

فصل دوم

حرکت روی خط راست

فصل دوم
حرکت روی خط راست

۱-۲ مکان و جابه‌جایی
۲-۲ سرعت متوسط
۳-۲ حرکت یکنواخت روی خط راست
۴-۲ شتاب متوسط
۵-۲ حرکت با شتاب ثابت روی خط راست
۶-۲ سقوط آزاد بدون سرعت اولیه

■ پرسش‌های مفهومی
■ مسئله‌ها

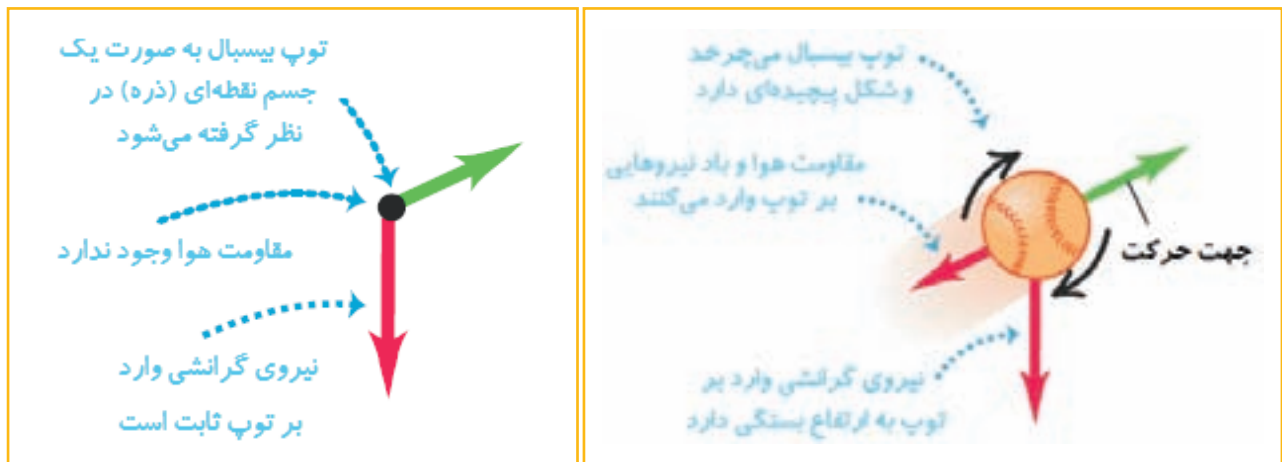
در چه شرایطی یک پر و یک گوی ارتفاع یکسانی را در زمان مساوی طی می‌کنند؟

راهنمای تدریس: پیش از شروع فصل توجه دانش‌آموزان را به تصویر شروع فصل و همچنین پرسشی که در کنار آن مطرح شده جلب کنید. به اندازه‌ی کافی وقت در اختیار دانش‌آموزان قرار دهید تا به صورت گروه‌های سه تا پنج نفره روی این پرسش بحث و تبادل نظر کنند و سپس نتیجه‌ی حاصل از فعالیت خود را به کلاس ارائه نمایند.

چنانچه گروه یا گروه‌هایی بخواهند این فعالیت را ابتدا به طور عملی در کلاس درس اجرا کنند و سپس به نتیجه‌گیری پردازند این فرصت را در اختیار آن‌ها قرار دهید. حتی بهتر است زمینه‌ی انجام عملی این کار فراهم شود.

در اینجا فرصت مناسبی است که در خصوص مدل‌های آرمانی در فیزیک اندکی صحبت کنید. همان‌طور که می‌دانید در گفت‌گوهای روزانه واژه‌ی مدل را به معنای نسخه‌ی بدلی کوچک، نظیر مدلی برای راه‌آهن یا شخصی که لباس‌هایی را به نمایش می‌گذارد، به کار می‌بریم. در فیزیک مدل صورت ساده‌شده‌ای از یک دستگاه فیزیکی است که تحلیل آن با جزئیات کامل با پیچیدگی همراه است.

برای مثال فرض کنید می‌خواهیم حرکت یک توپ بیسبال پرتاب شده را بررسی کنیم (شکل ۱- الف). این مسئله چه قدر پیچیده است؟ توپ یک کره‌ی کامل نیست (درزهای برجسته‌ای دارد) و در حین حرکت در هوا می‌چرخد، باد و مقاومت هوا بر حرکت آن اثر می‌گذارد، وزن توپ با تغییر فاصله‌ی آن از مرکز زمین کمی تغییر می‌کند و جز این‌ها. اگر سعی کنیم همه‌ی این‌ها را در تحلیل خود وارد کنیم تحلیل به صورت ناامیدکننده‌ای پیچیده خواهد شد. در عوض صورت ساده‌شده‌ای از مسئله می‌سازیم. با چشم پوشیدن از اندازه و شکل توپ آن را به صورت یک جسم نقطه‌ای یا ذره در نظر می‌گیریم. با فرض این که توپ در خلأ حرکت می‌کند، از مقاومت هوا صرف‌نظر می‌کنیم و وزن را ثابت در نظر می‌گیریم. اینک مسئله‌ای به قدر کفایت ساده داریم که می‌توانیم آن را بررسی کنیم (شکل ب).



شکل ۱

برای ساختن یک مدل آرمانی باید تعداد کوچکی از اثرهای جزئی‌تر را نادیده بگیریم تا روی مهم‌ترین ویژگی‌های دستگاه تمرکز کنیم. البته باید مراقب باشیم که بیش از حد چشم‌پوشی نکرده باشیم. اگر اثرهای گرانشی را به طور کامل ندیده بگیریم، آن‌گاه مدل ما پیش‌بینی می‌کند که وقتی توپ را به بالا پرتاب کنیم در یک خط



شکل ۲

مستقیم به بالا می‌رود و در فضا ناپدید می‌شود. برای ساختن مدلی که مسئله را به قدر کافی ساده کند تا قابل حل باشد و ویژگی‌های اساسی کماکان در آن موجود باشد به قدری خلاقیت و قدرت تشخیص نیاز داریم. هنگامی که از مدلی برای پیش‌بینی رفتار یک دستگاه استفاده می‌کنیم، اعتبار پیش‌بینی‌های ما توسط اعتبار مدل محدود می‌شود. برای مثال، پیش‌بینی گالیله درباره‌ی جسم‌های در حال سقوط متناظر با مدل آرمانی است که در آن اثرهای مقاومت هوا در نظر گرفته نشده است. این مدل برای گلوله‌های توپ رها شده نسبتاً خوب عمل می‌کند ولی برای یک پرچندان خوب نیست.

هنگامی که اصول فیزیکی را درباره‌ی دستگاه‌های پیچیده در علوم فیزیکی و فناوری به کار می‌بریم همواره از مدل‌های آرمانی استفاده می‌کنیم و در خصوص فرض‌هایی که اعمال می‌کنیم باید مراقب باشیم.

حرکت روی خط راست

جهان و هرچه در اوست همواره در حرکت‌اند. زمین، آفرین بر آن که به دور خود می‌چرخد، به دور خورشید نیز دوران می‌کند. خورشید به دور مرکز کهکشان راه شیری و کهکشان راه شیری نسبت به کهکشان‌های دیگر حرکت می‌کند. کوچک‌ترین جزء سازنده‌ی ماده، یعنی اتم، از ذره‌های بسیار ریزی تشکیل شده است که آن‌ها نیز همواره در حرکت‌اند (شکل ۱-۲). در این فصل علاوه بر آشنایی با مفاهیم بنیادی حرکت به توصیف و بررسی حرکت جسم روی خط راست نیز خواهیم پرداخت.

۱-۲ مکان و جابه‌جایی

برای بررسی حرکت هر جسم ابتدا لازم است مکان آن را نسبت به یک نقطه‌ی مرجع تعیین کنیم. در صورتی که حرکت جسم در یک بعد و روی خط راست باشد نقطه‌ی مرجع اغلب مبدا (یا نقطه‌ی صفر) محوری مانند محور x در شکل ۲-۳ در نظر گرفته می‌شود. جهت مثبت حرکت در جهت افزایش عددها (مختصات) است که در شکل ۲-۳ به سمت راست در نظر گرفته شده است. جهت مخالف آن جهت منفی حرکت است.

شکل ۲-۳ مکان جسمی که روی یک محور تعیین می‌شود بر حسب یکانی طول (در اینجا متر) نشانه‌گذاری می‌شود و در دو جهت تا بی‌نهایت ادامه دارد. نام محور، در اینجا x ، همواره در قسمت مثبت مبدأ قرار دارد.

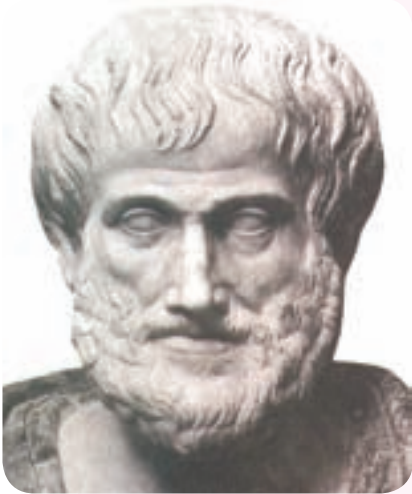
شکل ۱-۲ حرکت اجسام در مقیاس‌های بسیار کوچک و بسیار بزرگ

به عنوان مثال، اگر ذره‌ای در $x = 4\text{m}$ قرار داشته باشد، به معنای آن است که به فاصله‌ی 4m در طرف مثبت مبدأ قرار دارد. اگر ذره در $x = -4\text{m}$ باشد، در این صورت به همان فاصله از مبدأ ولی در طرف مخالف واقع است. در صورتی که ذره‌ای در طرف مثبت مبدأ قرار داشته باشد لزومی ندارد علامت مثبت را برای مختصه‌ی مکان بگذارید ولی در صورتی که ذره یا جسم در سمت منفی مبدأ باشد علامت منفی حتماً باید برای مختصه‌ی مکان نشان داده شود.

با توجه به این ویژگی مکان، برای هر وضعیت جسم نسبت به مبدا، مختصات بردار مکان تعریف

ادامه‌ی راهنمای تدریس: پس از انجام فعالیت

مرتبط با تصویر شروع فصل، توجه دانش‌آموزان را به اهمیت بررسی حرکت اجسام جلب کنید. شاید بتوان گفت یکی از قدیمی‌ترین موضوع‌های مورد علاقه‌ی بشر بررسی حرکت اجسام بوده است. یکی از نخستین کسانی که بیش از ۲۰۰۰ سال قبل حرکت اجسام را به طور جدی بررسی کرد ارسطو، برجسته‌ترین فیلسوف عصر خود در یونان باستان، بود. ارسطو کوشید تا حرکت را با طبقه‌بندی توضیح دهد.



ارسطو و حرکت

ارسطو حرکت را به دو گروه اصلی شامل حرکت طبیعی و حرکت قسری تقسیم کرد. ما هر یک از این دو نوع حرکت را نه به عنوان موضوع مطالعه بلکه فقط به صورت زمینه‌ای برای دیدگاه‌های کنونی حرکت به اختصار بررسی می‌کنیم.

ارسطو ادعا می‌کرد که حرکت طبیعی ناشی از «سُرشت» هر جسم است و ناشی از ترکیب چهار عنصر (خاک، آب، باد و آتش) موجود در جسم است. به نظر او، هر جسم موجود در عالم جایگاه مناسبی دارد که آن را همین «سُرشت» تعیین می‌کند؛ هر آنچه در جایگاه مناسب خود نباشد «می‌کوشد» به آن برسد. تکه سفالی از جنس

خاک رس چون از خاک است اگر تکیه گاهی نداشته باشد همانا به زمین (یا خاک) فرو می‌افتد. دودی که مانعی بر سر راهش نباشد، چون از جنس هواسست، یقیناً بالا می‌رود؛ پری که آمیزه‌ای از خاک و هوا ولی بیشتر از خاک است یقیناً با سرعتی کمتر از سفال به زمین می‌افتد. او می‌گفت که اجسام سنگین تر سخت تر تلاش می‌کنند. بنابراین، استدلال ارسطو این بود که اجسام با سرعت متناسب با وزنشان فرو می‌افتند؛ هر چه جسم سنگین تر باشد تندتر سقوط می‌کند.

حرکت طبیعی مانند حرکت تمام اجسام روی زمین (مستقیم و رو به بالا یا مستقیم و رو به پایین)، مانند حرکت اجرام سماوی دایره‌ای است. حرکت دایره‌ای برخلاف حرکت به بالا و پایین، آغاز و پایانی ندارد و بدون هیچ انحرافی تکرار می‌شود. ارسطو اعتقاد داشت در آسمان‌ها قاعده‌های متفاوتی حکم فرماست و ادعا می‌کرد اجرام سماوی کره‌های کاملی هستند که از ماده‌ی کامل و تغییرناپذیری که او آن را اثیر^۱ می‌نامید، ساخته شده‌اند، تنها جسم سماوی که می‌شد تغییر آشکاری را بر چهره‌اش مشاهده کرد ماه بود. مسیحیان قرون وسطا، که هنوز تحت تأثیر تعلیمات ارسطو بودند، می‌گفتند که عیب‌های ماه ناشی از نزدیکی آن به زمین و آلوده شدنش توسط زمین فاسد است).

حرکت قسری، گروه دیگر حرکت ارسطویی، ناشی از نیروهای فشاری یا کششی بود. حرکت قسری حرکتی تحمیلی شخصی که اربابه‌ای را هُل می‌دهد یا وزنه‌ای سنگین را بلند می‌کند، مانند کسی که سنگی را پرتاب می‌کند یا کسی که برنده‌ی مسابقه‌ی طناب‌کشی می‌شود حرکت را تحمیل می‌کند. باد حرکت را بر کشتی تحمیل می‌کند. سیلاب‌ها آن را به تخته‌سنگ‌ها و تنه‌ی درختان تحمیل می‌کنند.

۱. اثیر جوهر پنجم است، چهار تای دیگر خاک، آب، باد و آتش هستند.

نکته‌ی اساسی در مورد حرکت قسری علت خارجی آن بود که به اجسام منتقل می‌شد؛ آن‌ها خود به خود و به واسطه‌ی «سرشت» خود حرکت نمی‌کردند، بلکه فشارها و کشش‌ها آن‌ها را به حرکت در می‌آوردند. مفهوم حرکت قسری دشواری‌های خود را داشت، زیرا فشارها و کشش‌های بانی آن همواره نمایان نیستند. مثلاً زه کمان، پیکان را تا هنگام رها شدن از کمان به حرکت در می‌آورد؛ پس از آن، توضیح حرکت بعدی پیکان ظاهراً به عامل محرک دیگری نیاز دارد. بنابراین، ارسطو فرض کرد که شکافته شدن هوا بر اثر حرکت پیکان با هجوم هوا برای جلوگیری از تشکیل خلأ عامل محرکی را در پشت آن به وجود می‌آورد. پیکان به همان صورتی در هوا به پیش رانده می‌شود که قالب صابونی که از یک سرش به آن فشار وارد کرده‌اید در وان حمام به حرکت در می‌آید. باری، ارسطو در تدریس می‌گفت که تمام حرکت‌ها ناشی از سرشت جسم متحرک یا بر اثر فشار یا کشش مداوم است. اگر جسم در محل مناسب خود باشد حرکت نمی‌کند مگر آن که نیرویی به آن وارد شود. سوای اجرام سماوی، وضعیت عادی اشیاء حالت سکون است.

اظهارات ارسطو درباره‌ی حرکت آغاز تفکر علمی بود، و گرچه وی این اظهارات مربوط به حرکت را سخن آخر نمی‌شمرد، پیروانش تقریباً ۲۰۰۰ سال دیدگاه‌های او را مسلم فرض می‌کردند. در تفکر باستانی، قرون وسطایی، و اوایل دوره‌ی نوزایی، سکون را بی‌چون و چرا حالت طبیعی اجسام می‌پنداشتند. زیرا اغلب متفکران تا قرن شانزدهم

تصور می‌کردند زمین در جای مناسب خود قرار دارد و چون نیرویی که بتواند زمین را به حرکت در آورد باور نکردنی بود، به نظر آنان کاملاً روشن بود که زمین حرکت نمی‌کند.

۱-۲ مکان و جابه‌جایی

راهنمای تدریس: پس از آن که توجه دانش‌آموزان را به قدر کافی به اهمیت حرکت و بررسی آن در جنبه‌های مختلف زندگی بشر از دیر هنگام تا اکنون جلب نمودید، در این بخش و بخش‌های بعدی همین فصل، حرکت صرفاً در راستای یک خط مستقیم مورد بررسی قرار خواهد گرفت. هر چند دانش‌آموزان بنابر تجربه‌های روزمره‌ی خود می‌دانند حرکت‌هایی که در اطراف آن‌ها روی می‌دهد بیش‌تر در دو یا سه بعد است و کم‌تر مشاهده می‌شود که حرکت جسمی دقیقاً در امتداد خط راست باشد. با این وجود، نظر به این که بررسی

می‌شود. برداری که از مبدأ مختصات به مکان جسم رسم شود بردار نامیده می‌شود. شکل ۳-۲ الف و ب بردار مکان مربوط به ذره‌ی متحرکی را به ترتیب در مکان‌های $x = 2m$ و $x = -2m$ نشان می‌دهد.

شکل ۳-۲ بردار مکان از مبدأ مختصات به مکان جسم رسم می‌شود.

مثال ۳-۱

جسمی که در امتداد محور x در حرکت است در هر یک از لحظه‌های t_1 ، t_2 ، t_3 و t_4 به ترتیب در مکان‌های $2m$ ، $1m$ ، 0 و $2m$ قرار دارد.

الف) مکان متحرک را در هر یک از این لحظه‌ها روی محور x تعیین کنید.

ب) مختصه‌ی مکان متحرک را به ترتیب از کوچک‌تر به بزرگ‌تر بنویسید.

پ) در کدام بازه‌ی زمانی جهت حرکت متحرک مثبت و در کدام بازه‌ی زمانی منفی است؟

حل: الف) شکل ۴-۲ مکان متحرک را در لحظه‌های مورد نظر نشان می‌دهد.

ب) مختصه‌ی $2m$ ، کوچک‌تر از $1m$ است. همین‌طور مختصه‌ی $1m$ کوچک‌تر از 0 و $2m$ است. بنابراین مختصه‌ی مکان متحرک به ترتیب از کوچک‌تر به بزرگ‌تر به صورت $2m$ ، $1m$ ، 0 و $2m$ است.

پ) در بازه‌ی زمانی t_1 تا t_2 جهت حرکت مثبت و در بازه‌ی زمانی t_2 تا t_3 جهت حرکت منفی است. توجه کنید در بازه‌ی زمانی t_3 و t_4 جهت حرکت از مکان $x = 2m$ به مکان $x = 0$ برگشته است.

