

حضرت حافظ می گوید:

بنازم آن مژه شوخ عافیت کش را که موج می زندش آب نوش بر سر نیش

به نظرم خیلی بیت قشنگی است، قدرت تصویرسازی و ارتباط تصویر و مفهوم در این بیت آن قدر زیاد است که اولاً به قول ادیبان، آدم انگشت حیرت به دندان می گرد و ثانیاً می رود سرکار که ببینید معنی آن چه خوانده، چیست؟! اما ممکن است بپرسید این بیت در مقدمه کتاب ماجرای بیست فیزیک سال دوازدهم چه می کند. سؤال خوبی است. راستش خواستم بگویم بالاخره ما آن قدر از ادبیات سرمان می شود که بتوانیم یک بیت در مورد موج و ارتعاش بیاوریم.

جواب بالا شوخی بود، حقیقتش این است که زیبایی فیزیک از بعضی جهات در حد زیبایی های شعرهای حافظ است. اما هر دوی این زیبایی ها را وقتی درمی یابید که خوب بفهمید و خوب حسشان کنید. برای فهمیدن خوب و درست و حسابی درس فیزیکتان، این کتاب را برایتان آماده کرده ایم که مطمئنیم شگفت زده تان می کند و برای فهمیدن شعر حافظ، دیگر نوبت شماست که بگویید و بجوید که چه باید بکنید.

به هر حال توصیه و سفارش ما این است که: بخوانید، بفهمید، حس کنید و زندگی کنید و ...

خوب و خوش باشید.



مقدمه مؤلف^۳

از آن جایی که درس فیزیک هم در امتحان نهایی‌ها و هم در کنکور نقش فعالی را بازی می‌کند! باید یک بار برای همیشه این درس را به طور عمیق و کامل یاد بگیرید. از طرفی این را باید بدانید که در امتحان نهایی فیزیک باید راه حل‌هایی را بنویسید که در کتاب درسی به آن اشاره شده است و نمی‌توانید از روش‌های تستی در آن استفاده کنید. این موضوعات باعث شد ما تصمیم بگیریم که کتاب ماجرای بیست فیزیک ۱۲ را طوری بنویسیم که شما با خواندن آن و تمرین و تکرار روی آن به اهداف زیر برسید:

۱ یادگرفتن و حفظ‌شدن تمام تعاریف، مفاهیم و حفظیات آشکار و پنهان کتاب درسی **۲** یادگرفتن و حفظ‌شدن تمامی فرمول‌های فیزیک ۱۲ و موارد مرتبط از پایه که قابل استفاده در امتحان نهایی هستند (حتی فرمول‌های پنهان در تمارین آخر فصل) **۳** نحوه به کار بردن مفاهیم و فرمول‌ها در حین مواجهه با پرسش‌ها و مسئله‌ها **۴** کسب مهارت حل مسئله **۵** تسلط روی مثال‌ها، پرسش‌ها و تمرین‌های کتاب درسی

کتاب ماجرای بیست فیزیک شامل ۴ بخش عمده است که هر کدام را به طور مختصر برایتان توضیح می‌دهیم:

بخش ۱: درس‌نامه

ما هر فصل را به قسمت‌های کوچک‌تری تقسیم کرده‌ایم و برای هر کدام از آن قسمت‌های کوچک یک درس‌نامه خوب و کاربردی نوشته‌ایم. در این بخش تمامی مفاهیم، تعاریف، فرمول‌ها و نکات ریز و درشت کتاب درسی بیان شده است و با مثال‌های فراوان به آن‌ها عمق بخشیده شده است تا با خواندن آن همه چیز را برای امتحان نهایی یاد گرفته باشید.

