

فصل ۲

حرکت شناسی

آمادگی پیش از تدریس

فیلم و یا تصویرهایی از حرکت در فضاهاى یک بعدی و چند بعدی (با جست و جو در اینترنت) تهیه شود.

تصویر اول فصل

به منظور تمرکز دانش آموزان روی موضوع حرکت و ایجاد انگیزه برای یادگیری از آن‌ها می‌خواهیم چند لحظه به چیزهایی که در اطراف‌شان در حرکت است فکر کنند و مثال‌هایی بیاورند. سپس با عنوان این که همه چیز در جهان در حال حرکت است و در واقع «زندگی یعنی حرکت» توجه‌ها را به حرکت ماه به دور زمین، زمین به دور خورشید و خورشید در کهکشان راه شیری و همین‌طور حرکت مولکول‌ها و اتم‌ها در مواد و حرکت الکترون‌ها به دور هسته معطوف می‌کنیم و به شرح نیاز بشر به شناخت حرکت‌های اطراف خود می‌پردازیم. برای نمونه ماهواره‌ها با گردش به دور زمین، امکان ایجاد مخابرات بین‌الملل و فن‌آوری ارتباطات را میسر کرده است و این مدیون شناخت دقیق حرکت زمین به دور خود و خورشید است. در ادامه با نمایش فیلم و یا نشان دادن تصاویری از حرکت‌های مختلف در فضاهاى یک بعدی و چند بعدی و با پرسش و پاسخ، تنوع حرکت‌ها را معرفی می‌کنیم.





– حرکت هواپیماها و پرنده‌ها در آسمان چه تفاوتی با حرکت آن‌ها در سطح زمین دارد؟ (مسیر حرکت در سطح زمین دویبعدی و یا یک‌بعدی است ولی مسیر حرکت در هوا سه‌بعدی است. یعنی ارتفاع هم دارد و یا راه‌های هوایی سه‌بعدی هستند.)

– متحرک‌های دیگری را مثال بزنید که در فضای سه‌بعدی، دویبعدی و یک‌بعدی حرکت می‌کنند. (فضای حرکت ماهی‌ها و ... اتومبیل در جاده‌های کوهستانی سه‌بعدی است. حرکت ماشین در پیچ و خم جاده دویبعدی است و دوچرخه‌ای که در مسیر مستقیم در حرکت است حرکت یک‌بعدی دارد.)

– آیا ممکن است موقعیت یک متحرک با گذشت زمان تغییر نکند؟ مثال بزنید. (خیر، زیرا در آن صورت جسم ساکن است مانند درخت.)

– مثال‌هایی از وابستگی حرکت به زمان ارایه کنید. (اتومبیلی در ساعت ۱۰ صبح از تهران حرکت می‌کند و ساعت ۱۱ به کرج می‌رسد.)

– به نظر شما فردی که در یک اتومبیل متحرک نشسته است ساکن است یا متحرک؟ موقعیت او را در زمان‌های مختلف چگونه توجیه می‌کنید؟

(فرد نسبت به جاده در حال حرکت است و نسبت به ماشین ساکن است.)

در این جا بهتر است در مورد نسبی بودن حرکت توضیح مختصری داده شود.

حرکت نسبی است – تصور کنید در اتومبیلی نشسته‌اید که با سرعت ثابت (مثلاً $60 \frac{\text{km}}{\text{h}}$) در حرکت است. شما راننده و تمام اجسامی که در اتومبیل است همه با همان سرعت در حرکت می‌باشید یعنی شما نسبت به هم ساکن اما نسبت به زمین با سرعت در حرکت هستید حال اگر فاصله اتومبیل شما با اتومبیل جلویی همواره ثابت باشد، شما نسبت به آن اتومبیل هم ساکن هستید. در صورت آمادگی کلاس توجه‌ها را به انواع حرکت، انتقالی، چرخشی، ارتعاشی در تصویرها جلب می‌کنیم و می‌خواهیم نمونه‌هایی از این نوع حرکت‌ها ارایه کنند.

– به نظر شما یک متحرک چه نوع حرکت‌هایی می‌تواند داشته باشد؟

– روی انواع حرکت از نظر مسیر و نحوه‌ی حرکت بحث کنید.

با این گونه پرسش‌ها همراه با نمایش فیلم و یا تصویر یا دانسته‌های دانش‌آموزان را در مورد حرکت تصحیح و با مروری اجمالی بر موضوع حرکت و انواع آن زمینه‌های یادگیری را آماده می‌کنیم.

با مشورت در گروه خود حرکت‌هایی را در پیرامونتان پیدا کنید که تحلیل و شناخت آن‌ها در زندگی روزمره کاربرد داشته باشد.

پاسخ:

۱- شناخت حرکت موجودات زنده (جانوران و ...) در انیمیشن‌سازی

۲- حرکت موس (mouse) در رایانه

- ۳- حرکتهای اجزای بدن در توانبخشی و درمان بیماران جسمی
- ۴- حرکت اتومبیل در آموزش رانندگی
- ۵- حرکت اعضای بدن در ورزش بدنسازی
- ۶- حرکت روپاتها
- ۷- حرکت ماهوارهها به دور زمین

حرکت اجزای یک متحرک

هدفها

- ۱- توجه به اجزای حرکت متحرکها
 - ۲- آشنایی با شیوههای سادهسازی تحلیل حرکت
- راهنمای تدریس:* با نشان دادن تصاویر کتاب و یا نمایش فیلم از حرکت اجزای مختلف یک متحرک مانند بال زدن پرندهی در حال حرکت، حرکت اجزای بدن یک ورزشکار هنگام ورزش و یا حرکت چرخها، فرمان، پدال گاز و ... در یک اتومبیل در حال حرکت، از دانشآموزان می‌خواهیم به حرکت بخش‌های مختلف متحرکها در حالی که از جایی به جای دیگر می‌روند توجه و مشاهدات خود را بیان کنند، و می‌پرسیم
- آیا حرکت اجزای یک متحرک وقتی جابه‌جا می‌شوند

یکسان است؟ (پاسخ: خیر)

- مواردی را نام ببرید که بررسی حرکت تک‌تک اجزای یک متحرک اهمیت داشته باشد. (پاسخ: حرکت مفاصل و عضله‌های بدن در توانبخشی – حرکت دست و پا و سایر اعضای بدن در ورزش‌های بدنسازی – حرکت موتور و سایر اجزای مختلف ماشین‌ها برای مهندسين و تکنيسين‌های مربوطه)

- آیا در بررسی حرکت یک ماشین در جاده، توجه به حرکات اجزای ماشین ضروری است؟ (پاسخ: خیر)
- آیا در جابه‌جایی متحرک از یک مکان به مکان دیگر حرکت اجزای متحرک نقش دارد؟ (پاسخ: بلی)

سپس به متن کتاب می‌پردازیم و پیچیدگی حرکت اجزای متحرک را تشریح می‌کنیم و از دانش‌آموزان می‌خواهیم خودشان روشی را برای سادهسازی بررسی جابه‌جایی یک متحرک از یک

زمانی که حرکت‌هایی نظیر انسان یک رنگ از منطقه درخت با حرکت یک اتومبیل و مانند آن‌ها را مشاهده می‌کنیم گوییم ظاهراً جسمی را می‌بینیم که از جایی به جای دیگر حرکت می‌کند یا جابه‌جا می‌شود. ولی در بیشتر موارد همه بخش‌های جسم به یک اندازه جابه‌جا نشده‌اند و حرکت هر بخش ممکن است با حرکت بخش دیگر تفاوت داشته باشد. برای مثال، حرکت یک دوچرخه‌سوار را در نظر بگیرید. (شکل ۱-۱) البته اگرچه این حرکت ساده به نظر می‌رسد ولی با کمی توجه معلوم می‌شود که همین حرکت ساده بسیار پیچیده است. در حالی که دوچرخه‌سوار در مسیری مستقیم در حرکت است پای او بالا و پایین می‌رود و رکاب در مسیر دایره‌ای حرکت می‌کند. با همین ترتیب هر یک از اجزای دوچرخه علاوه بر حرکت با همسر، دوچرخه، خودشان نیز حرکت‌هایی دیگری دارند. بعضی از آن‌ها تندتر و بعضی دیگر کندتر در حرکت.