جابه‌جایی: تغییر مکان متحرک از x_1 به مکان دیگر x_2 ، جابه‌جایی Δx نامیده می‌شود که برابر است با

$$\Delta x = x_2 - x_1$$

هرگاه متحرک در جهت مثبت محور x حرکت کند جابه‌جایی مثبت است (به سمت راست شکل ۳-۲) و در صورتی که در جهت منفی محور x حرکت کند جابه‌جایی منفی است (به سمت چپ شکل ۳-۲).

حرکت جسم روی خط راست ساده‌ترین نوع حرکتی است که می‌توان به آن پرداخت، در این فصل تنها توجه خود را به بررسی این حرکت محدود خواهیم کرد. پیش از تدریس این بخش مطمئن شوید که دانش‌آموزان ویژگی‌های عمومی حرکت را، که در اینجا به سه مورد محدود می‌شوند، همواره مورد توجه خود قرار می‌دهند.

۱) حرکت فقط در راستای خط راست است. این خط ممکن است افقی، قائم (مانند حرکت سقوط آزاد) یا شیب‌دار باشد (در این فصل حرکت جسم روی خط شیب‌دار بررسی نمی‌شود).

۲) نیروها (هل دادن‌ها یا کشیدن‌ها) موجب حرکت می‌شوند، ولی آن‌ها را تا فصل سوم در نظر نخواهیم گرفت. در این فصل تنها درباره‌ی خودِ حرکت و تغییرات آن بحث خواهیم کرد. آیا جسم در حال حرکت، تند می‌شود، کند می‌شود، متوقف می‌شود، یا بر می‌گردد. اگر تغییر در حرکت ایجاد شود، زمان چگونه در این تغییر وارد می‌شود.

۳) جسم در حال حرکت یا ذره است (مانند الکترونی که به دور هسته‌ی اتم می‌چرخد) یا جسمی است که مانند یک ذره حرکت می‌کند. مثلاً اتمیلی را که در امتداد خط مستقیمی حرکت می‌کند می‌توان مانند یک ذره‌ی متحرک در نظر گرفت.

پس از آن که اطمینان یافتید که دانش‌آموزان به سه ویژگی عمومی حرکت توجه دارند، مطابق متن کتاب به تدریس پردازید. اگر چه دانش‌آموزان هم در دوره‌ی راهنمایی و هم در سال اول دبیرستان به اندازه‌ی کافی با محورهای مختصات، مبدأ مختصات، جهت مثبت و جهت منفی آن آشنایی دارند باز هم ضرورت دارد که در اینجا نیز با تأمل کافی به تدریس این قسمت پردازید. دانش‌آموزان باید توجه کنند هنگام نوشتن مختصه‌ی مکان یک ذره، در صورتی که در سمت منفی مبدأ باشد، باید علامت منفی برای مختصه‌ی مکان نشان داده شود.

انتظار می‌رود دانش‌آموزان پس از تدریس این قسمت در خصوص مفهوم مکان به درک زیر برسند:

مکان x یک ذره روی محور x ، محل آن ذره را نسبت به مبدأ، یا نقطه‌ی صفر آن محور تعیین می‌کند. این مکان یا مثبت است یا منفی، بسته به آن که در کدام طرف مبدأ قرار داشته باشد و یا صفر است، اگر ذره در مبدأ باشد. جهت مثبت روی محور، جهت افزایش عددهای مثبت است؛ جهت مخالف آن، جهت منفی است.

جابه‌جایی

راهنمای تدریس: پس از آشنایی دانش‌آموزان با مفهوم

مکان، به تعریف جابه‌جایی متحرک پردازید. در تدریس مفهوم جابه‌جایی، باید اطمینان یابید که دانش‌آموزان افزون بر این که متوجه شده‌اند که جابه‌جایی کمیته برداری است، در جابه‌جایی فقط مکان‌های اولیه و نهایی مهم هستند و مسافت واقعی طی شده در یک مسیر اهمیتی ندارد.

همان‌طور که در مثال ۲-۲ نیز مشخص است، الزاماً ابتدای بردار جابه‌جایی از مبدأ مختصات شروع نمی‌شود. بسته به این که مکان آغازی جسم در کجای محور مختصات بوده است، شروع بردار جابه‌جایی نیز از همان جا خواهد بود.

علاوه بر مثال‌های ۲-۲ و ۱-۲، مثال پیشنهادی زیر نیز می‌تواند برای جمع‌بندی مفهوم‌های مکان و جابه‌جایی در کلاس درس مطرح شود.

مثال پیشنهادی

ذره‌ی متحرکی مطابق شکل ۳ در لحظه‌ی t_1 در نقطه‌ی A، در لحظه‌ی t_2 در نقطه‌ی B و در لحظه‌ی t_3 در نقطه‌ی C قرار دارد.

الف) بردارهای مکان متحرک را در هر یک از این لحظه‌ها مشخص کنید.

ب) اندازه‌ی بردار جابه‌جایی متحرک را در هر یک از بازه‌های زمانی (t_1, t_2) ، (t_2, t_3) و (t_1, t_3) به دست آورید.



شکل ۳

انتظار می‌رود در پایان این قسمت دانش‌آموزان در خصوص مفهوم جابه‌جایی به درک زیر برسند:

جابه‌جایی $\Delta x = x_2 - x_1$ یک ذره‌ی متحرک، تغییر در مکان آن است و یک کمیت برداری است. اگر ذره در

جهت مثبت محور X حرکت کند، مثبت و اگر در جهت منفی آن حرکت کند، منفی است.

فصل دوم / حرکت روی خط راست

برای مثال، اگر ذره‌ای از $x_1 = 1\text{m}$ به $x_2 = 4\text{m}$ حرکت کند، آنگاه $\Delta x = (4\text{m}) - (1\text{m}) = +3\text{m}$ است. نتیجه‌ی مثبت بدان معناست که حرکت یا جابه‌جایی در جهت مثبت بوده است. ولی اگر ذره‌ای از $x_1 = 4\text{m}$ به $x_2 = 1\text{m}$ برود، آنگاه $\Delta x = (1\text{m}) - (4\text{m}) = -3\text{m}$ است. نتیجه‌ی منفی نشان می‌دهد که حرکت یا جابه‌جایی ذره در جهت منفی بوده است. نکته‌ی مهمی که در اینجا باید به آن توجه شود آن است که جابه‌جایی یک متحرک تنها به نقطه‌های آغازی و پایانی آن بستگی دارد و مقدار مسافت پیموده‌شده در طی حرکت مهم نیست.

برای روشن‌تر شدن این موضوع فرض کنید ذره‌ای از $x_1 = 1\text{m}$ تا $x_2 = 4\text{m}$ حرکت کند و سپس به $x_3 = 1\text{m}$ برگردد. در این صورت جابه‌جایی از آغاز تا پایان حرکت برابر است با $\Delta x = (1\text{m}) - (1\text{m}) = 0$ است (چرا؟) در صورتی که همان‌طور که دیده می‌شود مسافت پیموده‌شده توسط متحرک 3m است (چرا؟) در صورتی که جابه‌جایی آن صفر است. زیرا به مکان اولیه‌ی خود بازگشته است. علامت مثبت جابه‌جایی لازم نیست نشان داده شود ولی علامت منفی باید همواره نشان داده شود. برای مثال $\Delta x = -3\text{m}$ و $\Delta x = 3\text{m}$ هر دو به معنای جابه‌جایی به اندازه‌ی 3m در جهت مثبت محور X است در صورتی که $\Delta x = -3\text{m}$ به معنای جابه‌جایی به اندازه‌ی 3m در جهت منفی محور X است. به این ترتیب همان‌طور که دیده می‌شود اندازه یا بزرگی جابه‌جایی‌های $\Delta x = 3\text{m}$ و $\Delta x = -3\text{m}$ مساوی و برابر 3m است در حالی که جهت آن‌ها مخالف یکدیگر است. بنابراین

جابه‌جایی کمیته برداری است که علاوه بر بزرگی جهت نیز دارد.

مثال ۲-۲

مکان آغازی و پایانی ذره‌ی متحرکی به ترتیب $x_1 = 1\text{m}$ و $x_2 = -1\text{m}$ است. بردار جابه‌جایی این متحرک را روی محور Xها نشان دهید.

حل: کافی است مکان آغازی و پایانی متحرک را روی محور X تعیین و سپس این دو نقطه را توسط یک بردار به هم وصل کنیم.

شکل ۲-۲ بردار جابه‌جایی، $\Delta x = (-1\text{m}) - (1\text{m}) = -2\text{m}$ بزرگی این بردار 2m و جهت آن به سمت چپ است.

تجربه‌ی تدریس: همواره توجه کنید که Δx حاصل کسری است که در آن صورت‌دهنده و کسری‌دهنده با معنی تغییر در کمیت همواره برای نمایش تغییر در یک کمیت از حرف یونانی Δ (دلتا) استفاده می‌کنیم. تفسیر در یک کمیت برابر است با مقدار پایانی کمیت منهای مقدار آغازی آن و هرگز برعکس نیست.

تشبیه‌سازی

• بردار جابه‌جایی

ادامه‌ی راهنمای تدریس: در پایان این بخش موضوع

نسبی بودن حرکت مطرح شده است و انتظار می‌رود دانش آموزان به این درک برسند که سکون و حرکت هر جسم نسبت به اجسام دیگر سنجیده می‌شود. به طوری که اگر بردار مکان ذره‌ای در یک دستگاه مختصات معین با گذشت زمان تغییر نکند می‌گوییم ذره نسبت به آن دستگاه ساکن است.

همه چیز - حتی چیزهایی که ساکن به نظر می‌رسند - در حرکت‌اند. آن‌ها نسبت به خورشید و ستارگان حرکت می‌کنند. در حالی که دانش آموزان به تدریس شما توجه دارند، با سرعت ۱۰۷۰۰۰ کیلومتر در ساعت نسبت به خورشید و با سرعتی حتی بیش‌تر نسبت به مرکز کهکشان حرکت می‌کنند.

در پایان این بخش نگاه‌های خواهیم داشت به این که اساساً حرکت امری نسبی است. به این منظور فرض کنید که درون اتوبوس در حال حرکتی نشست‌اید شخصی که روی صندلی مقابل شماست از نظر شما هیچ‌گونه حرکتی ندارد و ساکن است. در حالی که همین شخص از دید کسی که در بیرون اتوبوس در کنار خیابان ایستاده است و از پنجره‌ی اتوبوس او را می‌بیند ساکن نیست و همراه اتوبوس در حال حرکت است. با توجه به مثال‌هایی از این قبیل می‌توان نتیجه گرفت که سکون و حرکت هر جسم نسبت به اجسام دیگر سنجیده می‌شود. به عبارت دیگر حرکت و سکون مفاهیمی نسبی‌اند. به طور کلی اگر بردار مکان ذره‌ای در یک دستگاه مختصات معین با گذشت زمان تغییر نکند می‌گوییم ذره نسبت به آن دستگاه ساکن است. ولی اگر بردار مکان ذره با گذشت زمان تغییر کند می‌گوییم ذره نسبت به آن دستگاه در حال حرکت است.

۲-۲ سرعت متوسط

فرض کنید ذره‌ی متحرکی در لحظه‌ی t_1 در مکان x_1 و در لحظه‌ی t_2 در مکان x_2 واقع است (شکل ۲-۲). بنا بر تعریف نسبت جابه‌جایی ذره، $\Delta x = x_2 - x_1$ ، به بازه‌ی زمانی این جابه‌جایی، $\Delta t = t_2 - t_1$ ، سرعت متوسط ذره نامیده می‌شود. یعنی

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$$

که در این رابطه \bar{v} نماد سرعت متوسط است و یکای آن در SI متر بر ثانیه (m/s) است.

شکل ۲-۲

از آنجاکه $\Delta t = t_2 - t_1$ همواره مقداری مثبت است لذا جابه‌جایی و سرعت متوسط دارای یک علامت‌اند. به بیان دیگر، سرعت متوسط نیز کمیتی برداری است که با بردار جابه‌جایی هم‌جهت است. برای مثال، اگر جهت جابه‌جایی متحرک به طرف مثبت محور x باشد، جهت سرعت متوسط نیز به همین طرف است.

مثال ۲-۳

متحرکی در لحظه‌ی $t_1 = 0$ از مبدأ زمان می‌گذرد و در لحظه‌ی $t_2 = 2s$ به 8 متری مبدأ می‌رسد. سرعت متوسط متحرک را در این بازه‌ی زمانی پیدا کنید.

حل: ابتدا داده‌های مسئله را می‌نویسیم

$$(t_1 = 0 \text{ و } x_1 = 0) \text{ و } (t_2 = 2s \text{ و } x_2 = 8m)$$

با توجه به تعریف سرعت متوسط داریم

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{(8m) - (0)}{(2s) - (0)} = 4 \text{ m/s}$$

توجه کنید که مقدار سرعت متوسط 4 m/s و جهت آن به طرف مثبت محور x است.

۲-۲ سرعت متوسط

راهنمای تدریس: هنگام تعریف سرعت متوسط یک ذره‌ی متحرک به صورت $\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ ، تأکید زیادی

بر این موضوع داشته باشید که Δx جابه‌جایی متحرک است نه مسافتی که ذره می‌پیماید. از آنجا که در این کتاب، تندی متوسط مستقلاً تعریف نشده است، لذا اهمیت دارد که اطمینان یابید دانش آموزان از تعریف سرعت متوسط درک صحیحی به دست آورده‌اند. یادآوری می‌شود تندی متوسط روشی است برای توصیف این که ذره «با چه سرعتی» حرکت می‌کند. در حالی که سرعت متوسط به جابه‌جایی Δx ذره مربوط است. تندی متوسط به مسافت کل پیموده شده (مثلاً تعداد متر طی شده مستقل از جهت)، بستگی دارد و چون شامل جهت نمی‌شود، دارای هیچ علامت جبری‌ای نیست.

انتظار می‌رود دانش آموزان در خصوص مفهوم سرعت متوسط به درک زیر برسند:

وقتی ذره‌ای در بازه‌ی زمانی $\Delta t = t_2 - t_1$ از مکان x_1 به مکان x_2 حرکت کرده باشد، سرعت متوسط آن این

بازه‌ی زمانی عبارت است از:

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$$

علامت جبری \bar{v} جهت حرکت را تعیین می‌کند (\bar{v} یک کمیت برداری است).

سرعت متوسط به مسافت واقعی، که یک ذره پیموده است، بستگی ندارد، بلکه به مکان‌های اولیه و نهایی آن بستگی دارد.

ادامه‌ی راهنمای تدریس: در خصوص مثال ۲-۴ باید اشاره شود که معمولاً در کتاب‌های درسی نمودار مکان-زمان، حرکت یک ذره را به صورت بحثی مستقل ارائه می‌دهند اما در این کتاب به جهت محدودیت‌های موجود، این موضوع به صورت یک مثال حل شده ارائه گردیده است. در صورتی که لازم می‌دانید می‌توانید در این زمینه مثال‌های دیگری بیاورید تا دانش‌آموزان نسبت به این نمودارها درک عمیق‌تری به‌دست آورند.

نکته‌ی کلیدی در حل مثال ۲-۴ این است که دانش‌آموزان درک نمایند شیب پاره خطی که دو نقطه‌ی دل‌خواه را روی نمودار $x-t$ به هم وصل می‌کند برابر سرعت متوسط ذره است.

فصل دوم / حرکت روی خط راست

مثال ۲-۴

مکان جسمی را که روی یک خط راست، مثلاً محور x ها، حرکت می‌کند می‌توان مانند شکل ۲-۴ بر حسب زمان روی نموداری رسم کرد. نمودار حاصل را نمودار مکان-زمان و یا به اختصار نمودار $x-t$ می‌نامند. در این نمودار محور افقی نشان دهنده زمان به کار رفته است و میانه آن، با عدد صفر مشخص شده است. همین‌طور محور قائم برای نشان دادن مکان جسم به کار رفته است.

الف) مزیت این نمودار چیست؟

ب) شیب پاره‌خط AB را در این نمودار به‌دست آورید و بگویید مقدار به دست آمده نشان‌دهنده‌ی چه کمیتی است؟

ج) الف) از نمودار مکان-زمان می‌توان دریافت که در یک زمان مین جسم کجا بوده است، یعنی مکانش چه بوده یا چه وقت جسم در مکان معینی قرار داشته است. دقت کنید که نمودار مکان-زمان شکل ۲-۴ را به عنوان نمودار مسیر حرکت جسم روی صفحه در نظر نگیرید! در اینجا مسیر حرکت جسم روی خط راست است که بر محور x منطبق است.

ب) از روی نمودار شکل ۲-۴ پیداست که شیب پاره‌خط AB برابر است با:

$$\frac{\Delta x}{\Delta t} = \text{شیب پاره خط } AB$$

که در واقع همان سرعت متوسط متحرک است.

مثال ۲-۵

معادله‌ی مکان-زمان جسمی که در امتداد محور x حرکت می‌کند در SI به صورت $x = 2t^2 - 4t + 2$ است. سرعت متوسط متحرک بین دو لحظه‌ی $t_1 = 2s$ و $t_2 = 4s$ چقدر است؟

ج) ابتدا مکان متحرک را در دو لحظه‌ی مورد نظر پیدا می‌کنیم:

$$x_1 = 2(2)^2 - 4 \cdot 2 + 2 = 10 \text{ m}$$

$$x_2 = 2(4)^2 - 4 \cdot 4 + 2 = 32 \text{ m}$$

با توجه به تعریف سرعت متوسط داریم:

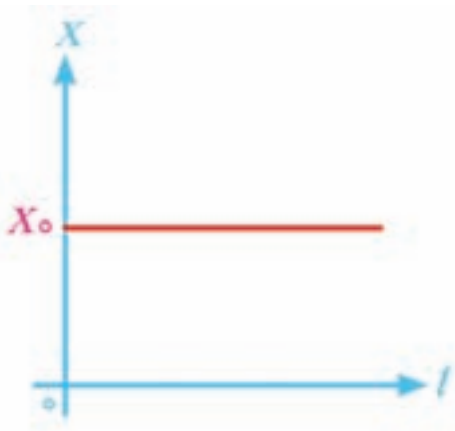
$$\bar{v} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{(32 \text{ m}) - (10 \text{ m})}{(4 \text{ s}) - (2 \text{ s})} = 11 \text{ m/s}$$

هستند: همواره بکارها را در محاسبه‌های خود بنویسید. هنگامی که در یک مسئله به انجام محاسبه‌هایی با استفاده از عددها و یکاها نیاز باشد همواره عددها را با یکاهای درست بنویسید، و با یکاها در تمام محاسبه‌ها مانند مثال ۲-۴ رفتار کنید. این کار ازمن بسیار مفیدی برای محاسبه‌هاست. اکثر در برهه‌های از یک محاسبه در یافتن که یک معادله یا رابطه دارای یکاهای ناسازگار است نتیجه می‌شود که در جایی اشتباه کرده‌اید. در این کتاب همواره بکارها را در تمامی محاسبه‌ها وارد می‌کنیم و به شما قویاً توصیه می‌کنیم که هرگاه مسئله‌ای حل می‌کنید همین کار را انجام دهید.