تیترها، کادرها و آیکن‌های مورد استفاده در درس‌نامه

تیتتر اصلی این تیتتر موضوع اصلی یک قسمت از درس‌نامه را مشخص می‌کند. مثلاً: **مکان، جابه‌جایی و مسافت**

تیتتر فرعی این تیتتر موضوع بخشی از یک تیتتر اصلی را بیان می‌کند. مثلاً: **جابه‌جایی**

تیتتر جزئی: این تیتتر موضوع یک مبحث از تیتتر فرعی را بیان می‌کند. مثلاً: **تفاوت جابه‌جایی و مسافت:**

کادرهای فرمول و تعریف: همه فرمول‌ها و تعریف‌هایی را که شما باید حفظ باشید، داخل کادر قرار داده‌ایم. مثل تعریف و فرمول تندی متوسط:

$$S_{av} = \frac{L}{\Delta t}$$

تندی متوسط: به نسبت مسافت پیموده‌شده به مدت‌زمان طی آن مسافت، تندی متوسط می‌گوییم.

کادر این رو بخون که یاد بگیری: در این کادرها به شما گفته‌ایم چه‌طور از فرمول یا تعریفی که یاد گرفته‌اید، استفاده کنید؛ مثلاً در کادر زیر به شما گفته‌ایم که چه‌طور می‌توانید از فرمول $S_{av} = \frac{L}{\Delta t}$ برای به دست آوردن تندی متوسط در یک مسئله استفاده کنید.

این رو بخون که یاد بگیری

(در صفحه ۱۵ کتاب مشاهده کنید.)

کادر حالا خودت جواب بده: نوبتی هم باشه نوبت شماست! ما تعریف، فرمول و نحوه به کار بردن آن‌ها را برایتان گفتیم، حالا شما باید خودتان دست به کار شوید و آن‌ها را در یک سؤال به کار ببرید. این شما و این کادر حالا خودت جواب بده.

حالا خودت جواب بده

(در صفحه ۱۵ کتاب مشاهده کنید.)

آیکن‌ها: در درس‌نامه به آیکن‌هایی مثل **نکته**، **توجه**، **تذکره** و ... برخورد می‌کنید. همان‌طور که از اسمشان مشخص است باید دقتتان هنگام خواندن این‌جا چند برابر شود.

بخش ۲: سؤال‌های امتحانی

بعد از درس‌نامه هر درس سؤال‌های امتحانی آن درس قرار گرفته است. این سؤال‌ها شامل سؤال‌های امتحان نهایی‌های سال‌های گذشته به صورت طبقه‌بندی‌شده، سؤال‌های مشابهت‌سازی‌شده مثال‌ها و تمرین‌های کتاب درسی و سؤال‌های تألیفی سخت و پیشرو است که به شما این اطمینان را بدهد که هر سؤالی که در امتحان نهایی فیزیکتان می‌آید، عین آن و یا مشابهش را قبلاً در کتاب فیزیک دوازدهم ماجرای بیست دیده‌اید.

بخش ۳: پاسخ تشریحی

تمام سؤال‌های امتحانی این کتاب پاسخ تشریحی دارند تا هر موقع نتوانستید که سؤالی را حل کنید، با خیال راحت بروید سراغ بخش پاسخ تشریحی و آن‌جا مشکل‌تان را حل کنید.

بخش ۴: امتحان‌های نوبت اول و دوم

۲ امتحان نوبت اول و ۴ امتحان نوبت دوم (که ۲ تا تألیفی و سخت است و ۲ تا هم امتحان نهایی خرداد ۱۴۰۲ و خرداد ۱۴۰۳) به همراه پاسخ در انتهای کتاب قرار گرفته است که چیزی برای ۲۰ گرفتن در امتحان نوبت اول و امتحان نهایی کم نداشته باشید!