شکل ۱-۱

شکل ۱-۲

در شکل ۱-۲-۱، تصویری از یک دونه را می‌بینیم. برای تهیه این تصویر، لامبدهای کوچکی و روی نقاط مختلفی از این دونه که مسیر حرکت آن سوره نظر است، نصب شده است و سپس در طول زمان حرکت از آن عکس‌برداری شده است. همان‌طور که دیده می‌شود هر یک از اندام‌ها، حرکت پیچیده‌ای دارند. این پیچیدگی‌ها، باعث می‌شود که بررسی و توصیف جزئیات حرکت‌هایی که به‌طور معمول با آن‌ها برخورد می‌کنیم، پیچیده و دشوار باشد. بررسی حرکت را از حالتی ساده، یعنی حرکت یک جسم بدون در نظر گرفتن حرکت جداگانه هر یک از اجزای آن شروع کنیم.

جا به جای دیگر پیشنهاد کنند.

پس از درگیر کردن دانش‌آموزان روی موضوع روش‌های سادهسازی تحلیل یک حرکت توجه آنان را به نکات زیر جلب می‌کنیم.

- ۱- در این فصل (حرکت‌شناسی) فقط به بررسی و شناخت انواع حرکت می‌پردازیم و در فصل بعد «دینامیک» دلایل حرکت را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

۲- در بررسی و شناخت انواع حرکت موارد زیر در نظر گرفته می‌شود.

الف) در بررسی حرکت متحرک را مانند یک ذره مادی در نظر می‌گیریم.

ب) بیشتر به حرکت در فضای یک بعدی (روی خط راست) می‌پردازیم.

مثلاً: برای بررسی حرکت دوچرخه‌ای که روی مسیری مستقیم حرکت می‌کند دوچرخه و دوچرخه‌سوار را یک نقطه فرض می‌کنیم.

حرکت‌های ساده و پیچیده

راه‌نمای تدریس: برای مشاهده و مقایسه تجربی دو حرکت ساده و پیچیده، یک تکه نسبتاً کوچک کاغذ و یک پاک‌کن (و یا مشابه آن‌ها) را در مقابل کلاس باهم رها می‌کنیم و از دانش‌آموزان می‌خواهیم با دقت نگاه کنند و حرکت آن‌ها را باهم مقایسه کنند. سپس به صورت گروهی به تمرین ۱-۲ کتاب پاسخ گویند.

تمرین ۳-۱

در تصویر (الف) یک برگ در تصور (یا یک گلوله کوچک در حال سقوط و در تصویر (ب) گلوله‌ای که به طور عمود بر افق به بالا پرتاب شده است، دیده می‌شود. به نظر شما کدام یک از این حرکت‌ها ساده‌تر و بررسی کدام یک دشوارتر است؟ چرا؟

الف

ب

شکل ۳-۱

در ادامه به منظور سهولت بررسی حرکت یک جسم و در جهت دستیابی به زانی مشترک برای توصیف آن، به تعریف چند کمیت می‌پردازیم.

۱-۲ بردار مکان و بردار جابه‌جایی

برای توصیف و بررسی حرکت یک جسم باید بتوان معلوم کرد که آن جسم در هر زمانی در چه مکانی قرار دارد یا در چه زمانی به چه مکانی می‌رسد. همان‌طور که در درس ریاضی دیدیم، برای معرفی مکان یک نقطه می‌توان دستگاه مختصات انتخاب کرد و مکان نقطه را در آن دستگاه معرفی کرد.

در شکل (۳-۲) مکان نقطه‌های A(۲،۲)، B(-۲،۲) و C(۰،-۲) در صفحه شش‌گوش نشان داده شده است.

تمرین ۲ - ۱



هدف: توجه به تفاوت حرکت‌ها (ساده و پیچیده)

پاسخ: ظاهراً بررسی حرکت برگ دشوار به نظر می‌رسد. زیرا حرکت اجزای برگ رها شده، متغیر و با حرکت اجزای گوی رها شده متفاوت است. بررسی حرکت گوی رها شده از حرکت پرتاب گوی در راستای غیر قائم هم ساده‌تر به نظر می‌آید. اگر از حرکت چرخشی گوی پرتاب شده صرف‌نظر کنیم بررسی آن ساده‌تر نیز می‌شود.

پس از انجام این فعالیت موارد زیر را که شیوه‌هایی برای بررسی حرکت است معرفی می‌کنیم:

الف) توصیف حرکت در یک یا چند جمله (با عبارات‌های علمی)

ب) استفاده از رابطه‌های ریاضی (معادله‌های حرکت، سرعت و شتاب)

ج) رسم نمودارها (نمودار مکان - زمان، سرعت زمان و شتاب زمان)

۱-۲- بردار مکان، بردار جابه‌جایی

هدف

۱- آشنایی با روش تعیین مختصات مکان و رسم بردار

مکان و بردار جابه‌جایی

۲- آشنایی با رابطه مکان و زمان

آمادگی پیش از تدریس

دانش‌آموزان کاغذ میلی‌متری و نقاله همراه بیاورند.



دانشته‌های قبلی

دانش‌آموزان در درس ریاضی سال اول، محاسبه‌ی فاصله‌ی بین دو نقطه (در دستگاه مختصات) را

آموخته‌اند.

$$AB = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

و در ریاضی سال دوم روش تعیین معادله خطی را که از نقطه $A(x_1, y_1)$ می‌گذرد و شیب آن m است را

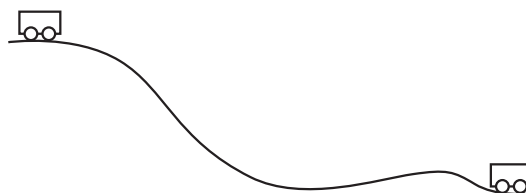
فرا گرفته‌اند.

$$y - y_1 = m(x - x_1)$$

راهنمای تدریس: شکل ساده‌ای از یک ارابه را روی تخته کلاس می‌کشیم و با رسم یک خط منحنی (غیرمستقیم) مسیر

حرکت ارابه را از یک نقطه به نقطه‌ی دیگر نشان می‌دهیم تا تجسمی از یک حرکت دوبعدی را ایجاد کنیم (شکل ۱-۲). و از

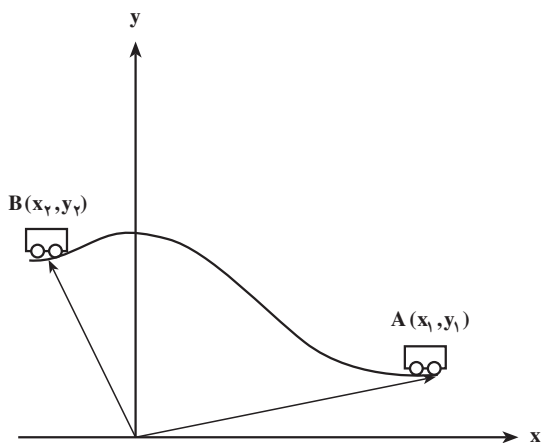
دانش‌آموزان می‌خواهیم برای تعیین موقعیت مکان ارابه (در زمان‌های مختلف) روشی را پیشنهاد کنند.



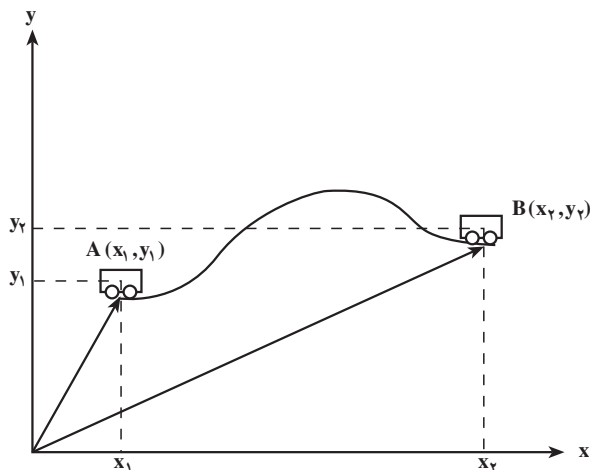
شکل ۱-۲

پایان حرکت) با مختصات نقطه‌های A و B مشخص می‌کنیم و بردار مکان را برای نقطه‌های A و B رسم می‌کنیم و با توجه به وابستگی مکان به زمان، مطابق آنچه در کتاب آمده است بردار مکان را تعریف می‌کنیم.