۳۳

فعالیت ۱-۴

پاسخ: چنانچه جسم ساکن باشد و روی مبدأ یا فاصله‌ی مشخصی از آن واقع باشد (مثلاً x_0)، نمودار مکان-زمان آن یک خط راست خواهد بود (شکل ۴). در این فعالیت منظور از ساکن بودن این است که جسم نسبت به مرجع معینی حرکت نکند.



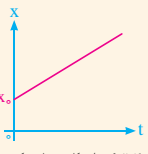
شکل ۴

فصل دوم / حرکت روی خط راست

جدول ۱-۲ سرعت متوسط اتومبیل در چند بازه زمانی دلخواه

سرعت متوسط $\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ (m/s)	جابه‌جایی Δx (m)	بازه زمانی Δt (s)	لحظه‌ی پایانی t_2 (s)	لحظه‌ی آغازی t_1 (s)
۱۵/۱۰	۱۵۰-۵۰=۱۰۰	۱-۰=۱	۱	۰
۱۵/۱۰	۲۰۰-۱۰۰=۱۰۰	۲-۱=۱	۲	۱
۲۵/۳۰	۴۰۰-۲۰۰=۲۰۰	۴-۲=۲	۴	۲
۴۵/۳۰	۶۰۰-۲۰۰=۴۰۰	۴-۰=۴	۴	۰

آزمایشگاه مجازی
حرکت در یک بعد (مرد متحرک)



شکل ۹-۲ نمودار مکان-زمان حرکت یکنواخت روی خط راست. نمودار X مقاری مثبت و در طرف راست مبدأ است.

مثال ۱-۲

نمودار مکان-زمان جسمی که با سرعت ثابت (به‌طور یکنواخت) روی یک خط راست در جهت محور X حرکت می‌کند، رسم کنید. فرض کنید در مبدأ زمان متحرک در فاصله‌ی X از طرف راست مبدأ مکان است.)
حل: چون در حرکت یکنواخت سرعت ثابت است، شیب خط معاص بر نمودار مکان-زمان باید همواره مقدار ثابتی باشد. پس نمودار X-t یک خط راست است که در شکل ۹-۲ رسم شده است. روشن است که هرچه سرعت متحرک بیشتر باشد شیب نمودار مکان-زمان نیز بیشتر خواهد شد. (چرا؟)

مثال ۲-۱

معادله‌ی حرکت متحرکی در SI به صورت $x = 12t - 2t^2$ است.
(الف) جابه‌جایی متحرک در ثانیه‌ی اول حرکت چقدر است؟
(ب) در چه لحظه‌ای متحرک به مبدأ مکان می‌رسد؟
(پ) نمودار مکان-زمان متحرک را رسم کنید.
حل: (الف) مکان متحرک در لحظه‌های $t = 1s$ و $t = 0$ به ترتیب برابر است با:
 $x_1 = x_0 = 12 \times 1 - 2 \times 1^2 = 10m$
 $x_0 = x = 12 \times 0 - 2 \times 0^2 = 0m$
به این ترتیب جابه‌جایی متحرک در ثانیه‌ی اول حرکت برابر است با:
 $\Delta x = x_1 - x_0 = (10m) - (0m) = 10m$
(ب) وقتی متحرک به مبدأ مکان می‌رسد که $x = 0$ باشد بنابراین با استفاده از معادله‌ی مکان-زمان در مبدأ مکان داریم:
 $0 = 12t - 2t^2 \Rightarrow t = 6s$

فیزیک ۲

مثال ۲-۲

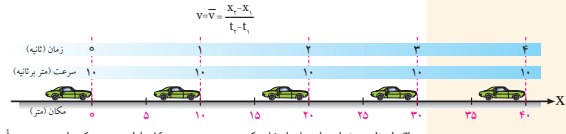
شناگری طول یک استخر ۲۵ متری را در مدت ۴۰ ثانیه رفته و در مدت ۵۰ ثانیه برگشته است. سرعت متوسط این شناگر در طول مسیر رفت و برگشت چقدر است؟
حل: چون شناگر پس از طی طول استخر در دو مرحله‌ی رفت و برگشت، به مکان اولیه‌ی خود بازگشته است لذا جابه‌جایی آن $\Delta x = 0$ است. بنابراین سرعت متوسط شناگر نیز در طول مسیر رفت و برگشت صفر خواهد بود. توجه کنید تعریف سرعت متوسط در فیزیک با تعریفی که در مسابقه‌های ورزشی یا در جاهای دیگر استفاده می‌شود متفاوت است. برای مثال در مسابقه‌های ورزشی مانند شنا، نسبت مسافت پیموده شده (نه جابه‌جایی) به زمان انجام آن سرعت متوسط یا سرعت میانگین نامیده می‌شود که در این کتاب از این تعریف استفاده نمی‌شود.

فعالیت ۱-۲

در صورتی که جسمی حرکت نکند، یعنی ساکن باشد، نمودار مکان-زمان آن را رسم کنید.

۳-۲ حرکت یکنواخت روی خط راست

اتومبیلی را در نظر بگیرید که روی خط راست در حرکت است. مکان این اتومبیل در زمان‌های مختلف مشخص شده است (شکل ۸-۲). سرعت متوسط این اتومبیل در چند بازه زمانی دلخواه محاسبه شده و در جدول ۱-۲ آمده است. به طوری که می‌بینید سرعت متوسط این اتومبیل در هر بازه زمانی دلخواه ثابت است. اگر سرعت متوسط یک متحرک در هر بازه زمانی دلخواه یکسان باشد، متحرک با سرعت ثابت حرکت می‌کند. در این صورت سرعت در هر لحظه با سرعت متوسط متحرک برابر است، یعنی $v = \bar{v}$. با توجه به تعریف سرعت متوسط داریم:



شکل ۸-۲ حرکت یکنواخت اتومبیلی در امتداد محور X. اگر لحظه‌ی t_1 را مبدأ زمان انتخاب کنیم، یعنی $t_1 = 0$ و مکان اولیه‌ی متحرک را نسبت به مبدأ $x_1 = x_0$ با X نشان دهیم $(x_2 = x_1 + \Delta x)$ خواهیم داشت:

که در آن X مکان متحرک در لحظه‌ی t است. این معادله راه معادله‌ی حرکت یکنواخت روی خط راست می‌نامند.

$$v = \frac{x - x_0}{t - t_0} \quad \text{یا} \quad x = vt + x_0$$

۳-۲ حرکت یکنواخت روی خط راست

راهنمای تدریس: ابتدا توجه دانش آموزان را به شکل ۲-۸ معطوف کنید و به هر گروه فرصت کافی دهید تا برداشت خود را از این شکل به بحث گذارند و در کلاس درس مطرح کنند. انتظار می‌رود دانش آموزان ضمن این که بین سرعت متوسط و سرعت لحظه‌ای یک متحرک تمایز قائل شوند به این درک برسند که هر گاه سرعت متوسط و سرعت لحظه‌ای متحرکی برابر باشند، حرکت جسم یکنواخت است.
در مثال ۲-۷ نمودار مکان-زمان، حرکت یکنواخت روی خط راست معرفی شده است که توصیه می‌شود با بررسی آن در کلاس درس، حالت‌های دیگر آن را وقتی $x_0 = 0$ است یا سرعت متحرک در خلاف جهت محور X است بررسی نماید.

تمرین‌های پیشنهادی

۱- در حین یک عطسه‌ی شدید، ممکن است چشمان شما به مدت 0.5 s بسته شود. اگر در حال رانندگی با سرعت ثابت 108 km/h روی خط راست، به چنین عطسه‌ای ناگزیر شدید، در آن مدت اتومبیل شما چه قدر جابه‌جا شده است؟

(راهنمایی: انتظار می‌رود دانش‌آموزان از رابطه‌ی $x = vt + x_0$ یا $x - x_0 = vt$ استفاده کنند و $\Delta x = x - x_0$ را برابر جابه‌جایی در نظر بگیرند.)

۲- ذره‌ای با سرعت ثابت در امتداد محور x به حرکت در می‌آید و پس از 2 ثانیه به مبدأ مکان می‌رسد. همچنین 2 ثانیه پس از رسیدن به مبدأ به نقطه‌ی $x = -6 \text{ m}$ می‌رسد. معادله‌ی حرکت این متحرک را در SI بنویسید.
(راهنمایی: بهتر است از شکل کلی معادله‌ی حرکت یکنواخت $v = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$ استفاده کرد که در آن $(x_1 = 0, t_1 = 2 \text{ s})$ و $(x_2 = -6 \text{ m}, t_2 = 4 \text{ s})$ است.)

تمرین ۱-۲

الف) با توجه به این که نمودار $x - t$ متحرک به صورت یک خط راست با شیب معینی است، حرکت آن یکنواخت در امتداد محور x است.

ب) با توجه به نمودار در $t = 0$ داریم $x_0 = -12 \text{ m}$. همچنین در $t = 6 \text{ s}$ داریم $x = 18 \text{ m}$. به این ترتیب داریم:

$$x = vt + x_0$$

$$18 \text{ m} = v(6 \text{ s}) - 12 \text{ m} \Rightarrow v = 5 \text{ m/s}$$

پس:

$$x = 5t - 12$$

پ) با توجه به معادله‌ی حرکت متحرک، مکان متحرک در $t_1 = 0$ و $t_2 = 2 \text{ s}$ به ترتیب برابر است با: $x_1 = -12 \text{ m}$

و $x_2 = -2 \text{ m}$. بنابراین:

$$\Delta x = x_2 - x_1 = -2 - (-12) = 10 \text{ m}$$

هشدار: ممکن است برخی دانش‌آموزان برای به دست آوردن جابه‌جایی در 2 ثانیه‌ی اول حرکت در معادله‌ی مکان-زمان متحرک به جای t مقدار 2 s را قرار دهند و حاصل آن را، که برابر $x = 5 \times 2 - 12 = -2 \text{ m}$ است، برابر جابه‌جایی متحرک در 2 ثانیه‌ی اول در نظر بگیرند که اشتباه است. در این تمرین دوباره توجه دانش‌آموزان را به تمایز بین مکان و جابه‌جایی جسم جلب کنید.

۲-۴- شتاب متوسط

راهنمای تدریس: از آنجا که در این کتاب فقط حرکت

در امتداد خط راست بررسی می شود انتظار می رود دانش آموز به این درک برسد که هر گاه بزرگی سرعت متحرکی تغییر کند (افزایش یا کاهش یابد) حرکت آن شتابدار خواهد بود. برای شروع می توانید از تجربیات روزمره دانش آموزان استفاده کنید. برای مثال همه می دانند که شتاب گرفتن اتومبیل آشنا هستیم. وقتی راننده پدال گاز را فشار می دهد، سرنشینان با فشرده شدن به صندلی هایشان شتاب گرفتن را احساس می کنند. یا هنگامی که راننده به طور ناگهانی ترمز می گیرد سرنشینان با پرتاب شدن به طرف جلو شتاب گرفتن را احساس می کنند. پس از جلب توجه دانش آموزان به مفهوم تغییر سرعت و ارتباط آن با شتاب، شتاب متوسط را تعریف کنید و از آن ها بخواهید که برای چند لحظه به شکل ۲-۱۲ توجه کنند.

(پ) برای رسم نمودار کافی است مختصات دو مکان متحرک را در دو لحظه دلخواه روی نمودار $x-t$ تعیین کنید (شکل ۲-۱۰).

t (s)	x (m)
۰	-۲۴
۲	۰

مثال ۲-۹

اتومبیلی با سرعت ثابت ۷۲ km/h در امتداد خط راست حرکت می کند. چه مدت طول می کشد تا جابه جایی اتومبیل برابر ۵۰۰ متر باشد؟

حل: ابتدا یکای سرعت را از km/h به m/s تبدیل می کنیم. در نتیجه داریم:

$$۷۲ \frac{\text{km}}{\text{h}} = ۷۲ \times \frac{۱۰۰۰ \text{ m}}{۳۶۰۰ \text{ s}} = ۷۲ \times \frac{۱۰}{۳۶} \frac{\text{m}}{\text{s}} = ۲۰ \text{ m/s}$$

با استفاده از معادله ی حرکت یکنواخت $x = vt + x_0$ خواهیم داشت:

$$\Delta x = x - x_0 = vt \Rightarrow ۵۰۰ \text{ m} = (۲۰ \text{ m/s})t \Rightarrow t = ۲۵ \text{ s}$$

تمرین ۲-۱۰

شکل ۲-۱۱ نمودار مکان-زمان متحرکی را در ۶ ثانیه ی اول حرکت نشان می دهد. الف) نوع حرکت متحرک را تعیین کنید. ب) معادله ی حرکت متحرک را بنویسید. پ) جابه جایی متحرک در ۲ ثانیه ی اول حرکت چقدر است؟

۲-۴ شتاب متوسط

هرگاه سرعت متحرکی تغییر کند، گفته می شود که ذره شتاب گرفته یا حرکت آن شتابدار است (شکل ۲-۱۲). برای حرکت در راستای یک خط راست، شتاب متوسط \bar{a} در بازه ی زمانی Δt عبارت است از:

$$\bar{a} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

که در آن متحرک در لحظه ی t_1 دارای سرعت v_1 و در لحظه ی t_2 دارای سرعت v_2 است. یکای شتاب در SI متر بر مجذور ثانیه است که با نماد m/s^2 نشان داده می شود.

هر دو قسمت این شکل، حرکت شتابدار اتومبیلی را نشان می دهد. در شکل الف شتاب ناشی از افزایش سرعت و در شکل ب ناشی از کاهش سرعت است.

از آنجا که شتاب نیز مانند سرعت کمیتی برداری است، از دانش آموزان بخواهید که علاوه بر بزرگی یا اندازه ی آن به علامت جبری (که در حرکت یک بعدی منظور جهت بردار است) آن نیز توجه کنند. برای مثال چنانچه شتاب حرکت دو ذره در امتداد خط راست به ترتیب ۳ m/s^2 و -۳ m/s^2 باشد، تنها تمایز آن ها در این است که شتاب یکی از ذره ها در جهت مثبت محور و شتاب ذره ی دیگر در جهت منفی محور است.

در مثال ۲-۱۱ نمودار سرعت-زمان یک متحرک معرفی شده است که ضرورت دارد این نمودار در کلاس درس مورد بحث و بررسی قرار گیرد.

انتظار می رود دانش آموزان به این درک برسند که شیب پاره خطی که هر دو نقطه ی دلخواه را روی نمودار $v-t$ به یکدیگر وصل می کند برابر شتاب متوسط متحرک است.

تمرین ۲-۲

با توجه به داده‌های مسئله داریم:

$$\Delta t = 0.5 \text{ s}, v_1 = 1 \text{ cm/s}, v_2 = 99 \text{ cm/s}, \bar{a} = ?$$

از تعریف شتاب متوسط داریم:

$$\bar{a} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

$$= \frac{(99 \text{ cm/s}) - (1 \text{ cm/s})}{0.5 \text{ s}} = 196 \text{ cm/s}^2 = 1.96 \text{ m/s}^2$$

تمرین‌های پیشنهادی

۱- شکل ۵ نمودار سرعت-زمان، متحرکی را نشان

می‌دهد که در امتداد خط راست در حرکت است. اگر شیب

خط عبوری از دو نقطه‌ی نمودار در بازه‌ی زمانی ۲ تا ۸ ثانیه

برابر ۱ باشد،

الف) شتاب متوسط متحرک را پیدا کنید.

ب) سرعت متوسط متحرک در نقطه‌ی B (در لحظه‌ی $t = 8 \text{ s}$) چه قدر

است؟

۲- معادله‌ی سرعت-زمان متحرکی که روی خط راست حرکت می‌کند

در SI به صورت $v = 4t^2 - t + 1$ است. شتاب متوسط متحرک را در ۳ ثانیه‌ی

اول حرکت به دست آورید.

۳- نمودار سرعت-زمان متحرکی که در امتداد خط راست حرکت

می‌کند مطابق شکل ۶ است. شتاب متوسط متحرک را در بازه‌های زمانی

(t_1, t_2) و (t_3, t_4) با هم مقایسه کنید.

۴- در لحظه‌ی معینی، بزرگی سرعت ذره‌ای 18 m/s و در جهت مثبت X

است و $2/4 \text{ s}$ بعد، بزرگی سرعت آن 30 m/s و در جهت مخالف آن است.

شتاب متوسط این ذره در این بازه‌ی $2/4$ ثانیه‌ای چه قدر است؟

فصل دوم، حرکت روی خط راست

شتاب نیز مانند جابه‌جایی و سرعت کمیتی برداری است؛ یعنی هم دارای بزرگی و هم دارای جهت است. علامت جبری شتاب جهت آن را روی یک محور نمایش می‌دهد. شتاب با مقدار مثبت در جهت مثبت محور و شتاب با مقدار منفی در جهت منفی محور است.

مثال ۱-۱

اتومبیلی از حال سکون در امتداد محور X شروع به حرکت می‌کند و پس از ۸ ثانیه سرعت آن به 24 m/s می‌رسد. شتاب متوسط آن را حساب کنید.

حل: با توجه به فرض‌های مسئله و تعریف شتاب متوسط داریم:

$$\Delta v = v_2 - v_1 = (24 \text{ m/s}) - (0) = 24 \text{ m/s}$$

$$\Delta t = 8 \text{ s}$$

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{24 \text{ m/s}}{8 \text{ s}} = 3 \text{ m/s}^2$$

علامت مثبت نشان می‌دهد که شتاب اتومبیل در جهت مثبت محور X است.

مثال ۱-۲

اگر سرعت لحظه‌ای جسمی را که روی یک خط راست حرکت می‌کند مانند شکل ۱۳-۲ بر حسب زمان روی یک نمودار رسم کنیم، نمودار حاصل را نمودار سرعت-زمان یا نمودار v-t می‌نامند.

الف) مزیت نمودار v-t چیست؟
ب) شیب پاره خط AB را در این نمودار به دست آورید و بگویید مقدار به دست آمده نشان‌دهنده‌ی چه کمیتی است؟

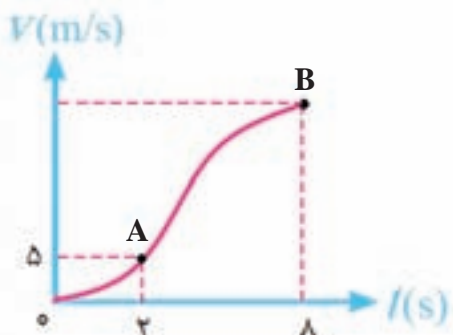
حل: الف) از این نمودار می‌توان سرعت جسم را در هر لحظه معین کرد.
ب) از این نمودار پیداست که شیب پاره خط AB برابر است با:

$$\text{شیب پاره خط AB} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

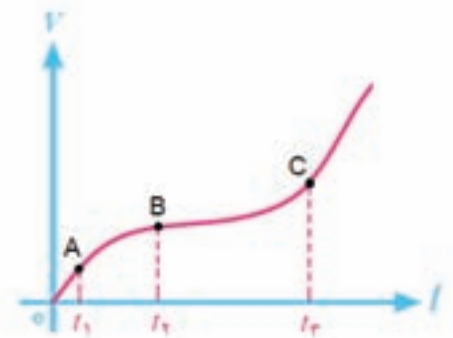
با توجه به تعریف شتاب متوسط، شیب پاره خط AB همان شتاب متوسط جسم در حال حرکت است.

