



جمهوری اسلامی ایران

وزارت آموزش عالی

تهران

سال اول

آموزش متوسطه عمومی

علوم تجربی و ریاضی

فیزیک



چاپخانه

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

کتابخانه مرکزی
وزارت معارف و اوقاف و صنایع مستظرفه
تاسیس ۱۳۲۷ هـ ق
شماره ثبت کتابخانه ۱۲۱۶۹

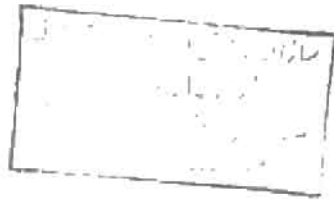
فیزیک

سال اول

آمورش متوسطه عمومی

علوم تجربی - ریاضی و فیزیک

۱۳۶۰



۱۳۹۰

۱۳۰

۱۳۰

۱۳۰

بدید آوزندگان:

مؤلفان: محمود عرب اف ابوالقاسم قلم سیاہ

صفحہ پرداز: تھمورث حسن پور

حقوق مادی اس اثر متعلق بہ وزارت

آمورس و پرورش اسب۔

چاپ از: چاپخانہ سعیدنو

فهرست

۳	فصل ۱ - فربک و روس فربکی
۱۵	فصل ۲ - اندازه‌گیری طول و حرم و زمان
۴۰	فصل ۳ - حرکت در روی خط راست
۵۴	فصل ۴ - بیرو و ساختمان ماده
۷۳	فصل ۵ - ترکیب بیروها
۸۸	فصل ۶ - مواسر نسوی دربارد حرکت
۹۷	فصل ۷ - کار و انرژی
۱۲۰	فصل ۸ - فشار درون مایعات و گازها

فيزيك و روش فيزيكى

بدون آن که دلیلشان را بدانند انجام می‌داد که پایه بعضی از آنها بر آنچه ما امروز فیزیک می‌نامیم گذاشته شده بود. مثلاً او به تجربه آموخت که چگونه سنگ را پرتاب کند تا به حیوانی که در حال فرار است برخورد نماید. او می‌دانست که اگر سنگ را مستقیماً به طرف حیوان پرتاب کند به آن نمی‌خورد زیرا وقتی که سنگ به هدف پرتاب برسد حیوان در جای اولیه خود نیست. انسان اولیه آموخت که بدن خود را چگونه نگاه دارد تا بتواند اشیای سنگین را از زمین آسانتر بردارد. او دانست که غلتاندن يك سنگ بزرگ راحت‌تر از کشیدن آن است. پی‌برد که از به هم زدن دو سنگ آتزنه، جرقه تولید می‌شود.

انسان اولیه قانونهای سطحی خود را غالباً از مشاهده حوادث و تجربه به دست می‌آورد ولی راهی برای وفق دادن و تطبیق آنها با پدیده‌های نو نمی‌شناخت. اگر این قانونها او را كمك می‌کرد تا حوادث را پیشگویی و نظارت کند آنها را می‌پذیرفت و به تدریج اصلاح می‌کرد و اگر نتایج پیشگویی او درست در نمی‌آمد آنها را کنار می‌گذازد و به قانونهای بهتری توجه می‌نمود. درست از همین راه انسان اولیه، مواد غذایی و قابل استفاده را که برای ادامه زندگی لازم بود شناخت و چون دانش او درباره گیاهان بیشتر شد مشاهدات خود را به صورت قانونهایی تعمیم داد و نتنها پیشگویی کرد بلکه به

خورشید امروز صبح طلوع کرد: این يك واقعت است. خورشید هر روز صبح طلوع می‌کند: این يك قانون طبیعی است. خورشید فردا صبح طلوع خواهد کرد: این يك پیشگویی است.

تنها فالگیر نیست که ادعای پیشگویی می‌کند. هر شخصی به كمك تجربه‌های گذشته‌اش اندکی می‌داند که در آینده چه به وقوع می‌پیوندد. ما با اطمینان می‌دانیم که هر روز نو برای ما با رویدادهایی از این قبیل همراه است: افزایش روشنی، طلوع خورشید، احساس گرنگی پس از گذشت چند ساعت، رفع گرنگی پس از خوردن غذا و . . . اما در باره وقوع بعضی از حوادث آینده کمتر اطمینان داریم. شما برای تماشای يك مسابقه فوتبال بعد از ظهر امروز پس از پایان درس طرحی ریخته‌اید و هواشناسی هم هوای خوبی را پیشگویی کرده است اما ممکن است پیشگویی هواشناسی درست از کار در نیاید یا به علت‌های دیگر نتوانید به تماشای مسابقه بروید. پیشگویی وقوع يك حادثه را به مدد يك قانون علمی نباید با پیش‌بینی حوادث آینده که درجه تحقق‌پذیری آنها متفاوت است اشتباه کرد. مثلاً شما شك ندارید که خورشید غروب می‌کند ولی مطمئن نیستید که از خواندن این کتاب لذت می‌برید.

انسان از آغار پیدایش خود کوشش کرد تا حادثه‌های آینده را پیشگویی کند و زندگی خود را تحت نظم و قاعده در آورد. او از همان ابتدا کارهایی

بررسی و آزمایش نیز پرداخت و به جای آن که مواد غذایی موجود در طبیعت را جمع آوری و انبار کند، خود تولیدکننده و بررگر شد.

ما نباید به دانش اجدادمان که امروزه به نظر ما کم مایه می آید به چشم حقارت بنگریم. زیرا حاصل تلاش آنان است که نسل به نسل کامل شده و به ما انتقال یافته است.

فرضه‌ها و قانونها چگونه به وجود می آیند؟

شما اکنون تا اندازه‌ای با روش کار دانشمندان آشنا شده‌اید. هر کس مایل است که از مشاهدات خود نتایج قطعی و تردید ناپذیری به دست آورد، دانشمند وقتی پدیده‌ای را مشاهده می‌نماید درباره آن پدیده می‌اندیشد و اظهار نظر می‌کند و برای اثبات نظر و عقیده خود آزمایشهایی نیز انجام می‌دهد. اگر آزمایش، نظر و عقیده او را تأیید کند نتیجه می‌گیرد که آنچه را به صورت قاعده یا قانون پیشنهاد کرده است در جای خود دارای ارزش و اعتبار است.

برای مثال، دانشمندی را در نظر بگیرید که می‌رود در دریاچه‌ای که عمق آب زیاد است شنا کند. او درمی‌یابد که هر چه در آب بیشتر فرو می‌رود فشار بر روی پرده‌های گوشش بیشتر می‌شود. اکنون به تجزیه و تحلیل این پدیده می‌پردازد و استدلال می‌کند که فشار آب به علت وزن آب بالای سر اوست. چون در عمقی که او فرو رفته مقدار آب بیشتری بالای سرش بوده است فشار افزایش یافته است. اگر او یک شخص عادی بود به همین مرحله اکتفا می‌کرد و راضی می‌شد

اما چون او دانشمند است حس می‌کند که تازه اول کار است و می‌اندیشد:

وقتی که در آب فرو می‌روم فشار به چه نسبت افزایش می‌یابد؟ آیا راهی هست که نشان دهد فشار آب بستگی به وزن آب بالای سر دارد؟ او می‌اندیشد که نظر خود را به صورت رابطه ریاضی نمایش دهد و تصمیم می‌گیرد که کمیت شناخته شده وزن حجمی (وزن واحد حجم) آب دریا را در مسئله وارد کند. به کتاب مراجعه می‌کند و وزن هر متر مکعب آب دریا را در حدود ۱۰۷۵ کیلوگرم نیرو می‌یابد.

* در متن کتاب پرسشهایی به هنگام لروم درج شده است. وقتی که به یکی از این پرسشها می‌رسید اندکی تأمل و فکر کنید و آنرا پاسخ دهید. پس از یافتن پاسخ به انتهای بخش که پاسخها در آنجا نوشته شده است مراجعه کنید تا از درستی پاسخ خود اطمینان حاصل کنید. اینک نخستین پرسش:

پرسش ۱-۱- وزن ۵ متر مکعب آب دریا چند کیلوگرم نیروست؟

با دانستن وزن حجمی آب دریا، دانشمند ما اکنون می‌تواند مجسم کند که فشار چگونه با عمق افزایش می‌یابد: وی سطحی افقی را که مساحت آن برابر واحد سطح (مثلاً یک متر مربع) است در عمقی معین در نظر می‌گیرد. اگر این سطح در عمق سه متری سطح آب باشد می‌توان آنرا مطابق شکل ۱-۱ قاعده ستونی از آب تصور کرد که حجم آن سه متر مکعب است. در نتیجه وزن این ستون فرضی آب دریا برابر است با $3 \times 1075 = 3225$ کیلوگرم نیرو.

به عبارت دیگر: نیروی فشاری که آب دریا بر سطح یک متر مربع در عمق سه متری وارد می‌سازد ۳۲۲۵ کیلوگرم نیروست. اگر فشار را چنان که متداول

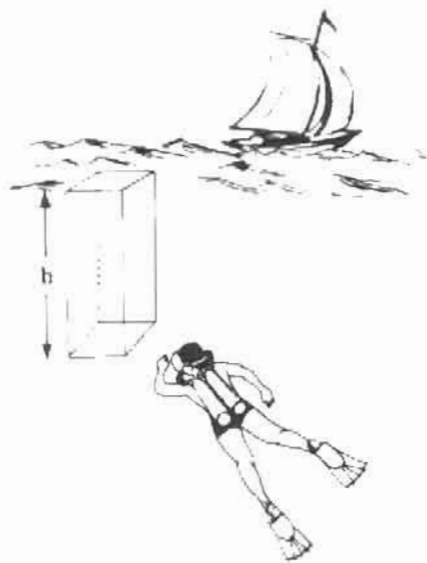
را تعمیم دهد و روت تعیین فشار را در هر گونه مایع و در هر عمق به دست آورد. به آنچه تاکنون انجام داده است توجه کنید: او برای تعیین فشار درون آب، وزن حجمی آب را در عمق آب سرب کرد و به این حامل ضرب فشار هوا در سطح آب را افزود. بیان این نتیجه یا زبان ریاضی مختصرتر و کارساز آن آسانتر می‌شود. مثلاً اگر حرف P را برای نمایش فشار درون مایع و حرف h را برای نمایش عمق مایع و حرف D را برای نمایش وزن حجمی مایع و حرف P_0 را برای نمایش فشار هوا در سطح مایع به کار ببریم نتیجهٔ بالا به صورت معادلهٔ زیر نوشته می‌شود:

$$P = P_0 + Dh \quad (۱-۱)$$

ولی این، يك نمونهٔ ناآزمودهٔ فیزیکی است که به صورت معادلهٔ ریاضی نوشته شده است. به عبارت دیگر يك فرضیه است که بر مشاهدات و اندیشهٔ يك دانشمند پایه‌گذاری شده و ممکن است استدلال‌دانشمند در بیان آن ناقص باشد یا، عملهای دیگری در پدیدهٔ فشار مایع دخالت داشته باشند که هنوز به اندیشهٔ او راه نیافته‌اند.

مرحلهٔ آزمایش

فرضیه‌ها معمولاً به صورت رابطه‌های ریاضی نمایش داده می‌شوند و نمی‌توان آنها را قبول کرد مگر آن‌که آزمایش‌دستی‌شان را تأیید کنند. معادلهٔ (۱-۱) نشان می‌دهد که چگونه فشار P برحسب عمق h تغییر می‌کند. به عبارت دیگر اگر عمق h معین باشد می‌توانیم فشار P را حساب کنیم. برای این منظور باید مقادیر P_0 و D معلوم باشند.



شکل ۱-۱- فشار در عمق h آب شور دریا چه اندازه است؟

است، بر هر سانتیمتر مربع از سطح مورد نظر حساب کنید نتیجهٔ حاصل $۰/۳۲۱۵$ کیلوگرم نیرو خواهد سانتیمتر مربع بود.

اما چند لحظه تأمل کنید! آیا چیزی فراموش شده است؟ فشار در سطح آب دریا صفر نیست زیرا هوا بر سطح آب دریا نیز فشار وارد می‌سازد. فشار هوا بر سطح آب دریا در حدود يك کیلوگرم نیرو بر سانتیمتر مربع است. منطقی است بپذیریم که فشار در يك عمق معین مجموع فشار هوا و فشار آب است. مثلاً فشار کسل در عمق سه متری سطح دریا برابری $۱/۳۲۱۵$ کیلوگرم نیرو بر سانتیمتر مربع است. در اینجا به دومین پرسشی که مطرح می‌شود پاسخ دهید:

پرسش ۱-۲- فشار در عمق ۱۰ متری آب دریا چند کیلوگرم نیرو بر سانتیمتر مربع است؟

اینک دانشمند تصمیم می‌گیرد که نتایج حاصل

نمایش نتایج آزمایش

جدول ۱-۱ نشان می‌دهد که به هر عمق معین، یک فشار معین مربوط است. به عبارت دیگر فشار بستگی به عمق آب‌دارد و با مراجعه به این جدول میزان فشار در عمق‌هایی که در آن درج شده است معین می‌شود. ممکن است فشارهایی که در این جدول مقابل عمقها درج شده است مضرب کاملاً درستی از عمقها نباشد ولی اختلاف زیاد نیست و بستگی به دقت درجه‌بندی اسبابهای اندازه‌گیری دارد. مثلاً فشار در عمق ۸ متری تقریباً معادل $1/86$ کیلوگرم نیرو بر سانتیمتر مربع است ولی در جدول $1/9$ درج شده است. علت این است که فشار منحنی نمی‌توانسته است فشارهای کمتر از $\frac{1}{10}$ کیلوگرم نیرو بر سانتیمتر مربع را نشان دهد.

معمولاً تنظیم جدول روش قانع‌کننده‌ای برای نمایش تغییرات یک کمیت نسبت به کمیت دیگر نیست. زیرا تمام مقادیر ممکن را در بر ندارد. مثلاً در جدول ۱-۱ فشار در عمق $4/5$ متر یا در عمق $7/3$ متر درج نشده است. مناسب‌تر این است که این تغییرات را با نموداری مشخص کنیم که به کمک آن بتوان هر مقدار را که در محدوده نمودار است به دست آورد. برای این منظور، دو محور عمود بر هم روی کاغذ میلیمتری مطابق شکل ۱-۲ رسم می‌کنیم. عمق آب را روی محور افقی و فشار را روی محور عمود بر آن نمایش می‌دهیم. مثلاً هر سانتیمتر را روی محور افقی برای نمایش یک متر عمق آب و هر سانتیمتر را روی محور عمودی برای نمایش فشار یک کیلوگرم نیرو بر سانتیمتر مربع انتخاب می‌کنیم. روی صفحه دو محور، فشار نظیر هر عمق را با یک نقطه مشخص می‌کنیم. بدین

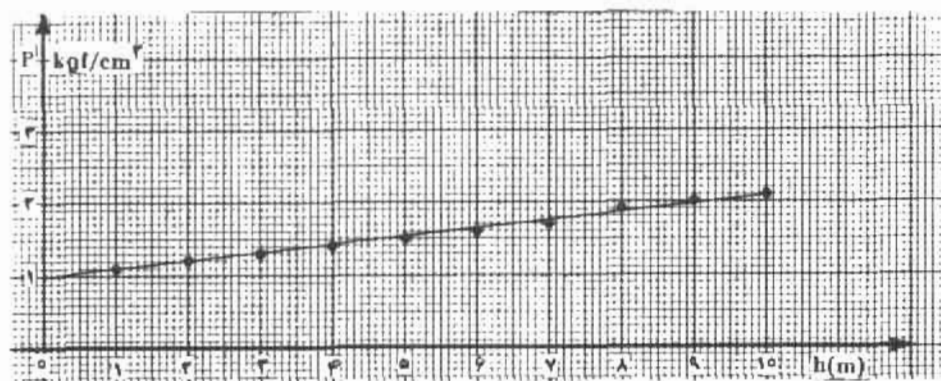
پرش ۱-۳ - اگر وزن یک متر مکعب نفت ۸۰۰ کیلوگرم نیرو باشد به فرض درست بودن معادله (۱-۱) فشار برته مخزنی که در آن تا ارتفاع ۲ متر نفوذ موجود است بر حسب کیلوگرم نیرو بر سانتیمتر مربع چه اندازه است؟

تنها راه آزمون درستی این معادله آن است که فشار را در عمقهای مختلف اندازه بگیرند و با آنچه از محاسبه به دست می‌آید مقایسه کنند. دانشمند یک فشارسنج و یک توارمتر و لوازم غواصی و همچنین وسیله‌هایی که بتواند با آنها در زیر آب یادداشتهایی بردارد تهیه می‌کند. او یک سر نواری متر خود را به جسمی که در سطح آب شناور است می‌بندد و در آب فرو می‌رود و هر یک متر که پایین می‌رود فشار را روی فشارسنج می‌خواند و در جدولی که از پیش تهیه کرده است یادداشت می‌کند (جدول ۱-۱).

جدول ۱-۱ - نمایش فشار در عمق آب دریا

عمق آب (متر) فشار (کیلوگرم نیرو بر سانتیمتر مربع)

۰	۱
۱	1/1
۲	1/2
۳	1/3
۴	1/4
۵	1/5
۶	1/6
۷	1/7
۸	1/8
۹	۲
۱۰	۲/1



شکل ۱-۳- نمودار تغییرات فشار آب دریا بر حسب عمق (مربوط به جدول ۱-۱).

مثلا در شکل ۱-۳، نمودار در نقطه‌ای محور نمایش فشار را قطع کرده است. این نقطه معرف فشار در سطح آب دریا (یعنی جایی که عمق آب صفر است) می‌باشد و همان است که در معادله (۱-۱) به P_0 نمایش داده شده و در حدود یک کیلوگرم نیرو بر سانتیمتر مربع است. شیب این نمودار عبارت است از نسبت میزان افزایش فشار به افزایش عمق. برای این که معنی شیب را بهتر درک کنید و به چگونگی تعیین آن پی ببرید به شکل ۱-۳ مراجعه کنید.

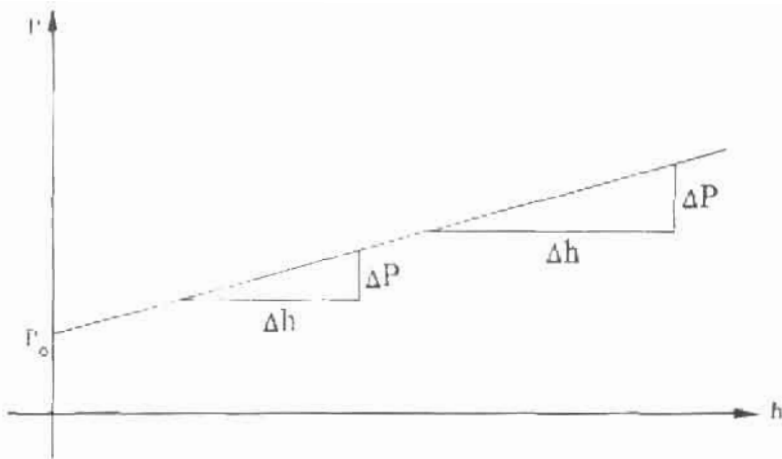
در این شکل دو مثلث روی نمودار رسم شده است که به آسانی می‌توانید نظیر آنها را رسم کنید؛ از یک نقطه روی نمودار، خط افقی به طول دلخواه بکشید و از انتهای آن خطی دیگر عمود بر آن رسم کنید تا نمودار را قطع کند. بدین ترتیب مثلث قائم‌الزاویه‌ای درست می‌شود. چون همه مثلثهایی که بدین گونه رسم می‌شوند متشابهند نسبت دو ضلع آنها همواره ثابت است و بستگی به طولشان ندارد. ضلع افقی این مثلث نمایش افزایش عمق به میزان دلخواه است و ما آن را به Δh نمایش می‌دهیم. Δ (حرف یونانی دلتا) در اینجا معرف تغییر مقدار h (عمق آب) است.

ترتیب تعدادی نقطه به دست می‌آید که روی یک خط راست قرار دارند.

کافی است خط کشی را در امتداد این نقطه‌ها بگذاریم و آنها را با یک خط راست به هم وصل کنیم. خطی که به دست می‌آید نمودار تغییرات فشار درون آب دریا تا عمق ده متر است. نقطه‌هایی هم پیدا می‌شوند که درست روی خط نیستند ولی خیلی نزدیک به آن هستند. علت انحراف جزئی این نقاط خطایی است که هنگام اندازه‌گیری فشار در خواندن درجه‌های اسبابه‌ای اندازه‌گیری حاصل شده است.

پرسش ۱-۴- چگونه می‌توانید به کمک این نمودار فشار را در عمقهای ۷/۵ متری و ۱۵ متری سطح آب دریا تعیین کنید؟

ضمن مطالعه کتاب، شما نمودارهای چندی را خواهید دید. هنگامی که نموداری را می‌بینید با دقت به آن توجه کنید تا بفهمید که نمودار تغییرات چه کمیت‌هایی را نشان می‌دهد. نمودارهایی که به صورت خط راست هستند به آسانی تعبیر می‌شوند. هر نمودار راست خط، بادو چیز مشخص می‌شود یکی محل‌های برخورد نمودار با محورها و دیگری شیب نمودار.



شکل ۳-۱- طرز تعیین شیب نمودار تغییرات فشار آب در تابع عمق آب

بنابر این Δh یعنی اندازه تغییر h ، ضلع عمودی ΔP نمایش تغییر فشار وابسته به تغییر عمق Δh است. چون نمودار به شکل خط راست است نسبت $\frac{\Delta P}{\Delta h}$ همواره ثابت است و شیب نمودار نامیده می شود. این نسبت نشان می دهد که مثلاً به ازای هر یک متر عمق که در آب فرو می رویم چه اندازه فشار افزایش می یابد.

برسش ۱-۵ - مقدار عددی شیب نمودار شکل ۱-۲ چه اندازه است؟

چگونه نتیجه گیری می کنیم؟

اکنون کار دانشمند ما این است که بررسی کند آیا نتایج آزمایشهای او با فرضیه اش تطبیق می کند یا نه؟ به خاطر بیاورید که او در باره مسئله فشار درون آب دریا فکر کرد و فرضیه ای پایه گذاری نمود که بر آن پایه، فشار درون آب با معادله

یک شخص معمولی ممکن است به همین اکتفا کند و رابطه را اثبات شده بگیرد و آن را به عنوان قانون تغییر فشار درون مایعات بر حسب عمق، قطعی و مسلم بداند اما دانشمند به این اکتفا نمی کند و تمام جوانب کار را در نظر می گیرد: آزمایش با آب شور دریا آن هم فقط تا عمق ده متری انجام گرفته است. اگر اختلاف قابل ملاحظه ای بین مقادیر اندازه گیری شده و مقادیر حساب شده پیدا کرده بود نتیجه می گرفت که فرضیه اش نادرست است و باید فرضیه دیگری جانشین آن سازد. ولی حالا چنین نیست. در دامنه محدودی بین آزمایش و فرضیه توافق حاصل است اما این آزمایشها برای رسیدن به نتیجه نهایی کافی نیست زیرا هنوز درستی فرضیه خود را درباره مایعات دیگر یا عمقهای زیاد آزمایش نکرده است. علاوه بر این

دقت اسبابهای اندازه گیری او به آن اندازه نبوده است که اگر اختلافهای کوچکی بین اندازه گیری و فرضیه وجود داشته باشد مشخص نماید. تنها چیزی که می تواند بگوید این است که: « تا اینجا چیزی مخالف فرضیه دیده نشده است.»

یکی از ناسامانههای تحقیقات علمی این است که تنها يك آزمایش ممکن است فرضیه ای را باطل کند در صورتی که برای اثبات يك فرضیه اغلب تحقیقات بی شماری لازم است.

تعمیم آزمایش (گسترش مدل)

دانستند ما اکنون کار خود را شروع کرده است. او قالب (مدل) کار خود را می شناسد اما نمی داند تا چه اندازه به هدف نزدیک یا از آن دور است. او می خواهد آزمایش را با دقت بیشتر و در دامنه وسیع تری تکرار کند زیرا آزمایشهای اولیه خود را با وسایلی شروع کرد که دقت لازم را نداشتند. او احتیاج به ساختن حصاری دارد تا قسمتی از سطح دریا را از امواج محفوظ نگه دارد و به اسبابهای عمق سنج و فشارسنج خیلی دقیق و گران قیمت و وسایل نواسی مطمئن نیاز دارد. علاوه بر این احساس می کند که به تنهایی نمی تواند این آزمایش را انجام دهد و به دو همکار نیازمند است. برای تهیه این لوازم باید مخارج زیادی را متحمل شود که از عهده او خارج است. خوشبختانه نیروی دریایی به این موضوع علاقه مند است. او طرح خود را با مقامات مسئول نیروی دریایی در میان می گذارد و موافقت آنان را در پرداخت مخارج و تهیه وسایل جلب می کند.

فرض کنیم که دانشمند ما می تواند با اسبابهای جدید خود فشار را تا $\frac{1}{100}$ کیلوگرم نیرو بر سانتیمتر مربع اندازه بگیرد یا به عبارت دیگر دقت او در اندازه گیری فشار $\frac{1}{100}$ است. چون فشار تابع عمق آب است باید دقت اندازه گیری عمق نیز با دقت اندازه گیری فشار برابر باشد. یعنی عمق را نیز با دقت $\frac{1}{100}$ اندازه بگیرد. او وزن حجمی آب و فشار اتمسفر را نیز با دقت يك صدم اندازه می گیرد و این دو مقدار را در معادله (۱-۱) به کار می برد و فشار را در فاصله های ۵ متر حساب می کند. سپس جدول ۱-۲ را تنظیم می نماید تا مقادیر حساب شده را با آنچه اندازه گرفته است مقایسه کند. عددهای ستون دوم این جدول فشارهایی است که بر پایه دونابت $P_0 = 1.013$ کیلوگرم نیرو بر سانتیمتر مربع و $D = 1023.785$ کیلوگرم بر متر مکعب حساب شده اند و در ستون سوم فشارهای اندازه گرفته شده درج گردیده است.

آیا مقادیر اندازه گرفته شده و حساب شده باهم مطابقت دارند؟ تا عمق ۱۵ متری مسئله ای نیست. اختلاف بین این دو مقدار خیلی کم و در حدود دقت اسباب اندازه گیری است و می توان از این اختلاف چشم پوشی کرد. در عمق ۲۵ متر این اختلاف 0.709 کیلوگرم نیرو بر سانتیمتر مربع است و از عمق ۲۵ متر به بالا اختلاف رفته رفته زیادتر می شود و دیگر فشارهای اندازه گرفته شده با فشارهای حساب شده تطبیق نمی کنند. یعنی رابطه $P = P_0 + Dh$ برای تعبیر فشار در عمقهای بیشتر از ۲۵ متر کافی نیست.

پرسش ۱-۶. آیا معنی آن این است که رابطه نادرست است و نمی تواند نمایشگر يك قانون طبیعی باشد؟

دانستند ما از این که می بیند فرضیه اش فقط تا حد معینی از دقت، قابل قبول است متعجب می شود

جدول ۱-۲- مقایسه بین فشارهای اندازه گرفته شده و حساب شده در عمقهای مختلف آب دریا

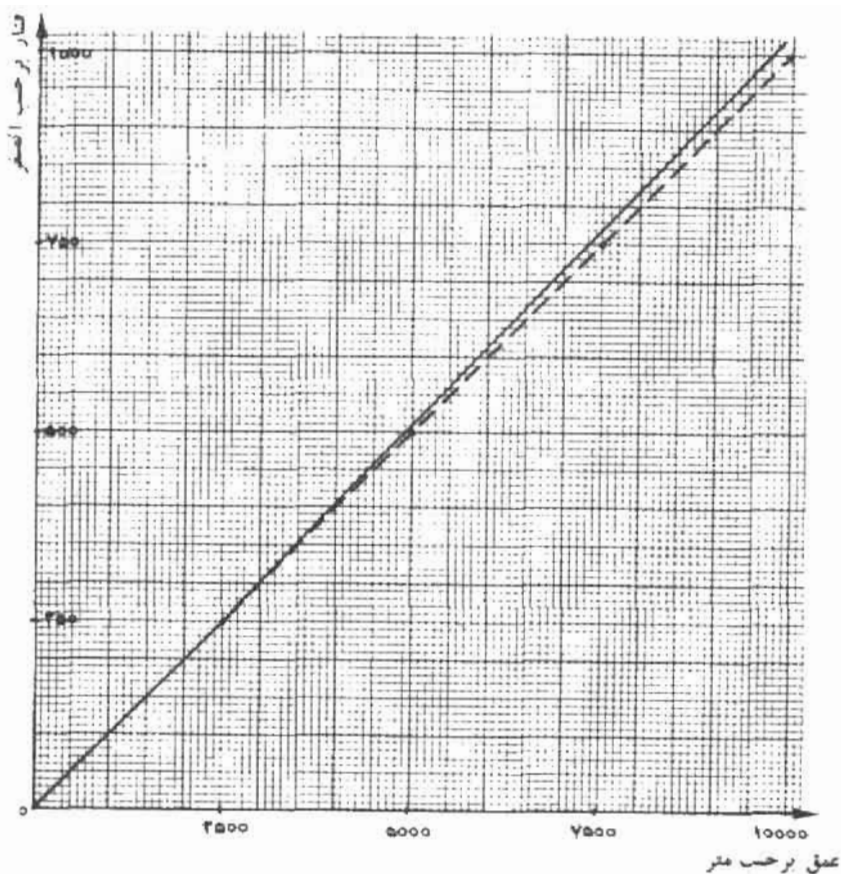
عمق (متر)	فشار حساب شده (کیلوگرم بر سانتیمتر مربع)	فشار اندازه گرفته شده (کیلوگرم بر سانتیمتر مربع)
سطح آب	-	۱/۵۳
۵/۰۰	۱/۵۷	۱/۵۶
۱۰/۰۰	۲/۱۰	۲/۱۲
۱۵/۰۰	۲/۶۴	۲/۶۹
۲۰/۰۰	۳/۱۸	۳/۲۷
۲۵/۰۰	۳/۷۱	۳/۸۵
۳۰/۰۰	۴/۲۵	۴/۴۶
۳۵/۰۰	۴/۷۹	۵/۰۷
۴۰/۰۰	۵/۳۳	۵/۶۸
۴۵/۰۰	۵/۸۶	۶/۳۱
۵۰/۰۰	۶/۴۰	۶/۹۵

و می‌اندیشد که چه عواملی را در نظر نگرفته است. این اختلاف را به وجود آورده باشد! بدون شك این موضوع مسئله تازه‌ای را پیش می‌آورد که خود جداگانه باید مورد بررسی و تحقیق قرار گیرد. اوسمن تحقیقاتی که درباره وزن حجمی آب دریا در محل آزمایش به عمل می‌آورد نتیجه می‌گیرد که تغییرات آن در اثر تغییر دما و مقدار نمک محتوی آب، کمتر از يك در هزار است. بنابراین باید عامل دیگری غیر از تغییر دما و غلظت نمک موجود در آب دریا سبب این اختلاف شده باشد!

و می‌اندیشد که چه عواملی را در نظر نگرفته است. اگر هنگام بررسی يك فرضیه یا يك قانون، وقتی که دقت اندازه‌گیری افزایش می‌یابد، چنین وضعی پیش آید معمولاً بدین معنی است که عواملی وجود دارد که آزمایش‌کننده آنها را به حساب نیاورده است. در اینجا هم دانشمند با تردید ذهنش متوجه می‌شود که: ممکن است این اختلاف به علت افزایش ناگهانی جرم حجمی آب دریا از عمق ۲۵ متر به پایین باشد، یا شاید، يك جریان آب سرد در این عمق یا لایه‌ای از آب نمک که غلظت نمک در آن بیشتر است

۱- فشار در عمقهای زیاد

در شکل ۱-۴، نمودار حقیقی فشار آب در اعماق اقیانوسها تا عمق ده هزار متر، به صورت «خط توپر» و نمودار معادله (۱-۱) به صورت «خط چین» نمایش داده شده است. اختلاف بین این دو خط کوچک است و



شکل ۴-۱

ظاهر نمی‌شود مگر آنکه عمق خیلی زیاد باشد. اکنون مسلم شده است که نمودار فشار در عمقهای زیاد به صورت خط راست نیست. به عبارت دیگر تغییرات فشار در عمقهای زیاد به صورت تابعی که نمودار آن خط راست باشد نیست و معادله $P = P_0 + Dh$ فقط تا عمقهای کم مورد قبول است. یعنی تا جایی که انحراف از خط راست آن قدر کوچک است که قابل تشخیص نیست.

دانشمندیان مشاهده کرده اند که چرا در عمقهای زیاد، فشار از آنچه پیش بینی کرده بود زیادتر است؛ از نتایجی که مشاهده کرده است استنباط می‌کند که وزن حجمی آب به تدریج که عمق زیاد می‌شود به طور یکنواخت به میزان خیلی کم افزایش می‌یابد. آیا این افزایش به علت جمع شدن نمک در اعماق دریا است؟ آیا به علت کاهش تدریجی دمای آب است؟ این فرضیه‌ها هر دو مورد آزمون قرار می‌گیرند ولی هیچ کدام نمی‌توانند جوابگوی تغییرات دائمی و یکنواختی که در وزن حجمی آب دریا با عمق مشاهده شده است باشد. ذهن او متوجه این نکته می‌شود که ممکن است در اعماق اقیانوس، آب به علت فشار زیاد متراکم شده و حجم کمتری را اشغال کند و به این علت وزن حجمی آن افزایش یابد. چون تغییرات منظم و تدریجی وزن حجمی آب دریا این نظر را تأیید می‌کند باید معادله تازه‌ای نوشته شود تا این تغییرات را نشان دهد. صورت اصلی چنین معادله‌ای

وجود می‌آورد به طوری که هیچ‌گاه نمی‌توان کنار تحقیق و پیشرفت را در هیچ یک از شاخه‌های علوم خاتمه یافته تلقی کرد.

اغلب فرضیه‌های علمی منجر به اندازه‌گیری‌های دقیقی می‌شود که این اندازه‌گیری‌ها گاهی اندیشه تازه‌ای را برمی‌انگیزد و گاهی هم لزوم تمویض یا دور ریختن فرضیه‌های موجود را آشکار می‌سازد.

آنچه در اینجا بیان شد منحصر به علم فیزیک نیست بلکه از مشخصات همه علوم است ولی بحث ما در این کتاب درباره اندیشه‌ها و پدیده‌هایی است که دانش فیزیک را تشکیل می‌دهند. هدف این کتاب آن

منطوق از بیان مدل فشار درون آب دریا در این مقدمه آن نیست که حسیات فشار درون مایع و راههای تمییز آن را به شما بیاموزیم بلکه می‌خواهیم در اینجا بشری کوتاه‌مدت رفتار علمی دانشمندان بیداریم توسعه و پیشرفت علم، نتیجه‌ی تلاش بسیاری از دانشمندان در سرزمینهای مختلف جهان است که به تنهایی یا دو به دو یا به صورت دسته‌های کوچک و بزرگ به تحقیق پرداخته‌اند. معمولاً دانشمندان در هر زمینه برای کار خود را بر پایه آنچه قبلاً بنا شده است می‌سازند و کارهای دانشمندان گذشته را تعمیم و تکمیل می‌کنند. با این حال هر پیشرفتی در علم، مسائل نوری را به



از سطح این کتاب خارج است. در اینجا صورت دیگری از آن را بر طبق قواعد ریاضی مسلم داده شده است برای شما می‌نویسیم:

$$(۲-۱) \quad P = P_0 + D_0 h + \frac{(D_0 h)^2}{2B} + \frac{(D_0 h)^3}{3B^2} + \dots$$

D_0 وزن حجمی آب در سطح دریا و B مقداری ثابت است که چگونگی تغییر وزن حجمی آب را با افزایش فشار بیان می‌کند و در حدود $2/25 \times 10^4$ کیلوگرم نیرو بر سانتیمتر مربع است. چون B در مخرج کسر جمله $\frac{(D_0 h)^2}{2B}$ است این جمله معمولاً کوچک می‌ماند مگر آن که صورت آن بزرگ باشد. به عادت دیگر در صورتی که عمق h کوچک باشد این جمله بی‌معنی است. جمله $\frac{(D_0 h)^3}{3B^2}$ خیلی کوچک است مگر آن که عمق خیلی زیاد باشد. جمله‌های بعدی باز هم کوچکترند...

بنابراین رابطه $P = P_0 + Dh$ از نظر فیزیکی رابطه‌ای است عملی که می‌توان به وسیله آن فشار درون مایع را تا عمق محدودی با دقت متوسط حساب کرد. رابطه جدید ما در صورتی به این رابطه تبدیل می‌شود که اثر افزایش وزن حجمی را با افزایش فشار در نظر نگیریم. از نظر ریاضی بدین معنی است که بگوییم آب تراکم ناپذیر است یا اینکه بگوییم وزن حجمی آب ثابت و B بی‌نهایت بزرگ است و تمام جمله‌هایی که B در مخرج آنهاست صفرند.

ولی اگر احتیاج به برآورد دقیق‌تری از فشار مخصوصاً در عمقهای زیاد داشته باشیم جمله تصحیحی سوم را نیز در محاسبه وارد می‌کنیم. از نظر نمودار، این همان اختلافی است که بین دو خط توپر و نقطه‌چین در شکل ۳-۱ مشاهده می‌شود. جمله چهارم و جمله‌های بعدی به قدری کوچک هستند که در مایعات کمتر بکار می‌روند.

است که شما را با تعدادی از این اندیشه‌ها و دیدگاه‌ها آشنا نماید و شما را در شادی و لذتی که از کاربرد آنها نصیب مردم می‌شود شریک سازد.

به این پرسشها پاسخ دهید

- ۱) چه عاملهایی در فشار درون مایعات می‌توانند مؤثر باشند؟
- ۲) اگر وزن مخصوص آب خالص را ۱۰۰۰ کیلوگرم نیرو بر متر مکعب بگیریید چه تفاوتی میان فشار در عمق ده متر آب خالص و عمق ده متری آب دریا وجود دارد؟ فشار را در سطح آب یک کیلوگرم نیرو بر سانتیمتر مربع بگیریید.
- ۳) دربارهٔ کدام یک از پیشگوییهای زیر کاملاً مطمئن هستید و دربارهٔ کدام شک دارید؟
آسمان زمین همهٔ سردرها را بر طرف می‌کند؛ فردا آسمان آیری خواهد بود؛ گرما همهٔ اجسام جامد را منبسط می‌کند؛ بیشتر اجسام دوازده گرما منبسط می‌شوند.
- ۴) در کتاب «سیر تکاملی علم فیزیک» تألیف آلبرت اینشتین و لئوپولد اینفلد، مؤلفان اظهار داشته‌اند: «نابجی که مستقیماً و بدون درنگ از مشاهدات گرفته می‌شود هیچ‌گاه قابل اعتماد نیستند.» دربارهٔ این موضوع با ذکر مثال چند جمله بنویسید.

پاسخ به پرسشهای متن

- ۱-۱) چون وزن هر متر مکعب آب دریا در حدود ۱۰۷۰ کیلوگرم نیروست وزن ۵ متر مکعب آب دریا در حدود 5×1070 یا ۵۳۵۰ کیلوگرم نیروست.
- ۱-۲) فشار وارد از طرف آب در عمق ۱۰ متری سطح دریا تقریباً برابر $10 \times 1070 = 10700$ کیلوگرم نیرو بر متر مربع یا ۱۰۷۰۰ کیلوگرم نیرو بر سانتیمتر مربع است. فشار کل تقریباً برابر است با:
$$P = 1 + 1070 = 1071$$
- ۱-۳) فشار وارد از طرف نفت برابر است با: $2 \times 800 = 1600$ کیلوگرم نیرو بر متر مربع یا ۱۶۰۰ کیلوگرم نیرو بر سانتیمتر مربع و اگر فشار هوا را در سطح نفت ۱ کیلوگرم نیرو بر سانتیمتر مربع

بگیریم فشار کل برابر است با: $P = 1 + 0,16 = 1,16$ کیلوگرم نیرو بر سانتیمتر مربع.

۴-۱) ابتدا نموداری مانند شکل ۲-۱ کتاب روی کاغذ میلیمتری به دقت رسم کنید. سپس روی محور افقی از نقطه‌ای که معرف عمق $۷,۵$ متر است خطی برای محور عمود کنید تا نمودار را قطع کند. از این محل نقاط خط دیگری بر محور نمایش فشارها عمود کنید و در محل برخورد این خط با محور، فشار را به دقت بخوانید. اگر محورها و نمودار را امتداد دهید همین کار را می‌توانید برای عمق ۱۵ متری انجام دهید.

۵-۱) چون به ازای هر یک متر عمق تقریباً $0,1$ کیلوگرم نیرو به فشار اضافه می‌شود شیب نمودار

$$\text{شکل ۲-۱ تقریباً برابر است با } \frac{\Delta P}{\Delta h} = \frac{0,1}{1} = 0,1 \frac{\text{kgf/cm}^2}{\text{m}}$$

۶-۱) نه، اگر حدود کاربرد این معادله را بدانیم برای تعیین فشار در آن حدود معادله خوبی است.

بازندگی روزانه ما آمیخته است که به آن خو گرفته ایم. دانشی فیزیکی نیز از اندازه گیری مایه گرفته است. می توان با اطمینان گفت که اگر ما نتوانیم شیشی را اندازه بگیریم در باره آن چیزی معنی دانی نمی دانیم.

چگونه اندازه می گیریم ؟

وقتی می خواهیم کمیتی را اندازه بگیریم باید دو عمل جدا گانه را انجام دهیم: نخست انتخاب واحد اندازه گیری (یا استاندارد) مناسب، دوم مقایسه کمیت اندازه گرفتنی با واحد انتخاب شده. مثلاً وقتی که می گوئیم طول کلاس درس ۱۰ متر است به این معنی است که آن را با واحدی به نام متر سنجیده ایم.

انتخاب واحد اندازه گیری مناسب خیلی مهم است زیرا نه تنها در علوم بلکه در صنعت هم بدون داشتن استانداردهای خوب اندازه گیری دقیق ممکن نیست. بنابراین در هر یک از کشورهای پیشرفته جهان اداره ای به نام اداره استانداردها زیر نظر دولت وجود دارد که کارش تهیه استاندارد و نظارت بر واحدهایی است که در تجارت و کسب و صنعت و اندازه گیریهای علمی به کار می روند. در کشور ما مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران عهده دار نظارت بر اجرای صحیح استانداردها در کشور است.

اندازه گیری و اهمیت آن

برای این که پدیده های دوروبر خود را بهتر بشناسیم باید اطلاع درستی از آنها داشته باشیم. بخشی از این اطلاع از راه اندازه گیری به دست می آید. اندازه گیری در فعالیتهای روزانه ما نیز سهم بزرگی دارد.

وقتی که ظرفیت يك کامیون را بر حسب تن می سنجیم یا برنج را بر حسب کیلو گرم و الماس را بر حسب قیراط می خریم با اندازه گیری وزن مواجه هستیم. هنگامی که طول قامت خود را تعیین می کنیم یا چند متر پارچه می خریم یا معین می کنیم که به وسیله اتومبیل چند کیلومتر راه پیموده ایم طول را اندازه گرفته ایم. همچنین موقعی که از سن خود گفتگویی کنیم، یا قرارداعات می گذاریم یا تعداد ساعتهایی را که کار کرده ایم یادداشت می نماییم زمان را اندازه گرفته ایم.

به مردم و شنلهاشان توجه کنید: پزشك دمای بدن، نبض و فشارخون مریضهای خود را اندازه می گیرد. دهقان مقدار شیری را که از پستان گاو خود می دوشد اندازه می گیرد. خانه دار اجزای آنچه را که برای پختن يك غذا احتیاج دارد اندازه می گیرد. دانشمند و محقق از بی نهایت بزرگ مانند ابعاد جهان تا بی نهایت کوچک مانند قطر اتم را اندازه می گیرد. اندازه گیری آن قدر

انتخاب استانداردهای بین‌المللی

اندازه‌گیری

در جهان امروز بین بیشتر کشورهای ارتباط بازرگانی و فرهنگی خیلی نزدیک برقرار است و مردم برای داد و ستد کالاها یا تبادل نظرهای علمی و صنعتی احتیاج به استانداردهای یکسانی دارند. براساس همین احتیاج و برای هماهنگ کردن واحدها، کنفرانس بین‌المللی اوزان و مقادیر در سال ۱۳۳۹ شمسی (۱۹۶۰ میلادی) سفارش کرد که همه کشورهای دستگاہ واحدهای بین‌المللی را که با علامت اختصاری «SI»^۱ نشان داده می‌شود در اندازه‌گیریهای علمی و صنعتی و تجارتنی به کار برند. واحدهای دستگاہ بین‌المللی از واحدهای دستگاہی به نام دستگاہ «MKS» که آن را دستگاہ متریک^۲ نیز می‌گویند گرفته شده است. در این دستگاہ واحد طول، متر (m) و واحد جرم، کیلوگرم (kg) و واحد زمان، ثانیه (s) و MKS نمایش حرفهای اول کلمه‌های متر، کیلوگرم، ثانیه است.

پیشوندهای واحدها در دستگاہ SI

یکی از ویژگیهای دستگاہ SI این است که تقسیمات واحدهای آن دهمی (اعشاری) است. یعنی هر واحدی با واحدهای بزرگتر یا کوچکتر از خودش با ضربی از ۱۰ یا از $\frac{1}{10}$ ارتباط دارد و هر یک از

این مضربها دارای نام و بزه‌ای است که به صورت پیشوند جلونام واحدها اضافه می‌شود. در جدول ۱-۲ تعدادی از این پیشوندها داده شده است.

جدول ۱-۲

نام پیشوند	معنی پیشوند	علامت اختصاری
میکرو	یک میلیونیم	μ
میلی	یک هزارم	m
سانتی	یک صدم	c
دسی	یک دهم	d
دکا	ده	da
هکتو	صد	h
کیلو	هزار	k
مگا	میلیون	M

مثلاً سانتیمتر یعنی یک‌صدم متر، میلیگرم یعنی

یک هزارم گرم، میکرو ثانیه یعنی یک میلیونیم ثانیه،

کیلوگرم یعنی هزارگرم، هکتولتر یعنی صدلیتر، ...

واحدهای اصلی و فرعی

واحدهای دستگاہ SI به دو دسته اصلی و فرعی

تقسیم شده‌اند. واحدهای کمبتهای طول و جرم و زمان

۱- Système internationale (به زبان فرانسوی)

۲- Système metrique (به زبان فرانسوی)

واحدهای اصلی نامیده می‌شوند زیرا هر يك از آنها به طور مستقل انتخاب شده است و بستگی به واحدهای دیگر ندارد. ولی واحدهای کمیتهای دیگر مستقل نبوده و بستگی به واحدهای اصلی دارند. به همین جهت آنها را واحدهای فرعی می‌نامند. مثلاً واحد سرعت

يك واحد فرعی است زیرا برای اندازه گیری سرعت متوسط يك دوچرخه سوار باید زمانی را که حرکت کرده است و مسافتی را که در این زمان پیموده است اندازه گرفت و مسافت را بر زمان تقسیم کرد.

طول و اندازه گیری آن

کوچکی از آن کافی است؟

فاصله بین این دو خط موقعی که میله در دمای صفر درجه سلسیوس نگاه داشته شده باشد به نام «متر» اعلام گردید. شرط نگاه داشتن میله در دمای صفر درجه لازم بود زیرا فلز در اثر افزایش یا کاهش دما منبسط یا منقبض می‌شود، بنابراین فاصله دو خط روی میله پلاتین- ایریدیم وقتی که دما صفر درجه سلسیوس باشد درست يك متر است.

برای حفظ این نمونه اصلی، آن را در موزه اوزان و مقادیر بین‌المللی واقع در شهر سِور^۳ در کشور فرانسه نگاهداری کردند و از روی آن نمونه های دیگری ساختند و هر نمونه را به کشوری که درخواست کرده بود فرستادند.

هر متر به ۱۰۰۰ سانتیمتر (cm) یا ۱۰۰۰ میلیمتر (mm) تقسیم می‌شود. برای تعیین فاصله های بزرگ مانند فاصله شهرها کیلومتر (km) را به کار می‌بریم که برابر ۱۰۰۰ متر است. طول سنجهایی را که ما روزانه به کار می‌بریم به صورت متر یا نیم متر فلزی

انتخاب واحد اندازه گیری طول

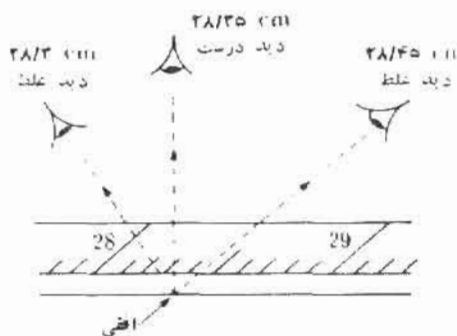
واحد اندازه گیری طول متر است. برای این که طرز انتخاب و تعریف واحد اندازه گیری در نظراتان مجسم شود به داستان پیدایش متر توجه کنید. در سال ۱۷۹۱ میلادی يك هیئت علمی فرانسوی، که دستگاه متریک را ابداع کرد، تصمیم گرفت واحد طول را برابر يك ده میلیونم فاصله بین استوا و قطب زمین در روی نصف النهاری که از شهر پاریس می‌گذرد انتخاب کند. در آن زمان ربع طول نصف النهار زمین با دقت اندازه گیری يك ده میلیونم آن روی میله ای که از آلباز پلاتین و ایریدیم^۱ ساخته شده بود با فاصله بین دو خط موازی نشان داده شد.

پرسش ۱-۲- به نظر شما برای تعیین طول ربع نصف النهار زمین، یعنی فاصله استوا تا قطب، باید تمام طول را اندازه گرفت یا اندازه گیری قسمت

۱- Platinium - Iridium

۲- Sèvres

یا چوبی یا نوادهای فلزی یا پارچه‌ای است که به سانتیمتر و میلی‌متر مدرج شده‌اند.



شکل ۱-۳- طرز خواندن درست درجه

چگونه طول را اندازه می‌گیریم؟
برای اندازه‌گیری طول يك شیء کافی است که طول‌سنج را در کنار طولی که می‌خواهیم اندازه بگیریم، بگذاریم و تعداد درجه‌هایی از طول‌سنج را که بر طول شیء منطبق است بخوانیم.

چون خط‌کشی‌های مدرج‌چوبی معمولاً لبه کلفتی دارند وقتی که آنها را برای اندازه‌گیری طول به کار می‌بریم باید چشم خود را درست مقابل درجه‌ای که می‌خواهیم بخوانیم بگیریم تا در خواندن درجه اشتباه نکنیم (شکل ۱-۲).

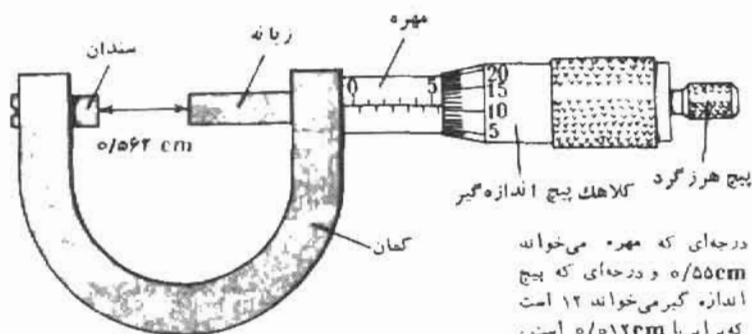
از آنها باید اسباب و روش ویژه‌ای به کار بریم.

پرسش ۳-۳- آیا می‌توانید فاصلهٔ ماه تا زمین

چگونه اندازه گرفته می‌شود؟

ضخامت ورقهٔ کاغذ یا قطر سیم نازک و مانند اینها را با اسبابی به نام ریزسنج (میکرومتر) اندازه می‌گیرند. این اسباب از ترکیب يك پیچ و يك مهرهٔ مدرج مطابق با شکل ۳-۲ ساخته شده است. فاصلهٔ بین هر دو درجهٔ متوالی روی مهره نیم میلی‌متر است. دور لبهٔ کلاهک پیچ به پنجاه درجه تقسیم شده و پای پیچ نیز نیم میلی‌متر است یعنی اگر پیچ يك دور بپیچد دهانهٔ ریزسنج نیم میلی‌متر باری می‌شود. بنابراین وقتی پیچ به

بدیهی است طول‌هایی را که از طول خود خط‌کش مدرج خیلی بزرگتر یا از کوچکترین درجهٔ روی آن کوچکتر باشند نمی‌توانیم با آن اندازه بگیریم. مثلاً ما نمی‌توانیم طول نصف‌النهار زمین یا فاصلهٔ ماه تا زمین یا ضخامت يك ورقهٔ کاغذ را با يك خط‌کش مدرج اندازه بگیریم بلکه برای اندازه‌گیری هر يك



درجه‌ای که مهره می‌خواند 0.55cm و درجه‌ای که پیچ اندازه‌گیری می‌خواند 12 که برابر با 0.012cm است.
پس جمع کل 0.562cm است.

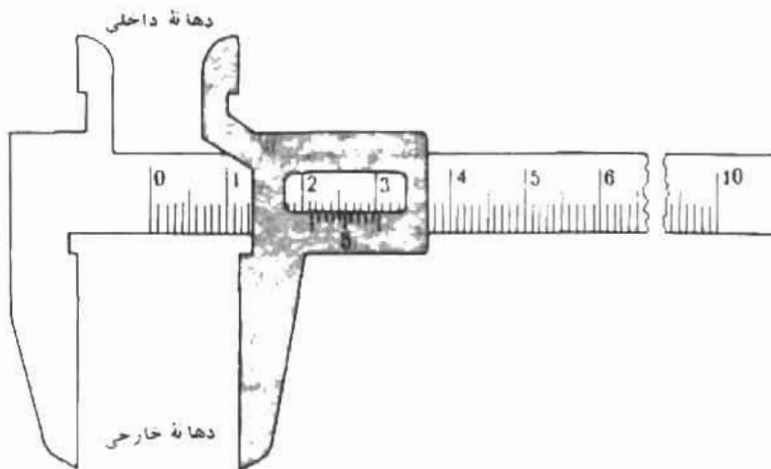
اندازه يك درجه ببيچد دهانه ريز سنج به اندازه يك پنجاهم از نيم ميليمتر يعنى به اندازه يك صدم ميليمتر يارمى شود. در نتيجه مى توان طولهاى تا $\frac{1}{100}$ ميليمتر را يا ريز سنج اندازه گرفت.

پوش ۳-۲. قطر ذره هاى خيلى كوچك مانند ذره هاى گرد و غبار معلق در هوا يا قطر گلبولهاى خون را با چه اسبابى اندازه مى گيرند؟

قطر يك گلوله يا قطر داخلى و قطر خارجى يك لوله را كه نمى توان با دقت و به آساى با يك خط كش مدرج اندازه گرفت با «كوليس» اندازه مى گيرند. كوليس از تركيب يك خط كش مدرج فولادى و يك «ورنيه» متحرك درست شده است (شكل ۳-۲). كلمه «ورنيه» از نام مخترع آن پي پرورنه^۱ فرانسوى گرفته شده است. خط كش فولادى بر حسب ميليمتر مدرج و يك سر آن به گيره اى متصل است. روى ورنيه درجه بندى كوچكى است كه شامل ۱۰ قسمت بوده

و معادل ۹ ميليمتر است. يعنى ۹ ميليمتر در روى ورنيه به ۱۰ قسمت مساوى تقسيم شده است. بنا بر اين هر درجه ورنيه به اندازه $\frac{1}{10}$ ميليمتر از هر درجه روى خط كش كوچكتر است. در موقع اندازه گيرى با كوليس، جسم اندازه گرفتنى را ميان گيره ثابت و گيره متحرك ورنيه قرار مى دهيم به طورى كه دو گيره با بدنه جسم تماس داشته باشند. سپس به كمك ورنيه و خط كش اندازه طول جسم را معين مى كنيم.

