

اندازه‌گیری و کمیت‌های فیزیکی

یکی از وجوه مشترک فیزیک و معماری اندازه‌گیری است. معماران هنرمند ایرانی از صدها سال پیش با نگاه دقیق به مبانی اندازه‌گیری، اثرهای بدیع و ماندگاری را در طول تاریخ تمدن اسلامی ایران بنا کرده‌اند.



بنای درطوس – فراسان رضوی

گسترش دانش فیزیک تأثیر زیادی بر زندگی ما داشته است. مطالعه هر بخش از جهان مادی پیرامون ما، چه کوچک چه بزرگ، چه جاندار چه بی جان، بدون دانش فیزیک میسر نیست.

شما با فراگیری فیزیک می آموزید که چگونه: مشاهده کنید، بررسی کنید، آزمایش انجام دهید و نتایج آزمایش‌ها را به صورت مناسب ثبت کنید. فراگیری دانش فیزیک توانایی شما را در انطباق با فناوری در حال تغییر عصر حاضر افزایش می دهد.

واژه فیزیک برگرفته از واژه باستانی یونانی Physis به معنای طبیعت و ماهیت است. تا آنجا که تاریخ مدون علم نشان می دهد، فیلسوفان آسیای صغیر در سده هفتم قبل از میلاد مسیح نخستین کسانی بودند که پرسش‌هایی درباره طبیعت مطرح ساختند.

اندیشه‌های علمی این فیلسوفان در سده پنجم قبل از میلاد در یونان و پس از آن در مناطقی مانند مقدونیه، سوریه، مصر و ... به ویژه در شهر اسکندریه پی گیری شد. کارهای ارشمیدس (متولد سال ۲۸۷ قبل از میلاد مسیح) به همین دوره مربوط می شود. روش ارشمیدس به روش‌های علمی امروزه نزدیک بود.

پس از ظهور و گسترش اسلام، دانشمندان کشورهای اسلامی مانند ابوریحان بیرونی، ابن هیثم، خواجه نصیر الدین طوسی، ابن سینا و بسیاری دیگر در زمینه‌های نجوم، اپتیک و مکانیک علم فیزیک را گسترش دادند که بعدها بخشی از این نتایج پایه‌ای برای کارهای گالیله و دیگران شد.

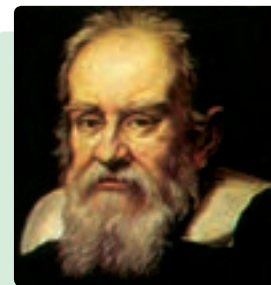
گالیله ضمن بررسی حرکت اجسام روی سطح شیبدار به اندازه‌گیری کمیت‌هایی مانند جرم جسم، زمان حرکت و طول مسیر پرداخت. او سعی کرد رابطه‌ای بین این اندازه‌ها بیابد و نتیجه را به صورت ریاضی بیان کند. در روش‌های علمی امروزی نیز دانشمندان در جستجوی روابط ریاضی‌ای هستند که نتایج اندازه‌گیری‌ها را به هم مربوط می کنند.

کارشناسان فیزیک یا در شاخه‌های تخصصی فیزیک مانند اختر فیزیک، فیزیک هسته‌ای، نورشناسی، فیزیک اتمی، لیزر و ... فعالیت دارند یا در شاخه‌های مرتبط مانند فیزیک پزشکی، شیمی-فیزیک، هواشناسی، ژئوفیزیک، مخابرات و ... مشغول به کار هستند.

با توجه به اهمیتی که اندازه‌گیری در فیزیک دارد، قسمت اول این فصل به اندازه‌گیری و نکته‌های مربوط به آن اختصاص دارد. در ادامه کمیت‌های فیزیکی اصلی و فرعی را معرفی می کنیم. سپس در مورد کمیت‌های نرده‌ای و برداری و محاسبات ریاضی آنها تا حد نیاز شرح خواهیم داد.

۱-۱ اندازه‌گیری

آیا تاکنون به این نکته توجه کرده‌اید که در ذهن خود برای هر کس یا هر چیز صفت‌ها و ویژگی‌هایی می شناسید. به یخ سردی، به آب روانی، به گل زیبایی، به آسمان رنگ آبی، به مادر مهربانی، به پرسبکی، به سنگ سنگینی، به فیل بزرگ جثه‌ای و به مورچه کوچکی و ... نسبت می دهید. برخی از این ویژگی‌ها به طور دقیق قابل اندازه‌گیری اند و برخی دیگر نه. برای مثال سنگینی یک جسم، بلندی یا دمای یک جسم را به صورتی کاملاً تعریف شده و مورد توافق همگان می توان اندازه گرفت. ولی برای اندازه‌گیری زیبایی یا مهربانی و بسیاری از ویژگی‌ها دیگر چنین روش‌هایی وجود ندارد.



گالیلهو گالیله (۱۶۴۳-۱۰۲۱ ه. ش) فیزیکدان، منجم و ریاضیدان ایتالیایی در شهر پیزای ایتالیا به دنیا آمد. از او به عنوان پدر علم نوین در تاریخ یادشده است. او از ۲۸ سالگی در دانشگاه پادوا تدریس کرد و نخستین خدمت بارز او به علم کشف وجود نواختران در سال ۱۶۰۴ میلادی بود. گرچه او خدمات متعددی به علم کرد که از آن جمله می توان به ساخت تلسکوپ، کشف چهار قمر مشتری و قانون سقوط آزاد اجسام اشاره کرد، اما کارهای علمی او تحت الشعاع نظریه او در رد نظریه زمین مرکزی بطلمیوس قرار گرفت و اینکه زمین نیز مانند سیارات دیگر و ماه است. پس از چاپ کتاب گفتار که در آن به تشریح نظریات خود پرداخت، زیر آماج تیرهای تهمت قرار گرفت و سیل مخالفت و عناد بر علیه او به پا شد، به طوری که در سال ۱۶۳۳ میلادی کارش به دادگاه تفتیش عقاید روم کشید و او به اجبار دست از نظریات خود برداشت. با این همه او پیش از مرگ کتابی به نام علوم جدید را به طور محرمانه به چاپ رساند و سرانجام در ۸ ژانویه ۱۶۴۲ میلادی (۱۰۲۱ ه. ش) چشم از دنیا فرو بست.

در زندگی روزانه، هر یک از ما اندازه‌گیری‌هایی انجام می‌دهیم. زمان را اندازه می‌گیریم، فاصله بین دو نقطه یا طول یک جسم یا جرم یک جسم مانند مقداری میوه و ... را اندازه‌گیری می‌کنیم. این اندازه‌گیری‌ها و اندازه‌گیری‌های دیگری که می‌توان برشمرد، ممکن است تفاوت‌های زیادی با یکدیگر داشته باشند ولی برای همه آنها می‌توانیم جنبه‌های مشترکی بیابیم. برای روشن شدن این جنبه‌های مشترک، فعالیت زیر را انجام دهید.

فعالیت ۱-۱



فعالیت‌های روزانه چند نفر از مردم اطراف خود (پزشک، خیاط، اعضای خانواده، عطار، شیشه‌بر و ...) را به دقت در نظر بگیرید. جدولی همانند جدول زیر را تنظیم و پس از تحقیق آن را پر کنید. آنگاه جدول خود را با جدول افراد گروه خود مقایسه و کامل کنید.

مقادیر به دست آمده در یک اندازه‌گیری	وسایل اندازه‌گیری	چه چیزی را اندازه می‌گیرد		
۸-۱۲ میلی‌متر جیوه، ۳۷/۵ درجه سلسیوس، ۷۵ ضربان بر دقیقه	فشارسنج، دماسنج، گوشی پزشکی و ساعت	فشارخون، دمای بدن، ضربان قلب	پزشک	۱
			نجار	۲
			خیاط	۳
			متصدی پمپ‌بنزین	۴
			شیشه‌بر	۵
				۶

آیا می‌توانیم از این فعالیت نتیجه بگیریم که در هر اندازه‌گیری نیاز به وسیله اندازه‌گیری وجود دارد و نتیجه اندازه‌گیری برحسب یک **یکا** بیان می‌شود؟

جایگاه اندازه‌گیری در فیزیک: در بررسی بیشتر موضوع‌های مختلف فیزیک با اندازه‌گیری سروکار داریم. در کتاب فیزیک ۱ و آزمایشگاه، نمونه‌هایی از اندازه‌گیری‌ها را انجام دادیم. مثلاً با استفاده از ولت‌سنج اختلاف پتانسیل دو نقطه از مدار را برحسب ولت به دست آوردیم، یا با استفاده از خط‌کش فاصله کانونی عدسی همگرا را برحسب سانتی‌متر اندازه‌گیری کردیم و ...

بنابراین فیزیک مجموعه‌ای است از اندازه‌گیری‌ها و یافتن رابطه بین نتیجه‌های آنها که نظریه‌ها و قانون‌های فیزیک را می‌سازند. بسیاری معتقدند «فیزیک علم اندازه‌گیری است» در واقع آنها می‌خواهند بر اهمیت موضوع اندازه‌گیری در فیزیک تأکید کنند.

یکای (واحد) اندازه‌گیری: همان‌گونه که دیدیم یکی از جنبه‌های مشترک بین همه اندازه‌گیری‌ها وجود یکای اندازه‌گیری است. با انجام اندازه‌گیری یک عدد به دست می‌آید. برای مثال ممکن است برای بلندی قامت یک فرد $1/72$ متر یا برای طول یک اتاق ۸ قدم و یا برای فاصله بین دو شهر 107 کیلومتر به دست آید. می‌دانید که در هر مورد، عدد گزارش شده بیان می‌کند که مقدار کمیت مورد نظر چند برابر مقدار کمیتی از همان جنس است که به عنوان مقیاس انتخاب شده است. این مقیاس را **یکا** (یا واحد) آن کمیت می‌نامند.

فعالیت ۱-۲

با انتخاب یک یکای طول (مثل طول مداد)، طول نیمکتی را اندازه بگیرید. طول نیمکت چند برابر طول مداد است؟ این اندازه‌گیری را با یکاهای دیگری چون طول خودکار و وجب انجام دهید و نتیجه را در جدول زیر ثبت کنید.