شکل ۱۳-۲ حرکت شتابدار اتومبیل
نمایی از افزایش سرعت (شکل الف) و
نمایی از کاهش سرعت (شکل ب)

شکل ۱۳-۲



شکل ۵



شکل ۶

(راهنمایی: در این مسئله دانش آموز باید با توجه به برداری بودن سرعت و جهت سرعت ذره، هنگام محاسبه‌ی شدت متوسط، علامت جبری مناسبی برای سرعت در دو لحظه‌ی مختلف انتخاب کند.)



زمینه‌ی تاریخی و ارتباط مفاهیم حرکت با یکدیگر

اولین کسی که در درک نوین از مفهوم شتاب سهم عمده‌ای داشت گالیلهو گالیله بود، که سال‌های زیادی را صرف مطالعه‌ی رفتار اجسام متحرک کرد. او در مطالعاتش، علاوه بر استدلال منطقی و ریاضیاتی، از آزمایش‌های ساده و صریح نیز استفاده می‌کرد. مثلاً برای بررسی حرکت اجسام افتان، آن‌ها را روی سطوح شیب‌دار صافی به غلتش در آورد (تا حرکت‌شان کندتر از حالت سقوط آزاد باشد) و با استفاده از روش‌های نادقیق اندازه‌گیری زمان که در آن

دوران موجود بود توانست رابطه‌ی میان مسافت طی شده و زمان سپری شده (یعنی متناسب بودن d با t^2) را پیدا کند. مطالعات گالیله این اعتقاد قدیمی (ارسطویی) را که اجسام سنگین‌تر سریع‌تر از اجسام سبک‌تر (یعنی متناسب با نسبت وزن‌هایشان) سقوط می‌کنند، باطل کرد. گالیله نشان داد که همه‌ی اجسام -البته اگر به یک شکل باشند و مقاومت هوا برایشان فرقی نکند- با آهنگ یکسانی (یعنی با شتاب یکسانی) سقوط می‌کنند. بستگی شتاب سقوط به شکل اجسام از مقاومت هوا ناشی می‌شود. مطالعات گالیله درباره‌ی حرکت یکنواخت (بی شتاب) به کشف قانون لختی منجر شد. او قانون لختی را در مورد اجسام متحرک به این صورت مطرح کرد که اگر جسمی روی سطح افقی نامحدود کاملاً بدون اصطکاک و ایده‌آلی به حرکت در آورده شود، تا ابد به حرکت یکنواختش ادامه خواهد داد. وی همچنین اظهار داشت که اگر جسمی از ارتفاع بسیار زیادی سقوط کند، سرانجام به سرعتی خواهد رسید که در آن مقاومت هوا جاذبه‌ی گرانشی را خنثا می‌کند و از آن پس جسم به طور یکنواخت (با سرعت ثابت) سقوط خواهد کرد. اساس قانون لختی این است که وقتی هیچ نیروی خارجی خالصی بر جسم وارد نشود، حرکت طبیعی آن حرکتی یکنواخت است. اما، این حکم برای ناظر شتابدار (یعنی ناظری که در چارچوب مرجع شتابداری واقع باشد) صادق نیست (در زبان امروزی، برای ارجاع به ناظرانی که نسبت به هم در حرکت‌اند از عبارت «چارچوب مرجع» استفاده می‌کنیم).

چارچوب‌های مرجعی که قانون لختی در آن‌ها صدق می‌کند، چارچوب‌های مرجع لخت نامیده می‌شوند و این که گالیله قانون لختی را روی زمین کشف کرد نشان می‌دهد که زمین هم با تقریب خیلی خوبی یک چارچوب لخت است. گالیله همچنین نشان داد که اگر جسمی در عرشه‌ی کشتی متحرکی رها شود، از نظر مسافران کشتی در راستای

قائم سقوط می کند، اما از نظر کسانی که در ساحل اند این جسم درست همان سرعت افقی کشتی را هم دارد تا همیشه با آن همگام باشد. به این ترتیب، حرکت جسم از نظر ساحل نشینان در مسیری سهمی خواهد بود. حرکت جسم افتان در کشتی، از دید چارچوب مرجع کسانی که در کشتی هستند درست همانند حرکت جسم افتان در ساحل برای ساحل نشینان است. این مشاهده به این نظر می انجامد: در چارچوب مرجعی که در حرکت یکنواخت (نسبت به هر چارچوب لخت) باشد، شکل ریاضی قوانین طبیعت باید درست همانی باشد که در چارچوب لخت هست. (به عبارت دیگر، چارچوبی که حرکت یکنواخت دارد نیز یک چارچوب لخت است). این مفهوم را نسبیت گالیله می گویند.



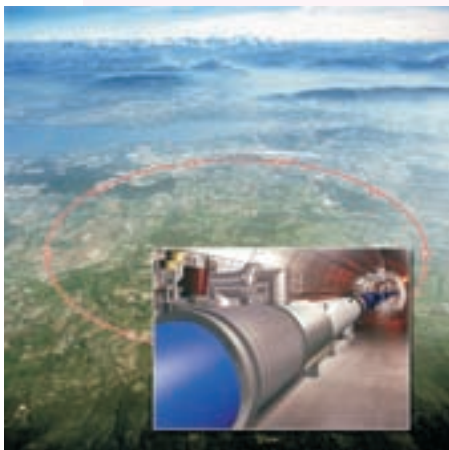
شتاب سنج ها

برای اندازه گیری شتاب، سنجه هایی ساخته شده اند که شتاب سنج نامیده می شوند. در بسیاری از آن ها، از نیروی ظاهری در چارچوب شتابدار استفاده می شود. معمولاً این نیروی ظاهری موجب می شود قطعه ای در شتاب سنج به حرکت در آید، و این تغییر مکان به روش های الکتریکی یا الکترونیکی آشکار سازی می شود. از شتاب سنج ها در کار طراحی اتومبیل بسیار استفاده می شود؛ مثلاً عامل اصلی به کار انداختن کیسه های هوا در اتومبیل ها همین دستگاه شتاب سنج است.



شتاب دهنده ها

مطالعه ای ماده و برهم کنش های آن، معمولاً مستلزم بمباران یک هدف (یا باریکه ای از ذرات) با باریکه ای از ذرات بسیار پرانرژی است. برای شتاب دادن ذرات تا انرژی های بسیار زیاد، انواع متعددی از شتاب دهنده های پیشرفته ساخته شده اند. بعضی از آن ها، مسیرهای بیضی شکلی برای باریکه هایشان دارند که از یک شهر هم بزرگ تر است. بخشی از اطلاعاتی که از این ماشین های عظیم به دست می آید، برای کاوش در ساختار بنیادین ماده و همچنین برای درک شرایط حاکم در لحظات آغازین عالم مورد استفاده قرار می گیرد.

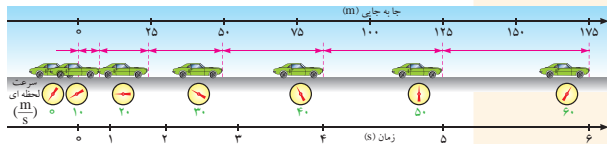


تمرین ۲-۲

شتاب متوسط متحرکی که روی یک خط راست در امتداد محور x حرکت می‌کند. جدول ۲-۲ شتاب متوسط این اتومبیل در چند بازه زمانی دلخواه حساب شده است. همان‌طور که دیده می‌شود شتاب متوسط این اتومبیل در تمام بازه‌های زمانی یکسان است. اگر شتاب متوسط متحرکی در هر بازه‌ی زمانی دلخواه یکسان باشد، شتاب متحرک ثابت و برابر شتاب متوسط است. توجه کنید که در این حرکت تغییر سرعت در هر بازه‌ی زمانی مساوی، یکسان است.

۲-۵ حرکت با شتاب ثابت روی خط راست

شکل ۱۴-۲ اتومبیلی را نشان می‌دهد که روی یک خط راست در امتداد محور x حرکت می‌کند. در جدول ۲-۲ شتاب متوسط این اتومبیل در چند بازه‌ی زمانی دلخواه حساب شده است. همان‌طور که دیده می‌شود شتاب متوسط این اتومبیل در تمام بازه‌های زمانی یکسان است. اگر شتاب متوسط متحرکی در هر بازه‌ی زمانی دلخواه یکسان باشد، شتاب متحرک ثابت و برابر شتاب متوسط است. توجه کنید که در این حرکت تغییر سرعت در هر بازه‌ی زمانی مساوی، یکسان است.



شکل ۱۴-۲ حرکت با شتاب ثابت

به این ترتیب در صورتی که شتاب متوسط متحرک در هر بازه‌ی زمانی دلخواه یکسان باشد، متحرک با شتاب ثابت حرکت می‌کند. پس شتاب در هر لحظه با شتاب متوسط برابر است، یعنی $a = \bar{a}$ با توجه به تعریف شتاب متوسط داریم:

$$a = \bar{a} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

اگر لحظه‌ی t_1 را مبدا زمان انتخاب کنیم، یعنی $t_1 = 0$ ، و سرعت اولیه‌ی متحرک را با v_1 نشان دهیم، خواهیم داشت:

$$a = \frac{v - v_1}{t} \quad \text{یا} \quad v = at + v_1$$

که در آن v سرعت متحرک در لحظه‌ی t است. این معادله را، معادله‌ی سرعت - زمان حرکت با شتاب ثابت روی خط راست می‌نامند.

جدول ۲-۲ شتاب متوسط اتومبیل در چند بازه‌ی زمانی دلخواه

لحظه‌ی آغازی t_1 (s)	لحظه‌ی پایانی t_2 (s)	بازه‌ی زمانی Δt (s)	تغییر سرعت Δv (m/s)	شتاب متوسط $\bar{a} = \Delta v / \Delta t$ (m/s ²)
۰	۱	۱-۰=۱	۱۰-۰=۱۰	۱۰/۱=۱۰
۱	۲	۲-۱=۱	۲۰-۱۰=۱۰	۱۰/۱=۱۰
۲	۳	۳-۲=۱	۳۰-۲۰=۱۰	۱۰/۱=۱۰

فعالیت عملی

بررسی حرکت شتاب ثابت

تشبیه‌سازی

مقایسه‌ی حرکت با سرعت ثابت و شتاب ثابت

مثال ۲-۲

موتور سواری با شتاب ثابت 2 m/s^2 بر مسیری مستقیم از حال سکون شروع به حرکت می‌کند. پس از 10 ثانیه سرعت آن چقدر خواهد شد؟
حل: با توجه به داده‌های مسئله داریم:

$$v = v_0 + at = 0 + (2 \text{ m/s}^2)(10 \text{ s}) = 20 \text{ m/s}$$

حرکت این موتور سوار تند شونده است زیرا همان‌طور که دیده می‌شود سرعت آن با گذشت زمان افزایش یافته است.

مثال ۲-۳

اتومبیلی با سرعت 54 km/h در حرکت است. راننده ترمز می‌کند و اتومبیل پس از مدت 10 ثانیه می‌ایستد. اگر شتاب اتومبیل در این مدت ثابت باشد مقدار آن را حساب کنید.

$$v = v_0 + at \Rightarrow 0 = 54 \text{ km/h} + a(10 \text{ s}) \Rightarrow a = -5.4 \text{ km/h/s}$$

حل: $v = v_0 + at \Rightarrow 0 = 54 \text{ km/h} + a(10 \text{ s}) \Rightarrow a = -5.4 \text{ km/h/s}$
 $t = 10 \text{ s}$ و $v = 0$ و $a = ?$
 $v = at + v_0 \Rightarrow 0 = a(10 \text{ s}) + (15 \text{ m/s}) \Rightarrow a = -1.5 \text{ m/s}^2$
حرکت این اتومبیل کند شونده است زیرا سرعت آن با گذشت زمان کاهش یافته است.

مثال ۲-۴

شکل ۲-۱۵ نمودار سرعت- زمان متحرکی را نشان می‌دهد. الف) چرا شتاب متحرک ثابت است؟
ب) شتاب متحرک و معادله‌ی سرعت- زمان آن را پیدا کنید.
پ) سرعت متحرک در لحظه‌ی $t = 2 \text{ s}$ چقدر است؟

حل: الف) با توجه به معادله‌ی $v = at + v_0$ از آنجا که نمودار $v-t$ متحرک به صورت خطی با شیب ثابت است، شتاب آن نیز باید ثابت باشد.

ب) با توجه به داده‌های روی نمودار شکل ۲-۱۵ داریم:

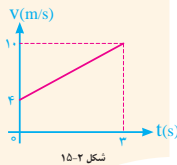
$$v = at + v_0 \Rightarrow 10 \text{ m/s} = a(2 \text{ s}) + (0 \text{ m/s}) \Rightarrow a = 5 \text{ m/s}^2$$

پس معادله‌ی $v-t$ متحرک در SI به صورت $v = 2t + 4$ خواهد شد.

پ) در لحظه‌ی $t = 2 \text{ s}$ داریم:

$$v = (2 \text{ m/s}^2)(2 \text{ s}) + (4 \text{ m/s}) = 8 \text{ m/s}$$

هشدار: بسیار مراقب باشید که شتاب و سرعت را باهم اشتباه نگیرید. سرعت توصیف می‌کند که مکان یک جسم با زمان چگونه تغییر می‌کند؛ می‌گوید که جسم چقدر سریع و در چه جهتی حرکت می‌کند. شتاب توصیف می‌کند که سرعت چگونه با زمان تغییر می‌کند؛ می‌گوید که جهت حرکت و بزرگی سرعت چگونه تغییر می‌کند. به خاطر سپردن این گزاره می‌تواند سودمند باشد که «زنیبا شتاب با سرعت همانند ارتباط سرعت با مکان است».



شکل ۲-۱۵

۲-۵ حرکت با شتاب ثابت روی خط راست

راهنمای تدریس: در ابتدا توجه دانش آموزان را به شکل ۲-۱۴ جلب نمایید و از آن‌ها بخواهید تا ترجیحاً به

طور گروهی آنچه را از این شکل دریافت می‌کنند به بحث بگذارند و سپس آن‌را در کلاس درس مطرح نمایند.

انتظار می‌رود دانش آموزان پس از بحث و بررسی شکل ۲-۱۴ در کلاس درس به این نتیجه برسند که هرگاه

سرعت متحرکی با آهنگ یکسانی افزایش یابد، مثلاً در هر یک ثانیه سرعت به اندازه‌ی 10 m/s افزایش یابد، شتاب

متحرک ثابت است. یعنی شتاب متوسط متحرک در هر بازه، زمانی دلخواه مقدار یکسانی است.

در ادامه معادله‌ی $a = \frac{v - v_0}{t}$ یا $v = at + v_0$ مطابق کتاب درسی برای دانش آموزان معرفی شود و در پی آن

مثال‌های کتاب مورد توجه قرار گیرند.

تمرین‌های پیشنهادی

- الکترونی دارای شتاب ثابت $3/2 \text{ m/s}^2$ است. در لحظه‌ی معینی سرعت آن $9/6 \text{ m/s}$ است. $2/5 \text{ s}$ بعد از این لحظه سرعت آن چه قدر است؟
- فرض کنید یک سفینه‌ی موشکی با شتاب ثابت $9/8 \text{ m/s}^2$ در عمق فضا حرکت می‌کند. اگر سفینه از حالت سکون و در امتداد خط راست شروع به حرکت کند، چه قدر طول می‌کشد تا به سرعت یک دهم سرعت نور برسد؟ (سرعت نور را $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ بگیرید.)
- اتومبیل شما بر اثر ترمز کردن می‌تواند با شتاب $5/2 \text{ m/s}^2$ کند شود. اگر با سرعت 144 km/h در بزرگراه کاشان - اصفهان در حرکت باشید و ناگهان متوجه پلیس شوید، کم‌ترین زمانی که می‌توانید سرعت اتومبیل خود را به زیر سرعت مجاز 120 km/h برسانید چه قدر است؟ (این پاسخ، بی‌فایده‌گی ترمز کردن برای مخفی نگاه داشتن سرعت بالای خود از یک تفنگ لیزری کنترل سرعت را نشان می‌دهد.)

فصل دوم / حرکت روی خط راست

با ساده کردن این رابطه داریم:

$$v^2 - v_0^2 = 2a(x - x_0)$$

این رابطه، معادله سرعت-مکان یا مستقل از زمان در حرکت با شتاب ثابت نامیده می‌شود. در این معادله، مکان جسم در دو وضعیت اختیاری، به سرعت جسم در آن مکان‌ها مربوط شده است. توجه کنید که ترتیب نوشتن مکان‌ها و سرعت‌ها مشابه است. همان‌طور که می‌دانید (x_0, v_0) جایه‌جایی متحرک است.

مثال P-11

قطاری از حال سکون و با شتاب ثابت 0.1 m/s^2 شروع به حرکت می‌کند. پس از جایه‌جایی 1 km ، سرعت قطار چقدر است؟

حل:

$v^2 - v_0^2 = 2ax$ و $x - x_0 = 1 \text{ km} = 1000 \text{ m}$ و $v_0 = 0$ و $a = 0.1 \text{ m/s}^2$

$$v^2 - 0 = 2(0.1)(1000) \Rightarrow v^2 = 200 \Rightarrow v = 14.14 \text{ m/s}$$

تمرین P-12

نمودار $v-t$ متحرکی که بر مسیری مستقیم در امتداد محور x در حرکت می‌کند مطابق شکل ۱۶-۲ است. اگر در $t=0$ متحرک از مبدأ مکان عبور کرده باشد، مطلوب است

(الف) شتاب متحرک،
 (ب) معادله سرعت-زمان متحرک،
 (پ) سرعت متوسط متحرک در 20 ثانیه‌ی اول حرکت،
 (ت) معادله مکان-زمان متحرک.

