵۷۲۷ \times ۴/۱۸۶۸ \frac{kJ}{^\circ C} = ۰/۲۴ \frac{kJ}{^\circ C}$$

مسأله ۳: یک کوره بوته‌ای می‌تواند ۷۰ کیلوگرم از یک نوع چدن خاکستری را از درجه حرارت محیط ($۲۵^\circ C$) به درجه حرارت فوق ذوب ($۱۳۰۰^\circ C$) برساند. سوخت مصرفی برای این عمل ۸/۵ لیتر است. احتراق هر لیتر از این سوخت (نوعی مازوت) ۹۹۵۰ کیلوکالری گرما تولید می‌کند. مطلوب است :

الف) میزان مصرف سوخت برای هر کیلوگرم چدن مذکور برحسب سانتیمتر مکعب.

ب) راندمان حرارتی کوره.

گرمای ویژه چدن جامد بطورمتوسط $۰/۱۲ \frac{cal}{g.^\circ C}$، گرمای ویژه چدن مذاب به‌طور متوسط $۰/۱۶ \frac{cal}{g.^\circ C}$ گرمای نهان‌گداز چدن $۲۳ \frac{cal}{g}$ و نقطه ذوب آن $۱۱۵۰^\circ C$ است.

حلّ:

الف) چون مقدار کل مصرف سوخت برای ۷۰ کیلوگرم چدن ۸/۵ لیتر است بنابراین، سوخت مصرفی برای هر کیلوگرم چدن عبارتست از :

$$\frac{۸/۵}{۷۰} = ۰/۱۲۱ lit = ۱۲۱ cm^۳$$

ب) برای تعیین راندمان حرارتی کوره ابتدا باید حرارت لازم برای ذوب چدن تا درجه حرارت فوق ذوب $۱۳۰۰^\circ C$ محاسبه شود :

$$Q_۱ = m\bar{c}(\theta_m - \theta_i)$$

گرمای لازم برای ذوب چدن تا نقطه ذوب

$$Q_1 = ۷۰ \times ۰/۱۲(۱۱۵۰ - ۲۵) = ۹۴۵۰ \text{kcal}$$

$$Q_2 = m\lambda$$

گرمای نهان ذوب چدن

$$Q_2 = ۷۰ \times ۲۳ = ۱۶۱۰ \text{kcal}$$

$$Q_3 = m\overline{c'}(\theta_p - \theta_m)$$

گرمای لازم از نقطه ذوب تا نقطه فوق ذوب

$$Q_3 = ۷۰ \times ۰/۱۶(۱۳۰۰ - ۱۱۵۰) = ۱۶۸۰ \text{kcal}$$

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

کلّ گرمای لازم

$$Q = ۹۴۵۰ + ۱۶۱۰ + ۱۶۸۰ = ۱۲۷۴۰ \text{kcal}$$

بنابراین، راندمان کوره (R) برابر خواهد بود با :

$$R = \frac{Q}{V.q_V} \times ۱۰۰$$

$$R = \frac{۱۲۷۴۰}{۸/۵ \times ۹۹۵۰} \times ۱۰۰$$

$$R = \frac{۱۲۷۴۰}{۸۴۵۷۵} \times ۱۰۰ = ٪۱۵$$

تمرین‌ها

۱ــ ۱۳۵۰ درجه سانتیگراد چند درجه فارنهایت و چند درجه کلوین است؟

۲ــ درجه حرارت‌های ۴۰ و ۴۰ – درجه فارنهایت را به سانتیگراد تبدیل کنید.

۳ــ نقطه ذوب جیوه $-۳۸/۹^\circ C$ و نقطه جوش آب $۳۵۶/۷^\circ C$ است. فاصله دمایی این دو نقطه چند درجه سانتیگراد است؟

۴ــ اختلاف نقطه ذوب‌های دو نوع چدن سفید و خاکستری $۵۰^\circ C$ است. این اختلاف چند درجه فارنهایت و چند درجه کلوین خواهد بود؟

۵ــ نقطه ذوب آلومینیم $۹۳۳^\circ K$ و نقطه ذوب منیزیم $۱۲۰۴^\circ F$ می‌باشد. مطلوب است :

الف) کدام یک از آن‌ها دیر ذوب‌تر هستند؟ (نقطه ذوب کدام یک بیشتر است؟)

ب) اختلاف آن‌ها چند درجه سانتیگراد است؟

۶ــ در چه درجه حرارتی درجه حرارت فارنهایت و کلوین از لحاظ اندازه یکسان است؟ این درجه حرارت را برحسب سانتیگراد تعیین کنید.

۷ــ مطلوب است تعیین ظرفیت حرارتی یک قطعه فولاد به‌طوری که برای افزایش درجه حرارت آن از $۴۵۰^{\circ}C$ به $۶۰۰^{\circ}C$، $۱۲۰۰kcal$ انرژی حرارتی مصرف شده باشد. جواب را برحسب واحدهای $\frac{cal}{^{\circ}C}$، $\frac{J}{^{\circ}C}$ و $\frac{kJ}{K}$ به‌دست آورید $(۱cal \approx ۴/۱۹J)$.

۸ ــ در تغییر یک قطعه چدن سفید و شکننده به چدن چکش‌خوار (آنیل کردن چدن سفید)، چند مگاژول انرژی حرارتی مصرف می‌شود؟ درصورتی که جرم قطعه $۲۵۰kg$، گرمای ویژه متوسط چدن (سفید و چکش‌خوار) $۰/۱۳۶\frac{cal}{g.^{\circ}C}$ در فاصله دمایی آنیلینگ از صفر تا حداکثر $۹۷۰^{\circ}C$ باشد.

$(۱cal \approx ۴/۱۹J$ و $۱MJ = ۱۰^{۶}J)$ مگاژول

۹ــ جرم یک قطعه برنزی $۶۲/۵kg$ و گرمای ویژه متوسط آن در فاصله دمایی ۵۰۰ تا ۷۵۰ درجه سانتیگراد $۰/۰۸۸\frac{kcal}{kg^{\circ}C}$ می‌باشد. مطلوب است محاسبه:

الف) ظرفیت حرارتی برحسب $\frac{kcal}{^{\circ}C}$

ب) گرمای لازم برحسب kJ در این فاصله دمایی $(۱cal \approx ۴/۱۹J)$.

۱۰ــ یک قطعه آلومینیم به حجم $۵/۵dm^{۳}$ را از $۶۶۰^{\circ}C$ (نقطه انجماد آلومینیم) تا $۲۵^{\circ}C$ سرد کرده‌ایم. چه مقدار گرما برحسب کیلوکالری از دست داده است؟ (از انقباض آلومینیم صرفنظر می‌شود).

$\rho_{Al} = ۲/۷\frac{g}{cm^{۳}}$ و $\bar{c}_{Al} = ۰/۲۴\frac{cal}{g.^{\circ}C}$ (در فاصله دمایی ۲۵ تا $۶۶۰^{\circ}C$)

۱۱ــ برای ذوب کامل $۲۴kg$ سرب (در نقطه ذوب)، ۶۰۰ کیلوژول انرژی گرمایی لازم است. گرمای نهان‌گداز سرب را برحسب $\frac{kJ}{kg}$ و $\frac{kcal}{kg}$ تعیین کنید $(۱cal \approx ۴/۱۹J)$.

۱۲ــ گرمای نهان‌گداز (یا گرمای نهان‌ذوب) یخ و چدن خاکستری به ترتیب برابرند با

$\frac{J}{kg}$ ۱۰^۵×۳/۳۵ و $\frac{J}{kg}$ ۱۰^۴×۹/۷. مطلوب است تعیین انرژی حرارتی لازم برحسب kJ برای ذوب کامل ۱۰۰kg یخ و ۱۰۰kg چدن (در نقطه ذوب‌های آن‌ها).

۱۳ــ مطلوب است تعیین مقدار حرارت لازم برحسب کیلوکالری برای رسیدن به نقطه ذوب هر کیلوگرم فلزات و آلیاژهای داده شده :

الف) آلومینیم (نقطه ذوب ۶۶۰°C).

ب) نوعی چدن خاکستری (نقطه ذوب ۱۱۸۰°C)

ج) فولاد ساده کربنی (نقطه ذوب ۱۵۰۰°C)

درجه حرارت محیط ۲۵°C و گرمای ویژه متوسط آلومینیم ۰/۲۴، چدن خاکستری ۰/۱۳۵ و فولاد ۰/۱۲ کالری بر گرم درجه سانتیگراد است.

۱۴ــ برای ذوب ۱۲۰kg چدن و رسانیدن درجه حرارت آن به ۱۴۲۰°C، چند کیلوکالری گرما لازم است؟ منحنی تغییرات درجه حرارت نسبت به گرمای داده شده را نیز رسم کنید.

گرمای ویژه چدن جامد به‌طور متوسط $\frac{cal}{g.°C}$ ۰/۱۳۲، گرمای ویژه چدن مذاب به‌طور متوسط $\frac{cal}{g.°C}$ ۰/۱۷، نقطه انجماد آن ۱۱۵۰°C، گرمای نهان‌گداز چدن $\frac{cal}{g}$ ۲۳ و دمای محیط ۲۰°C است.