یکای	طول نیمکت (یا هر چیزی دیگری که مورد نظر شماست)
طول یک مداد	
طول یک خودکار	
طول یک وجب	

چرا برای طول نیمکت اعداد متفاوتی به دست آورده‌اید؟ دلیل این اختلاف چیست؟ به نظر شما برای آنکه همه اندازه‌گیری‌ها، عدد یکسانی را برای طول نیمکت بدهند، چه باید کرد؟

فعالیت ۱-۲ نشان می‌دهد که وقتی از یکاهای مختلفی برای اندازه‌گیری طول یک جسم استفاده می‌کنیم عددهای متفاوتی به دست می‌آوریم.

دانشمندان برای آنکه عددهای حاصل از اندازه‌گیری‌های مختلف یک کمیت به راحتی با هم مقایسه پذیر باشند، در نشست‌های بین‌المللی توافق کرده‌اند که برای هر کمیت، یکای معینی تعریف کنند. یکاهای تعریف شده باید به گونه‌ای انتخاب شوند که هم تغییرناپذیر و هم در دسترس باشند. مثلاً اگر یکای طول را به صورت طول وجب دست معرفی کنیم. مطمئناً یکای قابل دسترسی خواهیم داشت. اما این یکا از شخصی به شخص دیگر تغییر خواهد کرد. نیاز به دقت در علوم، مهندسی، پزشکی و... ما را وامی‌دارد که به تغییرناپذیری یکا اهمیت بیشتری بدهیم و پس از تعیین آن، نمونه‌های مشابهی از آن را تولید کنیم و در اختیار کسانی که به آنها نیاز دارند قرار دهیم.

دستگاه یکاهایی که غالباً دانشمندان علوم و مهندسی در سراسر جهان به کار می‌برند و شامل مجموعه‌ای از یکاهای مورد توافق بین‌المللی است، دستگاه بین‌المللی یا SI^۱ خوانده می‌شود. در ادامه به معرفی برخی از این یکاها می‌پردازیم.

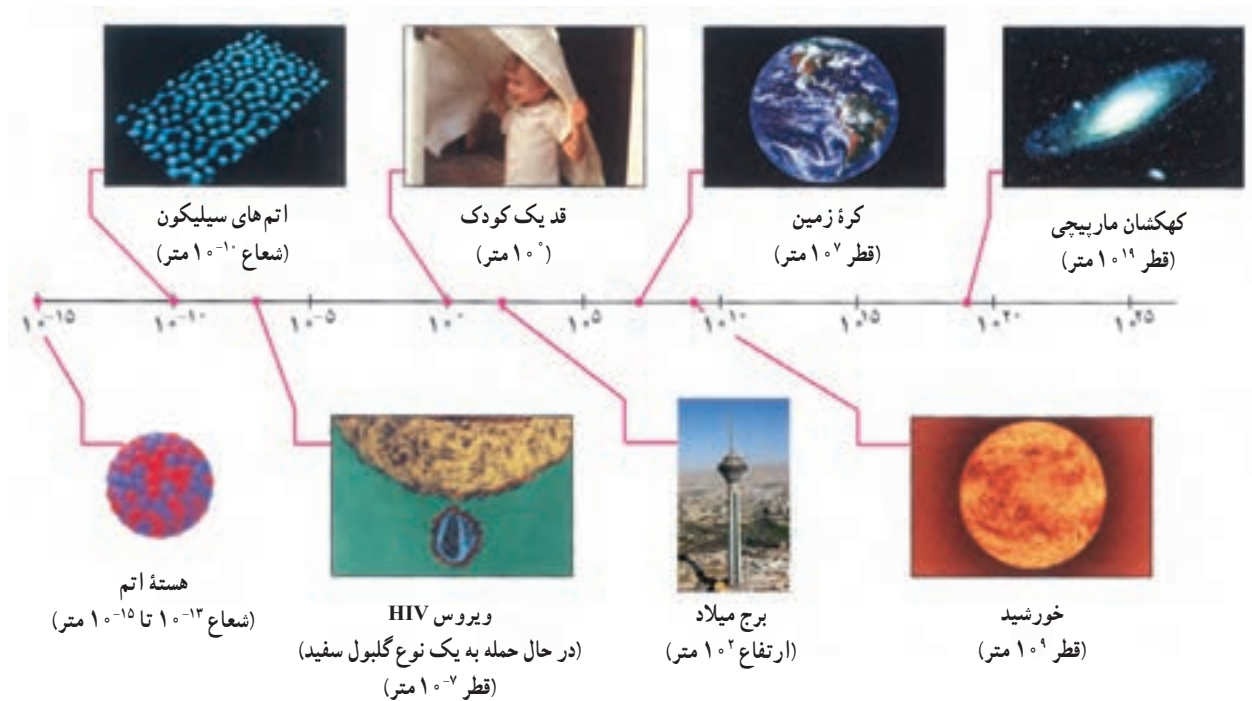
۱-SI حرف اول واژه‌های فرانسوی Systeme International به معنای دستگاه بین‌المللی است.

یکاهای اصلی: در عمل نیازی نیست که برای هر یک از کمیت‌های فیزیکی یکای مستقلی تعریف شود. برای مثال، اگر واحد طول تعریف شده باشد، دیگر لازم نیست برای مساحت یکای مستقلی تعریف کنیم؛ بلکه می‌توانیم آن را تنها با اندازه‌گیری‌های طول و با استفاده از رابطه‌های هندسی محاسبه کنیم. برای نمونه مساحت مستطیل برابر است با حاصل ضرب طول ضلع بزرگ در طول ضلع کوچک. یعنی با اندازه‌گیری این طول‌ها بر حسب متر، مساحت بر حسب متر در متر یعنی متر مربع مشخص می‌شود.

آن دسته از کمیت‌هایی را که یکاهای آنها به‌طور مستقل تعریف شده‌اند، **کمیت‌های اصلی و یکاهای آنها را یکاهای اصلی می‌نامند**. سایر کمیت‌ها از قبیل مساحت، حجم و... **کمیت‌های فرعی** نام دارند. یکای کمیت‌های فرعی را می‌توان بر حسب یکاهای اصلی تعیین کرد. طول، جرم، زمان، دما و جریان الکتریکی از جمله کمیت‌های اصلی در SI هستند که در ادامه یکای برخی از آنها را معرفی می‌کنیم.

یکای طول: یکای طول در SI، متر نام دارد که آن را با نماد m نمایش می‌دهند. بنابه یک توافق قدیمی برای این طول (یک متر) نمونه استاندارد ساخته شده است که در موزه سِیور در فرانسه نگهداری می‌شود. این نمونه میله‌ای است از جنس آلیاژ پلاتین و ایریدیوم با دو علامت روی آن که فاصله بین آنها در دمای صفر درجه سلسیوس به‌طور دقیق برابر طول توافق شده بین‌المللی برای یک متر است. در مؤسسه‌های استاندارد همه کشورهای نمونه‌هایی مشابه این نمونه استاندارد را تهیه و نگهداری می‌کنند.

شکل ۱-۱ مرتبه بزرگی برخی طول‌ها را نشان داده است.



شکل ۱-۱- مرتبه بزرگی برخی طول‌ها بر حسب متر

یکای جرم: یکای جرم در SI، کیلوگرم نام دارد که آن را با نماد kg نمایش می‌دهند. برای این یکا نیز یک نمونه استاندارد به صورت استوانه‌ای از جنس آلیاژ پلاتین و ایریدیوم در موزه سِور فرانسه نگهداری می‌شود و کشورهای دیگر نیز مشابه این نمونه استاندارد را تهیه می‌کنند (شکل ۱-۲).

یکای زمان: یکای زمان در SI، ثانیه نام دارد که آن را با نماد s نمایش می‌دهند. طبق یک تعریف قدیمی، یک ثانیه برابر $\frac{1}{۸۶۴۰۰}$ یک شبانه‌روز است.



شکل ۱-۲- نمونه جرم استاندارد

جدول ۱-۱- یکای پنج کمیت اصلی در SI

نماد یکا	نام یکا	کمیت
m	متر	طول
s	ثانیه	زمان
kg	کیلوگرم	جرم
A	آمپر	جرم الکتریکی
K	کلوین*	دما

* با این یکا در فصل ششم کتاب آشنا می‌شوید.

یکای کمیت‌های فرعی:

پیش از این دیدیم که نیازی به معرفی یک یکای مستقل برای مساحت نیست؛ زیرا مساحت معمولاً با اندازه‌گیری دو طول و به کمک یک رابطه هندسی محاسبه می‌شود. در نتیجه یکای آن در SI متر مربع (m^2) است. به همین ترتیب می‌توانیم یکای هر کمیت فرعی دیگر را با استفاده از رابطه یا رابطه‌های آن کمیت با کمیت‌های اصلی و یا با کمیت‌های فرعی دیگری تعریف کنیم که یکای آنها قبلاً معرفی شده است. از این پس با هر کمیت فرعی که مواجه شویم یکای آن را نیز معرفی خواهیم کرد.

شعاعیت ۱-۳

در کتاب فیزیک ۱ و آزمایشگاه با تعدادی از کمیت‌های اصلی و فرعی آشنا شدید. در جدول زیر یکای کمیت‌های داده شده را برحسب یکاهای اصلی بنویسید.

ردیف	نام کمیت	نماد کمیت	نام یکا	نماد یکا	یکای برحسب یکاهای اصلی
۱	سرعت				
۲	انرژی جنبشی				
۳	شتاب جاذبه	g	متر بر مجذور ثانیه	m/s^2	m/s^2
۴	انرژی پتانسیل گرانشی				
۵	بار الکتریکی			C	A.s
۶	توان عدسی				
۷					

۱- امروزه در نشست‌های کمیته بین‌المللی وزن‌ها و مقادیرها، برای ثانیه تعریف بسیار دقیق‌تری ارائه شده است که همراه با تعریف دقیق متر و کیلوگرم در کتاب‌های پیشرفته‌تر فیزیک با آن آشنا خواهید شد.