۶-۲ سقوط آزاد بدون سرعت اولیه

یکی مورد از حرکت بر خط راست با شتاب ثابت، حرکت اجسام در راستای قائم و نزدیک سطح زمین است که آن را **سقوط آزاد** می‌نامند. آزمایش نشان می‌دهد که اگر بتوان اثر مقاومت هوا بر حرکت اجسام را نادیده گرفت، شتاب همه‌ی اجسام در حال سقوط آزاد ثابت و در راستای قائم و به طرف پایین است. اندازه‌ی این شتاب را با g نشان می‌دهیم و مقدار آن تقریباً 9.8 m/s^2 است، که گاهی برای آسان کردن محاسبات، مقدار g را با تقریب برابر 10 m/s^2 می‌گیریم. در این کتاب تنها حرکت سقوط آزاد بدون سرعت اولیه ($v_0=0$) و با نادیده گرفتن مقاومت هوا بررسی می‌شود. چون جسم در سقوط آزاد در راستای قائم حرکت می‌کند، برای تعیین مکان، سرعت و شتاب

معادله‌ی مکان-زمان: علاوه بر معادله سرعت-زمان که با آن آشنا شدیم، معادله‌ی مکان-زمان نیز در توصیف و حل مسائل حرکت با شتاب ثابت مفید است. از آنجا که در حرکت با شتاب ثابت، سرعت متوسط متحرک در دو لحظه‌ی دلخواه برابر $\bar{v} = \frac{v_0 + v}{2}$ است، داریم

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \Rightarrow \Delta x = \left(\frac{v_0 + v}{2} \right) \Delta t$$

$$\bar{v} = \frac{v_0 + v}{2}$$

اگر در لحظه‌ی $t=0$ مکان اولیه‌ی متحرک x_0 و سرعت آن v_0 و همچنین در لحظه‌ی t مکان متحرک x و سرعت آن v باشد، داریم:

$$x = \left(\frac{v_0 + v}{2} \right) t + x_0$$

با جای گذاری $v = at + v_0$ در رابطه‌ی بالا داریم:

$$x = \left(\frac{at + v_0 + v_0}{2} \right) t + x_0$$

$$x = \frac{1}{2} at^2 + v_0 t + x_0$$

به این رابطه، معادله‌ی مکان-زمان یا مستقل از سرعت در حرکت با شتاب ثابت می‌گویند. همان‌طور که دیده می‌شود معادله‌ی مکان-زمان در حرکت با شتاب ثابت تابعی درجه دوم از زمان است.

مثال P-13

معادله‌ی مکان-زمان متحرکی در SI به صورت زیر است:

$$x = 2t^2 + 1$$

(الف) شتاب، سرعت اولیه و مکان اولیه‌ی متحرک را تعیین کنید.
 (ب) سرعت متحرک در لحظه‌ی $t=2 \text{ s}$ چقدر است؟
 (ج) الف) با مقایسه‌ی این معادله با معادله‌ی مکان-زمان حرکت با شتاب ثابت داریم:

با استفاده از معادله‌ی سرعت-زمان داریم:

$$a = 2 \text{ m/s}^2 \quad \text{و} \quad v_0 = 0 \text{ m/s} \quad \text{و} \quad x_0 = 1 \text{ m}$$

(ب) با استفاده از معادله‌ی سرعت-زمان داریم:

$$v = at + v_0 = (2 \text{ m/s}^2)(2 \text{ s}) + 0 \text{ m/s} = 4 \text{ m/s}$$

معادله‌ی سرعت-مکان: برای یافتن t از معادله‌ی سرعت-زمان داریم:

$$v = at + v_0 \Rightarrow t = \frac{v - v_0}{a}$$

با جای گذاری t در معادله‌ی مکان-زمان خواهیم داشت:

$$x = \frac{1}{2} at^2 + v_0 t + x_0 = \frac{1}{2} a \left(\frac{v - v_0}{a} \right)^2 + v_0 \left(\frac{v - v_0}{a} \right) + x_0$$


حکیم ابن سینا (۳۵۹ شمسی - ۴۲۸ شمسی) که در غرب به اویسیس (Avicenna) معروف است، در رشته تریپک بخارا متولد شد و در همان وقت یافت. پرورش کارمند حکومت وقت بود و خاندان‌های محل ملاقات و گفتگوهای علاقه‌مندان علم و کمال او. هوش سرشاری داشت و به سرعت علوم زمان خود را فراگرفت و از ۱۶ سالگی به کارهای پرداخت.

این سینا در علوم گوناگون زمانه خود تالیف‌های بسیاری دارد و آثار و متناوب از ۲۴۰ عنوان است. مهم‌ترین اثر فلسفی ابن سینا کتاب «فنا» است که دانش‌نامه‌ی فلسفی است که چهار بخش شامل منطق، طبیعیات (فیزیک)، ریاضیات (هندسه، حساب، موسیقی و نجوم) و فقه الهیات (تئولوژیک) است. این کتاب هم‌چون دانش‌نامه‌ی پدافتی فیزیک را معادله‌ی اجسام متحرک می‌نامند. «فنا» که در آن سینا مقدمه‌ی «فنا» که «فنا» که جسم‌های گوناگون بر سه نوع اند بر می‌تابد نوع اول فنی است که در همه‌ی اجسام سریان دارد و کمالات شکل، مکان طبیعی و اتصال آن‌ها را حفظ می‌کند اگر اجسام از مکان طبیعی خود را از دست دهند این نوع شکل طبیعی خود را از دست می‌دهد این نوع وضع پیشین برنشان می‌کشد و بدان وضع نگه‌داری می‌ماند و این امر بدون معرفت و قصد اختیاری صورت می‌گیرد» او هم چنین می‌گوید: «سکون فغان حرکت باشد تا اجسامی که باقیه برپای حرکت باشند تا بر این سکون را نمی‌توان صرفاً فنی حرکت

معادله‌ی مکان - زمان و سرعت - زمان

راهنمای تدریس: در این قسمت معادله‌ی مکان - زمان و سرعت - زمان را در حرکت با شتاب ثابت مطابق آنچه در کتاب درسی آمده استخراج کنید. لازم است توضیح داده شود که شیوه‌ی استخراج این معادله‌ها نباید مورد ارزشیابی قرار گیرد.

تمرین ۲-۲

الف) با توجه به این که در $t=0$ ، $v=10\text{ m/s}$ و در $t=20\text{ s}$ داریم $v=0$ ، خواهیم داشت:

$$v = at + v_0 \Rightarrow \begin{cases} (10\text{ m/s}) = 0 + v_0 \\ 0 = 20a + v_0 \end{cases}$$

به این ترتیب $v_0 = 10\text{ m/s}$ و $a = -\frac{1}{2}\text{ m/s}^2$

$$v = -\frac{1}{2}t + 10 \quad \text{ب)}$$

پ) چون حرکت با شتاب ثابت است داریم:

$$\bar{v} = \frac{v + v_0}{2} = \frac{0 + 10\text{ m/s}}{2} = 5\text{ m/s}$$

توجه کنید در $t=20\text{ s}$ سرعت متحرک صفر است.

$$x = \frac{1}{4}t^2 + t = 10t$$

توجه کنید که $x_0 = 0$.

تمرین‌های پیشنهادی

۱- معادله‌ی سرعت - زمان متحرکی در SI به صورت $v = 4t + 8$ است. سرعت متوسط متحرک در ۴ ثانیه‌ی اول حرکت چه قدر است؟

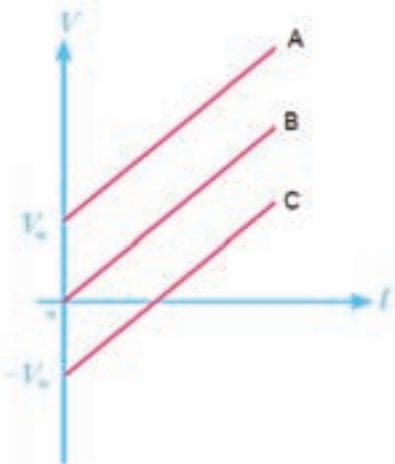
۲- متحرکی در مسیری مستقیم با شتاب ثابت حرکت می‌کند. سرعت اولیه و شتاب این متحرک به ترتیب 8 m/s و 8 mm/s^2 است. سرعت متوسط متحرک در ثانیه‌ی اول حرکت چند m/s است؟

۳- اتومبیلی از حال سکون و با شتاب ثابت شروع به حرکت می‌کند و پس از ۴ ثانیه سرعت آن به 36 km/h می‌رسد.

الف) معادله‌ی سرعت - زمان اتومبیل را بنویسید.

ب) نمودار سرعت - زمان اتومبیل را رسم و سرعت آن را ۸ ثانیه پس از شروع حرکت پیدا کنید.

۴- نمودار $v-t$ سه متحرک، که با شتاب ثابت در مسیر مستقیم حرکت می‌کنند، مطابق شکل ۷ است. معادله‌ی سرعت - زمان هر متحرک را بنویسید.



شکل ۷

۲-۶ سقوط آزاد بدون سرعت اولیه

راهنمای تدریس: برای شروع تدریس این قسمت باید اطمینان یابید که دانش آموزان با حرکت شتاب ثابت در

امتداد خط راست به خوبی آشنا شده‌اند و قادرند مفاهیم و مسائل مرتبط به آن را دریابند و حل نمایند. پس از آن باید توجه دانش‌آموزان را به این نکته جلب نمایید که حرکت سقوط آزاد نمونه‌ای از حرکت با شتاب ثابت است. درک این موضوع و تبیین آن برای دانش‌آموزان اهمیت به‌سزایی دارد. از آنجا که در این کتاب تنها مورد خاصی از حرکت سقوط آزاد بررسی می‌شود و همان‌طور که در کتاب درسی نیز تأکید شده است از همکاران ارجمند انتظار می‌رود که تنها حرکت سقوط آزاد مربوط به جسمی که بدون سرعت اولیه ($v_0 = 0$) از ارتفاع مشخصی رها می‌شود مورد بررسی قرار گیرد. سایر موارد نه در برنامه‌ی درسی این کتاب مورد توجه است و نه زمان تدریس و سطح دانش‌آموزان این کتاب آن را می‌طلبد.

در حرکت سقوط آزاد، پس از این که دانش‌آموزان متوجه شدند این حرکت، نوعی حرکت با شتاب ثابت است و مقدار شتاب آن نیز در حوالی سطح زمین حدود $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ است، به معرفی معادله‌های آن برای حالت خاص ذکر شده پردازید. همان‌طور که در کتاب نیز آمده است این معادله‌ها عبارت‌اند از: (با فرض $v_0 = 0$ و $y_0 = 0$ و جهت مثبت رو به بالا):

$$v = -gt$$

$$y = -\frac{1}{2}gt^2$$

$$v^2 = -2gy$$

شکل ۱۷-۲

جسم، مانند شکل ۲-۱۷، از یک محور قائم استفاده می‌کنیم و روی آن در یک‌سوی، مثلاً به طرف بالا، را مثبت انتخاب می‌کنیم.

اگر جسمی در لحظه‌ی $t = 0$ از مبدأ مکان ($y_0 = 0$) رها شود، یعنی $(v_0 = 0)$ ، معادله‌های حرکت سقوط آزاد جسم به ترتیب زیر است:

$$v = -gt$$

$$y = -\frac{1}{2}gt^2$$

$$v^2 = -2gy$$

توجه کنید که چون جهت شتاب در سقوط آزاد به طرف پایین است و سوی مثبت محور قائم به طرف بالا انتخاب شده است، در معادله‌های حرکت با شتاب ثابت در امتداد محور x به جای $g \rightarrow a$ و $y \rightarrow x$ جای‌گذاری شده است. دوباره تأکید می‌شود که در این کتاب تنها سقوط آزاد بدون سرعت اولیه، ($v_0 = 0$)، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

مثال ۱۷-۲

گلوله‌ای از طبقه‌ی ششم ساختمانی رها می‌شود. مطلوب است ($g = 10 \text{ m/s}^2$) الف) مکان و سرعت گلوله ۱s پس از سقوط آزاد. ب) اگر گلوله پس از ۳ ثانیه به زمین برخورد کند، فاصله‌ی گلوله را، پیش از رها شدن از سطح زمین، پیدا کنید.

حل: الف)

$$y = -\frac{1}{2}gt^2 = -\frac{1}{2} \times (10 \text{ m/s}^2)(1\text{s})^2 = -5\text{m}$$

$$v = -gt = -(10 \text{ m/s}^2)(1\text{s}) = -10 \text{ m/s}$$

توجه کنید چون مبدأ مکان را محل رها شدن گلوله و سوی مثبت محور قائم به طرف بالا انتخاب شده است، y و v هر دو با علامت منفی به دست آمده‌اند.

ب)

$$y = -\frac{1}{2}gt^2 \Rightarrow -\frac{1}{2}(10 \text{ m/s}^2)(t\text{s})^2 = -45\text{m}$$

به این ترتیب ارتفاع گلوله پیش از رها شدن از سطح زمین برابر 45m است.

مثال ۱۸-۲

جسمی را از ارتفاع ۱۲۵ متری بالای سطح زمین رها می‌کنیم. مطلوب است ($g = 10 \text{ m/s}^2$)، الف) زمان سقوط آزاد جسم، ب) سرعت متوسط سقوط آزاد جسم، ج) جابه‌جایی جسم را بین دو لحظه‌ی $t_1 = 3\text{s}$ و $t_2 = 4\text{s}$ پیدا کنید.

سبب‌سازی

حرکت سقوط آزاد

تأکید می‌شود سعی نمایید اهمیت انتخاب جهت حرکت را به منظور حل مسائل سقوط آزاد برای دانش‌آموزان به خوبی تبیین کنید. معادله‌های کتاب درسی با این فرض که جهت رو به بالا مثبت است نوشته شده‌اند. با این فرض شتاب حرکت $a = -g$ است که در آن $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ و در نتیجه $a = -9.8 \text{ m/s}^2$ خواهد بود.

تمرین ۲-۳

از رابطه‌ی $y = -\frac{1}{2}gt^2$ داریم:

$$y = -\frac{1}{2} \times (10 \text{ m/s}^2) (10 \text{ s})^2 = -500 \text{ m}$$

چون مبدأ حرکت را محل رها شدن جسم اختیار کرده‌ایم ($y_0 = 0$)، لذا علامت منفی در $y = -500 \text{ m}$ به معنای آن است که جسم نسبت به مبدأ ۵۰۰ متر حرکت کرده تا به سطح زمین رسیده است.

از رابطه $v = -gt$ داریم:

$$v = - (10 \text{ m/s}^2)(10 \text{ s}) = -100 \text{ m/s}$$

علامت منفی نشان می‌دهد که جهت سرعت جسم به طرف پایین است.

فصل دوم / حرکت روی خط راست

حل: الف) با توجه به شکل ۱۸-۲ داریم

$$y = -\frac{1}{2}gt^2$$

$$-120 \text{ m} = -\frac{1}{2} \times (10 \text{ m/s}^2) t^2$$

$$t^2 = 24 \Rightarrow t = 5 \text{ s}$$

توجه کنید زمان همواره مقداری مثبت است.
ب) با توجه به تعریف سرعت متوسط داریم:

$$\bar{v} = \frac{\Delta y}{\Delta t} = \frac{-120 \text{ m}}{5 \text{ s}} = -24 \text{ m/s}$$

علامت منفی نشان می‌دهد جهت سرعت متوسط جسم به طرف زمین و بر خلاف راستای مثبت محور y است.
پ) جایه‌جایی جسم از شروع حرکت تا لحظه‌ی $t = 3 \text{ s}$ برابر است با:
 $y_1 = -\frac{1}{2} \times (10 \text{ m/s}^2)(3 \text{ s})^2 = -45 \text{ m}$
جایه‌جایی جسم از شروع حرکت تا لحظه‌ی $t = 4 \text{ s}$ برابر است با:
 $y_2 = -\frac{1}{2} \times (10 \text{ m/s}^2)(4 \text{ s})^2 = -80 \text{ m}$
به این ترتیب جایه‌جایی متحرک بین دو لحظه‌ی t_1 و t_2 برابر است با:
 $\Delta y = y_2 - y_1 = (-80 \text{ m}) - (-45 \text{ m}) = -35 \text{ m}$

شکل ۱۸-۲

بیش تر بدانید

زمان تعلق

تمرین ۳-۳

گلوله‌ای را باید از چه ارتفاعی رها کنیم تا پس از ۱۰ ثانیه به زمین برسد؟ سرعت گلوله در لحظه‌ی برخورد به زمین چقدر است؟ ($g = 10 \text{ m/s}^2$)

۲۳

تمرین‌های پیشنهادی

۱- گربه‌ای از لبه‌ی پنجره‌ای پایین می‌پرد و ظرف مدت ۰/۵ ثانیه به زمین می‌افتد (با فرض نادیده گرفتن مقاومت هوا و $g = 10 \text{ m/s}^2$):

الف) بزرگی سرعت برخورد گربه به زمین چه قدر است؟

ب) سرعت متوسط گربه در طول این ۰/۵ s چه قدر است؟

پ) فاصله‌ی لبه‌ی پنجره تا سطح زمین چه قدر است؟

۲- گلوله‌ای را از ارتفاع ۴۰ متری سطح زمین رها می‌کنیم. با فرض ($g = 10 \text{ m/s}^2$):

الف) گلوله پس از چه مدت به زمین می‌رسد؟

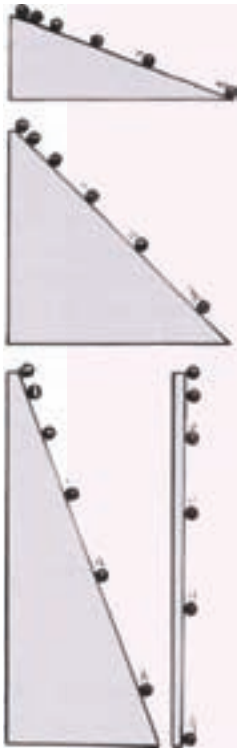
ب) سرعت آن در لحظه‌ی برخورد به زمین چه قدر است؟

پ) سرعت متوسط گلوله در مدت این حرکت چه قدر است؟

ت) مسافتی که گلوله در دو ثانیه‌ی آخر حرکت خود طی می‌کند چه قدر است؟



شتاب روی سطح‌های شیب‌دار گاليله



گاليله با آزمایش‌های روی سطح شیب‌دار مفهوم شتاب را به وجود آورد. موضوع مورد علاقه‌ی او اجسام افتان بود و چون وسیله‌ی سنجش مناسبی برای زمان نداشت، عملاً از سطح‌های شیب‌دار استفاده کرد تا حرکت شتاب‌دار را کند و آن را با دقت بیشتری بررسی کند.

گاليله دریافت اندازه‌ی سرعت گویی که روی سطح شیب‌دار به سمت پایین می‌غلتد در ثانیه‌های متوالی به یک اندازه افزایش می‌یابد؛ یعنی غلتش با شتاب بدون تغییر صورت می‌گیرد. مثلاً شاید معلوم شود اندازه‌ی سرعت گوی غلتان روی سطحی با زاویه‌ی شیب معین به ازای هر ثانیه غلتیدن ۲ متر در ثانیه زیاد می‌شود. این افزایش سرعت در ثانیه شتاب آن است. سرعت لحظه‌ای آن در این بازه‌های ۱ ثانیه‌ای عبارت است از: ۰، ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۰ متر در ثانیه و به همین ترتیب تا آخر. می‌توان دید که اندازه‌ی سرعت لحظه‌ای یا سرعت گوی در هر زمان پس از رها شدن از حال سکون صرفاً برابر شتاب آن ضرب در زمان است.

$$\text{زمان} \times \text{شتاب} = \text{سرعت حاصل}$$

اگر شتاب گوی را در این رابطه بگذاریم (2 m/s^2) می‌بینیم که در پایان ۱ ثانیه، گوی با سرعت

۲ متر در ثانیه؛ در پایان ۲ ثانیه با سرعت ۴ متر در ثانیه و در پایان ۱۰ ثانیه با سرعت ۲۰ متر در ثانیه و ... حرکت می‌کند. اندازه‌ی سرعت یا سرعت لحظه‌ای گوی در هر زمان معین پس از رها شدن از حال سکون صرفاً برابر حاصل ضرب شتاب در ثانیه‌هایی است که گوی شتاب گرفته است.