۱۵ــ یک قطعه فولاد ضدزنگ را که جرم آن ۹۲ گرم است، در کوره‌ای به دمای θ می‌بریم. پس از مدتی قطعه را از کوره خارج کرده و بلافاصله آن را در میان قطعات بزرگی از یخ صفر درجه سانتیگراد قرار می‌دهیم. در نتیجه ۱۵۸ گرم یخ ذوب می‌شود. دمای θ کوره را به‌دست آورید.

گرمای نهان ذوب یخ (گرمای نهان‌گداز) ۸۰ کالری بر گرم و گرمای ویژه متوسط این فولاد $\frac{cal}{g.°C}$ ۰/۱۲۵ است.

۱۶ــ می‌خواهیم درجه حرارت فوق ذوب نامناسب ۱۸ کیلوگرم آلومینیم مذاب ۷۳۵°C را، به فوق ذوب مناسب و مطلوب ۷۱۵°C کاهش دهیم. چه مقدار آلومینیم جامد، تمیز و ۱۱۰°C باید به آن اضافه شود؟

گرمای ویژه متوسط آلومینیم جامد و مذاب به‌طور تقریبی به ترتیب برابر $\frac{cal}{g.°C}$ ۰/۲۴ و

$\frac{cal}{g.^{\circ}C}$ ۰/۲۶، گرمای نهان‌گداز آلومینیم $\frac{cal}{g}$ ۹۱ و نقطه ذوب آلومینیم $^{\circ}C$ ۶۶۰ است.

راهنمایی: مقدار گرمایی که جسم گرم (۱۸ کیلوگرم آلومینیم فوق‌ذوب $^{\circ}C$ ۷۳۰) ازدست می‌دهد، تا به دمای $^{\circ}C$ ۷۱۵ (دمای تعادل) برسد، برابر است با مقدار گرمایی که m کیلوگرم قطعه جامد آلومینیمی می‌گیرد تا به‌این دمای تعادل برسد. با تشکیل یک معادله می‌توان مقدار مجهول m را محاسبه و تعیین کرد.

۱۷ــ احتراق هر کیلوگرم از نوعی مازوت مصرفی در یک کوره بوته‌ای ۹۸۰۰ کیلوکالری گرما ایجاد می‌کند. اگر بازده (راندمان) این کوره ۱۶/۵ درصد باشد، مقدار سوخت لازم برای ذوب ۸۰ کیلوگرم مس و رساندن درجه حرارت مذاب به ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد را تعیین کنید.

درجه حرارت اوّلیه کوره $^{\circ}C$ ۲۵، گرمای ویژه متوسط مس جامد $\frac{cal}{g.^{\circ}C}$ ۰/۰۹۳، گرمای ویژه متوسط مس مذاب $\frac{cal}{g.^{\circ}C}$ ۰/۱۱، گرمای نهان‌گداز مس $\frac{cal}{g}$ ۴۳ و نقطه ذوب مس $^{\circ}C$ ۱۰۸۳ است.

۱۸ــ برای ذوب مقداری چدن (تا نقطه فوق ذوب)، ۲۷۰۰۰ کیلوکالری گرما لازم است. چنانچه این عمل در یک کوره زمینی که با سوخت گازوئیل کار می‌کند، انجام گرفته باشد، و درصورتی که راندمان کوره ۱۶ درصد، چگالی و قدرت حرارتی گازوئیل به‌ترتیب برابر $0/85\,kg/lit$ و $9000\,kcal/kg$ باشد، چه مقدار سوخت برحسب لیتر لازم خواهد بود؟

فصل دهم

پیوست‌ها

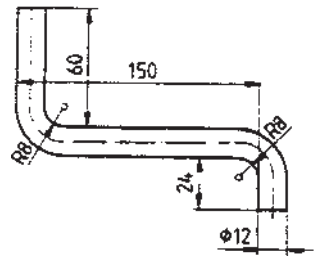
۱ــ۱۰ــ ارزشیابی

زمان: ۱۲۰ دقیقه

گروه الف

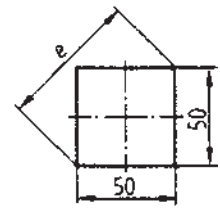
۱ــ طول میله فولادی لازم برای ساختن قانجاق مطابق شکل زیر را به‌دست آورید.

۱/۵	



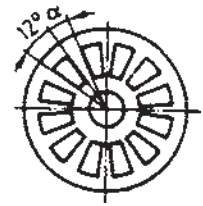
۲ــ اندازه قطر e در چهارضلعی مطابق شکل زیر را به دست آورید.

۱/۵	



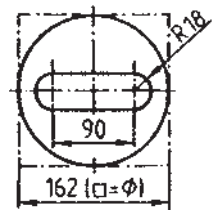
۳ــ مقدار زاویه α در صفحه ماهیچه مطابق شکل زیر را محاسبه کنید.

۱/۵	



۴ــ درصد دور ریز ورق برای ساخت قطعه‌ای مطابق شکل زیر را به‌دست آورید.

۳	

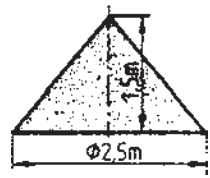


۵ــ در ماسه انبار شده مطابق شکل، محاسبه کنید :

۱/۵	

الف) حجم آن را برحسب متر مکعب

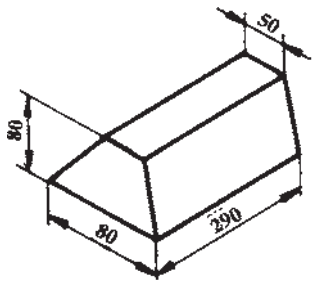
ب) این مقدار ماسه برای پرکردن چند جعبه با حجم ۸۲/۵ سانتیمتر مکعب کفایت می‌کند؟



۶ــ جرم و نیروی وزن یک قطعه آلومینیمی مطابق شکل زیر را محاسبه کنید.

$\rho = ۲/۷ \frac{kg}{dm^۳}$

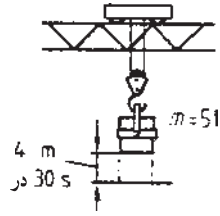
۲	



۷ــ توان موتور جرثقیل سقفی مطابق شکل زیر چند کیلووات است؟

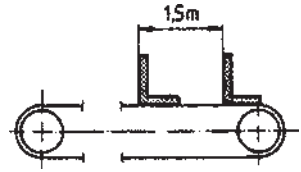
در صورتی که ضریب بهره ۰/۸۲ باشد.

۱/۵	



۸ــ نوار نقاله‌ای باید در ۲/۵ ساعت ۲۵۰ قطعه ریختگی را به محل تیزکاری حمل کند. سرعت نوار نقاله چند متر بر دقیقه است؟

۱/۵	



۹ــ مطلوب است محاسبه و تعیین سرعت طناب در یک چرخ و محور برحسب متر بر دقیقه، درصورتی‌که قطر چرخ ۵۶۰ میلیمتر و تعداد دوران آن ۴۲ دور بر دقیقه باشد.

۲	

۱۰ــ حساب کنید مقدار حرارتی را که لازم است تا ۲/۵ کیلوگرم آلومینیم را از $20^{\circ}C$ به نقطه بارریزی $800^{\circ}C$ برساند و درصورتی که نقطه ذوب آلومینیم $658^{\circ}C$، گرمای ویژه درحالت جامد $c = 0/9 \frac{kJ}{kg.K}$، گرمای ویژه درحالت مذاب $c' = 1/026 \frac{kJ}{kg.K}$ و گرمای نهان ذوب آن $\lambda = 355 \frac{kJ}{kg}$ باشد.

۳	

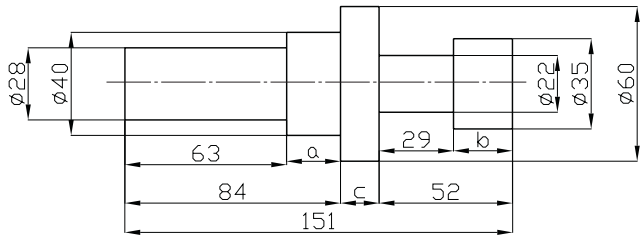
۱۱ــ $20^{\circ}C$ را برحسب کلوین و درجه فارنهایت به‌دست آورید.

۱	

گروه ب **زمان: ۱۲۰ دقیقه**

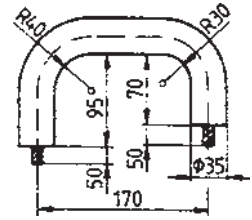
۱ــ اندازه ابعاد a و b و c قطعه را در شکل زیر به‌دست آورید.

۰/۷۵	



۲ــ چند متر ریسمان مومی برای ۷۵ عدد ماهیچه مطابق شکل زیر مورد نیاز است؟

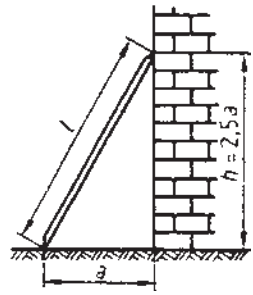
۱/۲۵	



۳ــ نردبان شکل زیر در چه فاصله‌ای از دیوار قرار می‌گیرد؟

طول نردبان ۵/۸ متر است.