سپس با یادآوری آنچه در درس ریاضی درباره‌ی دستگاه مختصات XY و تعیین مختصه‌های یک نقطه خوانده‌اند، یک دستگاه مختصات XY روی تخته‌ی کلاس می‌کشیم (شکل ۲-۲) و موقعیت مکان اربابه را در لحظه‌های t_1 و t_2 (شروع و



ب



الف

شکل ۲-۲

برای این که از درک صحیح دانش‌آموزان نسبت به بردار جابه‌جایی اطمینان حاصل کنیم از آن‌ها می‌خواهیم با انجام فعالیت‌های گروهی، مسیر حرکت یک متحرک را روی کاغذ میلی‌متری بکشند. مکان متحرک را در لحظه‌ی مختلف t_1 و t_2 مشخص کنند. فاصله بین دو مکان را محاسبه کنند. بردارهای مکان و جابه‌جایی رسم کنند و به آن‌ها فرصت می‌دهیم مثال‌های خود را (روی تخته) برای کلاس ارایه کنند.

جابه‌جایی (یا تغییر مکان)

هدف: تعریف جابه‌جایی به عنوان یک کمیت برداری
 راهنمای تدریس: از دانش‌آموزان می‌خواهیم فاصله بین دو نقطه A و B (روی تخته کلاس) را با استفاده از مختصات آن‌ها محاسبه کنند و با ذکر این که فاصله، کمیتی نرده‌ای است اما جابه‌جایی کمیتی است برداری مطابق متن کتاب به تعریف رابطه‌ی بین بردارهای مکان و بردار جابه‌جایی $\vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$ می‌پردازیم.

باهم فکری در گروه خود یک متحرک را به دلخواه انتخاب و حرکت آن را تجسم کنید. مسیر حرکت آن را روی کاغذ میلی‌متری بکشید و برای بررسی حرکت آن موارد زیر را اجرا کنید.

- ۱- یک دستگاه مختصات XY برای تعیین وضعیت حرکت بکشید.
- ۲- مختصات مکان متحرک را در دو لحظه t_1 و t_2 مشخص کنید.
- ۳- فاصله‌ی بین این دو مکان را محاسبه کنید.
- ۴- بردارهای مکان را در دو لحظه t_1 و t_2 بکشید.
- ۵- بردار جابه‌جایی را در بازه زمانی $\Delta t = t_2 - t_1$ بکشید و رابطه‌ی آن را با بردارهای مکان بنویسید.

توجه: برای بررسی حرکت و سکون یک جسم وضعیت آن را نسبت به یک دستگاه محور مختصات xy می‌سنجیم که «دستگاه مختصات مرجع» نامیده می‌شود. در این دستگاه، مختصات جسم متحرک با گذشت زمان تغییر می‌کند.

مثال ۱-۴

در شکل (۱-۴) بردار مکان متحرکی در دو لحظه t_1 و t_2 به ترتیب \vec{r}_1 و \vec{r}_2 است. اگر بزرگی هر یک از بردارها به ترتیب 300 و 400 و زاویه بین آن‌ها 90° باشد، بزرگی جابه‌جایی بین این دو لحظه چقدر است؟
 حل: با توجه به شکل (۱-۴)، بردار جابه‌جایی \vec{d} در مثلث قائم‌الزاویه‌ای است که بزرگی اضلاع آن 300 و 400 است. بنابراین بزرگی جابه‌جایی برابر با $d = \sqrt{300^2 + 400^2} = \sqrt{250000 + 160000} = \sqrt{410000} = 640$ است.

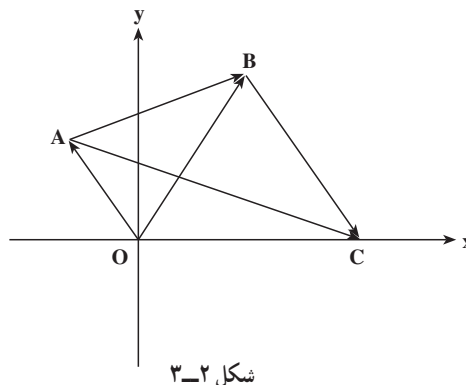
تمرین ۴-۴

در شکل (۲-۴) متحرکی در لحظه‌های t_1 و t_2 به ترتیب از نقطه‌های A و B عبور کرده است. بردارهای مسکنان را در لحظه‌های t_1 و t_2 و بردارهای جابه‌جایی را بین دو لحظه t_1 و t_2 و بین دو لحظه t_1 و t_3 رسم کنید.

تمرین ۲-۲

هدف: رسم بردار جابه‌جایی در بازه‌های زمانی مختلف

پاسخ: به شکل ۳-۲ نگاه کنید.



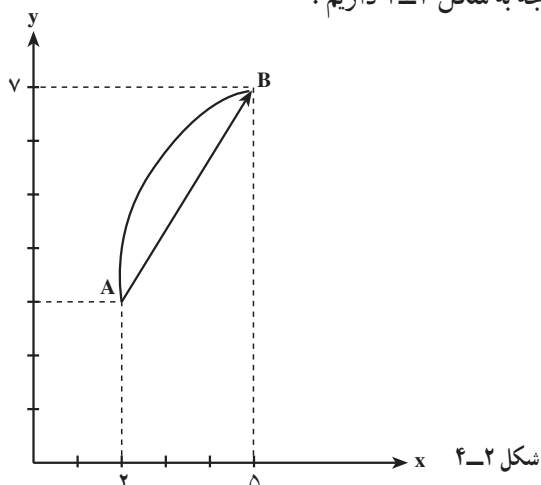
تمرین ۲-۳

هدف: کاربرد آموخته‌های ریاضی

پاسخ: با توجه به شکل ۴-۲ داریم:

$$AB = \sqrt{(2-5)^2 + (3-7)^2}$$

$$AB = 5m$$





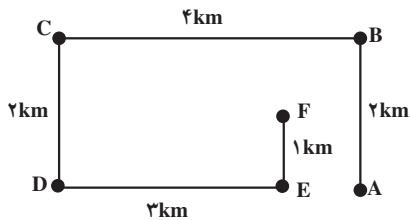
۱- متحرکی در لحظه t_1 در نقطه‌ی A به مختصات (۵،۲) و در لحظه‌ی t_2 در نقطه‌ی B به مختصات (۳،-۲) قرار دارد. بردارهای مکان را در لحظه‌های t_1 و t_2 رسم کرده و پس از آن بردار جابه‌جایی را بین دو لحظه‌ی t_1 و t_2 رسم کنید. در رسم بردارها، مقیاس مناسبی انتخاب کنید و اندازه‌ی بردار جابه‌جایی را به کمک خط‌کش به دست آورید. (یکای مختصات داده شده برحسب متر است.)

۲- موتورسواری مطابق شکل ۵-۲ حرکت می‌کند و از نقطه‌ی A به نقطه‌ی F می‌رود.

الف) این موتورسوار چه مسافتی را طی کرده است؟

ب) بردار جابه‌جایی موتورسوار را رسم کنید و اندازه‌ی

آن را به کمک محاسبه به دست آورید.

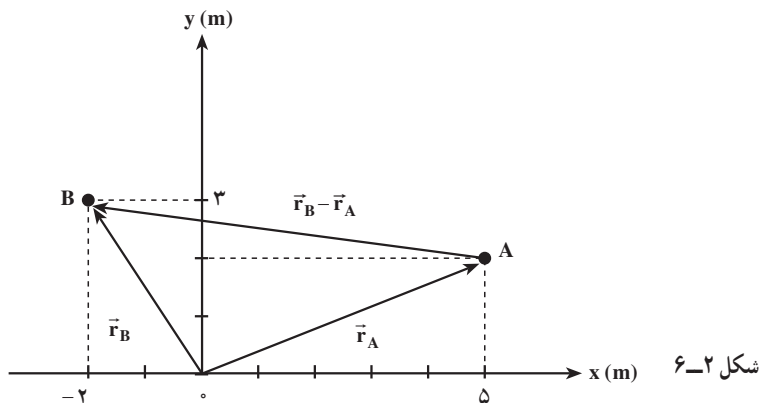


شکل ۵-۲

۳- شخصی می‌خواهد به نقطه‌ای در فاصله‌ی ۶ کیلومتری از محل کنونی خود در جهت جنوب غربی برود، اما باید در امتداد خیابان‌هایی حرکت کند که شمالی - جنوبی یا شرقی - غربی هستند. کم‌ترین مسافتی که باید این شخص بپیماید تا به مقصد برسد، چه قدر است؟ شکل مناسبی از مسئله رسم کنید.