پیشوندهای SI: هرگاه در اندازه‌گیری‌ها با اندازه‌های بسیار بزرگ یا بسیار کوچک مواجه شویم، از پیشوندهایی استفاده می‌کنیم که در جدول ۲-۱ فهرست شده‌اند. همان‌طور که از ضرایب تبدیل جدول پیداست هر پیشوند توان معینی از 10^0 را نشان می‌دهد که به صورت یک عامل ضرب به کار می‌رود. یعنی وقتی یک پیشوند SI افزوده می‌شود آن یکا در ضریب مربوطه ضرب می‌شود، مثلاً ۱ میکرومتر ($1\mu\text{m}$) که به آن ۱ میکرون نیز می‌گویند برابر 10^{-6}m است یا ۲ مگاوات (2MW) برابر $2 \times 10^6\text{W}$ است.

جدول ۲-۱

پیشوند	ضریب تبدیل	نماد	پیشوند	ضریب تبدیل	نماد
دسی	$\frac{1}{10} = 10^{-1}$	d	دکا	10	da
سانتی	$\frac{1}{100} = 10^{-2}$	c	هکتو	100	h
میلی	$\frac{1}{1000} = 10^{-3}$	m	کیلو	1000	k
میکرو	$\frac{1}{10^6} = 10^{-6}$	μ	مگا	10^6	M
نانو	$\frac{1}{10^9} = 10^{-9}$	n	گیگا	10^9	G
پیکو	$\frac{1}{10^{12}} = 10^{-12}$	p	ترا	10^{12}	T

تمرین ۱-۱

با استفاده از جدول ۲-۱ حساب کنید:

الف) 5000cm چند است؟

ب) $3/5 \times 10^{-8}\text{s}$ چند ns است؟

پ) 47mg چند μg است؟

مقیاس نانو: یکی از مقیاس‌هایی که امروزه کاربردهای گسترده‌ای در فیزیک یافته است، مقیاس نانو است که در واقع «یک میلیاردیم» آن چیزی است که داریم. اغلب مقیاس نانو برای طول به کار می‌رود و اصطلاحاً با نانومتر (nm) سرو کار داریم. دانش و ابزاری که ما را قادر به بررسی، مشاهده و

به کارگیری «چیزها» در مقیاس نانو می‌کند، علوم و فناوری نانو نامیده می‌شود. بحث در مورد دانش نانو و اینکه بشر چگونه توانسته است به چنین دستاورد عجیبی دست یابد، بدون درک مفهوم اندازه نانو و اینکه دانشمندان واقعاً با چه «چیزهای» ریزی سر و کار دارند، ملموس نخواهد بود. برای درک بهتر از این مقیاس و برای آنکه دید بهتری از دانش نانو و اختراعات و چیزهای ریز داشته باشید، مطابق شکل ۱-۳ از چیزهای قابل تصور شروع می‌کنیم و به تدریج به اندازه‌های خیلی کوچک در مقیاس نانو می‌رسیم.

فعالیت ۱-۴

الف) با استفاده از شکل ۱-۳ و برای آنکه به تصویری از اندازه مقیاس نانو دست یابید، قطر موی انسان و قطر یک گلبول قرمز را بر حسب مقیاس نانو به دست آورید.
ب) در مورد ابزارهایی که دانشمندان و مهندسان علوم نانو با آن کار می‌کنند تحقیق، و به کلاس گزارش کنید.

نمادگذاری علمی: در پاره‌ای از اندازه‌گیری‌ها با مقدارهای خیلی بزرگ یا خیلی کوچک سروکار داریم. مثلاً سرعت نور در خلأ به طور دقیق $299,792,458 \text{ m/s}$ است که در محاسبه آن را به صورت $300,000,000 \text{ m/s}$ تقریب می‌زنند یا برای نوشتن جرم یک الکترون بر حسب کیلوگرم باید بعد از ممیز 30 صفر قرار دهیم و پس از آن رقم 9109 را بنویسیم. بدیهی است که نوشتن چنین عددهایی به صورت اعشاری یا با صفرهای زیاد، علاوه بر آنکه خواندن و نوشتن را مشکل می‌کند، احتمال اشتباه را هم زیاد می‌کند. از این رو با استفاده از روشی که آن را نمادگذاری علمی می‌نامند، نوشتن و محاسبه مقدارهای خیلی بزرگ یا خیلی کوچک را ساده می‌کنند.

در نمادگذاری علمی هر مقدار را به صورت حاصل ضرب عددی بزرگ‌تر از 1 یا مساوی با 1 و کوچک‌تر از 10 و ضربی با توان صحیحی از 10 می‌نویسند. به عنوان مثال سرعت نور به صورت $3/00 \times 10^8 \text{ m/s}$ و جرم الکترون به صورت $9/109 \times 10^{-31} \text{ kg}$ نوشته می‌شود.



مورچه، ۵ میلی‌متر



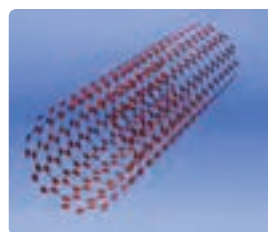
قطر موی انسان، ۶۰ تا ۱۲۰ میکرومتر



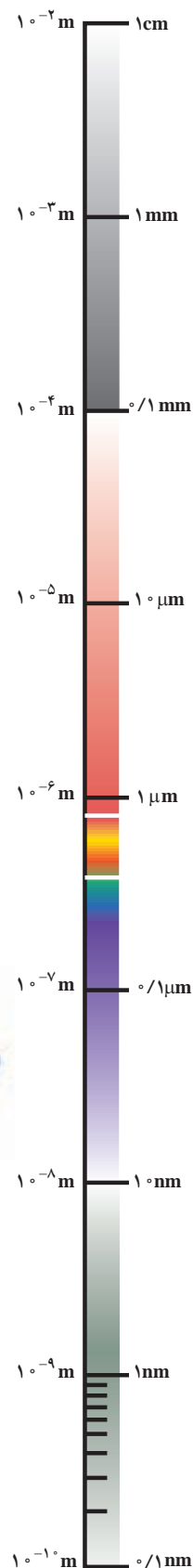
قطر گلبول قرمز، ۷ میکرومتر



آنزیم، ۱۰ نانومتر



نانولوله کربن، قطر ۱ نانومتر



شکل ۱-۳

داده‌های زیر را با استفاده از نمادگذاری علمی و برحسب یکاهای خواسته شده بنویسید.

الف) فاصله ماه تا زمین: $r = 382 \times 10^3 \text{ km} = \dots\dots\dots \text{m}$

ب) شعاع اتم هیدروژن در مدل اتمی بور: $a_0 = 0.0529 \text{ nm} = \dots\dots\dots \text{m}$

پ) جرم خورشید: $m = 199 \times 10^{25} \text{ ton} = \dots\dots\dots \text{kg}$

ت) جرم پروتون: $m = 16/7 \times 10^{-25} \text{ g} = \dots\dots\dots \text{kg}$

ث) مدت زمان گردش سیاره عطارد به دور خورشید: $T = 0/241 \text{ سال} = \dots\dots\dots \text{سال}$

ج) مدت زمان گردش الکترون به دور هسته

اتم هیدروژن در مدل اتمی بور: $T = 0/00015 \text{ ps} = \dots\dots\dots \text{s}$

چ) بار الکتریکی الکترون: $q_e = 160 \times 10^{-15} \mu\text{C} = \dots\dots\dots \text{C}$

پاسخ: با رعایت شیوه نمادگذاری علمی به ترتیب داریم:

الف) $r = 382 \times 10^3 \text{ km} = 3/82 \times 10^8 \text{ m}$

ب) $a_0 = 0.0529 \text{ nm} = 5/29 \times 10^{-11} \text{ m}$

پ) $m = 199 \times 10^{25} \text{ ton} = 1/99 \times 10^{30} \text{ kg}$

ت) $m = 16/7 \times 10^{-25} \text{ g} = 1/67 \times 10^{-27} \text{ kg}$

ث) $T = 0/241 \text{ سال} = 2/41 \times 10^{-1} \text{ سال}$

ج) $T = 0/00015 \text{ ps} = 1/5 \times 10^{-14} \text{ s}$

چ) $q_e = 160 \times 10^{-15} \mu\text{C} = 1/60 \times 10^{-11} \text{ C}$

تمرین ۱-۲

داده‌های زیر را با استفاده از نمادگذاری علمی و برحسب یکاهای خواسته شده بنویسید.

الف) شعاع کره زمین $R_e = 637 \times 10^4 \text{ m} = \dots\dots\dots \text{km}$

ب) فاصله زمین تا نزدیک‌ترین ستاره (پروکسیمای فنطورس) $r = 404 \times 10^{11} \text{ km} = \dots\dots\dots \text{m}$

پ) جرم کره زمین $M_e = 598 \times 10^{19} \text{ ton} = \dots\dots\dots \text{kg}$

ت) جرم دوترون (یکی از ایزوتوپ‌های هیدروژن) $m = 3344 \times 10^{-27} \text{ g} = \dots\dots\dots \text{kg}$

ث) مدت زمان رسیدن نور خورشید به زمین $t = 499 \text{ s} = \dots\dots\dots \text{s}$

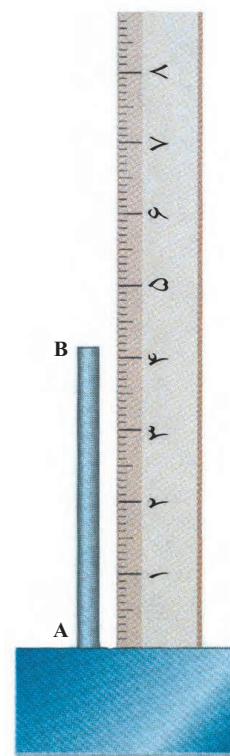
وسيله و روش اندازه گيری: اندازه گيری ها در فزيك توسط وسيله هاي انجام می شود که معمولاً با توجه به کمیت مورد اندازه گيری انتخاب و يا طراحی می شوند و هر يك روش استفاده خاص خود را دارند. برای مثال، وسيله ای که برای اندازه گيری ضخامت یک برگ کاغذ مناسب است مسلماً برای اندازه گيری طول حياط مدرسه مناسب نیست.