۱	

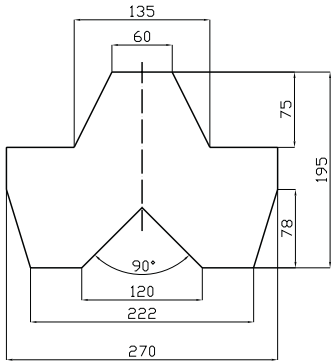


۴ــ مقدار زاویه α و γ را در قاب شکل زیر به‌دست آورید.

۱	

۵ــ قطعه انطباقی مطابق شکل مقابل از ورقی به ابعاد ۲۸۰mm×۲۰۰mm ساخته خواهد شد. مطلوب است محاسبه :

۲	



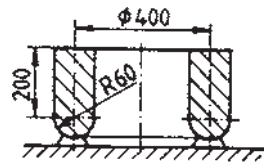
الف) سطح قطعه کار برحسب سانتیمتر مربع

ب) درصد دورریز

۶ــ حجم تغذیه حلقوی شکل زیر را برحسب دسیمتر مکعب تعیین کنید.

(از محاسبه زاید، صرفنظر شود.)

۲	



۷ــ ابعاد داخل یک درجه قالب‌گیری به شکل مکعب مستطیل ۲۵×۴۵×۳۴ سانتیمتر است این درجه از ماسه سیلیسی به جرم ۴۶kg و با چگالی $۲/۲\frac{g}{cm^3}$ پرشده و متراکم شده است. تعیین کنید :

۳	

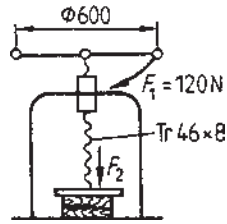
الف) چگالی ماسه متراکم شده قالب

ب) حجم حفره‌ها و فضای بین ذرات ماسه

ج) درصد حجم حفره‌ها نسبت به حجم داخلی درجه (درصد تخلخل)

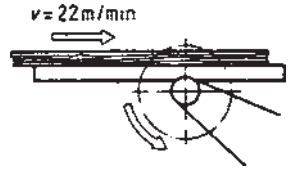
۸ــ به وسیله پرس پیچی شکل، چوب‌ها به هم چسبانده می‌شوند. نیروی پرس F_2 را به دست آورید. $(\eta = ۰/۸۵)$

۱/۵	

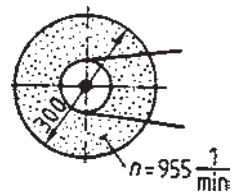


۹ــ برش ۲۰ الوار ۵ متری به‌وسیله ماشین اره شکل زیر، چند دقیقه طول می‌کشد، اگر زمان فرعی ۷ دقیقه منظور شود؟

۱/۵	



۱۰ــ سنگ سنباده شکل زیر با چه سرعت برشی کار می‌کند؟ | | ۱/۵ |

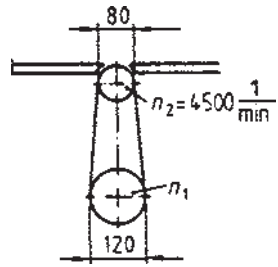


۱۱ــ در ماشین رنده مطابق شکل زیر، حساب کنید : | | ۱/۵ |

الف) تعداد دوران الکتروموتور (n_1)

ب) نسبت انتقال حرکت

ج) سرعت برش رنده



۱۲ــ می‌خواهیم ۵۰ کیلوگرم چدن را در کوره ذوب به نقطه فوق ذوب $1350^\circ C$ برسانیم، حساب کنید : مقدار حرارت لازم را برحسب کیلوژول و کیلوکالری در صورتی که گرمای ویژه چدن جامد $c = 0/53 \frac{kJ}{kg.K}$ ، گرمای ویژهٔ چدن مذاب $c' = 0/62 \frac{kJ}{kg.K}$ ، گرمای نهان ذوب چدن $\lambda = 125 \frac{kJ}{kg.K}$ و نقطه ذوب آن $1200^\circ C$ باشد. | | ۳ |

۲ــ۱۰ــ پاسخ تمرین‌ها

پاسخنامه

فصل اول	صفحه	شماره تمرین	جواب تمرین‌ها
تبدیل واحدها	۵	۱	<table><tr><th></th><th>الف</th><th>ب</th><th>ج</th><th>د</th></tr><tr><td>متر</td><td>۰/۶۸</td><td>۱۲/۵</td><td>۳/۸۵۶</td><td>۱۲۵/۳۸۲</td></tr><tr><td>دسیمتر</td><td>۶/۸</td><td>۱۲۵</td><td>۳۸/۵۶</td><td>۱۲۵۳/۸۲</td></tr><tr><td>سانتیمتر</td><td>۶۸</td><td>۱۲۵۰</td><td>۳۸۵/۶</td><td>۱۲۵۳۸/۲</td></tr><tr><td>میلیمتر</td><td>۶۸۰</td><td>۱۲۵۰۰</td><td>۳۸۵۶</td><td>۱۲۵۳۸۲</td></tr></table>
	۵	۲	۱۳۹/۷ و ۸۲/۵۵ و ۷۹/۳۷۵ و ۹/۵۲۵ و ۶/۳۵ و ۳/۱۷۵
	۵	۳	۰/۳۷۵ و ۷/۵ و ۱/۷۵
	۵	۴	۶ / ۵۸۳m (الف ۴۶۸mm (ب ۸۷ / ۶۷۹۷cm (ج
	۵	۵	۱۵۱/۵
	۵	۶	۸۳/۰۲
	۵	۷	۷۹mm = عرض ۱۴۰mm = طول
	۶	۸	۱۶۶/۰۷
مقیاس	۸	۱	<table><tr><th rowspan="2">WM (mm)</th><th colspan="3">ZM(mm)</th></tr><tr><th>۱:۲</th><th>۱:۵</th><th>۲:۱</th></tr><tr><td>۱۵</td><td>۷/۵</td><td>۳</td><td>۳۰</td></tr><tr><td>۱۰</td><td>۵</td><td>۲</td><td>۲۰</td></tr><tr><td>۳۶/۵</td><td>۱۸/۲۵</td><td>۷/۳</td><td>۷۳</td></tr><tr><td>۱۲۵</td><td>۶۲/۵</td><td>۲۵</td><td>۲۵۰</td></tr><tr><td>۴۲</td><td>۲۱</td><td>۸/۴</td><td>۸۴</td></tr><tr><td>۳۶۰</td><td>۱۸۰</td><td>۷۲</td><td>۷۲۰</td></tr><tr><td>۳۱۴۵</td><td>۱۵۷۲/۵</td><td>۶۲۹</td><td>۶۲۹۰</td></tr></table>

فصل اول	صفحه	شماره تمرین	جواب تمرین‌ها
مقیاس	۸	۲	الف) ۱۵km ب) ۳km
	۸	۳	۱:۵
ترانس	۸	۴	الف) $A_O = +۰/۰۲$ و $A_U = -۰/۰۱$ و $G_O = ۹۵/۰۲$ و $G_U = ۹۴/۹۹$ و $T = ۰/۰۳$ ب) $A_O = +۰/۲۵$ و $A_U = -۰/۲$ و $G_O = ۳۸/۹۵$ و $G_U = ۳۸/۵$ و $T = ۰/۴۵$
	۸	۵	$X_{max} = ۱۰۴/۴$ و $X_{min} = ۱۰۳/۶$ و $Y_{max} = ۵۶/۴$ و $Y_{min} = ۵۵/۶$
محاسبه طول قطعات خمیده	۹	۱	الف) ۱۸۸/۴mm ب) ۲۶/۶۹cm ج) ۴۴/۹۰mm د) ۳۰/۸۷dm
	۱۰	۲	الف) ۲۰۰/۱۰mm ب) ۱۸۴/۰۹cm ج) ۷۰/۵۴mm
	۱۰	۳	الف) ۲۶۱/۶۷mm ب) ۱۰۷۴/۵۸mm ج) ۴۵mm
	۱۰	۴	الف) ۴۷۱mm ب) ۵/۹۶۶mm ج) ۱۸۲/۱۲mm
	۱۰	۵	۴۳۹۹ mm
	۱۰	۶	۲۱۲۸/۲ mm
	۱۰	۷	۹۸۱/۲۵ mm
محاسبه طول گسترده	۱۵	۱	۴۷۱ mm
	۱۵	۲	۲۰۵/۰۸ mm
	۱۵	۳	۴۱۱/۲ mm
	۱۵	۴	۶۴۶/۹ mm
	۱۵	۵	۶۱/۷۹۵۲m
	۱۵	۶	۰/۶۲۷m

فصل اول	صفحه	شماره تمرین	جواب تمرین‌ها
روابط مثلث قائم الزاویه	۱۶	۱	۸۷/۳۲ mm
	۱۷	۲	۱/۹۴m
	۱۷	۳	۴/۵m
	۱۷	۴	۸۹/۴۴ mm
	۱۷	۵	۶۶/۷۱ mm
	۱۷	۶	۵۶/۵۷ mm
	۱۷	۷	۰/۹۵m