شكل (۲-۴) يك خط كش مدرج و يك ورنيه را نشان مى دهد كه عدد $\frac{53}{4}$ ميليمتر روى آن خوانده مى شود. كسر ميليمتر كه در شكل به x نمايش داده شده در اينجا (۴/۵) است و بدين طريق معين مى شود كه مى بينيم چهارمين خط ورنيه (نسبت به صفر آن) بريكى از خطهاى خط كش منطبق است. اگر از اين خط به طرف صفر ورنيه توجه كنيم مشاهده مى شود كه اختلاف بين هر درجه ورنيه و خط كش مرتباً



شكل ۳-۲. كوليس

سطح مستطیل شکل کافی است که طول و عرض آن را اندازه بگیریم و درهم ضرب کنیم یا برای تعیین سطح یک دایره شعاع آن را اندازه بگیریم و محذور شعاع را در عدد $\pi = 3.14$ ضرب کنیم. اگر شعاع دایره را به r نمایش دهیم مساحت دایره به صورت $A = \pi r^2$ نوشته می‌شود.

پرسش ۲-۶. اگر سطحی شکل هندسی منظمی نداشته باشد چگونه مساحت آن را تعیین می‌کنند؟ واحد اندازه گیری حجم متر مکعب (m^3) است یعنی مکعبی که طول هر ضلع آن یک متر است.

پرسش ۲-۷. یک متر مکعب چند سانتیمتر مکعب (cm^3) و چند میلیمتر مکعب (mm^3) است؟ حجم اجسامی را که شکل هندسی منظمی دارند می‌توانیم به روش هندسی حساب کنیم. مثلاً برای تعیین حجم یک استوانه کافی است که شعاع قاعده و ارتفاع آن را اندازه بگیریم و مساحت قاعده را حساب کرده در ارتفاع ضرب کنیم. اگر r نمایش شعاع قاعده و h نمایش ارتفاع استوانه باشد حجم آن چنین نوشته می‌شود:

$$V = \pi r^2 h$$

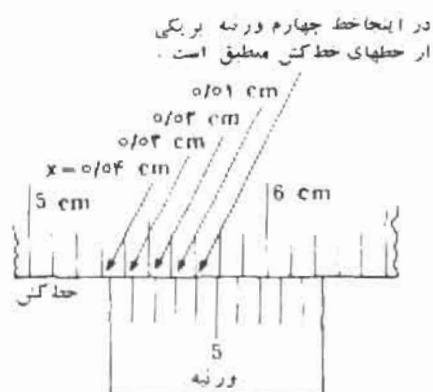
برای تعیین حجم یک کره کافی است که قطر کره را اندازه بگیریم و از دستور زیر حجم آن را حساب کنیم:

$$V = \frac{4}{3} \pi r^3$$

r شعاع کره است.

پرسش ۲-۸. اگر جسم جامدی شکل هندسی منظمی نداشته باشد حجم آن را چگونه می‌توان تعیین کرد؟

حجم مایعات را بر حسب لیتر (l) یا میلی لیتر (ml) می‌سنجند. لیتر برابر هزار سانتیمتر مکعب



شکل ۲-۴- چگونه ورنه را می‌خوانیم؟

۰/۱ میلیمتر افزایش می‌یابد تا به ۰/۴ میلیمتر برسد. یا کولیس به آسانی می‌توانیم تا $\frac{1}{10}$ میلیمتر را اندازه بگیریم.

پرسش ۲-۴. اگر در اندازه گیری با یک کولیس، صفر ورنه بین میلیترهای ۲۲ و ۲۱ خط کش و خط پنجم ورنه دست مقابل یکی از خطهای خط کش باشد کولیس چه اندازه‌ای را نشان می‌دهد؟

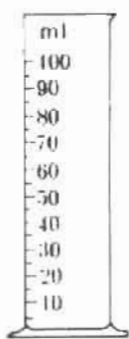
واحدهای اندازه گیری سطح و حجم

واحدهای اندازه گیری سطح و حجم مشتق از واحد طول هستند.

واحد اندازه گیری سطح متر مربع (m^2) است یعنی مربعی که طول هر ضلعش یک متر است.

پرسش ۲-۵. یک متر مربع به چند سانتیمتر مربع (cm^2) و به چند میلیمتر مربع (mm^2) تقسیم می‌شود؟

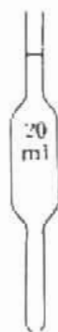
مساحت هر سطح را می‌توانیم به روش هندسی تعیین کنیم. مساحت سطحهایی را که شکل منظم دارند می‌توانیم حساب کنیم. مثلاً برای تعیین مساحت یک



اسواۃ مدرج



بالون اندازه گیری



پیپت



بورت

شکل ۲-۵- ظرفهای مدرج برای اندازه گیری حجم مایعها

هر عدد بزرگ یا کوچک را می توانیم به صورت حاصل ضرب يك عدد بين ۱ و ۱۰ ضرب در توان ۱۰ نمایش دهیم، مانند:

$$600 = 6 \times 100 = 6 \times 10^2$$

$$7940 = 7,94 \times 1000 = 7,94 \times 10^3$$

$$0,023 = 2,3 \times 0,01 = 2,3 \times 10^{-2}$$

$$380,000,000 = 3,8 \times 100,000,000 = 3,8 \times 10^8$$

عدد $380,000,000$ را می توانیم به صورت $3,8 \times 10^8$ نیز نمایش دهیم ولی معمولاً يك رقم در طرف چپ ممیز باقی می گذارند و بقیه رقمها را به صورت اعشاری بعد از ممیز نشان می دهند، یعنی $3,8 \times 10^8$. در جدول ۲-۲ پاره ای از توانهای ۱۰ عددها نمایش داده شده است.

پرش ۲-۹- شعاع مدار حرکت الکترون در اتم هیدروژن تقریباً $5,29 \times 10^{-10}$ متر و شعاع کره زمین تقریباً $6,378,000$ متر است. این عددها را به صورت توانهای ۱۰ نمایش دهید.

(يك هزارم متر مکعب) و میلی لیتر برابر يك سانتیمتر مکعب است. در آزمایشگاهها برای تعیین حجم مایعها از ظرفهای اسوانه ای مدرج، بورت، پیپت و مانند آنها استفاده می شود (شکل ۲-۵).

عددهای خیلی بزرگ و خیلی کوچک را چگونه بنویسیم؟

عددهای خیلی بزرگ مانند فاصله کهکشان از زمین (حدود $10,000,000,000,000,000,000,000$ متر) یا خیلی کوچک مانند قطر پروتون (حدود 10^{-14} متر) را به صورتی که در اینجا نوشته شده اند به شوازی می توان تصور کرد و به کاربرد. برای این که نمایش این گونه عددها و کاربردشان در محاسبه آسانتر شود آنها را به صورت توان ۱۰ نمایش می دهند. بدین سان:

$$10,000,000,000,000,000,000,000 = 10^{25}$$

$$10^{-14} = 10^{-14}$$

پاره‌ای از توانهای ۱۰ عددها

$10^{-10} = 0/000,000,0001$	$10^0 = 1$
$10^{-9} = 0/000,000,001$	$10^1 = 10$
$10^{-8} = 0/000,000,01$	$10^2 = 100$
$10^{-7} = 0/000,000,1$	$10^3 = 1,000$
$10^{-6} = 0/000,001$	$10^4 = 10,000$
$10^{-5} = 0/000,01$	$10^5 = 100,000$
$10^{-4} = 0/000,1$	$10^6 = 1,000,000$
$10^{-3} = 0/001$	$10^7 = 10,000,000$
$10^{-2} = 0/01$	$10^8 = 100,000,000$
$10^{-1} = 0/1$	$10^9 = 1,000,000,000$
	$10^{10} = 10,000,000,000$

نمایش عددها به صورت توان ۱۰ محاسبه عددی را آسان می‌کند. به مثالهای زیر توجه کنید:

مثال ۳:

$$\begin{aligned} & 4 \times 10^4 + 5 \times 10^3 + 2 \times 10^5 \\ &= 4 \times 10^4 + 0,5 \times 10^4 + 20 \times 10^4 \\ &= 24,5 \times 10^4 = 2/45 \times 10^5 \end{aligned}$$

مثال ۱:

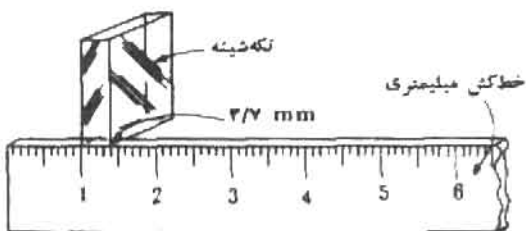
اندازه‌گیریها تقریبی هستند

در نظر بگیرید که می‌خواهید ضخامت يك قطعه شیشه را اندازه بگیرید و برای اندازه‌گیری آن ابتدا يك خط‌کش مدرج ۱ سپس يك ریزسنج به کار می‌برید. کوچکترین درجه روی خط‌کش میلیمتر است. وقتی که خط‌کش را به کار می‌برید ضخامت شیشه را کمی کوچکتر از ۴ میلیمتر می‌باید و آن‌را ۳,۷ میلیمتر تخمین می‌زنید. ولی هنگامی که ریزسنج را به کار

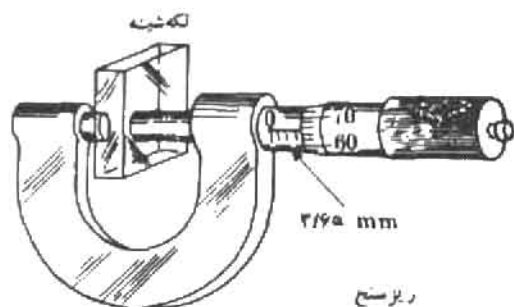
$$\begin{aligned} & \frac{3800 \times 0,00054 \times 0,0001001}{430,000,000 \times 73} \\ &= \frac{3/8 \times 10^2 \times 5/4 \times 10^{-2} \times 1 \times 10^{-6}}{4/3 \times 10^8 \times 7/3 \times 10^1} \\ &= \frac{3/8 \times 5/4}{4/3 \times 7/3} \times \frac{10^2 \times 10^{-2} \times 10^{-6}}{10^8 \times 10^1} \\ & \approx 0/65 \times 10^{(2-2-6-8-1)} \\ &= 0/65 \times 10^{-15} = 6/5 \times 10^{-16} \end{aligned}$$

است. در این اندازه گیری ۳ رقم معنی دار وجود دارد که در آن رقمهای ۳ و ۶ مسلمین هستند ولی رقم ۵ مشکوک است زیرا در حد دقت ریزسنج است. با پدید آمدن شویم که آخرین رقم در هر اندازه گیری همواره مشکوک است.

پرش ۲-۱۵. طول قامت شخصی چهارم رتبه بانوارمتر فلزی اندازه گیری شده و اندازه های ۱/۷۳ و ۱/۷۴ و ۱/۷۶ و ۱/۷۸ متر به دست آمده است. چه عددی به اندازه حقیقی طول قامت شخص نزدیکتر است؟ در این عدد چند رقم معنی دار وجود دارد؟
مثالهای بالا فقط در باره اندازه گیری طول است ولی در هر اندازه گیری مقدار تقریبی کمیت اندازه گرفتنی به دست می آید. میزان تقریب از تعداد رقمهای معنی دار معین می شود و هر چه تعداد این رقمها بیشتر باشد دقت اندازه گیری بیشتر است. بدیهی است تعداد رقمهای معنی دار بر بستگی به اسباب اندازه گیری دارد یعنی هر چه اسباب اندازه گیری دقیق تر ساخته شده باشد نتیجه اندازه گیری دقیق تر خواهد بود.



می برید ضخامت شیشه را ۳/۶۵ میلیمتر به دست می آورید زیرا با ریزسنج می توانید تا ۰/۰۱ میلیمتر اندازه بگیرید (شکل ۲-۶). در اینجا روی کمیت مورد نظر دو اندازه گیری انجام داده ایم و در هر دو مقداری را که نزدیک به اندازه واقعی ضخامت شیشه است بدست آورده ایم ولی دقت اندازه گیری دومی بیشتر است. دقت اندازه گیری شما در هر یک از این روشها بسته به این است که عدد معرف اندازه کمیت را تا چند رقم توانسته اید به دست آورید. هر یک از این رقمها را رقم معنی دار می نامند. تعداد رقمهای معنی دار در یک اندازه گیری معرف دقت در آن اندازه گیری است. در مثال بالا با خطکش مدرج ضخامت شیشه ۳/۷ میلیمتر اندازه گرفته شده و نتیجه اندازه گیری نادور رقم معنی دار به دست آمده است. در اینجا می توانید با اطمینان بگوئید که رقم ۳ درست و مطمئن است اما رقم ۷ مشکوک است، زیرا نمی توانید دهم میلیمتر را روی خط کشی که بر حسب میلیمتر مدرج شده است به طور مستقیم بخوانید و آن را تخمین رده اید. اندازه دقیق تر ۳/۶۵ میلیمتر است که با ریزسنج به دست آمده



جدول ۳-۳- مرتبه بزرگی پاره‌ای از فاصله‌ها

مرتبه بزرگی برحسب متر	فاصله‌ها
۱۵ ^{۲۵}	فاصله دورترین شیئی که از آن عکس گرفته‌اند (دورترین کهکشان)
۱۵ ^{۱۹}	فاصله ستاره قطبی از زمین
۱۵ ^{۱۷}	فاصله نزدیکترین ستاره به زمین
۱۵ ^{۱۱}	فاصله خورشید از زمین
۱۵ ^۹	شعاع خورشید
۱۵ ^۸	فاصله متوسط ماه از زمین
۱۵ ^۷	شعاع زمین-فاصله تهران از لندن
۱۵ ^۶	شعاع ماه
۱۵ ^۴	ارتفاع بلندترین قله کوه‌های زمین از سطح دریا
۱۵ ^۲	طول زمین فوتبال
۱۵-۲	ضخامت شیشه پنجره اتاق
۱۵-۴	ضخامت ورقه کاغذ
۱۵-۵	قطر گلیول فرمز خون
۱۵-۷	ضخامت نازکترین حباب صابون که رنگی به نظر می‌رسد
۱۵-۱۰	فاصله متوسط آنها در یک جامد پلوری
۱۵-۱۴	اندازه قطر بزرگترین هسته اتم
۱۵-۱۵	قطر یک پروتون

بمد روشهای این گونه اندازه گیریها را خواهید آموخت. حدود بزرگی بعضی از فاصله‌هایی که اندازه گرفته شده‌اند در جدول ۳-۳ نشان داده شده است. در این جدول اندازه واقعی فاصله‌ها داده نشده بلکه مرتبه بزرگی آنها مشخص گردیده است. مثلاً شعاع کره زمین تقریباً ۶,۳۷۵,۰۰۰ متر یا $۱۰^۷ \times ۰,۶۳$ متر یعنی از مرتبه ۱۵^۷ متر است و منظور ما این است که بتوانید حدود فاصله‌ها را با هم مقایسه کنید.

حدود طولهایی که اندازه می‌گیریم

حدود طولهایی که روزانه با اندازه گیری آنها سر و کار داریم و اندازه آنها را خوب درک می‌کنیم تقریباً هزار برابر بزرگتر یا کوچکتر از متر است ولی می‌توانیم طولهای خیلی بزرگ مانند فاصله ستارگان از زمین، یا طولهای خیلی کوچک مانند قطر یک پروتون را نیز اندازه بگیریم. (در سالهای

خودتان آزمایش کنید

- ۱) قطر يك سكة يك ربالي و يك مداد را با خط كش مدرج و كولیس و ریزسنج اندازه بگیرید و نتایج را با هم مقایسه و رقمهای معنی دار را معین کنید .
 - ۲) قطر يك توب پینک پونگ را با كولیس اندازه بگیرید و حجم آن را بر حسب سانتیمتر مكعب حساب کنید و رقمهای معنی دار آن را مشخص نمایید.
 - ۳) صد برگ كاغذ دفتر با صد برگ كتاب را بشمارید و روی هم قرار دهید و به وسیله يك كولیس یا خط كش مدرج ضخامت آنها را اندازه بگیرید و بر صد تقسیم کنید و ضخامت يك برگ از این كاغذها را به دست آورید. سپس با يك ریزسنج ضخامت يك برگ كاغذ را اندازه بگیرید و نتیجه های دو اندازه گیری را با هم مقایسه کنید.
- طول و عرض هر برگ كاغذ را نیز اندازه بگیرید و حجم صد برگ كاغذ و همچنین حجم يك برگ آن را حساب کنید.

به این پرسشها پاسخ دهید

- ۱) در شکلهای ۲-۳ و ۲-۲ روی كولیس و ریزسنج چه اندازه هایی خوانده می شود؟
- ۲) یا چه اسبابهایی اندازه گیریهای زیر را انجام می دهد؟
قطر يك سیم، قطر داخلی و قطر خارجی يك لوله، ضخامت متوسط این كتاب.
- ۳) چرا باید هنگام اندازه گیری یا متر نمونه، که درمورد سوراخ است دما همواره صفر درجه سلسیوس باشد؟
- ۴) حجم يك اتاق مكعب مستطیل شكل را چگونه اندازه می گیرید؟
- ۵) چگونه حجم يك توب بسكتبال را معین می کنید؟
- ۶) توضیح دهید: الف- چگونه حجم داخلی يك طرف استوانه ای شكل را با يك خط كش مدرج می توانید اندازه بگیرید؟ ب- چگونه همین حجم را به وسیله يك طرف استوانه ای مدرج می توانید اندازه بگیرید؟
- ۷) مسافتی که كيلومتر شمار يك اتومبیل در يك ساعت نشان می دهد برابر است با عدد دورهای چرخ اتومبیل ضربدر محیط چرخ. اگر هنگامی که لاستیکها نو هستند كيلومتر شمار این مسافت را با دقت نشان دهد چرا وقتی که لاستیکها فرسوده می شوند كيلومتر شمار، همین مسافت را با دقت نشان نمی دهد؟ علت را با استدلال توضیح دهید.
- ۸) حجم يك مكعب جامد اسفنجی شكل (منحلحل) را به دو طریق زیر اندازه گرفته و دو مقدار مختلف به دست آورده ایم:
الف- با اندازه گیری طول ضلع آن و محاسبه حجمش.
ب- با فرو بردن در آب درون طرف استوانه ای مدرج و اندازه گیری تغییر حجم آب. علت این

اختلاف چیست؟ این اختلاف چه چیز را نشان می‌دهد؟

۹) ضلعهای دو سطح مربع شکل به نسبت ۲ و ۱ هستند:

الف - نسبت مساحت‌های این دو مربع چیست؟

ب - آیا بین مساحت‌های هر دو سطح متشابه که ابعاد آنها نظیر به نظیر به نسبت ۲ و ۱ هستند همین نسبت

برقرار است؟

۱۰) الف - اگر طول ضلع هر یک از وجه‌های يك مكعب دو برابر شود حجم آن چند برابر خواهد شد؟

ب - از يك مجسمه كوچك نمونه بزرگتری ساخته‌اند که هر يك از ابعاد آن دو برابر بعد نظیرش در

مجسمه اصلی است. حجم این نمونه چند برابر حجم مجسمه اصلی است؟

این مسئله‌ها را حل کنید

۱) با مراجعه به جدول ۲-۳ حساب کنید قطر خوردشید در حدود چند برابر قطر زمین است؟

۲) سال نوری، یعنی مسافتی را که نور در مدت يك سال می‌پیماید حساب کنید و آن را به صورت توان

۱۰ نمایش دهید. سال نوری واحد چه کمیت فیزیکی است؟

۳) عددهای زیر را به صورت توان ۱۰ نمایش دهید:

۷ و ۲۵ و ۴۳۴۵۶ و ۰/۴۵ و ۰/۰۰۰۴۵ و ۰/۰۰۰۰۴۵

۴) فرض کنید که اتم ثیدروژن فضای مكعب شکلی را اشغال می‌کند که هر ضلع آن $10^{-10} \times 10^{-10}$

متر است. حدود بزرگی حجم این اتم را حساب کنید.

جرم

جرم و وزن

در صورتی که «مقدار ماده» یعنی مجموعه اتم‌های

موجود در آن ثابت می‌ماند، مقدار ماده موجود

در يك جسم جرم آن جسم نامیده می‌شود و چون

در شرایط عادی مقدار ماده در جسم تغییر نمی‌کند،

جرم آن نیز ثابت می‌ماند. آلبرت اینشتین^۱ با

محاسبه نشان داده است که جرم يك جسم مطلقاً

ثابت نیست بلکه با افزایش سرعت حرکت جسم افزایش

می‌یابد (رابطه اینشتین را در این باره در سال‌های بعد

خواهید دید) ولی تغییر جرم فقط برای سرعت‌های نزدیک

می‌دانید که وزن یکی از خواص ماده است و

هر چه مقدار ماده موجود در يك جسم بیشتر باشد وزن

آن بیشتر است. همچنین خواهید دید که وزن يك

جسم برابر نیروی جاذبه‌ای است که از طرف زمین

بر آن جسم وارد می‌شود. ولی وزن مقدار ثابتی

نیست و در مکان‌های متفاوت تغییر می‌کند به طوری

که ممکن است جسم در فضا در حال بی‌وزنی باشد

۱ - Albert Einstein

به سرعت سیر نور محسوس است.

پرش ۳-۱۱- آبا می‌داند سرعت سیر نور یعنی مسافتی که نور در یک ثانیه می‌پیماید چه اندازه است؟

چون اجسام بزرگ را نمی‌توانیم با چنین سرعت‌هایی حرکت دهیم تغییر جرم آنها در اثر حرکت ناچیز است و تغییر جرم فقط برای ذره‌هایی مانند الکترون‌ها و پروتون‌ها که می‌توانند با سرعت خیلی زیاد حرکت کنند منظور می‌گردد.

هرچه جرم جسمی بیشتر باشد به حرکت در آوردن آن از حالت سکون دشوارتر است.

در نظر بگیرید که سه قوطی حلبی یکسان و در بسته در راه شما وجود دارد که یکی خالی و دیگری پر از رنگ و سومی پر از سرب است و شما بخواهید با صربه لگد آنها را از راه خود کنار بزنید. قوطی خالی با لگد شما به سرعت پرتاب می‌شود، قوطی محتوی رنگ با سرعت کم روی زمین می‌غلتد ولی قوطی محتوی سرب احتمالاً به پای شما آسیب می‌رساند. جرم قوطی خالی کمتر از جرم قوطی رنگ و جرم این یکی کمتر از جرم قوطی محتوی سرب است. می‌توان گفت که هرچه جرم جسمی بیشتر باشد مقاومت آن در مقابل تغییر سرعت بیشتر است. این مقاومت در حقیقت همان ابررسی است که در سال‌های پیش با آن آشنا شده‌اید و مانند وزن یکی از خواص ماده است.

چگونه جرم را اندازه می‌گیریم؟

چون جرم متناسب با وزن است (در صفحه ۶۲ رابطه بین وزن و جرم را خواهید دید) برای تعیین

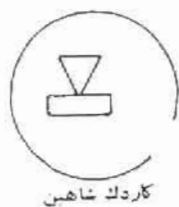
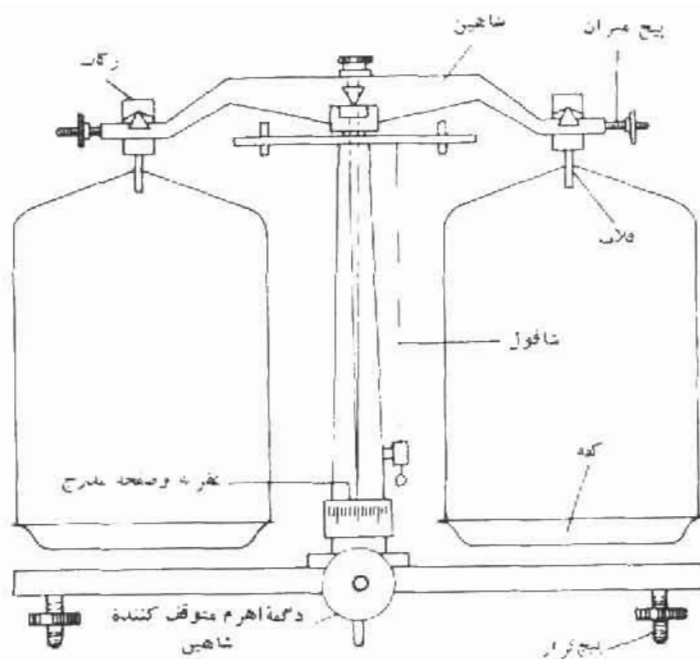
جرم يك جسم کافی است نیروی جاذبه‌ای را که زمین بر آن وارد می‌سازد با نیروی جاذبه‌ای که از طرف زمین بر يك جسم استاندارد وارد می‌شود مقایسه کنیم و این کار را یا يك ترازوی شاهین‌دار انجام می‌دهیم.

شاهین به وسیله تینۀ کاردک وسط، روی بالشتک پایه تکیه دارد و کاردک‌های حامل کفه‌ها به فاصله‌های مساوی از کاردک وسط قرار داده شده‌اند. هنگامی که کفه‌ها حالی هستند نوك عقربه ترازو درست مقابل صفر صفحه مدرج قرار می‌گیرد و ترازو در حال تعادل است. جسم را در يك کفه ترازو قرار می‌دهیم و آن قدر جرم استاندارد در کفه دیگری گذاریم تا دوباره عقربه آن مقابل صفر قرار گیرد. در این حالت جرم‌ها با هم برابر و نیروهای جاذبه‌ای که از طرف زمین بر آنها وارد می‌شود نیز برابر است.

شکل ۳-۷ نقشه يك ترازوی شاهین‌دار معمولی آزمایشگاه را نشان می‌دهد که حساس‌تر از ترازوهای معمولی است. در ترازوهای خیلی دقیق کاردک‌های شاهین و کفه‌ها و همچنین بالشتک‌های آنها (یعنی تکیه‌گاه و کاردک‌ها) همه از عقیق یا اجسامی مشابه آن که خیلی محکم هستند ساخته می‌شوند. تینۀ کاردک‌ها خیلی تیز و در نتیجه شکننده است و اگر ترازو تکان ناگهانی بخورد تینۀ به آسانی کند می‌شود. بنابراین وقتی که ترازو کار نمی‌کند یا قبل از این که بخواهید جسمی را در کفه آن بگذارید باید شاهین‌ها را با دقت اهرمی که به همین منظور ساخته شده است متوقف سازید. این اهرم کاردک شاهین را از تماس با بالشتک پایه خارج می‌سازد.

واحد اندازه‌گیری جرم

واحد اندازه‌گیری جرم در دستگاه بین‌المللی



شکل ۷-۲- فنڈیک ترازوی شاہین دار
معمولی آزمائشگاه

واحد کوچکتر از آن گرم (g) برابر $\frac{1}{1000}$ کیلو گرم است. یک کیلو گرم در اصل معادل جرم ۱۰۰۰ سانتیمتر مکعب آب خالص در دمای ۴ درجه سلسیوس انتخاب شده است. اما اختلاف کوچکی بین جرم کیلو گرم نمونه و جرم هزار سانتیمتر مکعب آب خالص است به طوری که یک کیلو گرم در حال حاضر معادل جرم $\frac{1000}{1028}$ سانتیمتر مکعب آب خالص 4°C است.

SI «کیلوگرم» نام دارد و با علامت اختصاری kg نشان داده می شود. کیلو گرم، جرم قطعه استوانه ای شکلی است که از آلیاژ طلای سفید و ایریدیم ساخته شده و نمونه اصلی آن در اداره اوزان و مقادیر بین المللی در سور نگاهداری می شود. از روی این نمونه اصلی نمونه های مشابهی ساخته شده و به کشورهای دیگر فرستاده اند. شکل ۲-۸ تصویر کیلو گرم نمونه را که در موزه سور نگاهداری می شود نشان می دهد. واحد بزرگتر از آن تن (t) برابر 1000kg و

حدود جرمهایی که اندازه می گیریم

جرمهای خیلی کوچک مانند جرم الکترون یا خیلی بزرگ مانند جرم ستارگان با روشهای خاصی معین می شوند. این روشها را به تدریج در سالهای بعد خواهید آموخت. جرم الکترون 9.11×10^{-31} کیلوگرم و جرم زمین 5.982×10^{24} کیلوگرم و جرم خورشید که ستاره متوسطی است 1.98×10^{30} کیلوگرم است. بین این دو حد جرمهای متداولی است که هر روز با آنها سروکار داریم. مثلاً جرم یک متر مکعب آب تقریباً 1000 کیلوگرم و جرم یک اتومبیل سواری در حدود 1500 کیلوگرم است. در جدول ۲-۴ مرتبه بزرگی بعضی از جرمها نشان داده شده است. این اعداد معرف میزان واقعی جرم اجسام نیستند و منظور ما این است که شما تصوری از حدود بزرگی جرم



شکل ۲-۸- کلوگرم نمونه که در مورد سور نگاهداری می شود

جدول ۲-۴- مرتبه بزرگی جرمهای اجسام

جرمهایی که با روشهای دیگر معین می شوند		جرمهایی که با ترازو یا با سکول اندازه گرفته می شوند	
مرتبۀ بزرگی بر حسب کیلوگرم	نوع جسم	مرتبۀ بزرگی بر حسب کیلوگرم	نوع جسم
۱۰-۳۰	الکترون	۱۰-۷	بال مگس
۱۰-۲۵	مولکول اکسیژن	۱۰-۲	مسکوک
۱۰-۱۳	گلوله خون	۱۰ ^۰	یک لیتر آب
۱۰-۱۱	باکتری	۱۰ ^۲	انسان
			یک متر مکعب آب
۱۰ ^۲	کشتی		و یک اتومبیل
۱۰ ^{۲۳}	ماه	۱۰ ^۲	سواری متوسط
۱۰ ^{۲۵}	زمین		
۱۰ ^{۳۰}	خورشید		

سانتیمتر مکعب آهن $7/8$ گرم حرم دارد. برای اندازه گیری جرم حجمی يك ماده، نمونه‌ای از آن را انتخاب می‌کنیم و حرم و حجم آن را اندازه می‌گیریم و حرم حجمی آنرا از رابطه زیر به دست می‌آوریم:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{یا} \quad \text{جرم حرمی} = \frac{\text{جرم}}{\text{حجم}}$$

پوش ۲-۱۲- اگر جرم يك قطعه نقره ۲۱۵ گرم و حجم آن ۲۵ سانتیمتر مکعب باشد حرم حجمی آن چند $\frac{\text{گرم}}{\text{سانتیمتر مکعب}}$ و چند $\frac{\text{کیلوگرم}}{\text{متر مکعب}}$ است؟ می‌توانید جرم حجمی يك جسم را نسبت به جرم حجمی جسم دیگر بسنجید. برای این منظور کافی است که جرم حجم معینی از جسم را بر جرم همان حجم از جسم دیگر تقسیم کنید. این خارج قسمت چگالی نسبی نامیده می‌شود. معمولاً چگالی اجسام جامد و مایع را نسبت به آب می‌سنجند، یعنی:

$$\frac{\text{جرم حجمی جسم}}{\text{جرم حجمی آب}} = \text{چگالی جسم نسبت به آب}$$

چون جرم حجمی آب خیلی نزدیک به $1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ یا $1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ است چگالی اجسام نسبت به آب به آسانی حساب می‌شود. چگالی بدون واحد بیان می‌گردد. مثلاً وقتی که می‌گوییم چگالی آهن نسبت به آب $7/8$ است یعنی حرم يك متر مکعب آهن $7/8$ برابر جرم يك متر مکعب آب است.

جرم حجمی

در برخورد های روزانه پی برده‌اید که موادی مانند آهن و سرب سنگین‌تر از موادی مانند آلومینیم و چوب هستند. در فیزیک این خاصیت را با اصطلاح دقیق‌تری بیان کرده‌ایم و می‌گوییم آهن چگالتش از آلومینیم است. به عبارات دیگر، جرم حجم معینی از آهن بیشتر از حرم همین حجم از آلومینیم است و چون وزن هر جسم در يك مکان متناسب با جرم آن است می‌توان گفت که وزن حجم معینی از آهن نیز بیشتر از وزن همان حجم آلومینیم است.

حرم حجمی يك جسم (که در سابق آنرا جرم مخصوص می‌گفتند) بنا به تعریف جرم واحد حجم آن جسم است و بر حسب $\frac{\text{کیلوگرم}}{\text{متر مکعب}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$ بیان می‌شود. مثلاً وقتی که می‌گوییم جرم حجمی آهن ۷۸۰۰ $\frac{\text{کیلوگرم}}{\text{متر مکعب}}$ است بدین معنی است که جرم يك متر مکعب آهن ۷۸۰۰ کیلوگرم است. جرم حجمی را می‌توانید بر حسب $\frac{\text{گرم}}{\text{سانتیمتر مکعب}} \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right)$ نیز بیان کنید. مثلاً حرم حجمی آهن $7/8$ $\frac{\text{گرم}}{\text{سانتیمتر مکعب}}$ است، یعنی يك

خودتان آزمایش کنید

- ۱) جرم حجمی يك جسم جامد را که شکل هندسی دارد معین کنید. برای این منظور:
 - الف- جرم آنرا با ترازو اندازه بگیرید.
 - ب- ابعاد آنرا با وسیله‌ای که در اختیار دارید اندازه بگیرید و حجم آنرا حساب کنید.
 - ج- جرم حجمی آنرا از رابطه $\left(\frac{\text{جرم جسم}}{\text{حجم جسم}} = \text{جرم حجمی} \right)$ به دست آورید.

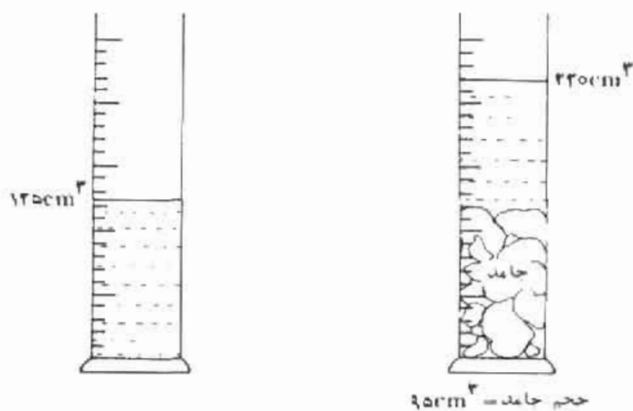
بهرتر این است که آزمایش را با قطعه‌های مختلف از این جسم تکرار کنید و ببینید که همواره يك عدد را برای جرم حجمی آن به دست می‌آورید. مثلاً قطعه چوبی را که شکل هندسی منظمی دارد به سه قطعه نامساوی بااره ببرید و آزمایش را روی هر قطعه جداگانه انجام دهید و نتیجه‌ها را باهم مقایسه کنید.

۲) جرم حجمی يك جسم جامد نامنظم را که در آب حل نمی‌شود تعیین کنید:

الف - جرم آن را اندازه بگیرید.

ب - آن را در آب درون استوانه شیشه‌ای مدرجی که تانیمه در آن آب ریخته‌اند فرو برید و حجمش

را معین کنید (شکل ۲-۹)، سپس جرم حجمی آن را حساب کنید.



شکل ۲-۹- تعیین حجم جسم جامد به وسیله طرف استوانه‌ای مدرج

۳) جرم حجمی يك مایع مانند نفت یا الکل را تعیین کنید. برای این منظور يك تنگ نشانه‌دار را

که حجم معینی دارد (۵۰ یا ۱۰۰ سانتیمتر مکعب) انتخاب کنید.

الف- جرم تنگ خالی را با ترازو اندازه بگیرید.

ب - تنگ را تا نشانه از مایع مورد نظر پر کنید و جرم تنگ و مایع را اندازه بگیرید و جرم مایع

خالص را حساب کنید.

ج - جرم مایع خالص را بر حجم آن تقسیم کنید و جرم حجمی مایع را به دست آورید و با جرم حجمی

آب مقایسه کنید.

به این پرسشها پاسخ دهید

۱) چه فرقی بین وزن و جرم يك جسم است ؟

۲) چرا وزن يك جسم در نقاط مختلف زمین تغییر می کند؟

۳) چگونه يك ترازوی شاهین دار را برای اندازه گیری جرم يك جسم به کار می برید؟

۴) توضیح دهید چرا يك ترازوی شاهین دار جرم يك جسم را در سطح دریا و در قلعه کوه به يك اندازه

نشان می دهد؟

۵) در سطح تراز دریا دو جسم را با يك ترازوی فنری وزن کرده ایم. وزن یکی دو برابر دیگری است:

الف - نسبت حره های این دو جسم چیست؟

ب - در نظر بگیرید که این دو جسم را در بالای کوهی با همین ترازو وزن می کنیم. آیا تغییری در نسبت

ورنه های آنها پیدا می شود؟ توضیح دهید.

۶) کرایه حمل بار به وسیله کامیون از روی وزن (یا جرم) بار و فاصله پیموده شده معین می شود.

واحدی برای محاسبه کرایه در نظر بگیرید که در آن جرم و مسافت منظور شده باشد.

۷) جرم حجمی یعنی چه؟ چه فرقی بین جرم حجمی و چگالی نسبی يك جسم وجود دارد؟

۸) چگونه جرم حجمی يك جسم را معین می کنند؟

۹) در جمله «طلا سنگین تر از آلومینیم است» چه چیز غلط است؟ این جمله را با تغییر دادن يك کلمه

درست کنید!

۱۰) رابطه ای بنویسید که نشان دهد جرم يك سیم مسی بکنواخت متناسب با طول آن است. معنی ضریب

تناسب در رابطه ای که می نویسید چیست؟ نمودار این رابطه را روی کاغذ میلیمتری رسم کنید.

۱۱) رابطه ای بنویسید که نشان دهد جرم يك جسم همگن متناسب با حجم آن است. ضریب این تناسب

معرف چیست؟

۱۲) اگر جرم يك مکعب فلزی يك کیلو گرم باشد چه جرمهایی از همان فلز لازم است تا مکعبی

ساخته شود که:

الف- هر ضلعش دو برابر ضلع این مکعب باشد؟

ب- هر ضلعش سه برابر ضلع این مکعب باشد؟

ج- هر ضلعش π برابر ضلع این مکعب باشد؟

۱۳) دو مکعب که دارای ضلعهای مساوی هستند هر دو از نقره ساخته شده اند ولی درون یکی از آنها

حفره ای موجود است. چگونه حجم حفره درون این مکعب را تعیین می کنید؟

۱۴) افزایش دما چه اثری در روی جرم و جرم حجمی يك قطعه آهن دارد؟ توضیح دهید.

این مسئلهها را حل کنید

۱) در يك مخزن نگاهداری ماهی (آکواریوم) که طول آن ۷۰۰ متر و عرضش ۵/۴۰ متر است تا ارتفاع

۰/۳۰ متر آب ریخته شده است. حرم این آب تقریباً چند کیلو گرم است؟

(۲) در يك ظرف استوانه‌ای مدرج تا درجهٔ ۴۰/۵ سانتیمتر مکعب آب ریخته شده است. هر گاه يك قطعه مس را در آب درون این ظرف فروبریم سطح آب به درجهٔ ۶۳/۹ سانتیمتر مکعب می‌رسد. اگر جرم حجمی مس $\frac{8}{9} \frac{g}{cm^3}$ باشد جرم قطعهٔ مس چند گرم است؟

(۳) حرم ۵۰ سانتیمتر مکعب از يك محلول اسید سولفوریک ۶۵ گرم است. حرم حجمی این محلول را بر حسب g/cm^3 و $\frac{kg}{m^3}$ حساب کنید.

(۴) جرم حجمی آلومینیم $\frac{2700}{m^3} \frac{kg}{m^3}$ است. حرم شمش از آلومینیم به طول ۱/۵ متر و به عرض ۵/۵ متر و به ضخامت ۰/۰۱۵ متر چه اندازه است؟

(۵) مجسمهٔ کوچکی به جرم ۲۱۵ گرم از نقره ساخته شده است. اگر جرم حجمی نقره $10500 \frac{g}{cm^3}$ باشد حجم این مجسمه چند سانتیمتر مکعب است؟

(۶) چگالی گوگرد نسبت به آب ۲ است. حجم يك کیلو گرم گوگرد چقدر است؟

(۷) حجم کرهٔ زمین از روی شعاعش تقریباً $1.1 \times 10^{21} m^3$ حساب شده است. به فرض این که جرم حجمی متوسط زمین $5/5 \times 10^4 \frac{kg}{m^3}$ باشد حرم تقریبی زمین را حساب کنید.

زمان

را برای اندازه‌گیری زمان به کار برده و دور به دور آنها را کلمتر کرده است ولی تنها در این پنجاه سال اخیر توفیق یافته است تا زمانهایی چنین بزرگ و کوچک را که بیان کردیم اندازه بگیرد. انسان عموماً شبانه روز را به عنوان استاندارد طبیعی زمان به کار برده است و آن را به ۲۴ ساعت و هر ساعت را به ۶۰ دقیقه و هر دقیقه را به ۶۰ ثانیه تقسیم کرده است. سال را نیز برای تعیین زمان رویدادهای تاریخی یا تعیین عمر خود به کار برده است، اما کاربرد آن به عنوان استاندارد به آسانی شبانه روز نیست. برای تعیین زمانهای کوتاهتر، مدت‌ها انسان زمان ریختن شن را از يك طرف به طرف دیگر (ساعت شنی) یا زمان پر

مسئله اندازه‌گیری زمان

همهٔ ما ساعت را برای اندازه‌گیری زمان به کار می‌بریم و با احساس زمان هر روز از زندگی خود را می‌گذرانیم. به ناز می‌رسد که اندازه‌گیری زمان در زندگی روزانه مسئله ساده‌ای است. ولی اشکال کار وقتی ظاهر می‌شود که بخواهیم زمان را از میلیونها سال پیش که مورد احتیاج زمین‌شناسان است تا يك بیلیونیم ثانیه که توسط اتم‌شناسان به کار می‌رود با دقت اندازه بگیریم. آدمی در طول مدت زندگی خود وسیله‌های زیادی

شدن يك ثنت را از آب که ته آن سوراخ ریزی تعبیه کرده و روی آب قرار می‌دهد. با مدت سوختن يك شمع را به کار برده است.

از آغاز قرن هفدهم میلادی فکر استفاده از آونگ (پاندول) برای تنظیم حرکت ساعتها به وسیله گاليله دانشمند ایتالیایی (۱۶۴۲ - ۱۵۶۴ میلادی) پایه‌گذاری شد. همه شما ساعت‌های دیواری آونگدار را دیده‌اید؛ ورنه‌ای که به انتهای میله‌ای آویزان شده است و نوسان می‌کند با نوسانهای خود حرکت عقربه‌های ساعت را تنظیم می‌نماید. در ساعت‌های کوچک و مچی کار آونگ را چرخ رفاصک با حرکت نوسانی خود انجام می‌دهد.

پرسش ۲-۱۳. با چه پدیده‌های تناوبی دیگر (الکتريکی، مکانیکی، نوری یا نجومی) که ممکن است در اندازه‌گیری زمان به کار روند آشنايي دارید؟ در فريک واحدی که ما اغلب برای اندازه‌گیری زمان به کار می‌بريم ثابته است. ثابته را چگونه باید تعريف کنیم تا حد امکان دقت در تعريف آن منظور شود؟

ساده‌ترین جواب این است که بگوییم ثابته برابر $\frac{1}{86400}$ شبانه‌روز است. اما اشکال این تعريف وقتی ظاهر می‌شود که پی ببریم دانشمندان به اسبابه‌ای نجومی دقیقی احتیاج دارند تا مدت شبانه‌روز را معین کنند و اشکال بررگنر این که طول مدت شبانه‌روز همواره در تغییر است. گرچه این تغییرات خیلی کوچک است ولی وجود دارد. علاوه بر این برای

تعیین طول شبانه‌روز باید ساعت‌هایی را به کار بریم که دقت آنها معلوم نیست. این اشکالها سبب شد به جای این که ثابته را بر مبنای نجومی، یعنی حرکت زمین به دور خود یا به دور خورشید تعريف کنند بر اساس حرکت ارضی طبیعی دیگری که دقت کافی داشته باشد تعريف نمایند. کوشش دانشمندان در این راه به نتیجه رسید و ساعت اتمی بر مبنای ارتعاشهای خاص اتمهای عنصر سیریم^۱ ساخته شد. از سال ۱۹۶۷ میلادی تعريف ثابته که بر مبنای سال نجومی بود تغییر کرد و بر اساس دوره تناوب ارتعاشهای خاص در اتمهای بخار سیریم قرار داده شد^۲ زیرا دانشمندان پی بردند که اندازه‌گیری این دوره تناوب دقیق‌تر از اندازه‌گیری طول مدت گردش زمین به دور خود است. دقت ساعت اتمی سیریم خیلی زیاد و خطای آن در حدود يك ثابته در ۳۰۰۰ سال است. به همین جهت تنظیم زمان با این ساعت بهتر و دقیق‌تر از تنظیم آن با مشاهدات نجومی است. اندازه‌گیری زمانهای بسیار بزرگ مسئله دیگری را به وجود می‌آورد؛ زیرا در اینجا فیزیکدان مجبور است که زمانهای گذشته مثلاً عمر يك قطعه سنگ را اندازه بگیرد و حال آن که ساعت، زمان جاری را اندازه می‌گیرد. دانشمندان برای اندازه‌گیری این گونه زمانها نیز راهی پیدا کرده‌اند و آن استفاده از خاصیت «ادیواکتیویته» است. بازمانده از عنصرها مانند اورانیم خود به خود به عنصرهای دیگر تبدیل می‌شوند. این گونه عنصرها را «ادیواکتیو» می‌گویند. هر تبدیل در زمان ثابت و معینی

۱- Cesium

۲- بنا به تعريف، ثابته مدتی است مساوی ۹۱۹۲۶۳۱۷۷۰ برابر دوره تناوب پرتو مربوط به انتقال بین دو تراز بسیار ظریف وابسته به حالت بنیادی اتم سیریم ۱۳۳. (با مفهوم این تعريف در س‌الهای بعد در بخش فیزیک اتمی آشنا خواهید شد.)

در جدول ۲-۵، مرتبهٔ بزرگی زمان پادهای
 از رویدادها که مقایسهٔ آنها برای شما حالب توجه
 است به تابه داده می‌شود. برخی از این زمانها،
 مانند مدت عمر انسان، با مدتی که نور طول اتاق
 را می‌پیماید اندازه‌های ثابتی ندارند بنابراین عده‌های
 این جدول معرف اندازه‌های واقعی و دقیق زمانها
 نیستند بلکه فقط مرتبهٔ بزرگی آنها را نشان می‌دهند.
 در این جدول، زمانهایی متفاوت، اریبتر از بیلیون-

سورت می‌گیرد که از ویژگیهای عنصر رادواکتیو
 است. بنابراین اگر ما بتوانیم با روشهای تجربی
 شیمیایی معین کنیم که چه مقدار از عنصر تبدیل شده و
 چه مقدار باقی مانده است می‌توانیم حساب کنیم که چه
 مدت این تبدیل طول کشیده است. فیزیکدانان می-
 توانند با این روش تا ۲۰۰۰ میلیون سالهای گذشته
 را تعیین نمایند. با روشی مشابه، عمر اشیای عتیقه
 و آثار تاریخی و حتی عمر زمین نیز معین می‌گردد.

جدول ۲-۵- مرتبهٔ بزرگی برخی از زمانها

مدت به ثانیه	رویداد	مدت به ثانیه	رویداد
10^{-1}	مدتی که يك گلوله (با قطر ۳۰ mm) طول يك ميدان فوتبال را طی می‌کند	10^{18}	کل طول عمر خورشید س قدیمترین سنگها
10^{-2}	مدت يك بار بال زدن مگس	10^{17}	از زمان تشکیل نخستین فسیل تا کنون از زمان تشکیل نخستین خشکی تا کنون
10^{-4}	مدت يك ارتعاش زیر تریب صوتی که شنیده می‌شود	10^{16}	مدتی که خورشید به دور کهکشان می‌چرخد
10^{-5}	مدت تریکیدن يك ترفه	10^{15}	از زمان زندگی دینوزورها تا کنون
	مدت لازم برای این که در لامپ تصویر تلویزیون	10^{13}	از زمان پیدایش انسان تا کنون
10^{-7}	الکترونها از رشتهٔ ملتهب به صفحه برسند	10^{11}	از زمان پیدایش نخستین کشت وزرع تا کنون
10^{-8}	مدتی که نور طول اتاق را می‌پیماید	10^{11}	از زمان پیدایش خط تا کنون
10^{-11}	مدتی که نور ضخامت شیشهٔ پنجره را می‌پیماید	10^9	دورهٔ عمر انسان
	مدتی که الکترون اتم ژئندروژن به دور	10^8	حدود س شعا دانش آموزان این کلاس
10^{-15}	پروتون هستهٔ خود می‌چرخد	10^7	مدتی که زمین يك دور به دور خورشید می‌چرخد (يك سال)
	مدتی که الکترون اولین لایه دور يك اتم	10^6	يك ماه
10^{-20}	سنگین به دور هستهٔ خود می‌چرخد	10^5	مدتی که زمین يك دور به دور خود می‌چرخد (يك روز)
10^{-25}	مدتی که نور قطر هستهٔ اتم را می‌پیماید	10^3	مدتی که نور از خورشید به زمین می‌رسد
		10^2	يك دقیقه
		10^0	مدت ضربان قلب

بیلیون ثانیه تا کمتر از يك بیلیونیم بیلیونیم ثانیه
 نوشته شده است و شما می توانید به آسانی حدود بررگی
 این زمانها را با یکدیگر مقایسه کنید. مثلاً می توانید
 بر آورد کنید که يك روز در حدود ۱۰^8 برابر مدت
 يك بار باد زدن مکنس است

مدت زمانهایی که ما ، بنا بر تجربه های شخصی
 خود ، می توانیم به طور مستقیم درك کنیم بین $\frac{1}{10}$
 ثانیه تا ۱۰^9 ثانیه (که حدود دوره زندگیمان است)
 واقعند.

خودتان آزمایش کنید

جسم کوچکی مانند گلوله را به نخ سبکی ببندید و آن را به پایه ای آویزان کنید. بدین ترتیب يك
 آونگ ساده خواهید داشت. آونگ را کمی از حالت تعادل منحرف کرده و رها سازید تا با دامنه کم نوسان
 کند. زمان ۲۰ نوسان کامل (۲۰ رفت و برگشت) آن را با کرومومتر یا با ساعت اندازه بگیرید و زمان
 يك نوسان آن را حساب کنید. آزمایش را برای دامنه های نوسان کوچکتر تکرار کنید و ببینید زمان نوسان
 آونگ ثابت است.

طول پاندول را با نجس طوری انتخاب کنید که زمان يك نوسان کامل آن درست يك ثانیه باشد. سپس
 طول آن را تغییر دهید تا این زمان ۲ ثانیه شود و طولها را با هم مقایسه کنید.

به این پرسشها پاسخ دهید

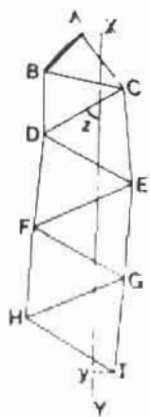
- ۱) چه خاصیتی در پاندول آن را برای اندازه گیری زمان مناسب کرده است ؟
- ۲) چرا ضربانهای نبض را نمی توان به عنوان وسیله دقیقی برای اندازه گیری زمان به کار برد ؟
- ۳) معین کنید :
 الف - در يك سال چند ثانیه است ؟
 ب - سن شما بر حسب ثانیه چقدر است ؟
- ۴) چه زمانی لازم است تا نور طول اتاقی را که ۶ متر است طی کند ؟
- ۵) کوتاهترین زمانی که ممکن است دانشن آن برای شما جالب باشد زمانی است که نور قطر هسته
 اتم یئدروژن یعنی تقریباً $۱۰^{-۱۵} \times ۱۰^{-۵}$ متر را می پیماید. اگر نور در هر ثانیه ۳×۱۰^۸ متر را پیماید
 این زمان چقدر است ؟
- ۶) سه نفر زمانی را اندازه گرفته اند. مقدار آن را اولی $۴/۱$ ثانیه ، دومی $۴/۱۰$ ثانیه و سومی

۴۱۵۰ نانیه ثبت کرده است. آبا تفاوتی بین این اندازه گیریها وجود داشته است؟ توضیح دهید.
 (۷) در شیمی خوانداید که عدد مولکولهای موجود در يك مولکول گرم از هر گاز در شرایط متعارف تقریباً 6.02×10^{23} (عدد آووگادرو) است. فرض کنید که در هر ثانیه بدون درنگ يك هزار میلیارد (10^{12} عدد) از این مولکولها را از ظرف خارج می کنید. حساب کنید چند سال لازم است تا همه این مولکولها از ظرف خارج شوند. هر میلیارد ثانیه (یعنی 10^9 ثانیه) را معادل ۳۳ سال بگیرید.

پاسخ به پرسشهای متن

۱-۲) از استوا تا قطب به ۹۰ درجه تقسیم شده است. کافی است طول قسمتی از قوس يك درجه را روی يك نصف النهار اندازه بگیرند و طول قوس يك درجه را حساب کرده و در ۹۰ ضرب کنند. این اندازه گیری با روشهای خاصی از آن جمله روش مثلث بندی صورت گرفته است.

فرض کنید XY نمایش خط نصف النهاری باشد که اندازه گیری قسمتی از طول آن مورد نظر است شکل (۱-۲) در اطراف این خط، با در نظر گرفتن نقاطی مانند A و B و C و ... (که خود علامتهای قابل رؤیت هستند) يك رشته مثلث بنا می کنند به طوری که بتوان از هر يك از این نقاط، مثلاً نقطه C ، دو نقطه قبلی، یعنی A و B و دو نقطه بعدی، یعنی D و E را دید، سپس اندازه گیریهای زیر را انجام می دهند



۱ - اندازه گیری طول يك ضلع یکی از مثلثهای واقع در دو سر رشته مثلث بندی، مثلاً ضلع AB از مثلث ABC این ضلع را در این رشته «قاعده» می نامند. بدیهی است این قاعده باید در روی يك زمین نسبتاً هموار، چنان انتخاب شود که به آسانی قابل اندازه گیری باشد.