برای کم کردن خطا در اندازه گيری هر کمیت، معمولاً اندازه گيری آن چند بار تکرار می شود. اگر عددهای به دست آمده متفاوت باشند، میانگین آن عددها به عنوان نتیجه اندازه گيری پذیرفته می شود. البته در میان عددهای متفاوت اگر یک یا دو عدد اختلاف زیادی با بقیه داشته باشند در میانگین گيری به حساب نمی آیند.

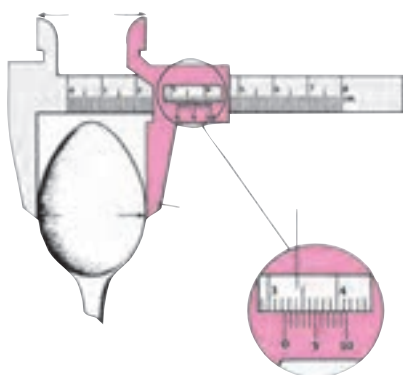
وسيله اندازه گيری طول: در اندازه گيری طول های نه چندان بزرگ و نه چندان کوچک از یک خط کش یا متر نواری استفاده می کنیم که برحسب میلی متر یا سانتی متر مدرج شده باشد. فرض کنید که می خواهید طول میله ای معین مثلاً میله AB در شکل (۱-۴) را با یک خط کش میلی متری اندازه بگیرید. در خط کش میلی متری فاصله بین هر دو نشانه متوالی برابر یک میلی متر است. در شکل، نقطه B بین دو نشانه قرار گرفته است و نشان می دهد که طول میله از ۴۱ میلی متر بیشتر و از ۴۲ میلی متر کمتر است. ولی اینکه چقدر بیشتر از ۴۱ میلی متر یا چقدر کمتر از ۴۲ میلی متر است، معلوم نیست.

طول این میله برحسب میلی متر با یک عدد صحیح مثلاً ۴۱ یا ۴۲ میلی متر بیان می شود. با این خط کش نمی توان طول میله را با عددهایی مانند ۴۱/۸ یا ۴۲/۱ یا ... میلی متر بیان کرد. در بعضی از کارگاه های صنعتی مانند تراشکاری ها، اندازه گيری طول با ابزارهای دقیق تر از خط کش میلی متری انجام می شود. این ابزارها کولیس و ریزسنج هستند. کولیس هایی که امروزه در آزمایشگاه های مدرسه استفاده می شوند، می توانند تا $\frac{2}{100}$ میلی متر را اندازه بگیرند. یعنی می توانند ضخامتی به کوچکی $\frac{2}{100}$ mm را نشان دهند.

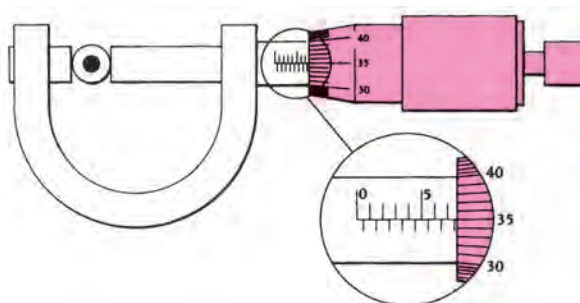
در شکل های (۱-۵ الف و ب) اندازه گيری با کولیس و ریزسنج نشان داده شده است.



شکل ۱-۴- اندازه گيری طول یک میله با خط کش میلی متری



(ب) کولیس قدیمی با دقت ۰/۱ mm



(الف) ریزسنجی با دقت ۰/۰۱ mm

شکل ۱-۵

به همراه گروه خود :

- ۱- دربارهٔ روش و ابزار اندازه‌گیری طول‌های بسیار بزرگ و بسیار کوچک مانند فاصلهٔ زمین تا ماه، مسافت بین دو شهر، ضخامت موی سر، قطر یک سیم نازک و ... تحقیق کنید و نتیجه را به کلاس گزارش دهید.
- ۲- از آزمایشگاه دبیرستان، کولیس و ریزسنج بگیرید و چگونگی کار با این دو وسیله را بنویسید.
- ۳- اگر کولیس یا ریزسنج در اختیار نداشته باشید، ضخامت یک برگ کاغذ را چگونه اندازه می‌گیرید؟

گزارش کار یک آزمایش چیست؟ گزارش کار همان‌گونه که از نامش برمی‌آید، شرح جزئیات

و مرحله‌های انجام یک آزمایش است و معمولاً حاوی نکته‌های زیر است :

- هدف از انجام آزمایش.
- نام آزمایشگر یا آزمایشگران (یا نام گروه).
- زمان و محل انجام آزمایش.
- نام وسیله‌های مورد نیاز در آزمایش.
- شرح روش یا روش‌های آزمایش.
- درج عددهای حاصل از اندازه‌گیری‌ها در جدول.
- در صورت لزوم، رسم نمودارهایی که چگونگی تغییرات کمیت‌های مورد اندازه‌گیری را نشان دهد.
- عوامل ایجاد خطا در اندازه‌گیری‌ها.
- نتیجه‌گیری.
- هر مطلب یا اطلاع دیگری که لازم باشد^۱.

مساحت روی جلد کتاب فیزیک ۲ را اندازه بگیرید و آن را برحسب m^2 ، cm^2 ، mm^2 بنویسید. گزارش کار آزمایش مربوط را بنویسید.

وسيلة اندازه‌گیری جرم : جرم را معمولاً با ترازو اندازه می‌گیریم. شما در آشپزخانه، نانوايي،

میوه‌فروشی و ... انواع مختلفی از ترازوها را دیده‌اید که برای اندازه‌گیری جرم‌های معمولی استفاده می‌شود. در شکل ۱-۶ تصویر برخی از ترازوها آمده است.

۱- در پیوست انتهای کتاب، یک گزارش کار آزمایش به صورت نمونه آورده شده است که برای آشنایی می‌توانید به آن مراجعه کنید.

در استفاده از ترازوها توجه به نکات زیر ضروری است :

الف) ترازو باید روی سطح کاملاً افقی قرار داشته باشد.

ب) صفر ترازو را تنظیم می کنیم؛ یعنی وقتی چیزی روی ترازو نباشد، ترازو عدد صفر را نشان دهد یا هردو کفه در یک تراز باشد.

پ) جسم موردنظر را به آرامی روی ترازو قرار می دهیم.

ت) پس از قرار دادن جسم در ترازو، صبر می کنیم، سپس عدد موردنظر را می خوانیم یا مجموع وزنه های استفاده شده را حساب می کنیم.



شکل ۱-۶

مثال ۱-۲



در تصویر مقابل، ترازو جرم بخشی از یک میوه را 87.9 g نشان می دهد. با این ترازو، جرم سیبی را اندازه می گیریم. کدام یک از عددهای زیر می تواند نتیجه این اندازه گیری باشد؟

- الف) $211/25\text{g}$ ب) $211/2\text{g}$
 پ) $211/27\text{g}$ ت) $211/30\text{g}$

پاسخ: دقت این ترازو 0.1 g است. پس هر اندازه گیری با آن فقط با این دقت انجام می شود. بنابراین فقط اندازه گیری $211/2\text{ g}$ با این ترازو معتبر است.

فعالیت ۱-۷

الف) درباره روش و ابزار اندازه گیری جرم های بزرگ مانند کامیون پر از بار و جرم های کوچک مانند دانه خاکشیر تحقیق و نتیجه را به کلاس گزارش کنید.

ب) جرم یک سیب، یک دانه عدس و آب درون لیوان را با ترازو (چندبار) اندازه بگیرید و گزارش کار آزمایش را بنویسید.

وسيلة اندازه‌گیری زمان: وسیله متداول برای اندازه‌گیری زمان ساعت است که به صورت‌های مختلف در همه جا موجود است.

فعالیت ۸-۱

با بحث و تبادل نظر گروهی توضیح دهید که الف) چگونه می‌توان زمان نوسان (زمان یک رفت و برگشت کامل) یک آونگ را اندازه‌گیری کرد. ب) اگر سنگی را به هوا پرتاب کنید مدت زمانی که سنگ در هواست را چگونه اندازه می‌گیرید؟ وسیله و روش اندازه‌گیری را شرح دهید. پ) آزمایشی طراحی کنید که به کمک آن بتوانید جرم و حجم یک قطره آب را اندازه بگیرید.

تمرین ۳-۱

با پیمانه‌ای به گنجایش ۵ سانتی متر مکعب حجم مقداری مایع را اندازه گرفته‌ایم. کدام یک از داده‌های زیر می‌تواند نتیجه اندازه‌گیری با این پیمانه باشد؟

- | | |
|------------------------|------------------------|
| الف) 20 cm^3 | ب) 21 cm^3 |
| پ) 19 cm^3 | ت) $20/5 \text{ cm}^3$ |

۲-۱ کمیت‌های فیزیکی

دیدیم که فیزیک دانش بررسی کمیت‌های قابل اندازه‌گیری است. بنابراین می‌توان گفت که هر کمیتی که در فیزیک مطرح می‌شود، باید قابل اندازه‌گیری باشد. با توجه به آنچه که در مورد اندازه‌گیری خواندیم، می‌توانیم بگوییم که **تعریف یک کمیت فیزیکی هنگامی کامل می‌شود که برای آن یک یکای مناسب و یک روش اندازه‌گیری تعریف کرده باشیم.**

کمیت‌های فیزیکی به دو دسته متمایز نرده‌ای و برداری تقسیم می‌شوند.