فصل دوم	صفحه	شماره تمرین	جواب تمرین‌ها
محاسبه مربوط به زاویه	۲۲	۱	$\gamma = 45^\circ, 43', 8''$ و $\beta = 99^\circ, 6', 7''$
	۲۲	۲	$\gamma = 90^\circ$ و $\beta = 60^\circ$ و $\alpha = 30^\circ$
	۲۲	۳	$\gamma = 120^\circ$ و $\beta = 40^\circ$ و $\alpha = 20^\circ$
	۲۲	۴	شش ضلعی $\begin{cases}\alpha = 60 \\ \beta = 120\end{cases}$ و پنج ضلعی $\begin{cases}\alpha = 72 \\ \beta = 108\end{cases}$ و دوازده ضلعی $\begin{cases}\alpha = 30 \\ \beta = 150\end{cases}$ و هشت ضلعی $\begin{cases}\alpha = 45 \\ \beta = 135\end{cases}$
	۲۳	۵	$\alpha = 72^\circ$
	۲۳	۶	$\alpha = 45^\circ$
	۲۳	۷	$\alpha = 95^\circ$
محاسبه مربوط به زمان	۲۵	۱	الف) ۱۵(s) ب) ۲(s) ج) ۱۰۲(s) د) ۳۴۶۵(s)
	۲۵	۲	الف) ۰/۷۵ (Min) ب) ۸/۹(Min) ج) ۱۳۵ (Min) د) ۶۵۰(Min)
	۲۵	۳	(h) (Min) (s) الف) ۱ و ۱ و ۱ ب) ۰ و ۲۱ و ۲ ج) ۱۸ و ۳۸ و ۲ د) ۵۰ و ۳۰ و ۱۰
	۲۵	۴	(h) (Min) (s) الف) ۱۶ و ۰ و ۱۲ ب) ۱۴ و ۱۰ و ۳۰ ج) ۴ و ۹ و ۶ د) ۲۵ و ۱۰ و ۰

فصل دوم	صفحه	شماره تمرین	جواب تمرین‌ها
محاسبه مربوط به زمان	۲۶	۵	Min (s) ۳۰ و ۸
	۲۶	۶	h Min ۴۹ و ۸
	۲۶	۷	(h) (Min) الف) ۸ و ۳۰ ب) ۴۲ و ۳۰

فصل سوم	صفحه	شماره تمرین	جواب تمرین‌ها
تبدیل واحد سطوح و محاسبه سطوح مرکب	۲۹	۱	
	۳۰	۲	الف) $۴۱۵۲/۴۷۵cm^۲$ ب) $۲۱/۷۸۳۴۲۵m^۲$
	۳۰	۳	$L=۵۰mm$ و $b=۲۵mm$
	۳۰	۴	$L=۳۰mm$
	۳۰	۵	$A_g=۶۰۰mm^۲$
	۳۰	۶	$A_R=۱۲۹۶mm^۲$
	۳۱	۷	$A_V=۲۴۰۰۰mm^۲$
	۳۱	۸	الف) $A=۵۱۳۲mm^۲$ ب) $A_V=۳۲/۶۸cm^۲$
	۳۱	۹	$A_{BW}=۳۶۷/۳m^۲$
	۳۱	۱۰	$A=۳۷۵۰mm^۲$
محاسبه سطوح قوس‌دار	۳۳	۱	$D_S=۳۰mm$
	۳۳	۲	$A=۱۰۵/۹۹cm^۲$
	۳۳	۳	$F=۳۸۰۳۳۲/۵(N)$
	۳۳	۴	$m=۰/۵kg$
	۳۴	۵	$A=۱۰۶/۱cm^۲$
	۳۴	۶	$A=۵۴۳۴mm^۲$

$mm^۲$	$cm^۲$	$dm^۲$	$m^۲$
۳۵۰۰۰	۳۵۰	۳/۵	۰/۰۳۵
۲۵۰۰۰۰۰	۲۵۰۰۰	۲۵۰	۲/۵
۱۶۸۰۰۰۰	۱۶۸۰۰	۱۶۸	۱/۶۸
۲۱۴۰۰۰	۲۱۴۰	۲۱/۴	۰/۲۱۴
۱۸۵۱۹	۱۸۵/۱۹	۱/۸۵۱۹	۰/۰۱۸۵۱۹
۸۶	۰/۸۶	۰/۰۰۸۶	۰/۰۰۰۰۸۶
۸۷۰۰	۸۷	۰/۸۷	۰/۰۰۸۷

فصل سوم	صفحه	شماره تمرین	جواب تمرین‌ها
	۳۴	۷	$A = ۳/۶۹dm^۲$
محاسبه ریخت و ریز و درصد آن	۳۶	۱	
	۳۶	۲	$M_V = ۸/۷۷٪$
	۳۶	۳	الف) $M_V = ۶۰mm$ ب) $M_F = ۳۵۴۰mm$ ج) $M_V = ۱/۷٪$
	۳۶	۴	$M_V = ۰/۲۴۵m^۲$ و $M_V = ۸/۵٪$
	۳۶	۵	$M_V = ۲۷/۳۹٪$
	۳۷	۶	$M_V = ۵۱/۶۵٪$
	۳۷	۷	$M_V = ۱۹/۱۴٪$
	۳۷	۸	$M_V = ۶۰/۷۳٪$
	۳۷	۹	$M_V = ۴۸/۶۲٪$
	۳۷	۱۰	$M_V = ۵۵/۶۸٪$

	M_F	M_R	$٪M_V$
۱	۲/۹۷m	۳/۱۵ m	۵/۷٪
۲	۲/۵۰ m	۲/۷۳۷۵m	۹/۵٪
۳	۹۷cm	۱/۱۲m	۱۵/۴۶٪
۴	۲/۰۳۷m	۲/۲۰ m	۸٪

فصل چهارم	صفحه	شماره تمرین	جواب تمرین‌ها
تبدیل واحد حجم	۴۲	۱	mm^3 / cm^3 / dm^3 / m^3 ۳۵۰۰۰۰۰۰ / ۳۵۰۰۰ / ۳۵/۰ / ۰/۰۳۵ ۲۵۰۰۰۰۰۰۰۰ / ۲۵۰۰۰۰۰ / ۲۵۰۰ / ۲/۵ ۱۶۸۰۰۰۰۰ / ۱۶۸۰۰۰ / ۱۶۸ / ۰/۱۶۸ ۲۱۴۰۰۰۰ / ۲۱۴۰ / ۲/۱۴ / ۰/۰۰۲۱۴ ۱۸۵۱۹ / ۱۸/۵۱۹ / ۰/۰۱۸۵۱۹ / ۰/۰۰۰۰۱۸۵۱۹ ۸۶۰۰۰ / ۸۶ / ۰/۰۸۶ / ۰/۰۰۰۰۸۶ ۸۷۰۰۰۰ / ۸۷۰ / ۰/۸۷ / ۰/۰۰۰۸۷
محاسبه سطح کل	۴۲	۲	$A_O = ۳۴۳/۸۲۵dm^2$
	۴۲	۳	$A_O = ۳۶۸/۲۴۸cm^2$
	۴۳	۴	$A_O = ۴۱۸۲۴۸mm^2$
محاسبه حجم	۴۵	۱	الف) $V = ۲/۵۰۸m^3$ ب) $m = ۱۰۰۳۲kg$
	۴۵	۲	$V = ۱۷۲/۸dm^3$
	۴۵	۳	$V_۱ = ۱۴۰/۶۰۸cm^3$ و $V_۲ = ۲۱۰/۹۱۲cm^3$
	۴۵	۴	$h = ۳/۰۷۷m$
	۴۶	۵	$V = ۲۲۶/۰۸m^3$
محاسبه احجام مرکب	۴۷	۱	$V = ۵/۵۹dm^3$
	۴۷	۲	$V = ۸۴۰۳۰cm^3$
	۴۷	۳	الف) $V = ۱/۶۳۲۸dm^3$ ب) $V = ۴۰۸/۲dm^3$
	۴۸	۴	$V = ۴۹/۱۸۹dm^3$
	۴۸	۵	$V = ۱۰۶/۷۶dm^3$
	۴۸	۶	$V = ۵۰/۰۴۴dm^3$
	۴۹	۷	$V = ۲۹۵۷۵۹/۰۵cm^3$
	۴۹	۸	$V = ۴۰۱/۶dm^3$