فهرست

فصل اول: حرکت بر خط راست

۸	درس اول: مفاهیم اولیه حرکت شناسی
۱۲	درس دوم: سرعت و تندی
۱۷	درس سوم: شتاب
۲۱	درس چهارم: معادله مکان - زمان (معادله حرکت)
۲۳	درس پنجم: نمودار مکان - زمان
	درس ششم: نمودار مکان - زمان و ارتباط آن با سرعت و شتاب
۲۷	
۳۰	درس هفتم: معادله و نمودار سرعت - زمان
	درس هشتم: تعیین شتاب از نمودار سرعت - زمان و معرفی نمودار شتاب - زمان
۳۴	
۳۹	درس نهم: حرکت با سرعت ثابت
۴۲	درس دهم: حرکت دو متحرک با سرعت ثابت
	درس یازدهم: حرکت با شتاب ثابت روی خط راست و معادله سرعت - زمان در این نوع حرکت
۴۴	
	درس دوازدهم: معادله مکان - زمان در حرکت با شتاب ثابت
۵۰	
۵۴	درس سیزدهم: معادله مستقل از زمان
	درس چهاردهم: نمودار مکان - زمان در حرکت با شتاب ثابت
۵۵	
	درس پانزدهم: حرکت دو متحرک که حداقل یکی از آنها با شتاب ثابت حرکت می کند
۵۹	
۶۱	درس شانزدهم: سقوط آزاد

فصل دوم: دینامیک و حرکت دایره ای

۶۶	درس اول: نیرو و قانون اول نیوتون
۶۹	درس دوم: قانون دوم نیوتون
۷۱	درس سوم: قانون سوم نیوتون

	درس چهارم: معرفی برخی نیروهای خاص؛ این قسمت:
۷۳	نیروی وزن و نیروی مقاومت شاره
	درس پنجم: معرفی برخی نیروهای خاص؛ این قسمت:
۷۷	نیروی کشش نخ
	درس ششم: معرفی برخی نیروهای خاص؛ این قسمت:
۷۸	نیروی عمودی سطح
	درس هفتم: معرفی برخی نیروهای خاص؛ این قسمت:
۸۲	نیروی اصطکاک و نیروی تکیه گاه
	درس هشتم: معرفی برخی نیروهای خاص؛ این قسمت:
۸۸	نیروی کشسانی فنر
۹۲	درس نهم: تکانه
۹۶	درس دهم: حرکت دایره ای یکنواخت
۹۹	درس یازدهم: نیروی مرکزگرا
۱۰۱	درس دوازدهم: نیروی گرانشی و حرکت ماهواره ها

فصل سوم: نوسان و موج

۱۰۶	درس اول: آشنایی با حرکت هماهنگ ساده
۱۱۰	درس دوم: نمودار مکان - زمان در حرکت هماهنگ ساده
	درس سوم: نوسانگر جرم - فنر؛ شتاب و نیرو در نوسان هماهنگ ساده
۱۱۲	
۱۱۵	درس چهارم: انرژی در حرکت هماهنگ ساده
۱۲۰	درس پنجم: آونگ ساده
	درس ششم: بسامد طبیعی، نوسان واداشته و پدیده تشدید
۱۲۲	
۱۲۵	درس هفتم: موج
۱۳۰	درس هشتم: بررسی دقیق تر امواج عرضی
۱۳۶	درس نهم: امواج الکترومغناطیسی
۱۳۹	درس دهم: امواج طولی و مفاهیم اولیه صوت

درس چهارم: طیف جذبی - موفقیت ها و نارسایی های

۲۰۲ مدل بور

۲۰۵ درس پنجم: لیزر

فصل ششم: آشنایی با فیزیک هسته ای

۲۰۸ درس اول: الفبای فیزیک هسته ای

۲۱۰ درس دوم: نیروی هسته ای و انرژی بستگی هسته

۲۱۴ درس سوم: پرتوزایی

۲۱۸ درس چهارم: نیمه عمر

۲۲۲ درس پنجم: شکافت و همجوشی هسته ای

۲۲۷ پاسخ نامه تشریحی

امتحانات

۲۹۹ نمونه امتحان نیم سال اول (امتحان شماره ۱)

۳۰۱ نمونه امتحان نیم سال اول (امتحان شماره ۲)

۳۰۳ نمونه امتحان نیم سال دوم (امتحان شماره ۳)

۳۰۵ نمونه امتحان نیم سال دوم (امتحان شماره ۴)

۳۰۷ نمونه امتحان نیم سال دوم (نهایی خرداد ۱۴۰۲)

۳۰۹ نمونه امتحان نیم سال دوم (نهایی خرداد ۱۴۰۳)