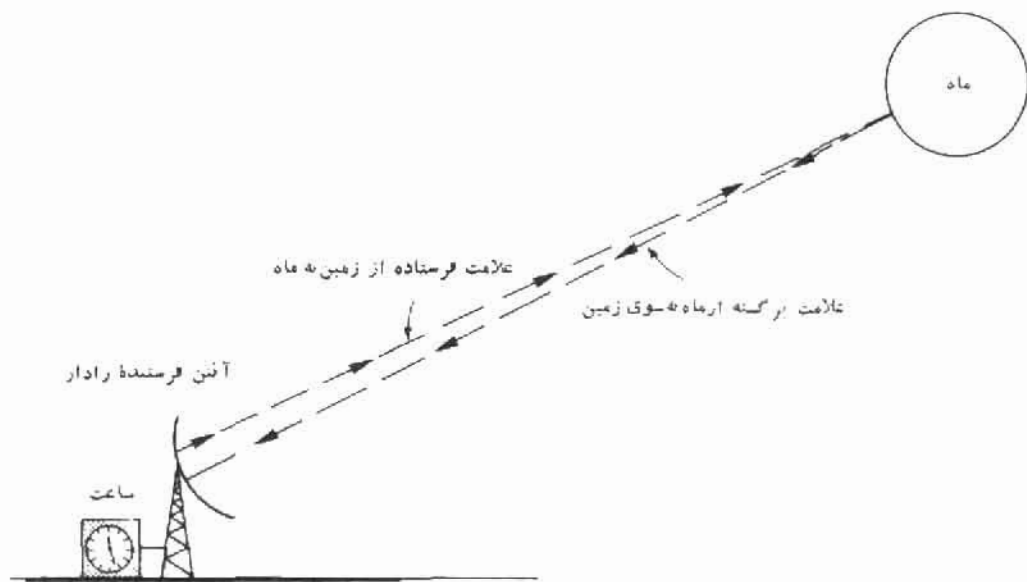
۲ - اندازه گیری زاویه های همه مثلثها.

۳ - اندازه گیری سمت يك ضلع از یکی از مثلثها مثلاً CD . یعنی زاویه ای که راستای این ضلع را خط نصف النهار می سازد. (زاویه ای که در شکل به Z نمایش داده شده است)

شکل ۱-۲-۳. روش مثلث بندی برای اندازه گیری این زاویه ها استفاده از روش بومیایی (که روش نجومی است) مورد طول صفحه ای از نصف النهار نمی. اندازه گیری می شود. پس از این اندازه گیریها با استفاده از دستورهای مناسبتی، از مثلث محسب که طول قاعده در آن معلوم است شروع می کنند و با دانستن زاویه ها، طول اضلاع آنها را یکی پس از دیگری به دست می آورند، سپس طول تصویرهای این اضلاع را روی خط نصف النهار حساب می کنند. در نتیجه طول

قطعه x y از نصف النهار زمین که بین دو خط موازی در ابتدا و انتهای اندازه گیری (مثلا نقطه های A و I) واقع است معین میشود. طول ربع نصف النهار زمین از روی این اندازه گیری با يك تناسب حساب می شود.

۲-۲) به وسیله امواج رادار. بدین طریق که امواج رادار را از زمین به طرف ماه می فرستند و زمان رفت و برگشت آنها را اندازه می گیرند. سرعت امواج رادار نزدیک به 3×10^8 متر در هر ثانیه است. اگر این سرعت در نصف زمان رفت و برگشت ضرب شود فاصله ماه از زمین به دست می آید. شکل



شکل ۲-۱۱- نسابش طریقه اندازه گیری فاصله ماه از زمین

۲-۱۱) طرحی از این اندازه گیری را به شما نشان می دهد.

۲-۳) با میکروسکوپ. بدین طریق که ذرات غبار معلق در هوا را روی صفحه شیشه ای نازکی به وسیله پمپهای مکنده خاصی متراکم می کنند و صفحه را زیر میکروسکوپ مدجی قرار می دهند و قطر ذرات را اندازه می گیرند. برای اندازه گیری قطر گلوله های خون يك قطره خون را روی صفحه شیشه ای می گسترانند و آن را زیر میکروسکوپ قرار می دهند.

۲-۴) $21/5$ میلیمتر

۲-۵) 10^4 سانتیمتر مربع و 10^6 میلیمتر مربع.

۲-۶) آن را به قطعه هایی که شکل هندسی دارند تقسیم کنید و با روش هندسی سطح هر قطعه را اندازه

بگیرید و با هم جمع کنید.

۷-۲) 10^6 سانتیمتر مکعب و 10^9 میلیمتر مکعب.

۸-۲) در ظرف مدرجی مقداری آب یا مایع دیگر که بر جسم اثری نداشته باشد بریزید و جسم را در آب یا مایع فروبرید و افزایش حجم مایع را اندازه بگیرید. این افزایش حجم برابر حجم جسم جامد است. (۹-۲) $5/29 \times 10^{-11}$ متر و $6/378 \times 10^6$ متر.

۱۰-۲) دادن پاسخ به این سؤال مشکل است جز این که بگوییم میانگین این چهار عدد را حساب می‌کنیم. این میانگین برابر است با $1/7525$ و چون هر اندازه‌گیری با سه رقم معنی‌دار مشخص شده است میانگین نیز باید با سه رقم معنی‌دار مشخص شود. بنابراین نتیجه را می‌توان به صورت زیر نمایش داد:

$$1/75 \pm 0/02$$

۵/۰۲ را خطای احتمالی اندازه‌گیری می‌گویند.

۱۱-۲) در خلا نزدیک به 3×10^8 متر در هر ثانیه.

$$\rho = \frac{210g}{20cm^3} = 10/5g/cm^3 = \frac{10/5 \times 10^6}{1000} = 10500 kg/m^3 \quad (12-2)$$

۱۳-۲) نوسانات الکتریکی برق شهر، چکیدن منظم قطره‌های آب، تواتر امواج نورانی، گردش ماه به دور زمین.

هر تغییری را که دوروبر خود مشاهده می‌کنید آثار حرکت را در آن می‌بایید. روز و شب در اثر گردش زمین به دور محورش پیدا می‌شود. پیدایش چهار فصل در نتیجه حرکت زمین به دور خورشید است. بادها و اثرهای آنها در نتیجه حرکت هوا به وجود می‌آیند. رشد گیاهان بستگی به حرکت آب و مواد غذایی در آنها دارد.

تبدیل مواد خام موجود در زمین به محصولهایی که مورد احتیاج روزانه ما در زندگی است مستلزم ترکیب چند حرکت است از آن جمله انتقال مواد خام به کارخانه، ترکیب آنها به نسبت‌های مناسب، شکل دادن آنها به صورت نهایی مصرف و انتقال آنها به بازار. هر گونه تغییری را که در ماده بررسی کنید اثر حرکت را در آن خواهید یافت. عاملی که حرکت را تولید یا مهار می‌کند نیروست. نیرو و نقش آن را در حرکت در بخشهای بعد خواهید دید. در این بخش فقط با مفهوم حرکت آشنا خواهید شد.

هم کمتر می‌اندیشید. علت این است که هر گاه از حرکت شخص یا جسمی گفتگو می‌کنید آن را نسبت به سطح زمین می‌سنجید. چنین حرکتی را احساس می‌کنید. زیرا فاصله متحرک از اجسام ثابتی مانند ساختمانها یا درختان که در روی زمین بی‌حرکت به نظر می‌رسند تغییر می‌کند. بنابراین حسی دارید هنگامی که در جای خود نشسته‌اید خود را نسبت به زمین در حال سکون بدانید. در صورتی که در همین هنگام با همه اجسام دوروبرتان در حرکت زمین به دور خورشید شرکت دارید. به عبارت دیگر نسبت به زمین ساکن ولی نسبت به خورشید در حال حرکت هستید. بنابراین،

حرکت نسبی است

آبامی‌دانید هم اکنون که نشسته‌اید و این کتاب را می‌خوانید با چه سرعتی در فضا در حرکت هستید؟ این سؤال ممکن است به نظر شما شگفت‌آور باشد ولی واقعیت دارد. شما در هر ثانیه در حدود ۳۰ کیلومتر یا در هر ساعت در حدود صد هزار کیلومتر مسافت را در فضا طی می‌کنید. تا وقتی که روی زمین هستید همراه با آن و با سرعت حرکت زمین به دور خورشید می‌گردید ولی شما این حرکت را حس نمی‌کنید و به آن

يك جسم ممكن است نسبت به يك ناظر متحرك و در همان حال نسبت به ناظر ديگر ساكن يا داراي حرکت متفاوت باشد. يعنی حرکت نسبی است.

مسئله نسبت در حرکت حائز اهمیت است و باید به آن توجه کافی بشود. در نثار بگریید که درون قطاری نشسته‌اید و به شهری نزدیک می‌شوید. در يك لحظه چشمهای خود را بسته و تصور کنید قطار ساکن است و این شهر است که به شما نزدیک می‌شود! آیا در نتیجه امر تعبیری رخ می‌دهد؟ مسلماً نه، در هر حال فاصله شهر و قطار کم می‌شود.

پرسش ۱-۳- اگر دو اتوبوس هر دو با سرعت ۶۰ کیلومتر در ساعت به هم نزدیک شوند سرعت نسبی آن دو چیست (شکل ۱-۳).

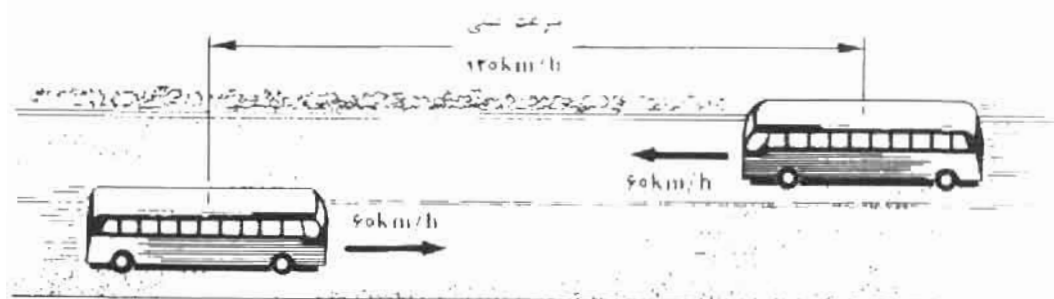
مسیر حرکت

وقتی که از خانه به مدرسه می‌روید یا از مدرسه به خانه برمی‌گردید از خیابانها و کوچه‌هایی می‌گذرید که مجموعه آنها مسیر حرکت شما را تشکیل می‌دهند. به عبارت دیگر در صورتی که با اتومبیل از جایی به جای دیگر بروید اثر چرخهای اتومبیل روی جاده مسیر حرکت شما را مشخص خواهد ساخت. در امتداد يك خیابان یا يك جاده مستقیم، مسیر حرکت خط مستقیم است ولی در پیچ يك خیابان یا يك جاده مسیر

دریای آرام به ساحلی نزدیک شوید؟ در این مورد غالباً احساس می‌کنید که ساحل به شما نزدیک می‌شود در صورتی که شما با قایق به ساحل نزدیک می‌شوید ولی در لحاظ نتیجه حرکت، هیچ تفاوتی نمی‌کند یعنی هر کدام را ساکن فرض کنید دیگری نسبت به آن در حال حرکت است.

به مثال دیگر توجه کنید: در نظر بگیرید که درون اتوبوسی نشسته‌اید و اتوبوس مثلاً با سرعت ۶۰ کیلومتر در ساعت در جاده‌ای حرکت می‌کند. شما نسبت به حاده در حرکت ولی نسبت به ساندلیها یا دیواره

به مثال دیگر توجه کنید: در نظر بگیرید که درون اتوبوسی نشسته‌اید و اتوبوس مثلاً با سرعت ۶۰ کیلومتر در ساعت در جاده‌ای حرکت می‌کند. شما نسبت به حاده در حرکت ولی نسبت به ساندلیها یا دیواره



شکل ۱-۳- سرعت نسبی دو اتوبوس چه اندازه است؟

دو بعدی) و حرکت در فضا (حرکت سه بعدی) را خواهید دید . در اینجا فقط به بحث دربارهٔ حرکت روی خط راست خواهیم پرداخت .



سرعت متوسط

معمولاً وقتی که دربارهٔ حرکت يك جسم بحث می‌کنیم کلمهٔ سرعت را به کار می‌بریم . هر چه متحرك فاصلهٔ معینی را در زمان کوتاهی طی کند می‌گوییم سرعت آن بیشتر است .

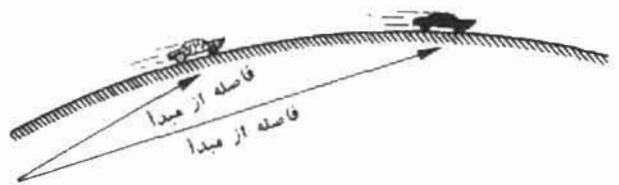
مثلاً وقتی که شما با اتومبیل از خانه به مدرسه می‌روید زودتر از موقعی می‌رسید که پیاده که این فاصله را می‌پیمایید ، به عبارت دیگر ، می‌گویید سرعت اتومبیل بیشتر از سرعت پیاده است .

سرعت یا مقدار مسافتی که متحرك در واحد زمان می‌پیماید مشخص می‌شود . مثلاً می‌گوییم سرعت يك اتومبیل می‌تواند به ۲۰۰ کیلومتر در ساعت برسد . یعنی اتومبیل قادر است مسافت ۲۰۰ کیلومتر را در مدت يك ساعت یا نزدیک به ۵۶ متر را در هر ثانیه بپیماید . بنابراین اگر عابر پیاده‌ای مثلاً مسافت ۱۸۰۰ متر را در مدت نیم ساعت (۱۸۰۰ ثانیه) بپیماید به طور متوسط در هر ثانیه مسافت $\frac{1800}{1800}$ مساوی يك متر را طی کرده است . یعنی سرعت متوسط او ۱ متر بر ثانیه بوده است . به سهولت می‌توانیم برای این مثال و مشابه آن رابطهٔ زیر را بنویسیم :

مسافتی که پیموده \div زمان حرکت = سرعت متوسط متحرك

$$\bar{v} = \frac{d}{t} \quad (1-3) \quad \text{یا:}$$

(خطی که روی v قرار داده شده نمایش متوسط است)



شکل ۳-۲- در امتداد مسیر مستقیم فقط مقدار فاصله نسری می‌کند در صورتی که در مسیری هم مقدار و هم امتداد تغییر می‌نماید

منحنی خواهد بود . در مسیر مستقیم فقط مقدار فاصله تغییر می‌کند در حالی که در مسیر منحنی هم مقدار و هم امتداد فاصله تغییر می‌نماید (شکل ۳-۲) .

پرسش ۳-۳- اگر مسیر متحرك دایره باشد فاصله چگونه تغییر می‌کند ؟

مبدأ مقایسه

در مطالعهٔ حرکت يك جسم ، مقایسهٔ آن نسبت به يك مبدأ ، یا يك جسم دیگر مهم است . در بسیاری از حرکات مبدأ مقایسه ، مکانی از سطح زمین است و در حالت ساده‌ای که حرکت روی يك خط راست صورت می‌گیرد باید مبدأ سنجش را نقطه‌ای روی این خط بگیریم . در این صورت می‌توانیم بگوییم که جسم در هر لحظه در چه فاصله‌ای از مبدأ است یا با چه سرعتی به مبدأ نزدیک یا از آن دور می‌شود . در سالهای بعد حرکت در روی يك سطح (حرکت

پرش ۳-۳ - اگر هواپیمایی با سرعت متوسط ۵۰۰ کیلومتر در ساعت حرکت کند در مدت ۴ ساعت چه مسافتی را می‌پیماید ؟

واحدهای سرعت

واحد سرعت در دستگاه بین‌المللی واحدها متر بر ثانیه (با علامت اختصاری m/s) است و آن سرعت متحرکی است که به‌طور یکنواخت در هر ثانیه یک متر را پیماید.

استفاده از واحدهای متعارف زیر در مورد های مختلف نیز مجاز است.

کیلومتر بر ساعت (km/h) برای وسایط نقلیه. میل بر ساعت (mil/h) که آن را «گره» نیز می‌گویند در کشتیرانی و هواپیمایی.

(هر میل بنا به قرارداد برابر ۱۸۵۲ متر است). سانتیمتر بر ثانیه (cm/s) برای سرعت‌های کم.

پرش ۳-۴ - هر کیلومتر بر ساعت و هر میل بر ساعت چند متر بر ثانیه است ؟

سرعت نیز علاوه بر مقدار دارای امتداد و جهت است. مثلاً وقتی که می‌گوییم هواپیمایی با سرعت ۳۰۰ کیلومتر در ساعت در حرکت است وضع آن را مشخص نکرده‌ایم ولی اگر بگوییم هواپیما در امتداد شمال و جنوب با سرعت ۳۰۰ کیلومتر در ساعت رو به شمال در حرکت است وضع حرکت آن را مشخص کرده‌ایم. پس سرعت هم مانند مسافت، کمیت برداری است (نمایش هندسی کمیت برداری را در بخش ۵ خواهیم دید). مقدار سرعت یک متحرک را بدون در نظر گرفتن امتداد و جهت حرکت «سرعت» می‌گوییم.

مثلاً می‌توانیم بگوییم که اتومبیل دارای «سرعت-منح» است زیرا عقربه آن فقط مقدار سرعت اتومبیل را نشان می‌دهد. بنابراین هر گاه منظور ما از سرعت فقط اندازه آن باشد کلمه «سرعت» را به‌کار می‌بریم و اگر منظور اندازه و جهت هر دو باشد کلمه «تندی» را به‌کار خواهیم برد.

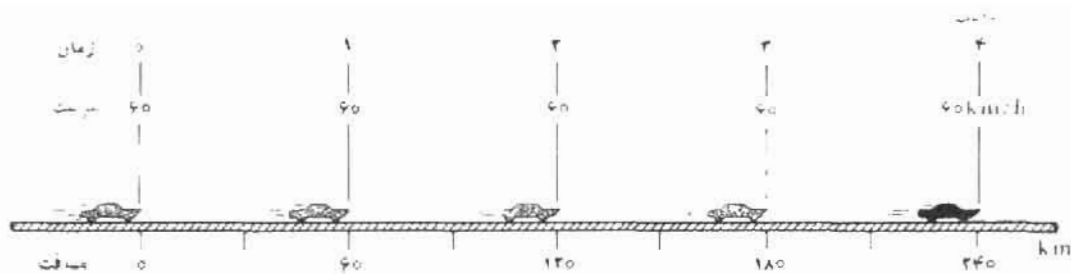
پرش ۳-۵ - آیا سرعتی که در هر لحظه عقربه سرعت‌شمار اتومبیل نشان می‌دهد سرعت متوسط است ؟

حرکت یکنواخت بر روی خط راست

اتومبیلی را در نظر بگیرید که در امتداد یک جاده مستقیم طوری حرکت می‌کند که سرعت و امتداد آن ثابت است. در این حال اتومبیل در زمانهای مساوی مسافت‌های مساوی را می‌پیماید (شکل ۳-۳). مثلاً اگر عقربه سرعت شمار روی عدد ۶۰ کیلومتر

در ضمن مثال‌های حرکت متوجه شدید که مسافت دارای مقدار و امتداد است که هر دو با یکی از آنها تغییر می‌کند. این گونه کمیت که علاوه بر مقدار دارای امتداد و جهت نیز هست کمیت برداری نامیده می‌شوند.

۱- کمیت‌هایی مانند جرم و زمان که دارای جهت و امتداد نیستند کمیت اسکالر نام دارند



شکل ۳-۳. نمایش حرکت مستقیم‌الخط و یکنواخت پیک اتومبیل

می‌شود ممکن است فقط زیاد شدن سرعت را در نظر بگیریم. مثلاً وقتی که راننده پیک اتومبیل روی پدال گاز فشار می‌آورد سرعت اتومبیل افزایش می‌یابد و حرکت آن شتاب پیدا می‌کند ولی باید توجه داشته باشید که شتاب در اثر هر گونه تغییر تندی پیدای می‌شود. یعنی تندی چه از نظر مقدار کم شود یا زیاد گردد و چه تغییر جهت دهد یا جهت و مقدار آن هر دو تغییر کند در هر حال حرکت شتابدار می‌گردد. در اینجا ما فقط شتاب حاصل از کاهش یا افزایش مقدار تندی را منظور می‌داریم. به عبارت دیگر حرکت مستقیم‌الخط شتابدار را بررسی می‌کنیم. در این نوع حرکت، شتاب یعنی مقدار تغییر سرعت در واحد زمان. بنابراین اگر سرعت متحرکی به‌طور منظم و یکنواخت کم یا زیاد شود شتاب حرکت آن را می‌توانید از تقسیم مقدار تغییر سرعت بر مدتی که سرعت تغییر کرده است به دست آورید.

$$a = \frac{\text{مقدار تغییر سرعت}}{\text{مدت تغییر سرعت}} \quad \text{یا} \quad (3-3) \quad a = \frac{v - v_0}{t}$$

در این رابطه v_0 سرعت اولیه (قبل از تغییر)، v سرعت آخری (بعد از تغییر) و t مدت این تغییر است. فرض کنید که سرعت یک اتومبیل در مدت ۵ ثانیه به‌طور منظم از ۱۸ کیلومتر در ساعت یعنی ۵ m/s به ۷۲ کیلومتر در ساعت یعنی ۲۰ m/s می‌رسد. تغییر سرعت

قرار گرفته باشد اتومبیل در هر دقیقه مسافت یک کیلومتر را طی می‌کند. حرکت این اتومبیل را مستقیم‌الخط یکنواخت گویند.

بنابراین در حرکت مستقیم‌الخط یکنواخت، سرعت ثابت و امتداد آن با امتداد حرکت یکی است. در این نوع حرکت مسافتی که متحرک در زمان معین می‌پیماید به آسانی حساب می‌شود. کافی است سرعت متحرک را در مدت حرکت ضرب کنیم:

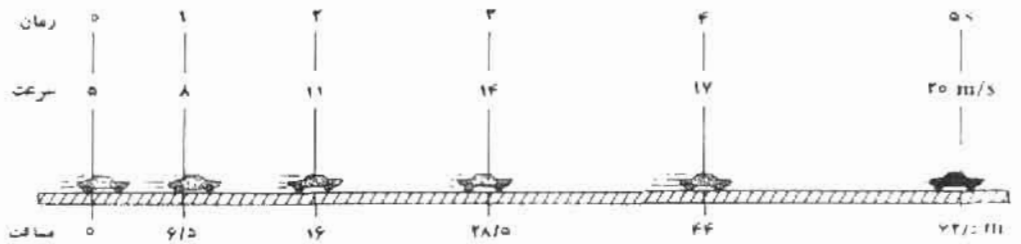
$$\text{مسافت} = \text{سرعت} \times \text{زمان} \quad (3-2) \quad d = v \cdot t$$

این رابطه را معادله حرکت مستقیم‌الخط یکنواخت گویند.

حرکت شتابدار

معمولاً نمی‌توان مسافت بزرگی را توسط اتومبیل با حرکت یکنواخت پیمود زیرا شیب و فراز و پیچ و خم جاده سبب می‌شود که جهت و مقدار تندی تغییر کند.

حرکتی را که در آن تغییر تندی پیدا می‌شود حرکت شتابدار می‌نامند. معمولاً وقتی که صحبت از حرکت شتابدار



شکل ۳-۴- نمایش حرکت یک اتومبیل با شتاب ثابت.

پس از گذشت زمان t می‌توانید به سهولت از رابطه ۳-۳ حساب کنید. یعنی:

$$v - v_0 = at$$

$$v = v_0 + at \quad (3-4) \quad \text{با}$$

پرش ۳-۷ - سرعت متوسط در یک حرکت شتابدار منظم که سرعت اولی آن برابر v_0 و سرعت آخری آن پس از گذشت زمان t برابر v است چه اندازه است؟ آیا می‌توانید مسافتی را که این متحرک در مدت t می‌پیماید حساب کنید؟

اهمیت حرکت مستقیم‌الخط

مطالعهٔ حرکت مستقیم‌الخط به دو علت مهم است. نخست آن که تعدادی از حرکت‌های مهم از آن جمله سقوط آزاد اجسام در مجاورت زمین در امتداد خط مستقیم یا نزدیک به خط مستقیم صورت می‌گیرد. دوم آن که خیلی از حرکت‌های نامنظم مختلط را می‌توان ترکیبی از دو یا چند حرکت مستقیم‌الخط در نظر گرفت و آنها را تجربه و بررسی نمود. حرکت سقوط آزاد اجسام درخلاف مثال خوبی از حرکت‌های شتابدار مستقیم‌الخط و منظم است. شتاب

در حدود ۱۰ متر بر ثانیه برابر است با 10 m/s یا 3 m/s^2 چون این تغییر سرعت در ۵ ثانیه صورت گرفته است شتاب حرکت اتومبیل برابر است با $\frac{15}{5}$ یا $3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ یعنی پس از گذشت هر ثانیه به‌طور مرتب ۳ متر بر ثانیه به‌سرعت اتومبیل اضافه می‌شود به طوری که در پایان ثانیهٔ اول سرعت آن به $3 + 0 = 3$ متر بر ثانیه، در پایان ثانیهٔ دوم به $3 + 3 = 6$ متر بر ثانیه، در پایان ثانیهٔ سوم به $3 + 3 + 3 = 9$ متر بر ثانیه، در پایان ثانیهٔ چهارم به $3 + 3 + 3 + 3 = 12$ متر بر ثانیه و در پایان ثانیهٔ پنجم به $3 + 3 + 3 + 3 + 3 = 15$ متر بر ثانیه رسیده است (شکل ۳-۴). واحد شتاب در دستگاه واحدهای بین‌المللی، $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ است که به صورت m/s^2 (متر بر مجذور ثانیه) نمایش داده می‌شود.

پرش ۳-۶ - هواپیمایی که با سرعت 60 m/s در حرکت است با شتاب مثبت 5 m/s^2 افزایش سرعت می‌یابد پس از ۱۰ ثانیه سرعتش به چند متر بر ثانیه می‌رسد؟ اگر سرعت متحرک به جای افزایش به‌طور تدریجی کاهش یابد شتاب حرکت باز هم به همین طریق حساب می‌گردد ولی با علامت منفی نمایش داده می‌شود. سرعت متحرک را در حرکت شتابدار منظم

زمان (ثانیه)	مسافت (متر)	سرعت (متر بر ثانیه)
۰	۰	۰
۱	۴/۹	۹/۸
۲	۱۶/۹	۱۹/۶
۳	۳۶/۹	۲۹/۴
۴	۶۴/۹	۳۹/۳

شکل ۳-۵- جسم ساده‌ای از حرکت سقوطی یک جسم در خلا

شکل (۳-۵) جسم ساده‌ای از حرکت سقوط آزاد یک جسم در خلا است. در این شکل فاصله هر دو خط موازی نمایش ۴/۹ متر است.

نمایش حرکت به وسیله نمودار

الف - در مطالعه حرکت بر روی خط راست دانستید که می‌توانید در هر لحظه فاصله منحرک را از مبدأ مقایسه معین کنید. اینک در نظر بگیرید که می‌خواهید جای یک جسم را روی یک سطح مشخص نمایید. برای این منظور می‌توانید فاصله جسم را از دو محور عمود بر هم مانند OX و OY که روی این سطح به دلخواه انتخاب کرده‌اید تعیین کنید (شکل ۳-۶). نقطه O را که محل تلاقی این دو خط است نیز می‌توانید مبدأ بگیرید.

ثابت این حرکت را به جای a معمولاً به حرف g نمایش می‌دهند. مقدار g در مجاورت سطح زمین تقریباً 9.8 m/s^2 است. یعنی به سرعت جسمی که در خلا مجاور سطح زمین سقوط می‌کند هر ثانیه به‌طور منظم 9.8 متر بر ثانیه اضافه می‌شود. چون در سقوط آزاد، جسم بدون سرعت اولیه رها می‌شود (یعنی $v_0 = 0$) رابطه $v = gt$ را برای این حرکت می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$g = \frac{v-0}{t} = \frac{v}{t}$$

بنابراین، سرعت سقوط آزاد یک جسم، پس از گذشت زمان t برابر است با:

$$v = g \cdot t$$

$$v \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right) = 9.8 t (\text{s})$$

بدیهی است سرعت متوسط در این حرکت، میانگین سرعت اولی (یعنی سرعت در لحظه شروع حرکت) و سرعت آخری (سرعت پس از گذشت زمان t) است. یعنی:

$$\bar{v} = \frac{0+v}{2} = \frac{0+gt}{2} = \frac{gt}{2}$$

و مسافت طی شده برابر است با سرعت متوسط ضرب در زمان حرکت. یعنی:

$$d = \bar{v} \cdot t \Rightarrow d = \frac{gt}{2} \times t = \frac{1}{2} g \cdot t^2$$

$$d_{(\text{m})} = 4.9 t^2 (\text{s})$$

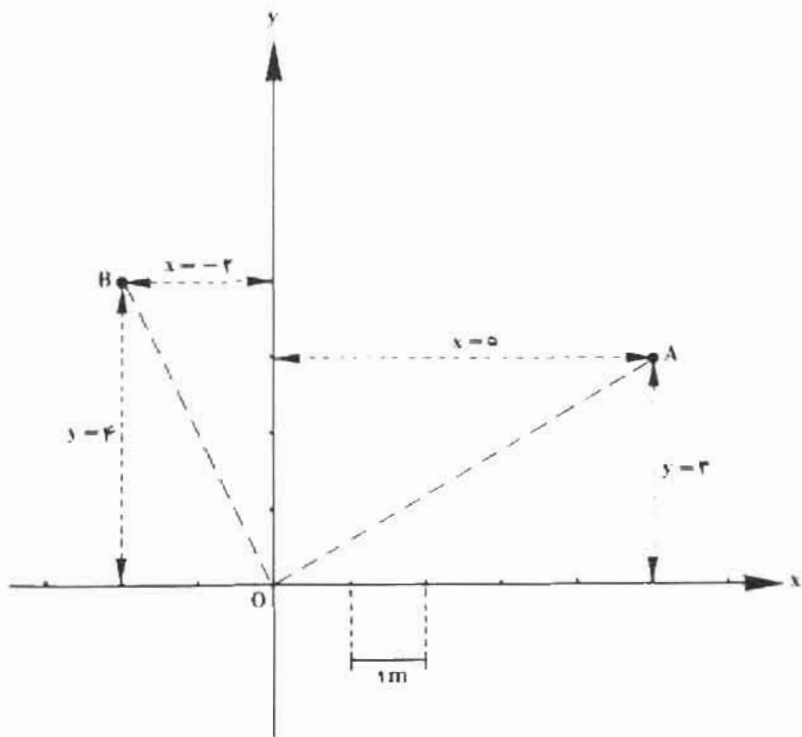
مثلاً مسافتی که یک جسم در سقوط آزاد پس از یک ثانیه می‌پیماید برابر است با:

$$d_1 = 4.9 \times 1^2 = 4.9 \text{ m}$$

$$d_2 = 4.9 \times 2^2 = 19.6 \text{ m}$$

$$d_3 = 4.9 \times 3^2 = 44.1 \text{ m}$$

تا آخر.



شکل ۶-۳- طرز تعیین مکان يك نقطه روی يك سطح

غير از اندازه گيری با خط کش مدرج حساب کنید. اگر چهار جهت اصلی مشرق و مغرب و شمال و جنوب را در نظر بگیرید می‌توانید بگویید که A در فاصله‌های ۵ سانتیمتری مشرق نقطه O و ۳ سانتیمتری شمال آن قرار گرفته و B در فاصله‌های ۲ سانتیمتری مغرب نقطه O و ۴ سانتیمتری شمال آن واقع شده است. بنابراین برای تعیین جای يك نقطه در روی يك صفحه دو عدد لازم است.

پرسش ۳-۹- روش متداول برای تعیین جای نقاط در سطح زمین چیست؟ این عددها بر حسب چه کمیتی مشخص می‌شوند؟

پرسش ۳-۱۰- جای يك نقطه در فضا - مثلاً در فضای درون اتاق - با چند عدد و چگونه مشخص می‌گردد؟

اگر فاصله‌ها را با مقیاس کوچکتری روی کاغذ شطرنجی یا میلیمتری نمایش دهید نقشه‌ای با مقیاس کوچکتر از آنچه در واقع وجود دارد به دست خواهید آورد.

در اینجا می‌توانید بنا به قرارداد، فاصله‌های دوی محور OX را از مبدأ O به طرف راست، مثبت و از O به طرف چپ منفی بگیرید. همچنین روی محور OY از O به بالا را مثبت و از O به پایین را منفی انتخاب کنید. مثلاً در شکل ۶-۳ وضع نقطه A با فاصله‌های $x = 5m$ و $y = 3m$ ، وضع نقطه B با فاصله‌های $x = -2m$ و $y = 4m$ نسبت به دو محور مشخص می‌گردد.

پرسش ۳-۸- فاصله دو نقطه A و B را با روشی

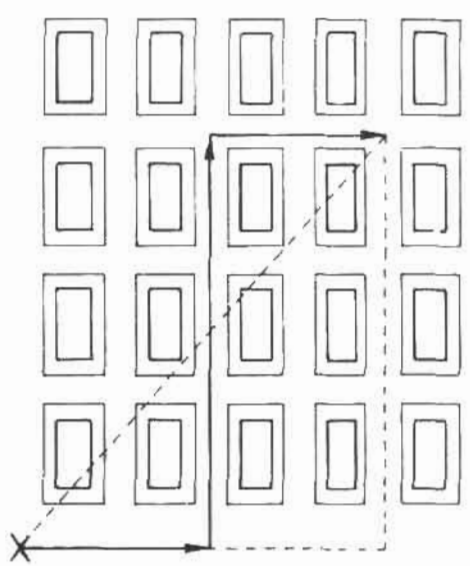
ساختمانهایی را که به طرف مشرق پیموده است ($+x$) جداگانه و تعداد ساختمانهایی را که به طرف شمال پیموده است ($+y$) نیز جداگانه با هم جمع کنید و وتر مثلث قائم‌الزاویه‌ای را که بدین ترتیب تشکیل می‌گردد حساب نمایید.

پرسش ۳-۱۱- اگر هر ساختمان را واحد مسافت بگیریم این فاصله مستقیم برابر چند ساختمان می‌شود؟

ج - دیدیم وقتی که جسمی روی یک خط راست حرکت می‌کند فاصله آن با گذشت زمان از مبدأ مقایسه تغییر می‌نماید. به عبارت دیگر مسافتی که یک متحرک می‌پیماید تابع زمان است. اینک می‌خواهیم قالبی برای نشان دادن تغییرات مسافت نسبت به زمان به کار ببریم که نمودار آن نامیده می‌شود.

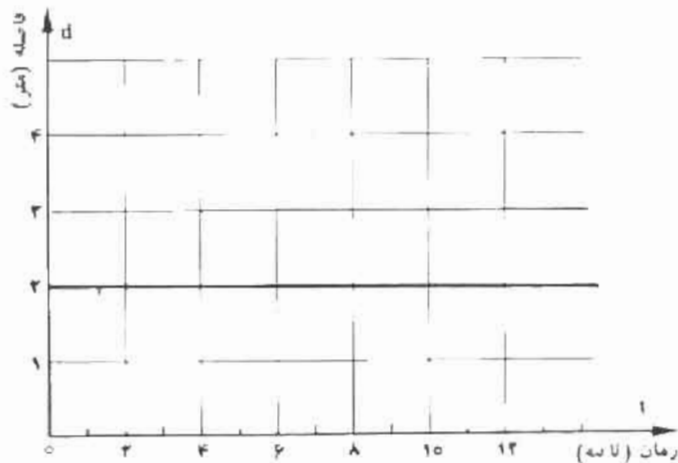
به عنوان یک مثال ساده، در نظر بگیرید که متحرکی روی یک خط راست حرکت می‌کند و در فاصله ۲ متری مبدأ متوقف می‌شود. مانند باری که توسط یک ماشین از سطح زمین بلند شده و در ارتفاع دو متری سطح زمین نگاه داشته شده باشد. قالب یا بیان ریاضی این مطلب به صورت $d = 2m$ نمایش داده می‌شود و شکل ۳-۸ نمودار آن است. این نمودار نشان می‌دهد که مقدار d (یعنی فاصله متحرک از مبدأ مقایسه) با گذشت زمان تغییر نمی‌کند.

اینک متحرکی در نظر بگیرید که مثلاً با سرعت ثابت ۲ متر بر ثانیه روی خط راستی حرکت می‌کند. معادله حرکت این متحرک طبق رابطه ۳-۲ به صورت $d = 2t$ است.



شکل ۳-۷- بین مسافت طی شده و فاصله مستقیم متحرک از مبدأ اختلاف وجود دارد.

ب - با روشی که در بالا بیان شد می‌توانیم هنگامی که متحرکی در امتدادهای مختلف حرکت می‌کند مکان آن را هر لحظه نسبت به مبدأ تعیین نماییم. در شکل ۳-۷، مسیر یک حرکت را نشان داده‌ایم که متحرک از مبدأ حرکت، دو ساختمان (بلوک) به سمت مشرق، سه ساختمان به طرف شمال و دو ساختمان دوباره به سمت مشرق رفته است. مسافتی که این متحرک پیموده است در واقع هفت ساختمان است و اگر از شما پرسیده شود که از مبدأ چقدر دور شده است جواب واقعی و کاملی که معمولاً می‌دهید همین است: به اندازه هفت ساختمان! ولی فاصله مستقیم متحرک از مبدأ حرکت به این طریق به دست می‌آید که تعداد



شکل ۳-۸- نمودار $d=2m$

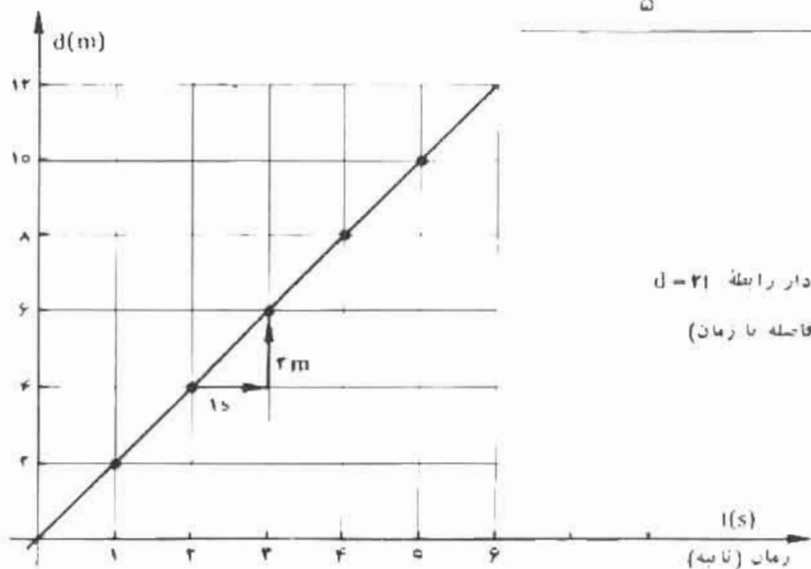
در همین مثال چنانچه بخواهید تغییرات سرعت را با زمان نمایش دهید نمودار شکل ۳-۱۰ به دست می‌آید. این نمودار نشان می‌دهد که سرعت همواره ثابت است و با گذشت زمان تغییر نمی‌کند.

پرسش ۳-۱۲- در شکل ۳-۱۰ مساحت مستطیلی که هاشور خورده است چه کمیتی را نشان می‌دهد؟

چگونگی تغییرات فاصله d با زمان t در جدول زیر و نمودار شکل ۳-۹ نمایش داده شده است:

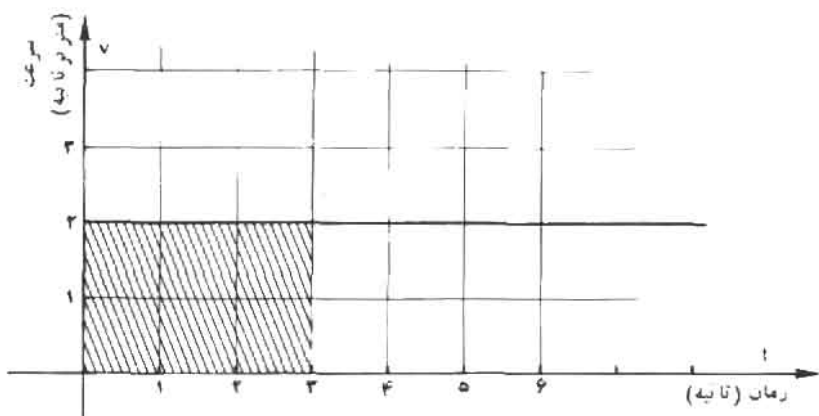
فاصله بر حسب متر (y)	زمان بر حسب ثانیه (x)
۰	۰
۲	۱
۴	۲
۶	۳
۸	۴
۱۰	۵

فاصله (متر)



شکل ۳-۹- نمودار رابطه $d=2t$

(تغییرات فاصله با زمان)



شکل ۱۵-۳- نمودار سرعت ثابت $v = 2 \text{ m/s}$

به این پرسشها پاسخ دهید

- ۱) دو اتوبوس درحادهای هردو رو به شمال درحرکتند. سرعت اتوبوس جلوی ۶۰ کیلومتر در ساعت و سرعت اتوبوس عقبی ۵۰ کیلو متر در ساعت است.
 - الف - سرعت نسبی و جهت حرکت اتوبوس جلوی نسبت به مسافری که در اتوبوس عقبی نشسته است چیست ؟
 - ب- سرعت نسبی و جهت حرکت اتوبوس عقبی نسبت به مسافری که در اتوبوس جلوی نشسته است چیست ؟
- ۲) چه فرقی بین سرعت لحظه‌ای يك اتومبیل (یعنی سرعتی که در هر لحظه عقربه سرعت‌شمار اتومبیل نشان می‌دهد) و سرعت متوسط آن است ؟
- ۳) اتومبیلی با سرعت ۲۰ متر برثانیه در حرکت است. چه مسافتهایی این اتومبیل پس از ۱ ثانیه و ۲ ثانیه و ۳ ثانیه می‌پیماید ؟
- ۴) کدام يك از مثالهای زیر حرکت شتابدار است :
 - الف - ترمی که روی دیلهای مستقیم با سرعت ثابت حرکت می‌کند ؟
 - ب - ترمی که روی دیلهای قوسی شکل با سرعت ثابت حرکت می‌کند ؟
 - ج - ترمی که روی دیلهای مستقیم با سرعت متغیر حرکت می‌کند ؟
 - د - درجه صورت شتاب حرکت يك اتومبیل منفی است ؟
 - ه - در چه صورت شتاب حرکت يك اتومبیل صفر است ؟

۷) در چه موقع با آن که سرعت يك اتومبيل ثابت است حرکت آن شتابدار است؟
 ۸) نشان دهید که وقتی يك جسم از حال سکون با شتاب ثابت به حرکت در می‌آید، سرعت متوسط آن نصف سرعت آخری است.

۹) الکترونها با سرعت ثابت طول لامپ تصوير تلویزیون را که 0.25 متر است در مدت 5×10^{-8} ثانیه می‌پیمایند. سرعت این الکترونها چند متر بر ثانیه است؟
 ۱۰) سرعت سیر نور در خلا^۱ تقریباً 3×10^8 km/s است. چه مدت لازم است تا نور فاصله^۲ بین زمین و خورشید را که تقریباً 15×10^7 کیلومتر است بپیماید؟
 ۱۱) مسافت طی شده توسط يك اتومبيل در مدت ۱۰ ثانیه طبق جدول زیر افزایش یافته است:

زمان (ثانیه)	فاصله ^۳ پیموده شده (متر)
۰	۰
۲	۳۵
۴	۷۰
۶	۱۰۵
۸	۱۴۰
۱۰	۱۷۵

الف - نمودار این حرکت را روی کاغذ سطر تجوی یا میلیمتری رسم کنید.

ب - سرعت این حرکت را تعیین کنید.

ج - از روی نمودار معین کنید اتومبیل چه مسافتی را پس از $5/5$ ثانیه پیموده است.

۱۲) در سقوط آزاد يك جسم در خلا^۴ مسافتهای پیموده شده در چهار ثانیه اول حرکت در جدول زیر نمایش داده می‌شود:

زمان (ثانیه)	مسافت طی شده (متر)
۰	۰
۱	$4/9$
۲	$19/6$
۳	$44/1$
۴	$78/4$

نمودار این حرکت را روی کاغذ شطرنجی با میلیمتری به دقت نمایش دهید.
روی محور نمایش مسافتها مقیاس طول را طوری بگیری که بتوانید این اعداد را بکنجانید.

این مسئله‌ها را حل کنید

- ۱) یک اتومبیل از حال سکون به حرکت درمی‌آید؛ پس از ۸ ثانیه سرعتش به ۲۰ متر بر ثانیه می‌رسد.
اگر شتاب حرکت اتومبیل در این مدت ثابت فرض شود:
الف - اندازه این شتاب چیست؟
ب - چه مسافتی اتومبیل در این مدت می‌پیماید؟
- ۲) اتومبیلی که با سرعت 12 m/s در حرکت است در مدت ۳ ثانیه شتابی معادل $2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ می‌گیرد.
الف - چه سرعتی پس از این مدت پیدا می‌کند؟
ب - سرعت متوسط آن در این سه ثانیه چه اندازه است؟
ج - چه مسافتی در این مدت می‌پیماید؟
- ۳) شخصی سنگی را از بله یک پل که بر روی رودخانه ای بسته شده است بدون سرعت اولیه رها می‌کند و سنگ پس از $1/8$ ثانیه به سطح آب رودخانه برخورد می‌کند. ارتفاع پل را حساب کنید.
- ۴) یک اکروبات می‌تواند بدون این که آسیب ببیند با سرعت 12 m/s بروی سطح زمین فرود آید.
بیشترین ارتفاعی که این اکروبات می‌تواند از آن به پائین بیفتد چه اندازه است؟
- ۵) پروتونها (هسته اتم هیدروژن) در یک نوع دستگاه شتاب دهنده در مدت $10^{-7} \times 2$ ثانیه از حال سکون به سرعتی معادل 0.1 سرعت نور می‌رسند. شتاب متوسط آنها را در این مدت حساب کنید.

پاسخ به پرسشهای متن

- ۱-۳) ۱۲۰ کیلومتر در ساعت.
- ۲-۳) فاصله متحرک از مرکز دایره همواره ثابت می‌ماند ولی امتداد آن مرتباً تغییر می‌کند.

$$d = 500 \text{ (km/h)} \times 4 \text{ (h)} = 2000 \text{ km} \quad (3-2)$$

$$1 \text{ mil/h} = \frac{1852}{3600} \text{ m/s} \quad \text{و} \quad 1 \text{ km/h} = \frac{1000}{3600} \text{ m/s} \quad (4-2)$$

۵-۳) نه . این سرعت بر حسب شرایط جاده مرتباً تغییر می‌کند . این سرعت را سرعت لحظه‌ای می‌گویند .

$$v = 60 + 0.5 \times 10 = 65 \text{ m/s} \quad (6-2)$$

$$\bar{v} = \frac{v_0 + v_1 + at}{2} = v_0 + \frac{1}{2} at \quad (1) \quad (7-2) \quad \text{سرعت متوسط}$$

$$d = \bar{v}t = (v_0 + \frac{1}{2}at)t = v_0 t + \frac{1}{2}at^2 \quad (2) \quad \text{مسافت طی شده}$$

۸-۳) AB وتر مثلث قائم‌الزاویه‌ای است که دو ضلع مجاور پداویه قائمه آن به ترتیب :

$$5 + 2 = 7 \text{ m} \quad \text{و} \quad 4 - 3 = 1 \text{ m} \quad \text{است و داریم:}$$

$$AB^2 = 7^2 + 1^2 = 49 + 1 = 50$$

$$AB = \sqrt{50} = \sqrt{2 \times 25} = 5\sqrt{2} \approx 7.07 \text{ m} \quad \text{و}$$

۹-۳) روش متداول عبارت است از تعیین طول و عرض جغرافیایی نقاط مورد نظر نسبت به نصف‌النهار

گرینویچ و خط استوا . این کمیتها بر حسب درجه مشخص می‌شوند .

مثلاً طول و عرض جغرافیایی تهران به ترتیب برابر است با

طول $35''$ و $23'$ و 51° شرقی

عرض $6''$ و $41'$ و 35° شمالی

علاوه بر این دو کمیت ارتفاع هر نقطه از سطح تراز دریا نیز مشخص می‌شود .

۱۰-۳) به کمک سه فاصله عمود بر هم از دیوارها و کف اتاق .

$$\text{فاصله مستقیم} = \sqrt{4^2 + 3^2} = 5 \quad (11-2)$$

۱۲-۳) این مساحت برابر حاصل ضرب سرعت \times زمان یعنی مسافت طی شده توسط متحرک است .

سازند حلقه بی حرکت می ماند . در این صورت می-
گوییم برآیند نیروها صفر است.

اگر یکی از دو پسر حلقه را بیشتر از دیگری بکشد
بر آیند دو نیرو دیگر صفر نیست و حلقه به طرف نیروی
بزرگتر کشیده می شود. قانون اول نیوتن را در این
مثال نیز می توان به کار برد. تا وقتی که بر آیند
نیروهای وارد بر جسمی صفر است تندی جسم تغییر
نمی کند هر چند بر آن نیروهایی اثر کند . در این
صورت می گوییم جسم در حال تعادل است.

این موضوع دلیل بر آن نیست که نیروها اثری
بر روی شکل حلقه ندارند. حلقه لاستیکی که از دو
طرف مرکز در دوسوی مخالف کشیده می شود دراز
می گردد. به طور کلی نیروهایی که بر روی يك جسم
در حالت تعادل اثر می کنند شکل جسم را تغییر می دهند



شکل ۴-۱- دو نیروی متقابل وارد بر يك جسم

نیرو و تعادل

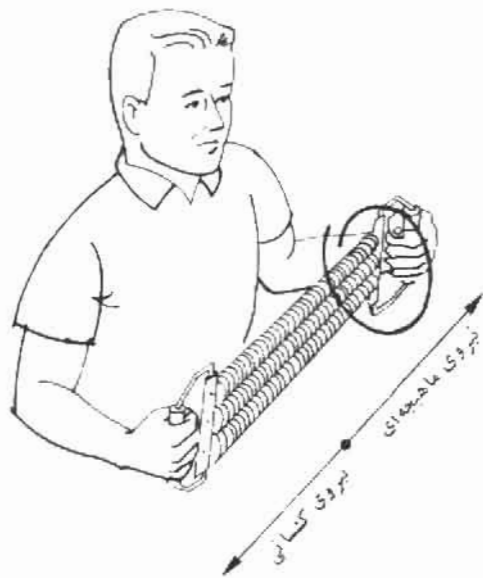
در سالهای پیش با کلمه «نیرو» آشنا شده اید.
وقتی که جسمی را می کشید یا می رانید بر آن نیرو
وارد می سازید. اینك این پرمش را مطرح می کنیم:
اگر بر جسمی نیرو وارد نشود چه خواهد شد ؟
به چنین حالتی مشکل است برسیم ولی می-
توانیم گلوله ای در نظر بگیریم که روی يك سطح افقی
قرار گرفته است. اگر گلوله در جای خود ساکن باشد
بر آن هیچ نیروی افقی وارد نمی شود. اما فرض کنیم
که گلوله در حرکت است. اگر بر آن نیرویی وارد
نشود سرعت حرکتش تغییر نمی کند . بنابراین وقتی
که بر جسمی نیرو وارد نمی شود اگر در حال سکون
است همواره ساکن می ماند و اگر در حال حرکت
است در راستای خط مستقیم با تندی ثابت حرکت می-
کند و برای این که تندی زیاد شود یا کم گردد
یا تغییر جهت دهد باید به آن نیرو وارد شود. این
بیان را قانون اول نیوتن در حرکت گویند.

برای تغییر تندی يك جسم کافی است بر آن
نیرو وارد کنیم ولی لازم نیست که هر نیرویی سبب
تغییر تندی شود . شکل ۴-۱ دو پسر را نشان می دهد
که دو طرف يك حلقه لاستیک شنا را گرفته و می کشند.
هر يك از آن دو تلاشی می کند که حلقه را به سوی خود
بکشد . اگر هر دو به يك اندازه نیرو بر حلقه وارد

ولی در بیشتر مورد هاتنیبر شکل محسوس نیست. هر گاه به تیر چراغ تکیه دهید بر آن تیر و وارد می‌سازید ولی تیر از جای خود حرکت نمی‌کند زیرا در زمین محکم شده است، و زمین نیرویی در خلاف جهت وارد می‌سازد. ولی نیروی شما سبب تغییر شکلی خیلی جزئی در تیر می‌شود که با چشم محسوس نیست و اسبابهایی ساخته شده است که این تغییر شکل را به خوبی آشکار می‌سازد.

اقسام نیرو

اینکه در نظر بگیرید که شما می‌خواهید ماعیجه‌های بازوی خود را ورزش دهید. این کار را با اسباب مخصوص فنری شروع می‌کنید که در شکل ۲-۴ نشان داده شده است. دسته‌های اسباب را می‌



شکل ۲-۴- دو نیرو که مساوی و در خلاف جهت یکدیگرند

گیرید وار دوطرف درخلاف جهت یکدیگر می‌کشید. دست نیروی بزرگی به دسته وارد می‌سازد ولی فنریز نیرویی درخلاف جهت نیروی دست اعمال می‌کند که می‌خواهد آن را به حال اول خود برگرداند و هنگامی که نیروی برگرداننده فنر با نیروی دست برابر شد اسباب به حال تعادل می‌ماند.

جامعات به طوری در مقابل تغییر شکل مقاومت می‌کند و می‌خواهند به شکلی که پیش از وارد شدن نیرو داشتند برگردند. این گونه نیروهای برگرداننده مقاوم با نیروی کشسانی (الاستیک) گویند. نیروی کشسانی اغلب در نظر اول ظاهر نمی‌شود: اگر به دیوار آجری تکیه کنید دیوار در مقابل نیروی شما مقاومت می‌کند و شما به حال تعادل می‌مانید.

دیوار به این علت نیرو وارد می‌سازد که در مقابل نیروی فشار شما در آن تغییر شکل حاصل می‌شود. هر چه شما بیشتر دیوار را برانید تغییر شکل در آن بیشتر و نیروی برگرداننده کشسانی آن بزرگتر می‌گردد. برای دیوار یک نیروی حدکشسانی وجود دارد و یک بولدوزر می‌تواند بیش از آن را بردیوار وارد سازد. نیروی کشسانی را می‌توانیم برای شناسایی نیروهای دیگر به کار بریم. اگر سنگی را مطابق شکل ۳-۴ به انتهای فنری بیابریزیم فنر قدری کشیده می‌شود و سنگ به حال تعادل می‌ایستد و تا وقتی که فنر کشیده می‌شود، نیروی کشسانی رو به بالا وارد می‌آورد. هر جسمی که به فنری آویزان شود آن را به طرف پایین می‌کشد. تمام اجسامی که به این ترتیب آزمایش می‌شوند به طرف زمین کشیده می‌شوند. اکنون می‌دانید نیرویی که آنها را به طرف زمین می‌کشد نیروی جاذبه زمین نامیده می‌شود. برای هر جسم اندازه این نیروی جاذبه را سنگینی یا وزن آن جسم گویند. اگر جسمی

بدین علت توسط تیر تحمل می‌شود که سبب تغییر شکل در آن می‌گردد.

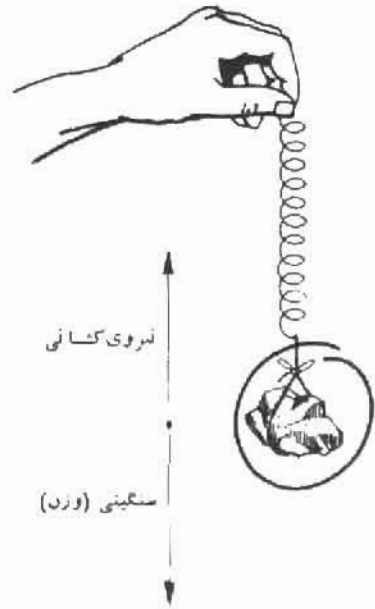
پرش ۴-۱- اسبابی را نام ببرید که هم، وزن شما را تحمل کند و هم اندازه نیروی کشسانی را نشان دهد.