فصل پنجم	صفحه	شماره تمرین	جواب تمرین‌ها
محاسبه جرم و چگالی	۵۹	۱	$m = ۶۸/۲۵kg$
	۵۹	۲	$\rho = ۲/۷ \frac{g}{cm^۳}$
	۵۹	۳	الف) $V'' = ۲۸۶/۴۵۵cm^۳$ ب) $m = ۱۴/۰۶۲۵kg$
	۵۹	۴	$A = ۱۰۴۱۶/۷cm^۲$
	۶۰	۵	$m_{Al} = ۶/۷۵kg$ و $M_{Fe} = ۱۹/۵kg$
	۶۰	۶	$\rho = ۷۷۵۳/۰۸۶ kg/m^۳$
	۶۰	۷	الف) $\rho = ۱/۴ g/cm^۳$ ب) $\rho = ۱/۳ g/cm^۳$ ج) ۷/۴۴٪
	۶۰	۸	$m = ۲/۹۷۵kg$
	۶۰	۹	عدد کوکیل $n = ۱۲$
	۶۱	۱۰	$e = ۵mm$ و $d = ۱۷۰mm$
	۶۱	۱۱	$m = ۶۸kg$
	۶۱	۱۲	الف) $\rho = ۸/۲۵ \times ۱۰^۳ kg/m^۳$ ب) $\begin{cases} Sn = ۶۸/۱٪ \\ Pb = ۳۱/۹٪ \end{cases}$

فصل ششم	صفحه	شماره تمرین	جواب تمرین‌ها
محاسبه وزن	۷۱	۱	$W = ۲۱۲۸/۷۹۵۲N$ و $m = ۲۱۷/۲۲۴kg$
	۷۱	۲	الف) $m = ۶۵۰kg$ ب) $W = ۱۰۸۵/۵N$
	۷۱	۳	$W = ۱۷۸/۹۷۳۲kgf$ و $V = ۲۱۸/۲۶lit$
	۷۱	۴	$h = ۰/۸۹dm$ و $T = ۷/۹۸kgf$
	۷۲	۵	الف) $V = ۰/۸۸۲۵dm^۳$ ب) $W = ۷۰/۹۱۷۷N$ ج) $W_{۲۵} = ۱/۷۷۳KN$
	۷۳	۶	$V'' = ۰/۱dm^۳$
	۷۳	۷	الف) $V = ۰/۰۷۷۶۸dm^۳$ ب) $W = ۱۲۱/۱۸N$

فصل هفتم	صفحه	شماره تمرین	جواب تمرین‌ها
محاسبه کار و توان	۷۷	۱	$W = ۷۷۶۱۵/۶۱۶J$
	۷۷	۲	$W = ۶۰۰kJ$
	۷۷	۳	$\eta = ۰/۸$
	۷۷	۴	$P_{ab} = ۵/۹۱۸۹kW$ و $P_{zu} = ۸/۲۲kW$
	۷۸	۵	الف) $P_{ab} = ۲۴۵kW$ ب) $P_{zu} = ۳۵۰kW$
	۷۸	۶	الف) $W = ۸۸۲۰۰۰J$ ب) $P = ۸۱/۶۷W$
	۷۸	۷	$P = ۵۰۰۰kW$

فصل هشتم	صفحه	شماره تمرین	جواب تمرین‌ها
محاسبه سرعت در حرکت یکنواخت	۸۱	۱	$V_۱ = ۲۵\,m/s \qquad V_۲ = ۹۰\,km/h$
	۸۱	۲	$S = ۲۴m$
	۸۱	۳	$V = ۱۲\,m/min$
	۸۱	۴	$V = ۱/۵\,m/s$
	۸۱	۵	الف) $V_۱ = ۰/۳۶\,m/s$ ب) $V_۲ = ۰/۷۵\,m/s$
	۸۱	۶	$S = ۲۲۵m$
	۸۲	۷	الف) $t = ۳h$ ب) $\begin{cases} S_۱ = ۱۸km \\ S_۲ = ۱۲km \end{cases}$
	۸۲	۸	الف) $t = ۲s$ ب) $V = ۲۱\,m/s$
محاسبه سرعت درحرکت یکنواخت دورانی	۸۳	۱	$V = ۹/۴۲\,m/s$
	۸۳	۲	$V = ۲۳/۵۵\,m/s$
	۸۳	۳	$V = ۴۰/۸۲\,m/min$
	۸۳	۴	$d = ۱۳۲/۷mm$
	۸۳	۵	الف) $d = ۷۹۶/۱۸mm$ ب) $V = ۱۷۰۰\,m/min$
	۸۴	۶	$n = ۱/۲\,u/min$
	۸۴	۷	

	۱ ۲ ۳	۱ ۲ ۳	۱ ۲ ۳	۱ ۲ ۳
	ماشین اره مجموعه‌ای	ماشین‌اره‌نواری	ماشین رنده	ماشین فرز
d به mm	۲۳۹ ۴۰۰ ۳۲۰	۷۵۰ ۳۶۰ ۷۹۹	۸۰ ۱۲۰ ۱۰۰	۶۰ ۱۲۰ ۱۰۵
n به ۱/min	۳۲۰۰ ۱۷۲۰ ۲۸۰۰	۶۰۰ ۹۵۵ ۵۵۰	۶۵۰۰ ۵۸۰۰ ۶۱۱۵	۴۸۰۰ ۴۸۰۹ ۵۲۰۰
v به m/s	۴۰ ۳۶ ۴۶/۹	۲۳/۵۵ ۱۸ ۲۳	۲۷/۲ ۳۶/۴ ۳۲	۱۵/۰۷۲ ۳۰/۲ ۲۸/۶

فصل هشتم	صفحه	شماره تمرین	جواب تمرین‌ها
محاسبه نسبت انتقال حرکت	۸۵	۱	$i = ۳/۵$
	۸۵	۲	$d_۱ = ۱۵۰mm$ و $i = \frac{۵}{۳}$
	۸۵	۳	$d_۲ = ۴۰۰mm$
	۸۶	۴	$n_۲ = ۱۶۰۰u/min$ و $d_۱ = ۲۵۰mm$ و $n_۱ = ۲۲۴۰u/min$
	۸۶	۵	$d_۲ = ۱۰۰mm$ و $V = ۱۹/۶۲۵m/s$ و $i = \frac{۴}{۵}$

فصل نهم	صفحه	شماره تمرین	جواب تمرین‌ها
حرارت	۱۰۶	۱	$\theta_F = ۲۴۶۲$ و $T_K = ۱۶۲۳$
	۱۰۶	۲	$۴۰^\circ F = ۴/۴^\circ C$ و $-۴۰^\circ F = -۴۰^\circ C$
	۱۰۶	۳	$۳۹۵/۶^\circ C$
	۱۰۶	۴	$۹۰^\circ F$ و $۵۰^\circ K$
	۱۰۶	۵	الف) نقطه ذوب آلومینیم بیشتر است ب) $۸/۹^\circ C$
	۱۰۷	۶	$\theta_C = ۳۰۱/۲۵^\circ C$
	۱۰۷	۷	$۳۳/۵۲ kJ/^\circ K$ و $۳۳۵۲۰ J/^\circ C$ و $۸۰۰۰ cal/^\circ C$
	۱۰۷	۸	$۱۳۸/۱۸۶۲ MJ$
	۱۰۷	۹	الف) $A = ۵/۵ kcal/^\circ C$ ب) $Q = ۵۷۶۱/۲۵ kJ$
	۱۰۷	۱۰	$Q = ۲۲۶۳/۱۴ kcal$
	۱۰۷	۱۱	$\lambda = ۲۵ kJ/kg$ و $\lambda = ۵/۹۷ kcal/kg$
	۱۰۷	۱۲	$Q_{چدن} = ۹۷۰۰ kJ$ و $Q_{یخ} = ۳۳۵۰۰ kJ$
	۱۰۸	۱۳	الف) $Q = ۱۵۲/۴ kcal$ ب) $Q = ۱۵۵/۹۲۵ kcal$ ج) $Q = ۱۷۷ kcal$
	۱۰۸	۱۴	$Q = ۲۶۱۶۷/۲ kcal$
	۱۰۸	۱۵	$\theta = ۱۰۹۹^\circ C$
	۱۰۸	۱۶	$m = ۰/۴ kg$
	۱۰۹	۱۷	$m = ۷/۶۳ kg$
	۱۰۹	۱۸	$V = ۲۲/۰۶ lit$

۳ــ۱۰ــ جداول

جدول ۱ــ دستگاه آحاد اندازه‌گیری در سیستم S.I و M.K.S

کمیت	طول	جرم	نیرو	زمان	کار
نام واحد اندازه‌گیری	متر	کیلوگرم جرم	نیوتن	ثانیه	نیوتن متر
علامت اختصاری	m	kg	N	S	N.m

M.K.S و S.I

کمیت	توان	سرعت	شتاب	گشتاور	فشار	گرما
نام واحد اندازه‌گیری	نیوتن متر بر ثانیه	متر بر ثانیه	متر بر مجذور ثانیه	متر نیوتن	نیوتن بر مترمربع	ژول
علامت اختصاری	N.m/s	m/s	m/s^2	m.N	N/m^2 یا Pa	j

$۱N.m = ۱j$ و $۱Nm/s = ۱W$

جدول ۲ــ تبدیل آحاد طول به یک‌دیگر

M.K.S و S.I						F.P.S	
نام واحد	متر	دسیمتر	سانتیمتر	میلیمتر	یارد	فوت	اینچ
علامت اختصاری	m	dm	cm	mm	yard	ft	in
۱m	۱	۱۰	۱۰۰	۱۰۰۰	۱/۰۹۴	۳/۲۸۱	۳۹/۳۷

جدول ۳ــ تبدیل آحاد سطح به یک‌دیگر

	M.K.S و S.I					F.P.S	
نام واحد	متر مربع	دسیمتر مربع	سانتیمتر مربع	میلیمتر مربع	یارد مربع	فوت مربع	اینچ مربع
علامت اختصاری	m^2	dm^2	cm^2	mm^2	$yard^2$	ft^2	in^2
$1m^2$	۱	۱۰۰	۱۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰	۱/۱۹۶	۱۰/۷۶	۱۵۵۰

جدول ۴ــ تبدیل آحاد حجم به یک‌دیگر

	M.K.S و S.I					F.P.S	
نام واحد	متر مکعب	دسیمتر مکعب	سانتیمتر مکعب	میلیمتر مکعب	یارد مکعب	فوت مکعب	اینچ مکعب
علامت اختصاری	m^3	dm^3	cm^3	mm^3	$yard^3$	ft^3	in^3
$1m^3$	۱	۱۰۰۰	$۱۰^۶$	$۱۰^۹$	۱/۳۰۷	۳۵/۳۲	۶۱۰۲۳

گنجایش یک دسیمترمکعب را یک لیتر هم می‌گویند.