پاسخ:

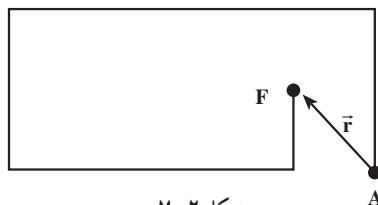
۱- به کمک خط‌کش اندازه‌ی بردار جابه‌جایی $(\vec{r}_B - \vec{r}_A)$ را به دست می‌آوریم (شکل ۶-۲).



۲- الف) مسافت طی شده $= (2\text{km}) + (4\text{km}) + (2\text{km}) + (3\text{km}) + (1\text{km}) = 12\text{km}$

ب) بردار جابه‌جایی \vec{r} در شکل ۷-۲ نشان داده شده است.

$$r = |\vec{r}| = \sqrt{1^2 + 1^2} = \sqrt{2}\text{km} \cong 1.4\text{km}$$

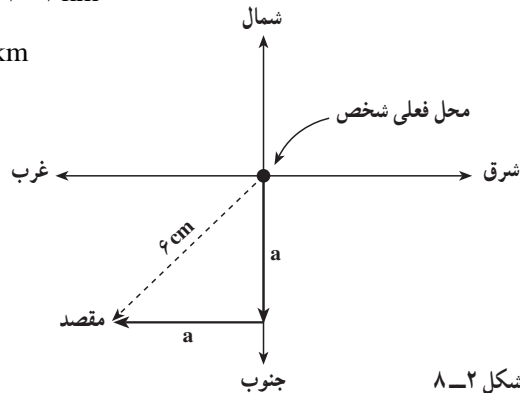


شکل ۷-۲

۳- چون مقصد به طرف جنوب غربی است باید طول مسیری که در امتداد جنوب و غرب می‌رود یکسان باشد (شکل ۲-۸). بنابراین

$$\sqrt{a^2 + a^2} = 6 \Rightarrow a\sqrt{2} = 6 \text{ km}$$

$$a = 3\sqrt{2} \text{ km} \cong 4.24 \text{ km}$$



شکل ۲-۸

دانستنی*



چارچوب مرجع

برای اندازه‌گیری‌های کمی رویدادهای فیزیکی نیاز به چارچوب مرجع داریم. هر چارچوب مرجع از یک دستگاه مختصات فضایی و یک ساعت تشکیل می‌شود که ناظر برای اندازه‌گیری مکان و زمان هر رویداد فیزیکی، از دید آن چارچوب، از آن استفاده می‌کند. معمولاً از دستگاه مختصاتی سه‌بعدی و مجموعه‌ای از ساعت‌های استاندارد استفاده می‌شود، ولی چارچوب مرجع را به شکل کلی‌تر می‌توان برحسب مجموعه‌ای از اجسام فیزیکی و ساعت‌هایی تعریف کرد که طبق قوانینی دل‌خواه در حرکت‌اند.

مسیر حرکت هر جسمی را ناظر با مشخص کردن مکان آن در هر لحظه‌ای زمانی در چارچوب مرجعی معین ترسیم می‌کند. این مسیر معرف قانون حرکت در آن چارچوب است که می‌توان آن را با معادله‌ی حرکت توصیف کرد. برای ناظری که در چارچوب مرجعی دیگر در نقطه‌ی دیگری از فضا است یا در چارچوب مرجعی قرار دارد که نسبت به چارچوب اولیه در حرکت است، این حرکت ممکن است متفاوت به نظر آید. اگر بدانیم مکان‌ها و جهت‌گیری‌های نسبی دو چارچوب چگونه با زمان تغییر می‌کنند، می‌توانیم تبدیلی تعریف کنیم که مختصات اندازه‌گیری شده‌ی مسیر را از چارچوبی به چارچوب دیگر ببرد. اگر معادله‌ی حرکت در هر دو چارچوب یکسان باقی بماند، می‌گوییم قانون‌های حرکت تحت این تبدیل ناوردا هستند.

نور آن‌چنان سریع حرکت می‌کند که انگار هر مسیری را به‌طور لحظه‌ای می‌بیناید. آیزاک نیوتون فرض کرد که سرعت نور بی‌نهایت است و در نتیجه هر تک ساعتی می‌تواند زمان را در همه‌ی چارچوب‌های مرجع، صرف‌نظر از مکان یا حرکت نسبی‌شان، اندازه‌گیری کند. چارچوب‌های مرجعی را که تعریف زمان برای همه‌ی آن‌ها یکی است، چارچوب‌های نیوتونی می‌گویند.

* این دانستنی به هر دو فصل ۲ و ۳ مربوط است.

چارچوب‌های مرجع لخت، چارچوب‌هایی هستند که دستگاه‌های مختصات فضایی‌شان با سرعت‌های نسبی متفاوت در موقعیت‌های متفاوتی در حرکت‌اند. در چارچوب مرجع مرکز جرم، که دستگاه مختصات فضایی آن در مرکز جرم جسم قرار می‌گیرد، جسم در غیاب نیروهای خارجی در حال سکون می‌ماند. قانون‌های نیوتون، حرکت جسم را در چارچوب لخت توصیف می‌کنند. در چارچوب لخت دیگری که با سرعت نسبی ثابت v نسبت به چارچوب اول در حرکت است، به نظر می‌آید که خود جسم در غیاب نیروی خارجی، همان‌طور که قانون نیوتون می‌گوید، با سرعت ثابت v حرکت می‌کند. تبدیل گالیله، سرعت و مکان جسم را از دید یک چارچوب لخت نیوتونی به چارچوب نیوتونی دیگر تغییر می‌دهد. نیروی F وارد بر جسمی به جرم لختی m در تمام چارچوب‌های لخت، شتاب یکسان $a = F/m$ را ایجاد خواهد کرد.

محاسبات مسیر اغلب با تبدیل به چارچوب‌های مناسب ساده‌تر می‌شود. در آزمایش‌های پراکندگی (مانند توپ‌های بیلارد روی میز)، پرتابه‌ها به طرف هدف ثابتی شلیک می‌شوند. پرتابه و هدف، هر دو پس از برخورد به حرکت درمی‌آیند. مکان و سرعت حاصل برای این دو در چارچوب آزمایشگاه، که در آن هدف در ابتدا ساکن بوده است، اندازه‌گیری می‌شود. محاسبات در چارچوب مرکز جرم، که در آن هدف و پرتابه در ابتدا به سمت یکدیگر در حرکت بوده‌اند، راحت‌تر است. دانشمندان معمولاً ترجیح می‌دهند محاسبات را در چارچوب مرکز جرم انجام دهند و برای مقایسه با اندازه‌گیری‌های تجربی، با استفاده از تبدیل گالیله، به چارچوب آزمایشگاه برگردند.

چارچوب‌های شتاب‌دار، چارچوب‌های نالخت‌اند. قانون‌های نیوتون حرکت اجسام را در چارچوب‌های شتاب‌دار توصیف نمی‌کنند، زیرا جسم ساکن در چنین چارچوب‌هایی نیاز به نیرویی دارد تا بر آن وارد شود و آن را با چارچوب شتاب‌دار همراه کند. چارچوب‌های مرجع چرخان، نمونه‌ی خاصی از چارچوب‌های شتاب‌دار هستند. اگر از چارچوبی لخت به جسمی بنگریم که در چارچوبی چرخان ثابت مانده باشد، مشاهده می‌کنیم که این جسم در مداری دایره‌ای می‌چرخد و بر اثر نیرویی مرکزگرا به سمت محور دوران شتاب‌دارد. برعکس، جسمی ساکن در چارچوب لخت، از دید چارچوب چرخان، مسیری دایره‌ای را می‌پیماید. برای توجیه حرکت مشاهده شده‌ی دایره‌ای در چارچوب چرخان، نیروی مؤثری به نام نیروی مرکزگرای تعریف می‌شود. به علاوه، اگر جسمی در چارچوب چرخان از محور دوران دور شود، این جسم از دید چارچوب لخت سرعت دایره‌ای خود را افزایش می‌دهد، و بنابراین شتاب‌دار به نظر می‌رسد. نیروی کوریولیس را برای توجیه این شتاب ظاهری تعریف می‌کنیم. برای توصیف حرکت در چارچوب مرجع چرخان، با افزودن نیروهای مرکزگرای و کوریولیس به نیروهای اعمال شده، قانون‌های نیوتون را اصلاح می‌کنیم. این رهیافت در محاسبات حرکت روی زمین، مثلاً در هواشناسی برای پیش‌بینی هوا و در محاسبه‌ی مسیر پرواز موشک‌های دوربرد، کاربرد گسترده‌ای دارد.