گاليله برای سطح‌های با شیب بیشتر شتاب‌های بیشتری به دست آورد. گوی وقتی بیشترین شتاب را به دست می‌آورد که سطح به صورت عمودی قرار بگیرد. در این صورت شتاب جسم با جسم در حال سقوط آزاد برابر می‌شود (شکل بالا). گاليله کشف کرد، بدون توجه به وزن یا اندازه‌ی جسم، اگر مقاومت هوا آن قدر کم باشد که بتوان آن را نادیده گرفت، تمام اجسام با شتاب ثابت و یکسانی سقوط می‌کنند.



زمان تعلیق

برخی ورزشکاران توانایی پرش زیادی دارند. چنان مستقیماً بالا می‌جهند که گویی با سرپیچی از نیروی گرانش «در هوا معلق» اند. اگر از دوستان خود بخواهید که «زمان تعلیق» ورزشکاران معروف را برآورد کنند، شاید بگویند



زمانی که ورزشکار در هواست و پاهایش از زمین فاصله دارند دو یا سه ثانیه است. اما شگفت آن که زمان معلق بودن قهرمانان بزرگ همواره کمتر از ۱ ثانیه بوده است؛ زمان طولانی‌تر یکی از توهم‌های بی‌شمار ما از طبیعت است.

توهم دیگر مربوط به ارتفاع عمودی است که یک انسان می‌تواند بپرد. اغلب هم کلاسی‌های شما احتمالاً نمی‌توانند بیش از ۰/۵ متر بالا بپرند.

آن‌ها می‌توانند از حصار ۰/۵ متری بپرند، اما برای این کار بدنشان فقط اندکی بالا می‌رود. ارتفاع مانع با ارتفاع «گرانیکاه» کسی که می‌پرد تفاوت دارد. بسیاری از افراد می‌توانند از حصاری یک متری بپرند، ولی به ندرت کسی می‌تواند «گرانیکاه» بدن خود را ۱ متر بالا ببرد. حتی مایکل جوردن (Michael Jordan)، ستاره‌ی معروف

بسکتبال، در اوج کار خود نمی‌توانست بدنش را ۱/۲۵ متر بالا ببرد، گرچه به راحتی می‌توانست به بالاتر از ارتفاع ۳ متری سبب برسد.

بهترین شیوه‌ی اندازه‌گیری قابلیت پرش، پرش عمودی ایستاده است. مقابل یک دیوار بایستید و پاهای خود را صاف روی زمین بگذارید و دست‌های خود را بالا ببرید. بالاترین نقطه‌ای که می‌توانید به آن برسید علامت‌گذاری کنید. سپس بالا بپرید و در نقطه‌ی اوج خود علامتی بگذارید. فاصله‌ی بین این دو علامت، جهش عمودی شما را نشان می‌دهد. اگر این مقدار بیش از ۰/۶ متر باشد، استثنایی هستید.

فیزیک مسئله به این قرار است. وقتی بالا می‌پرید، نیروی پرش فقط وقتی اعمال می‌شود که پای شما با زمین در تماس باشد. هرچه این نیرو بزرگ‌تر باشد، اندازه‌ی سرعت پرتاب شما بیشتر است و بالاتر می‌پرید، سرعت بالاسوی شما بلافاصله با آهنگ ثابت $-g$ یا -۱۰ m/s^2 کاهش می‌یابد. اندازه‌ی سرعت بالاسوی شما در نقطه‌ی اوج پرش صفر می‌شود. سپس شروع به افتادن می‌کنید و درست با همان آهنگ g ، شتاب می‌گیرید. اگر همان‌طور که بالا رفتید، ایستاده و با پاهای کشیده، فرود بیابید زمان صعود شما با زمان سقوط برابر می‌شود. زمان تعلیق، زمان بالا رفتن به علاوه‌ی زمان پایین آمدن است. وقتی در هوا هستید، هیچ‌گونه بالا و پایین بردن دست و پا یا حرکت‌های بدنی دیگر نمی‌توانند زمان تعلیق شما را تغییر دهند.

رابطه‌ی بین زمان بالا و پایین رفتن و ارتفاع عمودی به صورت زیر است:

$$d = \frac{1}{2} g t^2$$

اگر ارتفاع عمودی d را بدانیم، می‌توانیم با تغییر ترتیب این عبارت آن را به صورت زیر در آوریم:

$$t = \sqrt{\frac{2d}{g}}$$

اسپود وب (Spud Webb)، ستاره‌ی بسکتبال امریکایی، رکورددار پرش عمودی ایستاده‌ی ۱/۲۵ متر در سال ۱۹۸۶ است.^۱ این ارتفاع در آن هنگام رکورد جهانی بود. بگذارید از ارتفاع ۱/۲۵m برای d، و مقدار دقیق تر $۹/۸ \text{ m/s}^2$ برای g استفاده کنیم. با حل آن برای t، نصف زمان تعلیق را به دست می‌آوریم:

$$t = \sqrt{\frac{2d}{g}} = \sqrt{\frac{2(1/25\text{m})}{9/8\text{m/s}^2}} = 0.5\text{s}$$

این زمان را دو برابر کنید (زیرا فقط به یک طرف این رفت و برگشت مربوط می‌شود) و مشاهده می‌کنیم که زمان تعلیق اسپود رکوردشکن ۱ ثانیه می‌شود.

در اینجا از حرکت عمودی صحبت می‌کنیم. اما پرش‌های در حین دویدن چطور؟ زمان تعلیق فقط به سرعت عمودی شخص در آغاز پرش بستگی دارد. در حال پرواز، اندازه‌ی سرعت افقی کسی که در حال پرش است ثابت می‌ماند، در حالی که اندازه‌ی سرعت عمودی او شتاب می‌گیرد. فیزیک هیجان‌انگیز!

تمرین‌های پیشنهادی

۱- این آزمایش را توضیح دهید. هنگامی که یک صفحه‌ی کاغذ را به طرف زمین رها می‌کنیم بسیار آهسته پایین می‌آید، اما هنگامی که همان صفحه کاغذ را مچاله کنیم و به صورت گلوله در آوریم با شتاب بسیار زیاد به طرف زمین سقوط می‌کند.

۲- شخصی برای دوچرخه سواری از خانه بیرون می‌رود. اگر رفت و برگشت او در چهار مرحله انجام شود:

الف) از خانه برای مدت یک ساعت با سرعت ۱۸ km/h در امتداد مسیر مستقیم حرکت می‌کند.

ب) یک سر بالایی را در مدت نیم ساعت با سرعت ۹ km/h می‌پیماید.

پ) نیم ساعت برای خوردن نهار توقف می‌کند.

ت) در پایان از مسیر دیگری که برابر ۲۵ km است با سرعت ۱۵ km/h به خانه باز می‌گردد.

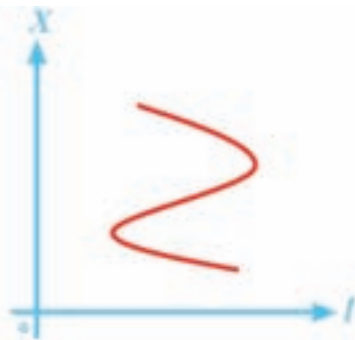
نموداری رسم کنید که تغییرات مکان بر حسب زمان دوچرخه سوار را نشان دهد.

۳- آیا شکل ۸ می‌تواند بیانگر نمودار مکان - زمان یک متحرک باشد؟ توضیح دهید.

۴- مختصات متحرکی که روی خط راست در حرکت است در چند لحظه‌ی مختلف

مطابق جدول زیر است:

t (s)	۰	۲	۴	۷	۸
x (m)	۳	۵	۰	-۴	-۱



شکل ۸

۱. مقدار $۱/۲۵ \text{ m}$ برای d بیانگر بیشینه‌ی ارتفاع گرانیگاه قهرمان است نه ارتفاع میله. در تعیین قابلیت پرش ارتفاع، گرانیگاه کسی که می‌پرد اهمیت دارد، درباره‌ی گرانیگاه در فصل ۸ بحث خواهیم کرد.

الف) بردارهای مکان متحرک را در هر یک از لحظه‌های داده شده رسم کنید.

ب) جابه‌جایی متحرک را در ۴ ثانیه اول حرکت و همچنین در ۴ ثانیه دوم حرکت حساب کنید.

۵- معادله‌ی حرکت متحرکی روی خط راست در SI، با رابطه‌ی زیر بیان می‌شود:

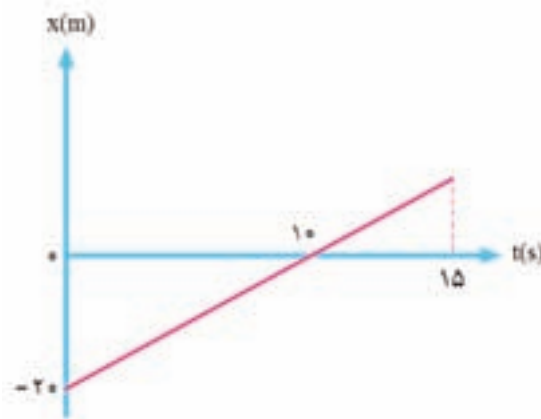
$$x = -5t + 4$$

الف) بردار مکان جسم را در لحظه‌های $t = 0, 1, 2$ ثانیه روی محور x نمایش دهید.

ب) نمودار مکان-زمان آن را رسم کنید.

۶- نمودار مکان-زمان متحرکی که روی مسیری مستقیم حرکت می‌کند مطابق شکل ۹ است. مکان متحرک را

در لحظه‌ی $t = 15$ s پیدا کنید.



شکل ۹

۷- با افزایش بزرگی سرعت جسم در سقوط آزاد، آیا شتاب آن نیز افزایش می‌یابد؟

۸- شخصی از روی پلی که بالای رودخانه‌ای قرار دارد به طرف پایین سقوط می‌کند. پیش از برخورد شخص به

آب، ارتفاعی را در مدت ۴ s می‌پیماید. اگر شتاب گرانش 10 m/s^2 باشد، ارتفاع پل از آب چه قدر است؟

۹- طول منطقه پرواز یک فرودگاه کوچک ۲۵۰ m است. کم‌ترین سرعت پرواز یک هواپیمای سبک برابر 30 m/s

است. کم‌ترین شتابی که هواپیما می‌تواند پرواز کند چه قدر است؟

۱۰- موتور سیکلتی، با شتاب $1/5 \text{ m/s}^2$ شروع به حرکت می‌کند. سرعت آن پس از ۵ s چه قدر است؟



راهنمای پاسخ‌یابی پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۲

پرسش‌های مفهومی

۱- با نظر به این که حرکت یکنواخت بر خط راست فرض شده است، لذا سرعت متوسط متحرک در هر بازه‌ی زمانی دلخواه با سرعت متحرک در هر لحظه برابر است. به عبارت دیگر در حرکت یکنواخت بر خط راست تمایزی بین سرعت متوسط و سرعت لحظه‌ای وجود ندارد. برای مثال اگر سرعت متحرک 4 m/s و جهت آن طرف راست باشد، سرعت متوسط آن نیز در هر بازه‌ی زمانی دلخواه همین مقدار خواهد بود. همچنین بهتر است توجه دانش‌آموزان را به نمودار شکل ۲-۱۹ کتاب درسی جلب کنید.

۲- الف) راستای، سوی

ب) منطبق

پرسش‌های مفهومی

۱- در حرکت یکنواخت بر خط راست، سرعت متوسط متحرک در هر بازه‌ی زمانی دلخواه چه رابطه‌ای با سرعت متحرک در هر لحظه دارد؟

۲- در هریک از عبارات‌های زیر، واژه‌ی را از داخل پرانتز که جمله را درست بیان می‌کند، انتخاب کنید.
الف) در حرکت روی خط راست (راستای، جهت) بردار مکان ثابت می‌ماند و تنها (سوی، امتداد) آن می‌تواند تغییر کند.

ب) اگر جسمی روی خط راست حرکت کند، معمولاً مبداء مختصات را روی خطی که جسم بر آن حرکت می‌کند در نظر می‌گیرند. در این صورت بردارهای مکان و جابه‌جایی بر آن خط (منطبق، عمود) هستند.

۳- در نمودار $X-t$ شکل ۱۹-۲ سرعت متوسط متحرک را که در امتداد محور X حرکت می‌کند در بازه‌های (t_1, t_2) و (t_2, t_3) با هم مقایسه کنید.

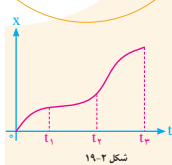
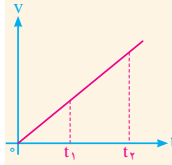
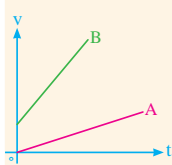
۴- الف) در حرکت یکنواخت روی خط راست شتاب حرکت چقدر است؟
ب) شکل ۲-۲۰ نمودار سرعت- زمان متحرکی است که روی خط راست حرکت می‌کند. شتاب متحرک را در دو لحظه‌ی t_1 و t_2 با هم مقایسه کنید.


۵- نمودار $V-t$ دو متحرک A و B در شکل ۲۱-۲ نشان داده شده است. شتاب این دو متحرک را با هم مقایسه کنید.

مسئله‌ها

۱- متحرکی روی خط راست در حرکت است. معادله‌ی مکان- زمان این متحرک به صورت $x = 2t^3$ است که در آن x بر حسب متر و t بر حسب ثانیه است.
الف) نمودار مکان- زمان این متحرک را رسم کنید.
ب) مکان متحرک را در دو لحظه‌ی $t_1 = 0$ و $t_2 = 3\text{s}$ و همچنین جابه‌جایی آن را بین این دو لحظه به دست آورید.

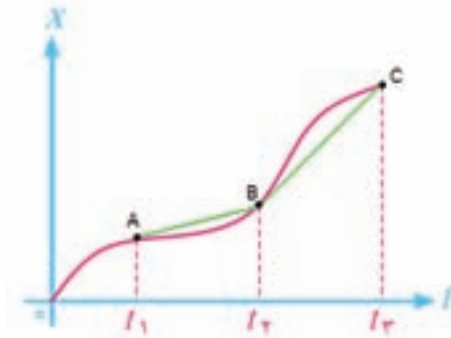
۲- دوندگی در لحظه‌ی $t = 0$ (مبداء زمان) در مکان 12m و در لحظه‌ی $t = 4\text{s}$ در مکان 24m است (شکل ۲-۲۲).



شکل ۲۲-۲

۳- با توجه به این که شیب پاره خط AB کم‌تر از شیب پاره خط BC است (شکل ۱۰)، نتیجه می‌شود که سرعت متوسط در بازه‌ی زمانی (t_1, t_2) از سرعت متوسط متحرک در بازه‌ی زمانی (t_2, t_3) کم‌تر است.



شکل ۱۰

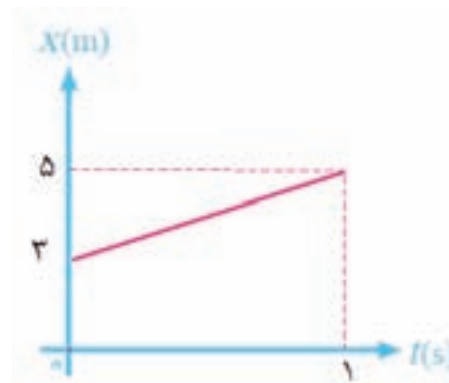
۴- الف) چون سرعت متحرک در حرکت یکنواخت روی خط راست ثابت است، بنابراین شتاب آن صفر است. ب) دانش‌آموزان در مثال ۲-۱۱ متوجه شدند که شیب نمودار $v-t$ برابر شتاب متوسط است. از آنجا که در نمودار شکل ۲-۲۱ شیب نمودار مربوط به دو متحرک ثابت مانده، یعنی حرکت با شتاب ثابت است. چون شیب نمودار در تمام لحظه‌ها، از جمله در دو لحظه‌ی t_1 و t_2 ثابت مانده و تغییری نکرده است نتیجه می‌شود که شتاب حرکت ثابت است.

۵- با توجه به توضیح قسمت (ب) پرسش ۴، شتاب متحرک B بزرگ‌تر از شتاب متحرک A است.

مسئله‌ها

۱- الف) معادله‌ی مکان - زمان متحرک $x = 2t + 3$ ، در واقع یک معادله‌ی خط است که دانش‌آموزان در دوره‌ی راهنمایی با رسم معادله‌ی خط آشنا شده‌اند. در اینجا نیز کافی است با یافتن مکان متحرک در دو لحظه‌ی دل‌خواه، مثلاً $t = 0$ و $t = 1$ s، نمودار مکان - زمان آن را رسم کنند (شکل ۱۱).

t (s)	x (m)
0	3
1	5



شکل ۱۱

فصل دوم / حرکت روی خط راست

الف) بردارهای مکان دونده را در هر لحظه رسم کنید.
 ب) بردار جابه‌جایی دونده را در بازه‌ی زمانی رسم و اندازه‌ی آن را پیدا کنید.
 ۳- نمودار مکان-زمان متحرکی که روی خط راست حرکت می‌کند مطابق شکل ۲۳-۲ است. سرعت متوسط متحرک را در ۵ ثانیه‌ی اول و همچنین ۵ ثانیه‌ی دوم حرکت به دست آورید.

۴- معادله‌ی مکان-زمان ذراتی که در امتداد محور X حرکت می‌کند به صورت $x = At^2 - Bt + C$ است. که در آن X بر حسب متر و t بر حسب ثانیه است.
 الف) ضرایب‌های ثابت A، B، و C در SI چه یگانه‌ی دارند؟
 ب) اگر مقادیر A، B، و C به ترتیب ۱، ۴، و ۳ باشد، جابه‌جایی و سرعت متوسط ذره در ۴ ثانیه‌ی اول حرکت چقدر است؟
 ۵- متحرکی که روی خط راست حرکت می‌کند بین دو لحظه‌ی $t_1 = 2s$ و $t_2 = 10s$ به ترتیب در فاصله‌های Δm و δm از مبدأ قرار دارد. سرعت متوسط متحرک بین این دو لحظه چقدر است؟
 ۶- سرعت موتورسواری در لحظه‌ی $t = 2s$ برابر $36 km/h$ و در لحظه‌ی $t = 8s$ برابر $54 km/h$ است. شتاب متوسط این موتورسوار چقدر است؟
 ۷- اتومبیلی از حال سکون و با شتاب ثابت در امتداد خط راست شروع به حرکت می‌کند و پس از ۳ ثانیه سرعت آن به $18 km/h$ می‌رسد.
 الف) معادله‌ی سرعت-زمان اتومبیل را بنویسید.
 ب) نمودار سرعت-زمان اتومبیل را رسم کرده و سرعت آن را ۱۰ ثانیه پس از شروع حرکت پیدا کنید.
 ۸- نمودار $v-t$ متحرکی که بر مسیری مستقیم در حال حرکت است مطابق شکل ۲۴-۲ است. معادله‌ی مکان-زمان این متحرک را پیدا کنید. در $t = 0$ متحرک از مبدأ مکان عبور کرده است.