چنانچه سنگ را که به فنر بسته است روی سطح میز یا کف اتاق بگذاریم و آن را با سرعت ثابت بکشیم باز هم فنر کشیده می‌شود (شکل ۴-۴)، اما سنگ ضمن حرکت در حال تعادل است، زیرا سرعتش تغییر نمی‌کند، بنابراین نیرویی در خلاف جهت حرکت سنگ وجود دارد که مانع حرکت آن می‌شود و با نیروی کشسانی فنر برابر است.

این نیرو و وزن سنگ نیست زیرا وزن در امتداد شاقولی رو به پایین اثر می‌کند ولی این نیرو افقی است و نیروی اصطکاک نامیده می‌شود.

نیروی اصطکاک هنگامی آشکار می‌شود که یک جسم بر روی جسم دیگر حرکت کند.

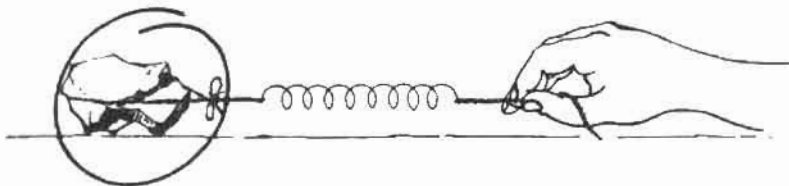
اینک به جای سنگ یک قطعه چوب به انتهای فنر می‌بندیم و دستگاه چوب و فنر را در آب فرو می‌بریم چوب می‌خواهد به روی آب بیاید ولی نیروی کشسانی فنر مانع می‌شود و چوب به حال تعادل می‌ایستد (شکل ۴-۵). علت این است که آب بر چوب



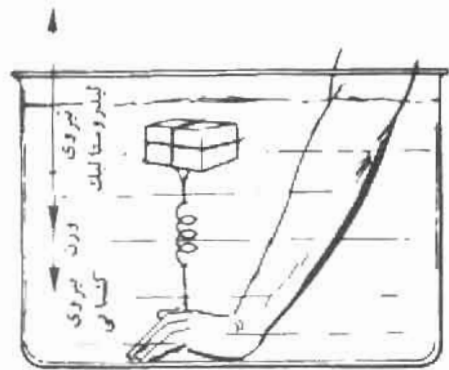
شکل ۴-۳- نیروی کشسانی فنر برابر نیروی جاذبه وارد بر وزنه است

را روی میز قرار دهیم دست بطیر همین وضع را خواهیم داشت. وزن آن بر میز به طرف پایین تحمیل می‌شود و میز تغییر شکل می‌یابد. نیروی کشسانی میز سنگ را به طرف بالا می‌راند و هنگامی که این نیرو با وزن سنگ برابر شود تعادل برقرار می‌گردد. اگر جسم سبکی هم مانند پرروی تیر فولادی قرار گیرد وزن آن

نیروی کشسانی فنر برابر نیروی اصطکاک



شکل ۴-۴- نیروی کشسانی فنر برابر و مخالف جهت نیروی اصطکاک بین وزنه و سطح است.



شکل ۴-۵- نیروی نیروستاتیک

آن قدر کوچکند که با فویترین میکروسکوپیهای الکترونی هم دیده نمی‌شوند، اما می‌دانید که وجود دارند. درسالهای بعد خواهید آموخت که پدیده‌های بسیار پر پایه ساختمان مولکولی اجسام بررسی می‌شوند. مطالعه نیروی بین مواد روشن می‌سازد که مولکولها به هم نیرو وارد می‌سازند.

یکی از دلایل وجود این نیرو مقاومتی است که مواد جامد به هنگام تغییر حجم، هر چند به مقدار کم، از خود نشان می‌دهند. مثلاً می‌دانیم که یک میله فلزی در مقابل کشش یا تراکم مقاومت می‌کند. مایعات نیز در مقابل تراکم مقاومت می‌نمایند. وجود سه حالت متداول ماده، یعنی جامد و مایع و گاز نیز دلیل بر وجود نیروهای بین مولکولی است. در جامدات و مایعات نیروهای جاذبه میان مولکولها چندان زیاد است که آنها حجم خود را حفظ می‌کنند، علاوه بر این جامدات شکل خود را نیز حفظ می‌نمایند. ولی در گازها نیروهای جاذبه بین مولکولی کم است و در نتیجه مولکولهای آنها آزادانه به هر طرف حرکت می‌کنند. به یاد داشته باشید که نیروهای بین مولکولی فقط در فاصله‌های خیلی کوتاه (کمتر از مایلیونیم میلیمتر) اثر می‌کنند.

در دما و فشار معین و ثابت، حجم ویژه (یعنی حجم واحد جرم) یک جسم خالص همواره مقدار ثابت و معینی است و مولکولها در فواصل معین از یکدیگر قرار دارند. اگر مولکولها از این فاصله به هم نزدیکتر شوند نیروهای بین مولکولی دافعه می‌گردند و اگر مولکولها از هم دورتر شوند نیروهای بین آنها به صورت جاذبه ظاهر می‌شوند. نیروهای جاذبه بین دوپاره از یک جسم نیز ظاهر نمی‌شوند مگر در فاصله بسیار کم.

نیرو وارد می‌کند. نیروی آب بر تمام روبه‌های چوب وارد می‌شود ولی نیرویی که بر رویه پایینی به طرف بالا وارد می‌شود بیشتر از نیرویی است که بر رویه بالایی به طرف پایین وارد می‌گردد. این نیرو که از طرف همه مایعات بر روی سطحهای اجسامی که درون آنها قرار دارند وارد می‌شود نیروی نیدروستاتیک نامیده می‌شود. شما این نیرو را روی پرده گوش خود وقتی که به عقب آب فرو می‌روید حس می‌کنید.

در اینجا باید از دو نیروی دیگر نام ببریم که درباره آنها در جای خود بیشتر بحث می‌شود. این دو نیرو عبارتند از نیروی مغناطیسی و نیروی الکتریکی یعنی نیرویی که یک آهن‌ربا بیک قطعه آهن وارد می‌سازد و آنرا می‌ر باید با نیرویی که یک شانه وقتی که با پارچه پشمی مالش داده شود خرده‌های کاغذ را می‌رباید.

نیروهای بین مولکولی

اگر در شناخت نیروهایی چون نیروی کشسانی، نیروی اصطکاک و نیروهای نیدروستاتیک بیشتر کنجکاو و بررسی کنیم اطلاعات زیادتری درباره ساختمان ماده و درباره پدیده‌هایی که بین مولکولهای مواد رخ می‌دهد خواهیم یافت. مولکولها معمولاً

نیروهای پیوستگی

می‌دانید نیروی جاذبه‌ای که بین مولکولهای يك ماده خالص وجود دارد نیروی پیوستگی نامیده می‌شود. این نیرو بین دوپاره از يك جسم که به هم بسیار نزدیک باشد نیز ظاهر می‌شود. برای توضیح بیشتر به مثالهای زیر توجه کنید :

مثال ۱- اگر قطره مایمی را که مثلاً به نوك يك قطره چکان است به سطح آزاد مقداری از همان مایع که در ظرفی ریخته شده به آهستگی نزدیک کنیم وقتی فاصله آنها از سطح مایع کمتر از 0.01 میلیمتر بشود قطره به سرعت جذب مایع شده با آن یکی می‌شود.

مثال ۲- اگر دو صفحه کاملاً صیقلی فلزی یا شیشه‌ای را که خوب تمیز شده‌اند روی هم قرار دهیم تا به خوبی تماس حاصل کنند برای جدا کردن آنها از یکدیگر تلاش زیاد لازم است.

نیروهای چسبندگی

اگر نیروی جاذبه بین مولکولهای مواد مختلف و نامشابهی مانند کاغذ، خمیر و امثال آنها در نظر گرفته شود آن را نیروی چسبندگی می‌نامند. نیروی چسبندگی سبب می‌شود که مولکولهای يك ماده به مولکولهای مواد مختلف دیگر بچسبند. این نیروها در اصطلاح، چسباندن قطعات اجسام، نوشتن با قلم مداد روی کاغذ و با گچ روی تخته سیاه، بند شدن يك قطره آب به سر يك مبله شیشه‌ای یا به نوك قطره چکان و جز اینها دخالت دارند.

اندازه‌گیری نیرو

می‌خواهیم وسیله‌ای فراهم کنیم تا مفهوم اندازه نیرو را به ما بشناساند و در این مرحله روشی را برای

اندازه‌گیری نیرو انتخاب کنیم.

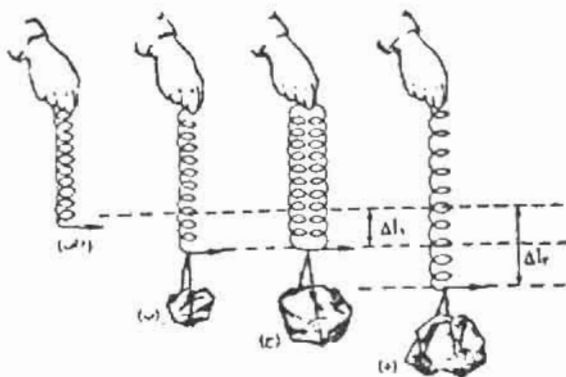
فتری را به طوری که در شکل ۴-۶-۱، نمایش داده شده است در راستای شاقولی می‌آویزیم و غبره‌ای به ته آن نصب می‌کنیم تا وضعیت پایین فتر را معین کند. هر گاه وزنه‌ای به ته آن بیاویزیم (شکل ۴-۷-۱) فتر کشیده می‌شود و تغییر شکل می‌دهد. این تغییر شکل به طوری که دیدیم سبب می‌شود که فتر نیرویی رو به بالا بر وزنه وارد سازد.

اینك فتر دیگری درست مانند فتر اول انتخاب می‌کنیم و دو فتر را پهلوئی هم می‌آویزیم.

پوشش ۴-۲- چگونه می‌توانیم مطمئن شویم که فتر دوم درست مانند فتر اول است ؟

سبب وزنه دیگری به انتهای هر دو فتر که آنها را به هم بسته‌ایم می‌آویزیم به طوری که افزایش طول دو فتر باهم به اندازه طول فتر اول بشود (شکل ۴-۷-۲). در این صورت دو فتر باهم باید دو برابر نیروی فتر را به تنهایی تحمل کنند. سنگینی این وزنه دو برابر سنگینی وزنه اولی است و هر يك از فترها درست همان نیروی يك فتر را در آزمایش اول تحمل می‌کند.

بدین ترتیب نیرو را کمبئی می‌یابیم که دو مقدار



شکل ۴-۹- فتر برای اندازه‌گیری نیروها مدرج می‌شود

آن باهم جمع می‌شود.

می‌کند نشان می‌دهد. نیروسنجی را که بدین ترتیب ساخته‌ایم اگر فقط آن را در آزمایشگاه فیزیک خودمان به کار می‌بردیم فاصله‌های بین درجه‌ها را هر چه انتخاب می‌کردیم اهمیتی نداشت ولی اگر بخواهیم نتیجه‌های اندازه‌گیری ما با آنچه دیگران در جاهای دیگر با نیروسنج‌های خود به دست می‌آورند هماهنگی داشته باشد باید نیروسنج خود را با نظارت اداره بین‌المللی اسناداردها بر اساس واحد بین‌المللی نیرو و درجه‌بندی کنیم.

واحد بین‌المللی نیرو نیوتن (با علامت اختصاری N) نام دارد. تعریف نیوتن را بر اساس حرکت خواهد شد شناخت. در اینجا یادآور می‌شویم که یک نیوتن معادل $\frac{1}{9.80665}$ برابر کششی است که به وزن یک کیلوگرم می‌نمونه در سطح تراز دریا و در عرض جغرافیایی ۴۵ درجه به فتر نیروسنج می‌دهد. کیلوگرم نیرو واحد فرعی دیگری برای سنجش نیروست که با علامت اختصاری kgf نشان داده می‌شود.

$$1 \text{ kgf} = 9.80665 \text{ N} \approx 9.8 \text{ N}$$

(علامت \approx تلفظ می‌شود؛ تقریباً برابر است با)

مقدارهای جاذبه

دیدیم که نیروسنج را می‌توانیم برای شناخت نیروی جاذبه به کار ببریم و برای این منظور کافی است وزنه‌هایی را به آن بیاویزیم و نیروی را که فتر در برابر وزن آنها اعمال می‌کند اندازه بگیریم. ما همواره وزنه‌های مختلفی در اختیار داریم که جرم آنها به وسیله ترازو با مقیاس با جرم وزنه نمونه

در مرحله بعد وزن دومی را به یک فتر آویزان کرده و افزایش طول این فتر را می‌کنیم. می‌بینیم کشش فتر دو برابر موقعی است که با وزنه اول حاصل شده بود (شکل ۴-۷). به عبارت دیگر وقتی نیروی کشش فتر دو برابر شود، افزایش طول آن نیز دو برابر می‌شود به نظر می‌رسد که افزایش طول فتر متناسب با نیروی است که آن را می‌کشد

پرش ۴-۴ - چگونه می‌توان پی برد که این

تناسب حقیقت دارد ؟

نمایند اگر نیرویی که فتر اعمال می‌کند متناسب با میزان کشیدگی آن باشد می‌توان معادله‌ای نوشت که به کمک آن با اندازه‌گیری میزان افزایش طول فتر نیروی وارد بر آن حساب شود.

یعنی:

$$F = k \Delta l$$

(۴-۱) افزایش طول فتر نیرو

k مقدار ثابتی است که از ویژگی‌های ساختمانی فتر است و ثابت در نامیده می‌شود. هر چه فتر قوی‌تر باشد ثابت فتر بزرگتر است، یعنی در صورتی که فتر محکم و قوی باشد نیرویی بزرگ سبب افزایش طول کوچکی در آن می‌گردد.

پرش ۴-۴ - حدود کاربرد معادله ۴-۱ چیست ؟

اکنون ما به مرحله‌ای رسیده‌ایم که اسبابی برای اندازه‌گیری نیرو بسازیم: فتر را در غلافی قرار می‌دهیم و عقربه را آزاد می‌گذاریم تا مقابل یک صفحه حرکت کند و صفحه را به قسمتهای مساوی درجه‌بندی می‌نماییم. بدین ترتیب یک نیروسنج خواهیم داشت که اندازه نیرویی را که فتر اعمال

(وزنه استاندارد) مشخص شده است. اگر دو کیلوگرم به انتهای نیروسنج آویزان کنیم کشیدگی فنر دو برابر حالتی خواهد بود که یک کیلوگرم آویزان کرده‌ایم و بنابراین وزن $19/6 = 2 \times 9/8$ نیوتن را نشان می‌دهد. به نظر می‌رسد رابطه‌ای بین جرم و نیروی وزن برقرار باشد.

پرسش ۴-۵ - چگونه می‌توان این رابطه را تحقیق کرد؟

با استفاده از این رابطه می‌توانیم نیروسنج خود را برای تعیین جرم یک جسم نبر به کار ببریم؛ کافی است جسم را به نیروسنج بیاویزیم و وزن آن را معین کنیم و این وزن را در ضریب ثابتی ضرب نماییم. ولی اگر نیروسنج خود را از مکانی که آن را درجه بندی کرده‌ایم به مکانی دیگر ببریم وزن جسم تغییر می‌کند یعنی دیگر نمی‌توانیم ضریب ثابت پیشین را در تعیین جرم جسم به کار ببریم. مثلاً جرم یک کیلوگرم در سطح کره ماه به جای $9/8$ نیوتن فقط $1/67$ نیوتن وزن دارد. بنابراین اگر بخواهیم نیروسنج را در کره ماه برای تعیین جرم یک جسم به کار ببریم باید آنرا در سطح همان کره مدرج کنیم یعنی ضریب ثابت را برای کره ماه تعیین نماییم. بنابراین وزن هر جسم متناسب با جرم آن است ولی ضریب این نسبت در مکانهای مختلف متفاوت است. این خاصیت را به صورت رابطه ریاضی بنویسیم:

$$\text{جرم جسم} \propto \text{وزن جسم}$$

(که بیان می‌شود وزن جسم متناسب است با جرم جسم). اگر وزن را به w و جرم را به m نمایش دهیم می‌توانیم بنویسیم:

g ضریب ثابتی است که بستگی به مکان دارد و شدت جاذبه نامیده می‌شود و بر حسب $\frac{\text{نیوتن}}{\text{کیلوگرم}}$ (N/kg) بیان می‌گردد. زیرا w بر حسب نیوتن و m بر حسب کیلوگرم است. اندازه g در روی سطح زمین در حدود $9/8 \frac{\text{نیوتن}}{\text{کیلوگرم}}$ است.

پرسش ۴-۶ - اگر وزن یک نفر از شما 490 نیوتن باشد جرم او چند کیلوگرم است؟ وزن او در کره ماه که شدت جاذبه $1/67 \frac{\text{نیوتن}}{\text{کیلوگرم}}$ است چند نیوتن خواهد بود؟

اگر در نظر بگیریم که هر کیلوگرم نیرو در سطح زمین تقریباً برابر $9/8$ نیوتن است می‌توانیم بگوییم که یک کیلوگرم نیرو عبارت است از نیرویی که از طرف زمین بر جرم یک کیلوگرم وارد می‌شود. مثلاً جسمی که جرمش 5 کیلوگرم است در سطح زمین ورنش نیز 5 کیلوگرم نیروست. وزن جسم نه تنها بستگی به جرم آن دارد بلکه بستگی به مکانی که جسم در آنجا قرار می‌گیرد نیز خواهد داشت و چون در هر نقطه از اطراف زمین نیروی جاذبه بر جسم اثر می‌کند می‌گوییم اطراف زمین میدان جاذبه وجود دارد. شدت میدان جاذبه زمین از مکانی به مکان دیگر تغییر می‌کند و هر چه از سطح تراز دریا بالاتر روم مقدار آن کمتر می‌شود.

در اطراف سایر اجرام آسمانی نیز میدان جاذبه وجود دارد و میدانهای جاذبه آنها ممکن است شدیدتر یا ضعیفتر از میدان جاذبه زمین باشد.

در یک مکان جسمی که جرمش بیشتر است ورنش نیز بیشتر است و نسبت ورن هر جسم به جرم آن در هر نقطه از فضا مقدار ثابتی است.

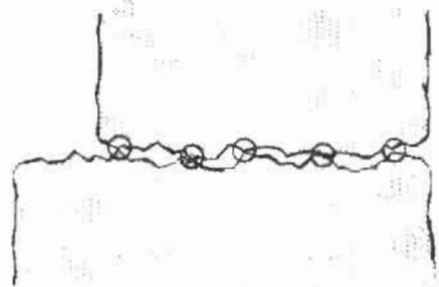
$$w = g \cdot m$$

(۴-۲)

نیروی اصطکاک

هر گاه سطح جسمی در حال حرکت، با سطح جسم دیگر در تماس باشد نیروی اصطکاک ایجاد می‌شود. نیروی اصطکاک همواره سبب کند شدن حرکت می‌گردد، بنابراین نیرویی است که در خلاف جهت حرکت جسم اثر می‌کند.

در سالهای اخیر تحقیقات زیادی درباره شناخت ماهیت نیروی اصطکاک صورت گرفته است و به این نتیجه رسیده‌اند که در پیدایش این نیرو چند عامل مؤثر است. یکی از این عواملها چگونگی سطح تماس دو جسم است. اگر این سطح ناهموار باشد در روی آن پستیها و بلندیهای ریزی وجود دارد (مطابق شکل ۷-۴) که هنگام لغزیدن یک جسم بر روی جسم دیگر این ناهمواریها درهم گیر می‌کنند و اصطکاک زیاد می‌شود. در نتیجه یک مقدار از ماده ساییده می‌شود یعنی مقدار کمی از ماده هر جسم روی سطح دیگری باقی می‌ماند. از طرف دیگر اگر سطح تماس خیلی صیقلی باشد به طوری که مولکولهای زیادی با هم تماس داشته باشند، نیروی اصطکاک با هم خیلی زیاد می‌شود زیرا به علت



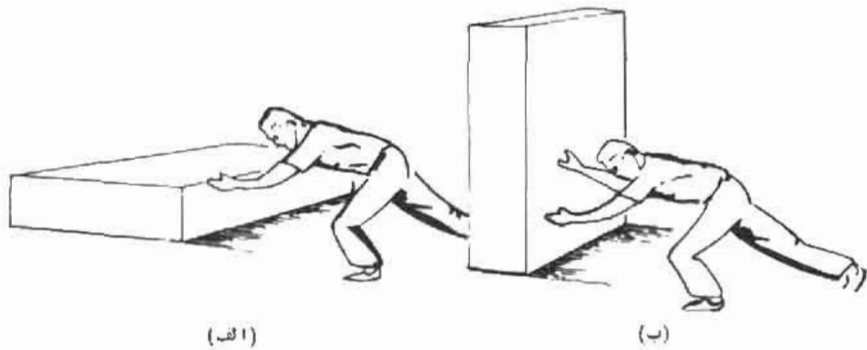
شکل ۷-۴- ناهمواریهای خیلی ریز در سطح تماس دو جسم عامل نیروی اصطکاک است.

به هم نزدیک شدن مولکولها نیروهای جاذبه بین مولکولی افزایش می‌یابد و نیرویی لازم است تا مولکولها را در نقطه تماس از یکدیگر جدا کند. در این حالت مجموع این نیروهای جاذبه بین مولکولی سبب پیدایش نیروی اصطکاک می‌گردد. مثلاً دو قطعه شیشه را که خوب صیقلی شده باشند به زحمت می‌توان روی هم کشید. نیروی اصطکاک در سطحهایی که به طور متوسط صیقلی شده باشند کمتر است.

پرش ۴-۷ - حرارت در نیروی اصطکاک را کم می‌کند؟

یکی دیگر از عاملهای مؤثر در افزایش نیروی اصطکاک نیرویی است که به طور عمودی بر سطح تماس دو جسم وارد می‌شود. مثلاً اگر جسمی روی سطح افقی قرار گرفته باشد این نیروی عمودی وزن جسم است. نیروی عمودی وقتی که بزرگ باشد مواد را بر سطح دو جسم می‌فشارد! در نتیجه نقاط زیادتری با هم تماس می‌یابند و بر میزان اصطکاک افزوده می‌شود. اکنون پی می‌برید که چرا مثلاً یک صندوق ۲۵ کیلو گرمی را می‌توانید راحت‌تر از یک صندوق ۱۰۰ کیلو گرمی روی سطح افقی بکشید. این اثر را می‌توانید با آزمایش دیگر نشان دهید. کتابی را روی دیوار نگه دارید و آن را با دست خود به طور افقی به دیوار فشار دهید. کتاب نمی‌افتد. چه نیرویی آنرا نگه می‌دارد؟ نیرویی که شما وارد می‌سازید افقی است ولی نیرویی که وزن کتاب را تحمل می‌کند و مانع افتادن آن می‌شود در امتداد شاقولی است و این همان نیروی اصطکاک است. اگر نیروی عمود بر دیوار را که به وسیله دست خود وارد می‌سازید رفته رفته کاهش دهید نیروی اصطکاک نیز کاهش می‌یابد و کتاب می‌افتد.

چون نیروی اصطکاک بستگی به تعداد نقطه‌های



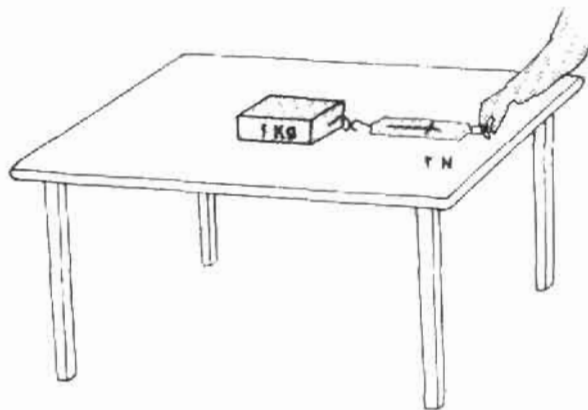
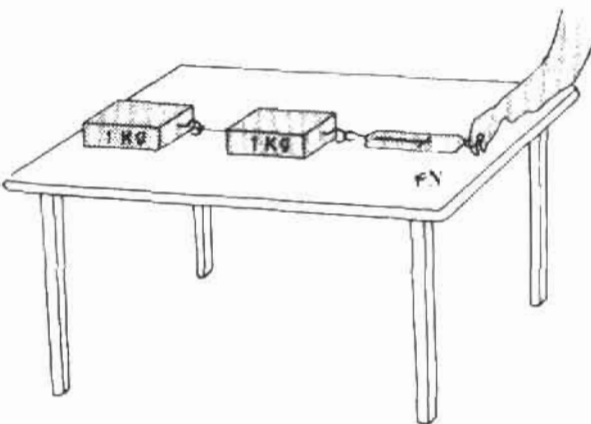
شکل ۸-۴ - اندازه نیروی اصطکاک در (الف) برابر اندازه آن در (ب) است

به طوری که تعداد کل نقطه‌های تماس در هر سطحی که صندوق روی زمین قرار گیرد برابر است. آزمایش‌های دقیق‌تر نشان می‌دهد که نیروی اصطکاک متناسب با نیروی عمودی است و بستگی به چگونگی پخش نیرو بر روی سطح تماس ندارد. به عبارت دیگر،

$$F_f = \mu F_N \quad (3-4)$$

در این معادله F_f نیروی اصطکاک و F_N نیروی

تماس دارد ممکن است تصور کنید که صندوق را از سطح کوچکتر آن راحت‌تر می‌توانید روی کف اتاق بکشید (شکل ۸-۴) اما این تصور درست نیست. وقتی که صندوق را از سطح کوچک‌ترش روی زمین می‌گذارید نیرویی که بر واحد سطح تماس وارد می‌شود بیشتر از حالتی است که آن را از سطح بزرگ‌ترش روی زمین بگذارید. در نتیجه نیروی فشارنده افزایش می‌یابد و تعداد نقطه‌های تماس در واحد سطح زیادتر می‌شود.

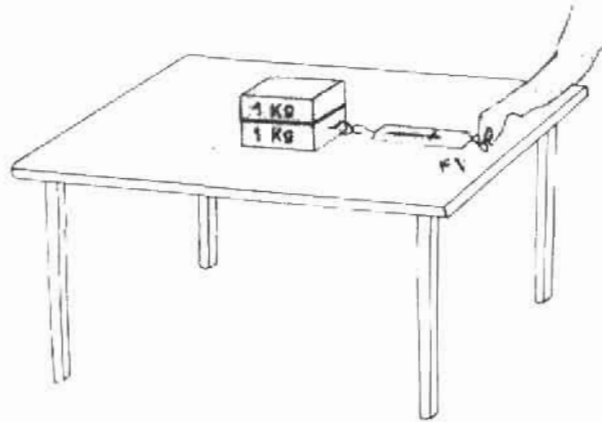


شکل ۹-۴ - ب - دو توده ۱ کیلوگرمی یکسان که سطح هر دو یکی است با نیروی افقی ۳ نیوتن با سرعت ثابت کشیده می‌شوند. نیروی اصطکاک چند نیوتن است؟

شکل ۹-۴ - الف - وزنه ۱ کیلوگرمی با سرعت ثابت به طور افقی با نیروی ثابت ۳ نیوتن روی سطح افقی منز کشیده می‌شود. نیروی اصطکاک چند نیوتن است؟

عمودی و μ (حرف یونانی با تلفظ mu) مقدار ثابتی است که بستگی به چگونگی سطح تماس و جنس جسم دارد و ضریب اصطکاک نامیده می‌شود.

پرش ۴-۸ - اگر صندوق ۳۵ کیلوگرمی با نیروی افقی ۵۰ نیوتن و با سرعت ثابت روی کف اتاق کشیده شود ضریب اصطکاک چه اندازه است؟

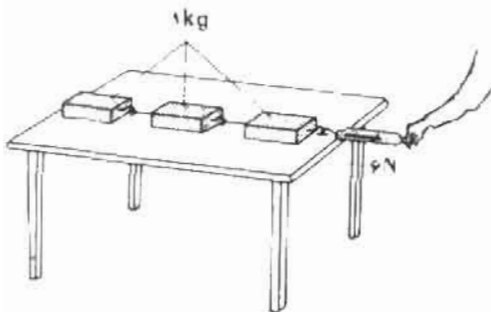


شکل ۴-۹ - ج - در اینجا نیز برای این که ورقه‌ها با سرعت ثابت حرکت کنند نیروی ۴ نیوتن لازم است. ضریب اصطکاک را حساب کنید.

ضریب اصطکاک در مواد مختلف بسیار متفاوت است. در زیر میزان تقریبی چند ضریب اصطکاک برای نمونه درج شده است:

- چوب روی چوب (خشک) ۰/۴
- فلز روی فلز (خشک) ۰/۱۵
- فلز روی فلز (گریسکاری شده) ۰/۰۱ تا ۰/۰۵
- لاستیک اتومبیل روی آسفالت خشک ۰/۵ تا ۰/۷
- لاستیک اتومبیل روی جاده بخیندان ۰/۱

در اینجا لازم است باد آور شویم که سرعت عمل چندان مؤثری در اصطکاک نیست. هنگامی که جسم ساکن است نیروی زیادی لازم است تا به راه افتد ولی همین که به راه افتاد و کمی سرعت گرفت نیروی اصطکاک کم می‌شود و با افزایش سرعت تغییر محسوسی نمی‌کند.



شکل ۴-۹ - د - روی سطح همین میز ۶ نیوتن لازم است تا سه وزنه یک کیلوگرمی در هر دو حالت با سرعت ثابت حرکت کنند.

اصطکاک در پاره‌ای از جاها لازم و در پاره‌ای از جاهای دیگر مانع و مزاحم است

۱- اصطکاک بین کف کفشهای ما و زمین هنگام راه رفتن و دویدن باعث مانع شدن لازم است. در کارخانه‌ها ماشینهایی هستند که به وسیله چرخ و تسمه توسط موتورها به حرکت درمی‌آیند. اگر اصطکاک بین تسمه و چرخ به اندازه کافی نباشد تسمه روی چرخ لیز می‌خورد و چرخ نمی‌چرخد.

پرسش ۴-۹ - چرا هنگامی که هوا سارانی است نرم‌تر اتومبیلها خوب نمی‌گیرد؟

۲- اصطکاک در بیشتر ماشینها عامل مزاحمی است زیرا مقداری از انرژی ماشین را جذب می‌کند و قطعه‌هایی از آن را که بر روی هم می‌افزند فرسوده می‌سازد. برای کاستن نیروی اصطکاک بین این قطعه‌ها یک لایه روغن وارد می‌کنند. مثلاً در موتور اتومبیل روغن به‌طور دائم بین سطوحهای پیستون و استوانه که در تماس هستند با فشار وارد می‌شود.

پرسش ۴-۱۰ - اگر روغن بین سطوحهای تماس استوانه و پیستون موتور اتومبیل وارد نشود چه خواهد شد؟

هوا به جای روغن

در سال ۱۸۵۶ میلادی دانشمند فرانسوی

گوستاو هیرن^۱ به این فکر افتاد که هوا را به جای روغن برای جلوگیری از اصطکاک به کاربرد.

ولی این فکر پس از گذشت تقریباً یک قرن مورد استفاده قرار گرفت. در سالهای اخیر کاربرد هوا به جای روغن در ابزارهای ماشینهای به‌ویژه ماشین سنباده‌زن بسیار موفقیت‌آمیز بوده است. در این گونه ماشینها هوای متراکم از اطراف محور آنها با فشار خارج می‌شود و برخلاف روغن که تراکم ناپذیر است، یک بالش گسسان به دور محور چرخ تشکیل می‌دهد و سبب می‌شود که محور چرخ به هنگام چرخیدن در میان این بالش قرار گیرد و با پایه تماس نداشته باشد. بدین ترتیب اصطکاک فلز با فلز به کلی حذف می‌شود.

گردد و گرما تولید نمی‌شود. علاوه بر این خارج شدن هوا مانع وارد شدن گرد و غبار حاصل از سنگ سنباده به اطراف محور می‌شود. در چند سال اخیر کاربرد هوا برای جلوگیری از اصطکاک توسعه بیشتری یافته است. مثلاً در قایقهای سریع^۲ که روی آب یا خشکی حرکت می‌کنند، بالش از هوای متراکم بین آب و قایق یا خشکی و قایق قرار می‌گیرد که مانع تماس کامل آن با سطح آب یا زمین می‌شود. شکل (۴-۱۰) نخستین نمونه آزمایشی یک واگن بدون چرخ را نمایش می‌دهد که به سال ۱۹۶۶ میلادی بر روی ریلی به شکل «۱» بر بالش از هوای متراکم که توسط پمپهای قوی بین واگن و ریل تولید می‌شود با سرعت ۱۳۵ کیلومتر در ساعت به راه افتاده است. در نمونه‌های بعدی که مجهز به موتور جت بوده‌اند

۱- Gustave Hirn

۲- Hover craft



شکل ۱۵-۴

آن قرار می‌گیرد نیرو وارد می‌سازد. در اینجا می-
خواهیم چگونگی این نیرو را بیشتر بشناسیم . می-
دانیم ماده به‌طور معمول به سه صورت جامد و مایع و
گاز یافت می‌شود . در ماده جامد مولکولها اطراف
وضع پایدار خود دارای حرکت ارتعاشی خفیفی هستند
که علت آن وجود نیروهای جاذبه و دافعه بین

سرعت حرکت به چهارصد کیلومتر در ساعت رسیده
ست .

نیروی تبادروستاتیک

پیش از این دیدیم که مایع بر جسمی که درون

مولکولهاست. جامدهای اقمی دارای ساختمان بلوری هستند که آنها با نظم و ویژه‌ای در آن قرار گرفته‌اند. پاده‌ای از مواد، در ظاهر به صورت جامد ولی در حقیقت مایعهای بسیار چسبناکی هستند؛ قیر مثال خوبی از این گونه مواد است. هرگاه مقداری قیر را در قیفی قرار دهیم با حرکت بسیار کند پس از مدت طولانی که ممکن است چند صد سال طول بکشد در آن جریان می‌یابد.

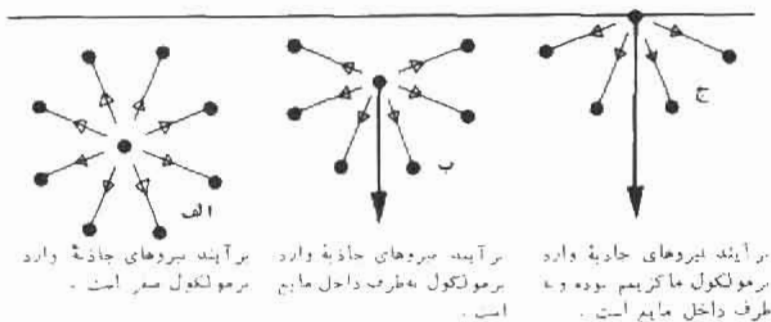
در مایعها، مولکولها نیز دارای حرکت ارتعاشی هستند، با این تفاوت که حرکت آنها آزادتر است یعنی هر مولکول می‌تواند آزادانه از میان مولکولهای دیگر بگذرد و جای خود را عوض کند. به عبارت دیگر هر مولکول اطراف یک وضع تعادل ناپایدار و زودگذر مرتعش می‌گردد. این خاصیت سبب می‌شود که مایع همواره به شکل ظرف خود درآید.

هر مولکول مایع مولکولهای دور و بر خود را جذب می‌کند و می‌دانیم وقتی که فاصله بین مولکولها زیاد شود نیروهای جاذبه خیلی کوچک می‌شوند به طوری که اگر فاصله دو مولکول به حد معینی برسد نیروی جاذبه بین آن دو ناچیز می‌گردد. این فاصله

را شعاع کره جاذبه مولکولی می‌نامند. برای هر مولکول که درون مایع قرار دارد سرآیند نیروهای جاذبه مولکولی در هر لحظه صفر است (شکل ۴-۱۱ الف) ولی برای مولکولی که خیلی نزدیک به سطح آزاد مایع است برآیند این نیروها دیگر صفر نبوده و به طرف داخل مایع است زیرا نیروهایی که مولکول را به درون مایع می‌کشند بیش از نیروهایی هستند که آن را به طرف سطح مایع می‌کشند (شکل ۴-۱۱ ب).

برای مولکولی که در سطح آزاد مایع است برآیند این نیروها بزرگترین مقدار خود را دارد (شکل ۴-۱۱ ج). در نتیجه مولکولی که رو به سطح مایع به طرف بالا حرکت می‌کند نمی‌تواند از این سطح فرار کند و به طرف پایین کشیده می‌شود. این خاصیت برای مایع سطح آزادی به وجود می‌آورد که گازها فاقد آن هستند. در مایع نیز مولکولهای سریع از سطح آزاد مایع فرار می‌کنند. در این صورت می‌گوییم مایع بخار می‌شود.

پوش ۴-۱۱ - به نظر شما اثر سطح مایع بر روی مولکولها تا چه عمقی از سطح آزاد مایع وجود دارد؟



الف - برآیند نیروهای جاذبه دارد
ب - برآیند نیروهای جاذبه دارد
ج - برآیند نیروهای جاذبه دارد

شکل ۴-۱۱ - نمایش نیروهایی که بزرگ مولکول در مایع وارد می‌شوند

در گازها حرکت مولکولها از مایعها هم آزادتر است. نیروهای پیوستگی بین مولکولهای گاز معمولاً ناچیز هستند و در نتیجه گازها همواره تمایل به انبساط دارند و مولکولهای آنها به طور نامحدود گسترده می‌شوند و تمام فضای را که در آن قرار گرفته‌اند اشغال می‌کنند.

سطح آب اندکی فرو رفته است (شکل ۴-۱۲)

پرش ۴-۱۲ - چرا وقتی که چند قطره محلول

ب-یون یا مایع ظرفشویی یا محلول بودر رختشویی به آب می‌افزایید شناور کردن سوزن بر سطح آب به سختی امکان‌پذیر است؟

پرش ۴-۱۳ - کسانی که در يك اردوگاه

ذیر چادر به سر می‌برند می‌دانند هنگامی که باران می‌بارد نباید روی سطح درونی چادر دست بمالند. چرا؟

خاصیت موئینگی

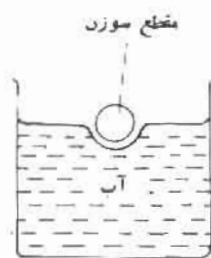
يك سرلولهٔ راست و بسیار باریک شیشه‌ای به نام لولهٔ موئین را که هر دو سر آن باز است در آب درون ظرفی قرار دهید. آب تا ارتفاع چند سانتیمتر در لوله بالا می‌آید. اگر آزمایش را با لوله‌هایی به قطرهای مختلف انجام دهید خواهید دید هر چه لوله باریکتر باشد آب در آن بیشتر بالا می‌آید (شکل ۴-۱۳). علت بالا رفتن آب در لولهٔ موئین آن است که نیروهای چسبندگی بین مولکولهای آب و شیشه بزرگتر از نیروهای پیوستگی بین مولکولهای آب است. آب در لوله آن قدر بالا می‌آید تا نیروی چسبندگی بین مولکولهای آب و شیشه با وزن ستون

نیروهای کشش سطحی

بین مولکولهایی که در سطح مایع قرار می‌گیرند نیروهای پیوستگی نیز وجود دارند. این نیروها مانع می‌شوند که مولکولهای سطح مایع خود به خود کنار بروند و این سطح شکاف بردارد. با آزمایشهای ذیر می‌توانید به وجود چنین نیروهایی پی ببرید.

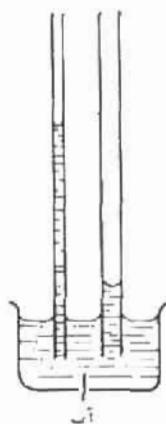
۱) يك تیغ ریش تراشی را به آرامی از طرف پهن آن به‌طور افقی روی سطح آب داخل يك ظرف بگذارید. تیغ بر سطح آب شناور می‌ماند.

۲) يك سوزن خیاطی کوچک را به آرامی روی سطح آب همی ظرف بگذارید و اگر این کار را



شکل ۴-۱۳ - سوزن نه‌سخت نیروی کشش سطحی در سطح آب شناور می‌ماند

جیوه قرار دهید سطح جیوه در لوله پایین تر از سطح آن در ظرف می‌ایستد (شکل ۴-۱۴). علاوه بر این سطح جیوه در لوله محذب است. به نظر می‌رسد که نیروهای پیوستگی بین مولکولهای جیوه بزرگتر از نیروهای چسبندگی بین این مولکولها و مولکولهای شیشه است.



شکل ۴-۱۴ - خاصیت مویبندی

به‌طور کلی مایههایی که مانند آب به بدنه ظرف می‌چسبند و آن را تر می‌کنند در لوله مویین بالا می‌آیند ولی مایههایی که مانند جیوه به بدنه ظرف نمی‌چسبند و آنرا تر نمی‌کنند در لوله پایین می‌روند. خاصیت مویبندی سبب می‌شود که مایهها در جسمهایی مانند کاغذ صافی، خاک، حوله حمام و حبه قند نفوذ کرده و پخش شوند.

خاصیت اسمز

هر گاه میوه‌های خشک مانند برگه هلو یا قبیسی را در آب بریزید پس از چند ساعت متورم می‌شوند و کمابیش شکل اولیه خود را باز می‌یابند زیرا آب از غشای سلولهای میوه به درون آنها نفوذ می‌کند. در همین مدت عصاره میوه نیز از غشای سلولها به بیرون تراوش می‌کند به‌طوری که رنگ و بو و مزه عصاره را در آب حسی می‌کنید ولی میزان نفوذ آب به درون سلولها خیلی بیشتر از تراوش عصاره به بیرون است. علت این است که غشای سلول از یک پوسته نیمه تراوا تشکیل یافته است که مولکولهای آب به درون آن نفوذ می‌کنند. این خاصیت را اسمز

آب در لوله برابر شود.

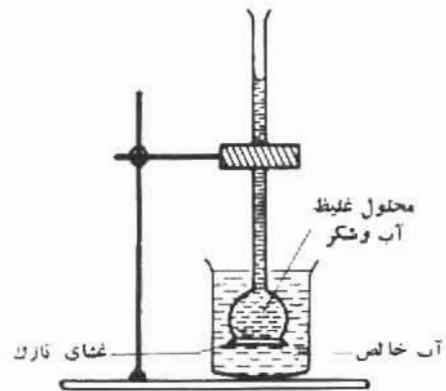
پوش ۴-۱۴ - هر گاه به آب چند قطره آب سایون یا محلول بودر رخنشویی بیفزایید و یک لوله مویین در آن بگذارید ارتفاع بالا آمدن آب در لوله کمتر از حالتی است که لوله را در آب خالص قرار می‌دهید. علت را توضیح دهید.



شکل ۴-۱۴ - جیوه

هر گاه یک سر لوله مویین را در ظرف محتوی

طوری که دهانه قیف رو به پایین باشد. خواهد دید که پس از مدت کوتاهی سطح آب در اسوله بالا می‌رود. پوست نازک غشای نیمه تراوی این است که مولکولهای آب به آسانی از آن می‌گذرند ولی مولکولهای بزرگ شکر نمی‌توانند به آسانی مولکولهای آب از آن بگذرند. بدیهی است مولکولهای آب از هر دو طرف از غشای پوستی عبور می‌کنند ولی به علت وجود مولکولهای شکر، عده مولکولهای آب در واحد حجم آب خالص بیشتر از عده مولکولهای آب در واحد حجم محلول شکر است. در نتیجه مولکولهای بیشتری از طرف آب خالص به طرف آب شکر می‌روند. خاصیت اسر در جذب غذا و دفع مواد زاید به وسیله سلولهای زنده حیوانی و گیاهی نقش مهمی دارد. مثلاً در جذب آب توسط ریشه گیاهان از زمین یا دفع مواد زاید از کلیوهای خون در کلیهها.



شکل ۴-۱۵. خاصیت اسر

گویند. برای نشان دادن خاصیت اسر می‌توانید آزمایش زیر را انجام دهید.
لوله باریک قیف‌داری را مطابق شکل ۴-۱۵ که قیف آن را از محلول غلیظ آب و شکر پر کرده و دهانه قیف را با ورقه خیلی نازک پوست محکم بسته‌اید درون ظرفی که محتوی آب خالص است قرار دهید به

خودتان آزمایش کنید

- ۱) یک قطعه نوار لاستیکی را به پایه‌ای بیاویزید. وزنه‌هایی یا جرمهای دانسته (مثلاً ۱۰ گرم، ۲۰ گرم، ۵۰ گرم، ۱۰۰ گرم و...) به آن بیاویزید و افزایش طول نوار را هر بار اندازه بگیرید. سپس روی کاغذ میلیمتری با شطرنجی دو محور یکی افقی و دیگری عمود بر آن بکشید و جرمها را روی محور افقی و افزایش طول را روی محور عمود بر آن بپسید و نمودار تغییرات طول نوار لاستیکی را با وزنه‌ها رسم کنید و بررسی نمایید. آیا نوار لاستیکی از رابطه $F = k \Delta l$ پیروی می‌کند؟
- ۲) همین آزمایش را با یک فنر مارپیچی نرم که به پایه‌ای کنار یک خط‌کش مدرج آویخته‌اید تکرار کنید و نمودار تغییرات طول فنر را بر حسب جرم وزنه‌ها نمایش دهید و ضریب ثابت فنر را حساب کنید.
- ۳) آزمایشهایی بطور آنچه در شکل‌های ۴-۱۴ درج شده با نیروسنج و وزنه‌های مناسب تکرار کنید. در صورتی که وزنه‌های مناسب در اختیار ندارید با آجرهای یکسان آزمایش کنید (قبلاً وزن هر آجر را معین نمایید). نیروی اصطکاک و ضریب اصطکاک را در هر آزمایش تعیین و مقایسه کنید.

به این پرسشها پاسخ دهید

- ۱) از کلمه نیرو چه مفهومی را استنباط می‌کنید ؟
- ۲) نیروهایی را که با آنها آشنا شده‌اید نام ببرید و درباره هر يك مختصری توضیح دهید .
- ۳) نیروی کشسانی در يك جسم جامد چه وقت ظاهر می‌شود ؟
- ۴) توضیح دهید که چگونه با يك فرما ریچ و ومایل دیگری که در اختیار دارید می‌توانید يك ترازوی فنردار بسازید و آنرا مدرج کنید به طوری که بتوانید وزن جسمی را با آن تعیین کنید.
- ۵) در يك آزمایش فیزی را به پایه‌ای آویزان کرده و وزنه‌های مختلفی را به ته آن آویخته‌ایم. فاصله انتهای پابینی فنر از سطح میز را به ازای هر وزنه با خط کش مدرج اندازه گرفته‌ایم و جدول زیر را به دست آورده‌ایم :

جرم وزنه‌های آویخته شده (بر حسب گرم) ۰ ۲۰ ۴۰ ۶۰ ۸۰ ۱۰۰ ۱۲۰

فاصله انتهای فنر از سطح میز (بر حسب سانتیمتر) ۴۰/۰ ۳۸/۹ ۳۸/۱ ۳۷/۱ ۳۵/۹ ۳۴/۹ ۳۴/۱

نموداری رسم کنید از روی کاغذ میلی‌متری یا شطرنجی که تغییرات طول فنر را بر حسب جرم وزنه‌های مختلفی که به آن آویزان شده است نشان دهد و درباره نموداری که رسم کرده‌اید بحث کنید (در چند سطر بنویسید) .

- ۶) نیروی اصطکاک در اثر چه عاملهایی به وجود می‌آید ؟
- ۷) چرا نیروی اصطکاک هنگام حرکت کوچکتر از نیروی اصطکاک در لحظه به راه افتادن جسم است ؟
- ۸) دو آزمایش ساده و مختلف را به اختصار شرح دهید که نمایشگر نیروی کشش سطحی در مایعها باشند .

۹) هر گاه مقدار کمی آب روی سطح يك قطعه موم مسطح یا روی يك تخته که سطح آن چرب است ریخته شود به صورت قطره‌هایی درم، آید ولی اگر روی سطح شیشه تمیزی ریخته شود به شکل لایه نازکی

گسترده می‌شود. این خاصیت را بر اساس نیروهای بین مولکولی توضیح دهید.
(۱۰) خاصیت اسمزی چیست ؟

این مسئله‌ها را حل کنید

- (۱) طول فنری $۶/۵$ سانتیمتر است. هر گاه وزنه $۵/۲۰۰$ کیلوگرمی به آن آویخته شود طولش به $۷/۵$ سانتیمتر می‌رسد :
- الف - ثابت این فنر چه اندازه است؟ (دستگاه SI را برای محاسبه به کار ببرید)
- ب - طول فنر به‌ازای چه وزنه‌ای به $۸/۷$ سانتیمتر می‌رسد؟
- (۲) وزن شخصی ۸۵ کیلوگرم نیروست:
- الف - جرم این شخص چند کیلوگرم است ؟
- ب - وزن او چند نیوتن است ؟
- ج - وزن او در سطح کره ماه چند نیوتن است ؟
- د - جرم او در کره ماه چند کیلوگرم است ؟
- (۳) صندوق ۵۰ کیلوگرمی با سرعت ثابت روی سطح افقی توسط نیروی ۸۰ نیوتن کشیده می‌شود . ضریب اصطکاک بین صندوق و سطح چه اندازه است؟ اگر صندوق دیگری مشابه صندوق اول روی آن قرار دهیم نیروی اصطکاک چه اندازه خواهد شد؟ آیا در ضریب اصطکاک تغییری حاصل خواهد شد؟ توضیح دهید.
- (۴) در آزمایشی برای تعیین ضریب اصطکاک ، یک قطعه چوب ۳ کیلوگرمی به وسیله فنری که ثابت فنر آن ۵۰N/m است روی سطح یک میز با سرعت ثابت کشیده می‌شود . اگر در این آزمایش ، هنگام کشیدن قطعه چوب ، طول فنر از $۶/۵$ سانتیمتر به $۱۵/۵$ سانتیمتر برسد ، ضریب اصطکاک چقدر است ؟

پاسخ به پرسشهای متن

- (۱-۴) باسکول فنری مخصوص تورین انسان .
که نیروی کشش از حد کشسانی می‌گذرد.
- (۲-۴) وزنه‌هایی به نوبت به هر یک از دو فنر می‌آویزیم . باید هر دو به‌ازای یک وزنه به یک اندازه افزایش طول پیدا کنند.

۳-۳) وزنه‌ای را انتخاب کنید که هر گاه به سه فنر آویخته شود کشش ممینی به آنها بدهد. سپس این وزنه را به یک فنر به تنهایی آویزان کنید. باید کشش آن ۳ برابر شود. این کار را با ۴ و ۵ فنر تکرار کنید.

۴-۴) کاملاً دقیق نیست. زیرا منحنی نمایش آن عملاً خط راست نیست. روی هم رفته تا حد کشسانی می‌توان آن‌را به کار برد. ثابت فنر با دما نیز تغییر می‌کند.

۵-۴) وزن جرم‌های مختلف را معین کنید و ببینید نسبت وزن به جرم ثابت است.

۶-۴) از رابطه $w = g \cdot m$ نتیجه می‌شود:

$$m = \frac{w}{g} = \frac{490}{9.8} = 50 \text{ kg}$$

$$w_L = g_L \times m = 1.67 \times 50 \approx 83.5 \text{ N} \quad \text{در سطح ماه:}$$

۷-۴) لایه نازک روغنی که بین دو سطح تماس قرار می‌گیرد مانع تماس مستقیم دو سطح می‌شود.

$$\mu = \frac{F_f}{F_N} = \frac{F_f}{w} = \frac{50 \text{ N}}{9.8 \times 25} \approx 0.15 \quad (8-4)$$

۹-۴) یک لایه نازک آب بین ترمز و رینگ چرخ قرار می‌گیرد و اصطکاک بین ترمز و چرخ را

کم می‌کند.

۱۰-۴) به علت افزایش دما، پیستون منبسط شده و در استوانه گیر می‌کند و موتور متوقف می‌شود.

۱۱-۴) به اندازه شعاع کره جاذبه مولکولی که در حدود قطر چند مولکول است.

۱۲-۴) نیروی کشش سطحی کم می‌شود.

۱۳-۴) زیرا لایه نازک و محافظی که از مولکولهای آب در اثر کشش سطحی در سطح داخلی چادر

تشکیل شده است می‌شکند و آب به داخل چادر نفوذ می‌کند.

۱۴-۴) نیروهای چسبندگی بین مولکولهای مایع و جدار لوله کم می‌شود.

پرسش ۵-۱ - نیروی ۱۲ نیوتن را که به طور افقی از چپ به طرف راست بر جسمی وارد می‌شود چگونه نمایش می‌دهید؟

نیروی برآیند

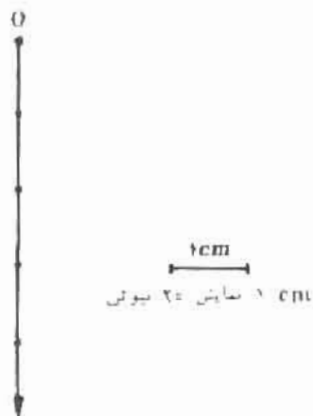
هر گاه دو یا چند نیرو با هم بر جسمی وارد شوند اغلب می‌توان نیرویی را یافت که درست همان اثر دو یا چند نیرو را بر جسم داشته باشد. چنین نیرویی برآیند آن نیروها نامیده می‌شود. مثلاً اگر دو پرس قابقی را به وسیله یک طناب با هم از روی آب به طرف ساحل بکشند و یکی نیروی ۲۰۰ نیوتن و دیگری نیروی ۳۰۰ نیوتن وارد سازد، برآیند این دو نیرو ۵۰۰ نیوتن است و یک مرد می‌تواند به تنهایی این دو نیرو را وارد سازد.

چگونه نیروی برآیند را تعیین می‌کنیم؟

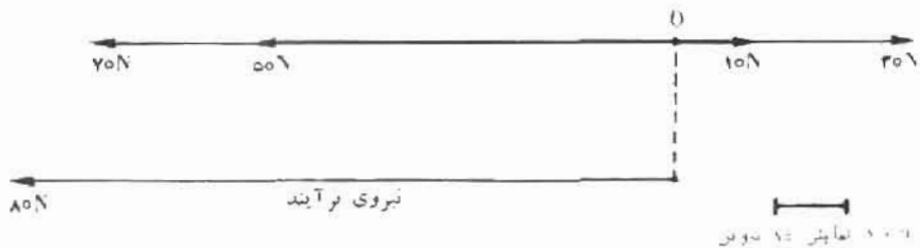
الف - برآیند نیروهایی که در امتداد یک خط راست بر جسمی وارد می‌شوند - برآیند نیروهایی که راستای آنها یکسان است به آسانی از به هم افزودن یا ازم کاستن آنها به دست می‌آید. مثلاً فرض می‌کنیم

نیرو کمیت برداری است

در بخش ۳ گفتیم که مسافت و تندی کمتهای برداری هستند زیرا هم دارای اندازه و هم دارای جهند. نیرو هم چون دارای اندازه و جهت است کمیت برداری است. هر کمیت برداری مانند نیرو را به یک بردار نمایش می‌دهند یعنی به یک پاره خط که دارای جهت و راستا و بزرگی است. طول پاره خط نماینده بزرگی کمیت است که به مقیاس انتخاب شده‌ای سنجیده می‌شود. مثلاً اگر هر سانتیمتر را نمایش نیروی ۲۰ نیوتن بگیریم، نیروی ۱۰۰ نیوتن را که در راستای قائم از بالا به طرف پایین بر نقطه O وارد می‌شود به شکل ۵-۱ نمایش می‌دهیم.