کمیت‌های نرده‌ای: چهار پیمانه 20° سانتی متر مکعبی آب درون سطلی می‌ریزیم. حجم آب

درون سطل چقدر است؟ اگر دو پیمانه دیگر آب به سطل بیفزاییم، حجم آب چقدر خواهد شد؟

پاسخ هر بند این پرسش تنها با یک عدد به طور کامل بیان می‌شود. کمیت‌هایی مانند حجم با

این ویژگی که برای مشخص شدن آنها برحسب یک یکای معین، تنها یک عدد کفایت می‌کند **نرده‌ای** نام دارند.

محاسبه‌های ریاضی این‌گونه کمیت‌ها مانند جمع یا تفریق، از قاعده‌های متداول در حساب پیروی

می‌کنند. در پاسخ به بخش دوم پرسش بالا شما به سادگی حجم افزوده شده را با حجم قبلی جمع کردید.

برخی از کمیت‌های زرده‌ای که تاکنون با آنها آشنا شده‌اید عبارتند از: انرژی، دما، توان، اختلاف پتانسیل الکتریکی، جرم و زمان. در مقابل، کمیت‌های دیگری نیز در فیزیک داریم که تنها با ذکر مقدار آنها برحسب یک یکای معین، به طور کامل مشخص نمی‌شوند.

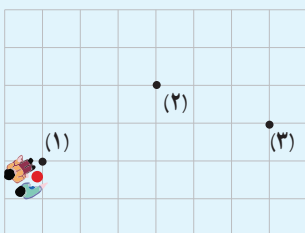
تصور کنید در حالی که چشمان خود را بسته‌اید، از دوستان که در جایی ایستاده‌اند بخواهید یک قدم بردارید. آیا می‌توانید همچنان با چشمان بسته بگویید که او پس از این حرکت در کجا ایستاده است؟ مطمئناً پاسخ شما منفی است. او ممکن است با این یک قدم، به شما نزدیک‌تر یا از شما دورتر شده باشد. یا حتی فاصله‌اش با شما هیچ تغییری نکرده باشد (چگونه؟) به عبارت دیگر جابه‌جایی او می‌تواند در هر راستا و سویی باشد. تنها در صورتی می‌توانید از مکان آخری او با اطلاع شوید که علاوه بر فاصله‌ای که او باید جابه‌جا شود، جهت (راستا و سوی) جابه‌جا شدن او را هم مشخص کنید. مثلاً بگویید یک قدم به سوی من یا به طرف جنوب یا جنوب شرق و یا ... بردارید.

جابه‌جایی: در فیزیک، کمیتی به نام جابه‌جایی تعریف می‌کنیم و همان طور که از نام آن برمی‌آید، معرف تغییر مکان یک جسم است. **جابه‌جایی یک جسم، پاره خط جهت‌داری است که ابتدای آن مکان آغازی و انتهای آن مکان پایانی جسم است.** همان طور که دیدیم تنها با دانستن مقدار جابه‌جایی نمی‌توانیم آن را به طور کامل مشخص کنیم، بلکه باید جهت (یعنی راستا و سوی) آن را نیز بدانیم.

جابه‌جایی‌های مساوی: یک دسته سرباز را در حال رژه رفتن مجسم کنید. جابه‌جایی آنها را در یک مدت مشخص (بازه زمانی معین) رسم کنید. مجموعه‌ای از پاره‌خط‌های موازی و مساوی و هم‌سو به دست می‌آورید. در این حالت می‌گوییم که این سربازها جابه‌جایی مساوی داشته‌اند. به عبارت دیگر دو جابه‌جایی را وقتی مساوی می‌گویند که به یک اندازه و در یک جهت (یک راستا و یک سو) باشند.

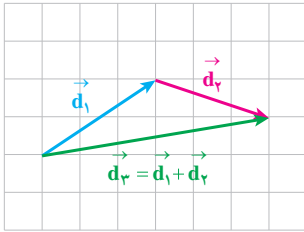
جابه‌جایی‌ها چگونه با هم جمع می‌شوند؟

فعالیت ۱-۹



روی یک صفحه کاغذ شطرنجی، با انتخاب مقیاس مناسب شکل حیاط مدرسه یا خانه خود را بکشید. نزدیک محل در ورودی حیاط را با شماره ۱ و وسط حیاط را با شماره ۲ و کنار دیوار عمود بر در ورودی را با شماره ۳ مشخص کنید. با این کار شما شکلی مشابه شکل روبه‌رو به دست آورده‌اید. سپس از دوست خود بخواهید که از محل شماره ۱ به محل شماره ۲ برود. بردار جابه‌جایی او را در شکل رسم کنید. (این

جابه‌جایی پاره خط جهت‌داری است که ابتدایش نقطه ۱ و انتهایش نقطه ۲ است). نام این جابه‌جایی را \vec{d}_1 بگذارید. سپس از او بخواهید که از محل شماره ۲ به محل شماره ۳ برود. این جابه‌جایی را نیز در شکل رسم کنید و آن را \vec{d}_2 بنامید. جابه‌جایی کل دوست شما \vec{d}_3 (از نقطه ۱ به نقطه ۳) چگونه است؟ آیا طول \vec{d}_3 با مجموع طول‌های \vec{d}_1 و \vec{d}_2 برابر است؟ اگر نیست پس دو جابه‌جایی \vec{d}_1 و \vec{d}_2 را چگونه با هم جمع کنیم تا \vec{d}_3 به دست آید؟



شکل ۷-۱

با اندکی دقت در شکلی که از فعالیت ۹-۱ به دست آورده اید، درمی یابیم که برای یافتن حاصل جمع دو جابه جایی \vec{d}_1 و \vec{d}_2 ، مانند شکل ۷-۱ ابتدا جابه جایی \vec{d}_1 و سپس از انتهای آن جابه جایی \vec{d}_2 را رسم می کنیم. پاره خط جهت داری که ابتدای آن ابتدای \vec{d}_1 و انتهای آن انتهای \vec{d}_2 است، جابه جایی کل یا حاصل جمع دو جابه جایی (\vec{d}_3) را نشان می دهد.

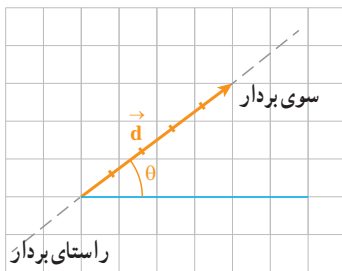
جابه جایی، نمونه ای از یک کمیت برداری است. سایر کمیت های برداری نیز مانند جابه جایی ها با هم جمع می شوند. از این رو قاعده جمع جابه جایی ها را قاعده جمع برداری نیز می نامند.

کمیت برداری کمیتی است که بزرگی (اندازه) و جهت (راستا و سو) دارد، و از قاعده جمع برداری پیروی می کند.

حاصل جمع چند بردار را برابری آن بردارها (یا بردار برابری) می نامند.

فعالیت ۱۰-۱

با توجه به تساوی دو جابه جایی توضیح دهید که دو بردار چه وقت با هم مساویند؟

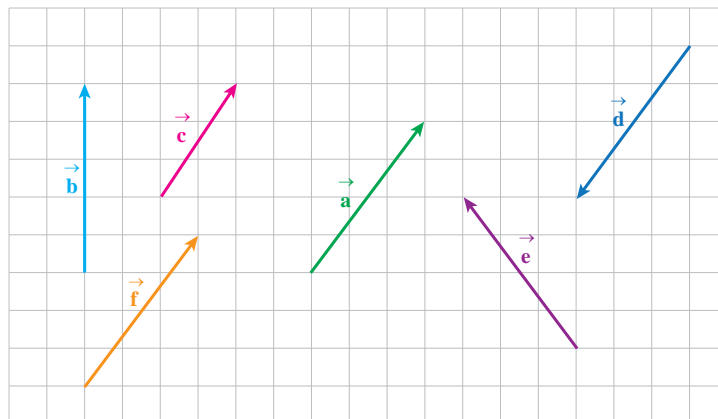


کمیت های برداری را با پاره خط های جهت دار (پیکان) نمایش می دهند. پیکان را هم جهت با بردار و طول آن را متناسب با بزرگی بردار در نظر می گیرند. در این کتاب کمیت های برداری را با پیکان کوچکی (\rightarrow) مشخص می کنیم که بر روی نماد کمیت قرار می دهیم مانند \vec{d} . بزرگی بردار \vec{d} را با $|\vec{d}|$ و یا با نماد بدون پیکان آن (مانند d) مشخص می کنند (شکل ۸-۱). در این کتاب با کمیت های برداری دیگری از قبیل سرعت، شتاب، نیرو و... آشنا خواهید شد که هریک را در جای خود معرفی خواهیم کرد.

شکل ۸-۱- بردار \vec{d} با اندازه و جهت آن مشخص می شود. بزرگی این بردار $d = |\vec{d}| = 5$ است.

مثال ۳-۱

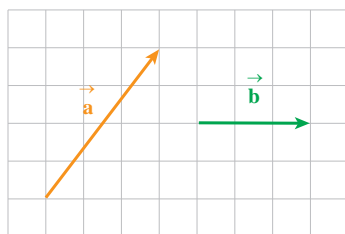
در شکل زیر بردارهای مساوی با بردار \vec{a} را مشخص کنید.



پاسخ: فقط بردار \vec{f} است که اندازه و جهت آن با بردار \vec{a} یکی است.

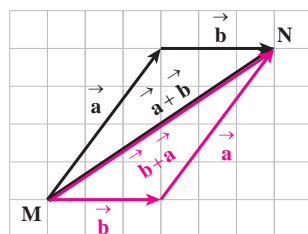
توجه داریم که جمع برداری دارای **خاصیت جابه‌جایی** است. یعنی حاصل جمع دو یا چند بردار به ترتیب بردارها بستگی ندارد.

مثال ۱۴



دانش‌آموزی دو جابه‌جایی بی‌دری انجام می‌دهد. هر یک از جابه‌جایی‌های او در شکل روبه‌رو به‌طور جداگانه نشان داده شده‌اند. جابه‌جایی برآیند دانش‌آموز را در هر یک از حالت‌های زیر رسم کنید.