شکل ۲۳-۲

شکل ۲۴-۲

ب) در لحظه‌ی $t_1 = 0$ داریم:
 $x_1 = 3 m$
 و در لحظه‌ی $t_2 = 3 s$ داریم:
 $x_2 = 2 \times 3 + 3 = 9 m$
 به این ترتیب جابه‌جایی متحرک بین این دو لحظه برابر است با:

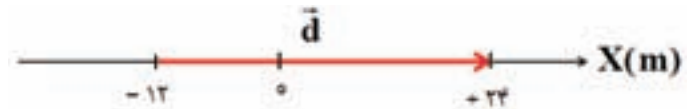
$$\Delta x = x_2 - x_1 = 9 m - 3 m = 6 m$$

۲- الف)



شکل ۱۲

ب)



شکل ۱۳

اندازه‌ی بردار جابه‌جایی $|\bar{d}|$ برابر است با:

$$|\bar{d}| = \Delta x = x_2 - x_1 = (24 m) - (-12 m) = 36 m$$

۳- برای به دست آوردن سرعت متوسط متحرک در هر بازه، کافی است شیب نمودار مکان-زمان را در بازه‌های زمانی مورد نظر به دست آوریم.
 در ۵ ثانیه‌ی اول داریم:

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{(8 m) - (5 m)}{(5 s) - 0} = \frac{3}{5} m/s$$

در ۵ ثانیه‌ی دوم حرکت داریم:

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{(10 m) - (8 m)}{(10 s) - (5 s)} = \frac{2}{5} m/s$$

۴- الف) با توجه به این که کمیت‌های مشابه می‌توانند با یکدیگر جمع و یا تفریق شوند، یکای همه‌ی کمیت‌های At^2 ، Bt و C باید متر باشد. چون یکای t ، ثانیه است، داریم:

$$[A] = m/s^2, [B] = m/s, [C] = m$$

ب) با جای گذاری مقادیر داده شده در معادله‌ی مکان - زمان متحرک داریم:

$$x = t^2 - 2t + 4$$

$$x_1 = 4 \text{ m} \quad \text{در } t = 0 \text{ داریم:}$$

$$x_2 = 4^2 - 2 \times 4 + 4 = 12 \text{ m} \quad \text{در } t = 4 \text{ s داریم:}$$

به این ترتیب جابه‌جایی متحرک در بازه‌ی زمانی (۰، ۴) برابر است با:

$$\begin{aligned} \Delta x &= x_2 - x_1 \\ &= (12 \text{ m}) - (4 \text{ m}) = 8 \text{ m} \end{aligned}$$

با توجه به تعریف سرعت متوسط داریم:

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{8 \text{ m}}{4 \text{ s}} = 2 \text{ m/s}$$

۵- با توجه به فرض مسئله داریم:

$$t_1 = 2 \text{ s}, \quad x_1 = 5 \text{ m}$$

$$t_2 = 10 \text{ s}, \quad x_2 = -5 \text{ m}$$

به این ترتیب داریم:

$$\Delta t = t_2 - t_1 = 10 \text{ s} - 2 \text{ s} = 8 \text{ s}$$

$$\Delta x = x_2 - x_1 = (-5 \text{ m}) - (5 \text{ m}) = -10 \text{ m}$$

با توجه به تعریف سرعت متوسط داریم:

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{-10 \text{ m}}{8 \text{ s}} = -\frac{5}{4} \text{ m/s}$$

۶- دانش‌آموزان هم در سال‌های قبل و هم در مثال ۲-۹ کتاب درسی با تبدیل سرعت km/h به m/s آشنا شدند.

به این ترتیب داریم:

$$t_1 = 2 \text{ s}, \quad v_1 = 36 \text{ km/h} = 10 \text{ m/s}$$

$$t_2 = 8 \text{ s}, \quad v_2 = 54 \text{ km/h} = 15 \text{ m/s}$$

با توجه به تعریف شتاب متوسط داریم:

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_f - v_i}{t_f - t_i}$$

$$= \frac{(15 \text{ m/s}) - (10 \text{ m/s})}{8 \text{ s} - 2 \text{ s}} = \frac{5 \text{ m/s}}{6 \text{ s}} = \frac{5}{6} \text{ m/s}^2$$

۷- الف) با توجه به فرض‌های مسئله داریم:

$$t_1 = 0, \quad v_1 = v_0 = 0$$

$$t_f = 3 \text{ s}, \quad v_f = 18 \text{ km/h} = 5 \text{ m/s}$$

به این ترتیب شتاب متحرک برابر است با:

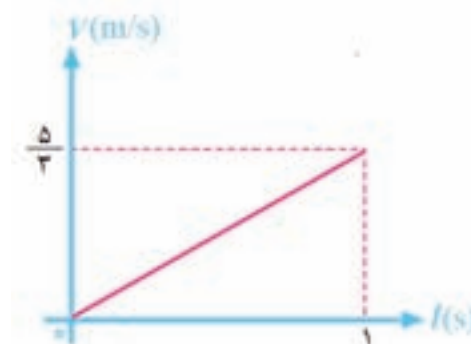
$$a = \frac{v_f - v_i}{t_f - t_i} = \frac{(5 \text{ m/s}) - 0}{3 \text{ s} - 0} = \frac{5}{3} \text{ m/s}^2$$

با توجه به معادله‌ی سرعت - زمان حرکت با شتاب ثابت، $v = at + v_0$ ، داریم:

$$v = \frac{5}{3}t + 0 = \frac{5}{3}t$$

ب)

t(s)	v(m/s)
0	0
1	$\frac{5}{3}$



شکل ۱۴

۱۰ ثانیه پس از شروع حرکت داریم:

$$v = \left(\frac{5}{3} \text{ m/s}^2\right) \times (10 \text{ s}) = \frac{50}{3} \text{ m/s}$$

۸- شکل ۲۴-۲ نمودار $v-t$ متحرکی است که با شتاب ثابت حرکت می‌کند. معادله‌ی مکان - زمان متحرکی که

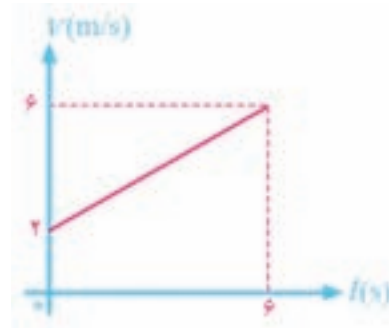
با شتاب ثابت در حرکت است برابر است با:

$$x = \frac{1}{2} at^2 + v_0 t + x_0$$

با پیدا کردن a ، v_0 و x_0 می‌توان معادله‌ی آن را به دست آورد. با توجه به فرض مسئله در $t=0$ ، متحرک از مبدأ مکان عبور کرده است، یعنی $x_0=0$. با توجه به این شکل، نمودار سرعت - زمان متحرک به صورت شکل ۱۵ است، مقدار $v_0=2\text{ m/s}$ و مقدار a برابر است با:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

$$= \frac{(6\text{ m/s}) - (2\text{ m/s})}{(6\text{ s}) - (0)} = \frac{2}{3} \text{ m/s}^2$$



شکل ۱۵

به این ترتیب معادله‌ی مکان - زمان متحرک برابر است با:

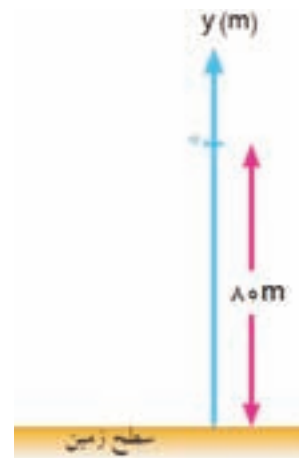
$$x = \frac{1}{3} t^2 + 2t$$

۹- الف) اگر مبدأ مکان را محل رها شدن گلوله در نظر بگیریم (شکل ۱۶)، مشابه مثال ۲-۱۸ داریم:

$$y = -\frac{1}{2} g t^2$$

$$-8.0\text{ m} = -\frac{1}{2} (10. \text{ m/s}^2) t^2$$

$$t^2 = 16 \Rightarrow t = 4\text{ s}$$



شکل ۱۶

(ب)

$$v = -gt = -(10. \text{ m/s}^2)(4\text{ s}) = -40. \text{ m/s}$$

(پ)

$$\bar{v} = \frac{\Delta y}{\Delta t} = \frac{y_2 - y_1}{t_2 - t_1}$$

$$= \frac{-8.0\text{ m} - 0}{4\text{ s} - 0} = -2.0 \text{ m/s}$$

۱۰- اگر مبدأ مکان را محل رها شدن جسم در نظر بگیریم ($y_0 = 0$)، داریم:

$$v^2 - v_0^2 = -2gy$$

$$(-30 \text{ m/s})^2 - 0 = -2(10 \text{ m/s}^2)(y)$$

$$900 \text{ m}^2/\text{s}^2 = (-20 \text{ m/s}^2)(y)$$

$$y = -45 \text{ m}$$

بنابراین ارتفاع بلندی از سطح زمین ۴۵ m است.



صوفی، ابوالحسین عبدالرحمان بن عمر صوفی

تولد: ری ۲۸۲ شمسی (۲۹۱ق)

وفات: شیراز، ۳۶۵ شمسی (۳۷۶ق)

حوزه‌ی فعالیت: نجوم، ریاضیات

زندگی‌نامه

صوفی، اخترشناس ایرانی، در سال ۳۳۷ قمری در اصفهان نزد ابن عمید وزیر آل بویه می‌زیست و در سال ۳۴۹ قمری در اصفهان در دربار عضدالدوله‌ی دیلمی به سر می‌برد. صوفی کره‌ی سیمینی به وزن تقریبی ۹۰ کیلوگرم (سی هزار درهم) برای عضدالدوله‌ی دیلمی (که نزد صوفی اخترشناسی می‌آموخت) ساخته بود که بعدها در کتابخانه‌ی کاخ سلاطین فاطمی در مصر نگهداری می‌شد. آموزگار صوفی در کار اخترشناسی محمدبن‌الحسین بود. صوفی در سال ۳۳۵ قمری هنگام دیدار از رصدخانه‌ی ابوحنیفه‌ی دینوری در دینور با استادش همراه بود. عبدالرحمان صوفی در سال ۳۵۹ قمری در شیراز به رصد پرداخت. امروزه زیجی از او در دست نداریم ولی ابن یونس (منجم دربار فاطمیان مصر) در زیج کبیر حاکمی زیج صوفی را ستوده و عامل اساسی برای حرکت میانگین خورشید را از آن نقل کرده است. بیرونی هم در کتاب تحدید خود زمان آغاز و پایان این رصد را ذکر کرده است.

اثر معروف و پرارج صوفی که در شیراز نوشته شده، صورالکواکب الثابته است که نام‌های دیگری هم دارد و عموماً صورالکواکب نامیده می‌شود. این کتاب مهم که صوفی آن را به زبان عربی در توصیف صورت‌های فلکی نوشته است در میان آثار نجومی دوره‌ی اسلامی اهمیت بی‌نظیری دارد و از زمان تألیف تا نیمه‌ی قرن نوزدهم میلادی در شرق و غرب یکی از مراجع معتبر در مورد ستارگان محسوب می‌شده است. خواجه نصیرالدین طوسی در سال ۶۴۷

قمری آن را به فارسی ترجمه کرد. نسخه‌ی خطی این ترجمه به خط خود طوسی در کتابخانه‌ی ایا صوفیه‌ی استانبول موجود است و چاپ عکسی آن را بنیاد فرهنگ ایران در سال ۱۳۴۷ منتشر کرده است.

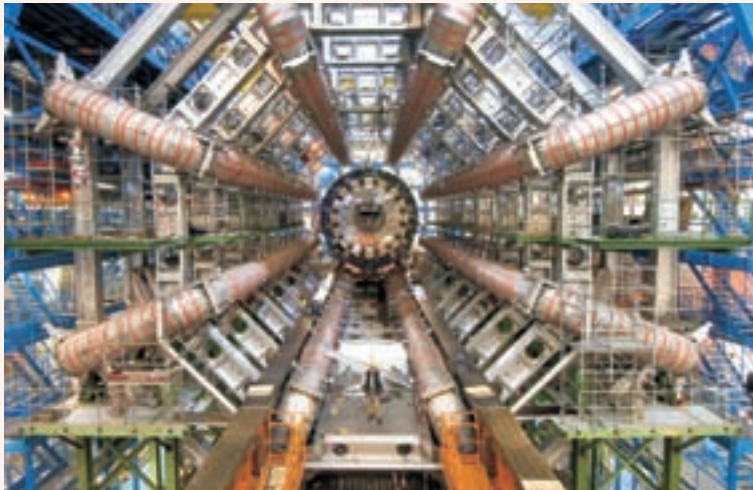
صورالکواکب در قرن سیزدهم به اسپانیایی و در قرن نوزدهم به فرانسوی ترجمه و منتشر شد. مزیت کار صوفی در این است که او به دانش بر جا مانده از گذشتگان بسنده نمی‌کرد و خود نیز به رصد می‌پرداخت. به این ترتیب توانست ضمن تکمیل اطلاعات موجود درباره‌ی ستاره‌ها، اشتباهاتی را تصحیح کند که دیگران به تبعیت از یکدیگر تکرار کرده بودند. صوفی سحابی امراه المسلسله و ابر ماژلانی بزرگ و حتی صورت‌های جنوبی را رصد کرد. از کارهای مهم دیگر صوفی افزودن بر درستی کار اسطرلاب است به طوری که می‌توانست ستاره‌های قابل دیدن بیش‌تری را ثبت کند. صوفی از این ستاره‌ها ۳۷ تا را نامگذاری کرد و مشخصاتشان را در سال ۳۵۸ هـ.ق به دست آورد. صوفی این ستاره‌ها را چنین طبقه‌بندی کرد: ۱۱ ستاره‌ی قدر اول، ۱۳ ستاره‌ی قدر دوم، ۱۲ ستاره‌ی قدر سوم و یک ستاره‌ی قدر چهارم. این که دانشمند پر مایه‌ای چون بیرونی کارهای صوفی را به سبب این که شخصاً اهل آزمایش و مشاهده بوده می‌ستاید نشان‌دهنده‌ی ارزش والای روش کار علمی صوفی است. بیرونی در قانون مسعودی قدرهای ستاره‌ها را از صورالکواکب نقل کرده و در کتاب تحدید تعیین میل کلی خورشید را که به دست صوفی در شیراز انجام شد شرح داده است. صوفی آثار بسیاری به عربی تألیف کرده است ولی اثری به فارسی به نام رساله فی معرفه الاسطرلاب نیز از او در دست است.

میان فصل

فیزیکدان‌ها در صنعت

فرصت شغلی در صنعت برای دانش‌پیشگان، در مسیر انتخاب کارشان، به صورت فرصتی بسیار با اهمیت درآمده است. آمار و ارقام جدید حاکی از آن است که تقریباً ۵۰ درصد فیزیک‌پیشگان دارای درجه‌ی دکتری در صنعت استخدام می‌شوند. این نرخ نسبت به ۳۰ درصد حدود ۳۰ سال پیش (تقریباً سال ۱۹۸۰) از افزایش بسیار سریعی برخوردار بوده است.

جهان صنعتی‌ای که فیزیک‌آموختگان به آن وارد می‌شوند نیز تغییر کرده است: رقابت فراگیر جهانی، فاصله‌ی چرخه‌ی تحقیق تا محصول را کوتاه کرد. آزمایشگاه‌های صنعتی در بسیاری از موارد برای انجام این امور با کمبود منابع روبه‌رو هستند و فیزیک‌پیشگان هنگام حل مشکل در چنین محیط‌هایی باید خیلی چالاک عمل کنند و آماده‌ی کار گروهی باشند. در گذشته‌ای نه چندان دور، در حدود ۳۰ سال پیش، هر فیزیک‌پیشه‌ای می‌توانست در زمینه‌ی مسائل علمی بنیادی امیدوار به یافتن شغل بلندمدت پژوهشی در آزمایشگاهی صنعتی باشد. دانش‌پیشگان جوان در مؤسسات مشهوری مانند آزمایشگاه بل یا مرکز تحقیقات آی‌بی‌ام جذب می‌شدند تا در پژوهش‌هایی مشارکت داشته باشند که دانشمندان برنده‌ی جایزه‌ی نوبل و پژوهشگران بخش خصوصی در آن همکاری می‌کنند.



ولی اکنون که در آغاز قرن بیست و یکم هستیم، نقش فیزیکدانان در صنعت در حال تغییر است. مرزبندی دقیق بین تحقیق پایه (این که چیزها چگونه کار می کنند) و تحقیق کاربردی (این که چیزها را چگونه می توان به کار برد) مبهم و مخدوش شده است. اکنون فیزیکدانان برای کسب موفقیت باید حوزه‌ی گسترده‌تری از علایق و مهارت‌ها را به نمایش بگذارند.

آن‌ها باید آمادگی داشته باشند که نقش‌های غیر متعارفی نظیر تجزیه و تحلیل امور مهندسی و محصولات، امور تولید و حتی برقراری ارتباط با مشتری را به عهده بگیرند. علاوه بر آن، فیزیکدان‌های شاغل در صنعت ارتباط بسیار نزدیک‌تری را بین آزمایشگاه‌های صنعتی و دانشگاهی شاهد خواهند بود. این امر، فرصت‌های شغلی هیجان‌انگیزی برای کار با پژوهشگران دانشگاهی و غیر دانشگاهی را در زمینه‌ی موضوع‌های مختلف فراهم خواهد کرد. در نتیجه، هر چند دیدگاه سنتی در پژوهش‌های بخش خصوصی در حال تغییر است، فرصت‌های شغلی صنعتی هنوز هم کارهای فنی هیجان‌انگیز و پر تحرکی را عرضه می کنند.

فیزیک در محیط صنعتی

در نیمه‌ی دوم قرن بیستم، شمار روز افزونی از صنایع، به منظور تضمین طراحی محصولات‌ی که نیازهای بازار رقابتی را برآورده می کنند، به توسعه و بهره‌برداری از فناوری‌های پیشرفته وابستگی پیدا کردند. این فناوری‌های پیشرفته، به نوبه‌ی خود اغلب از کشفیات بنیادی یا تحولات توسعه‌ای در فیزیک سرچشمه می گرفتند. فیزیک پیشگان با آموزش گسترده‌ای که در حوزه‌های علوم دارند و با شناختی که از فیزیک به دست می آورند و با مهارتشان در اندازه‌گیری، برای برآورده کردن نیازهای این صنایع به روش‌های زیر در موقعیت منحصر به فردی قرار می گیرند:

۱- رهیافت توسعه‌ی محصول که به گونه‌ی شگفت‌آوری پیچیده شده است و در آن از مدل‌سازی و شبیه‌سازی رایانه‌ای بهره‌گیری می شود.