فرض نیوتون مبنی بر این که استفاده از تنها یک ساعت در همه‌ی چارچوب‌های لخت کفایت می‌کند. از فرض بی‌نهایت بودن سرعت نور نتیجه می‌شود. گرچه این فرض اغلب تقریب بسیار خوبی است، ولی سرعت نور واقعاً متناهی است و بنابراین لازم است در حد سرعت‌های نزدیک به سرعت نور، معادلات حرکت را اصلاح و بازنویسی کنیم. جیمز کلرک ماکسول، برای توصیف برهم‌کنش‌های الکترومغناطیسی، مجموعه معادلاتی به دست آورد که صریحاً شامل سرعت نور در خلأ است. این معادلات تحت تبدیل‌های گالیله ناوردا نیستند، ولی هندریک آنتون لورنتس نشان داد که این معادلات تحت تبدیل‌های لورنتس ناوردا هستند. این تبدیل‌ها نشان می‌دهند که مکان و زمان مستقل از هم نیستند، و در تبدیل از چارچوبی به چارچوب دیگر هر دو تغییر می‌کنند. این چارچوب مرجع چهار بعدی

را فضا زمان مینکوفسکی می‌گویند.

آلبرت اینشتین در نظریه‌ی نسبیت خاص خود از این مفاهیم بهره‌گیری کرد. فرض‌های اینشتین (در این نظریه) این است که سرعت نور در همه‌ی چارچوب‌های لخت ثابت است، و این که قانون‌های طبیعت در همه‌ی چارچوب‌های لخت یکسان‌اند (اصل نسبیت). او با استفاده از این فرض‌ها توانست نشان دهد که تبدیل‌های لورنتس و نه تبدیل‌های گالیله، روش درست تبدیل مختصات فضا و زمان از چارچوبی به چارچوب دیگر است. در عمل، هنگامی که اختلاف سرعت بین دو چارچوب بسیار کوچک‌تر از سرعت نور است، تفاوت بین این دو تبدیل بسیار کم است و قانون‌های نیوتون (در این شرایط) کلاً معتبر می‌مانند. بدین‌سان، تصحیحات نسبیتی قانون‌های نیوتون در سرعت‌های بسیار زیاد حایز اهمیت می‌شوند. این موضوع در آزمایش‌هایی که با ذرات بنیادی انجام می‌شوند، تأیید شده است.

نظریه‌ی نسبیت عام اینشتین، ایده‌ی فضا زمان خمیده را مطرح کرد. اینشتین فرض کرد که قانون‌های فیزیک را می‌توان به‌طور موضعی در چارچوب‌های مرجع لخت، که با تبدیل‌های لورنتس باهم در ارتباط‌اند، توصیف کرد. اما اگر فاصله به اندازه‌ی کافی زیاد باشد، دیگر فضا آن چنان که چارچوب‌های استاندارد لخت فرض می‌شود، تخت نیست. اینشتین به صورت اصل موضعی اعلام کرد که فضا بر اثر حضور اجسامی که جرم لختی دارند خمیده می‌شود، و این که همین خمیدگی فضا زمان است که نیروی گرانش را پدید می‌آورد.



۲-۲- حرکت بر روی خط راست

هدف: بررسی حرکت‌های ساده

راهنمای تدریس: از دانش‌آموزان می‌خواهیم تصور کنند از خانه به‌طور آهسته و یکنواخت روی مسیری مستقیم به طرف مدرسه می‌آیند که ناگهان چیزی به یادشان می‌افتد. در یک لحظه متوقف می‌شوند و به سرعت از همان مسیر به طرف خانه برمی‌گردند. اکنون از دانش‌آموزان می‌خواهیم مسیر حرکت خود را در یک دستگاه محور مختصات xy روی کاغذ بکشند. بعد از انجام این فعالیت به توصیف این حرکت و چگونگی رسم مسیر آن می‌پردازیم. یکی از روش‌های گزارش چگونگی حرکت با روش نقطه‌گذاری روی نوار کاغذی است.

تمرین ۳-۲

در شکل (۳-۲)، مسیر حرکت منحنی به صورت منحنی AB نشان داده شده است.

ردار جاه‌جایی بن‌دو نقطه A و B را رسم کنید و ویژگی آن را بدست آورید.

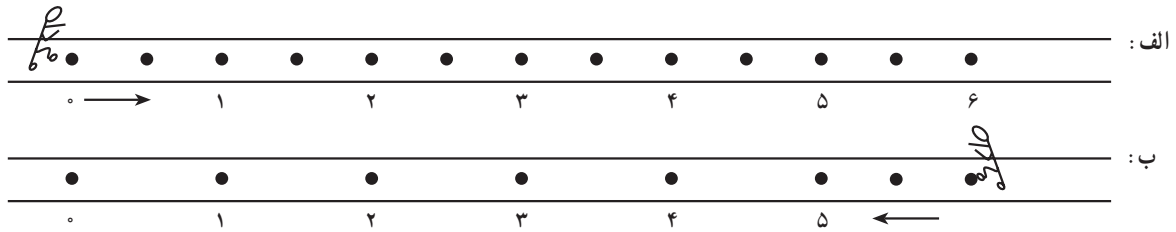
۳-۲-۱ حرکت بر روی خط راست

این نوع حرکت، یکی از ساده‌ترین انواع حرکت است. در این حرکت، مسیر خط راست است. در حرکت بر روی خط راست اگر مبدأ را روی مسیر اختیار کنیم، بردارهای مکان و بردارهای جاه‌جایی همرسانا هستند و این نسبت می‌شود که محاسبه بر روی این بردارها به سادگی انجام پذیرد.

فعالیت ۳-۲

منحنی نظری یک اوجیل را بر نظر بگیرید که در مسیری به شکل خط راست در حرکت است. شکل (۳-۲) این اوجیل را در لحظه‌های t_1, t_2, t_3, t_4 در مکان‌های A, B, C, D و روی مسیر نشان می‌دهد. شکل را مجدداً روی صفحه کاغذ رسم کنید. یک بار مبدأ را در خارج از مسیر و بار دیگر مبدأ را روی مسیر اختیار کنید و در هر یک از دو حالت بردارهای مکان را رسم کنید. به نظر شما در حرکت بر روی خط راست با معلوم بودن بزرگی بردار مکان در هر یک از دو لحظه t_1 و t_2 محاسبه بزرگی بردار جاه‌جایی در کدام حالت ساده‌تر است؟ چرا؟

در روش نقطه‌گذاری مکان متحرک در بازه‌های زمانی یکسان با نقطه مشخص می‌شود شکل ۹-۲ را روی تخته کلاس می‌کشیم و از دانش‌آموزان می‌خواهیم به چگونگی حرکت متحرک توجه کنند.

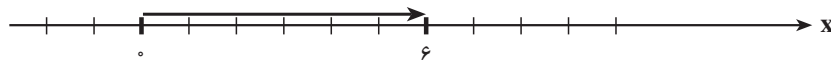


شکل ۹-۲

شکل الف حرکت متحرکی را نشان می‌دهد که آهسته و یکنواخت به سمت جلو رفته است. شکل ب همان متحرک را نشان می‌دهد که تند و یکنواخت برمی‌گردد. سپس به چگونگی رسم مسیر حرکت یک بُعدی می‌پردازیم و از یکی از دانش‌آموزان می‌خواهیم روی تخته کلاس

یک محور افقی (محور x ها) رسم کند و مسیر حرکت آن‌ها را روی محور نشان دهد (شکل ۱۰-۲).

یادآوری می‌کنیم برای رسم مسیر این حرکت‌ها (حرکت‌های یک بُعدی) رسم یکی از محورها (x یا y ها) کافی است و موقعیت متحرک در هر لحظه با یک مختصه قابل نمایش است.



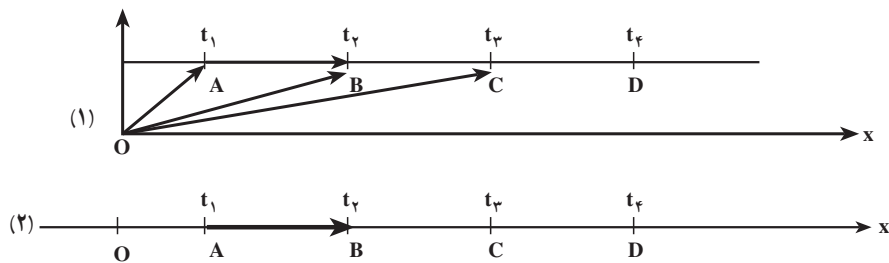
شکل ۱۰-۲

و می‌پرسیم: و یا ایستادن را نشان می‌دهد؟ (البته خیر) به نظر شما از روی مسیر حرکت می‌توانیم چگونگی حرکت را گزارش کنیم؟ آیا مسیر حرکت به تنهایی آهسته رفتن، تند رفتن انجام دهند.