۳۱۱ پاسخ سؤال های امتحانی

۱۴۲ درس یازدهم: شدت صوت و تراز آن - ادراک شنوایی

۱۴۶ درس دوازدهم: اثر دوپلر

فصل چهارم: برهم کنش های موج

۱۴۹ درس اول: چهار پدیده موجی!! پدیده اول: بازتاب موج

۱۵۴ درس دوم: بازتاب امواج الکترومغناطیسی

۱۵۷ درس سوم: پدیده دوم: شکست موج

۱۶۱ درس چهارم: شکست امواج الکترومغناطیسی

۱۶۷ درس پنجم: پدیده سوم: پراش

۱۶۹ درس ششم: پدیده چهارم: تداخل

۱۷۵ درس هفتم: امواج ایستاده و نقش آن در تارها

درس هشتم: امواج ایستاده در لوله های صوتی و امواج

۱۸۲ ایستاده الکترومغناطیسی

فصل پنجم: آشنایی با فیزیک اتمی

درس اول: فیزیک کلاسیک و فیزیک جدید - پدیده

۱۸۴ فوتوالکتریک

۱۹۲ درس دوم: طیف گسیلی خطی

۱۹۶ درس سوم: سیر پیشرفت مدل های اتمی

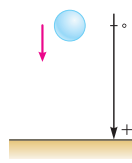
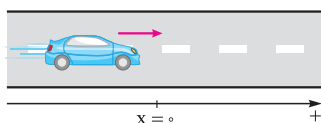
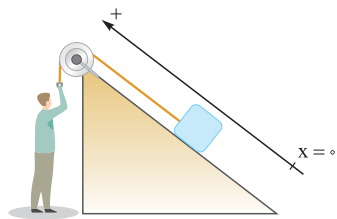
درس نامہ و سؤالات امتحان

فصل ۱: حرکت بر خط راست

درس ۱: مفاهیم اولیه حرکت‌شناسی

اطراف ما پُر است از اجسامی که در حال حرکت هستند، بنابراین برای درک بهتر این جهان باید حرکت و انواع آن را بررسی کنیم. بررسی حرکت اجسام در شاخه‌ای از دانش فیزیک به نام حرکت‌شناسی (سینماتیک) صورت می‌گیرد. یک جسم می‌تواند در فضا (سه بعد، مثل حرکت زنبور در هوا)، صفحه (دو بعد، مثل حرکت مورچه روی زمین در جهت‌های مختلف) و یا بر خط راست (یک بعد، مثل حرکت حلزون در یک مسیر مستقیم) حرکت کند.

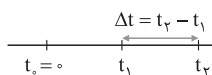
حرکت بر خط راست در حرکت بر خط راست، مسیر حرکت خط راستی است که ممکن است افقی (مانند حرکت اتومبیل روی جاده‌ی راست افقی)، قائم (مانند سقوط آزاد یک سنگ) و یا مایل (مانند بالارفتن اتومبیل از یک سطح شیبدار راست) باشد.



در این نوع حرکت، مسیر حرکت را به عنوان یکی از محورهای مختصات (x یا y) در نظر می‌گیریم و نقطه‌ای روی این محور را به عنوان مبدأ مکان ($x=0$ یا $y=0$) اختیار می‌کنیم. به شکل‌های مقابل توجه کنید.

زمان و مکان

زمان لحظه: لحظه به معنای یک تک‌مقدار از زمان است. اگر کمیت زمان را بر روی یک محور نشان دهیم، هر نقطه از این محور، یک لحظه را نشان می‌دهد. **مبدأ زمان:** به لحظه‌ی شروع بررسی حرکت (t_0) مبدأ زمان می‌گوییم و به آن عدد صفر را نسبت می‌دهیم ($t_0 = 0$). مثلاً در بررسی حرکت یک اتومبیل بنا بر شرایط مسئله می‌توانیم لحظه‌های مختلفی را مبدأ زمان بگیریم؛ مثل لحظه‌ای که چراغ راهنمایی سبز می‌شود، لحظه‌ای که از اتومبیل دیگری سبقت می‌گیرد و یا لحظه‌ای که در فاصله‌ی معینی از مکان مشخصی قرار دارد. (معمولاً توو امتحان نوبتی خودتون مبدأ زمان رو مشخص می‌کنن). **بازه‌ی زمانی:** یک بازه‌ی پیوسته بین دو لحظه را بازه‌ی زمانی می‌نامیم و آن را با نماد (t_1, t_2) نشان می‌دهیم. (هواستون باشه $t_1 < t_2$ است). در واقع بازه‌ی زمانی شامل تمام لحظات بین دو لحظه t_1 و t_2 است. مثلاً بازه‌ی زمانی $(0, 3\text{ s})$ شامل تمام لحظات بین دو لحظه $t_1 = 0$ تا $t_2 = 3\text{ s}$ است.