جدول ۵ــ تبدیل آحاد نیرو به یک‌دیگر

	S.I	M.K.S	F.P.S
نام واحد	نیوتن	کیلوگرم نیرو	پوند
علامت اختصاری	N	Kgf	lb
1N	۱	۰/۱۰۲	۰/۲۲۵

جدول ۶ــ تبدیل آحاد فشار به یک‌دیگر

S.I			F.P.S	M.K.S		
نام واحد	بار	نیوتن بر سانتیمتر مربع	نیوتن بر مترمربع	پوند بر اینچ مربع	میلیمتر جیوه	میلیمتر آب	کیلوگرم بر سانتیمتر مربع
علامت اختصاری	bar	N/cm^2	N/m^2	P.S.I	mm.Hg	mmH_2O	Kg/cm^2
۱bar	۱	۱۰	$۱۰^۵$	۱۴/۲	۷۵۰	۱۰۲۰۰	۱/۰۲

جدول ۷ــ تبدیل آحاد کار به یک‌دیگر

S.I		M.K.S		F.P.S	
نام واحد	نیوتن متر	نیوتن سانتیمتر	کیلوگرم سانتیمتر	کیلوگرم متر	پوند فوت	پوند اینچ
علامت اختصاری	N.m	N.cm	kg.cm	kg.m	lb.ft	lb.in
۱N.m	۱	۱۰۰	۱۰/۲	$\frac{۱}{۹/۸۱} = ۰/۱۰۲$	۰/۷۳۸	۸/۸۵۸

جدول ۸ــ تبدیل آحاد توان به یک‌دیگر

S.I			M.K.S		F.P.S	
نام واحد	کیلووات	وات	کیلوژول بر ساعت	کیلوگرم متر بر ثانیه	کیلوکالری بر ساعت	اسب بخار متریک	اسب بخار انگلیسی	فوت پوند بر دقیقه
علامت اختصاری	kw	w	kj/h	kg.m/s	kcal/h	PS	h.p	Lb.ft/min
۱kW	۱	۱۰۰۰	۳۶۰۰	۱۰۲	۸۶۰	۱/۳۶	۱/۳۴	۴۴۲۲۰

جدول ۹ــ علایم اختصاری، جرم مخصوص و دمای ذوب فلزات و آلیاژهای آن‌ها

نام ماده	علامت اختصاری	ρ به $\frac{kg}{dm^3}$	دمای ذوب °C	نام ماده	علامت اختصاری	ρ به $\frac{kg}{dm^3}$	نقطه ذوب °C
آلومینیم	Al	۲/۷	۶۵۹	فسفر سفید	P	۱/۸۳	۴۴
آنتیموان	Sb	۶/۶۹	۶۳۰	پلاتین	Pt	۲۱/۳۷	۱۷۷۳
سرب	Pb	۱۱/۳۴	۳۲۷	جیوه	Hg	۱۳/۹۶	-۳۹
کرم	Cr	۷/۱	۱۹۰۰	گوگرد	S	۲/۰۷	۱۱۳
آهن	Fe	۷/۸۶	۱۵۲۸	نقره	Ag	۱۰/۵۳	۹۶۱
طلا	Au	۱۹/۳	۱۰۶۳	سیلیسیم	Si	۲/۳۵	۱۴۱۳
کربن	C	۳/۵۱	۳۸۴۵	تیتانیم	Ti	۴/۵	۱۶۶۰
مس	Cu	۸/۹۳	۱۰۸۳	اورانیم	U	۱۹/۰۵	۱۱۳۳
منیزیم	Mg	۱/۷۴	۶۵۰	وانادیم	V	۶/۱	۱۷۲۶
منگنز	Mn	۷/۲۱	۱۲۴۷	تنگستن (ولفرام)	W	۱۹/۱	۳۳۸۰
مولیبدن	Mo	۱۰/۲	۲۶۲۲	روی	Zn	۷/۱۴	۴۱۹
نیکل	Ni	۸/۹	۱۴۵۵	قلع	Sn	۷/۲۸	۲۳۲

جدول ۱۰ــ ρ جرم مخصوص چدن‌ها برحسب $\frac{kg}{dm^3}$ (مقدار متوسط)

ماده	علامت اختصاری	جامد	مایع	ماده	علامت اختصاری	جامد	مایع
چدن	GG	۷/۲۵	۶/۵	برنز آلومینیم CuAl-Leg	G-CuAl	۸/۰	۷/۲
فولاد ریختگی	GS	۷/۳۵	۶/۹	برنز سرب CuPb-Leg	G-CuPb	۹/۵	۸/۶
چدن مالی بل	GT	۷/۴	۶/۷	برنز قلع CuSn-Leg	G-CuSn	۸/۸	۸/۰
آهن خام خاکستری	ــ	۷/۲	ــ	برنج ریختگی CuZn-Leg	G-CuZn	۸/۵	۷/۷
آهن خام سفید	ــ	۷/۴	ــ	مفرغ CuSnZn-Leg	G-CuSnZn	۸/۶	۷/۸
آلیاژهای آلومینیم	G-Al	۲/۷	۲/۳۵				
آلیاژهای منیزیم	G-Mg	۱/۸	۱/۶				

جدول ۱۱ــ ρ جرم مخصوص مواد کمکی ریخته‌گری برحسب $\frac{kg}{dm^3}$ (مقدار متوسط)

۱/۸	ماسه کوارتز مرطوب	۱/۲	ماسه ماهیچه خشک	۰/۹	بنتونیت
۱/۹	شاموت	۱/۴	ماسه ماهیچه‌تر	۱/۴	ماسه قالب‌گیری فشرده شده
۰/۸	زغال سنگ غنی شده	۱/۲	صمغ	۱/۲	ماسه قالب‌گیری فشرده نشده
۰/۶	گرد زغال‌سنگ	۰/۰۴	مواد مصنوعی	۰/۵	کک ریخته‌گیری ــ غنی شده
۲/۷	تالک	۲/۱	خاک تازه	۲/۲۵	گرافیت خالص
۰/۹۶	برم	۱/۵	خاک خشک	۲/۸	سرباره کوره بلند
۱/۴	سیمان	۱/۳	سریشم مایع	۰/۳	زغال چوب
۱/۸	آجر	۱/۸	گچ مدل‌سازی تکلیس شده	۱/۸	پودر آهک

جدول ۱۲ــ ρ جرم مخصوص انواع چوب برحسب $\frac{kg}{dm^3}$ (مقدار متوسط)

خشک	تازه	نوع چوب	خشک	تازه	نوع چوب	خشک	تازه	نوع چوب
۰/۷۵	۱/۰	جنگلی قرمز	۰/۵۵	۰/۸۵	نوعی کاج	۰/۷	۰/۹۵	افرا
۰/۶	۰/۹۵	سرو	۰/۷۵	۱/۰	نوعی گیلاس	۰/۷۵	۱/۰	درخت گلابی
۰/۷	۰/۹۵	نوعی نارون	۰/۵	۰/۷۵	نوعی داغداغان	۰/۵۵	۰/۸۵	توسکا
۰/۸	۱/۱	جنگلی سفید	۰/۷	۰/۹۵	نوعی گردو	۰/۵	۰/۸	نوعی کاج