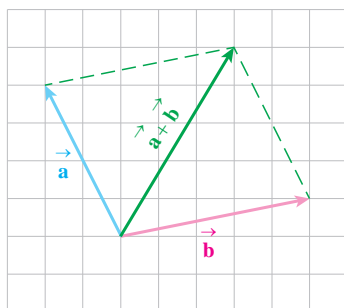
- الف) جابه‌جایی اول برابر \vec{a} و جابه‌جایی دوم برابر \vec{b} باشد.
- ب) جابه‌جایی اول برابر \vec{b} و جابه‌جایی دوم برابر \vec{a} باشد.



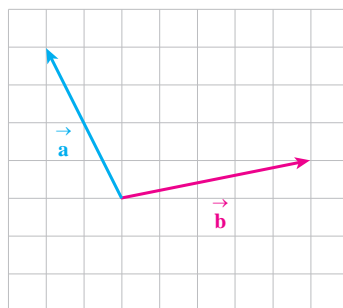
پاسخ: اگر دانش‌آموز در ابتدا روی نقطه M باشد، جابه‌جایی‌های بند الف را با رنگ سیاه و جابه‌جایی‌های بند ب را با رنگ قرمز، مطابق با قاعده جمع برداری جمع می‌کنیم. با توجه به ویژگی‌های هندسی متوازی‌الاضلاع درمی‌یابیم که در هر دو حالت، دانش‌آموز به یک نقطه (نقطه N) رسیده است.

با دقت در شکل بالا درمی‌یابیم که برای رسم بردار برآیند، می‌توانیم از روش دیگری نیز استفاده کنیم: ابتدا بردارهای \vec{a} و \vec{b} را از یک مبدأ رسم می‌کنیم (شکل ۱-۹-ب).

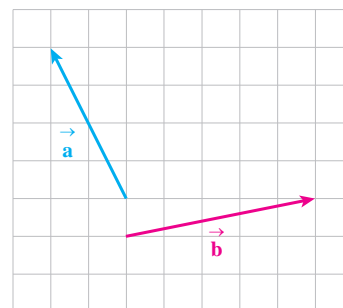
سپس متوازی‌الاضلاعی را رسم می‌کنیم که این دو بردار دو ضلع مجاور آن باشند. بردار قطری از متوازی‌الاضلاع است که نقطه شروع دو بردار را به رأس روبه‌رو وصل می‌کند. شکل (۱-۹-پ). این روش جمع دو بردار را **روش متوازی‌الاضلاع** برای جمع بردارها می‌نامیم.



(ب)

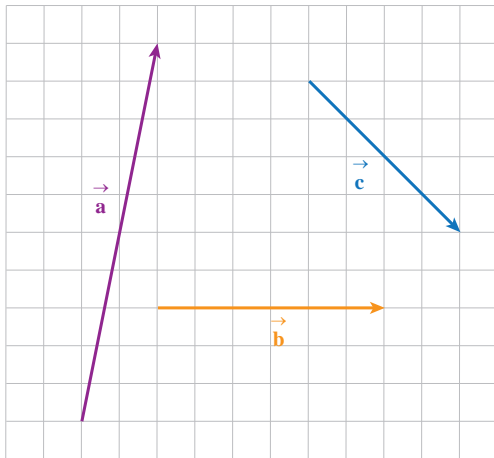


(ب)

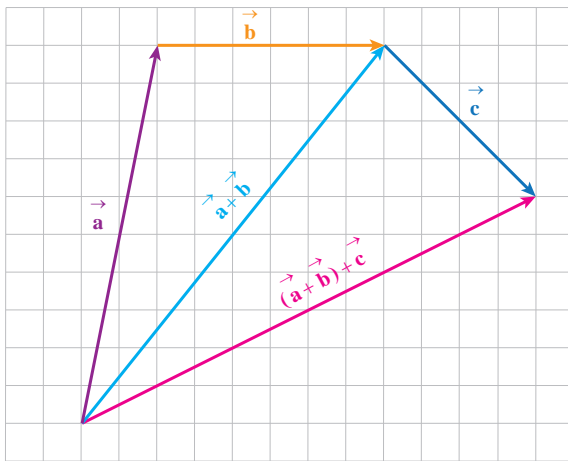


(الف)

شکل ۱-۹



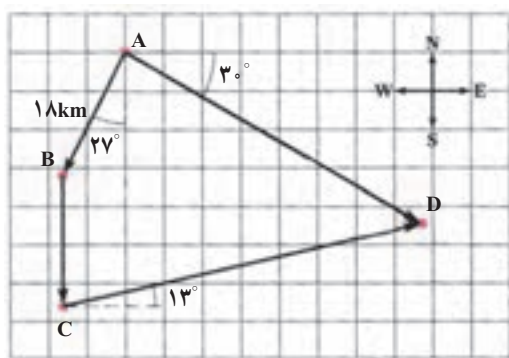
بردارهای \vec{a} و \vec{b} و \vec{c} را در شکل روبه‌رو در نظر بگیرید. بردار برابری آنها را بدست آورید.



پاسخ: مطابق شکل روبه‌رو ابتدا بردار \vec{a} و سپس از انتهای آن برداری مساوی \vec{b} رسم می‌کنیم. مطابق قاعده جمع برداری، $\vec{a} + \vec{b}$ برداری است که ابتدای آن ابتدای بردار \vec{a} و انتهای آن انتهای بردار \vec{b} است. سپس این بردار $(\vec{a} + \vec{b})$ را با بردار \vec{c} جمع می‌کنیم. یعنی از انتهای بردار $(\vec{a} + \vec{b})$ برداری مساوی \vec{c} رسم می‌کنیم. بردار $(\vec{a} + \vec{b}) + \vec{c}$ برداری است که ابتدای آن ابتدای بردار $(\vec{a} + \vec{b})$ و انتهای آن انتهای بردار \vec{c} است.

با حل این مثال درمی‌یابیم که برای جمع کردن چند بردار می‌توانیم به این ترتیب عمل کنیم که از انتهای بردار اول، برداری مساوی بردار دوم و از انتهای بردار دوم برداری مساوی بردار سوم و همین‌طور تا آخر رسم کنیم. بردار برابری است که ابتدای آن، ابتدای بردار اول و انتهای آن، انتهای بردار آخر است.

مثال ۱-۷



خودرویی از شهر A شروع به حرکت می‌کند و از شهرهای B و C می‌گذرد و به شهر D می‌رسد. این جابه‌جایی‌ها در شکل روبه‌رو نشان داده شده است. با استفاده از خط‌کش و نقاله و توجه به مقیاس، الف) اندازه جابه‌جایی‌های \vec{BC} و \vec{CD} را تعیین کنید. ب) بردار جابه‌جایی خودرو در کل مسیر را بیابید.

پاسخ:

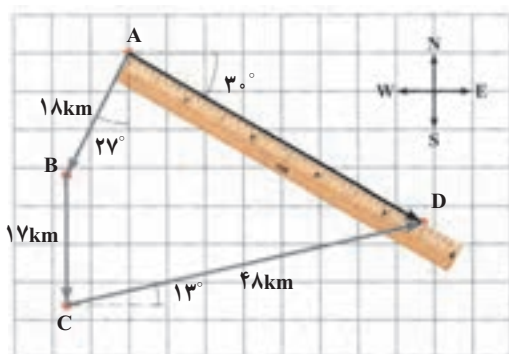
الف) با استفاده از خط‌کش و با توجه به مقیاس، اندازه جابه‌جایی‌ها را به دست می‌آوریم.

$$|\vec{BC}| = BC = 17 \text{ km} \quad |\vec{CD}| = CD = 48 \text{ km}$$

ب) بردار جابه‌جایی کل، برداری است که شهر A را به شهر D وصل می‌کند. با استفاده از خط‌کش و با توجه به مقیاس، اندازه جابه‌جایی کل به دست می‌آید.

$$|\vec{AD}| = AD = 45 \text{ km}$$

به کمک نقاله زاویه این بردار با راستای شرق - غرب، 3° به دست می‌آید. می‌توان این نتیجه را به صورت « 3° جنوب شرق، یا 6° شرق جنوب» بیان کرد.



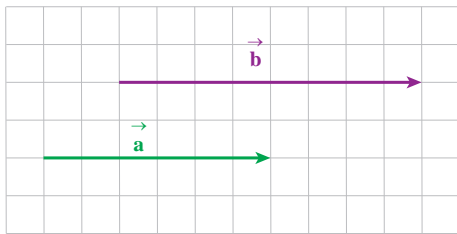
تمرین ۱-۱۴

شخصی برای رسیدن به مقصد خود ابتدا در راستای شرق - غرب، 4 km به سمت شرق و سپس در راستای شمال - جنوب، 2 km به سمت جنوب می‌رود و سرانجام به اندازه 3 km در جهت 35° غرب جنوب جابه‌جا می‌شود. با استفاده از خط‌کش، نقاله و انتخاب مقیاس مناسب جابه‌جایی کل را پیدا کنید.

محاسبه بزرگی بردار برابند: در بعضی حالت‌های خاص می‌توان بدون رسم شکل و از راه

محاسبه نیز بزرگی بردار برابند را به دست آورد.^۱

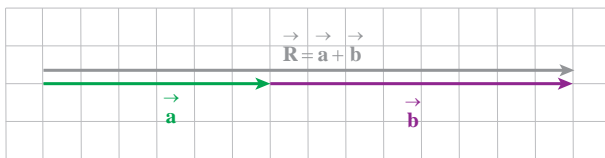
۱- در این کتاب تنها محاسبه بزرگی برابند بردارهایی مد نظر است که یا در یک راستا قرار دارند و یا بر یکدیگر عمودند. برای تعیین برابند دو بردار که با یکدیگر زاویه θ می‌سازند، فقط باید از خط‌کش و نقاله استفاده شود، لذا بیان هر رابطه به این منظور و ارزش‌یابی از آن به طور کامل خارج از برنامه درسی این کتاب است.



(الف)

برایند بردارهای هم جهت \vec{a} و \vec{b} در شکل الف را به دست آورید. بزرگی دو بردار $a=3\text{cm}$ و $b=4\text{cm}$ است.