فعالیت ۱-۲

هدف: انتخاب مبدأ مناسب برای رسم مسیر

تعمیم فعالیت: آیا انتخاب مبدأ (مناسب یا نامناسب) تأثیری بر بزرگی جابه‌جایی داریم؟



شکل ۱۱-۲

پاسخ: محاسبه بزرگی جابه‌جایی در حالت (۲) ساده‌تر است. بردارهای مکان و جابه‌جایی هم در یک راستا می‌باشند محل انتخاب مبدأ بر بزرگی جابه‌جایی تأثیر ندارد.

تمرین ۲ - ۴



هدف: توجه به ویژگی بردارهای مکان در حرکت روی خط راست.

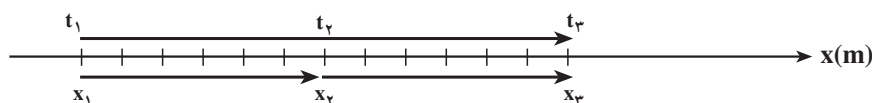
پاسخ: در حرکت روی خط راست بردارهای جابه‌جایی همه در یک راستا هستند ولی ممکن است هم‌سو و یا در سوی مخالف باشند.

اگر هم‌سو باشند بزرگی جابه‌جایی برابر با تفاضل آن‌ها و اگر در سوی مخالف باشند بزرگی جابه‌جایی برابر با مجموع آن‌ها است.

تمرین ۲ - ۵



هدف: رسم بردار جابه‌جایی در حرکت یک‌بعدی



شکل ۲-۱۴

پاسخ: با توجه به شکل ۲-۱۴ بزرگی جابه‌جایی در بازه‌های زمانی (t_2, t_1) ، (t_3, t_2) ، و (t_3, t_1) به ترتیب ۶ متر، ۶ متر، و ۱۲ متر است.

تمرین پیشنهادی



مختصات متحرکی که روی خط راست در حرکت است، در چند لحظه‌ی مختلف مطابق جدول زیر است.

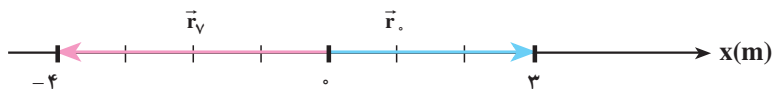
t(s)	۰	۲	۴	۷	۸
x(m)	۳	۵	۰	-۴	-۱

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

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

پاسخ:

الف) در شکل ۲-۱۵ برای نمونه، بردار مکان متحرک در لحظه‌های $t=0$ و $t=7$ s رسم شده است.



شکل ۲-۱۵

ب) جابه‌جایی متحرک در ۴ ثانیه‌ی اول حرکت برابر است با : $\Delta x = x_2 - x_1 = 0 - 3 = -3 \text{ m}$

و در ۴ ثانیه‌ی دوم حرکت برابر است با : $\Delta x = x_2 - x_1 = -1 - 0 = -1 \text{ m}$



حرکت



بازه‌های مکانی و زمانی، و چگونگی ارتباط آن‌ها با تعریف حرکت، از جمله بنیادی‌ترین مفاهیم فیزیک هستند. به ساده‌ترین زبان، تغییر موقعیت پیوسته‌ی هر جسمی نسبت به هر چارچوب مرجعی را حرکت می‌گویند. حرکت را با ویژگی‌های موقعیت مکانی لحظه‌ای جسم، سرعت جسم (آهنگ تغییر موقعیت نسبت به زمان)، و شتاب آن (آهنگ تغییر سرعت نسبت به زمان) می‌توان شناخت. دگرگونی‌های حرکت جسم در طول زمان را به کمک قوانین حرکت می‌توان به‌دست آورد. مطالعه‌ی حرکت، زیربنای هرگونه شناخت

جهان فیزیکی است؛ و از این‌رو، این موضوع از هزاران سال پیش ذهن بزرگ‌ترین اندیشمندان جهان علم را به خود مشغول داشته است و امروزه نیز این وضعیت هم‌چنان ادامه دارد.

در فرهنگ مضبوط، پیشینه‌ی این خط سیر فکری را تا یونان باستان و شاید چشم‌گیر از همه تا ارسطوی فیلسوف می‌توان به عقب برد. در اثر بزرگ ارسطو، فیزیک، از عناصر اصلی طبیعت (آب، آتش، باد، و خاک) به‌عنوان عواملی یاد شده است که حرکت قابل مشاهده‌ی اجسام را توجیه می‌کنند. ارسطو بر این باور بود که جهان با گرایش‌های متضاد آتش و باد که حرکت روبه بالا دارند، و آب و خاک که حرکت روبه پایین دارند، در حال تعادل است، عنصر پنجم را، که اثر یا اثر نامیده می‌شد، عامل حرکت ستارگان و سیارگان می‌شمردند.

دیدگاه ابداعی کلاؤدیوس بطلمیوس، منجم اسکندرانی، درباره‌ی حرکت اجسام آسمانی که در کتاب المجسطی او آمده است نیز تأثیر عظیمی به‌جای گذاشت. بطلمیوس بر این باور بود که ستاره‌ها، سیاره‌ها، ماه، و خورشید در مدارهایی به صورت دایره روی دایره، به نام فلک تدویر، در حرکت‌اند. پیش‌بینی مسیرهای نسبتاً پیچیده‌ی این اجرام در آسمان، نیازمند نظام هندسی بسیار دشواری از فلک‌های تدویر بود. صورت‌بندی این ابداع ریاضی، از این باور بطلمیوس ریشه می‌گرفت که تنها مدارهای دایره‌ای هستند که با پیش‌فرض کامل بودن عالم سازگاری دارند.

این جهان‌بینی ارسطویی – بطلمیوسی نزدیک به دو هزار سال بر تفکر علمی حکم‌فرمایی داشت، و به عنوان یادمان بزرگ مشاهده و دستاورد اندیشه استوار مانده بود. داستان سرنگونی این جهان‌بینی و جانشینی آن با نظرات نیکولا کوپرنیک، یوهانس کپلر، گالیلئو گالیله، آیزاک نیوتون و دیگران، کانون اصلی نوزایی علم را در اروپای سده‌های پانزدهم تا هفدهم به نمایش می‌گذارد.

برای نمونه، کوپرنیک با در نظر گرفتن خورشید به‌جای زمین و استقرار آن در مرکز عالم شناخته شده، با خطرپذیری تکفیر و زندانی شدن، مرجعیت کلیسا را به چالش گرفت. این انقلاب کوپرنیکی را کپلر، با فرمول‌بندی قوانین خود در مورد حرکت سیارگان، پیش‌تر برد. قانون‌های کپلر به این شرح‌اند.

۱- سیاره‌ها در مدارهای بیضی شکلی که خورشید در یکی از کانون‌های‌شان قرار دارد، در حرکت‌اند؛

۲- شعاع مدار هر سیاره، در مدت زمان‌های یکسان مساحت‌های یکسانی را جاروب می‌کند؛

۳- مربع دوره‌ی تناوب‌مداری هر سیاره، با مکعب فاصله‌ی میانگین آن از خورشید متناسب است.

گاليله از مدل کوپرنیکی - کپلری منظومه‌ی خورشیدی حمایت کرد، و برای بررسی حرکت اجسام به مشاهدات مهمی دست یازید. برای مثال، وی با مطالعه‌ی حرکت اجسام در حال سقوط، در زمینه‌ی حرکت‌شناسی نقش بزرگی ایفا کرد. او مفاهیم سرعت و شتاب را روشنی بخشید، و اصل حرکت نسبی (مبنی بر «تغییرناپذیری یا ناوردایی قوانین حرکت بر اثر انتقال، دوران، و تغییر سرعت») را مطرح کرد. گاليله، پس از تحمل دادگاه تفتیش عقاید و اجبار به توبه و دست کشیدن از نظراتش، در سال ۱۶۴۲ درگذشت. در همین سال بود که نیوتون چشم به جهان گشود.