۲- بهره‌برداری از مواد و خواص مواد جدید و پیشرفته (مانند سرامیک‌ها، ابر رساناها، اپتیک غیرخطی و نظایر آن).



۳- استفاده از مواد پیشرفته‌ی «هوشمند» و دریاب‌ها (مانند تارهای نوری و لیزرهای نیم‌رسانا) به عنوان اجزای اصلی طراحی محصول برای نظارت و کنترل بر وضعیت محصول.

۴- به کارگیری «سامانه‌های» بزرگ مقیاسی که هر روز پیچیده‌تر می شوند (مانند سامانه‌های مبتنی بر ماهواره، از نوع شبکه‌های مخابراتی و سیستم موقعیت‌یابی جهانی).

در میان مشارکت‌های فراوان که فیزیک‌دانان در توسعه‌ی محصولات صنعتی شاید هیچ یک با اهمیت‌تر از کاری نباشد که پیدایش «عصر اطلاعات» را امکان‌پذیر کرد؛ و این کار همان اختراع ترانزیستور بود. در سال‌های پایانی جنگ جهانی دوم، در آزمایشگاه‌های شرکت تلفن بل، گروهی از فیزیک‌دانان که متشکل از جان باردین، ویلیام شاکلی و والتر براتین بود، تحقیقاتی را در پیش گرفتند که جایزه‌ی نوبل فیزیک را در سال ۱۹۵۶ نصیب آن‌ها کرد.

مطالعه‌ی داستان زندگی حرفه‌ای این افراد ما را به شناخت حایز اهمیتی از دنیای فیزیک پیشگانی که در صنعت مشغول کارند می‌رساند، از آن جمله است: ارتباط میان پژوهش‌های بنیادی و کاربردی، اهمیت کار گروهی، مشارکت در تأمین منابع مالی و سرانجام شور و هیجان ناب دست‌یابی به رازهای طبیعت (عنصری که اغلب به آن توجه نمی‌شود).

پژوهش که سرانجام به اختراع ترانزیستور منجر شد، در واقع بخشی از تحرک شرکت بل بود که به منظور توسعه‌ی وسایل مخابراتی جدید برای نفوذ در بازارهای بعد از جنگ آغاز شد. مدیریت آزمایشگاه‌های بل، به پشت گرمی پیشرفت‌های فیزیک حالت جامد در تولید رادار در خلال جنگ، متقاعد شد که آینده‌ی مخابرات را باید در شناخت بنیادی حالت جامد جست‌وجو کرد. نکته‌ای که به ویژه جلب توجه می‌کرد، کاربرد موفقیت‌آمیز یک‌سوکننده‌های نیم‌رسانا در آشکارسازی سیگنال‌های ریز موج بود.



ولی مانع بزرگ در پیشروی‌های بیشتر، این بود که قسمت اعظم این توسعه‌ها ماهیت تجربی داشتند. مدیریت آزمایشگاه‌های بل، امکانات نهفته در این قطعات کوچک را برای سیستم‌های مخابراتی بزرگ مقیاسی که در آن زمان قابل تصور بودند تشخیص داد و این نکته را هم دریافته بود که بدون درک اصول بنیادی مربوط به چگونگی عملکرد این قطعات هیچ پیشرفت قابل ملاحظه‌ای به سوی آن هدف حاصل نخواهد شد. به این ترتیب، رهنمود مدیریت به باردین، شاکلی و براتین این بود که «در زمینه‌ی فیزیک زیربنایی خواص الکتریکی حالت نیم‌رسانا تحقیق کنند و شناختی جامع به دست آورند». در جریان همین تلاش‌ها بود که ساخت ترانزیستور امکان‌پذیر شد.

این سه فیزیک‌دان با تلاش‌های فراوان در هر دو حوزه‌ی نظری و تجربی توانستند بر مشکلات موجود در سر راه اعتمادپذیری نیم‌رساناها، که گیر اصلی تلاش‌های فراوان پیشین در دیگر جاها بود، غلبه کنند. البته، آن‌ها در این راه از تجربیات و مهارت‌های درخور توجهی، که در آن موقع در بخش توسعه و تولید قطعه در آزمایشگاه‌های بل موجود بود، استفاده کردند.

ولی قطعات اولیه‌ای را که آن‌ها به صورت آزمایشی و با بهره‌گیری از بعضی نظریه‌های مربوط به رفتار کوانتومی الکترون‌ها در جامدات، که در آن هنگام جدید بود، ساختند یا اصلاً تأثیری در تقویت جریان نداشتند یا این که تأثیرشان بسیار ناچیز بود.

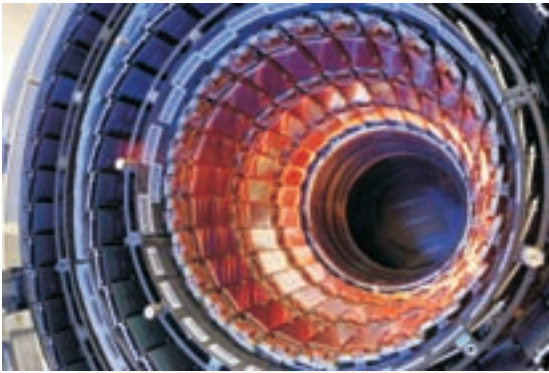
باردین که همچنان به صحت رهیافت نظری گروه خودش اطمینان داشت، در آن موقع حدس تعیین‌کننده‌ای را به این شرح مطرح کرد: شاید لازم باشد مدل‌هایی را که برای شارش الکترون در داخل قطعه در نظر می‌گرفتند به طوری گسترش دهند که اثرات کوانتومی سطحی را در نقطه‌ی اتصال نیم‌رسانا-فلز در پیوند یک‌سوساز در بر بگیرد. رشته آزمایش‌های اصلاحی انجام شده توسط شاکلی، براتین و گیبینی، که شیمی فیزیک‌دان بود، وجود اثر حفاظتی حالت سطحی فوق‌العاده زیاد را تأیید کرد.

شاکلی با در دست داشتن این نتایج، قطعه جدیدی با تماس نقطه‌ی طراحی کرد که این یافته‌ها در آن به نمایش در می‌آمد. در این حالت، اثر تقویتی فوق‌العاده‌ی مشاهده شد که حاکی از اولین عملکرد ترانزیستور بود. اندک زمانی پس از این کشفیات، شاکلی پیشنهاد شجاعانه‌ی بهره‌برداری از چند لایه‌ی نیم‌رسانا در داخل بلور را مطرح کرد. به این ترتیب، ترانزیستور پیوندی متولد شد و به دنبال آن بود که انقلاب حالت جامد در الکترونیک به وقوع پیوست.

شرح تفصیلی این داستان و تلاش‌های نظری و تجربی این فیزیک‌دانان در جهت درک رفتار فیزیکی این قطعه‌ی نیم‌رسانا را می‌توان در سخنرانی جایزه‌ی نوبلشان یافت. شاکلی در سخنرانی جایزه‌ی نوبل اشاره می‌کند که اغلب با این پرسش روبه‌رو می‌شد که آزمایشی که برنامه‌ریزی کرده بود از نوع «پژوهش محض است یا پژوهش کاربردی». پاسخ او به این پرسش این بود که به نظر وی «موضوع مهم‌تر این است که بدانیم آیا آزمایش به شناخت جدید و احتمالاً ماندگاری از طبیعت منجر می‌شود یا نه». او همچنین بر این باور بود که در واقع ترکیبی از پژوهش‌های بنیادی و کاربردی است که «بیشترین بهره‌مندی‌ها را نصیب نوع بشر می‌کند» و این همان چیزی است که در وصیت آلفرد نوبل مطرح شده بود.

دید فیزیک‌دانان نسبت به صنعت

فیزیک‌دانان، بعد از یادگیری طرز استفاده از مهارت‌های تحلیلی برای حل مسائل، کم و بیش با همان دیدگاهی که اغلب در محیط‌های دانشگاه متداول است به صنعت روی می‌آورد. او ممکن است بدون نگرانی از واقعیت محدود



بودن منابع یا رقابت داخلی برای جذب بودجه، فعالیت‌های عاقلانه‌ای را برنامه‌ریزی کند.

برداشت‌ها و انتظارات پژوهشگر فیزیک تازه استخدام نسبت به صنعت را می‌توان چنین توصیف کرد: مؤسسه‌ای با مدیریت روشن فکرانه، فراوانی منابع مالی برای نظرات تازه، آزادی عمل در «انتخاب» طرح‌های تحقیقاتی، وسایل و امکانات کاملاً روزآمد، تشویق به حضور

در نشست‌های فنی و عضویت در انجمن‌های حرفه‌ای، کارکنان فنی کارآموده و کارمندان پشتیبانی برای انجام امور دفتری.

برای اغلب فیزیک‌دانانی که از محیط دانشگاهی به صنعت ملحق می‌شوند ممکن است انجام طرح‌های پژوهشی منفردی که به انتشار مقالات از طریق داوری متخصصان یا ارائه دستاوردها در نشست‌های فنی و تخصصی منجر می‌شود، در صدر اولویت‌ها قرار بگیرد. ارتباط این گونه فعالیت‌ها با موفقیت یا رشد مؤسسه برای دوره‌ای، در ذهن پژوهشگر از اهمیت ثانوی برخوردار بود.

این دیدگاه در محیطی که به غایت رقابتی و در حال تغییر است، ممکن است دیگر معتبر نباشد، اما هنوز هم باید کارهایی علمی در سطح عالی‌ترین استاندارد انجام شوند و هنوز هم تعدادی از صنایع و حامیان آن‌ها، افراد را با مقالات علمی منتشر شده و با داوری‌های تخصصی مورد ارزیابی قرار می‌دهند.

از طرف دیگر، موضوعات حایز اهمیت «جهان واقعی» از دیدگاه صنعت، تا حدودی متفاوت‌اند و ملاحظاتی مانند راهبرد جامع مؤسسه، سودها و هزینه‌های صاحبان سهام، اولویت‌بندی منابع مالی، بودجه‌های به دقت بررسی شده و کنترل سرمایه‌گذاری‌ها را شامل می‌شود. همان‌طور که قبلاً گفته شد، صنایع جدید برای این که بتوانند در عرصه‌ی جهانی رقابتشان را حفظ کنند، باید خلاقانه و به سرعت عمل کنند. اگر چه تحقیقات به صورت یکی از وجوه فوق‌العاده حایز اهمیت در برنامه‌ریزی راهبردی باقی می‌ماند، اما وضعیت یاد شده شرایط مرزی بسیار دشواری را بر مدیران فناوری تحمیل می‌کند.

این مدیران باید در محصولات جدید و فنون تولیدشان پیشرفت‌های فناوری را مورد استفاده قرار دهند و این در حالی است که با تقاضاهای فراوانی روبه‌رو هستند و منابع مالی محدودی در اختیار دارند. علاوه بر آن، این محصولات جدید باید معرف اهداف دراز مدت مؤسسه باشند و رضایت مدیریت ارشد و سهام‌داران را به طور یک‌سان تأمین کنند.

دنای واقعی، به فیزیک‌پیشگانی با علاقه‌مندی‌ها و مهارت‌های لازم نیاز دارد، بر خلاف گذشته که به مهارت‌های فنی کمتر اهمیت می‌داد. هنگام ارزیابی ارتقا‌های بالقوه، توانمندی افراد در پذیرش نقش گروهی (و نه دل‌مشغولی این

که نام چه کسی به عنوان اولین مؤلف در بالای مقاله نوشته می‌شود) بسیار با ارزش است. به این نکته به طرق مختلف اشاره شده که دیگر تعداد تألیفات به اندازه‌ی ایفای نقش رهبری در شرکت‌ها حایز اهمیت نیست.

انتخاب مسیر شغلی در صنعت، از میان عرصه‌های تحقیق، مدیریت یا ترکیبی از این دو نیز برای هر فیزیک‌پیشه‌ای حایز اهمیت است، به خصوص در مؤسساتی با ابعاد بزرگ‌تر، که امکان انتخاب مسیرهای دوگانه‌ای وجود دارد و دانش‌پیشه می‌تواند یکی از دو راهکار تحقیقاتی یا کار مدیریتی را برگزیند.

نردبان ترقی در تحقیقات با سلسله‌مراتبی از نوع زیر مشخص می‌شود: پژوهشگر، پژوهشگر ارشد، سرپژوهشگر، پژوهشگر اجرایی، پژوهشگر مقیم یا پژوهشگر پیوسته. نردبان ترقی مدیریت معمولاً با سلسله‌مراتبی از پژوهشگر به رئیس شعبه، به رئیس قسمت، تا معاون کل مشخص می‌شود. نردبان ترقی پژوهشی، خودگردانی فزاینده‌ای را در برنامه‌های پژوهشی امکان‌پذیر می‌کند، شهرت و اعتبار را در داخل شرکت افزایش می‌دهد و به شناخته شدن در میان همکاران سایر مؤسسات منجر می‌شود. نردبان ترقی مدیریتی ممکن است بیشتر از جنبه‌های مالی درخور توجه باشد، نه الزاماً از لحاظ شهرت و اعتبار. مؤسسات کوچک‌تر، بنا بر ضرورت، ممکن است با افزایش مسئولیت‌ها در هر دو حوزه، این امکان را فراهم آورند که فیزیک‌پیشه در هر دو نردبان ترقی به بالا صعود کند.

فیزیک‌دانان صنعتی عصر جدید

در اجلاس اعضای شرکتی انستیتو فیزیک آمریکا در اکتبر سال ۱۹۹۴ در محل آزمایشگاه‌های بل، نیازمندی‌های صنعت در شرایط جدید، خرید خدمات‌ها، و هدف‌های درازمدت آن با نگاه منتقدانه‌ای مورد بررسی قرار گرفت. در آن‌جا خاطر نشان شد که نقش‌های سنتی فیزیک‌پیشه، برای مثال، از تضمین و آمادگی مقابله در برابر شگفت‌آوری‌های فنی رقبای، تحقیق در مورد پدیده‌های بنیادی، تولید فناوری سخت‌افزارها، و ابداع فناوری سنسجش ابزارهای دقیق برای سایر رشته‌های علوم به وضعیت و مرحله‌ی جدیدی گسترش یافته است.

امروزه از فیزیک‌پیشه‌ها انتظار می‌رود که در پژوهش‌های کاربردی نیز مشارکت نمایند، راه‌های کاهش هزینه‌های فناوری را بررسی کنند، راه‌های کاهش هزینه‌های تولید و محصولات را با تحقیق بیابند و با استفاده از آمیزه‌ای از مهارت‌های فیزیک و مهندسی، محصولات را به سرعت وارد بازار کنند.

در این نقش‌های جدید و گوناگونی که از فیزیک‌پیشگان انتظار می‌رود، نیاز به ترکیب گسترده‌تری از مهارت‌ها را نهفته می‌یابیم. به طور کلی، امروزه دیگر صنعت در پی آن نوع قدیمی دانش آموخته‌ای نیست که دانش را صرفاً به‌منظور دانایی جست‌وجو کند.

از آن‌جا که کار گروهی عنصری اساسی در صنعت عصر جدید به شمار می‌رود، برای فیزیک‌پیشگان صنعتی عصر جدید مهارت‌های مردمی و ارتباطاتی‌ای در صدر فهرست خصلت‌های الزامی آنان قرار دارد.

این مهارت‌ها نه تنها توانایی برقراری ارتباط با افراد داخل مجموعه را شامل می‌شود، بلکه توانایی در برقراری

ارتباط با مشتریان، عامه‌ی مردم و رسانه‌های گروهی را نیز در بر می‌گیرد. به نظر می‌رسد برخورداری از مهارت‌های چندگانه برای فعالیت‌های برگزیده‌ی ترفیعی و رهبری در صنعت نیز حایز اهمیت است، زیرا زمینه‌ی فنی در این موارد می‌تواند منجر به ژرف‌بینی و تجربه و تحلیل قوی‌تر منجر شود. این نگرش، علاوه بر مدیریت فنی، فرصت‌های جدیدی را در حوزه‌هایی نظیر ثبت اختراعات، بازاریابی، و تنظیم مناسبات در اختیار فیزیک‌پیشه قرار می‌دهد.

نگاهی به آینده

فیزیک‌پیشه‌های شاغل در صنعت، هنگامی که کارهای تحقیقاتی‌شان بیشتر جنبه‌ی کاربردی پیدا می‌کند، زمان بیشتری را جهت «بهره‌برداری از فناوری» برای محصولات تجاری و تحقیق برای «سود نقد و مطمئن» صرف خواهند کرد. روندهای مربوط به محل کار حاکی از آن است که افراد بیشتر جابه‌جا می‌شوند، زمان کوتاه‌تری را در هر شرکت می‌گذرانند و دیگر «استخدام رسمی» در کار نیست. علم‌پیشگان در سرتاسر زندگی حرفه‌ای‌شان سخت کار خواهند کرد و چون رقابت جهانی موجب می‌شود بهترین کیفیت و بهترین قیمت به شدت تقویت گردد، علم‌پیشه‌ها به طور فزاینده‌ای با سایر افراد شاغل در شرکت رقابت خواهند کرد.

برای ورود و مشارکت در محیط فنی مربوط به صنعت عصر جدید به فیزیک‌پیشه‌هایی با مشخصات زیر نیاز است: از مهارت‌های فنی عالی برخوردار باشند، در حل مسائل خلاقیت داشته باشند و «تصویر کلان» را ببینند، در برقراری ارتباط (داخلی و خارجی) از مهارت‌های خوبی برخوردار باشند، «مهارت‌های مردمی» خوبی داشته باشند (یعنی بتوانند با افرادی با زمینه‌های متفاوت و به صورت گروهی کار کنند، و دیگران را تشویق و دل‌گرم کنند و کمتر نگران آن باشند که چه کسی امتیاز را می‌گیرد)، توانایی رهبری براساس الگو را داشته باشند، انعطاف‌پذیر و مشتاق به تداوم یادگیری باشند (دو تجربه، خیلی ارزنده‌تر از یک تجربه‌ی تکرار شده است) و بین اهداف فردی و شرکتی هم‌سوئی برقرار کنند.

از آن‌جا که پژوهش برای صنایع چالاک عصر آینده تعریفی مجدد پیدا می‌کند، آخرین مورد مطرح شده در بند پیشین از اهمیت بیشتری برخوردار می‌شود.

تا چندی پیش، پژوهش عموماً به دو بخش بنیادی و کاربردی تقسیم می‌شد. امروزه بیشتر روی «پژوهش راهبردی و درازمدت» تأکید می‌شود که در آن ابتدا هدف مشخص می‌شود، سپس تلاش‌های پژوهشی لازم (اعم از بنیادی و کاربردی) برای رسیدن به آن هدف صورت می‌گیرد. فیزیک‌پیشه‌ی صنعتی عصر جدیدی که با نیازها و اهداف مؤسسه هم‌نوا شده باشد، می‌تواند در چنین محیط جدید چالش برانگیز و پرتحرکی احساس آرامش کند.