شکل ۵-۱ - نمایش نیرو به وسیله یک بردار



شکل ۳-۵- برآیند نیروهای هم‌راستا از به هم افزودن یا از هم کاستن آنها به دست می‌آید.

که نیروهای ۷۰ و ۵۰ و ۳۰ و ۱۰ بیوتن طبق شکل ۲-۵ بر نقطه O اثر می‌کنند.

مجموع نیروهایی که از چپ به راست اثر می‌کنند برابر است با $10 + 30 = 40 \text{ N}$

و مجموع نیروهایی که از راست به چپ اثر می‌کنند برابر است با $50 + 70 = 120 \text{ N}$

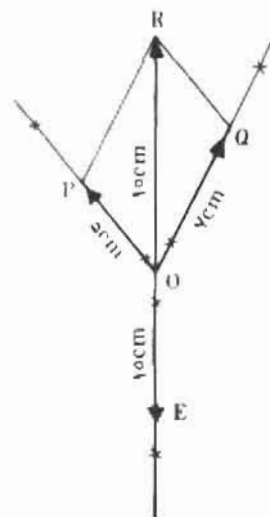
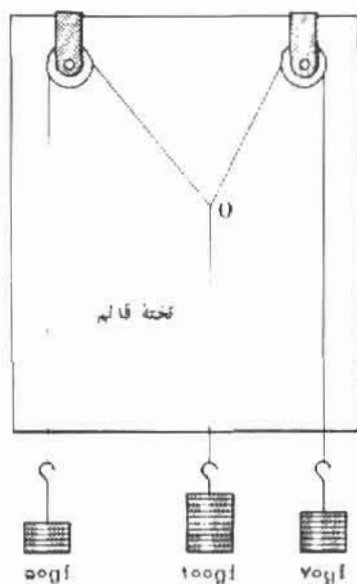
نیروی برآیند آنها $120 - 40 = 80$ نیوتن است که از راست به چپ اثر می‌کند.

پوشش ۴-۵ - اگر دو نیروی مساوی در یک

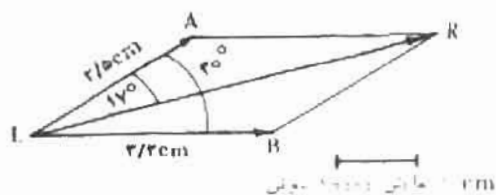
راستا ولی در دو جهت مخالف بر جسمی اثر کنند نیروی برآیند آنها چه اندازه است ؟

ب - برآیند نیروهایی که راستاهای متفاوت دارند -

شکل ۳-۵- تخته‌ای را نشان می‌دهد که دو قرقره سبک و در آن در بالای آن نصب شده و در سطح قائم قرار گرفته است. به دو سر نخ‌یک که از روی قرقره‌ها گذشته است دو وزنه ۵۰ گرمی و ۷۰ گرمی آویزان است و به انتهای نخ دیگری که در نقطه O به نخ اول بسته شده وزنه ۱۰۰ گرمی آویزان است و



شکل ۳-۵- روش متواری الامتلاخ برای تعیین برآیند دو نیروی متضام



شکل ۴-۵ - نمایش هندسی برآیند دو نیرو

به طرف لنگر گاه کشیده می‌شود. برآیند این دو نیرو به روش متوازی‌الاضلاع (شکل ۴-۵) تقریباً ۵۵۰۰۰ نیوتن به دست می‌آید.

پرش ۳-۵ - اندازه برآیند دو نیروی ۴۰ نیوتنی و ۳۰ نیوتنی که در دو راستای عمود بر هم در یک نقطه اثر می‌کنند چیست؟

تجزیه نیروها

دانستیم چگونه می‌توان نیروی رابه‌دست آورد که به‌تنهایی بتواند ارعده عمل دنیرو که بربك نقطه اثر می‌کنند برآید. ولی گاهی لازم می‌شود که يك نیرو را به دو نیروی دیگر در دو راستای مختلف تبدیل کنیم. این عمل را تجزیه يك نیرو به دو مؤلفه (همنه) گویند. در عمل اغلب نیرو به دو مؤلفه عمود بر هم تجزیه می‌شود. در قطر بگیرید که با يك ماشین چمن زنی می‌خواهید چمن بزنید و روی دسته آن نیروی R وارد می‌سازید (شکل ۵-۵). چگونه می‌توانید نیروی تعیین‌کننده این ماشین را به‌طرف جلو می‌رانند؟

اگر R را درحکم برآیند دو نیروی P (افقی) و Q (عمود بر P) بگیرید نیروی افقی P است که سبب حرکت ماشین به طرف جلو می‌شود و می‌توانید

نخها در وضعیتی قرار گرفته‌اند که نیروهای وارد بر نقطه O در حال تعادلند.

می‌توان با نوك يك ممداد به دقت روی ورقه کاغذی که با پونز یا بوار چسب بر تخته نصب شده اثر راستای نخها را نشان کرد و کاغذ را از روی تخته برداشت. اثر راستای نخها روی صفحه کاغذ، امتداد سه نیروی را که بر نقطه O وارد می‌شوند نشان می‌دهد. اگر هر سانتیمتر نمایش ۱۰ گرم نیرو باشد می‌توان از نقطه O سه بردار به طولهای ۵ cm - OP و ۷ cm - OQ و ۱۰ cm - OE را که نمایش سه نیروی ۵۰ و ۷۰ و ۱۰۰ گرم نیرو هستند رسم کرد. بدیهی است نیروی OE با دو نیروی OP و OQ روی هم تعادل دارد. بنا بر این برآیند دو نیروی OP و OQ باید برابر OE و در خلاف جهت آن باشد. برای نمایش این برآیند کافی است که بردار OR را به طول ۱۰ سانتیمتر در راستای OE و در خلاف جهت آن رسم کرد. اگر دو خط PR و QP را وصل کنیم شکل OPQR حاصل می‌شود و می‌توان بررسی کرد که این شکل متوازی‌الاضلاع است.

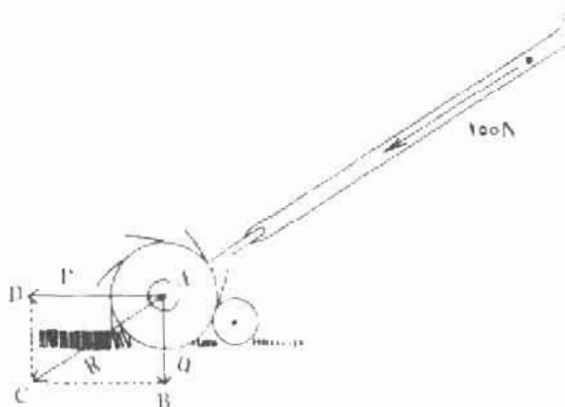
این آزمایش روش مهمی را برای تعیین برآیند دو نیروی متقاطع نشان می‌دهد که به نام «روش متوازی-الاضلاع نامیده می‌شود. بدین معنی که اگر دو نیروی وارد بر يك نقطه از لحاظ اندازه و داستا به دو ضلع يك متوازی‌الاضلاع نمایش داده شوند بیروی برآیند آنها را از لحاظ اندازه و داستا می‌توان با قطرائین متوازی‌الاضلاع که از همان نقطه رسم می‌شود نمایش داد.

مثال - يك كشتی بخار توسط دو یدكش با دو طناب L_A و L_B که باهم زاویه ۳۰ درجه می‌سازند با دو نیروی ۲۵۰۰۰ نیوتن و ۳۲۰۰۰ نیوتن

نیروهای موازی

در قطار بگیرید که دو پسر ، بادی را به میله ای آویخته اند و با خود می برند. میله در اثر سنگینی بار، به طرف پایین کشیده می شود و هر يك از دو پسر با دست خود نیروی رو به بالا بر سر میله وارد می سازد. در این مثال نیروها موازی هستند .

نیروهای موازی یا هم جهند با درجهت مخالف هم اثر می کنند . بزرگی برآیند دو نیروی موازی هم جهت برابر مجموع آن دو نیروست و بزرگی دو نیروی موازی که در خلاف جهت هم اثر می کنند برابر تفاضل آنهاست .



شکل ۵۵- تجربه نیروی که بر دسته يك ماشین چمن رسی وارد می شود.

اندازه آن را با رسم مستطیل ABCD به دست آورید.

برش ۵-۴- نیروی عمودی Q چه عملی انجام

می دهد ؟

برش ۵-۵- اگر نیروی R برابر ۱۵۰

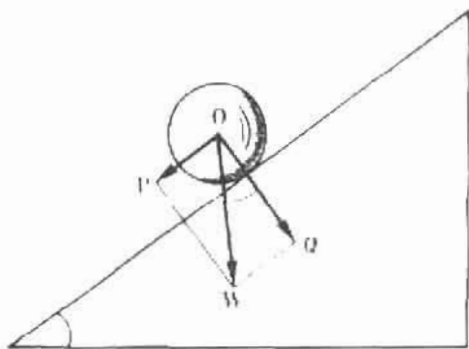
نیوتن باشد و راستای دسته ماشین با سطح افقی زمین زاویه ۶۰ درجه بسازد اندازه هر يك از مؤلفه های P و Q چیست ؟

مثال دیگر - يك گلوله تا وقتی که روی سطح

افقی قرار دارد نیروی ورنش مانع حرکت آن می- شود ولی اگر همین گلوله را روی سطح شیب داری بگذاریم در اثر وزن خود به طرف پایین سطح می غلند. در این مثال نیز، نیروی وزن گلوله که آن را به W سایش داده ایم و در راستای قائم است به دو مؤلفه P و Q تجزیه می شود. مؤلفه P که موازی با سطح شیب دار است سبب حرکت گلوله می شود و مؤلفه Q که عمود بر سطح شیب دار است گلوله را بر این سطح می فشارد (شکل ۵-۶) .

گشتاور يك نیرو

در مثال بالا اگر فاصله بار از دست دو پسر برابر نباشد چگونه می توانید نیروی را که بر دست هر يك از آن دو وارد می شود تعیین کنید؟ برای پاسخ



شکل ۶-۵- در روی سطح شیب دار نیروی وزن يك جسم (W) به دو مؤلفه عمود برهم تجزیه شده است.

دادن به این پرسش باید گشتاور نیرو را بشناسید بگذارید تا مسئله دیگری را مطرح کنیم :

یک میله محکم AB مطابق شکل ۵-۷ داریم که می‌تواند به دور محور یا تکیه‌گاه C مانند یک اهرم بچرخد. به انتهای A نیروی F، مثلاً برابر ۴۰ نیوتن و به انتهای B نیروی F' برابر ۲۰ نیوتن وارد می‌شوند. دو به پایین و دو به پایین و وارد می‌شوند. نیروی F' می‌خواهد میله را به دور تکیه‌گاه C در جهت حرکت عقربه‌ساعت بگرداند و نیروی F می‌خواهد آن را در خلاف جهت حرکت عقربه‌های ساعت بگرداند. چه عاملهایی در گشتن میله به دور تکیه‌گاه C مؤثرند؟ نیرو تنها عامل مؤثر در گرداندن میله به دور تکیه‌گاه خود نیست بلکه فاصله نیرو از تکیه‌گاه نیز در آن مؤثر است.

عامل مؤثر در گشتن یک جسم به دور یک محور «گشتاور نیرو» نامیده می‌شود و برابر است با حاصل ضرب نیرو در فاصله آن از محوری که جسم به دور آن می‌گردد. این فاصله را بازوی نیرو نیز می‌گویند.

مثلاً نیروی F' برابر ۲۰ نیوتن است که به انتهای بازوی BC در جهت حرکت عقربه‌های ساعت اثر می‌کند. اگر طول این بازو ۱/۲ متر باشد

اندازه گشتاور این نیرو نسبت به محور گردش میله (تکیه‌گاه C) برابر است با $24 = 1/2 \times 40$ نیوتن-متر (با علامت اختصاری N·m). نیروی F برابر ۴۰ نیوتن است که به انتهای بازوی AC در جهت مخالف حرکت عقربه‌های ساعت اثر می‌کند. اگر طول این بازو ۰/۶ متر باشد اندازه گشتاور این نیرو نسبت به محور گردش میله نیز برابر است با :

$$24 \text{ N}\cdot\text{m} = 0/6 \times 40$$

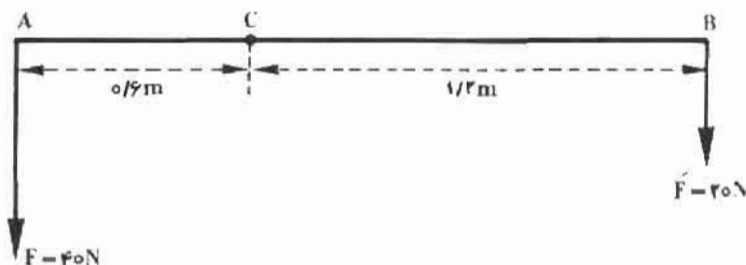
پرسش ۵-۶- آیا در این حالت میله AB به دور تکیه‌گاه C می‌گردد؟

پرسش ۵-۷- اگر یکی از نیروها مثلاً F' بر راستای AB عمود نباشد بازوی مؤثر این نیرو کدام است؟

چگونه از گشتاور نیرو استفاده

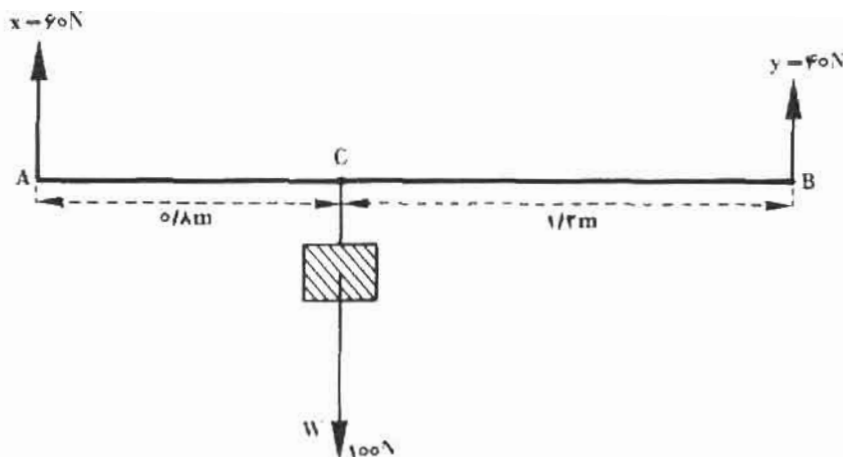
می‌شود؟

بار دیگر دو پسر را در نظر بگیرید که باری را با یک میله می‌برند. شکل ۵-۸ نمودار نیروها را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۸ - گشتاور نیرو و گشتن جسم به دور یک محور می‌شود و برابر است با حاصل ضرب نیرو در فاصله آن از محور.

۱- کلمه گشتاور مرکب از دو کلمه ساده گشت و آور است.



شکل ۴۵ - بخشی از نیروی وزن W را که هر یک از پسرها در A و B متحمل می‌شوند به کمک گشتاور نیرو می‌توان حساب کرد -
 در حال تعادل: $60\text{N} \times 0.8\text{m} = 40\text{N} \times 1.2\text{m}$

باشد، دو گشتاور باید برابر باشند یعنی:

$$2 \times x = 100 \times 1.2 = 120 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$x = 60 \text{ N}$$

یا

و این نیرویی است که بردست پسر در A وارد می‌شود.

برای تعیین نیرویی که دست پسر دیگر در

خلاف جهت حرکت عقربه‌های ساعت به انتهای B وارد

می‌سازد، A را در حکم محور یا تکیه‌گاه می‌گیریم.

اگر این نیرو را به y نمایش دهیم گشتاور آن نسبت

به A برابر است با $y \times 2$. گشتاور نیروی وزن بار

که در فاصله 0.8 متری A در جهت حرکت عقربه‌های

ساعت اثر می‌کند برابر است با 100×0.8

بنابراین می‌توان نوشت:

$$y \times 2 = 100 \times 0.8 = 80$$

که نتیجه می‌شود:

$$y = 40 \text{ N}$$

در این مثال وزن میله را ناچیز گرفته‌ایم.

فرض کنید طول میله ۲ متر و وزن بار ۱۰۰ نیوتن

است. هر یک از پسرها چه بخشی از وزن بار

را با دست خود تحمل می‌کنند؟ نیرویی که بردست هر

پسر رو به پایین وارد می‌شود در حال تعادل برابر

است با نیرویی که دست او بر میله رو به بالا وارد

می‌سازد. برای تعیین نیرویی که دست یک پسر مثلاً در

A بر میله وارد می‌سازد کافی است سر دیگر میله یعنی

B را که در دست پسر دیگر است در حکم تکیه‌گاه

(محور) بگیریم. بنابراین، پسر A در جهت حرکت

عقربه‌های ساعت عمود بر راستای میله نیرویی وارد

می‌سازد که فاصله آن از محور فرضی B ، ۲ متر است.

اگر این نیرو را به x نمایش دهیم گشتاور آن نسبت

به B برابر است با $x \times 2$. گشتاور نیروی وزن بار

که در فاصله 1.2 متری تکیه‌گاه فرضی B در خلاف

جهت حرکت عقربه‌های ساعت اثر می‌کند برابر است

با $100 \text{ N} \times 1.2 \text{ m}$ - برای این که میله ترازمند

گرانیگاه و تعادل

می‌شود با نیروی عکس‌العمل انگشت که مساوی وزن خط‌کش است و در جهت مخالف آن رو به بالا بر خط‌کش اثر می‌نماید خنثی می‌گردد.

چگونه گرانیگاه را در يك جسم معین

می‌کنیم؟

الف - استفاده از لبه تیز - گرانیگاه جسم

نازك و بلندی مانند خط‌کش را می‌توان خیلی آسان با ترازمند کردن آن روی لیه نازك و مستقیم يك تیغه، من کرد. همین روش را نیز می‌توان در تعیین گرانیگاه يك ورقه نازك فلز یا مقوا بکار برد. نا این تفاوت که باید دویا سه وضعیت را برای ترازمندنگاه داشتن آن انتخاب کرد. شکل ۵-۱۰ کاربرد این روش را در تعیین گرانیگاه يك صفحه نازك نشان می‌دهد. صفحه روی لیه تیز و مستقیم يك خط‌کش در دو وضعیت AB و CD ترازمند شده است و خط‌های تراز از AB و CD به وسیله مداد مشخص گردیده است. چون گرانیگاه G روی هر دو خط واقع است به ناچار در محل تلاقی این دو خط قرار دارد. برای بررسی درستی جای گرانیگاه باید صفحه را در وضع دیگری مانند EF روی لیه خط‌کش ترازمند ساخت. راستای EF نیز از نقطه G خواهد گذشت.

ب - استفاده از شاقول - شاقول نیز می‌توان

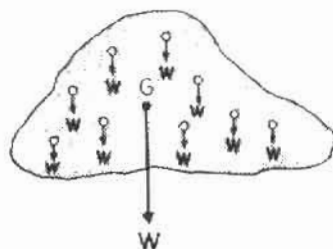
گرانیگاه را تعیین کرد. شاقول وزنه کوچک سنگینی است که به انتهای ریسمان سبکی آویخته شده است. در نظر بگیرید که می‌خواهیم گرانیگاه يك صفحه مقوا را که شکل نامنظمی دارد تعیین کنیم. ابتدا سه سوراخ کوچک به فاصله‌های دلخواه در لیه مقوا ایجاد

کنیم که هر جسم در اثر نیروی جاذبه به طرف زمین کشیده می‌شود و این نیرو سنگینی یا وزن جسم را تشکیل می‌دهد. ولی در باره چگونگی اثر این نیرو بر جسم تا اینجا چیزی نگفته‌ایم. در اینجا می‌خواهیم در باره آن گفتگو کنیم.

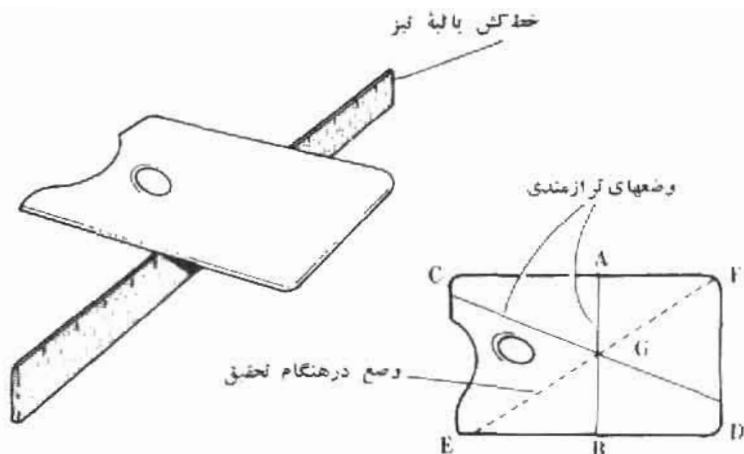
هر جسم جامد، مانند يك قطعه سنگ را می‌توان مرکب از تعداد زیادی ذره‌های کوچک و یکسان دانست که هر يك از آنها در اثر نیروی جاذبه به طرف زمین کشیده می‌شود. بنابراین این نیروی جاذبه زمین بر جسم، یا به عبارت دیگر وزن جسم، بر آیند تعداد زیادی نیروهای کوچک مساوی و موازی است که بر ذره‌های موجود در آن اثر می‌کنند. این برآیند بر نقطه‌ای مانند G اثر می‌نماید (شکل ۵-۹) که گرانیگاه یا مرکز ثقل جسم نامیده می‌شود. بنابراین:

گرانیگاه يك جسم نقطه اثر نیروی جاذبه‌ای است که از طرف زمین بر آن وارد می‌شود.

يك خط‌کش را می‌توان روی نوک انگشت به حال تعادل نگه‌داشت و این در صورتی است که نوک انگشت درست زیر گرانیگاه آن قرار گیرد. در این صورت نیروی جاذبه که در راستای قائم رو به پایین بر انگشت وارد



شکل ۵-۹ - گرانیگاه يك جسم نقطه‌ای است که برآیند نیروهای جاذبه وارد بر ذرات جسم بر آن اثر می‌کند.



شکل ۱۰-۵ - روش تعیین گرانیکاه يك صفحه نازك .

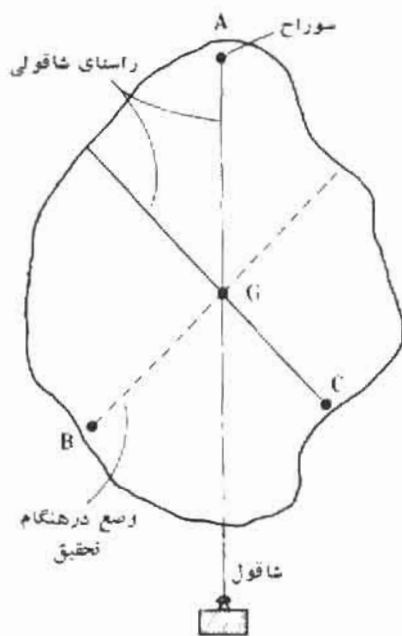
ایستاد گرانیکاه آن زیر نقطه آویز و در روی راستای قائمی که از این نقطه می گذرد قرار خواهد گرفت. این راستای قائم را می توان بایک شاقول مشخص کرد. برای این منظور شاقول مناسبی را به همین میخ می آویزیم و راستای آن را روی صفحه مقوا با يك مداد نشان می کنیم . سپس مقوا را به ترتیب از دو سوراخ دیگر می آویزیم و راستای شاقول را مانند حالت اول روی مقوا نشان می کنیم . همه خطهایی که بدین ترتیب روی صفحه مقوا در راستای شاقول رسم می شوند از يك نقطه خواهند گذشت و این نقطه گرانیکاه صفحه مقواست . با این روش می توان پی برد که گرانیکاه يك ورقه نازك مثلث شکل، در محل برخورد سه میانه آن واقع است .

گرانیکاه چند جسم - گرانیکاه اجسام جامد

همگنی که دارای مرکز ثقل هندسی هستند ، مانند کره ، مکعب ، حلقه یا ورقه هایی به شکل دایره ، مربع ، مستطیل که خیلی نازکند بر مرکز ثقل آنها منطبق است .

گرانیکاه اجسامی مانند استوانه ، مخروط و

می کنیم و آن را از یکی از سوراخها به میخی می آویزیم به طوری که بتواند آزادانه نوسان کند (شکل ۱۱-۵) . وقتی که صفحه مقوا به حال تعادل



شکل ۱۱-۵ - تعیین گرانیکاه با شاقول

مخروط، یعنی راستای قائمی که از گرانیگاه G می‌گذرد، از قاعده مخروط بیرون نیفتد، اگر مخروط را رها کنیم دوباره به جای خود برمی‌گردد، زیرا نیروی جاذبه، یعنی W (وزن مخروط)، که بر گرانیگاه مخروط اثر می‌کند نسبت به لبه آن که بر سطح میز تکیه دارد دارای گشتاور $W \cdot x$ است و سبب می‌شود که مخروط به وضع تعادل اول خود برگردد. در این صورت می‌گوییم تعادل پایدار است.

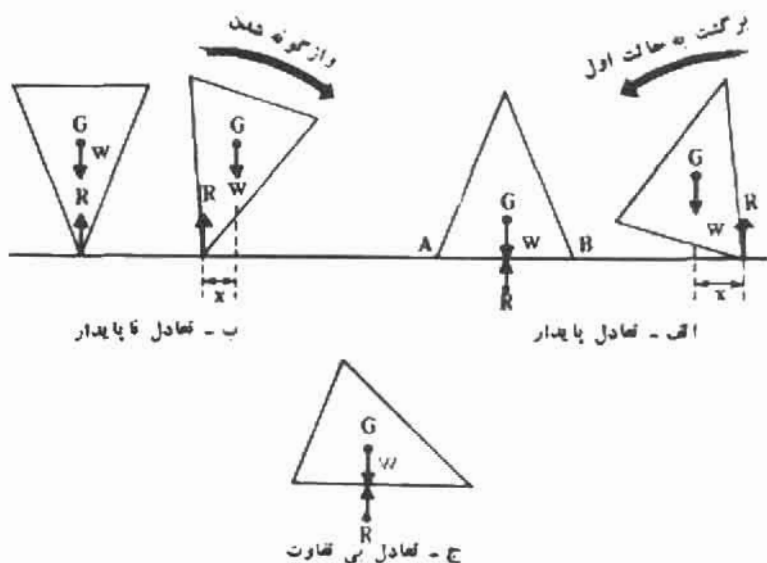
پرسش ۵-۸ - اگر مخروط را بیشتر کج کنیم در چه صورت دیگر به حال تعادل اولیه خود بر نمی‌گردد و می‌افتد؟

مخروط را نمی‌توان روی نوک آن نگه داشت. این کار در صورتی ممکن است که گرانیگاه مخروط درست روی راستای قائمی باشد که از نوک آن می‌گذرد. در این صورت نیروی وزن مخروط با نیروی عکس‌العمل سطح که مساوی وزن مخروط و در خلاف

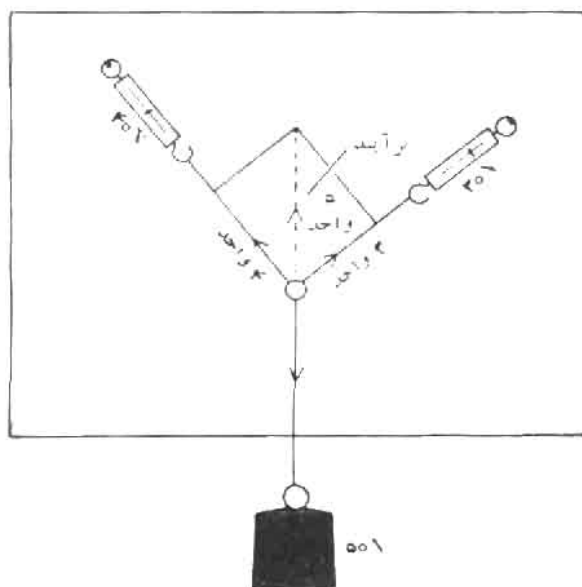
مزم منظم که دارای محور تقارن هندسی هستند روی این محور واقع است. در پاره‌ای از اجسام مانند چهار پایه یا سه پایه، گرانیگاه در جایی است که در آنجا تعادل پایدار نیست. تعیین گرانیگاه این گونه اجسام به آسانی تعیین گرانیگاه یک ورقه نیست و مهارت و دقت بیشتری لازم دارد. باید این گونه اجسام را طوری آویخت که بتوان راستای شاقول را با بستن نخ مشخص کرد.

تعادل پایدار و ناپایدار و بی تفاوت

مخروط چوبی را در نظر بگیرید که از طرف قاعده‌اش روی سطح افقی میز به حال تعادل قرار دارد. مخروط را از وضعی که قرار گرفته است کج می‌کنیم. تا وقتی که راستای نیروی جاذبه وارد بر

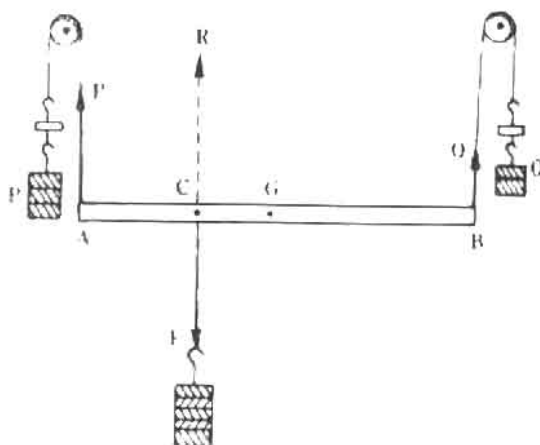


شکل ۱۳-۵- ا: تعادل پایدار ب: تعادل ناپایدار ج: تعادل بی تفاوت



شکل ۱۴-۵ - تعین برآیند نیروهای متقاطع به روش متواری الاصلاح

۲) خط کش چوبی با فلزی مانند AB را از دو سر A به وسیله دو ریمان مساوی که در روی دو قرقره سبک و روان عبور می‌دهد بنا آورید (شکل ۱۵-۵) و به وسیله دو وزنه کوچک و مساوی که روی آنها روی هم رفته برابر وزن خط کش است و آنها را به دو سر آزاد ریمان می‌آورید خط کش را تراشند



شکل ۱۵-۵ - تعادل نیروهای متواری

هرم منظم که دارای محور تقارن هندسی هستند روی این محور واقع است. در پاره‌ای از اجسام مانند چهار پایه یا سه پایه، گرانیگاه در جایی است که در آنجا تعادل برقرار است. تعیین گرانیگاه این گونه اجسام به آسانی تعیین گرانیگاه يك ورقه نیست و مهارت و دقت بیشتری لازم دارد. باید این گونه اجسام را طوری آویخت که بتوان راستای شاقول را با بستن به مشخص کرد.

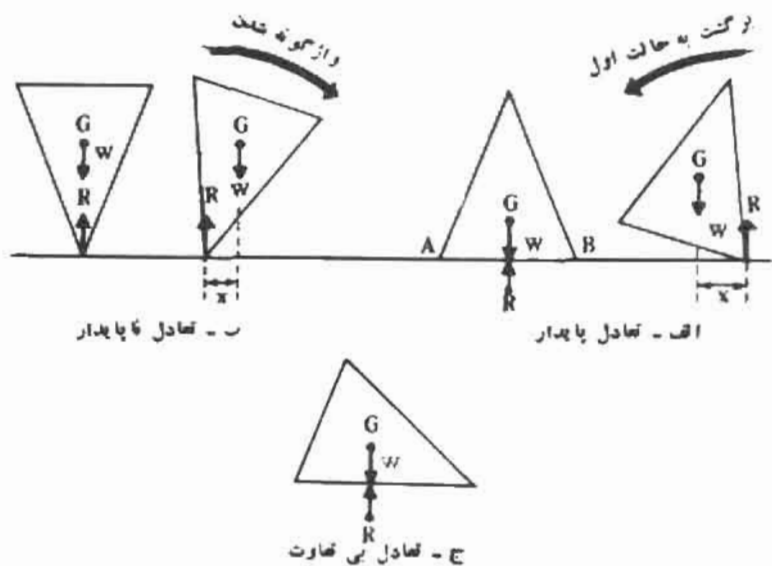
پرسش ۵-۸ - اگر مخروط را بیشتر کج کنیم در چه صورت دیگر به حال تعادل اولیه خود بر نمی‌گردد و می‌افتد؟

مخروط را نمی‌توان روی نوک آن نگه داشت. این کار در صورتی ممکن است که گرانیگاه مخروط درست روی راستای قائمی باشد که از نوک آن می‌گذرد. در این صورت نیروی وزن مخروط با نیروی عکس‌العمل سطح که مساوی وزن مخروط و در خلاف

مخروط چوبی را در نظر بگیرید که از طرف قاعده‌اش روی سطح افقی میز به حال تعادل قرار دارد. مخروط را از وضعی که قرار گرفته است کج می‌کنیم. تا وقتی که راستای نیروی جاذبه وارد بر

تعادل پایدار و ناپایدار و بی تفاوت

مخروط چوبی را در نظر بگیرید که از طرف قاعده‌اش روی سطح افقی میز به حال تعادل قرار دارد. مخروط را از وضعی که قرار گرفته است کج می‌کنیم. تا وقتی که راستای نیروی جاذبه وارد بر



شکل ۱۳-۲: الف: تعادل پایدار ب: تعادل ناپایدار ج: تعادل بی تفاوت



شکل ۱۳-۵- برج کج پیزا در شهر پیزا واقع در کشور ایتالیا

گرفته است. سکویی که اتوبوس روی آن قرار گرفته است با منگنه‌آبی کار می‌کند و طناب‌های کنترل‌کننده بین دیوار و بدنه اتوبوس متصل است تا از واژگون شدن احتمالی آن جلوگیری شود. زاویه شیب سکو به وسیله دو زاویه‌سنج که به کنار سکو و بدنه اتوبوس نصب شده‌اند اندازه‌گیری می‌شود. هنگام آزمایش، تمام سندهای طبقه بالا و سندهای راننده با وزنه‌های ۵/۶۴ کیلو گرم (به جای مسافران و راننده) اشغال می‌شود و یک وزنه ۵/۶۴ کیلو گرم هم به جای بلیط فروش قرار داده می‌شود. اتوبوس دو طبقه با این شرایط باید تا ۲۸ درجه انحراف تعادل خود را حفظ کند.

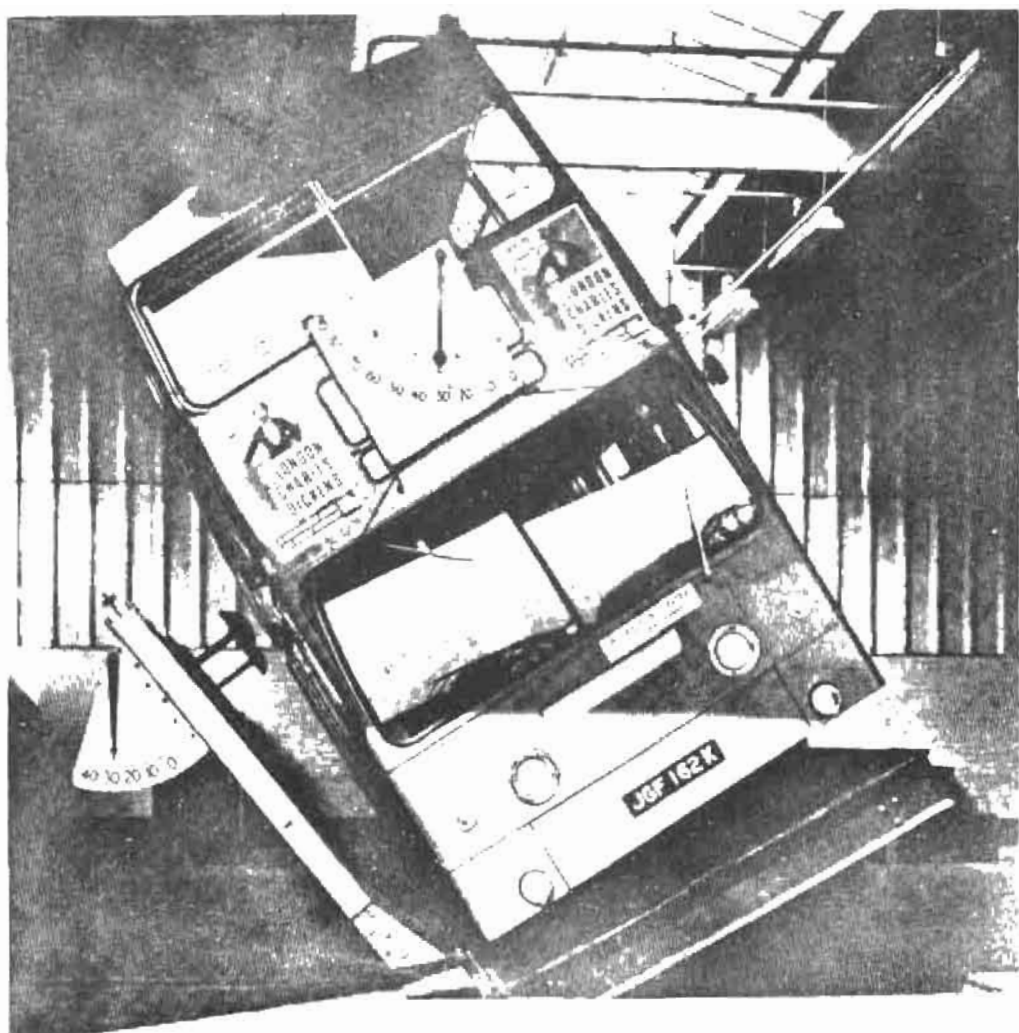
جهت آن است خشی می‌نود. اگر هم این حالت تعادل در يك لحظه پیدا شود کوچکترین نکان سطح میر یا کمترین جریان هوا سبب افتادن مخروط می‌گردد. زیرا وزن مخروط (w) نسبت به نوک آن گشتاوری پیدامی‌کند که آرامی‌غلاناند (شکل ۵-۱۲- ب). چنین تعادلی را تعادل ناپایدار گویند.

شکل ۵-۱۲- مخروط‌دانشان می‌دهد که از طرف بدنه خود دروی سطح افقی فرادارد و در این حالت تکیه‌گاه آن يك خط راست است. اگر مخروط را بعنائیم تا در وضع دیگری قرار گیرد باز هم به حال تعادل خواهد ایستاد. زیرا خط قائمی که از گرابیگاه آن می‌گذرد از نقطه‌ای از تکیه‌گاه که درست مانند وضع اول است خواهد گذشت. نیروی وزن (w) نسبت به تکیه‌گاه گشتاور ندارد و با نیروی عکس‌العمل سطح خشی می‌شود. در این صورت می‌گوییم تعادل بی‌تفاوت است. خلاصه آن که چگونگی تعادل يك جسم در دروی زمین بستگی به وضع راستای نیروی جاذبه وارد بر جسم نسبت به تکیه‌گاه آن دارد. اگر هنگام کج کردن جسم، راستای نیروی جاذبه وارد بر آن (یعنی راستای قائمی که از گرابیگاه جسم می‌گذرد) از درون تکیه‌گاه خارج نشود تعادل جسم پایدار است و اگر راستای این نیرو بیرون تکیه‌گاه بیفتد تعادل ناپایدار است و اگر در وضع آن نسبت به سطح تکیه‌گاه تغییر پیدا نشود تعادل بی‌تفاوت است.

شکل ۵-۱۳- برج کج معروف پیزا را در ایتالیا نشان می‌دهد که با وجود کج بودن، با آن که چند صد سال از بنای آن می‌گذرد هنوز استوار بر جای مانده است.

چرا؟

شکل ۵-۱۴- يك اتوبوس دو طبقه را نشان می‌دهد که از نظر واژگون شدن مورد آزمایش قرار



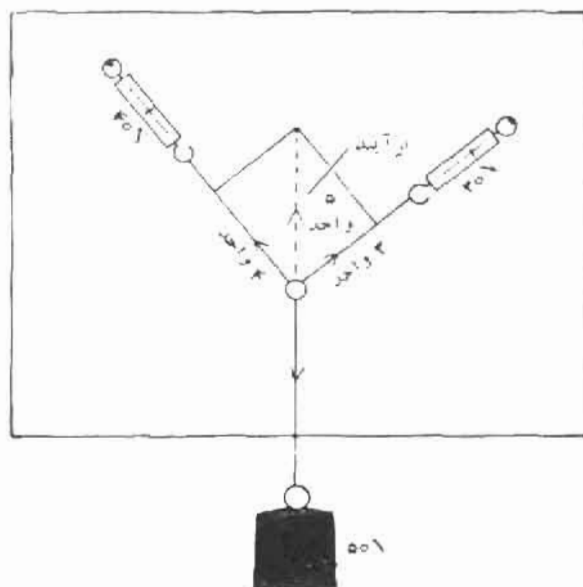
شکل ۱۴-۵- تعادل بتک اتو دوس در طغه روی سطح شیبدار

پیش ۵-۹- در چه صورت تعادل بیکه جسم

که به نقطه‌ای آویخته شده پایدار است؟

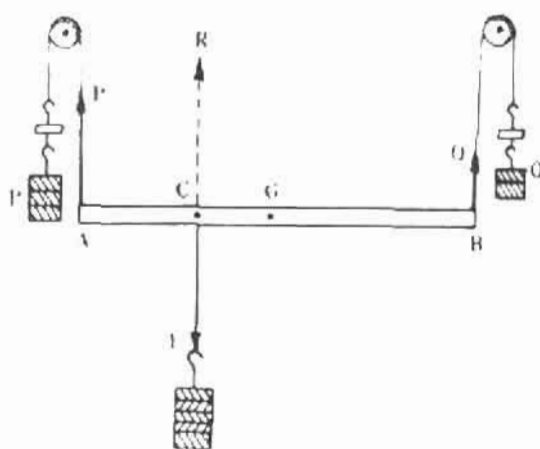
خودتان آزمایش کنید

۱) آزمایش شکل ۵-۴ را با وزنه‌های دلخواه P و Q تکرار کنید و دوتن متواری الاضلاع را در سطح برآیند نیروهای P و Q به کار ببرید. در صورتی که نیروی که نیروی Q در آنجا دو فرقه و وزنه‌های P و Q از دو نیروی H استناد کنید و تجربه نیروی H را در راستای نیروی H



شکل ۱۴-۵ - تعین برآیند نیروهای متقاطع به روش مسواری الاسراع

۲) خطکش چوبی با فلزی مانند AB را از دو سر A و B به وسیله دو ریسمان موازی که از روی دو قرقره سبک و روان عبور می‌دهید بسازید (شکل ۱۵-۵) و به وسیله دو وزنه کوچک و مساوی که وزن آنها روی هم دفته برابر وزن خطکش است و آنها را به دو سر آزاد ریسمان می‌آویزید خطکش را تراز کنید



شکل ۱۵-۵ - تعادل نیروهای موازی

سازید. سپس دو وزنه مناسب P و Q به دوسر ریسمانها بیاویزید و با وزنه دیگر E که آن را به نقطه‌ای از خطکش مانند C آویزان می‌کنید دوباره آن را ترازمند سازید و تحقیق کنید که :

$$E = P + Q \quad (1) \quad AC = Q \cdot BC \quad (2) \quad P$$

چرا برآیند دو نیروی P و Q به همان نقطه C اثر می‌کند ؟

آیا می‌توان نیروی Q را برآیند دو نیروی دیگر P و E دانست ؟

می‌توانید به جای ریسمان و قرقره‌ها و وزنه‌های P و Q ، خطکش را از دوسر به دو نیروسنج یکسان و موازی بیاورید و مؤلفه‌های نیروی وزن E را روی دو نیروسنج بخوانید و رابطه‌های (۱) و (۲) را تحقیق کنید .

۳) وزنه‌های نازک فلزی یا مقوایی به شکلهای مختلف هندسی مانند دایره ، مربع ، مستطیل ، مثلث و بپزید و گرانیکه آنها را با روشهایی که آموخته‌اید پیدا کنید.

۴) خطکشی را از سوراخی که در يك سر آن است به میخی بیاویزید و وضع تعادل پایدار و ناپایدار آن را بررسی کنید. درجه سورت تعادل خطکش بی تفاوت خواهد شد ؟

به این پرسشها پاسخ دهید

- ۱) چرا نیرو کمیت برداری است ؟
- ۲) نیروی برآیند، یعنی چه ؟
- ۳) وقتی که می‌گوییم دو یا چند نیرو در حال تعادلند مفهوم آن چیست ؟
- ۴) اگر برجسمی سه نیروی متقارب اثر کند شرط تعادل این جسم چیست ؟
- ۵) روش متواری‌الاضلاع را برای تعیین برآیند دو یا چند نیروی متقاطع شرح دهید.
- ۶) به وسیله رسم، اندازه برآیند دو نیروی ۱۰۰ نیوتن و ۸۰ نیوتن را که بر يك نقطه اثر می‌کنند و زاویه بین آنها ۶۰ درجه است معین کنید.
- ۷) اگرگشاورد يك نیرو نسبت به يك نقطه چه مفهومی را درمی‌یابید ؟
- ۸) شرایط تعادل يك جسم را وقتی که بر آن چند نیروی موازی اثر می‌کند شرح دهید.
- ۹) يك مترچوبی و يك وزنه ۱۰۰ گرمی و مقداری نخ در اختیار دارید. چگونه می‌توانید با این وسایل وزن مترچوبی را تعیین کنید ؟
- ۱۰) معنای گرانیکه يك جسم چیست؟ چگونه می‌توانید گرانیکه يك عصا را تعیین کنید ؟
- ۱۱) گرانیکه يك وزنه نازک فلزی دوزننه شکل را چگونه معین می‌کنید ؟
- ۱۲) تعادل پایدار و ناپایدار و بی تفاوت را تعریف کنید و برای هر يك مثال بیاورید.

۱۳ با رسم شکل و دلیل کافی توضیح دهید که چرا وقتی مخروط نافسی را از طرف قاعده بردگنر روی زمین می گذارید تعادل آن پایدارتر از هنگامی است که آن را از طرف قاعده کوچکترش روی زمین می گذارید.

۱۴ - توضیح دهید چرا برآیند دو نیروی نامتساوی هیچ گاه نمی تواند صفر باشد .

این مسئله ها را حل کنید

۱) برآیند دو نیروی عمود بر هم ۱۰۰ نیوتن است اگر یکی از این دو نیرو با نیروی برآیند زاویه ۳۰ درجه بسازد مقدار دومیرو را حساب کنید.

۲) کره فولادی به وزن ۳۰ نیوتن درون ناوه ای به شکل $\sqrt{}$ که دیواره های آن صیقلی است قرار گرفته است . اگر هر يك از بدنه های ناوه با سطح افق زاویه ۴۵ درجه بسازد نیرویی که از کره فولادی بر بدنه ناوه وارد می شود چه اندازه است .

۳) شخصی يك غلتك به وزن ۷۰۰ نیوتن را روی سطح افقی زمین به کار می برد . این شخص روی دسته غلتك که با سطح زمین زاویه ۴۵ درجه می سازد نیروی ۲۰۰ نیوتن وارد می سازد . نیروی قائمی که غلتك را بر زمین می فشارد در دو حالت زیر چیست ؟

الف - وقتی که غلتك به جلو رانده می شود.

ب - وقتی که غلتك به عقب کشیده می شود.

۴) يك لوله فلزی یکسان به طول ۵ متر و به وزن ۹ کیلوگرم نیرو به طور افقی به وسیله سیمهایی که در ۵/۵ متری و ۱/۵ متری دوسرش بسته شده اند آویزان است. نیروی کشش هر سیم را حساب کنید.

۵) میله یکسانی به طول يك متر و به وزن ۱۵۰ گرم نیرو به طور افقی روی لبه های تیز دو كاردك قرار گرفته است و فاصله كاردكها از دو سر میله ۱۰ سانتیمتر است. هر گاه وزنه ۱۰۰ گرمی در فاصله ۱۰ سانتیمتری وسط میله آویخته شود نیروی عکس العمل هر يك از كاردكها چقدر است ؟

۶) تخته الوار یکسانی به طول ۳ متر و به وزن ۲۰ کیلوگرم نیرو به طور افقی روی دو خرك A و B که به فاصله دو متر از یکدیگر واقع هستند قرار گرفته است و فاصله دو خرك از دو سر تخته یکی است. شخصی که وزنش ۸۰ کیلوگرم نیروست روی تخته الوار بالای خرك A ایستاده است . نیروی عکس العمل هر يك از خركها را حساب کنید . اگر این شخص در سر تخته الوار که نزدیک خرك A است بایستد چه وزنه ای باید روی تخته ، بالای خرك B گذارده شود تا تعادل پایدار بماند ؟

پاسخ به پرسشهای متن کتاب

۱-۵) اگر هر سانتیمتر را نمایش ۳ نیوتن بگیریم این نیرو با برداری به طول ۳ سانتیمتر مطابق شکل

۱۵-۵ نمایش داده می شود.

۱۳N

شکل ۱۵

1 cm نمایش ۳ نیوتن

۲-۵) صفر

$$R = \sqrt{400^2 + 300^2} = \sqrt{250000} = 500 \text{ N} \quad (3-5)$$

۴-۵) ماشین را بر سطح زمین می فشارد.

۵-۵) مؤلفه P در مثلث قائم الزاویه ADC (شکل ۵-۵) ضلع مقابل به زاویه ۳۰ درجه می شود که

اندازه آن برابر نصف وتر است. چون وتر این مثلث نمایش نیروی برآیند R است اگر $R = 150$ نیوتن باشد $P = \frac{150}{2} = 75 \text{ N}$ خواهد بود.

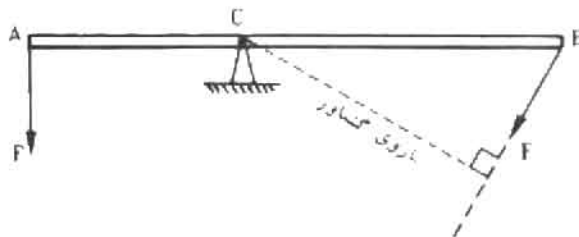
مؤلفه Q در مثلث قائم الزاویه ABC ضلع مقابل به زاویه ۶۰ درجه است که مقدار آن $\frac{\sqrt{3}}{4}$ برابر وتر

$$Q = \frac{150\sqrt{3}}{2} = 75\sqrt{3} \approx 130 \text{ N} \quad \text{است یعنی:}$$

۶-۵) نه. زیرا اندازه گشتاورها مساوی و جهت آنها مخالف یکدیگر است.

۷-۵) بازوی این نیرو برابر است با طول عمودی که از تکیه گاه (یا محور) بر راستای نیرو وارد

می شود (مطابق شکل ۵-۱۶).



شکل ۵-۱۶

۸-۵) مخروط در صورتی به حال تعادل اولیه خود بر نمی گردد که راستای نیروی جاذبه (یعنی

راستای شاقولی که از گرابیگه آن می گذرد) خارج از تکیه گاه آن واقع شود.

۹-۵) در صورتی که گرابیگه جسم ریز نقطه آویز و روی راستای قائمی باشد که از آویز گاه می گذرد.

قوانین نیوتن در باره حرکت

در زمان ارسطو فیلسوف یونانی (۳۲۲-۳۸۴ قبل از میلاد) این طور فکر می کردند که وقتی به یک جسم نیروی ثابتی وارد می شود آن جسم با سرعت ثابت حرکت می کند و اگر نیرو نباشد جسم ساکن می ماند. صدها سال بعد، گالیله اظهار داشت که هر سرعتی که به یک جسم داده شود تا وقتی که عاملی سبب تند شدن یا کند شدن حرکت آن نگردد آن سرعت محفوظ خواهد ماند. در سال ۱۶۸۴ میلادی نیوتن کتابی به زبان لاتینی (چنان که مرسوم آن زمان بود) نوشت. ترجمه نام این کتاب «اصول ریاضی فلسفه طبیعت» است که به اختصار آن را کتاب اصول نیوتن می گوئیم و یکی از شاهکارهای بزرگ علمی است که تا کنون نوشته شده است. در آن کتاب به طور کلی در باره انواع حرکت اجسام به ویژه حرکت سیاره ها و سایر اجرام آسمانی بحث شده و در فصل اول آن سه قانون اساسی در باره حرکت بیان گردیده است. شما قبلاً با قانون اول نیوتن (در بخش نیرو) کمی آشنا شده اید. در این بخش قوانین نیوتن و کاربرد آنها را با شرح بیشتری خواهید آموخت.

در جایی قرار دهیم اشطار داریم که تا بر آن نیرویی وارد نشود در جای خود بماند. با آزمایشهای جالبی می توانید این موضوع را بررسی کنید: چند سکه فلزی یا چند مهره چوبی را روی هم بچینید و با یک تیغه نازک فلزی یا یک خط کش خیلی نازک ضربه افقی و سریعی به سکه یا مهره زیرین وارد سازید. سکه یا مهره ای که ضربه می بیند به خارج پرتاب می شود در صورتی که بقیه آنها بر جای خود باقی می مانند. این آزمایش را می توانید به طریق دیگری انجام دهید: یک سکه پنج ریالی یا ده ریالی را روی قطعه

قانون اول نیوتن در حرکت

اگر جسمی نیرو وارد نشود یا این که برآیند نیروهای وارد بر آن صفر باشد در صورتی که جسم ساکن است همواره ساکن می ماند و در صورتی که در حال حرکت است با تندی ثابت در امتداد خط راست به حرکت خود ادامه می دهد.

بدیهی است اجسامی که در حال سکون هستند خود به خود به حرکت در نمی آیند. اگر جسمی را

می‌راند وقتی که از رکاب ردن باز ایستد دوچرخه
 آنرا متوقف می‌شود بلکه به جلو رفتن خود ادامه
 می‌دهد ولی به علت وجود اصطکاک و مقاومت هوا
 حرکت آن به تدریج کند می‌شود تا ایستد.

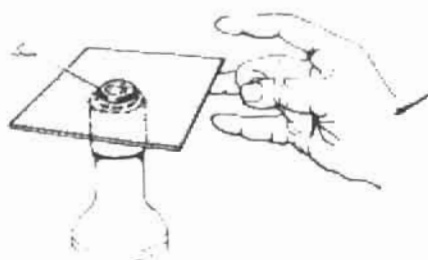
پرسش ۱-۶ - دانه‌های باران در هوای آرام
 معمولاً با سرعت ثابت در امتداد قائم فرو می‌ریزند.
 چرا؟

- انبوسی که در حال حرکت است اگر ناگهان
 ترمز شود مسافران آن به طرف جلو پرتاب می‌شوند
 زیرا نیروی ترمز بر اتوبوس اثر می‌کند نه بر مسافران
 و آنان بنا بر قانون اول نیوتن، به حرکت خود در
 امتداد خط راست ادامه می‌دهند.

پرسش ۲-۶ - با استفاده از این قانون توضیح
 دهید چرا وقتی که اتوبوسی در پیچ يك جاده می‌پیچد
 مسافران آن به طرف خارج پیچ کشیده می‌شوند؟
 - وقتی که گلوله‌ای از دهانه تفنگ خارج
 می‌شود، حرکت آن با مقاومت هوا و کشش جاذبه
 زمین رو به رو می‌گردد و دیر یا زود به زمین بر می-
 گردد. ولی منطقی است که فرض کنیم اگر مقاومت
 هوا و نیروی جاذبه می‌توانستند حذف شوند گلوله با
 سرعت ثابت در امتداد خط راست، همیشه به حرکت
 خود ادامه می‌داد.