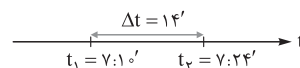


مدت‌زمان بین دو لحظه t_1 و t_2 که در واقع طول بازه‌ی زمانی (t_1, t_2) است، از رابطه $\Delta t = t_2 - t_1$ به دست می‌آید.

این رو بخون که یاد بگیری

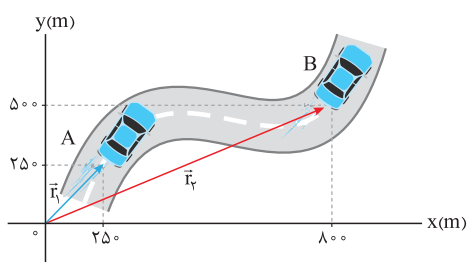
مثان دانش‌آموزی رأس ساعت هفت و ده دقیقه (لحظه) از منزل به راه می‌افتد و رأس ساعت هفت و بیست و چهار دقیقه (لحظه) به مدرسه می‌رسد. در این صورت طول بازه‌ی زمانی حرکت این دانش‌آموز برابر است با:

$$t_1 = 7:10' \Rightarrow \Delta t = t_2 - t_1 = 7:24' - 7:10' = 14' = 14 \text{ min} = 14 \times 60 \text{ s} = 840 \text{ s}$$



مکان، جابه‌جایی و مسافت

مبدأ مکان: همیشه حرکت اجسام را در یک دستگاه مختصات بررسی می‌کنیم. مبدأ این دستگاه مختصات را به عنوان مبدأ مکان در نظر می‌گیریم. مکان یک جسم در هر لحظه، نسبت به مبدأ مکان (مبدأ مختصات) سنجیده می‌شود.



بردار مکان: برداری که مبدأ مکان را به مکان جسم در هر لحظه وصل می‌کند، بردار مکان می‌نامیم. اگر با گذشت زمان، بردار مکان یک جسم تغییر کند، می‌گوییم آن جسم حرکت کرده است. مثلاً در شکل مقابل، اتومبیل در لحظه t_1 در نقطه A و در لحظه t_2 در نقطه B است؛ در واقع این یعنی متحرک در بازه‌ی زمانی (t_1, t_2) از نقطه A تا نقطه B روی مسیر مشخص‌شده حرکت کرده است. بردارهای مکان این اتومبیل را در لحظه‌های t_1 و t_2 به صورت زیر نمایش می‌دهیم:

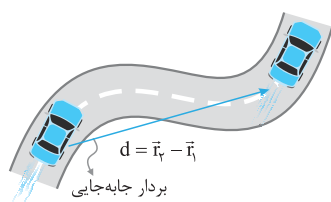
$$\vec{r}_1 = x_1 \vec{i} + y_1 \vec{j} = (250 \text{ m}) \vec{i} + (250 \text{ m}) \vec{j}$$

$$\vec{r}_2 = x_2 \vec{i} + y_2 \vec{j} = (800 \text{ m}) \vec{i} + (500 \text{ m}) \vec{j}$$

جابه‌جایی: برداری که مکان اولیه‌ی حرکت را به مکان پایانی حرکت وصل می‌کند، بردار جابه‌جایی می‌نامیم.