جدول ۱۳ــ سینوس و کسینوس

جدول مثلثاتی

سینوس 0°...45°

درجه ⇓	دقیقه ⇐ 0′	10′	20′	30′	40′	50′	60′	⇒
0	0,0000	0,0029	0,0058	0,0087	0,0116	0,0145	0,0175	89
1	0,0175	0,0204	0,0233	0,0262	0,0291	0,0320	0,0349	88
2	0,0349	0,0378	0,0407	0,0436	0,0465	0,0494	0,0523	87
3	0,0523	0,0552	0,0581	0,0610	0,0640	0,0669	0,0698	86
4	0,0698	0,0727	0,0756	0,0785	0,0814	0,0843	0,0872	85
5	0,0872	0,0901	0,0929	0,0958	0,0987	0,1016	0,1045	84
6	0,1045	0,1074	0,1103	0,1132	0,1161	0,1190	0,1219	83
7	0,1219	0,1248	0,1276	0,1305	0,1334	0,1363	0,1392	82
8	0,1392	0,1421	0,1449	0,1478	0,1507	0,1536	0,1564	81
9	0,1564	0,1593	0,1622	0,1650	0,1679	0,1708	0,1736	80
10	0,1736	0,1765	0,1794	0,1822	0,1851	0,1880	0,1908	79
11	0,1908	0,1937	0,1965	0,1994	0,2022	0,2051	0,2079	78
12	0,2079	0,2108	0,2136	0,2164	0,2193	0,2221	0,2250	77
13	0,2250	0,2278	0,2306	0,2334	0,2363	0,2391	0,2419	76
14	0,2419	0,2447	0,2476	0,2504	0,2532	0,2560	0,2588	75
15	0,2588	0,2616	0,2644	0,2672	0,2700	0,2728	0,2756	74
16	0,2756	0,2784	0,2812	0,2840	0,2868	0,2896	0,2924	73
17	0,2924	0,2952	0,2979	0,3007	0,3035	0,3062	0,3090	72
18	0,3090	0,3118	0,3145	0,3173	0,3201	0,3228	0,3256	71
19	0,3256	0,3283	0,3311	0,3338	0,3365	0,3393	0,3420	70
20	0,3420	0,3448	0,3475	0,3502	0,3529	0,3557	0,3584	69
21	0,3584	0,3611	0,3638	0,3665	0,3692	0,3719	0,3746	68
22	0,3746	0,3773	0,3800	0,3827	0,3854	0,3881	0,3907	67
23	0,3907	0,3934	0,3961	0,3987	0,4014	0,4041	0,4067	66
24	0,4067	0,4094	0,4120	0,4147	0,4173	0,4200	0,4226	65
25	0,4226	0,4253	0,4279	0,4305	0,4331	0,4358	0,4384	64
26	0,4384	0,4410	0,4436	0,4462	0,4488	0,4514	0,4540	63
27	0,4540	0,4566	0,4592	0,4617	0,4643	0,4669	0,4695	62
28	0,4695	0,4720	0,4746	0,4772	0,4797	0,4823	0,4848	61
29	0,4848	0,4874	0,4899	0,4924	0,4950	0,4975	0,5000	60
30	0,5000	0,5025	0,5050	0,5075	0,5100	0,5125	0,5150	59
31	0,5150	0,5175	0,5200	0,5225	0,5250	0,5275	0,5299	58
32	0,5299	0,5324	0,5348	0,5373	0,5398	0,5422	0,5446	57
33	0,5446	0,5471	0,5495	0,5519	0,5544	0,5568	0,5592	56
34	0,5592	0,5616	0,5640	0,5664	0,5688	0,5712	0,5736	55
35	0,5736	0,5760	0,5783	0,5807	0,5831	0,5854	0,5878	54
36	0,5878	0,5901	0,5925	0,5948	0,5972	0,5995	0,6018	53
37	0,6018	0,6041	0,6065	0,6088	0,6111	0,6134	0,6157	52
38	0,6157	0,6180	0,6202	0,6225	0,6248	0,6271	0,6293	51
39	0,6293	0,6316	0,6338	0,6361	0,6383	0,6406	0,6428	50
40	0,6428	0,6450	0,6472	0,6494	0,6517	0,6539	0,6561	49
41	0,6561	0,6583	0,6604	0,6626	0,6648	0,6670	0,6691	48
42	0,6691	0,6713	0,6734	0,6756	0,6777	0,6799	0,6820	47
43	0,6820	0,6841	0,6862	0,6884	0,6905	0,6926	0,6947	46
44	0,6947	0,6967	0,6988	0,7009	0,7030	0,7050	0,7071	45
	60′	50′	40′	30′	20′	10′	0′	⇑ درجه
	⇐ دقیقه							⇒

کسینوس 45°...90°

جدول ۱۴ــ سینوس و کسینوس

جدول مثلثاتی

سینوس، 45°...90°

درجه ⇓	دقیقه → 0′	10′	20′	30′	40′	50′	60′	
45	0,7071	0,7092	0,7112	0,7133	0,7153	0,7173	0,7193	44
46	0,7193	0,7214	0,7234	0,7254	0,7274	0,7294	0,7314	43
47	0,7314	0,7333	0,7353	0,7373	0,7392	0,7412	0,7431	42
48	0,7431	0,7451	0,7470	0,7490	0,7509	0,7528	0,7547	41
49	0,7547	0,7566	0,7585	0,7604	0,7623	0,7642	0,7660	40
50	0,7660	0,7679	0,7698	0,7716	0,7736	0,7753	0,7771	39
51	0,7771	0,7790	0,7808	0,7826	0,7844	0,7862	0,7880	38
52	0,7880	0,7898	0,7916	0,7934	0,7951	0,7969	0,7986	37
53	0,7986	0,8004	0,8021	0,8039	0,8056	0,8073	0,8090	36
54	0,8090	0,8107	0,8124	0,8141	0,8158	0,8175	0,8192	35
55	0,8192	0,8208	0,8225	0,8241	0,8258	0,8274	0,8290	34
56	0,8290	0,8307	0,8323	0,8339	0,8355	0,8371	0,8387	33
57	0,8387	0,8403	0,8418	0,8434	0,8450	0,8465	0,8480	32
58	0,8480	0,8496	0,8511	0,8526	0,8542	0,8557	0,8572	31
59	0,8572	0,8587	0,8601	0,8616	0,8631	0,8646	0,8660	30
60	0,8660	0,8675	0,8689	0,8704	0,8718	0,8732	0,8746	29
61	0,8746	0,8760	0,8774	0,8788	0,8802	0,8816	0,8829	28
62	0,8829	0,8843	0,8857	0,8870	0,8884	0,8897	0,8910	27
63	0,8910	0,8923	0,8936	0,8949	0,8962	0,8975	0,8988	26
64	0,8988	0,9001	0,9013	0,9026	0,9038	0,9051	0,9063	25
65	0,9063	0,9075	0,9088	0,9100	0,9112	0,9124	0,9135	24
66	0,9135	0,9147	0,9159	0,9171	0,9182	0,9194	0,9205	23
67	0,9205	0,9216	0,9228	0,9239	0,9250	0,9261	0,9272	22
68	0,9272	0,9283	0,9293	0,9304	0,9315	0,9325	0,9336	21
69	0,9336	0,9346	0,9356	0,9367	0,9377	0,9387	0,9397	20
70	0,9397	0,9407	0,9417	0,9426	0,9436	0,9446	0,9455	19
71	0,9455	0,9465	0,9474	0,9483	0,9492	0,9502	0,9511	18
72	0,9511	0,9520	0,9528	0,9537	0,9546	0,9555	0,9563	17
73	0,9563	0,9572	0,9580	0,9588	0,9596	0,9605	0,9613	16
74	0,9613	0,9621	0,9628	0,9636	0,9644	0,9652	0,9659	15
75	0,9659	0,9667	0,9674	0,9681	0,9689	0,9696	0,9703	14
76	0,9703	0,9710	0,9717	0,9724	0,9730	0,9737	0,9744	13
77	0,9744	0,9750	0,9757	0,9763	0,9769	0,9775	0,9781	12
78	0,9781	0,9787	0,9793	0,9799	0,9805	0,9811	0,9816	11
79	0,9816	0,9822	0,9827	0,9833	0,9838	0,9843	0,9848	10
80	0,9848	0,9853	0,9858	0,9863	0,9868	0,9872	0,9877	9
81	0,9877	0,9881	0,9886	0,9890	0,9894	0,9899	0,9903	8
82	0,9903	0,9907	0,9911	0,9914	0,9918	0,9922	0,9925	7
83	0,9925	0,9929	0,9932	0,9936	0,9939	0,9942	0,9945	6
84	0,9945	0,9948	0,9951	0,9954	0,9957	0,9959	0,9962	5
85	0,9962	0,9964	0,9967	0,9969	0,9971	0,9974	0,9976	4
86	0,9976	0,9978	0,9980	0,9981	0,9983	0,9985	0,9986	3
87	0,9986	0,9988	0,9989	0,9990	0,9992	0,9993	0,9994	2
88	0,9994	0,9995	0,9996	0,9997	0,9997	0,9998	0,99985	1
89	0,99985	0,99989	0,99993	0,99996	0,99998	0,99999	1,0000	0
	60′	50′	40′	30′	20′	10′	0′	درجه ⇑