- حرکت بر روی بالشی از هوا اصطکاک بسین
 دو جامد را از میان بر می‌دارد و الی نیروی اصطکاک
 به کلی حذف نمی‌شود زیرا اصطکاک بین جسم و
 مولکولهای هوا باقی می‌ماند.

حد اوایل قرن هفدهم میلادی کهلر ۱ ستاده‌شناس



سکه ۱-۶: مقوا که سر به می‌سند به خارج برد می‌شود
 ولی سکه که سر به نمی‌سند بر جای خود می‌خواهد بماند ولی
 در اثر سنگینی خود درون بطری یا استکان می‌افتد.

مقوای صافی مانند کارت ویریت بگذارید و آن را
 روی دهانه يك بطری دهان گشاد یا يك استکان (شکل
 ۱-۶) قرار دهید به طوری که سکه مقابل دهانه بطری
 با استکان واقع شود سپس با انگشت سر به‌ای به قطعه
 مقوا وارد سارید. مقوا به خارج پرتاب می‌شود و
 سکه به درون بطری یا استکان می‌افتد. برای این که
 آزمایش با موفقیت انجام گیرد سر به انگشت را به
 طور افقی بر مقوا وارد سازید.

کمتر اتفاق می‌افتد که جسمی در حال حرکت
 بکنواخت بر امتداد يك خط راست، بدون آن که
 متوقف شود همواره در همان حال باقی بماند. علت
 این است که ما هنوز وسیله کافی برای حذف نیروهای
 خارجی در دست نداریم.

- شخصی که دوچرخه‌ای را روی جاده افقی

مشهور آلمانی نشان داد که سیارات روی مدارهای بیضی شکل به دور خورشید می‌چرخند اما نتوانست علت آن را به درستی توضیح دهد. شرح کامل و قانع کننده این گونه حرکات را نیوتن به کمک قانون اول خود و «قانون جاذبه عمومی»^۱ بیان کرد. نیوتن متذکر شد که سیارات بدین علت روی مدار منحنی شکل به دور خورشید حرکت می‌کنند که از طرف خورشید با نیرویی کشیده می‌شوند و چون نیرویی که خورشید بر آنها وارد می‌سازد نیروی مقاوم و کند کننده نیست حرکشان کند نمی‌شود. نیروی کند کننده دیگری، نظیر مقاومت هوا، نیز وجود ندارد زیرا سیارات در فضای خالی حرکت می‌کنند و جو آنها با خودشان حرکت می‌نماید. اگر بنا به فرض نیروی جاذبه خورشید ناگهان برداشته شود سیاره در امتداد خط راستی که مماس بر مدار حرکت آن است به حرکت خود ادامه خواهد داد. ماهواره‌ها نیز با پیروی از همین قانون به دور زمین می‌چرخند و نیرویی که آنها را در مدار حرکت خود به دور زمین نگه می‌دارد جاذبه زمین است.

بنابراین تجسم این مطلب مهم است که: همین که جسمی با سرعت ثابت در امتداد خط راستی حرکت کند اگر نیروهای خارجی که سبب کند شدن حرکت آن می‌شوند وجود نداشته باشد نیرویی نیز برای ادامه

حرکت آن لازم نیست. تمایل جسم را به این که در حال سکون بماند، یا اگر حرکت دارد در حال حرکت روی خط راست با سرعت ثابت باقی بماند مانند^۲ یا اینوسی^۳ می‌نامند و به همین دلیل قانون اول نیوتن را قانون اینوسی نیز می‌گویند.

اینک این پرسش را مطرح می‌کنیم: اگر بر جسمی نیرو اثر کند چه می‌شود؟ پیش از آن که به این پرسش پاسخ دهیم لازم است به تعریف یک کمیت برداری دیگری به نام اندازه حرکت بپردازیم.

اندازه حرکت

یک بار کش وقتی که پراز بار است نسبت به وقتی که خالی است نیروی بیشتری لازم دارد تا به حرکت درآید. همچنین اگر دو اتومبیل یکی سنگین و دیگری سبک بایک تندی حرکت کنند برای متوقف ساختن اتومبیل سنگین‌تر نیروی ترمز قویتری لازم است. می‌گوییم اتومبیل سنگین‌تر نسبت به اتومبیل سبک‌تر دارای اندازه حرکت بیشتری است.

حاصل ضرب جرم یک جسم در تندی حرکت آن را اندازه حرکت آن جسم می‌نامند. واحد اندازه حرکت در دستگاه واحدهای بین‌المللی (SI)

۱- قانون جاذبه عمومی نیوتن درباره حرکت سیارات به دور خورشید چنین بیان می‌شود، نیرویی که از طرف خورشید بر یک سیاره مانند زمین (یا از سیاره بر خورشید) وارد می‌شود متناسب با حاصل ضرب جرمهای آنهاست و نسبت عکس با مجذور فاصله آنها از یکدیگر دارد. این قانون درباره انشای مادی و ذرات عمومیت دارد و شما در سالهای بعد شرح کامل آن را خواهید آموخت.

۲- کلمه ماند از ماندن مشتق شده است.

۳- اینرسی یک جسم در واقع مقاومتی است که جسم در مقابل تغییر سرعت از خود نشان می‌دهد.

کیلوگرم \times متر بر ثانیه است که با علامت اختصاری kg m/s^2 نمایش داده می‌شود.

وقتی که بر دو جسم یکی بیک و دیگری سنگین در مدت زمان یکسان دو نیروی مساوی اثر می‌کند جسم سنگینتر یا سرعتی بیشتر از سرعت جسم سنگین‌تر حرکت می‌نماید ولی اندازه حرکت هر دو جسم یکی است. بستگی مهم بین نیرو و اندازه حرکت توسط نیوتن کشف شد و تحت عنوان قانون دوم حرکت بیان گردید.

قانون دوم نیوتن در حرکت

تغییر اندازه حرکت یک جسم در واحد زمان مناسب است با نیرویی که بر جسم وارد می‌شود و در جهتی است که نیرو بر جسم اثر می‌کند.

مثلا اگر نیروی F بر جسمی به جرم m در زمان t اثر کند و تندی آن از V_1 به V_2 تغییر نماید اندازه حرکت آن در مدت t از mV_1 به mV_2 می‌رسد و تغییر اندازه حرکت آن برابر است با $mV_2 - mV_1$. میزان تغییر آن در واحد زمان (در هر ثانیه) برابر است با $\frac{mV_2 - mV_1}{t}$. طبق قانون دوم نیوتن این تغییر اندازه حرکت متناسب با نیرویی است که سبب آن شده است و این مطلب را به صورت رابطه ریاضی چنین نمایش می‌دهیم:

$$F \propto \frac{mV_2 - mV_1}{t}$$

با (پس از فاکتورگیری از m)

$$F \propto \frac{m(V_2 - V_1)}{t}$$

پس از این دیدیم که تغییر تندی در واحد

زمان شتاب نامیده می‌شود.

$$\text{یعنی: } a = \text{شتاب} = \frac{\text{تغییر تندی}}{\text{زمان}} = \frac{V_2 - V_1}{t}$$

$$F \propto ma \quad \text{بنابراین}$$

یعنی نیرو متناسب است با حاصل ضرب جرم در شتاب.

$$F = kma \quad \text{با}$$

پرش ۶-۴- اگر V_2 کوچکتر از V_1 باشد

$V_2 - V_1$ منفی و a نیز منفی است. این علامت منفی را چگونه تعبیر می‌کنید؟

k ضریب تناسب است و می‌توانیم واحدها را طوری انتخاب کنیم که k برابر یک باشد.

می‌دانید واحد نیرو در دستگاه بین‌المللی

واحدها نیوتن نام دارد و نیوتن بنا به تعریف نیرویی

است که اگر به جرم یک کیلوگرم اثر کند به آن شتاب یک متر بر ثانیه بر ثانیه بدهد.

بنابراین اگر m بر حسب کیلوگرم و a بر حسب

متر بر ثانیه بر ثانیه و F بر حسب نیوتن انتخاب شود $k=1$ خواهد شد و داریم.

$$F = m \times a$$

(N) (kg) (m/s²)

اینک با توجه به قانون دوم نیوتن می‌توانید به آسانی به این پرسش پاسخ دهید:

اگر بر جسمی نیرو اثر کند چه می‌شود؟

اگر بر جسمی نیرویی اثر کند این نیرو سبب

می‌شود که تندی و در نتیجه اندازه حرکت جسم تغییر

نماید و جسم در جهت نیرو شتابی پیدا کند که اندازه

آن متناسب با نیروست و اگر نیرو ثابت بماند شتاب

نیرو ثابت می‌ماند (تحقیق تجربی این قانون را در

سالهای بعد خواهید آموخت).

پرسش ۶-۴- اگر بر دو جسم که جرم آنها

مغایوت است دونیروی مساوی اثر کند شتاب کدام يك
از این دو جسم بیشتر است ؟ چرا ؟

پرسش ۶-۵- پیش از این، رابطه بین وزن و
جرم را به صورت $W = mg$ دیده‌اید. چگونه این رابطه
را بنابر قانون دوم نیوتن توجیه می‌کنید؟

قانون سوم نیوتن در حرکت

قانون دوم نیوتن فقط در بارهٔ اثر نیرو بر يك
جسم بحث می‌کند و چنان‌که دیدید، نیرو سبب می‌شود
که اندازهٔ حرکت جسم تغییر کند.

اینکه این پرسش پیش می‌آید که اگر دو جسم
بر یکدیگر نیرو وارد سازند، یا به عبارت دیگر اگر
دو جسم برهم اثر متقابل داشته باشند چه می‌شود. به
این پرسش قانون سوم نیوتن پاسخ می‌دهد:

وقتی که جسمی بر جسم دیگر نیرویی وارد می‌سازد
جسم دوم نیز بر جسم اول نیرویی به همان اندازه ولی
در جهت مخالف آن وارد می‌آورد. این قانون را
قانون عمل و عکس‌العمل نیز می‌گویند که چنین بیان
می‌شود: برای هر عملی، عکس‌العملی است مساوی
با آن و در خلاف جهت آن. در اینجا عمل به معنی
نیرویی است که جسم اول بر جسم دوم وارد می‌کند
و عکس‌العمل نیرویی است که جسم دوم بر جسم اول
وارد می‌سازد. مثالهای زیر پاره‌ای از کار بردهای این
قانون را نشان می‌دهند.

مثال ۱- وقتی که گلوله‌ای از تفنگ پرتاب
می‌شود، در مدتی که گلوله از لوله بیرون می‌آید
بر روی تفنگ و گلوله نیروهای مساوی و مخالف جهت
یکدیگر اثر می‌کند. به همین جهت وقتی که گلوله

از لولهٔ تفنگ خارج می‌گردد تفنگ به عقب رانده
می‌شود. چون هم بر گلوله و هم بر تفنگ در يك زمان
دو نیروی مساوی در جهتهای مخالف اثر می‌کنند،
بنابر قانون دوم نیوتن اندازهٔ حرکت آنها نیز با هم
برابر و مخالف جهت یکدیگر است. یعنی:

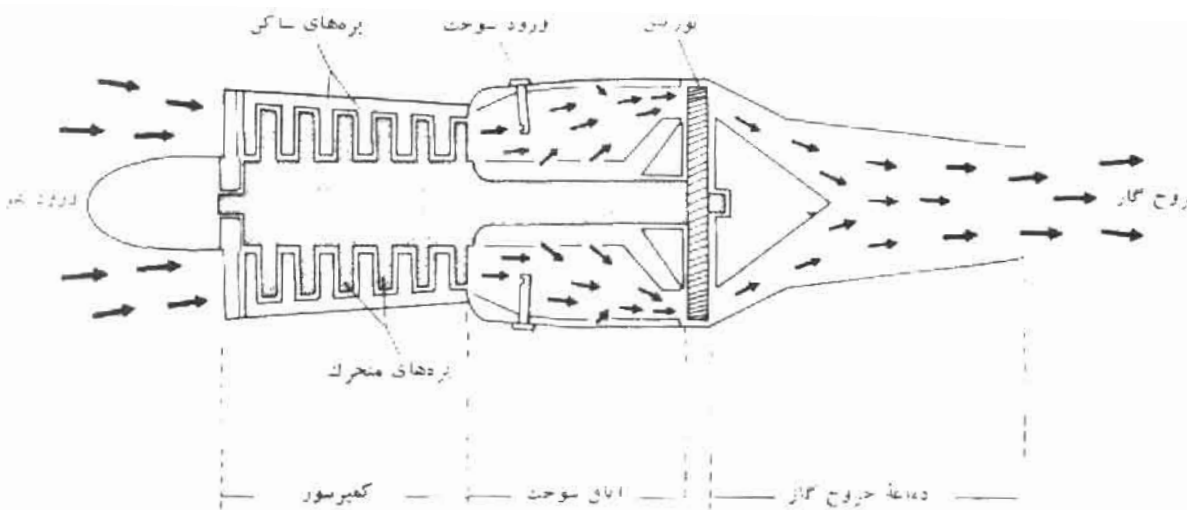
$$\text{تندی عقب زدن تفنگ} \times \text{جرم تفنگ} = \\ \text{تندی خروج گلوله} \times \text{جرم گلوله}$$

می‌دانید وقتی دو کیمت برداری با هم مساوی
ولی در جهت مخالف یکدیگر باشند مجموعشان برابر
صفر است. در این مثال اندازهٔ حرکتهای گلوله و
تفنگ با هم برابر و در خلاف جهت یکدیگرند.
بنابراین مجموع آنها صفر است. این خاصیت را به
صورت قانون مهم دیگری که از دو قانون دوم و سوم
نیوتن نتیجه می‌شود به نام قانون بقای اندازهٔ حرکت
چنین بیان می‌کنند:

وقتی که دو یا چند جسم برهم اثر می‌کنند اندازهٔ
حرکت آنها ثابت می‌ماند به شرط آن که نیرویی از
خارج بر آنها وارد نشود.

پرسش ۶-۶- اگر درون يك آسانسور روی
باسکولی ایستاده باشید و آسانسور با حرکت شتابدار
بالا برود باسکول وزن شما را بیشتر از مقداری که
هست نشان می‌دهد. چرا ؟

مثال ۲- می‌دانید در موتورهای جت هواپیما
که طرح ساده‌ای از آن در شکل ۶-۲ نمایش داده شده
است هوایی که برای سوختن سوخت به کار می‌رود
متراکم شده و با سوخت مخلوط می‌گردد و وارد
اتاق سوخت می‌شود و در آنجا این مخلوط می‌سوزد.
گازهای داغ حاصل از این سوختن از میان توربین
کوچکی که در محل خروج دود قرار دارد با سرعت
زیاد به بیرون رانده می‌شود و هنگام خروج، فشار و



شکل ۶-۳- طرح ساده‌ای از موتور جت

عکس‌العمل زمین به طرف جلو ، سبب می‌شود که ما به جلو حرکت کنیم و در همین موقع زمین نیز در اثر نیروی وارد از کف پای ما ، به طرف عقب حرکت می‌کند. اما چون جرم زمین در مقابل جرم بدن ما بسیار بزرگ است حرکت آن آشکار نیست اما هنگامی که در ساحل دریاچه از درون يك قایق سبك می‌خواهیم پا به ساحل بگذاریم قایق به عقب رانده می‌شود .

پرسش ۶-۷ - برکتایی که روی میز قرار دارد نیروهای عمل و عکس‌العمل چگونه اثر می‌کنند ؟

صربه مداوم شدیدی بر هواپیما وارد می‌سازد که مساوی فشار و ضربه خروج گاز ولی مخالف جهت آن است و در اثر همین نیروی عکس‌العمل، هواپیما به جلو رانده می‌شود . حرکت موشکها نیز بر همین اساس است . تفاوتی که موشکهای فضاپیما با موتورهای جت دارند این است که در موشکها ، اکسیژن لازم برای سوخت به صورت مایع یا مواد اکسیژن‌زا در خود موشک جای داده شده است.

مثال ۳- موقعی که روی سطح زمین راه می‌رویم با کف پای خود به زمین به طرف عقب زور می‌آوریم و زمین نیز رو به جلو به ما زور می‌آورد . نیروی

خودتان آزمایش کنید

۱) يك برگ کاغذ را روی میز بگذارید و چند سکه را روی آن قرار دهید و برگ کاغذ را با سرعت به طوافقی بکشید. سکه‌ها بدون آن که حرکت محسوسی بکنند در جای خود می‌مانند و کاغذ از زیر آنها کشیده می‌شود. اگر کاغذ را به آرامی بکشید سکه‌ها با آن کشیده می‌شوند. علت را توضیح دهید.

۲) دو نیروسنج را بردارید و سر یکی از آنها را با قلابی به میر یا جای مناسب دیگر ببندید و نیروسنج دیگر را به اولی وصل کنید و سر آزاد نیروسنج دوم را بگیرید و بکشید. خواهید دید که هر دو نیروسنج يك مقدار نیرو را نشان می دهند. علت را توضیح دهید.

۳) بادکنکی را پر از باد کنید و دهانه آن را با دست ببندید و آن را طوری نگه دارید که دهانه اش رو به پایین باشد. سپس آن را رها سازید. باد به شدت از دهانه آن خارج می شود و بادکنک با سرعت به طرف بالا حرکت می نماید تا آن که تمام بادش خالی شود. این حرکت بر پایه کدام قانون نیوتن است؟

۴) بادکنک را پر از باد کنید و دهانه اش را ببندید و آن را روی چهارچرخه کوچکی که معمولاً در آزمایشگاه یافت می شود طوری نصب کنید که اگر دهانه اش را باز کنید باد در راستای افقی خارج شود. سپس دهانه آن را باز کنید. باد خارج می شود و چهارچرخه در خلاف جهت خروج باد حرکت می نماید. چرا؟

به این پرسشها پاسخ دهید

- ۱) قانون اول نیوتن را شرح دهید.
- ۲) کدام خاصیت ماده است که سبب می شود يك جسم درمقابل تغییر تندی از خود مقاومت نشان دهد؟
- ۳) مفهوم اندازه حرکت چیست؟
- ۴) قانون دوم نیوتن را بیان کنید. چگونه از این قانون برای تعریف واحد نیرو استفاده می شود؟
- ۵) نیوتن را تعریف کنید.
- ۶) مثالی برای حرکت يك جسم با شتاب ثابت بیاورید.
- ۷) کدام يك از مطالب زیر در مورد جسمی که بر سطح زمین قرار دارد درست است؟
 - ۱) نیروی جاذبه زمین بر روی جرم يك کیلوگرم، يك نیوتن است.
 - ۲) نیروی جاذبه زمین بر روی جرم يك گرم، يك نیوتن است.
 - ۳) نیروی جاذبه زمین بر روی جرم يك کیلوگرم، تقریباً ده نیوتن است.
 - ۴) نیروی جاذبه زمین بر روی جرم ده کیلوگرم تقریباً يك نیوتن است.
- ۸) آیا می توان يك سفینه فضایی ملخدار (مانند هلیکوپتر) را برای مسافرت به کره ماه به کار برد؟ جواب خود را با دلیل بیان کنید.
- ۹) در نظر بگیرید که روی يك باسکول درون آسانسوری ایستاده اید. توضیح دهید در حالت های زیر چه تغییری در اندازه وزن شما که روی صفحه مدرج باسکول خوانده می شود حاصل می گردد؟
 - الف - آسانسور که با سرعت ثابت در حال بالا رفتن است ناگهان متوقف شود.
 - ب - آسانسور که ساکن است ناگهان روبه بالا حرکت کند.

ج - آسانسور که ساکن است ناگهان رو به پایین حرکت کند.

۱۵) قانون بقای اندازه حرکت را بیان کنید و توضیح دهید چرا تندی عقب زدن يك تفنگ خیلی کمتر از تندی پرتاب گلوله از تفنگ است.

۱۱) نام نیرویی که يك موتور جت با يك موشک را به جلومی راند چیست؟ مبدأ تولید این نیرو چیست؟

۱۲) يك وزنه به وسیله ریسمان محکمی به پایه ای آویخته شده است. چه نیرویی رو به پایین بر وزنه

اثر می کند؟ اگر این نیرو را «نیروی عمل» بپذیرید عکس العمل آن چه نیرویی خواهد بود؟

این مسئلهها را حل کنید

۱) هرگاه نیرویی برابر $12N$ در مدت $5s$ بر جرمی به جرم $2kg$ اثر کند تعبیر اندازه حرکت آن جسم چند kgm/s خواهد بود؟

۲) جرم اتومبیلی یا راننده اش $1800 kg$ است. اگر این اتومبیل با سرعت $5 m/s$ در جاده رانستی در حرکت باشد و اندازه حرکت آن چند است؟ در چه مدت باید بر آن نیروی $1350 N$ اثر کند تا پس از شروع حرکت، این اندازه حرکت را پیدا کند؟

۳) چه نیرویی بر حسب نیوتن باید بر جسمی به جرم $5 kg$ اثر کند تا به آن شتابی برابر $9.8 m/s^2$ بدهد؟

۴) دو پسر یکی به جرم $45 kg$ و دیگری به جرم $60 kg$ روی دو چرخ دستانی بکسان که جرم هر يك $10 kg$ است بر روی سطح افقی بدون اصطکاک مقابل هم شستند و هر يك از آن دو يك سر طنابی را که بین آنان کشیده شده است در دست گرفته است. پسر سبکتر طناب را می کشد و با سرعت $2 m/s$ به حرکت در می آید. در این صورت پسر سنگین تر را چه سرعتی شروع به حرکت خواهد کرد؟

۵) يك بادکنک پر از باد محتوی $2g$ هواست که پس از باز شدن دهانه اش با سرعت $470 m/s$ به طور منظم در $2/5s$ حالی می شود. چه نیرویی در اثر خروج باد در این مدت بر بادکنک وارد می شود؟

۶ - چه نیروی اصطکاک کی لازم است تا واگنی به جرم 50 تن را که با سرعت $8/5$ متر بر ثانیه روی ریل افقی در حرکت است در مدت 15 ثانیه متوقف کند؟

۷ - نیروی افقی برابر 100 نیوتن بر صندوقی به جرم $50 kg$ که روی کف اطاق قرار دارد وارد می شود. ضریب اصطکاک بین صندوق و کف اطاق 0.5 است.

الف - صندوق در اثر این نیرو چه شتابی می نیرد؟

ب - چه زمانی لازم است تا صندوق پس از شروع حرکت با اندازه يك متر جابجا شود؟

پاسخ به پرسشهای متن کتاب

۱-۶ نیروهایی که هنگام ریزش باران بر هر دانه باران وارد می‌شود عبارتند از وزن دانه باران رو به پایین و مقاومت هوا رو به بالا. وقتی که نیروی مقاومت هوا برابر وزن دانه باران بشود برآیند نیروهای وارد بر آن صفر می‌شود و دانه قانون اول نیوتن حرکت آن یکنواخت می‌گردد.

۲-۶ مـورد دوم آنه میلی می‌خواهد مذاکره قانون اینرسی در امتداد خط راست به حرکت خود ادامه دهد. نهمین جهت به طرف خارج پیچ حاده کشیده می‌شود. ولی بدنه یا صندلی اتومبیل مانع پرت شدن او می‌گردد.

۳-۶ علامت منفی نشان مایش این است که اندازه تندى زفته رفته کم می‌شود و حرکت کند می‌گردد. تا حرکت متوقف شود. بدیهی است در این حالت نیروی وارد بر جسم در خلاف جهت حرکت آن است.

۴-۶ جسمی که حرمت بیشتر است نشان که تری پیدامی کند در این انتخاب جسم با حرمت آن نسبت عکس دارد.

۵-۶ رابطه $w = mg$ همان رابطه $F = ma$ است که به جای F نیروی وزن جسم (یعنی w) و به جای a شتاب افتادن جسم (یعنی g) قرار داده شده است.

۶-۶ زیرا در این حالت نیرویی که از کف آسانسور رو به بالا بر شخص وارد می‌شود بزرگتر از وزن اوست و طبق قانون عمل و عکس العمل، نیرویی هم که شخص بر کف آسانسور (و در نتیجه بر صفحه باسکول) وارد می‌سازد بیش از وزن اوست.

۷-۶ نیروی عمل، وزن کتاب است که بر میز تحمیل می‌شود و عکس العمل آن نیروی برگرداننده الاستیک حاصل از تغییر شکل میز در اثر وزن کتاب است که با آن تعادل حاصل می‌کند.



کار و انرژی

در گفتگوهای روزانه کلمه «کار» تقریباً به یک نوع فعالیت بدنی یا فکری نسبت داده می‌شود ولی در دانش فیزیک، کار معنای ویژه‌ای دارد و وقتی انجام می‌گیرد که نیرویی سبب حرکت شود. مثلاً لوگو موبیوی که یک تیرن را می‌کشد کار انجام می‌دهد. کارگری که آجرها را بالای چوب‌پست می‌برد کار انجام می‌دهد...

آیا اتفاق افتاده است که به تماشای جراتفالی که مثلاً یک تیر آهنی را برای گداردن بر روی پیه‌های بلند، به بالای ساختمانی می‌برد اشتهاد باشید؟ جراتفالی نیروی زیادی را برای بلند کردن تیر آهنی که خیلی سنگین است به کار می‌برد و انرژی زیادی را برای انجام این کار مصرف می‌نماید. این انرژی از کجا و چگونه تأمین می‌شود؟ پیش از آن که به بررسی این پرسش و پاسخ دادن به آن پردازید باید مطمئن شوید که مفهوم فیزیکی کلمات کار و انرژی و توان را به درستی می‌دانید. شما در سالهای پیش با مفهوم این کلمات آشنا شده‌اید. در این بخش مطلب را با دیدی که حقیقت علمی بیشتری دارد دنبال خواهید کرد.

است. مثلاً وقتی که کتابی را از روی زمین برمی-

داریم و آن را در راستای قائم بالا می‌بریم تسا روی

میر بگذاریم نیرویی مساوی و مخالف جهت نیروی

حاذیه زمین بر آن وارد می‌سازیم و آنگاهیم که برای

جا به جا کردن کتاب، انرژی مصرف کرده‌ایم و کار

انجام داده‌ایم. ولی هنگامی که تلاش می‌کنیم تا تخت

سنگ بر روی را جا به جا کنیم و موفق نمی‌شویم،

گرچه انرژی مصرف می‌کنیم اما کار انجام نمی‌دهیم.

پرش ۷-۱- پس انرژی که برای جا به جا

کردن سنگ مصرف می‌کنیم چه می‌شود؟

وقتی که شما چمدانی را روی دوش خود نکه

کار

در بخش ۶ دیدید که وقتی بر جسمی نیرو وارد

شود آن جسم بنا به قانون اول نیوتن حالت سکون

یا حالت حرکت بکنواخت خود را سر امتداد یک

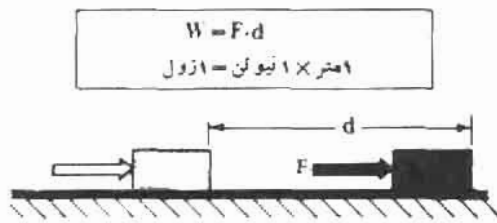
خط راست حفظ خواهد کرد. همچنین بنا به قانون

دوم نیوتن، نیرو سبب می‌شود که جسم حرکت کند و

در جهت نیرو شتاب بگیرد.

در صورتی که نیروی وارد بر جسمی موفق به

حرکت دادن آن جسم شود می‌گوییم کار انجام گرفته



شکل ۱-۷- جا به جایی در راستای نیرو \times نیرو = کار

هنگام جدا کردن دو جسم از یکدیگر یا شکستن و باره کردن يك جسم باشد:

یا نیروهای برگرداننده کشسان (الاستیک)

هنگام کشیدن يك فنر باشد و مانند اینها

اندازه کار

بنابر آنچه گفته شد ، دو عامل در اندازه کار

مؤثر است یکی نیرو و دیگری اندازه جا به جایی

نقطه اثر نیرو (شکل ۱-۷) و بنا به تعریف ، کادپوایر

است با حاصل ضرب نیرو در اندازه جا به جایی نقطه

اثر نیرو در راستایی که نیرو اثر می کند.

یعنی:

جا به جایی در راستای نیرو \times نیرو = کار

که اگر کار را به W و نیرو را به F و جا به جایی را

به d نمایش دهیم کار ، به صورت رابطه ریاضی زیر

نمایش داده می شود:

$$W = F.d \quad (1-7)$$

واحد کار در دستگاه بین المللی واحدها (SI)

ژول (با علامت اختصاری J) نام دارد و برابر است

می دارید کار فیزیکی انجام نمی دهید بلکه فقط نیرویی رو به بالا برای خنثی کردن نیروی جاذبه وارد بر چمدان که رو به پایین اثر می کند بر آن وارد می سازید. با وجود این وقتی که انسان بار سنگینی را روی دوش خود نگه می دارد پاره ای از بافتها و ماهیچه های بدن او کشیده یا فشرده می شوند و کار درون ماهیچه ای صورت می گیرد.

شما، در این مثال، از نظر فیزیکی وقتی کار

انجام می دهید که چمدان را از روی زمین بلند کنید

و روی دوش خود بگذارید یا آن را از پلکانی بالا

ببرید . زیرا در این هنگام شما نیرویی وارد می کنید

که در به حرکت در آوردن چمدان مؤثر است . اما

وقتی که چمدان را بر دوش خود یا سرعت ثابت، روی

سطح افقی می برید نیز کار انجام نمی دهید . درست

است که این جسم را جا به جا می کنید ولی نیرویی که

شما برای نگه داشتن آن بر دوش خود اعمال می کنید

در حرکت افقی آن مؤثر نیست.

کار وقتی انجام می شود که نیرویی سبب جا به

جا شدن نقطه اثر خود شود و توجه به این مطلب مهم

است که اگر نیرویی نتواند نقطه اثر خود را جا به جا

کند کار انجام نمی دهد.

اغلب، برای انجام دادن کار باید بريك نیروی

مقاوم غلبه کرد. این نیروی مقاوم ممکن است:

نیروی جاذبه هنگام بالا بردن يك وزنه باشد؛

یا نیروی اصطکاک ، هنگام کشیدن یا راندن

يك جسم بر روی يك سطح باشد؛

یا نیروهای چسبندگی و پیوستگی بین مولکولها

با کار حاصل از نیروی يك نيوتن هنگامی که نقطه اثرش به اندازه يك متر در راستای نیرو جابه‌جا شود. یعنی :

$$1 \text{ متر} \times 1 \text{ نیوتن} = 1 \text{ ژول (۲-۷)}$$

بنابراین :

$$W = F \cdot d \quad (3-7)$$

(J) (N) (m)

که خوانده می‌شود: کار W بر حسب ژول برابر است با حاصل ضرب نیروی F بر حسب نیوتن ضرب در جابه‌جایی d بر حسب متر.

واحدهای بزرگتر عبارتند از کیلوژول (یا علامت اختصاری kJ) و مگاژول (MJ).

$$1 \text{ kJ} = 10^3 \text{ J}$$

$$1 \text{ MJ} = 10^6 \text{ J}$$

مثلاً موتور بارکشی که نیروی متوسط ۹۰۰۰ نیوتن در مسافت ۲۵۰ متر وارد می‌سازد به اندازه $1800 \times 10^5 = 9000 \times 250$ ژول، یا ۱۸۰۰ کیلوژول یا $1/8$ مگاژول کار انجام می‌دهد.

برای این که جسمی به جرم m را در راستای قائم به بلندی h بالا ببریم باید کار :

$$W = mgh \quad (4-7)$$

را انجام بدهیم زیرا :

$$mg = \text{نیروی وارد بر جسم}$$

$$h = \text{جابه‌جایی نقطه اثر نیرو}$$

$$W = mgh \text{ کار لازم برای جابه‌جا کردن جسم}$$

اگر W بر حسب ژول باشد، m بر حسب کیلو

$$g = 9/8 \text{ بر حسب متر و } \frac{1 \text{ نیوتن}}{1 \text{ کیلوگرم}}$$

است .

پرسش ۲-۷ - پس از بالا بردن جسم، این کار چه می‌شود؟

واحد عملی کار کیلوگرم متر (kgm) است.

یک کیلوگرم متر برابر است با کار حاصل از نیروی

یک کیلوگرم در مسافت یک متر و چون یک کیلوگرم

نیرو تقریباً معادل $9/8$ نیوتن است. بنابراین :

$$1 \text{ kgm} \approx 9/8 \text{ J}$$

پرسش ۳-۷ - شخصی که وزن بدنش ۶۵ کیلو

گرم نیروست اگر از نردبانی به ارتفاع ۴ متر بالا رود

چه کاری بر حسب ژول هنگام بالا رفتن انجام خواهد

داد ؟

پرسش ۴-۷ - در صورتی که نیرو در راستای

جا به جا شدن جسم نباشد کار چگونه حساب می‌شود؟

ماشینها

اتومبیل که باد لاستیک آن خالی شده است نمی‌توانیم

به تنهایی با نیروی دست و بازوی خود اتومبیل را

نیروی ماهیچه‌های بدن ما، برای انجام کارهای

سنگین مناسب نیست. مثلاً هنگام عوض کردن چرخ

دیگری هم در آن تلف نشود ماشین کامل نامیده می شود. پدیدهی است ماشین کامل وجود ندارد و فقط می توانیم آن را در ذهن خود مجسم کنیم.

چگونه از ماشینها کمک می گیریم ؟

در شکل ۷-۲ مردی نشان داده شده است که صندوقی به وزن ۱۰۰۰ نیوتن را با يك دستگاه قرقره مرکب به طرف بالا می کشد. به کار بردن دستگاه قرقره ها برای مرد دو فایده دارد : نخست آن که

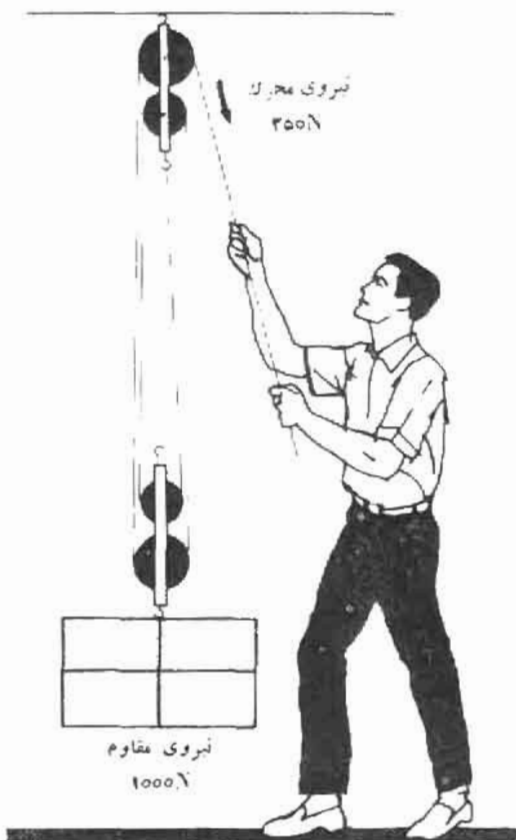
بالا ببریم ولی اگر نیروی دست و بازوی خود را بر دستۀ يك حثك وارد سازیم می توانیم آن را به نیروی بردگی تبدیل کنیم که به آسانی انومیل را از جای خود بالا می برد. هر کار آسانی مانند چمن زدن هم اگر بدون يك وسیله انجام شود خسته کننده است و در صورتی که به کمک يك وسیله مانند ماشین چمن زنی تندتر و راحت تر انجام می گیرد. چك اتومبیل و ماشین چمن زنی نمونه هایی از ماشینها هستند. ما برای این که از نیروها بهتر استفاده کنیم ماشینها را در خدمت خود همه روزه در خانه و کشتزار و صنعت و بازرگانی و دیگر جاها به کار می گیریم.

ماشینهای ساده

وقتی که از ماشین سخن می گوئیم معمولاً به چیزی مانند تراکتور ، یا چرخ خیاطی یا ماشین ریسندگی و بافندگی و مانند اینها می اندیشیم. اینها ماشینهای پیچیده ای هستند که اگر هر يك از آنها را به دقت بررسی کنیم می بینیم که از چند جزء اصلی ساده درست شده است و هر جزء به خودی خود ماشین کوچکی است که يك کار ساده را انجام می دهد . این اجزای اصلی را ماشین ساده می نامند.

در هر ماشین ، بین قسمتهای مختلف آن همواره مقداری اصطكاك وجود دارد که از کار مفید ماشین می کاهد و سبب می شود که در قانونهای اصلی حاکم بر ماشینها آشفتگی پدید آید. برای این که بتوانیم قانونهای ماشینها را به صورت ساده تری بیان کنیم آنها را بدون اصطكاك در نظر می گیریم.

(اگر ماشینی بدون اصطكاك باشد و کار به صورت



شکل ۷-۳- يك دستگاه قرقره مرکب با عزیت مکانیکی ۴

سندوق ۱۰۰۰ نیوتنی را به وسیله این دستگاه فقط با نیروی ۲۵۰ نیوتن بالا می‌برد. دوم آن کسه برای بالا بردن سندوق نیرو به طرف پایین بر روی طناب دستگاه قرقره وارد می‌سازد و این يك مزیت است زیرا برای انزال آسانتر است که نیروی رو به پایین وارد سازد تا این که همان نیرو را رو به بالا وارد نماید و تغییر جهت نیرو به وسیله دستگاه قرقره صورت می‌گیرد.

اینك دو چرخه را که آن هم يك ماشین است در نظر می‌گیریم: دو چرخه سوار روی رکاب آن نیرو وارد می‌سازد. این نیرو به وسیله زنجیر و چرخ دنداندار به چرخ عقب منتقل می‌شود و آن را می‌چرخاند. وقتی که دو چرخه سوار رکاب را کسمی جابه‌جا می‌کند چرخ عقب مسافت بیشتری می‌پیماید، بنابراین دو چرخه سبب می‌شود که دو چرخه سوار از مسافت و سرعت بیشتر بهره‌بردار. این دو مثال طرد کمک گرفتن از ماشین را برای شما روشن می‌سازند. بنا بر این ماشینها می‌توانند:

یا نیروی نا که بر آنها وارد می‌سازیم چند برابر کنند.

یا جهت نیروی نا که بر آنها وارد می‌سازیم تغییر دهند.

یا اندازه جابه‌جایی نقطه اثر نیروی نا که وارد می‌سازیم چند برابر کنند.

نیروی نا که ما سر ماشین وارد می‌سازیم نیروی محرك و نیروی نا که ماشین برای غلبه بر يك مقاومت یا برای به حرکت درآوردن يك جسم وارد می‌سازد. نیروی مقاوم بنا به این تعیین این مزیت کافی است نسبت به نیروی غلبه کننده بر مقاومت را که ماشین اعمال می‌کند به نیروی محركی که ما بر ماشین وارد می‌سازیم تعیین می‌نماییم. این نسبت، چنان که می‌دانید، مزیت مکانیکی ماشین نامیده می‌شود.

$$\frac{\text{نیروی مقاوم}}{\text{نیروی محرك}} = \text{مزیت مکانیکی}$$

اگر مزیت مکانیکی را به A ، نیروی مقاوم را به R و نیروی محرك را به E نمایش دهیم، مزیت مکانیکی در رابطه ریاضی زیر خلاصه می‌شود:

$$A = \frac{R}{E} \quad (5-7)$$

در قرقره‌های مرکب شکل ۷-۲، که نیروی مقاوم ۱۰۰۰ نیوتن و نیروی محرك ۲۵۰ نیوتن است مزیت مکانیکی برابر $\frac{1000}{250} = 4$ است. یعنی این ماشین نیروی نا که وارد می‌سازد چهار برابر می‌کند.

پرسش ۷-۵ - آیا مزیت مکانیکی دو چرخه از واحد بزرگتر است یا کوچکتر است؟

رابطه بین کار محرك و کار مقاوم در ماشینهای ساده

در مثال قرقره، چون مرد با نیروی که $\frac{1}{4}$ نیروی مقاوم است سندوق را بالا می‌برد ممکن است تصور کنید که کار کمتری برای بالا بردن آن انجام می‌دهد. ولی این تصور درست نیست زیرا اگر بخواند سندوق را يك متر بالا ببرد باید طناب را چهار متر

مزیت مکانیکی

وقتی که ماشین را به کار می‌بریم می‌خواهیم بدانیم که از این ماشین چه بهره‌ای می‌گیریم: به عبارت دیگر، کار برد آن چه مزیتی دارد. اگر

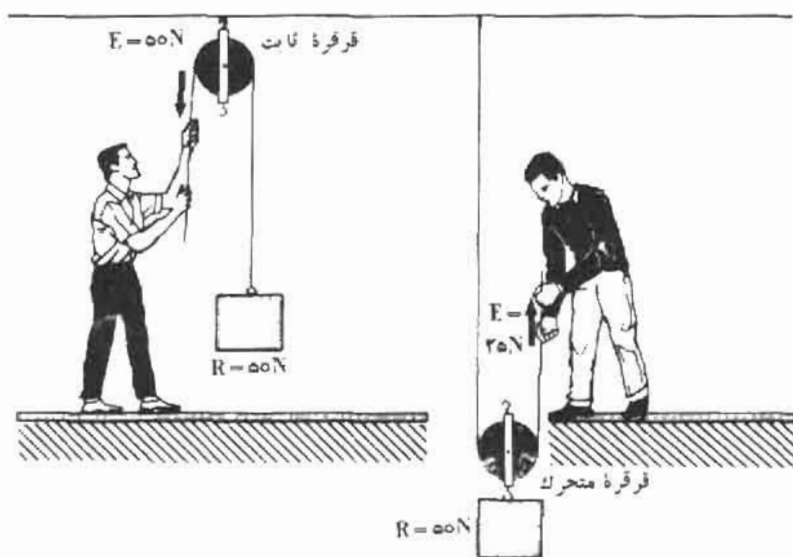
درماشینها به مثالهای زیر توجه کنید:

الف - قرقره‌ها

می‌دانید قرقره‌ها، چه ساده و چه مرکب از جمله ماشینهای ساده‌ای هستند که به صورت بزرگ و کوچک زیاد به کار می‌روند. قرقره ساده از یک قلاب و یک چرخ شیاردار درست شده است که آزادانه درون قلاب می‌چرخد. شکل ۷-۳ دو جور کاربرد یک قرقره ساده را نشان می‌دهد.

شکل طرف چپ مردی را نشان می‌دهد که از یک قرقره ثابت برای بالا بردن باری استفاده می‌کند و مزیت مکانیکی آن ۱ است. زیرا مثلاً برای بالا بردن بار ۵۰ نیوتنی باید نیروی ۵۰ نیوتن به سر دیگر طناب وارد کند. با وجود این، قرقره کار او را آسانتر می‌کند زیرا برای بالا بردن بار باید نیروی او را به پایین وارد کند و می‌تواند از وزن بدن خود کمک بگیرد.

بکشد. بنابراین در همان زمانی که ماشین نیروی مرد را چهار برابر می‌کند، نقطه اثر نیروی مقاوم را به اندازه یک چهارم مسافتی که نیروی محرک می‌پیماید جا به جا می‌کند. به مثال دو چرخه برگردیم: مسافتی که چرخ عقب دو چرخه (و در نتیجه خود دو چرخه) می‌پیماید بزرگتر از جا به جایی رکاب است ولی دو چرخه سوار، برای این افزایش سرعت، باید با پاهای خود نیروی بیشتری بر رکاب دو چرخه وارد بیاورد. به عبارت دیگر، برای آن که سرعتش افزایش یابد باید بیشتر تلاش کند. این تلاش به ویژه هنگامی که دو چرخه سوار بر فراز تپه‌ای بالا می‌رود محسوس‌تر است و نیرویی که باید بر رکاب وارد سازد آن قدر زیاد است که برای دو چرخه سوار اغلب آسانتر است پیاده به بالای تپه برود تا این که سوار بر دو چرخه باشد. اینک برای یافتن رابطه کار محرک (یعنی کار نیروی محرک) و کار مقاوم (یعنی کار نیروی مقاوم)

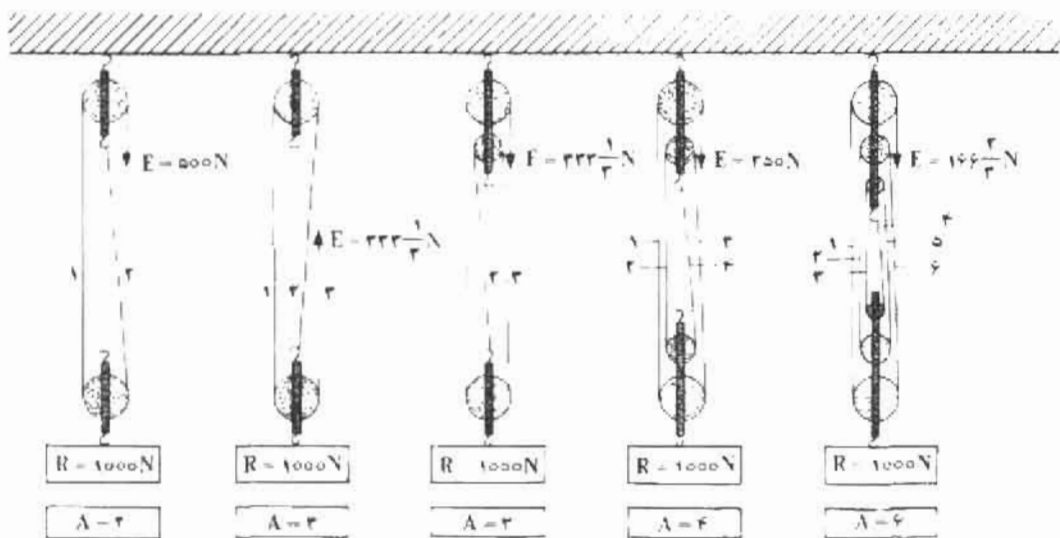


شکل ۷-۳ - یک قرقره ساده ثابت و یک قرقره ساده متحرك.

در شکل طرف راست، هر دایره بزرگ فرقه ساده متحرک برای بالا بردن بار ۵۰ نیوتنی استفاده می‌کند. در این حالت، هر دو شاخه طناب (که با هم موازی هستند) وزن ۵۰ نیوتن را متحمل می‌شوند. سر یک شاخه طناب به جایی بسته شده است و سر شاخه دیگر آن که آزاد است توسط مرد کشیده می‌شود و چون هر شاخه طناب نصف وزن بار را متحمل می‌شود، مرد باید فقط به اندازه نصف وزن بار (در مثال ما ۲۵ نیوتن) به شاخه آزاد طناب وارد سازد. در نتیجه، مزیت مکانیکی فرقه ۲ است. اما در مقابل این مزیت مکانیکی برای این که بار یک متر بالا برده شود مرد باید طناب را دو متر بکشد.

پرسش ۲-۶ - اگر دو شاخه طناب در دو طرف فرقه با هم موازی نباشند آیا هر شاخه باز هم نصف وزن بار را تحمل می‌کند؟

شکل ۷-۴ چند دستگاه فرقه مرکب را نشان می‌دهد که مزیت‌های مکانیکی متفاوت دارند. در هر یک از این دستگاهها، هر شاخه از طناب که به فرقه‌های متحرک بسته است یا از شیار آنها می‌گذرد مقدار مناسبی از وزن بار را تحمل می‌کند. در واقع وزن بار به طور مساوی بین شاخه‌های طنابی که آن را تحمل می‌کنند تقسیم می‌شود. مثلاً در دستگاهی که تعداد فرقه‌های آن ۴ است و نمونه بزرگتر آن در شکل ۷-۲ نمایش داده شده است، نیروی مقاوم ۱۰۰۰ نیوتنی به چهار نیروی مساوی، هر یک ۲۵۰ نیوتن، تقسیم گردیده است. چون مرد شاخه بیرونی طناب را می‌کشد فقط نیروی ۲۵۰ نیوتن وارد می‌سازد و مزیت مکانیکی این دستگاه ۴ است. یعنی برابر است با تعداد شاخه‌های طناب که فرقه‌های متحرک و وزنه متصل به آنها را تحمل می‌کنند.



شکل ۷-۴ - مزیت مکانیکی در دستگاه فرقه‌های مرکب برابر است با عدد شاخه‌های طناب که فرقه‌های متحرک و بار متصل به آنها را تحمل می‌کنند.

خود نیرو تولید نمی‌شود بلکه کاذب محوک همواره برابر کاذب مقاوم است.

برش ۷-۷ - در شکل ۷-۵ . يك دستگاه پیاپی به وزن ۲۵۰۰ نیوتن توسط دو مرد، روی هم با نیروی ۵۰۰ نیوتن در روی سطح شیب‌داری که اصطکاک آن ناچیز است به طرف بالا برده می‌شود. مزیت مکانیکی این سطح که در حکم يك ماشین ساده است چیست؟ چگونه می‌توانید با توجه به اعدادی که روی شکل نوشته شده است قانون کار را در این ماشین تحقیق کنید؟

ب - اهرمها

اهرمها را به خوبی می‌شناسید. آلاکلنگ که در شکل ۷-۶ نمایش داده شده است يك نوع اهرم است. ساده‌ترین نوع اهرم از يك میله تشکیل می‌شود که می‌تواند به دور محوری به نام تکیه‌گاه آزادانه بچرخد. نیروی محرکی که به يك سر میله وارد می‌گردد سبب می‌شود که اهرم به دور تکیه‌گاه خود بچرخد و هنگام چرخیدن، نقطه اثر نیروی مقاوم را که بر سر دیگر میله اثر می‌کند به حرکت درآورد.

قانون کار - فرض کنید که مرد، قرفره مرکب چهارتایی را که شرح آن داده شده به کار می‌برد و با ۱۵۰۰ نیوتنی را با وارد ساختن نیروی ۲۵۰ نیوتن بالا می‌برد. برای این که بار به اندازه يك متر بالا برود باید طناب را چهارمتر بکشد. کاری که توسط مرد به این ماشین داده می‌شود برابر است با:

$$(ژول) ۱۵۰۰ = (متر) ۴ \times (نیوتن) ۲۵۰$$

و کاری که ماشین انجام می‌دهد برابر است با:

$$(ژول) ۱۵۰۰ = (متر) ۱ \times (نیوتن) ۱۵۰۰$$

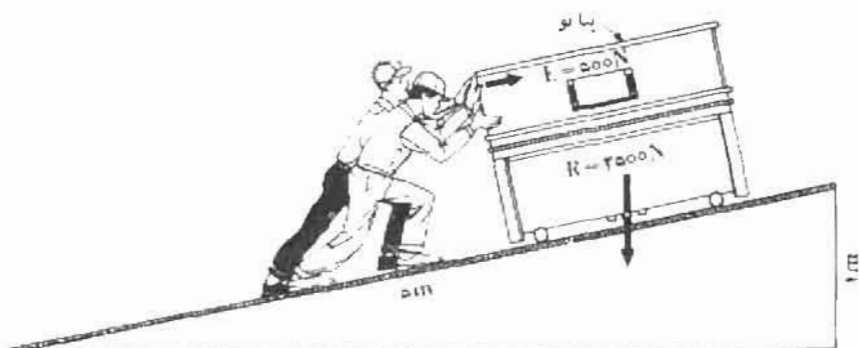
کاری که به ماشین داده می‌شود کاذب محوک با

کاذب نیروی محوک نام دارد. بدیهی است:

جابه‌جایی نقطه اثر نیروی محوک \times نیروی محوک = کار محوک کاری که ماشین برای بالا بردن بار با غلبه بر يك مقاومت انجام می‌دهد کاذب مقاوم یا کاذب نیروی مقاوم نامیده می‌شود.

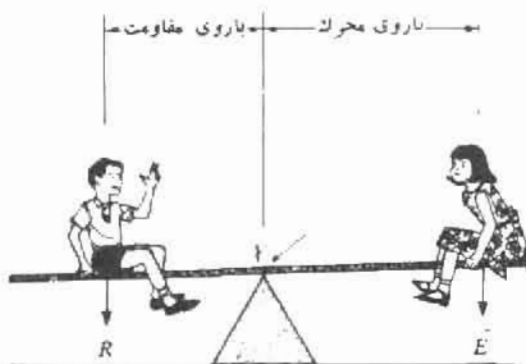
می‌بینید که در این ماشین کار نیروی محوک برابر کار نیروی مقاوم است و این قانون کار در ماشینهای کامل است که چنین بیان می‌شود:

در يك ماشین کامل کار از بین نمی‌رود و خود به



شکل ۷-۵ - سطح شیب‌دار نیز يك ماشین ساده است

مثلاً در آلاکلنگ، وزن کودکی که در یک سر آن نشسته است (نیروی محرك) سبب چرخیدن میله به دور تکیه گاه خود می‌شود و کودک دیگر (نیروی مقاوم) را که در سر دیگر آلاکلنگ قرار گرفته است بالا می‌برد.



شکل ۶-۷- نیروهایی که بر آلاکلنگ اثر می‌کنند

در چرخ دشتی خاک‌کشی (شکل ۷-۷)، مرد، نیروی محرك را به دشته آن رو به بالا وارد می‌سازد. این نیرو سبب می‌شود که بدنه اسباب به دور مرکز چرخ که در حکم تکیه گاه است بچرخد و بالا آید و بار (یعنی نیروی مقاوم) را بالا ببرد. تعدادی از ابزارها مانند قیچی، انبردست، فندق شکن، قندگیر و مانند اینها از دواهرم ساده تشکیل یافته‌اند که به دور محور مشترکی می‌چرخند (بسه شکل ۸-۷ نگاه کنید).



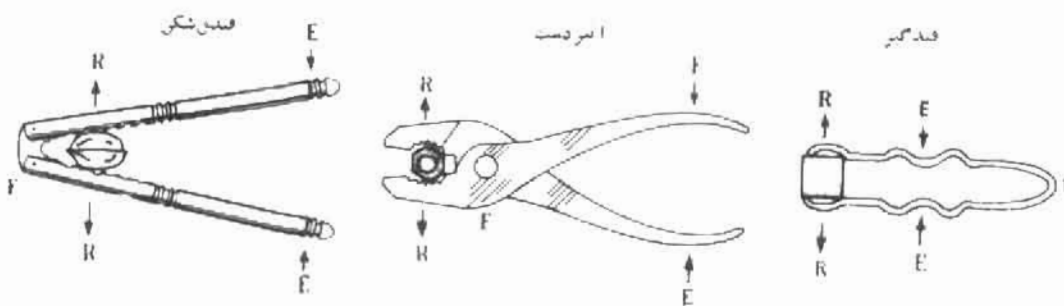
شکل ۷-۷- نیروهایی که بر یک چرخ خاک‌کشی اثر

می‌کنند

پرش ۸-۷ - شکل ۸-۷ سه نوع ابزار را که بر اساس کار اهرمها ساخته شده‌اند نشان می‌دهد. با سابقه‌ای که از شناسایی اهرمهای نوع اول و دوم و سوم دارید توضیح دهید که هر یک از این اهرمها از چه نوع هستند؟

قانون اهرمها - برای پیدا کردن قانون اهرمها به مثال ساده آلاکلنگ توجه کنید.