حتی در زمان خود نیوتون هم مردم وی را به عنوان کسی که با توصیف ریاضیاتی حرکت و با به دست دادن مفاهیمی از فضای مطلق و زمان مطلق، طرحی کاملاً فراگیر از عالم درافکنده است می‌شناختند. نیوتون، به‌طور هم‌زمان با گوته‌فرد و یلهلم لایبنیتس، حسابان را ابداع کرد؛ و با استفاده از این ابزار ریاضی، ارتباط میان بازه‌ی مکانی (یا موقعیت)، سرعت، و شتاب را به دست آورد. برای مثال اگر $f(x,t)$ تابع معرفِ موقعیت مکانی x جسم در طول زمان t باشد، سرعت v عبارت است از:

$$v = (d/dt)f(x,t) \quad (1)$$

و شتاب a چنین به‌دست می‌آید:

$$a = (d^2/dt^2)f(x,t) = (d/dt)v \quad (2)$$

که در آن‌ها d/dt و d^2/dt^2 ، به ترتیب، مشتق‌های اول و دوم نسبت به زمان هستند.

نیوتون در یکی از بزرگ‌ترین آثار علمی‌اش - *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* - براساس این پایه‌ی ریاضی و با توضیح موشکافانه‌ی مکانیک حرکت، نشان داد که قوانین حاکم بر حرکت اجرام آسمانی همان قوانین حاکم بر حرکت اجسام زمینی مثل سیب و گلوله‌ی توپ هستند. قوانین بنیادی توصیف شده در این اثر، که با عنوان قانون‌های نیوتون شناخته می‌شود، مبانی آن‌چه را که مکانیک کلاسیک یا مکانیک نیوتونی خوانده می‌شود تشکیل می‌دهد. این قوانین عبارت‌اند از:

۱- هر جسمی یا در حال سکون خواهد ماند یا با سرعت ثابت در راستای خطی راست حرکت خواهد کرد مگر وقتی که نیروی خارجی بر آن وارد شود (این قانون که گاليله آن را دلیلی بر بطلان مکانیک ارسطویی دانسته است، با نام قانون لختی هم شناخته می‌شود).

۲- شتاب جسم (که کمیتی در ارتباط با تغییر تکانه است، در حالی که تکانه به صورت حاصل ضرب جرم در سرعت تعریف می‌شود) متناسب است با حاصل جمع نیروهای خارجی F وارد بر آن و به‌طور معکوس متناسب است با جرم m جسم (این قانون بیانی از معادله‌ی معروف نیوتون $F = ma$ است که می‌توان آن را به صورت $F = (d/dt)mv$ نیز نوشت - نمونه‌ی آن، قانون گرانش عمومی نیوتون $F_{گرانی} = GMm/r^2$ است که در آن G ثابت گرانش نیوتونی، M جرم یکی از دو جسم (مثلاً جرم زمین)، m جرم جسم دیگر (مثلاً جرم سیب) و r فاصله‌ی جدایی بین مراکز این دو جسم است).

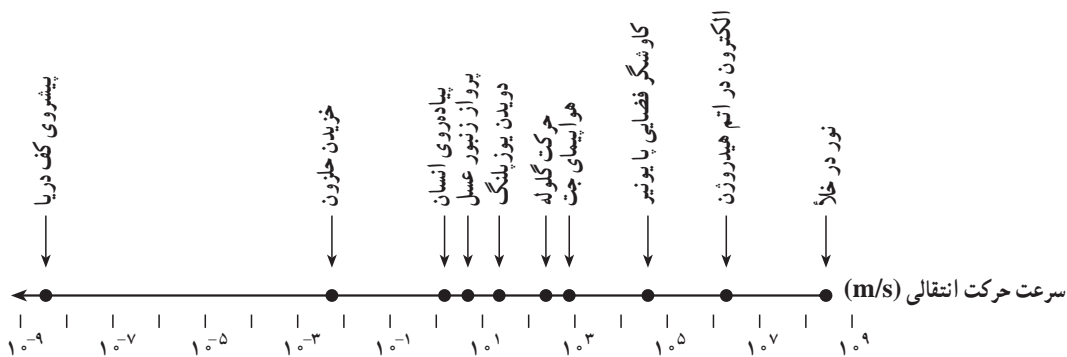
۳- نیرویی که هر جسمی بر جسمی دیگر وارد می‌کند، از نظر بزرگی برابر و از نظر جهت مخالف با نیرویی است که جسم دوم بر جسم اول وارد می‌آورد (قانون کنش و واکنش هر کنشی دارای واکنشی مساوی و در جهت مخالف است). چندی بعد، ژوزف لوئی لاگرانژ و ویلیام روان هاملتون با ارائه‌ی ریاضیاتی اصول نیوتون، زمینه‌ای پدید آوردند که در گسترش فرمول‌بندی‌های نوین مکانیک و نظریه‌های فیزیکی دیگر اثرگذاری‌های مهمی داشت.

در اواخر قرن نوزدهم، گسترش نظریه‌ی تابش الکترومغناطیسی تا آن‌جا پیش رفت که دیدگاه نیوتونی فضا و زمان مطلق به چالش گرفته شد. آلبرت اینشتین، با به‌دست آوردن نظریه‌ی نسبیت خاص (یا نظریه‌ی محدود نسبیت) در ۱۹۰۵

و نظریه‌ی نسبیت عام در ۱۹۱۵، در کانون این درگیری و چالش قرار گرفت. بنابر نظریه‌ی نسبیت خاص، سرعت نور در خلأ حد بالای سرعتی است که هر جسم فیزیکی می‌تواند داشته باشد، و قوانین فیزیک در چارچوب‌های مرجع لخت ناوردا هستند (چارچوب لخت، چارچوبی است که در آن هر جسمی را که تحت تأثیر نیروهای خارجی نباشد می‌توان با قانون اول نیوتون توصیف کرد). پس، با رعایت همین مقدار حد سرعت‌هاست که هر دو جسمی می‌توانند با یکدیگر بر هم کنش داشته باشند. بر هم کنش آنی (یا به اصطلاح «کنش از دور») اجسام، که نکته‌ای اساسی در مکانیک گالیله و مکانیک نیوتونی است، با این نتیجه منافات دارد. یکی از پیامدهای قوانین جدید (نسبیتی) این است که سرعت‌ها را نمی‌توان با روش گالیله - نیوتون باهم جمع کرد، بلکه برای این منظور به تبدیل‌هایی نیاز داریم که اینشتین و هندریک آنتون لورنتس آن‌ها را به دست آورده‌اند.

علاوه بر این، اینشتین نشان داد که فضا و زمان در واقع تفاوت چندانی باهم ندارند، بلکه جلوه‌هایی از مفهومی منفرد به نام فضا زمان هستند. نظریه‌ی نسبیت عام اینشتین، نظریه‌ی هندسی درباره‌ی گرانش است. در این دیدگاه، گرانی حاصل انحنایی است که بر اثر جرم و انرژی در فضا زمان پدید می‌آید (جرم و انرژی نیز، به نوبه‌ی خود، جلوه‌هایی دوگانه از پدیده‌ای یگانه به نام جرم - انرژی هستند که با معادله‌ی معروف اینشتین $E = mc^2$ نشان داده می‌شود) این نظریه، تعمیم نسبیتی نظریه‌ی گرانش نیوتون است که در حد میدان‌های گرانشی ضعیف و سرعت‌های کم، نسبت به نور، به نظریه‌ی نیوتون تبدیل می‌شود. از میان پیامدهای نسبیت عام، می‌توان دیدگاه نوین پیدایش عالم به نام اصطلاحی مهبانگ، و نظریه‌ی اجسام بسیار پرجرمی مانند ستاره‌های نوترونی و سیاه‌چاله‌ها، را نام برد. نسبیت عام در کنار مکانیک کوانتومی، که نظریه‌ی برهم کنش اجسام فیزیکی در مقیاس میکروسکوپیکی اتم و ذرات زیراتمی است، جدیدترین نظریه‌ی حرکت است که در سطح عمومی پذیرفته می‌شود.