پاسخ: مطابق شکل ب ابتدا بردار \vec{a} و سپس از انتهای آن بردار \vec{b} را رسم می‌کنیم. چون دو بردار هم جهت‌اند، در امتداد هم روی یک خط قرار می‌گیرند. بردار برایند نیز همان گونه که در شکل پیداست روی همین خط قرار می‌گیرد. این بردار هم جهت با دو بردار \vec{a} و \vec{b} است و بزرگی آن برابر مجموع بزرگی‌های دو بردار می‌شود.



(ب)

$$\vec{R} = \vec{a} + \vec{b}$$

چون دو بردار هم جهت هستند، داریم:

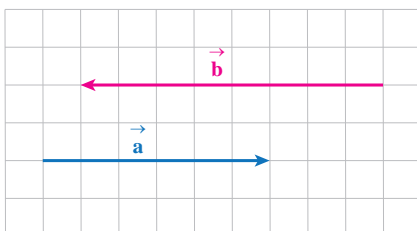
$$R = a + b = 3 + 4 = 7$$

با حل این مثال: درمی‌یابیم که بزرگی برایند دو بردار هم جهت \vec{a} و \vec{b} از رابطه زیر به دست

می‌آید:

$$R = a + b$$

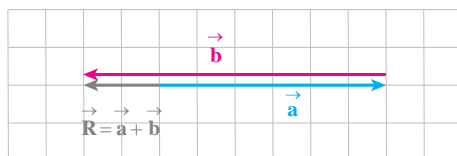
(۱-۱)



(الف)

در شکل الف برایند بردارهای \vec{a} و \vec{b} که در خلاف جهت یکدیگرند و بزرگی آنها $a=3\text{m}$ و $b=4\text{m}$ است را به دست آورید.

پاسخ: مطابق شکل ب از انتهای بردار \vec{a} برداری مساوی بردار \vec{b} رسم می‌کنیم. بردار برایند همان گونه که در شکل پیداست، هم جهت با بردار بزرگ‌تر (یعنی بردار \vec{b}) است. بنابراین، بزرگی بردار برایند برابر تفاضل بزرگی‌های دو بردار می‌شود.



(ب)

$$\vec{R} = \vec{a} + \vec{b}$$

چون دو بردار در خلاف جهت هستند، داریم:

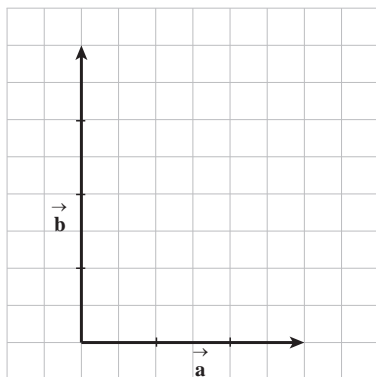
$$R = |a - b| = |3 - 4| = 1$$

با حل این مثال، درمی یابیم که بزرگی بردار هم راستا و در خلاف جهت هم \vec{a} و \vec{b} از رابطه زیر به دست می آید.

$$R = |a - b|$$

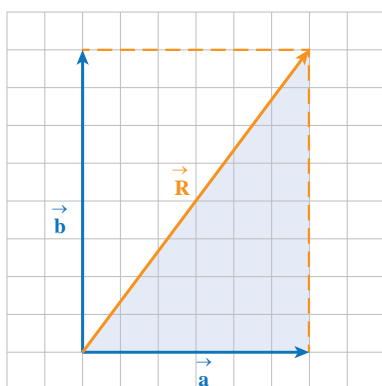
(۲-۱)

مثال ۱-۹



(الف)

در شکل الف اندازه بردارهای عمود بر هم \vec{a} و \vec{b} به ترتیب ۳ و ۴ واحد است. بزرگی بردار این دو بردار را با استفاده از رسم و همین طور با محاسبه به دست آورید.



(ب)

پاسخ: برای به دست آوردن بردار \vec{R} ، مطابق قاعده جمع برداری عمل می کنیم. اگر بزرگی \vec{R} را با خط کش اندازه بگیریم آن را ۵ واحد به دست می آوریم.

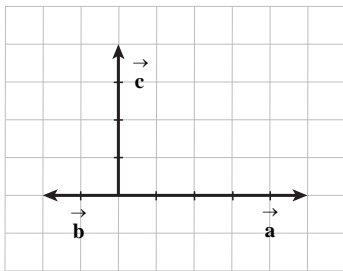
همان طور که در شکل ب دیده می شود \vec{R} ، وتر مثلث قائم الزاویه ای است که ضلع های آن \vec{a} و \vec{b} است. بنابراین، می توانیم با استفاده از قضیه فیثاغورس بنویسیم.

$$R^2 = a^2 + b^2 \Rightarrow R = \sqrt{9 + 16} = 5$$

با حل این مثال، درمی یابیم که بزرگی بردار عمود بر هم \vec{a} و \vec{b} از رابطه زیر به دست می آید:

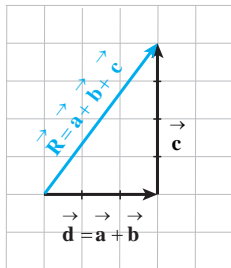
$$R = \sqrt{a^2 + b^2}$$

(۳-۱)



(الف)

برایند بردارهای \vec{a} و \vec{b} و \vec{c} در شکل الف را رسم و بزرگی برایند را محاسبه کنید. فرض کنید اندازه بردارها $a=5\text{cm}$ ، $b=2\text{cm}$ ، $c=4\text{cm}$ باشد.

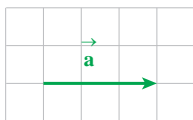


(ب)

پاسخ: با توجه به اینکه ترتیب بردارها را می‌توانیم به هر صورت که بخواهیم تغییر دهیم، بهتر است اول برایند آنهایی را به دست آوریم که هم راستا هستند. برایند دو بردار \vec{a} و \vec{b} را \vec{d} می‌نامیم و ابتدا این برایند را به دست می‌آوریم. برداری است هم جهت با \vec{a} و بزرگی آن برابر $5-2=3\text{cm}$ است. اکنون برایند دو بردار \vec{c} و \vec{d} را مطابق شکل ب به دست می‌آوریم.

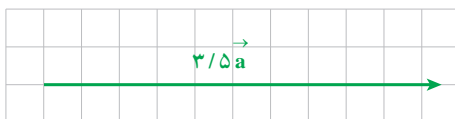
$$R = \sqrt{d^2 + c^2} = \sqrt{9 + 16} = \sqrt{25} = 5$$

حاصل ضرب یک عدد در یک بردار: وقتی برداری را در عدد مثبتی مانند m ضرب می‌کنیم جهت بردار حاصل با بردار اولیه یکی است و بزرگی آن m برابر بردار اول است. اگر برداری را در یک عددی منفی مانند m ضرب کنیم، بردار حاصل در خلاف جهت بردار اولیه خواهد شد و بزرگی بردار حاصل $|m|$ برابر بردار اول است.



(الف)

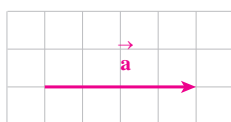
بردار \vec{a} در شکل روبه‌رو رسم شده است. بردار $\frac{3}{5}\vec{a}$ را رسم کنید.



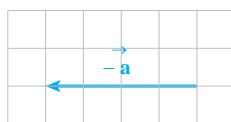
(ب)

پاسخ: بردار $\frac{3}{5}\vec{a}$ هم جهت (هم راستا و هم سو) با بردار \vec{a} و بزرگی آن $\frac{3}{5}$ برابر بزرگی بردار \vec{a} است.

مثال ۱۲-۱



(الف)



(ب)

بردار \vec{a} در شکل روبه‌رو رسم شده است. بردار $-\vec{a}$ را رسم کنید. این بردار را قرینه بردار \vec{a} نیز می‌گویند.

پاسخ: بردار $-\vec{a}$ همان گونه که از شکل پیداست، به بزرگی بردار \vec{a} و در خلاف جهت آن خواهد بود.

تفریق دو بردار: حاصل تفریق دو بردار \vec{a} و \vec{b} برداری مانند \vec{c} است.

$$\vec{a} - \vec{b} = \vec{c}$$

\vec{c} برداری است که اگر با \vec{b} جمع شود بردار \vec{a} به دست می‌آید، یعنی:

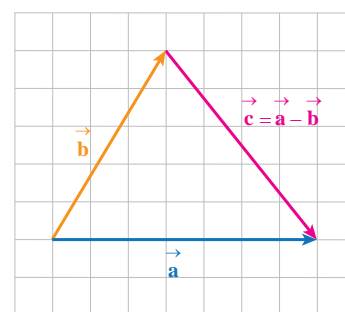
$$\vec{b} + \vec{c} = \vec{a}$$

در شکل ۱-۱، بردارهای \vec{a} ، \vec{b} و \vec{c} طوری رسم شده‌اند که $\vec{b} + \vec{c} = \vec{a}$ شود.

بنابراین برای به دست آوردن \vec{c} ، نخست دو بردار \vec{a} و \vec{b} را از یک نقطه رسم می‌کنیم. برداری

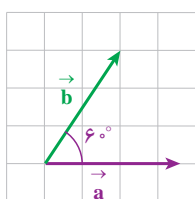
که ابتدای آن بر انتهای بردار \vec{b} (عامل دوم تفریق) و انتهای آن بر انتهای بردار \vec{a} (عامل اول

تفریق) منطبق باشد، بردار \vec{c} است.

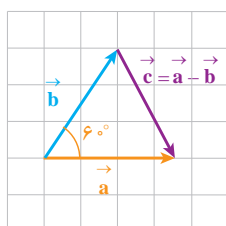


شکل ۱-۱ حاصل تفریق دو بردار

مثال ۱۳-۱



(الف)



(ب)

دو بردار \vec{a} و \vec{b} مطابق شکل الف با یکدیگر زاویه 60° می‌سازند و بزرگی آنها با هم

برابر است. بردار $\vec{c} = \vec{a} - \vec{b}$ را به دست آورید و بزرگی آن را تعیین کنید.