بنابراین آنچه گفتیم مریت مکانیکی این اهرم چنین است:



شکل ۸-۷- سه نمونه از اهرمهای مختلف

$$A = \frac{R \text{ (نیروی مقاوم)}}{E \text{ (نیروی محرک)}}$$

می‌دانید فاصله نیروی محرک از تکیه‌گاه (یعنی طول خطی که از تکیه‌گاه بر راستای نیرو عمود می‌شود) بازوی محرک و فاصله نیروی مقاوم از تکیه‌گاه بازوی مقاومت اهرم نامیده می‌شود. در بخش ۵ دیدید که حاصل ضرب نیروی محرک در بازوی محرک، گشتاور نیروی محرک و حاصل ضرب نیروی مقاوم در بازوی مقاومت، گشتاور این نیرو نسبت به تکیه‌گاه است چنانچه اهرم در حال تعادل باشد:

گشتاور نیروی مقاوم = گشتاور نیروی محرک
اگر طول بازوهای محرک و مقاومت اهرم را به ترتیب به L_E و L_R نمایش دهیم رابطه بالا چنین نوشته می‌شود:

$$E \cdot L_E = R L_R$$

یا

$$\frac{R}{E} = \frac{L_E}{L_R}$$

بنابراین مزیت مکانیکی اهرم برابر است با:

$$A = \frac{R}{E} = \frac{L_E}{L_R} \quad (6-7)$$

یعنی مزیت مکانیکی اهرم برابر نسبت طول بازوی محرک به طول بازوی مقاومت است.

ج- چرخ و محور

چرخ و محور نیز یک نوع ماشین ساده است که از یک چرخ بزرگ و یک چرخ کوچک، به نام محور، متصل بهم تشکیل می‌شود و هر دو با هم می‌چرخند. کلید قفل در را می‌توان نمونه متداولی از این نوع ماشین دانست که دسته آن در حکم چرخ بزرگتر و بدنه آن، در حکم چرخ کوچکتر است. هر گاه نیروی کوچکی بر دسته کلید وارد شود نسبت می‌گردد که

بدنه کلید بچرخد و نیروی زیادی بر لبه قفل وارد سازد. فرمان اتومبیل، آچار پیچ‌گوشی، چرخ‌چاه، چرخ مته دستی نمونه‌های دیگری از این نوع ماشین هستند.

مزیت مکانیکی چرخ و محور - برای تعیین

مزیت مکانیکی این نوع ماشین، شکل ۷-۹ را در نظر بگیرید. در این شکل طنابی می‌بندید که به چرخ بزرگ بسته و به دور آن پیچیده شده است. وقتی که این طناب کشیده شود چرخ بزرگ می‌چرخد و چرخ کوچک را نیز با خود می‌چرخاند. این چرخ به نوبه خود طناب دیگری را که حامل بار است به دور خود می‌پیچاند و بار را بالا می‌برد. بنابراین نیروی کوچک E که به چرخ بزرگ وارد می‌گردد بار بزرگ R (نیروی مقاوم) را که به چرخ کوچک تحمیل می‌شود بالا می‌برد و مزیت مکانیکی آن برابر است با:

$$A = \frac{R}{E}$$

اگر شعاع چرخ بزرگتر را به r_E و شعاع چرخ کوچکتر (محور) را به r_R نمایش دهیم چون این دو شعاع در واقع به ترتیب بازوهای محرک و مقاومت این اهرم هستند گشتاور نیروی محرک نسبت به تکیه‌گاه $E \times r_E$ و گشتاور نیروی مقاوم نسبت به تکیه‌گاه $R \cdot r_R$ است.

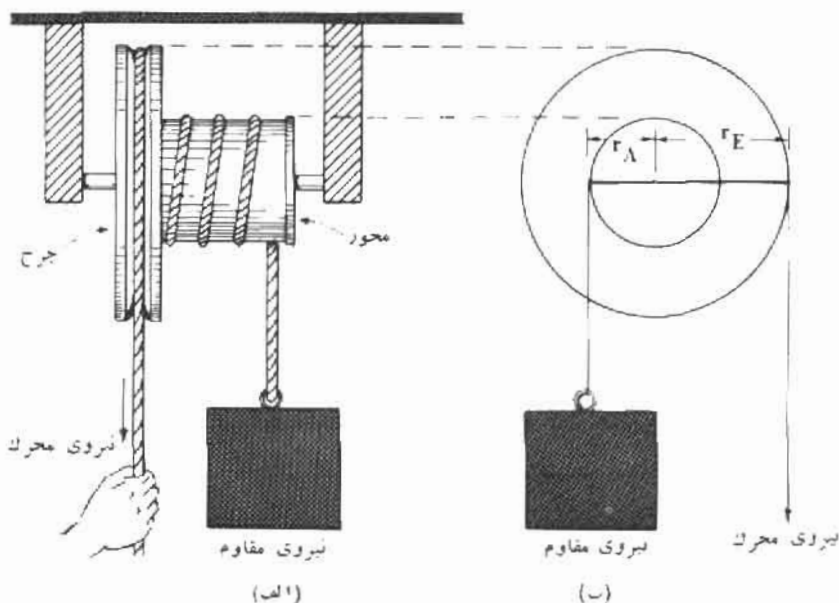
در حالت تعادل این گشتاورها با هم برابرند و داریم:

$$E \cdot r_E = R \cdot r_R$$

یا

$$\frac{R}{E} = \frac{r_E}{r_R}$$

بنابراین، مزیت مکانیکی ماشین چرخ و محور



شکل ۹-۷- مزیت مکانیکی ماشین چرخ و محور برابر نسبت شعاع چرخ به شعاع محور است.

عمل به کار می‌روند بدون اصطکاک نیستند و باید مزیت مکانیکی واقعی آنها را تعیین کنیم. مزیت مکانیکی یک ماشین واقعی عبارت است از نسبت نیروی مقاوم به نیروی محرک واقعی که باید به یک ماشین وارد شود تا آن ماشین بتواند کار انجام دهد. یعنی:

$$\text{مزیت مکانیکی واقعی (۸-۷)} = \frac{\text{نیروی مقاوم}}{\text{نیروی محرک واقعی}}$$

مثلاً در نظر بگیرید که از سطح شیب‌داری به طول ۵ m و به بلندی ۱ m (شکل ۵-۷) برای بالا بردن باری به وزن ۲۵۰۰ N استفاده می‌کنیم، در صورتی که سطح بدون اصطکاک در نظر گرفته شود باید نیروی ۵۰۰ N برای بالا بردن بار وارد سازیم. در

$$\frac{۲۵۰۰}{۵۰۰} = ۵$$

نتیجه، مزیت مکانیکی کامل آن برابر ۵ است که برابر نسبت طول سطح به بلندی آن یعنی $\frac{۵}{۱}$

از رابطه زیر حساب می‌شود:

$$(۷-۷) \quad A = \frac{R}{E} = \frac{r_F}{r_R}$$

یعنی مزیت مکانیکی ماشین چرخ و محور برابر نسبت شعاع چرخ به شعاع محور است. مثلاً اگر شعاع چرخ ۲۵ cm و شعاع محور ۵ cm باشد مزیت مکانیکی ماشین ۵ = $\frac{۲۵}{۵}$ است.

پرسش ۹-۷ - با استفاده از قانون تساوی کار، چگونه به همین نتیجه خواهید رسید؟

مزیت مکانیکی ماشینهای واقعی

در تعیین مزیت مکانیکی ماشینها فرض این بود که اصطکاک و هر نوع عامل دیگر که سبب اتلاف کار در آنها بشود وجود ندارد. ولی ماشینهای واقعی که در

بازده ماشین

بازده يك ماشین نشان دهنده کار واقعی آن ماشین است و بنا به تعریف عبارت است از نسبت کار مفید گرفته شده از ماشین به کار داده شده به آن یعنی:

$$(۷-۹)$$

$$\text{کار مفیدی که ماشین انجام می دهد} \\ \text{تاری که به ماشین داده می شود} = \text{بازده ماشین}$$

معمولاً بازده را بر حسب درصد بیان می کنند.

بنابراین:

$$\text{مقدار درصد بازده (۷-۱۰)}$$

$$۱۰۰ \times \frac{\text{کار مفیدی که ماشین انجام می دهد}}{\text{تاری که به ماشین داده می شود}}$$

بازده نشان می دهد که چند درصد از کار داده

شده به ماشین به صورت کار مفید به ما پس داده می شود. کاهش اندازه کار در ماشین به صورت غلبه بر نیروی اصطکاک به مصرف می رسد.

بازده ماشین کامل صد درصد است زیرا، کار

داده شده برابر کار گرفته شده است.

مثال - در یک ماشین چرخ و محور، شعاع چرخ ۳۰ سانتیمتر و شعاع محور ۵ سانتیمتر است. به وسیله این ماشین بار ۱۵۰۰ نیوتن را ۳ متر بالا می برند و برای بالا بردن آن ۳۰۰ نیوتن نیرو دارد می سازند.

۱- مزیت مکانیکی کامل ماشین

$$۶ = \frac{۳۰}{۵} = \frac{\text{شعاع چرخ}}{\text{شعاع محور}}$$

۲- مزیت مکانیکی واقعی ماشین

$$۵ = \frac{۱۵۰۰}{۳۰۰} = \frac{\text{نیروی مقاوم}}{\text{نیروی محرك واقعی}}$$

۳- کار مفید گرفته شده از ماشین اندازه جابه جایی نقطه اثر نیروی مقاوم \times نیروی مقاوم

$$= ۱۵۰۰ \text{ N} \times ۳ \text{ m} = ۴۵۰۰ \text{ J}$$

می باشد (پاسخ پرسش ۷-۷ را ببینید). ولی در واقع سطح شیب دار بدون اصطکاک وجود ندارد و نیروی محرکی که برای بالا بردن جسم در روی سطح لازم است بیش از ۵۰۰ نیوتن است زیرا باید بر نیروی اصطکاک که بین جسم و سطح وجود دارد نیز غلبه کنیم. پرسش ۷-۱۰ - در مثال بالا اگر برای غلبه بر نیروی اصطکاک ۲۵۰ نیوتن نیرو لازم باشد مزیت مکانیکی واقعی سطح شیب دار چیست؟

بدیهی است برای افزودن مزیت مکانیکی ماشینها باید، تا ممکن است، نیروی اصطکاک را کم کنیم و شما اکنون روشهای کاستن نیروی اصطکاک را می دانید.

قانون کار در ماشینهای واقعی

چون نیروی محرك لازم برای به کار انداختن يك ماشین واقعی بیش از نیروی محرك برای به کار انداختن يك ماشین کامل است کاری هم که به ماشین واقعی داده می شود (کار محرك) نیز بیشتر از کار مفیدی است که از ماشین پس گرفته می شود. در صورتی که اتلاف کار در ماشین به صورت غلبه بر اصطکاک باشد قانون کار چنین بیان می شود:

کاری که برای غلبه بر اصطکاک مصرف می شود بعلاوه کار مفیدی که از ماشین گرفته می شود برابر است با کاری که به ماشین داده می شود.

کاری که برای غلبه بر اصطکاک انجام می شود صرف تولید گرما شده و تلف می گردد. بنابراین تمام کاری را که به يك ماشین واقعی می دهیم ماشین پس نمی دهد

۴- \times نیروی محرك = کار داده شده به ماشین

اندازه: جابه‌جایی نقطه اثر نیروی محرك جابه‌جایی نقطه اثر نیروی محرك داده شده است ولی چون مزیت مکانیکی کامل ماشین ۶ است این جابه‌جایی شش برابر جابه‌جایی نقطه اثر نیروی مقاوم یعنی $۱۸m = ۳ \times ۶$ است. بنابراین:

$۵۴۰۰J = ۳۰۰۰N \times ۱۸m =$ کار داده شده به ماشین
مقدار درصد بارده ماشین

کار مفیدی که ارماتور کرده می‌شود =
کاری به سه ماشین داده می‌شود

$$= \frac{۴۵۰۰}{۲۴۰۰} \times ۱۰۰ = \frac{۲۵۰}{۳} = ۸۳.۳\%$$

۶- کاری که برای غلبه بر اصطکاک به مصرف می‌رسد
 $= ۹۰۰J = ۵۴۰۰ - ۴۵۰۰$

توان

اغلب برای ما جالب است که علاوه بر تعیین کار انجام شده، بدانیم کار در چه زمانی انجام گرفته است. مقدار کار انجام شده در واحد زمان را توان گویند، بنابراین برای تعیین توان متوسط یک ماشین یا یک اسباب کافی است کاری را که ماشین انجام می‌دهد بر زمان انجام آن تقسیم کنیم، یعنی:

$$(۱۱-۲) \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{توان متوسط} = \frac{\text{کار}}{\text{زمان}} \\ \bar{P} = \frac{W}{t} \end{array} \right. \quad \text{یا}$$

\bar{P} نمایش توان متوسط است.

واحد توان در دستگاه بین‌المللی واحدها، وات است که با علامت اختصاری W نمایش داده می‌شود. یک وات برابر یک ژول کار است که در مدت یک ثانیه انجام گرفته است

$$\text{یک وات} = \frac{\text{یک ژول}}{\text{یک ثانیه}} \quad (۱۲-۷)$$

بنابراین:

$$\bar{P} = \frac{W}{t} \quad (\text{وات}) \quad (۱۳-۷)$$

برای سنجش توانهای بزرگتر، واحدهای کیلووات (kW) و مگاوات (MW) را به کار می‌برند:

$$\begin{cases} ۱kW = ۱۰^۳W \\ ۱MW = ۱۰^۶W \end{cases}$$

مثال ۱ - توان موتور پمپی که ۲۰۰ کیلوگرم آب را در ۱۰ ثانیه به ارتفاع ۶ متر بالا می‌برد (به ارای $۹.۸m/s^2$) بر حسب کیلووات چقدر حساب می‌شود

$$\text{نیروی که موتور برای غلبه بر وزن آب وارد می‌سازد} \\ = ۲۰۰kgf = ۲۰۰ \times ۹.۸N \\ \text{مسافت} = ۶m$$

$$۶J \times ۹.۸ \times ۲۰۰ = \text{کار انجام گرفته}$$

$$۱۰s = \text{زمان لازم برای انجام کار}$$

$$\frac{\text{کار}}{\text{زمان}} = \text{توان}$$

$$= \frac{۲۰۰ \times ۹.۸ \times ۶}{۱۰} = ۱۱۷۶W = ۱.۱۷۶kW$$

مثال ۲ - پمپی که وزنش ۲۰ کیلوگرم نیرو است می‌تواند از ۴۵ بله که بلندی هر یک ۱۶ سانتیمتر است با بیشترین سرعت خود در مدت ۵/۲ ثانیه بالا برود.

توان شخصی این پسر چنین حساب می‌شود:

نیروی که پسر برای غلبه بر جاذبه وارد می‌سازد

$$= 40 \text{ kgf} = 40 \times 9.8 \text{ N}$$

$$\text{مسافت} = 45 \times 16 = 720 \text{ cm} = 7.2 \text{ m}$$

کاری که پسر انجام می‌دهد

$$= 40 \times 9.8 \times 7.2 \text{ J}$$

$$\text{توان} = \frac{40 \times 9.8 \times 7.2}{5/2}$$

$$\approx 543 \text{ W} \approx 0.54 \text{ kW}$$

این توان برای پسر معتبر است ولی باید به خاطر داشته باشید که چنین توان خیلی زیاد را پسر فقط می‌تواند در مدت کوتاهی دارا باشد. آزمایش نشان می‌دهد که توان متوسط یک مرد که از پلکان با گامهای معمولی بالای رود تقریباً ۰/۳۳ کیلووات است.

انرژی

در سالهای پیش تعریف انرژی را به صورت توانایی انجام کار آموخته‌اید. بدیهی است هر چیز که آمادگی و قابلیت انجام کار داشته باشد دارای انرژی (یا کارمایه) است.

می‌دانید انرژی به صورتهای متفاوت وجود دارد ولی همه آنها در یک خاصیت مشترکند و آن قابلیت انجام دادن کار است. این خاصیت سبب می‌شود

که با اندازه گیری کار حاصل از انرژی بتوانیم انرژی را نیز اندازه بگیریم. بنابراین کار و انرژی هر دو با یک واحد اندازه گرفته می‌شوند.

در جهان، انرژی به صورتهای مختلفی مانند انرژی شیمیایی، انرژی الکتریکی و منطیسی، انرژی مکانیکی، انرژی تابشی و انرژی هسته‌ای فراهم شده‌است.

انرژی شیمیایی یکی از مهمترین اقسام انرژی است. استفاده از انرژی نهفته شیمیایی موجود در نفت، گاز و زغال سنگ که به صورت گرما آزاد می‌شود برای به کار انداختن توربینهای بخار و موتورهای درون‌سوز عامل مهمی در پیشرفت صنعت نوین به شمار می‌رود.

بسیاری از وسایل آسایش که ما امروز در زندگی از آنها بهره‌مند می‌شویم از انرژی الکتریکی مایه می‌گیرند. مولدهای الکتریسته را از ابتدا به وسیله ماشینهای بخار و توربینهای بخار و موتورهای درون‌سوز به کار انداخته‌اند. در اواسط قرن بیستم در بسیاری از کشورهای جهان از جمله در کشور خودمان با ساختن سدهای بزرگ، تأسیسات عظیم نیرو - الکتریک بنا شده‌است. نیرو الکتریک به معنای تولید الکتریسته به وسیله مولدهایی است که با توربینهای آبی می‌چرخند. جریان تند و پر فشار آب که بدین منظور به کار می‌رود از مخزنهای بزرگ آب ذخیره شده در پشت سدهای عظیم که در دره‌ها بر مسیر رودخانه‌ها بسته شده‌اند تأمین می‌گردد. در جدول ۱-۷ پاره‌ای از تأسیسات نیرو الکتریک که در این چند سال اخیر در کشور ما بنا شده‌اند با ظرفیت انرژی الکتریکی سالانه آنها درج گردیده است.

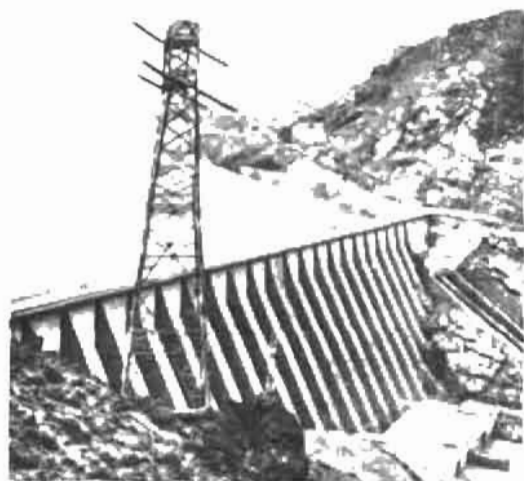
جدول ۷-۱- پاره‌ای از تأسیسات نیرو و الکتریک کشور و میزان ظرفیت تولید برق سالانه آنها

نام سد	جای سد	ظرفیت تولید برق سالانه بر حسب میلیون کیلووات ساعت ^۱
سد دز	بر روی رودخانه دز در دزفول (خوزستان)	۲۲۰۰
سد امیرکبیر	بر روی رودخانه کرخ در ۲۳ کیلومتری شمال کرخ	۱۳۰۰
سد سفیدرود	بر روی سفیدرود در منجیل (گیلان)	۴۲۰
سد زاینده رود	بر روی زاینده رود در اصفهان	۱۷۴
سد ارس	بر روی رودخانه ارس در آذربایجان غربی	۸۸ (سهم ایران)
سد زریته رود	بر روی زریته رود در آذربایجان شرقی	۵۶
سد درودزن	بر روی رودخانه کر در فارس	۴۹
سد مهاباد	بر روی رودخانه مهاباد در مهاباد	۲۴
سد لتیان	بر روی رودخانه جاجرود در ۳۵ کیلومتری شرق تهران	۲۲

در پاره‌ای از کشورهای مناطق گرم که بر توه‌ای خورشید در بیشتر روزهای سال تقریباً به طور دائم می‌تابد به وسیله آینه‌های مقعر فلزی بزرگ، این پرتوها را بر روی دیگهای محتوی آبی که برای همین منظور ساخته شده اند می‌تابانند و آب را به جوش می‌آورند و با بخار آب حاصل، به وسیله توربینهای بخار، مولدهای الکتریکی کوچکی را به حرکت در می‌آورند.

پرسش ۷-۱۱ - از انرژی موجود در باد چگونه استفاده می‌شود؟

استفاده از انرژی هسته‌ای از نیمه دوم قرن بیستم شروع شده است. این انرژی چنان که می‌دانید



شکل ۷-۱۰- سد سفید رود در گیلان که بر روی سفید رود بسته شده است.

۱- هر کیلووات ساعت برابر ۳۶۰۰ کیلوژول است.

اگر m بر حسب کیلوگرم و V بر حسب متر بر ثانیه انتخاب شود E_C بر حسب ژول حساب می‌شود. مثلاً انرژی جنبشی گلوله‌ای به جرم ۲۰ گرم (۰.۰۲۰ کیلوگرم) که با سرعت ۵۰۰ متر بر ثانیه حرکت می‌کند برابر است با:

$$E_C = \frac{1}{2} \times 0.020 \times (500)^2 = 2500 \text{ J}$$

ب - انرژی پتانسیل انرژي پخته‌ای است که يك جسم به سبب وضع یا حالت خود نسبت به جسم دیگر دارا می‌باشد. یکی از نمونه‌های متداول انرژی پتانسیل انرژی است که در يك جسم هنگامی که از سطح تراز زمین بالا برده می‌شود ذخیره می‌گردد. بطوری که قبلاً دیدید برای این که جسمی به جرم m در راستای قائم به بلندی h بالا ببریم برای غلبه بر نیروی جاذبه باید کار $W = mgh$ را انجام دهیم. این کار (بنابر قانون بقای کار) از بین نمی‌رود بلکه به صورت انرژی و به نام انرژی پتانسیل جاذبه‌ای در جسم ذخیره می‌شود. بنابراین انرژی پتانسیل جاذبه‌ای موجود در جسم به صورت رابطه زیر نوشته می‌شود:

$$E_p = mgh$$

پرسش ۷-۱۲ - وقتی که فنری را می‌کشید دارای چه نوع انرژی می‌شود؟

انرژیهای جنبشی و پتانسیل به یکدیگر تبدیل می‌شوند - شما هر روز در اطراف خود اشیای زیادی

نوع تاره‌ای از انرژی گرمای است که برای تولید الکتریسیته نیز به کار می‌رود.

انرژی مکانیکی

انرژی مکانیکی به دو گونه ظاهر می‌شود: انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل. (این انرژیها را به ترتیب به علامتهای اختصاری E_C و E_p نمایش می‌دهیم.)

الف - انرژی جنبشی انرژی است که جسم به علت حرکت خود دارد. به عبارت دیگر، هر جسم متحرك دارای انرژی جنبشی است. مثلاً گلوله و چکش در حال حرکت دارای انرژی جنبشی هستند و به همین جهت، هنگام برخورد به يك جسم، می‌توانند کار انجام دهند.

آب جاری و باد (جریان هوا) نیز دارای انرژی جنبشی هستند و چنان که می‌دانید اگر انرژی آنها مهار شود به کار تبدیل می‌گردد. متأسفانه انرژی جنبشی موجود در طوفانهای شدید و سیل‌های عظیم را انسان نمی‌تواند مهار کند. به همین جهت طوفانها و سیلها همواره خرابیهایی به بار می‌آورند.

اندازه انرژی جنبشی - انرژی يك جسم به جرم m که با سرعت V در حرکت است از رابطه زیر حساب می‌شود:

$$E_C = \frac{1}{2} mV^2 \quad (۷-۱۵)$$

که ضمن تبدیل انرژیهای پتانسیل و جنبشی به یکدیگر تولید می‌شود نیز خواهد بود.

تبدیل صورتهای متفاوت انرژی به یکدیگر

دیدیم که هر يك از صورتهای انرژی می‌تواند اشیا را به حرکت درآورده و به انرژی جنبشی تبدیل شود و آن نیز به بویژه خود به انرژی پتانسیل و گرما تبدیل گردد. بنابراین خاصیت مهم انرژی قابلیت تبدیل آن از صوتی به صوت دیگر است. به عنوان مثال تولید انرژی الکتریکی و مصرف آن را بررسی می‌کنیم:

انرژی پتانسیل شیمیایی نهفته در سوخت، هنگام سوختن به انرژی گرمایی تبدیل می‌شود. انرژی گرمایی حاصل، صرف تبخیر آب و افزودن انرژی جنبشی مولکولهای آب می‌گردد. انرژی جنبشی موجود در مولکولهای بخار، توربین بخار را می‌چرخاند و توربین به بویژه خود مولد جریان برق را به حرکت در می‌آورد و بدین ترتیب انرژی مکانیکی تبدیل به انرژی الکتریکی می‌شود. انرژی الکتریکی در لامپ الکتریکی و لامپ تصویر تلویزیون به انرژی نورانی، در موتور الکتریکی به انرژی جنبشی، در بخاری و اتوی الکتریکی به انرژی گرمایی و در گراموفون و رادیو به صوت که آن نیز انرژی مکانیکی است تبدیل می‌شود.

برای این که از صورتهای مختلف انرژی و تبدیل آنها به یکدیگر بهتر استفاده شود، دانشمندان اسبابها و وسایل لازم را برای تبدیل انرژی مودد نظراختراع کرده‌اند.

را مشاهده می‌کنید که در آنها انرژیهای پتانسیل و جنبشی به یکدیگر تبدیل می‌شوند. مثلا سنگی را که با سرعتی در راستای قائم به طرف بالا پرتاب می‌کنید در لحظه پرتاب دارای اندازه معینی انرژی جنبشی است. وقتی که به اوج مسیر خود می‌رسد، در صورتی که اصطکاک مولکولهای هوا بر روی آن ناچیز باشد، تمام انرژی جنبشی آن به انرژی پتانسیل جاذبه‌ای تبدیل می‌گردد. چون سنگ از نقطه اوج به سطح زمین بر می‌گردد انرژی پتانسیل آن دوباره به انرژی جنبشی تبدیل می‌شود و لحظه‌ای که به مکان پرتاب اولیه خود می‌رسد انرژی جنبشی پرتاب اولیه خود را بازمی‌یابد.

این مثال و مثالهای دیگر نشان می‌دهد که اگر در یک جسم یا در یک دستگاه مرکب از چند جسم، فقط انرژیهای پتانسیل و جنبشی به یکدیگر تبدیل شوند میزان کاهش یکی از آن دو، بواوبه میزان افزایش دیگری است. به طوری که مجموع انرژی جنبشی و پتانسیل همواره ثابت می‌ماند (قانون بقای انرژی مکانیکی).

در اینجا باید دوباره یادآور شویم که در اغلب موارد، تمام انرژی مکانیکی که به یک دستگاه داده می‌شود به کار مفید تبدیل نمی‌گردد بلکه مقداری از آن در اثر وجود اصطکاک به گرما تبدیل می‌شود. مثلا در محل کشیدن سوهان یااره همواره مقداری گرما تولید می‌شود؛ هنگامی که اتومبیل حرکت می‌کند لاستیک چرخهای آن داغ می‌شود. وقتی که گلوله‌ای به تنه درختی برخورد می‌کند و در آن فرد می‌رود مقداری از انرژی جنبشی آن به گرما تبدیل می‌گردد و ...

این مشاهدات و بسیاری مشاهدات دیگر نشان می‌دهند که گرما نیز صورتی از انرژی است بنابراین اصل بقای انرژی مکانیکی، شامل انرژی گرمایی

پرش ۷-۱۳- چه مبادله‌های انرژی صورت می‌گیرد تا انرژی تابشی خورشید در مولدهای ژنراتور الکتریکی به انرژی الکتریکی تبدیل شود؟

تعمیم قانون بقای انرژی

آیا قانون بقای انرژی که دربارهٔ انرژی‌های پتانسیل و جنبشی و گرمایی بیان شد در مورد انرژی‌های دیگر نیز صادق است؟

آزمایش‌های دقیقی که در چند قرن اخیر صورت گرفته است به این سؤال پاسخ مثبت می‌دهد. مثلاً اگر یک لیتر بنزین در موتور اتومبیل بسوزد انرژی شیمیایی موجود در آن تبدیل به انرژی گرمایی می‌شود. قسمتی از این انرژی گرمایی به صورت انرژی جنبشی صرف به حرکت در آوردن اجزای متحرک موتور می‌گردد و قسمت دیگر به صورت گرما در گازهای خروجی (دود) و خود موتور باقی می‌ماند به طوری که مجموع انرژی جنبشی و گرمای باقی مانده برابر انرژی شیمیایی اولیهٔ بنزین است. یعنی هنگامی که انرژی از یک صورت به صورت دیگر تبدیل می‌گردد اندازهٔ آن کم یا زیاد نمی‌شود. این خاصیت، چنان که می‌دانید، به عنوان قانون بقای انرژی به صورت زیر بیان می‌شود:

انرژی به خودی خود نه وجود نمی‌آید و نابود هم نمی‌شود بلکه از صورتی به صورت دیگر تبدیل می‌گردد.

قانون بقای ماده و انرژی

از مدتها پیش شیمی دانها بر اساس مشاهدات و آزمایشهای خود قبول کرده بودند که ماده نیز از قانونی مانند قانون بقای انرژی پیروی می‌کند. بدین معنی که در واکنشهای شیمیایی ماده از صورتی به صورت دیگر تبدیل می‌شود ولی اندازهٔ آن تغییر نمی‌کند. این پدیده را قانون بقای ماده نامیده‌اند.

در آغاز قرن بیستم میلادی آلبرت اینشتین (۱۸۷۹-۱۹۵۵ میلادی) برای نخستین بار، رابطهٔ بین ماده و انرژی را بیان کرد. او خاطر نشان ساخت که ماده و انرژی قابل تبدیل به یکدیگرند و حرم هر جسم در واقع معرف انرژی است که در آن جسم نهفته است. رابطهٔ اینشتین که امروزه دارای اهمیت زیادی است به صورت زیر بیان می‌شود:

$$E = mc^2$$

این رابطه نشان می‌دهد که اگر پاره‌ای از ماده به جرم m به انرژی تبدیل شود، انرژی حاصل برابر خواهد بود با حاصل ضرب جرم m در مجذور سرعت انتشار نور. (ج نمایش سرعت انتشار نور در خلا^۱ است.)

مثلاً در واکنشهای هسته‌ای که در آکتورها صورت می‌گیرد، جرم کل آنها و دره‌هایی که از شکافت (فیسون) هر اتم اورانیم حاصل می‌شود درست برابر جرم اتم اورانیم اولیه نیست بلکه مقدار خیلی کمی از آن به صورت انرژی گرمایی و انرژی تابشی و انرژی جنبشی پاره‌های حاصل از فیسون درمی‌آید.

۱- به بخش ۴ کتاب علوم ۳ دورهٔ راهنمایی تحصیلی مراجعه کنید.

پرسش ۲-۱۴ - درواکنشهای شیمیایی گرمای،

نظر بگیریم بدین معنی که:

انرژی گرمایی از چه تولید می‌شود؟

مجموع ماده و انرژی موجود در جهان همواره

بنا بر این به جای بیان دو قانون جداگانه بقای

ثابت است.

انرژی و بقای ماده باید قانون بقای ماده و انرژی را در

خودتان آزمایش کنید

مزیت مکانیکی کامل فرقره ساده یا دستگاه فرقره مرکب را که در اختیار دارید یا شمردن تعداد شاخه‌های طناب که وزن بار را تحمل می‌کنند حساب کنید سپس وزنه‌مینی را به فلاپ آن ببویزید و با نیروی خروج نیروی لازم را که برای بالا بردن وزنه لازم است اندازه بگیرید و مزیت مکانیکی واقعی دستگاه را معین کنید و این دو مزیت مکانیکی را با هم مقایسه کرده و علت اختلافی را که مشاهده می‌کنید توضیح دهید.

به این پرسشها پاسخ دهید

- ۱) در چه صورت نیروی وارد بريك جسم کار انجام می‌دهد و چگونه کار اندازه گرفته می‌شود؟
- ۲) چگونه کار نیروی جاذبه را به هنگام سقوط يك جسم معین می‌کنید؟
- ۳) حالتی را شرح دهید که در آن با آن که نیروی جاذبه بر جسم اثر می‌کنند این نیرو کار انجام نمی‌دهد.
- ۴) يك فرقره ساده ثابت کدام عمل را انجام می‌دهد؟
 - الف - نیروی محرك را چند برابر می‌کند؛
 - ب - راستای نیرو را تغییر می‌دهد؛
 - ج - تغییر مکان نیروی محرك را چند برابر می‌کند.
- ۵) شکلی از يك دستگاه فرقره مرکب که سه فرقره ثابت و سه فرقره متحرك دارد چنان نمایش دهید که:
 - الف - دستگاه دارای مزیت مکانیکی کامل ۶ باشد.
 - ب - دستگاه دارای مزیت مکانیکی کامل ۷ باشد.
- ۶) برای بالا بردن بار ۶۰۰ نیوتنی چه نیرویی باید در هر يك از حالت‌های زیر وارد سازیم؟
 - الف - هر گاه يك فرقره ثابت به کار بریم؛
 - ب - هر گاه دستگاه فرقره مرکب از دو فرقره ثابت و يك فرقره متحرك به کار بریم.
- ۷) قانون کار را در مورد ماشینهای کامل بیان کنید.

۸) دانش‌آموزی نتایج يك آزمایش را که به وسیله قرقه‌ها در آزمایشگاه انجام داده بود به شرح زیر به معلم خود گزارش داد:

$$E = 1/18 \text{ N} \quad \text{نیروی محرك}$$
$$R = 2 \text{ N} \quad \text{نیروی مقاوم}$$

تغییر مکان نقطه اثر نیروی محرك $0/2 \text{ m}$ تغییر مکان نقطه اثر نیروی مقاوم $0/12 \text{ m}$
ولی معلم روی گزارش او نوشت: غیرممکن است! و گزارش را به او برگرداند. معلم چگونه تشخیص داد که دانش‌آموز اشتباه کرده است؟

۹) پسری يك جسم را در سطح كف اتاق به وسیله طنابی که با سطح كف اتاق زاویه می‌سازد با نیروی 100 نیوتن 2 متر جابه‌جا کرده است. توضیح دهید چرا کاری را که پسر برای کشیدن جسم در كف اتاق انجام داده است کمتر از 200 ژول است.

۱۰) چرا مزیت مکانیکی ماشینهای واقعی همواره از مزیت مکانیکی ماشینهای کامل کوچکتر است؟ قانون کار را در ماشینهای واقعی بیان کنید.

۱۱) تعریف توان چیست و با چه واحدی اندازه گرفته می‌شود؟

۱۲) دو آسانسور به وزن مساوی در ساختمانی نصب شده‌اند و هر يك با موتورهای جداگانه کار می‌کند ولی توان یکی از موتورها دو برابر دیگری است. هر دو آسانسور از سطح طبقه هم كف (سطح زمین) به راه می‌افتند و به بالاترین طبقه ساختمان می‌روند.

الف - کار موتورهای دو آسانسور را در این جابه‌جایی با هم مقایسه کنید.

ب - مدت حرکت دو آسانسور را در این جابه‌جایی با هم مقایسه کنید.

۱۳) بازده يك ماشین یعنی چه؟ اگر بازده ماشینی 75 درصد باشد چه بخشی از کار ماشین صرف غلبه بر اصطکاک می‌شود؟

۱۴) انرژی پتانسیل و انرژی جنبشی را تعریف کنید. انرژیهای جنبشی و پتانسیل با چه واحدی اندازه‌گیری می‌شوند؟

۱۵) در آونگی که نوسان می‌کند چگونه انرژی پتانسیل و انرژی جنبشی به یکدیگر تبدیل می‌شوند؟ چرا دامنه نوسان آونگ به تدریج کم می‌شود و آونگ کم کم می‌ایستد؟

۱۶) چهار تبدیل انرژی را در يك نیروگاه برق که در آن نفت برای سوخت مصرف می‌شود بیان کنید.

۱۷) قانون بقای انرژی و قانون بقای ماده و انرژی را بیان کنید.

این مسئله‌ها را حل کنید

۱) پسری که وزنش 450 نیوتن است از يك طناب قائم تا ارتفاع 6 متر بالا می‌رود. این پسر چند

ژول کار انجام می‌دهد؟

- (۲) برای کشیدن يك جسم به وزن ۲۵۰ نیوتن روی كف اتاق، نیروی افقی ۲۵ نیوتن لازم است. اگر این جسم ۲ متر روی كف اتاق جابه‌جا شود چند ژول کار انجام می‌گیرد؟
- (۳) مردی ماشین چمن‌زنی را ۱۰ متر به طرف جلو می‌راند و در این جابه‌جایی نیروی ۵۰ نیوتن روی دسته ماشین وارد می‌سازد. اگر دسته ماشین زاویه 45° با سطح افقی زمین بسازد مرد چند ژول کار برای راندن ماشین انجام می‌دهد؟
- (۴) در ماشینی هر گاه نقطه اثر نیروی محرك ۲۴ متر جابه‌جا شود نقطه اثر نیروی مقاوم ۲ متر جابه‌جا می‌شود.

الف - مزیت مکانیکی کامل این ماشین چه اندازه است؟

ب - چه نیرویی لازم است تا به وسیله این ماشین بار ۳۰۰ نیوتنی به حرکت درآید؟

ج - اگر بازده این ماشین ۸۰ درصد باشد نیروی لازم برای حرکت دادن بار نامبرده چه اندازه است؟

(۵) هواپیمایی به وزن 10^5 نیوتن در ارتفاعی می‌تواند به طور متوسط ۳۵ متر اوج بگیرد. توان متوسط موتور این هواپیما چند کیلووات است؟

(۶) اتومبیلی با سرعت ۴۵ کیلومتر بر ساعت در حرکت است.

الف - سرعت آن را بر حسب متر بر ثانیه حساب کنید.

ب - چه سرعتی باید داشته باشد تا:

I - اندازه حرکت آن ۲ برابر شود؛ II - انرژی جنبشی آن دو برابر شود.

(۷) مردی می‌خواهد باری به جرم ۴۰ کیلوگرم را به درون کامیونی که کف آن ۱٫۶ متر از سطح زمین بالاتر است برساند و برای این منظور از تخته الواری که روی آن صیقلی است مانند سطح شیب‌دار استفاده می‌کند. وقتی که بار به درون کامیون برده می‌شود انرژی پتانسیل آن چه اندازه افزایش می‌یابد؟ به اختصار توضیح دهید که کار چگونه انجام می‌گیرد و چرا نیروی لازم برای بالا بردن بار، بستگی به زاویه تخته الواری با سطح افقی زمین دارد؟

(۸) دريك ماشین چرخ و محور، قطر چرخ ۲۰ سانتیمتر و قطر محور ۸ سانتیمتر است. اگر بازده

ماشین ۵۰ درصد باشد چه نیرویی لازم است تا بار ۲۵۰ نیوتنی توسط این ماشین بالا برده شود؟

(۹) گلوله فشنگی به جرم ۵۰ گرم با سرعت ۴۰۰ متر بر ثانیه پرتاب می‌شود. انرژی جنبشی آن در

لحظه پرتاب چند ژول است؟

(۱۰) هر گاه يك گرم ماده به طور کامل به انرژی تبدیل شود چند کیلووات ساعت انرژی به دست می‌آید؟

پاسخ به پرسشهای متن

۷-۱) قسمتی از این انرژی صرف کشیدن یا فشردن ماهیچه‌های بدن می‌شود و قسمت دیگر به مصرف تولید گرما در اثر اصطکاک دست با سنگ می‌رسد.

۷-۲) به صورت انرژی پتانسیل در خود جسم ذخیره می‌گردد.

۷-۳) $65 \times 9.8 = 637N$ نیرویی که شخص باید برای غلبه بر حاذبه وارد سازد

$4m$ = جابه‌جایی نقطه اثر نیرو در راستای نیرو

$637N \times 4m = 2548J$ = کاری که شخص برای غلبه بر نیروی جاذبه انجام می‌دهد

۷-۴) باید مؤلفه نیرو را در راستای جابه‌جایی جسم تعیین و در اندازه جابه‌جایی ضرب کرد. مثلاً در شکل ۵-۵ تمام نیروی R که بردسته ماشین چمن‌زنی وارد می‌شود صرف راندن ماشین به طرف جلو نمی‌گردد بلکه فقط مؤلفه افقی P است که ماشین را به جلو می‌راند و هنگام جابه‌جاشدن ماشین روی سطح افقی، کار انجام می‌دهد.

۷-۵) مزیت مکانیکی دو چرخه کوچکتر از ۱ است زیرا نیروی مقاوم R که در واقع اصطکاک بین چرخ و زمین است از نیروی محرک E که به وسیله پابیررکاب دوچرخه وارد می‌شود همواره کوچکتر است. ۷-۶) نه. با استفاده از دستور متوازی‌الاضلاع به آسانی معلوم می‌شود که نیروی وارد بر هر شاخه طناب در این حالت بزرگتر از نصف وزن جسم است.

۷-۷) در این مثال (شکل ۵-۷) نیروی مقاوم برابر با $R = 2500N$ و نیروی محرک برابر با $E = 500N$ است. بنابراین مزیت مکانیکی سطح شیب‌دار برابر است با:

$$A = \frac{R}{E} = \frac{2500}{500} = 5$$

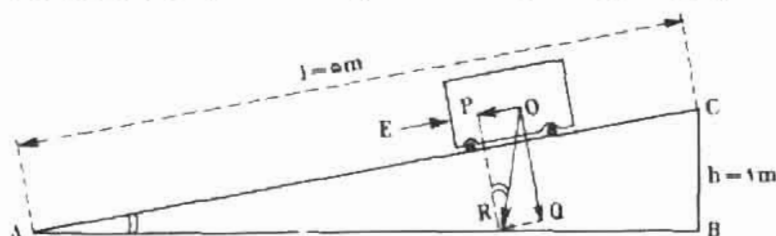
باتوجه به شکل ۷-۱۱ و با مراجعه به شکل ۵-۶ می‌توان نیروی مقاوم R را به دو مؤلفه عمود برهم Q و P تجزیه کرد. در صورتی که اصطکاک سطح ناچیز باشد بزرگی نیروی E در حال تعادل برابر بزرگی P ولی در جهت مخالف آن است. از تشابه دو مثلث قائم‌الزاویه OPR و ABC نتیجه می‌شود:

$$\frac{P}{R} = \frac{E}{1}$$

$$E \cdot l = R \cdot h$$

یا

اما $R \cdot h$ برابر کار نیروی مقاوم R است وقتی که نقطه اثر آن به اندازه ارتفاع h بالا برود و به نقطه C برسد و $E \cdot l$ برابر کار نیروی محرک E است وقتی که نقطه اثر آن به اندازه l روی سطح



شکل ۷-۱۱

شیب‌دار جابه‌جا بشود و به نقطه C برسد. بنابراین در سطح شیب‌دار نیز قانون کار صادق است یعنی:

$$\text{به ازای } E = 500 \text{ N و } l = 5 \text{ m} :$$

$$\text{کار نیروی مقاوم} = E \cdot l = 500 \text{ N} \times 5 \text{ m} = 2500 \text{ J}$$

$$\text{و به ازای } R = 2500 \text{ N و } h = 1 \text{ m} :$$

$$\text{کار نیروی مقاوم} = R \cdot h = 2500 \text{ N} \times 1 \text{ m} = 2500 \text{ J}$$

در اینجا باز یادآور می‌شویم که در عمل به علت وجود اصطکاک، کار نیروی محرك E بزرگتر از کار نیروی مقاوم R است.

۸-۷) انبردست اهرم مضاعف نوع اول، فندق‌شکن اهرم مضاعف نوع دوم و قندگیر اهرم مضاعف نوع سوم است. (توضیح دهید چرا؟)

۹-۷) فرض می‌کنیم دستگاه چرخ و محور يك دور بچرخد در این صورت:

$$\text{کاري که نيروي محرك } E \text{ در يك دور چرخيدن چرخ انجام مي‌دهد}$$

$$= E \times 2\pi r_E$$

$$\text{کاري که نيروي مقاوم } R \text{ در يك دور چرخيدن محور انجام مي‌دهد}$$

$$= R \times 2\pi r_R$$

در دستگاه چرخ و محور کامل:

$$\text{کار نيروي مقاوم} = \text{کار نيروي محرك}$$

$$E \times 2\pi r_E = R \times 2\pi r_R$$

بنابراین

$$E \cdot r_E = R \cdot r_R$$

یا

$$A = \frac{R}{E} = \frac{r_E}{r_R}$$

مزیت مکانیکی برابر است با:

$$\text{۱۰-۷) کل نيروي محرك برابر است با}$$

$$500 + 250 = 750 \text{ N}$$

بنابراین مزیت مکانیکی برابر است با:

$$A = \frac{2500}{750} = \frac{10}{3} \approx 3/3$$

۱۱-۷) متداولترین اسباب برای استفاده از انرژی موجود در باد، آسیاب بادی و قایق بادی است.

۱۲-۷) انرژی پتانسیل حالتی که در اثر تغییر شکل فنر در آن ذخیره می‌شود.

۱۳-۷) بخشی از انرژی تابشی خورشید که توأم با انرژی گرمایی است بر سطح آب دریا می‌تابد و سبب افزایش انرژی جنبشی مولکولهای آب و تبخیر آب می‌شود. آب تبخیر شده پس از يك رشته مبادل انرژیهای پتانسیل و جنبشی و گرمایی به صورت منبع عظیمی پشت سد ها ذخیره می‌شود که دارای انرژی پتانسیل است. انرژی پتانسیل آب هنگام ورود به توربین دوباره به انرژی جنبشی تبدیل می‌گردد و دستگاه مولد برق را می‌چرخاند و قسمتی از آن در این مولد به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود.

۱۴-۷) بخش خیلی کوچکی از ماده به انرژی گرمایی تبدیل می‌شود.



فشار درون مایعات و گازها

کلمه «فشار» را بدون آن که دربارهٔ معنی درست آن بیندیشیم اغلب به کار می‌بریم. مثلاً پیش از آن که با اتومبیل به مسافرت برویم فشار باد لاستیکهای آن را بازدید می‌کنیم ولی هنگام این بازدید به یک قانون علمی نمی‌اندیشیم بلکه این کار را برای حفظ جان خود و دیگران انجام می‌دهیم. بخار آب درون دیگهای بخار دارای «فشار» است و فشار سنج اندازه آن را نشان می‌دهد. در آشپزخانهٔ منزل، دیگ زودپز که یک «دیگ فشاری» است نیز به کار می‌رود. هوا و آب بر اجسامی که درون آنها قرار دارند «فشار» وارد می‌آورند و مانند اینها ... فشارهایی را که از آنها نام بردیم به کمک دانش فیزیک به آسانی می‌توانیم اندازه بگیریم و برای این منظور لازم است نخست معنی درست فشار را بدانیم.

جفت کفش اسکی که هر یک ۱۵۰ سانتیمتر طول و ۱۰ سانتیمتر عرض دارد به پاهای خود بیند در این حالت بر هر سانتیمتر مربع از کف این کفشها به طور متوسط چه نیرویی وارد می‌شود؟

نیروی که به طور عمودی بر واحد سطح وارد می‌گردد «فشار» نامیده می‌شود. بنابراین اگر نیروی F به طور عمودی و یکسان بر سطحی به مساحت A وارد شود اندازهٔ نیروی وارد بر واحد سطح، یعنی «فشار»، برابر است با:

$$P = \frac{F}{A} \quad (۱-۸)$$

واحد فشار در دستگاه بین‌المللی واحدها «نیوتن بر مترمربع» است که پاسکال (با علامت اختصاری Pa) نیز نامیده می‌شود. بنابراین:

مفهوم فشار

هر گاه روی برفی که تازه باریده است راه برویم پای ما در برف فرو می‌رود ولی اگر کفش اسکی به پای خود بیندیم مانع از این می‌شود که پای ما در برف فرو رود. در صورتی که همان نیرو را که وزن بدنمان است بر روی برف وارد می‌سازیم. علت این است که در این حالت نیرو بر روی سطح بزرگتری پخش می‌شود.

پرش ۸-۱. اگر وزن بدن پسری ۵۰۰ نیوتن و سطح کف پایش ۲۵۰ سانتیمتر مربع باشد هر سانتیمتر مربع از کف پاهای این پسر به طور متوسط چه اندازه از وزن بدن او را تحمل می‌کند و اگر یک

$$P_{(Pa)} = \frac{F(N)}{A(m^2)} \quad (2-8)$$

گاهی نیروی کوچکی می‌تواند فشار بزرگی تولید کند. مثلاً فشاری که یک سوزن گرمافون بر روی صفحه وارد می‌سازد ممکن است خیلی بزرگتر از فشاری باشد که یک ساختمان بر سطح زمین وارد می‌آورد.

وقتی که کارد تبری را به کار می‌بریم نیروی بزرگی برای بریدن لرم بیست زیرا قطر به کوچکی سطح لبه برنده آن با نیرویی کم فشار زیادی را نواید می‌کند.

پرش ۲-۸ - چه تدبیری باید به کار برد تا با وجود بزرگی نیرو میزان فشار کم شود؟

فشار هوا

می‌دانید ما، روی زمین، در زیر اقیانوسی از هوا زندگی می‌کنیم که اتمسفر یا جو نامیده می‌شود و به علت وزنی که دارد فشاری در حدود یک کیلوگرم نیرو بر هر سانتیمتر مربع از سطح زمین وارد می‌سازد. این فشار بر هر متر مربع از سطح زمین تقریباً 10^4 کیلوگرم بیروست زیرا هر متر مربع 10^3 سانتیمتر مربع است. اگر به‌خاطر داشته باشید که هر کیلوگرم بیرو معادل $9/8$ نیوتن (تقریباً 10 نیوتن) است فشار هوا در حدود $10^5 N/m^2$ خواهد بود.

فشار هوا نه تنها بر سطح زمین وارد می‌شود بلکه بر سطح هر جسمی هم که در روی زمین موجود است، از جمله بدن خود ما، نیز وارد می‌گردد. اگر سطح بدن شخصی به‌طور متوسط 2 متر مربع باشد

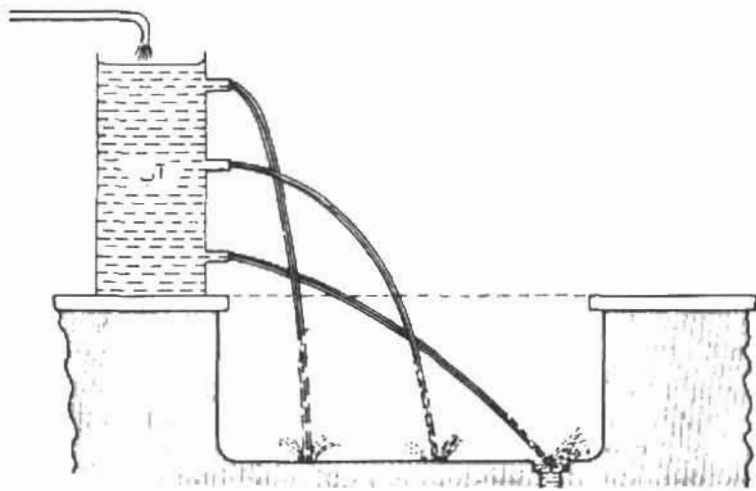
کل نیرویی که از طرف هوا بر سطح بدن او وارد می‌شود در حدود $200,000$ نیوتن ($20,000$ کیلوگرم نیرو) است. ولی وی این نیروی بزرگ را حس نمی‌کند، زیرا درون بدن، خون نیز فشاری کمی بیشتر از فشار هوا دارد که اثر فشار هوا را خنثی می‌کند. بافت‌های بدن در این فشار تشکیل می‌شوند، رشد می‌کنند و با این فشار سازش می‌یابند. هر گاه فشار محیط بیش از حد کم شود، مایعات درون بدن خارج و بافت‌های بدن منلاشی می‌شوند. به همین دلیل فضاوردان در فضای خارج از جو مجبورند لباس‌هایی مخصوص بپوشند.

تا قرن هفدهم میلادی نمی‌دانستند که هوا فشار دارد و مردم آن زمان اثرهای فشار هوا را با تئوری طبیعت از خلأ تفکر دارند، توجیه می‌کردند. مثلاً در مورد آزمایش معمولی مکیدن هوای درون یک بطری و پورش هوا، پس از مکیدن، برای پر کردن آن، می‌گفتند که چون طبیعت نمی‌تواند جای خالی را تحمل کند هوا دوباره به جای خود بر می‌گردد. ولی امروز ما می‌گوییم اختلاف فشار هوای بیرون و درون بطری سبب جریان مولکول‌های هوا به درون بطری می‌شود تا این که فشار هوای درون و بیرون آن برابر گردد.

پرش ۳-۸ - چرا هنگامی که هوای درون یک قوطی حلبی بزرگ را خالی می‌کنید قوطی درهم فرو می‌رود؟

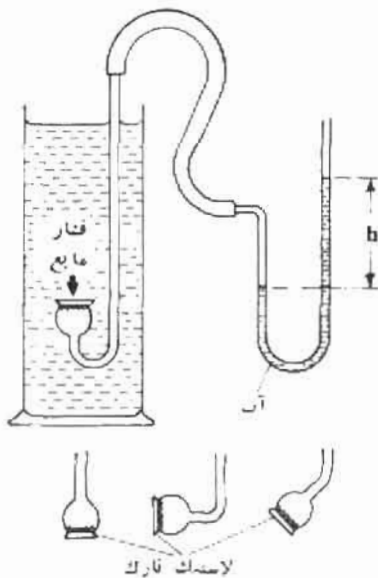
فشار درون مایعات

مایعات، مانند هوا، بر هر سطح درون خود نیز فشار وارد می‌آورند. در بخش ۱ دیدیم که فشار وارد



شکل ۸-۱- فشار درون مایع با عمق آن افزایش می یابد.

وجود دارد؟
این خاصیت را می توان به وسیله اسباب شکل
۸-۲ نشان داد. در این شکل چند قیف را می بینید
که با زاویه های مختلف کج شده اند و دهانه آنها با



شکل ۸-۲- درون مایع فشار در تمام راستاها وارد می شود.

بریک سطح درون مایع به علت وزن ستونی از مایع
است که بالای این سطح قرار دارد؛ بنابراین، با
افزایش عمق مایع افزایش می یابد. این خاصیت را
می توانید به وسیله ظرف بلند و پر از آبی که در
بدنه آن لوله های کوتاهی در ارتفاعهای متفاوت نصب
شده است (شکل ۸-۱) آزمایش کنید. سرعت خروج
آب از لوله پایینی بیشتر است و نشان می دهد که
فشار در عمق مایع بیشتر است. برای این که فشار
خروج آب در مدت آزمایش تغییر نکند باید سطح
آب را در ظرف ثابت بماند. بنابراین میزان ورود
آب را به ظرف طوری باید تنظیم کنید که برابر میزان
خروج آب از آن باشد.

از طرف دیگر فشار در هر نقطه درون مایع
ساکن در تمام راستاها به طور یکسان وارد می شود
زیرا در غیر این صورت مولکولهای مایع از طرفی
که فشار بیشتر است به طرفی که فشار کمتر است حرکت
می کنند.

پرسش ۸-۴- آیا این خاصیت در گازها نیز

روی این سطح ستونی از مایع به حجم $A \cdot h$ قرار دارد که جرم آن (جرم حجمی \times حجم) برابر است با:

$$m = Ah \cdot \rho$$

بدیهی است نیرویی که از طرف مایع بر سطح A وارد می‌شود برابر وزن این ستون مایع است و چنان‌که می‌دانید وزن یک جسم به جرم m برابر است با mg .

پس: $Ah\rho \cdot g =$ نیروی وارد بر سطح A
 با توجه به این‌که: $\frac{\text{نیرو}}{\text{سطح}} =$ فشار، اندازه فشار مایع در عمق h چنین حساب می‌شود:

$$P = \frac{Ah\rho \cdot g}{A} = h\rho g$$

برای این‌که فشار P بر حسب N/m^2 (پاسکال) حساب شود باید h بر حسب متر و ρ بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب و $g = 9.8 N/kg$ باشد. مثلاً فشار ستونی از جیوه به ارتفاع 76 سانتیمتر و با جرم حجمی $13600 kg/m^3$ (یا $13.6 g/cm^3$) برابر خواهد بود با:

$$P = 0.76 m \times 13600 kg/m^3 \times 9.8 N/kg \approx 1013 \times 10^5 N/m^2$$

توجه به این نکته مهم است که فشار درون مایع بستگی به مساحت A ندارد بلکه فقط بستگی به عمق و جرم حجمی مایع دارد.