← دقیقه

کسینوس 0°...45°

جدول ۱۵ــ تانژانت و کتانژانت

جدول مثلثاتی

تانژانت 0°...45°

درجه ⇓	0′	10′	20′	30′	40′	50′	60′	
0	0,0000	0,0029	0,0058	0,0087	0,0116	0,0145	0,0175	89
1	0,0175	0,0204	0,0233	0,0262	0,0291	0,0320	0,0349	88
2	0,0349	0,0378	0,0407	0,0437	0,0466	0,0495	0,0524	87
3	0,0524	0,0553	0,0582	0,0612	0,0641	0,0670	0,0699	86
4	0,0699	0,0729	0,0758	0,0787	0,0816	0,0846	0,0875	85
5	0,0875	0,0904	0,0934	0,0963	0,0992	0,1022	0,1051	84
6	0,1051	0,1080	0,1110	0,1139	0,1169	0,1198	0,1228	83
7	0,1228	0,1257	0,1287	0,1317	0,1346	0,1376	0,1405	82
8	0,1405	0,1435	0,1465	0,1495	0,1524	0,1554	0,1584	81
9	0,1584	0,1614	0,1644	0,1673	0,1703	0,1733	0,1763	80
10	0,1763	0,1793	0,1823	0,1853	0,1883	0,1914	0,1944	79
11	0,1944	0,1974	0,2004	0,2035	0,2065	0,2095	0,2126	78
12	0,2126	0,2156	0,2186	0,2217	0,2247	0,2278	0,2309	77
13	0,2309	0,2339	0,2370	0,2401	0,2432	0,2462	0,2493	76
14	0,2493	0,2524	0,2555	0,2586	0,2617	0,2648	0,2679	75
15	0,2679	0,2711	0,2742	0,2773	0,2805	0,2836	0,2867	74
16	0,2867	0,2899	0,2931	0,2962	0,2994	0,3026	0,3057	73
17	0,3057	0,3089	0,3121	0,3153	0,3185	0,3217	0,3249	72
18	0,3249	0,3281	0,3314	0,3346	0,3378	0,3411	0,3443	71
19	0,3443	0,3476	0,3508	0,3541	0,3574	0,3607	0,3640	70
20	0,3640	0,3673	0,3706	0,3739	0,3772	0,3805	0,3839	69
21	0,3839	0,3872	0,3906	0,3939	0,3973	0,4006	0,4040	68
22	0,4040	0,4074	0,4108	0,4142	0,4176	0,4210	0,4245	67
23	0,4245	0,4279	0,4314	0,4348	0,4383	0,4417	0,4452	66
24	0,4452	0,4487	0,4522	0,4557	0,4592	0,4628	0,4663	65
25	0,4663	0,4699	0,4734	0,4770	0,4806	0,4841	0,4877	64
26	0,4877	0,4913	0,4950	0,4986	0,5022	0,5059	0,5095	63
27	0,5095	0,5132	0,5169	0,5206	0,5243	0,5280	0,5317	62
28	0,5317	0,5354	0,5392	0,5430	0,5467	0,5505	0,5543	61
29	0,5543	0,5581	0,5619	0,5658	0,5696	0,5735	0,5774	60
30	0,5774	0,5812	0,5851	0,5890	0,5930	0,5969	0,6009	59
31	0,6009	0,6048	0,6088	0,6128	0,6168	0,6208	0,6249	58
32	0,6249	0,6289	0,6330	0,6371	0,6412	0,6453	0,6494	57
33	0,6494	0,6536	0,6577	0,6619	0,6661	0,6703	0,6745	56
34	0,6745	0,6787	0,6830	0,6873	0,6916	0,6959	0,7002	55
35	0,7002	0,7046	0,7089	0,7133	0,7177	0,7221	0,7265	54
36	0,7265	0,7310	0,7355	0,7400	0,7445	0,7490	0,7536	53
37	0,7536	0,7581	0,7627	0,7673	0,7720	0,7766	0,7813	52
38	0,7813	0,7860	0,7907	0,7954	0,8002	0,8050	0,8098	51
39	0,8098	0,8146	0,8195	0,8243	0,8292	0,8342	0,8391	50
40	0,8391	0,8441	0,8491	0,8541	0,8591	0,8642	0,8693	49
41	0,8693	0,8744	0,8796	0,8847	0,8899	0,8952	0,9004	48
42	0,9004	0,9057	0,9110	0,9163	0,9217	0,9271	0,9325	47
43	0,9325	0,9380	0,9435	0,9490	0,9545	0,9601	0,9657	46
44	0,9657	0,9713	0,9770	0,9827	0,9884	0,9942	1,0000	45
	60′	50′	40′	30′	20′	10′	0′	⇑ درجه

کتانژانت 45°...90°

جدول ۱۶ــ تانژانت و کتانژانت

جدول مثلثاتی

تانژانت 45°...90°

درجه ⇓	دقیقه → 0′	10′	20′	30′	40′	50′	60′	
45	1,0000	1,0058	1,0117	1,0176	1,0235	1,0295	1,0355	44
46	1,0355	1,0416	1,0477	1,0538	1,0599	1,0661	1,0724	43
47	1,0724	1,0786	1,0850	1,0913	1,0977	1,1041	1,1106	42
48	1,1106	1,1171	1,1237	1,1303	1,1369	1,1436	1,1504	41
49	1,1504	1,1571	1,1640	1,1708	1,1778	1,1847	1,1918	40
50	1,1918	1,1988	1,2059	1,2131	1,2203	1,2276	1,2349	39
51	1,2349	1,2423	1,2497	1,2572	1,2647	1,2723	1,2799	38
52	1,2799	1,2876	1,2954	1,3032	1,3111	1,3190	1,3270	37
53	1,3270	1,3351	1,3432	1,3514	1,3597	1,3680	1,3764	36
54	1,3764	1,3848	1,3934	1,4019	1,4106	1,4193	1,4281	35
55	1,4281	1,4370	1,4460	1,4550	1,4641	1,4733	1,4826	34
56	1,4826	1,4919	1,5013	1,5108	1,5204	1,5301	1,5399	33
57	1,5399	1,5497	1,5597	1,5697	1,5798	1,5900	1,6003	32
58	1,6003	1,6107	1,6213	1,6318	1,6426	1,6534	1,6643	31
59	1,6643	1,6753	1,6864	1,6977	1,7090	1,7205	1,7321	30
60	1,7321	1,7438	1,7556	1,7675	1,7796	1,7917	1,8041	29
61	1,8041	1,8165	1,8291	1,8418	1,8546	1,8676	1,8807	28
62	1,8807	1,8940	1,9074	1,9210	1,9347	1,9486	1,9626	27
63	1,9626	1,9768	1,9912	2,0057	2,0204	2,0353	2,0503	26
64	2,0503	2,0655	2,0809	2,0965	2,1123	2,1283	2,1445	25
65	2,1445	2,1609	2,1775	2,1943	2,2113	2,2286	2,2460	24
66	2,2460	2,2637	2,2817	2,2998	2,3183	2,3369	2,3559	23
67	2,3559	2,3750	2,3945	2,4142	2,4342	2,4545	2,4751	22
68	2,4751	2,4960	2,5172	2,5387	2,5605	2,5826	2,6051	21
69	2,6051	2,6279	2,6511	2,6746	2,6985	2,7228	2,7475	20
70	2,7475	2,7725	2,7980	2,8239	2,8502	2,8770	2,9042	19
71	2,9042	2,9319	2,9600	2,9887	3,0178	3,0475	3,0777	18
72	3,0777	3,1084	3,1397	3,1716	3,2041	3,2371	3,2709	17
73	3,2709	3,3052	3,3402	3,3759	3,4124	3,4495	3,4874	16
74	3,4874	3,5261	3,5656	3,6059	3,6470	3,6891	3,7321	15
75	3,7321	3,7760	3,8208	3,8667	3,9136	3,9617	4,0108	14
76	4,0108	4,0611	4,1126	4,1653	4,2193	4,2747	4,3315	13
77	4,3315	4,3897	4,4494	4,5107	4,5736	4,6383	4,7046	12
78	4,7046	4,7729	4,8430	4,9152	4,9894	5,0658	5,1446	11
79	5,1446	5,2257	5,3093	5,3955	5,4845	5,5764	5,6713	10
80	5,6713	5,7694	5,8708	5,9758	6,0844	6,1970	6,3138	9
81	6,3138	6,4348	6,5605	6,6912	6,8269	6,9682	7,1154	8
82	7,1154	7,2687	7,4287	7,5958	7,7704	7,9530	8,1444	7
83	8,1444	8,3450	8,5556	8,7769	9,0098	9,2553	9,5144	6
84	9,5144	9,7882	10,0780	10,3854	10,7119	11,0594	11,4301	5
85	11,4301	11,8262	12,2505	12,7062	13,1969	13,7267	14,3007	4
86	14,3007	14,9244	15,6048	16,3499	17,1693	18,0750	19,0811	3
87	19,0811	20,2056	21,4704	22,9038	24,5418	26,4316	28,6363	2
88	28,6363	31,2416	34,3678	38,1885	42,9641	49,1039	57,2900	1
89	57,2900	68,7501	85,9398	114,5887	171,8854	343,7737	∞	0
	60′	50′	40′	30′	20′	10′	0′	⇑ درجه

دقیقه ←

کتانژانت 0°...45° ⇓

فهرست منابع

نام کتاب	نویسنده	ناشر	سال چاپ
1. Technische Mathematik für GieBerei und Modellbau	Rudolf Richter	HANDWERK UND TECHNIK	1988
2. Fach rechnen	Friedrich wagner German Schreibeis	Hollan+Jesenhans	1984