پاسخ: با توجه به شکل ب، بردار \vec{c} برداری است که از انتهای \vec{b} شروع و به انتهای

\vec{a} ختم می‌شود. بزرگی این بردار با توجه به آنکه مثلث حاصل در شکل ب متساوی‌الاضلاع

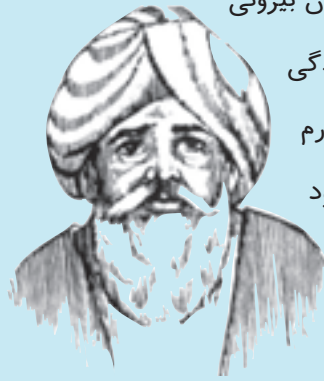
است (چرا؟) برابر با بزرگی هریک از دو بردار \vec{a} و \vec{b} است یعنی:

$$|\vec{c}| = |\vec{a} - \vec{b}|$$

$$= a$$

$$= b$$

ابوبکر محمد بن حسین کرجی



ابوبکر محمد بن حسین کرجی هم روزگار با ابوریحان بیرونی

و زکریای رازی بوده است و ۳۲ سال پیش از ابوریحان زندگی را بدرود گفت. از تاریخ تولد این دانشمند ایرانی قرن چهارم و پنجم هجری اطلاع دقیقی در دست نیست. تحصیلات خود را در شهرری که آن زمان مرکز دانشمندان اسلامی بود به اتمام رساند و سپس برای آشنایی با دانشمندان دیگر و تحصیلات بیشتر راهی بغداد شد و در کرخ بغداد سکنی

گزید. از همین رو در تاریخ او را با نام کرخی هم شناخته‌اند که این

مسئله یک اشتباه تاریخی است و برخی گمان کرده‌اند که چون محل تحصیلات او در کرخ بوده است، نام او کرخی است و تقریباً همه مورخان نسبت او را کرخی نامیده بودند تا اینکه در سال ۱۹۳۴ میلادی دانشمندی ایتالیایی در مقاله‌ای ثابت کرد که این دانشمند کرجی نام دارد و یک ایرانی است و نه عراقی؛ و از آن پس همه مؤلفان از او به نام کرجی یاد کرده‌اند. کرجی در بغداد، در زمان تصرف این شهر به دست آل بویه به تحصیل مشغول بود و با فرزند عضدالدوله دیلمی بهاءالدوله و وزیر او ارتباط برقرار ساخت و حتی کتاب «الفخری فی صناعی الجبر و المقابلی» را به نام فخرالملوک وزیر بهاءالدوله تألیف کرد. کرجی در حدود سال ۴۰۳ هجری قمری به زادگاه خود کرج بازگشت و کتاب انبساط‌میه الخفیی (به معنی استخراج آب‌های نهان زمین) را تألیف کرد.

از نوشته‌های کرجی در این کتاب چنین برمی‌آید که او درباره ویژگی‌های فیزیکی خاک و کاربرد مهندسی آن دانش فراوانی داشته است. برای نمونه، او از راه بهره‌وری از خاک رس برای آب‌بندی و ساختن سدهای خاکی و نیز روش‌های فشرده کردن خاک سخن رانده است. کرجی همچنین در ساختن روش‌ها و ابزارهای اندازه‌گیری نیز جایگاه والایی در تاریخ مهندسی دارد. او در کنار بررسی ابزارهای اندازه‌گیری درازا (طول)، بلندا (ارتفاع)، زاویه و دستورهای نقشه‌برداری و گزینش راه، قنات، اختراع‌های خود را که دربرگیرنده تراز و چند وسیله اندازه‌گیری دیگر است، تشریح می‌کند.

وجود نام این دانشمند بزرگ به مدت دو دهه در دایرةالمعارف علوم نیویورک نشان از

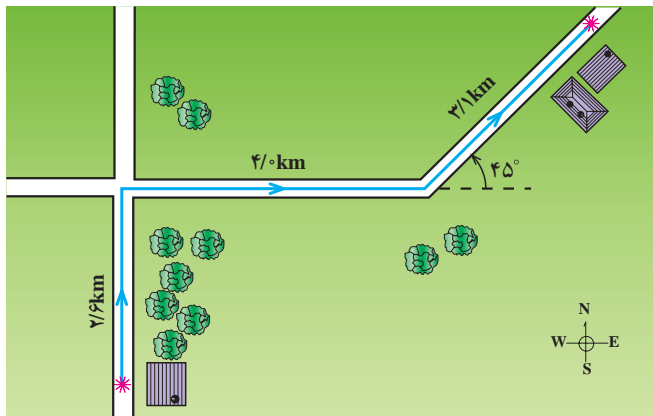
شهرت جهانی این مرد بزرگ دارد که متأسفانه در کشور ما ناشناخته مانده است.

پرسش های فصل اول

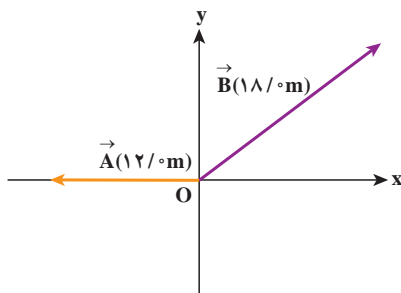
- ۱ گسترش دانش فیزیک تأثیر زیادی بر زندگی بشر داشته است، درباره یکی از این تأثیرها تحقیق کنید.
- ۲ جرم یک سنجاق ته گرد را چگونه می توان با یک ترازوی آشپزخانه اندازه گیری کرد؟
- ۳ روش هایی برای اندازه گیری ارتفاع یک برج پیشنهاد دهید.
- ۴ می دانیم جمع دو بردار جابه جابپذیر است. آیا تفریق بردارها نیز جابه جابپذیر است؟ به طوری که $\vec{a} - \vec{b}$ و $\vec{b} - \vec{a}$ مساوی باشد؟

مسائل فصل اول

- ۱ جرم ذره غباری $10^{-10} \times 6/7$ کیلوگرم است. جرم آن را برحسب گرم، میلی گرم، میکروگرم و نانوگرم بنویسید.
- ۲ در بعضی از جدول ها زمان گردش زمین به دور خورشید ۳۱ مگا ثانیه و طول عمر متوسط انسان ۲ گیگا ثانیه اعلام شده است. این دو طول زمان را با هم مقایسه کنید.
- ۳ یکی از راه های اندازه گیری عمق آب اقیانوس ها آن است که یک موج فراصوتی را از سطح آب به اعماق آب می فرستند. این موج با برخورد به کف اقیانوس به سطح آب باز می گردد و در سطح آب آشکار سازی می شود. با اندازه گیری بازه زمانی رفت و برگشت یک علامت فراصوتی و با داشتن سرعت انتشار صوت در آب، فاصله سطح آب تا کف اقیانوس محاسبه می شود. اگر بازه زمانی رفت و برگشت یک علامت فراصوتی ۱۴ s و سرعت انتشار صوت در آب 1450 m/s باشد، عمق آب اقیانوس را محاسبه کنید.
- ۴ ابعاد سلول ها و باکتری ها $1 \mu\text{m}$ ، اندازه قطر نوک خودکار معمولی 1 mm و قطر نوک انگشت کوچک انسان 1 cm است. این ابعاد برحسب nm چقدرند؟
- ۵ قلب یک ورزشکار در هر ثانیه (در حال استراحت) 90 cm^3 خون می کشد. در طول یک شبانه روز چه مقدار خون برحسب m^3 کشیده می شود؟
- ۶ سریع ترین رشد گیاه متعلق به گیاهی موسوم به هسپروویوکاویلی است که در طی ۱۴ روز، $3/7 \text{ m}$ رشد می کند. آهنگ رشد این گیاه برحسب میکرومتر بر ثانیه چقدر است؟
- ۷ دایره بزرگی بکشید و محیط و قطر آن را با بیشترین دقتی که می توانید به کمک متر پارچه ای و یا نخ اندازه بگیرید. با استفاده از این مقادیر، عدد π را با بیشترین دقتی که می توانید به دست آورید.



۸ یک پستی از نقطه شروع حرکت خود در شکل روبه‌رو مسیری را می‌پیماید که در شکل نشان داده شده است. بردار جابه‌جایی کل را رسم و بزرگی آن را با مقیاس مناسب به دست آورید.



۹ برای دو بردار \vec{A} و \vec{B} در شکل روبه‌رو
الف) بردار $\vec{A} + \vec{B}$
ب) بردار $\vec{A} - \vec{B}$
را با رسم نمودار به دست آورید.

۱۰ شخصی ۸ متر به طرف شمال حرکت می‌کند و سپس جهت حرکت خود را عوض می‌کند و ۴ متر به طرف جنوب می‌رود. بزرگی و جهت بردار جابه‌جایی او چقدر است؟

۱۱ بزرگی بردار \vec{a} برابر ۲ و در جهت غرب به شرق است. به علاوه می‌دانیم $\vec{b} = -2\vec{a}$. بزرگی و جهت بردارهای زیر را تعیین کنید.
الف) \vec{b} ب) $\vec{a} + \vec{b}$ پ) $\vec{a} - \vec{b}$

۱۲ نوعی مورچه کویری که در بیابان‌ها زندگی می‌کند، وقتی به دنبال غذاست، حرکتش را از لانه‌اش آغاز می‌کند و پس از طی مسیری درهم و برهم به مقصد می‌رسد. این مورچه ممکن است نیم کیلومتر در چنین مسیر پیچیده‌ای، روی شن‌زار هموار و بی‌شکل حرکت کند، بی‌آنکه هیچ ردی از خود بر جای گذارد. با این حال، این مورچه به طریقی می‌داند که چگونه مستقیماً به سمت لانه‌اش باز گردد. به عنوان مثالی خیالی فرض کنید این مورچه پنج مسیر ۶ سانتی متری را در جهت‌های نشان داده شده در شکل با شروع از لانه‌اش طی کند. بردار جابه‌جایی کل را که مورچه بر روی آن به لانه خود باز می‌گردد، با رسم نموداری با مقیاس مناسب به دست آورید.