پرسش ۸-۶- در چه نقاطی درون مایع فشار یکسان است؟

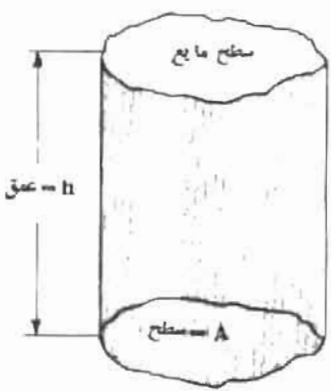
فشاری که بدین ترتیب حساب شد فقط فشار مایع است. چون هوا نیز بر سطح آزاد مایع فشار وارد می‌آورد اگر بخواهیم فشار کل را در یک نقطه درون مایع حساب کنیم باید به فشار مایع فشار هوا را نیز بیفزاییم. یعنی:

لاستیک نارک بسته شده است. هر یک از این قیفها را می‌توان با لوله لاستیکی به لوله U مانند‌ی که در آن قدری آب ریخته شده است متصل کرد. اگر روی لاستیک دهانه قیف با دست فشار وارد آوریم هوای درون قیف متراکم می‌شود و فشار را به آب درون لوله U منتقل می‌کند و آب را در شاخه آزاد این لوله بالا می‌راند.

پرسش ۸-۵- به نظر شما فشار چگونه از هوای درون قیف به آب درون لوله U منتقل می‌شود؟ این اسباب را می‌توانیم برای نشان دادن (به اندازه گرفتن) فشار درون مایعات به کار ببریم. هر کدام از قیفها را که به لوله لاستیکی وصل کنیم و آب فروبریم لوله U فشاری را نشان می‌دهد و معرف این است که فشار در همه راستاها وارد می‌شود.

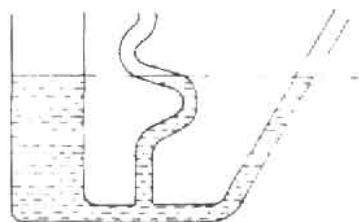
بر آورد فشار درون مایع

سطحی افقی به مساحت A در عمق h از سطح آزاد مایعی که جرم حجمی آن ρ است در نظر می‌گیریم (شکل ۸-۳).



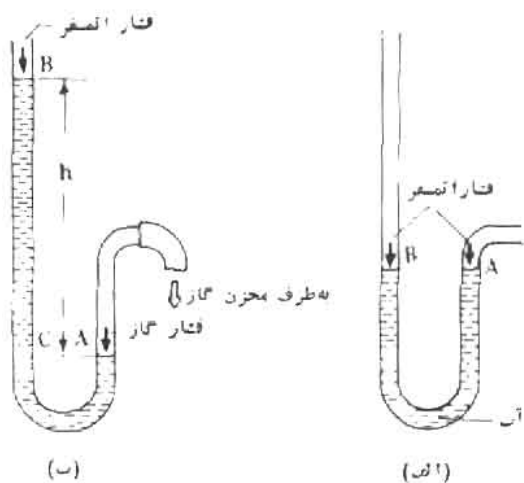
شکل ۸-۳- فشار یک ستون مایع.

سطحهای آزاد مایع در همه طرفها یکسان است



شکل ۸-۴. در ظرفی که به هم پیوسته سطح آزاد مایع ساکن همواره افقی است.

محتوی آب است. وقتی که هر دوسر لوله باز است فشار هوا بر هر دو طرف لوله یکسان دارد می شود و سطح آب در A و B یکی است (شکل ۸-۵-الف). شاخه طرف A را با يك لوله لاستیکی به شیر مخزن گازی که می خواهند فشار آن را اندازه بگیرند متصل می سازند. وقتی که شیر مخزن باز شود گاز بر سطح A فشار وارد می آورد و آن را در لوله پایین می برد و در نتیجه، سطح B در شاخه دیگر لوله بالا می رود (شکل ۸-۵-ب) تا این که فشار در نقطه C که



شکل ۸-۵-ب فشارسنج

(۴-۸)

فشار هوا + فشار مایع = فشار کل درون مایع

$$P = h\rho g + p_0 \quad (۴-۸)$$

سطح آزاد مایع ساکن همواره افقی

است

اگر در يك طرف مایعی به حال سکون باشد فشار آن بر تمام نقاطی که در يك سطح افقی هستند به يك اندازه است.

پرسش ۸-۷- چرا گفته بالا درست است؛ به همین جهت اگر آب یا مایع دیگر را در ظرفهایی که مانند شکل ۴-۸ به هم پیوسته اند بریزیم شکل ظرف هر چه باشد سطح آزاد مایع در تمام آنها يك سطح افقی خواهد بود. در حالتی که سطح آزاد مایع با هوا در تماس باشد (و اغلب چنین است) فشار و رد بر نقاط این سطح فقط فشار اتمسفر است. این خاصیت را می توانیم در ساختن فشارسنج به کار ببریم و با آن فشار گازها را اندازه بگیریم.

اندازه گیری فشار گازها

گفتیم که فشار هوا در حدود ۱۰۵ نیوتن بر متر مربع است. پیش از آن که به شرح چگونگی اندازه گیری آن بپردازیم يك نوع فشارسنج را، که برای اندازه گیری فشار گازها (هنگامی که فشارشان کمی بیش از فشار هواست) به کار می رود، شرح می دهیم. این فشارسنج از يك لوله به شکل L درست شده که

با A همتراز است برابری فشار در نقطه A بشود. در این صورت:

$$\text{فشار ستون آب BC} + \text{فشار هوا} = \text{فشار گاز}$$

فشار ستون آب BC معرف اضافه فشار گاز از فشار اتمسفر است. اگر ارتفاع این ستون را به h نمایش دهیم اندازه این اضافه فشار بر حسب نیوتن بر متر مربع از رابطه زیر حساب می‌شود:

$$h\rho g = \text{اضافه فشار گاز نسبت به فشار اتمسفر}$$

گاهی این اضافه فشار را مستقیماً بر حسب ارتفاع h بیان می‌کنند. در این صورت h بر حسب میلیمتر آب (با علامت اختصاری mm H₂O) بیان می‌شود.

برای اندازه‌گیری فشارهایی بیشتر از فشار مثال بالا از جیوه (با جرم حجمی ۱۳٫۶ گرم بر سانتیمتر مکعب) و برای اندازه‌گیری فشارهای کمتر از آن از مایعاتی سبکتر مانند گزپلن^۱ (با جرم حجمی ۰٫۸۸ گرم بر سانتیمتر مکعب) استفاده می‌شود.

آزمایش توریچلی^۲ - هواسنج ساده

در حدود نیمه قرن هفدهم میلادی یک دانشمند ایتالیایی به نام توریچلی آزمایشی را انجام داد که تئوری طبیعت از خلأ^۳ تنفر داده را باطل می‌کرد. توریچلی معتقد بود که تنفر فرضی طبیعت از خلأ^۴ فقط به علت فشار اتمسفر است و با آزمایش مشهور خود

که به سال ۱۶۴۳ میلادی انجام گرفت نخستین هواسنج (بارومتر) را که برای اندازه‌گیری فشار هوا به کار می‌رود پایه‌گذاری کرد.

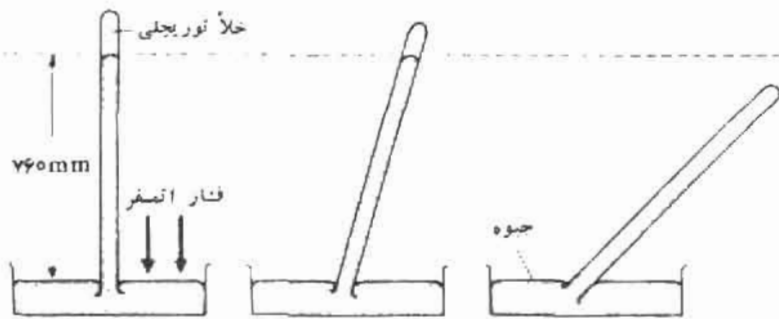
در آزمایشگاه می‌توانید با لوله شیشه‌ای محکمی که طول آن در حدود یک متر و یک سر آن بسته است آزمایش توریچلی را انجام دهید و هواسنج ساده‌ای بسازید. لوله را به وسیله قیف کوچکی از جیوه تمیز کامل^۵ پر کنید. نباید حبابهای هوا درون لوله باقی بماند.

پرسش ۸ - ۸ - چگونه می‌توان حبابهای ریز هوا را که بین جیوه و سطح جدار لوله باقی می‌ماند خارج کرد؟

سپس با انگشت دهانه لوله را محکم ببندید و لوله را واژگون کنید و آن را در راستای قائم نگه دارید و دهانه لوله را همان‌طور که با انگشت گرفته‌اید در تشکی که محتوی مقداری جیوه است فرو برید. وقتی که دهانه لوله زیر سطح آزاد جیوه قرار گرفت انگشت را بردارید. جیوه در لوله پایین می‌آید و تا ارتفاع معینی می‌ایستد (شکل ۸-۶). این ارتفاع معرف فشار هوا در محلی است که آزمایش را انجام می‌دهید. در صورتی که لوله را از راستای قائم کج کنید سطح جیوه در لوله بالا می‌رود ولی ارتفاع قائم جیوه در لوله تغییر نمی‌کند. اگر لوله را خیلی کج کنید جیوه تمام آن را پر می‌کند و بر سر ته آن فشار وارد می‌آورد.

توریچلی توضیح داد که علت پایین نیامدن جیوه در لوله فشاری است که هوا بر سطح جیوه درون

۱ - Xylene ۲ - Torricelli



شکل ۶-۸- هواسنج ساده.

آزمایش پاسکال آخرین آزمایشی بود که درباره سقوط تئوری طبیعت از خلأ تنفر دارد انجام شد و این اصل جای آن را گرفت که هوا فشار دارد.

تشنک وارد می سازد و خاطر نشان ساخت که تغییرات جزئی که روزانه در ارتفاع ستون جیوه ظاهر می شود به سبب تغییراتی است که در فشار جو پدید می آید. فضای بالای جیوه در لوله خالی از هواسنج و لی خلأ مطلق نیست زیرا مقدار کمی بخار جیوه در این فضا وجود دارد.

اندازه گیری فشار هوا

شکل (۸ - ۷) هواسنج جیوه ای را نشان می دهد که ارتفاع ستون جیوه در آن بادقت بیشتری اندازه گرفته می شود. لوله این هواسنج با یک غلاف فلزی محافظت می شود و قسمت بالایی آن شبیه است تا بتوان سطح آزاد جیوه را در لوله دید. ارتفاع ستون جیوه در لوله به وسیله یک درتیه که مقابل درجه های میلیمتری حرکت می کند بادقت دهم میلیمتر معین می شود. برای این که هنگام بالا رفتن یا پایین آمدن جیوه در لوله سطح آزاد جیوه در مخزن پایینی هواسنج ثابت بماند مخزن جیوه (به جای تشنکی که در هواسنج ساده به کار می رود) یک کیسه چرمی کوچک است که گف آن با پیچی بالا و پایین برده می شود. پیش از خواندن درجه باید پیچ را طوری تنظیم کرد که سطح جیوه در این مخزن یا نونک سوزنی که از جنس عاج است در تماس باشد. با این هواسنج فشار هوا بر حسب میلیمتر

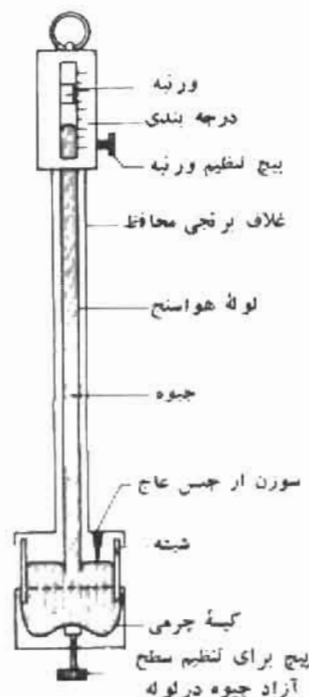
آزمایشهای پاسکال با هواسنج

پس از مرگ توربچلی، پاسکال آزمایشهای او را در فرانسه دنبال کرد. او دو هواسنج به کار برد: یکی را در پای کوهی قرارداد و دیگری را توسط شاگرد خود از دامنه کوه بالا فرستاد و ارتفاع ستون جیوه را در فواصل معین از مسیر تعیین کرد. به ترتیبی که هوا سنج از کوه بالا برده می شد ارتفاع ستون جیوه در لوله آن کاهش می یافت، در صورتی که ارتفاع جیوه در هواسنج پایین کوه تغییر نکرده بود. پاسکال علت کاهش ستون جیوه را در لوله هواسنج چنین توجیه کرد که فشار اتمسفر در آن وزن آن است. به ترتیبی که هواسنج بالا برده می شود ارتفاع اتمسفر بالای هواسنج کم می گردد و در نتیجه، فشار آن نیز کاهش می یابد.

متر مربع و چند «بار» و چند «میلی بار» است؛

ارتباط فشار باغواصی و هواپیمایی

هنگامی که يك غواص در آب فرو می‌رود فشار وارد بر بدنش در هر ۱۰ متر تقریباً يك اتمسفر افزایش می‌یابد. لباس لاستیکی متداول غواصی مجهز به کلاه‌های است که در جلو صورت، پنجره گردی دارد و توسط مخزن هوای متراکمی که به پشت غواص بسته می‌شود از هوا پر می‌گردد. غواص با این لباس می‌تواند تا عمق ۶۰ متری یعنی تاجایی که فشار در حدود ۷ اتمسفر است ریسر آب برود و در این عمق مدت خیلی کوتاهی توقف کند. در عمق ۴۵ متری غواص نمی‌تواند بیش از حدود ۱۵ دقیقه کار کند ریسرا به علت فشار زیاد، مقداری از نیتروژن (ازت) هوای تنفس در خون او حل می‌شود و موقمی که غواص به سطح آب برمی‌گردد حبابهای گاز نیتروژن در خون ظاهر می‌شوند (همچون حبابهایی که در يك بطری محتوی مایع گازدار به هنگام باز شدن در بطری ظاهر می‌گردد). این پشامد سبب درد شدید و حتی مرگ می‌شود. برای جلوگیری از بروز چنین پشامدی غواص را پس از خروج از آب بی‌درنگ به درون محفظه فولادی که محتوی هوای متراکم است می‌فرستند و فشار هوا را رفته رفته کم می‌کنند تا اینکه نیتروژن بدون تشکیل دادن حباب کم‌کم از خون خارج شود. اگر گاز درون مخزنی که غواص برای تنفس به پشت خود حمل می‌کند به جای هوا مخلوطی از ۸ درصد اکسیژن و ۹۲ درصد هلیوم باشد این خطر به میزان خیلی زیاد کاهش می‌یابد.



شکل ۸ - ۲ - هواسنج جیوه‌ای.

جیوه (mm Hg) اندازه گرفته می‌شود.

اندازه متوسط ارتفاع ستون جیوه در لوله هواسنج در سطح تراز دریا ۷۶۰ میلیمتر است. این فشار به نام «فشار استاندارد اتمسفر» یا فشار متعارف (با علامت اختصاری atm) به عنوان واحد فشار انتخاب شده است.

پرسش ۸ - ۹ - اگر به جای جیوه، آب در هواسنج به کار می‌رفت ارتفاع ستون آب در لوله هواسنج در سطح تراز دریا چه اندازه می‌شد؟

در هواشناسی دو واحد دیگر به کار می‌رود به نام «بار» (bar) و «میلی بار» (mbar). بنابه تعریف:

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$1 \text{ mbar} = \frac{1}{1000} \text{ bar} = 100 \text{ N/m}^2 \text{ و}$$

پرسش ۸ - ۱۰ - يك اتمسفر چند نیوتن بر

به نقاط دیگر انتقال می یابد.

مایعات به این علت فشار را در همه جهتها منتقل می کنند که مولکولهای آنها برخلاف مولکولهای جامدات آزادانه حرکت کرده به آسانی بر روی یکدیگر می لغزند.

واقعتاً انتقال فشار در مایعات، نخستین بار به سال ۱۶۵۰ میلادی توسط پاسکال دانشمند فرانسوی شناخته شد و به نام قانون انتقال فشار در مایعات، چنین بیان گردید:

فشاری که بر قسمتی از سطح یک مایع محدود وارد می شود به طور یکسان در همه جهتها به تمام مایع منتقل می گردد.

شکل (۸ - ۸) اسپالی را نشان می دهد که با آن می توان قانون پاسکال را تحقیق کرد:

به بدنه ظرفی چند لوله در جاهای مختلف نصب شده است. ظرف پر از آب است و سطح آزاد آب در

در مقابل مسئله غواصی مسئله دیگری برای کارکنان و مسافران هواپیماهایی که در بلندبهای زیاد پرواز می کنند پیش می آید و آن دشواری تنفس و خطرهای دیگری است که به سبب کاهش فشار هوا بروز می کند. ولی در هواپیماها این مسئله حل شده است زیرا تمام منفذهای هواپیما گرفته شده است و فشار درون آن به کمک تلمیحه ها به میزان فشار طبیعی اتمسفر ثابت نگاه داشته می شود.

انتقال فشار در مایعات

در نظر بگیرید که یک سر میله ای را روی زمین قرار داده اید و به سر دیگر آن با دست فشار وارد می آورید. میله فشار دست شما را به زمین منتقل می کند ولی چون میله جامد و محکم است فشار را فقط در یک راستا (در اینجا از بالا به پایین) انتقال می دهد. اینک یک سر لوله فلزی را با چوب پنبه ببندید و لوله را از آب کاملاً پر کنید. اگر چوب پنبه دیگری را در دهانه باز لوله بگذارید و روی آن فشار وارد آورید چوب پنبه اول به خارج پرتاب می شود، زیرا مایع درون لوله فشاری را که به یکی از چوب پنبه ها وارد می کنید به چوب پنبه دیگر انتقال می دهد.

مایعات به آسانی متراکم نمی شوند و بدین سبب است که فشار را منتقل می کنند.

در بدنه لوله چند سوراخ ریز ایجاد کرده و آزمایش را تکرار کنید. وقتی که چوب پنبه را درون لوله می دانید آب از تمام سوراخها فوران می کند و این نشان می دهد که فشار وارد بر قسمتی از سطح یک مایع محدود (مایع موجود در یک ظرف) در همه جهتها

شکل ۸ - ۸ - تحقیق قانون پاسکال.

نیروی فنر ، بالشکها را به جای خود برمی گرداند و پیستونها درون استوانه کوچک (استوانه ویژه چرخ) به عقب بر می گردند و روغن را به درون استوانه بزرگ اصلی بر می گردانند.

مزیت مهم ترمز روغنی این است که فشار را یکسان به هر چهار چرخ منتقل می کند.

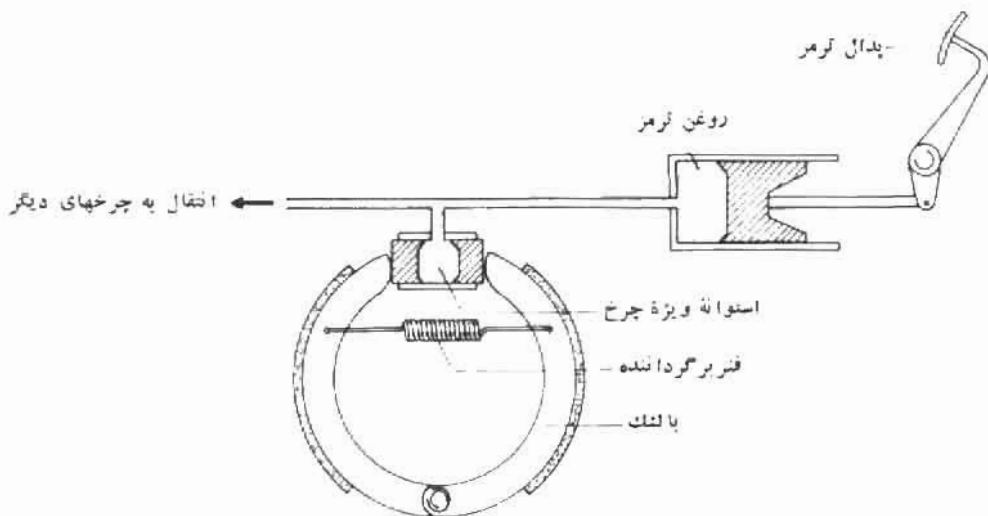
ب - منگنه آبی - منگنه آبی ماشین ساده ای است که بر اساس انتقال فشار در مایعات ساخته شده است و کاربرد زیادی دارد. از جمله: فشردن مواد نرم مانند پنجه و پاره های کاغذ به منظور بسته بندی ، شکل دادن به ورقه های فولادی برای ساختن بدنه اتومبیل و مانند اینها.

شکل (۸ - ۱۰) طرح ساده ای از این منگنه را نشان می دهد که از استوانه و پیستونی به قطر بزرگ تشکیل شده است و توسط لوله ای به یک تلمبه فشاری که قطر پیستون آن خیلی کوچکتر است ارتباط دارد. توسط این تلمبه، روغن از یک مخزن به داخل استوانه منگنه فرستاده می شود و در اثر فشار روغن، پیستون

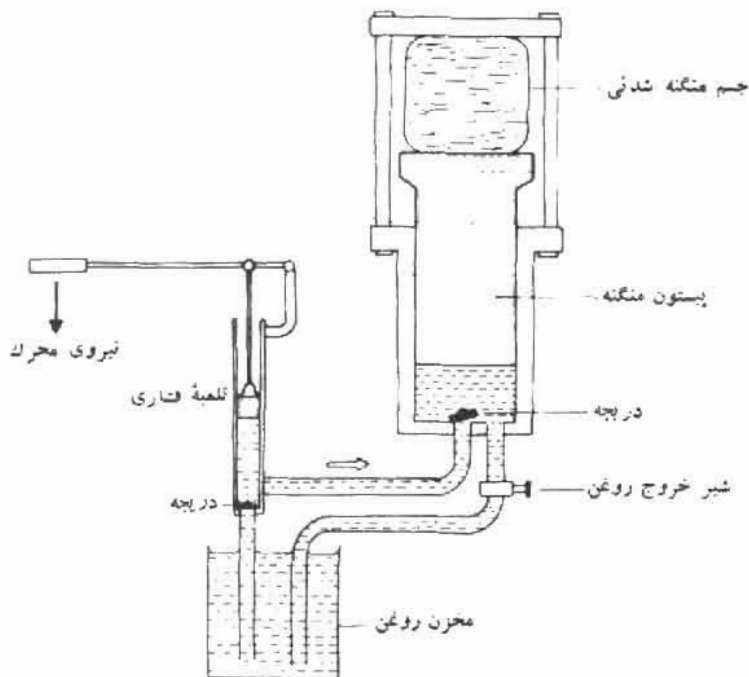
همه لوله ها یکی است. اگر به وسیله پیستونی از قسمت استوانه ای شکل بالای ظرف بر سطح آب فشار وارد آورند ، آب در همه لوله ها به یک اندازه بالا می رود و نشان می دهد که فشار به طور یکسان به تمام نقاط مایع منتقل می گردد.

خاصیت انتقال فشار در مایعات چند کاربرد عملی در صنعت دارد و برای این که شما با کاربردها آشنا شوید در اینجا دو نمونه از آنها را که زیاد به کار می روند شرح می دهیم:

الف - ترمز روغنی - اغلب اتومبیلها و همه اتوبوسها و کامیونها مجهز به ترمز (لکام) روغنی هستند که بر اساس انتقال فشار در مایع ساخته شده است. شکل (۸ - ۹) طرح ساده ای از این ترمز را نشان می دهد. بالشکهای ترمز به وسیله دو پیستون که درون استوانه ای مقابل یکدیگر قرار دارند از هم باز می شوند و این پیستونها به وسیله روغن که در استوانه بزرگ اصلی توسط پدال ترمز تحت فشار قرار می گیرد حرکت می کنند. وقتی که فشار از روی پدال برداشته شود



شکل ۸ - ۹ - ترمز روغنی.



شکل ۸ - ۱۵ - طرح ساده‌ای از منگنه آبی.

مثلاً اگر سطح پستون تلمبه ۲ سانتیمتر مربع
 $(2 \times 10^{-4} \text{ m}^2)$ و نیروی وارد بر آن ۱۵۰ نیوتن باشد
 فشار وارد بر سطح پستون تلمبه
 $= \frac{150}{2 \times 10^{-4}} = \frac{1}{2} \times 10^6 \text{ N/m}^2$
 اگر سطح پستون منگنه ۸۰۰ سانتیمتر مربع
 $(8 \times 10^{-2} \text{ m}^2)$ باشد نیروی وارد بر این سطح
 برابر خواهد بود با:

$$F = \frac{1}{2} \times 10^6 \times 8 \times 10^{-2} = 4 \times 10^4 \text{ N}$$

(تقریباً ۴۰۰۰۰ کیلوگرم نیرو)

قانون ارشمیدس

نخستین باری که پیشنهاد شد بدنه کشتی‌ها را از آهن

منگنه بالا می‌رود و پس از این که کار منگنه انجام
 شد با باز شدن شیر که در مسیر لوله برگرداننده
 روغن به محزن قرار دارد، روغن دوباره به محزن
 برمی‌گردد و پستون پایین می‌آید.

با یک حساب ساده می‌توانید نیرویی را که بر
 سطح پستون منگنه وارد می‌شود به دست آورید:
 اگر a نمایش سطح پستون تلمبه و F نمایش
 نیروی وارد بر سطح این پستون باشد فشار وارد بر
 سطح آن $\frac{F}{a}$ خواهد بود. این فشار طبق قانون
 پاسکال به سطح منگنه نیز منتقل می‌شود به طوری که
 اگر سطح پستون منگنه A فرض شود نیروی وارد
 بر سطح آن چنین حساب می‌گردد:

سطح \times فشار = نیروی وارد بر سطح منگنه

$$F = \frac{F}{a} \cdot A = f \cdot \frac{A}{a}$$

بسازند بسیاری از مردم به این فکر خندیدند و مسخره کردند: آهن در آب فرو می‌رود. چگونه ممکن است بدنه کشتی را از آهن ساخت؟ ولی امروزه در ساختمان کشتیهای بزرگ مقدار زیادی آهن به کار می‌رود و کشتیها به زیر آب نمی‌روند.

می‌دانید وقتی که جسمی در مایعی قرار می‌گیرد نیرویی رو به بالا بر آن وارد می‌شود که شما در بخش ۴ این کتاب به نام نیروی ئیدروستاتیک با آن آشنا شده‌اید. می‌توانید با یک آزمایش ساده ولی جالب این نیرو را محسوس کنید: یک قطعه نخ قرقره را به یک آجر ببندید، تلاش شما برای بلند کردن آجر به وسیله نخ با شکست مواجه می‌گردد زیرا نخ پاره می‌شود ولی اگر آجر را در آب فرو برید به آسانی می‌توانید آن را با همین نخ بالا بیاورید و این نشان می‌دهد که وزن آجر در آب سبکتر از وزن آن در هواست.

قطعه سنگی که در آب فرو می‌رود از طرف آب نیرویی رو به بالا بر آن وارد می‌شود که تقریباً برابر $\frac{1}{10}$ وزن آن است و به همین علت است که قطعه سنگهای خیلی بزرگ به وزن چندین تن به وسیله سیلاب به آسانی به حرکت در می‌آیند.

می‌دانید برای اندازه‌گیری نیروی ئیدروستاتیک که از طرف مایع بر یک جسم وارد می‌شود، آزمایشهایی نخستین بار به وسیله ارشمیدس دانشمند یونانی که در سه قرن قبل از میلاد مسیح می‌زیسته است انجام گرفت. نتیجه آزمایشهای او منجر به کشف بزرگی شد که «قانون ارشمیدس» نامیده شده است:

هرگاه همه جسمی با قسمتی از آن در مایعی فرو رود از طرف سیال بر آن نیرویی وارد می‌شود که

برابر وزن سیال جا به جا شده است. این نیرو در امتداد قائم و جهت آن از پائین به بالا است.

کلمه سیال که در بیان این قانون به کار رفته است به مایع و گاز هر دو اطلاق می‌شود.

پرش ۸-۱۱. کاربردهایی از این قانون را که با آنها آشنایی دارید نام ببرید.

وقتی که جسمی بر سطح مایعی شناور باشد وزن آن برابر وزن قسمتی از مایع است که توسط جسم جا به جا می‌شود. تعادل کشتیها بر سطح آب دریا و چکالی سنج بر سطح مایعات بر همین اساس است.

مثال - یک کشتی به جرم ۱۲۰۰ تن (۱,۲۰۰,۰۰۰ کیلوگرم) بر روی آب دریا شناور است. چه حجمی از آب دریا به وسیله این کشتی جا به جا شده است؟ جرم حجمی آب دریا را $1030 \frac{\text{کیلوگرم}}{\text{مترمکعب}}$ فرض کنید.

چون کشتی در حال تعادل است:

وزن آب جا به جا شده = وزن کشتی
و چون وزن و جرم باهم متناسبند پس:

جرم آب جا به جا شده = جرم کشتی

از طرف دیگر

\times حجم آب جا به جا شده = جرم آب جا به جا شده

جرم حجمی آب

بنابراین

$$\frac{\text{جرم آب جا به جا شده}}{\text{جرم حجمی آب}} = \frac{\text{جرم کشتی}}{\text{جرم حجمی آب}}$$

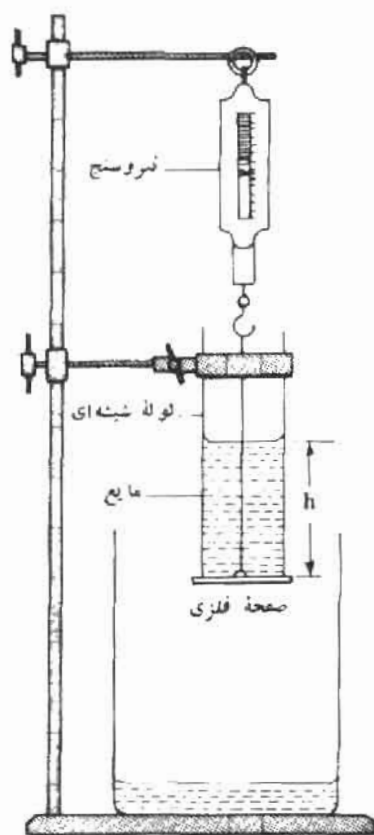
$$\frac{12 \times 10^6 \text{ kg}}{1030 \text{ kg/m}^3} = \frac{12000000 \text{ kg}}{1030 \text{ kg/m}^3} \approx 11650 \text{ m}^3$$

خودتان آزمایش کنید

۱) تحقیق کنید که فشار مایع با عمق متناسب است - لوله شیشه‌ای به قطر ۲ یا ۳ سانتیمتر را که دهانه پایینی آن به خوبی مسطح و هموار باشد در راستای قائم با گیره به پایه‌ای ببندید و زیر آن یک ظرف بزرگ بگذارید (شکل ۸-۱۱). بایک صفحه فلزی کاملاً هموار که آن را به وسیله ریسمان به نیروسنجی وصل می‌کنید دهانه پایینی لوله را ببندید، نیروسنج را طوری به پایه نصب کنید که کشش مناسبی را نشان دهد. سپس در لوله به آرامی آب بریزید. آب هنگامی از پایین لوله به بیرون تراوش می‌کند که نیروی وارد از طرف آب بر صفحه فلزی برابر کشش نیروسنج منهای وزن صفحه باشد (این نیرو را به F نمایش دهید)، یعنی:

$$F = \text{وزن صفحه فلزی} - \text{درجه‌ای که نیروسنج نشان می‌دهد}$$

در لحظه‌ای که آب به بیرون تراوش می‌کند عمق آب را در لوله نشان کنید (h). این آزمایش را با کششهای متفاوت نیروسنج تکرار کنید و نتایج آزمایش را در جدولی که نمونه آن در زیر داده شده است یادداشت نمایید. می‌توانید در اینجا برای آسانی کار واحد فشار را $\frac{\text{گرم نیرو}}{\text{سانتیمتر مربع}}$ و وزن صفحه فلزی را گرم نیرو بگیرید.



شکل ۸-۱۱ - آزمایش تعیین فشار مایع.

gf = وزن صفحه فلزی

$\frac{F}{h}$	$F(gf)$	درجه‌ای که نیروسنج نشان می‌دهد (gf)	عمق آب، h (cm)

اگر اندازه سطح داخلی لوله A باشد :

$$\text{فشار مایع} = \frac{F}{A}$$

چون A مقدار ثابتی است: $F \propto \text{فشار}$ (فشار متناسب با F است)

بنابراین اگر فشار متناسب با عمق h باشد نتایج آزمایش باید نشان دهنده :

$$\left(\text{مقدار ثابت} \right) \frac{F}{h} = Cte$$

۲) تحقیق کنید که فشار با جرم حجمی مایع متناسب است - آزمایش را با مایه‌های مختلفی که جرم

حجمی (ρ) آنها را می‌شناسید تکرار کنید. پیش از ریختن مایع در لوله، نیروسنج را به بالای میله پایه

بیندید تا درجه بزرگی را نشان دهد. سپس هر یک از مایه‌ها را با عمق یکسان در لوله بریزید و گیره

نیروسنج را به آرامی روی میله پایه پایین بیاورید تا مایع شروع به تراوش کند.

مانند آزمایش (۱) خواهید داشت: $F \propto \text{فشار}$

نتایج آزمایش را در جدولی که نمونه آن را در زیر می‌بینید یادداشت کنید:

$\frac{F}{\rho}$	$F(gf)$	درجه‌ای که نیروسنج نشان می‌دهد (gf)	جرم حجمی مایع $\rho(g/cm^3)$

بنابراین، اگر فشار متناسب با جرم حجمی ρ باشد باید $\frac{F}{\rho} = Cte$ باشد.

نتیجه - آزمایش اول نشان می‌دهد که فشار مایع متناسب با عمق h است.

آزمایش دوم نشان می‌دهد که فشار مایع متناسب با جرم حجمی ρ است.

ترکیب این دو آزمایش نشان می‌دهد که فشار مایع متناسب با ρh است.

۳) بر اساس فشار مایعات جرم حجمی دو مایع را با هم مقایسه کنید - دو لوله، تا اندازه‌ای گشاد و

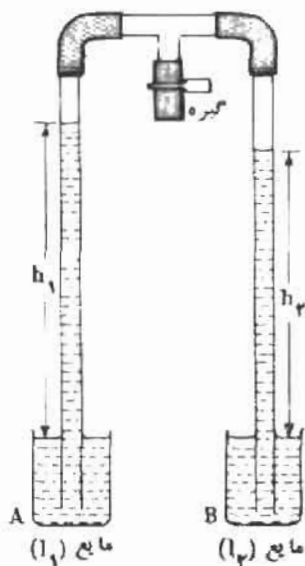
بلند، انتخاب کنید و آنها را به وسیله دو قطعه لوله لاستیکی به‌دور یک لوله سه‌شاخه به شکل T متصل کنید و

یک لوله لاستیکی هم به شاخه سوم وصل کنید تا بتوانید با گیره‌ای آن را بیندید. دو لوله را مطابق شکل (۸-۱۲)

در دو طرف A و B که در آنها دو مایع مختلف به جرم ρ_1 و ρ_2 ریخته‌اید به‌طور قائم فروبرید و آنها را

با گیره به پایه‌ای استوار سازید. سپس از لوله لاستیکی که به شاخه میانی لوله سه‌شاخه T وصل کرده‌اید مقداری

هوای درون لوله‌ها را بکشید و با گیره لوله‌ها را بیندید تا هوا وارد دستگاه نشود. خواهید دید که مایه‌ها در دو لوله



شکل ۸-۱۲- تعیین جرم حجمی نسی دو مایع

بالا می‌روند. زیرا وقتی که هوای درون لوله‌ها مکیده شود فشار آن کم می‌گردد و فشار هوای خارج مایعها را به‌درون آنها می‌راند و دو مایع در دو لوله آن‌قدر بالا می‌روند که فشار داخل و خارج برابر شود. اگر در این حالت فشار هوای بالای مایع را در لوله‌ها به P و ارتفاع مایعها را در دو لوله به h_1 و h_2 نمایش دهید خواهید داشت :

$$(\text{چرا ؟}) \quad P + h_1 \rho_1 g = P + h_2 \rho_2 g$$

$$h_1 \rho_1 = h_2 \rho_2$$

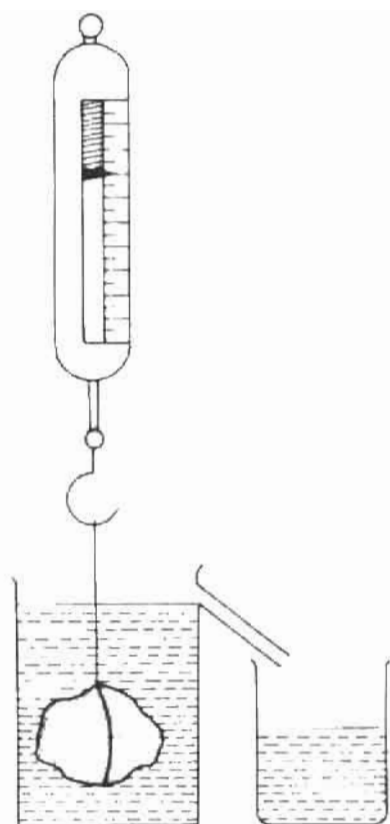
بنابراین :

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{h_2}{h_1}$$

یا :

h_1 و h_2 را با دقت اندازه بگیرید و نسبت جرم حجمی دو مایع را تعیین کنید . یکی از دو مایع را آب بگیرید و چگالی نسی دو مایع دوم را تعیین کنید .

۴) قانون ارشمیدس را با آزمایش تحقیق کنید - ظرف فلزی یا شیشه‌ای که در قسمت بالای آن لوله‌ای به شکل ناودان است روی سطح افقی میز قرار دهید و ظرف دیگری زیر لوله آن بگذارید (شکل ۸-۱۳) و ظرف لوله‌دار را از آب پر کنید تا آب از لوله جاری شود . وقتی که آب از چکیدن باز ایستاد ظرف دوم را از زیر لوله بردارید و یک ظرف شیشه‌ای تمیز که از پیش کاملاً آن را خشک و وزن کرده‌اید زیر لوله بگذارید . جسم جامد مناسبی مثلاً یک قطعه فلز یا یک قطعه سنگ را با نخ باریکی به چنگک نیروسنجی بیاویزید و وزن آن را با نیروسنج ، در هوا معین و یادداشت کنید سپس جسم را همان طور که به نیروسنج



شکل ۸-۱۳- تحقیق قانون ارشمیدس

آویخته است به آرامی و با دقت در آب درون ظرف لوله‌دار فرو برید . وقتی که کاملاً در آب فرو رفت آن را بی حرکت نگاه دارید و از نو وزن آن را روی نیروسنج بخوانید و یادداشت کنید . آبی که در اثر حجم جسم جا به جا می‌شود از لوله ظرف لوله‌دار وارد ظرف دوم می‌شود . همین که ریختن آب از لوله قطع شد ظرف و آب ریخته شده درون آن را از نو وزن کنید و نتایج را به ترتیب زیر مرتب نمایید :

گرم نیرو = وزن جسم در هوا

گرم نیرو = وزن جسم در آب

گرم نیرو = وزن ظرف خالی

گرم نیرو = وزن ظرف با آب جا به جا شده

گرم نیرو = اندازه سبک شدن جسم در آب (وزن جسم در آب - وزن جسم در هوا)

گرم نیرو = وزن آب جا به جا شده به وسیله جسم (وزن آب هم حجم جسم) .

نتیجه بگیرید که اندازه سبک شدن جسم در آب (یعنی نیرویی که از طرف آب رو به بالا بر جسم

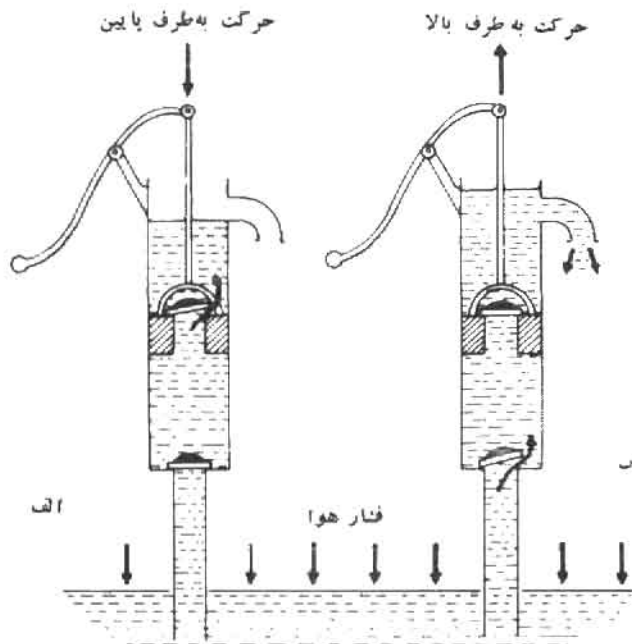
وارد می‌شود) برابر وزن آب جا به جا شده است. بدین ترتیب قانون ارشمیدس در آب تحقیق می‌گردد. همین نتیجه را می‌توانید با مایعات دیگر که در اختیار دارید به دست آورید.

توجه کنید ۱ با این روش می‌توانید چگالی نسبی جسم جامد را نسبت به آب تعیین کنید زیرا با توجه به آنچه در بخش ۲ دیدید:

$$\frac{\text{وزن جسم معین از جسم}}{\text{وزن آب هم حجم جسم}} = \text{چگالی يك جسم نسبت به آب}$$

به این پرسشها پاسخ دهید

- ۱) تعریف فشار چیست و در دستگاه واحدهای بین‌المللی با چه واحدی اندازه گرفته می‌شود؟
 - ۲) فرق بین نیرو و فشار چیست؟
 - ۳) دو آزمایش را که نشان دهند هوا فشار دارد شرح دهید.
 - ۴) شکل اسباب ساده‌ای را که برای تعیین فشار يك مخزن گاز به کار می‌رود بکشید و توضیح دهید چگونه فشار گاز حساب می‌شود. چه واحدی را با این اسباب برای تعیین فشار گاز به کار می‌برید؟
 - ۵) هریک از عاملهای زیر چه اثری در فشار وارد بر ته ظرفی که درون آن مقداری مایع است دارد؟
 - الف - شکل ظرف و مساحت کف آن؛
 - ب - عمق مایع در ظرف و جرم حجمی مایع؛
 - ج - نیروهای پیوستگی بین مولکولهای مایع.
 - ۶) توضیح دهید که چگونه نیروی وارد بر يك سطح افقی را که در عمق h از سطح آزاد مایعی به جرم حجمی ρ واقع است حساب می‌کنید. چه واحدهایی را برای تعیین اندازه این نیرو به کار می‌برید؟ مثال بزنید.
 - ۷) اگر در ته يك قوطی پر از مایع که در آن بسته است سوراخ کوچکی ایجاد کنید مایع به راحتی نمی‌ریزد ولی اگر سوراخ دیگری نیز ایجاد کنید مایع به راحتی می‌ریزد. علت را توضیح دهید.
 - ۸) توضیح دهید که چگونه می‌توانید يك هواسنج ساده درست کنید. چه نکاتی را باید رعایت کنید تا هواسنج شما دقت خوبی داشته باشد؟ چگونه مطمئن خواهید شد که بالای جیوه در هواسنج خلا است؟
 - ۹) لوله شیشه‌ای یکسان و محکمی به طول يك متر که هر دو سر آن باز است در راستای قائم نگاه داشته شده است. سر پایینی لوله در ظرف بزرگ محتوی جیوه فرو برده شده و سر بالایی آن به وسیله لوله لاستیکی مناسبی به يك تلمبه تخلیه هوا که هوا را خوب خالی می‌کند متصل گردیده است.
- طرح ساده‌ای از این دستگاه را بارسم نمایش دهید. اگر تلمبه به کار افتد انتظار مشاهده چه پدیده‌ای



شکل ۸-۱۴- تلمبه معمولی

را خواهید داشت؟ در هر يك از موارد زیر چه تفاوت‌هایی انتظار دارید مشاهده کنید؟

الف- قطر لوله یکسان نیست!

ب- لوله در راستای قائم نیست!

ج- لوله خیلی باریک است.

۱۵) در هر يك از موارد زیر چه اثری در ارتفاع جیوه در لوله هواسنج ظاهر خواهد شد؟

الف- قطر لوله هواسنج بزرگتر از معمول باشد!

ب- طول لوله هواسنج بلندتر از معمول انتخاب شود!

ج- مقداری هوا در فضای بالای جیوه در لوله وارد شود.

۱۱) شکل‌های (۸-۱۴- الف) و (۸-۱۴- ب) تلمبه معمولی آب را در دو حالت نشان می‌دهند

که پیستون آن به طرف پایین و بالا در حرکت است. طرز کار این تلمبه را در چند خط بنویسید. در جایی که فشار هوا ۷۶۰ میلی‌متر جیوه است این تلمبه حداکثر تا چه ارتفاعی ممکن است آب را بالا بیاورد؟

۱۲) از قانون انتقال فشار در مایعات چه می‌فهمید؟ دو مثال از کاربرد این قانون را شرح دهید.

۱۳) قانون ارشمیدس را بیان کنید.

۱۴) آزمایشی را طرح ریزی کنید که به کمک آن بر اساس قانون ارشمیدس بتوان چگالی نسبی يك

جسم جامد را تعیین کرد.

- ۱۵) بر اساس قانون ارشمیدس ، بالارفتن يك بالون پر از هیدروژن را در هوا توضیح دهید . چرا این بالون از ارتفاع معینی بیشتر بالا نمی تواند برود ؟
- ۱۶) قانون شناور شدن يك جسم بر سطح مایع چیست ؟

این مسئله ها را حل کنید

- شدت میدان جاذبه را در حل این مسئله ها هر جا لازم باشد برابر $g = 9.8 \text{ N/kg}$ بگیرید.
- ۱) يك جسم جامد به شکل مكعب مستطیل كه از ماده ای به جرم حجمی $2/5$ $\frac{\text{گرم}}{\text{سانتیمتر مكعب}}$ ساخته شده دارای ابعاد $5 \times 10 \times 20$ سانتیمتر است . این جسم را روی یگی از وجوهش بر سطح افقی قرار می دهیم . بیشترین فشاری كه می تواند بر این سطح وارد سازد چه اندازه است ؟
- ۲) طول استخری ۳۰ متر و عرض آن ۱۰ متر و عمق آب در آن ۲ متر است . چه فشاری بر حسب $\frac{\text{نیوتن}}{\text{متر مربع}}$ از طرف آب بر كف استخر وارد می شود ؟ چه نیرویی از طرف آب بر سطح كف استخر وارد می شود ؟ جرم حجمی آب ۱۰۰۰ $\frac{\text{کیلوگرم}}{\text{متر مكعب}}$ است .
- ۳) عمق آب در مخزنی ۱۵ متر و فشار هوا برابر ۷۶ سانتیمتر جیوه است . فشار کلی كه بر كف مخزن وارد می شود بر حسب cmHg (سانتیمتر جیوه) چه اندازه است ؟ جرم حجمی جیوه برابر 13.6 $\frac{\text{گرم}}{\text{سانتیمتر مكعب}}$ است .
- ۴) اگر هنگام نوشتن بایك قلم خودكار ، نیرویی معادل $\frac{1}{4}$ کیلوگرم نیرو توسط نوك قلم بر صفحه كاغذ وارد شود چه فشاری بر حسب $\frac{\text{نیوتن}}{\text{متر مربع}}$ بر صفحه كاغذ وارد می شود ؟ سطح نوك قلم را $\frac{1}{10}$ میلیمتر مربع بگیرید .
- ۵) جسم جامد استوانه ای شكلی را كه شعاع قاعده اش 0.02 متر و ارتفاعش 0.10 متر است به طور قائم در مایعی به جرم حجمی 1300 $\frac{\text{کیلوگرم}}{\text{متر مكعب}}$ فرو برده ایم . اگر فاصله سطح بالایی استوانه از سطح آزاد مایع 0.15 متر باشد
- الف - نیروهایی را كه از طرف مایع بر دو سطح بالایی و پایینی استوانه وارد می شود بر حسب نیوتن حساب کنید .
- ب- به كمك نیروهایی كه حساب کرده اید تعیین کنید كه وزن استوانه در مایع چه اندازه كاهش یافته است .

۶) هواسنج جیوه‌ای در یکی از روزها در مکانی فشار هوا را ۷۵۰ میلی‌متر جیوه نشان می‌دهد. این فشار را بر حسب نیوتن بر متر مربع حساب کنید. جرم حجمی جیوه ۱۳۶۰۰ $\frac{\text{کیلوگرم}}{\text{متر مکعب}}$ است.

۷) وزن یک قطعه لاک در هوا ۲۷ گرم نیرو و وزن ظاهری آن در آب ۱۲ گرم نیروست.

الف- چگالی آن نسبت به آب چه اندازه است؟

ب- وزن ظاهری آن در مایمی به جرم حجمی $۵/۸ \frac{\text{گرم}}{\text{سانتی‌متر مکعب}}$ چند گرم نیروست؟

۸) قطعه چوبی اگر بر سطح آب شناور شود $\frac{۲}{۳}$ حجم آن در آب فرو می‌رود و اگر بر سطح نفت

شناور شود $\frac{۳}{۴}$ حجم آن در نفت فرو می‌رود. جرم حجمی چوب و نفت را حساب کنید.

۹) پل شناوری به شکل مکعب مستطیل برای انتقال اتومبیلها از یک طرف رودخانه به طرف دیگر به کار

می‌رود و مساحت سطح آن ۷۲۰ متر مربع است. اگر ۶۰ اتومبیل که جرم هر یک ۱۱۰۰ کیلوگرم است

روی این پل قرار گیرد چه اندازه بیشتر در آب فرو می‌رود؟ جرم حجمی آب ۱۰۰۰ $\frac{\text{کیلوگرم}}{\text{متر مکعب}}$ است.

۱۰) جواب درست این تست را با علامت X مشخص کنید:

قطعه چوبی بر سطح آب شناور و به حال تعادل است. وزن چوب:

۱- با نیرویی که آب بر آن وارد می‌کند برابر است.

۲- از نیرویی که آب بر آن وارد می‌کند کمتر است.

۳- با فشاری که آب بر آن وارد می‌کند برابر است.

۴- با وزن آب هم حجم آن برابر است.

پاسخ به پرسشهای متن

$$P = \frac{F}{A} \quad (۱-۸) \quad (\text{فشار})$$

$$A = ۲ \times ۲۵۰ \text{ cm}^2 = ۵۰۰ \text{ cm}^2 \quad \text{و} \quad F = ۵۰۰ \text{ N} \quad \text{به‌ازای}$$

$$P = \frac{۵۰۰ \text{ N}}{۲ \times ۲۵۰ \text{ cm}^2} = ۱ \text{ N/cm}^2 \quad \text{داریم:}$$

$$A = ۲ \times ۱۵۰ \times ۱۰ = ۲ \times ۱۵۰۰ \text{ cm}^2 \quad \text{درحالتی که کفش اسکی به پا دارد:}$$

$$P = \frac{۵۰۰ \text{ N}}{۲ \times ۱۵۰۰ \text{ cm}^2} = \frac{۱}{۶} \text{ N/cm}^2 \quad \text{و}$$

۸-۲) باید سطحی را که نیرو بر آن وارد می‌شود بزرگ گرفت.

۳-۸) زیرا فشار داخل قوطی کم می‌شود و قوطی نمی‌تواند فشار هوای خارج را تحمل کند و درهم فرو می‌رود.

۴-۸) بلی. مولکولهای گازها نیز مانند مولکولهای مایعات از جایی که فشار بیشتر است به سوی جایی که فشار کمتر است حرکت می‌کنند.

۵-۸) فشاری که به لاستیک نازک وارد می‌شود به مولکولهای هوای درون قیف که مجاور آن است منتقل می‌گردد. این مولکولها به نوبه خود فشار را به مولکولهای دیگر هوا منتقل می‌کنند. این فشار مولکول به مولکول منتقل می‌شود تا به آب درون لوله U برسد.

۶-۸) در همه نقاطی که فاصله آنها از سطح آزاد مایع به یک اندازه است. بدیهی است این نقاط سطحی را تشکیل می‌دهند که موازی یا سطح آزاد مایع است.

۷-۸) زیرا فاصله همه نقاط این سطح از سطح آزاد مایع یکی است. به عبارت دیگر در رابطه $p = h\rho g$ اندازه h برای تمام نقاط چنین سطحی یکی است.

۸-۸) علاوه بر روشی که در سالهای پیش آموخته‌اید می‌توان همان طور که دهانه لوله پر از جیوه با انگشت محکم گرفته شده است لوله را چند مرتبه برگرداند تا جابجایی جمع شده و خارج شوند.

۹-۸) چون فشار ۷۶ سانتیمتر جیوه معادل $1033.6 \text{ gf/cm}^2 = 76 \text{ cm} \times 13.6 \text{ gf/cm}^3$ است بنابراین ارتفاع ستون آب که فشار آن به اندازه فشار ستون ۷۶ سانتیمتر جیوه باشد برابر 1033.6 سانتیمتر (تقریباً $10/3$ متر) است زیرا وزن هر سانتیمتر مکعب آب برابر 1 gf است.

$$\begin{aligned} 1 \text{ atm} &= 1033.6 \text{ gf/cm}^2 = 1.0336 \text{ kgf/cm}^2 & (10-8) \\ &= 1.0336 \times 10^4 \text{ kgf/m}^2 \\ &= 1.0336 \times 10^4 \times 9.8 \text{ N/m}^2 \\ &\approx 1.013 \times 10^5 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

۱۱-۸) کشتیها، زیردریاییها، بالونها، چگالی‌سنجها و مانند اینها.

منابعی که در تدوین کتاب به آنها مراجعه شده است

- ۱- ORDINARY LEVEL PHYSICS. A F ABBOTT.
- ۲- PHISICS. Edited by D. W SCOTT, M. A.
- ۳- COLLEGE PHYSICS. PHYSICAL SCIENCE. STUDY COMMITTEE
- ۴- FOUNDATION OF PHYSICS. ROBERT L. LEHRMAN CLIFFORD SWARTZ.
- ۵- PHYSICS. IRWIN GENZER PHILIP YOUNGNER
- ۶- PHYSICS. TAFFEL.
- ۷- The SCIENCE OF PHYSICS. ARTHUR BEISER.
- ۸- MODERN PHYSICS. CHARLES E. DULL. H. CLARK METCALFE. WILLIAM O. BROOKS.
- ۹- PHYSIQUE. J. CESSAC, G. TREHERNE. 2eC
- ۱۰- PHYSIQUE. PIERRE MACQ PIERRE STOUFFS
(درکنور بلژیک (Classe de troisième
- ۱۱- PHYSIQUE GÉNÉRALE. H. BRASSEUR H. SAUVERNIER.
- ۱۲- CHALEUR. THERMODYNAMIQUE, ETATS DE LA MATIERE. P. FLEURY et J. P. MATHIEU.
- ۱۳- The Working World of PHYSICS. I. M. L. JENKINS.