برای آشنایی با انواع حرکت‌های اجسام فیزیکی، متداول‌ترین شکل‌های حرکت را می‌توان به صورت حرکت انتقالی، حرکت چرخشی (یا دورانی)، و حرکت ارتعاشی دسته‌بندی کرد. به عنوان نمونه‌ای از حرکت ارتعاشی، نوسان اتم‌ها یا مولکول‌های سازنده‌ی اجسام جامد را می‌توان نام برد. صوت یا صدا، پدیده‌ای است که از ارتعاش محیطی مانند هوا حاصل می‌شود. در اجسام کُپه‌ای این نوع حرکت‌های ارتعاشی منجر به تولید گرما می‌شود. گستره‌ی سرعت‌های چرخشی، از چرخش بسیار کُند کهکشان‌ها (تقریباً 10^{-15} rad/s) تا چرخش‌های معتدلی مانند چرخش زمین به دور محور خود (حرکت وضعی با سرعت تقریبی 10^{-4} rad/s) و چرخش‌های بسیار تندی مانند چرخش هسته‌ی اتم (با سرعت تقریبی 10^2 rad/s) را شامل می‌شود. بنابر نظریه‌ی نسبیت خاص، سرعت نور را باید حد سرعت انتقالی هرگونه جسمی دانست. سرعت‌های انتقالی برخی اجسام شناخته شده در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل ۲-۱۶- گستره‌ی سرعت حرکت انتقالی برای اجسام مختلف

۳-۲- نمودار مکان - زمان

هدف: توصیف حرکت (روی خط راست) با نمودار

مکان - زمان

آمادگی پیش از تدریس: دانش آموزان کاغذ میلی متری

همراه بیاورند.

می‌کنیم برای این کار با توجه به ارتفاع درون جدول، مقیاس مناسبی برای هر محور انتخاب می‌کنیم. به عنوان مثال، برای مکان هر متر جای را با ۵ یا ۱۰ سانتی‌متر روی محور مکان و برای زمان هر یک ثانیه را با یک سانتی‌متر یا نیم‌سانتی‌متر روی محور زمان نشان می‌دهیم. پس از آن نمودار را به روش نقطه‌بای رسم می‌کنیم.

در جدول (۲-۲) مکان متحرکی در حرکت و روی خط راست در چند لحظه داده شده است و نمودار مکان - زمان آن در شکل (۲-۱۷) رسم شده است.

جدول ۲-۲

مکان (م)	۰	۱	۲	۳	۴
زمان (ثانیه)	۰	۱	۲	۳	۴

با استفاده از این نمودار می‌توان دریافت که متحرک در هر لحظه در چه مکانی قرار دارد و جایگاهی آن در هر لحظه جغرافیایی است. مثلاً در لحظه $t=0$ متحرک در دو متری مبدأ بوده است. یا در بازه $t=3$ تا $t=4$ ، جایگاهی آن $4-3=1$ متر است.

تمرین ۲-۳

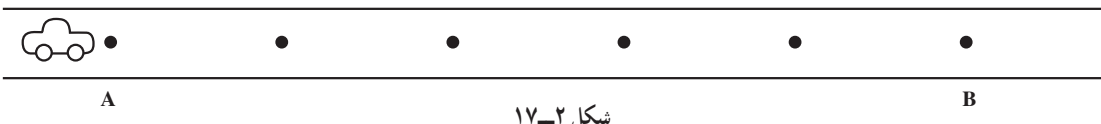
جدول (۲-۲) خاصیت متحرکی را تا مبدأ در لحظه‌های داده شده در جدول نشان می‌دهد. نمودار مکان - زمان این متحرک را رسم کنید.

جدول ۲-۳

مکان (م)	۰	۱	۲	۳	۴
زمان (ثانیه)	۰	۱/۲	۱	۳/۲	۲

راه‌نمای تدریس: درس را با مثالی از حرکت روی خط

راست و رسم نمودار مکان - زمان آن شروع می‌کنیم. به این منظور شکل زیر را که چگونگی حرکت یک اتومبیل به روش «نقطه‌گذاری» را نشان می‌دهد روی تخته‌ی کلاس می‌کشیم (شکل ۲-۱۷).

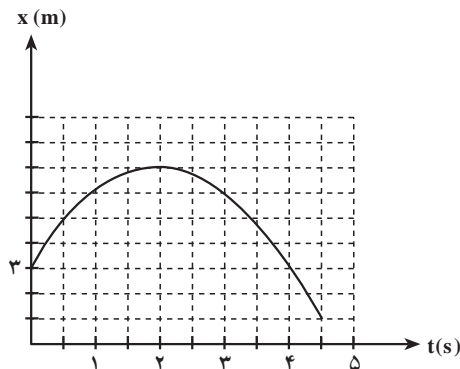


شکل ۲-۱۷

با رسم جدولی مشابه جدول زیر چگونگی حرکت

رفت و برگشت این اتومبیل «از نقطه A به B و برعکس» را گزارش می‌کنیم.

زمان (ثانیه)	۰	۰/۵	۱	۱/۵	۲	۲/۵	۳	۳/۵	۴	۴/۵
مکان (متر)	۳	۴/۷۵	۶	۶/۷۵	۷	۶/۷۵	۶	۴/۷۵	۳	۰/۷۵

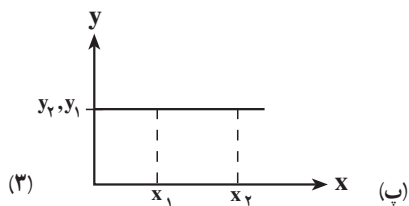
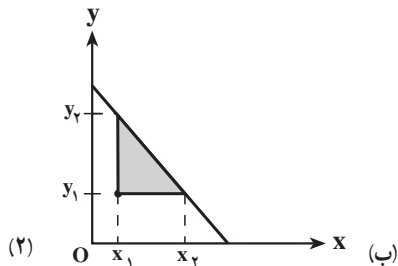
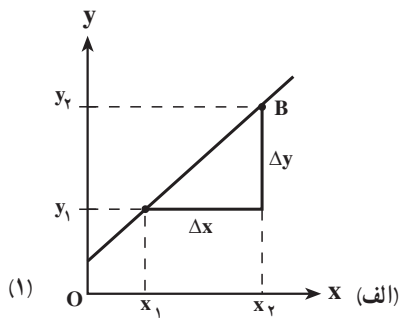


شکل ۲-۱۸

و از دانش آموزان می‌خواهیم نمودار مکان - زمان این حرکت را روی کاغذ میلی‌متری رسم کنند (شکل ۲-۱۸). یکی از دانش آموزان داوطلبانه نمودار را با مقیاسی مناسب روی تخته کلاس بکشد و با پرسش و پاسخ و مشارکت دانش آموزان ویژگی‌های حرکت را از روی نمودار آن توصیف می‌کنیم.

- متحرک با چه فاصله‌ای از مبدأ شروع به حرکت کرده است؟ (و یا پرتاب شده است؟)
- بیش‌ترین فاصله‌ی متحرک تا مبدأ چه مقدار و در چه زمانی بوده است؟
- کل مسافت طی شده چه قدر است؟
- آیا جهت حرکت تغییر کرده است؟ در چه لحظه‌ای؟ و پس از طی چه مسافتی؟
- جابه‌جایی کل متحرک چه قدر بوده است؟
- آیا می‌توانید مسیر حرکت را روی شکل نشان دهید؟
- آیا می‌توانید کل مسافت طی شده را محاسبه کنید؟

توجه: دانش‌آموزان در درس ریاضی دوره‌ی راهنمایی با تعیین معادله‌ی خطی که از دو نقطه A و B می‌گذرد آشنا شده‌اند و می‌توانیم از آن‌ها بخواهیم با توجه به کمیت‌های به کار رفته به جای x و y معادله نمودار را بنویسند ($x = t + 2$).



شکل ۲-۱۹

و به این ترتیب رسم نمودار «مکان- زمان» و تحلیل آن را روشی برای توصیف حرکت معرفی می‌کنیم سپس از دانش‌آموزان می‌خواهیم نمودار «مکان- زمان» جدول ۲-۱ (صفحه ۳۶) کتاب درسی را روی کاغذ میلی‌متری رسم و معادله‌ی آن را پیدا کنند.

یادداشت ریاضی: برای تقویت مهارت دانش‌آموزان در تحلیل نمودارها و تعیین معادله‌های حرکت بخش‌های زیر را از درس ریاضی سال ۲ مرور می‌کنیم.

۱- تعیین شیب خط: شیب خط عبارت است از تغییرات عرض‌های دو نقطه دلخواه به تغییرات طول‌های متناظر

آن‌ها (شکل ۲-۱۹ الف) یعنی $m = \frac{\Delta y}{\Delta x}$ شیب خط

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} > 0 \text{ شیب خط (۱) مثبت است}$$

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} < 0 \text{ شیب خط (۲) منفی است}$$

زیرا $x_2 - x_1 < 0$ است (شکل ۲-۱۹ ب)

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{0}{x_2 - x_1} = 0 \text{ شیب خط (۳) صفر است}$$

(شکل ۲-۱۹ پ).