$$\vec{d} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$$

بردار جابه‌جایی که آن را با $\vec{d}$ نشان می‌دهیم و به اختصار آن را جابه‌جایی می‌نامیم، از رابطه‌ی روبه‌رو به دست می‌آید:



همان طور که می بینید بردار جابه جایی از تفاضل بردار مکان نهایی و بردار مکان اولیه به دست می آید. مثلاً در مثال اتومبیل، بردار جابه جایی برابر است با:

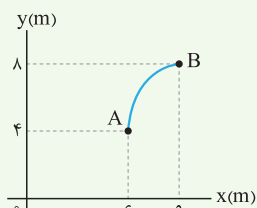
$$\vec{d} = \vec{r}_f - \vec{r}_i = [(\underbrace{100}_{x_f} \text{ m})\vec{i} + (\underbrace{500}_{y_f} \text{ m})\vec{j}] - [(\underbrace{250}_{x_i} \text{ m})\vec{i} + (\underbrace{250}_{y_i} \text{ m})\vec{j}]$$

$$= (\underbrace{100 - 250}_{\Delta x} \text{ m})\vec{i} + (\underbrace{500 - 250}_{\Delta y} \text{ m})\vec{j} = (-150 \text{ m})\vec{i} + (250 \text{ m})\vec{j}$$

نکته اندازه بردار جابه جایی را با d یا $|\vec{d}|$ نشان می دهیم و آن را در دو بعد از رابطه $d = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$ به دست می آوریم.

حالا خودت جواب بده

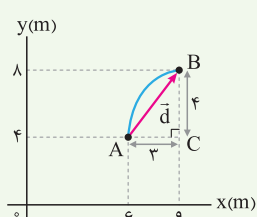
مثال متحرکی از نقطه A به نقطه B می رود؛ اندازه بردار جابه جایی این متحرک را به دست آورید.



پاسخ روش اول: ابتدا بردارهای مکان اولیه و نهایی جسم را به صورت $\vec{i}$ و $\vec{j}$ می نویسیم: $\vec{r}_A = (6 \text{ m})\vec{i} + (4 \text{ m})\vec{j}$, $\vec{r}_B = (9 \text{ m})\vec{i} + (8 \text{ m})\vec{j}$. حالا از تفاضل بردارهای مکان نهایی و اولیه، بردار جابه جایی را به دست می آوریم:

$$\vec{d} = \vec{r}_B - \vec{r}_A = [(9 \text{ m})\vec{i} + (8 \text{ m})\vec{j}] - [(6 \text{ m})\vec{i} + (4 \text{ m})\vec{j}] = (3 \text{ m})\vec{i} + (4 \text{ m})\vec{j}$$

$$d = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} = \sqrt{(3 \text{ m})^2 + (4 \text{ m})^2} = 5 \text{ m}$$



$$AB^2 = AC^2 + CB^2 \Rightarrow AB^2 = (3 \text{ m})^2 + (4 \text{ m})^2 = 25 \text{ m}^2 \Rightarrow |\vec{d}| = AB = 5 \text{ m}$$

بردارهای مکان و جابه جایی در حرکت بر خط راست: در حرکت بر خط راست، بردار مکان هم راستا با مسیر حرکت است، اما جهت آن یا در جهت مثبت

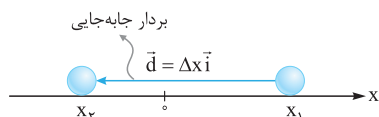
محور است و یا در جهت منفی آن؛ مثلاً در شکل زیر، بردارهای مکان یک توپ بولینگ در دو لحظه نشان داده شده است.

نکته هنگام عبور متحرک از مبدأ محور x ، بردار مکان متغیر جهت می دهد.

در حرکت بر خط راست، بردار جابه جایی نیز همیشه با مسیر حرکت هم راستا است، اما جهت آن ممکن است در جهت محور یا در خلاف جهت آن باشد.

$$\vec{d} = \vec{r}_f - \vec{r}_i = x_f \vec{i} - x_i \vec{i} = \Delta x \vec{i}$$

برای نمونه در مثال توپ بولینگ داریم:



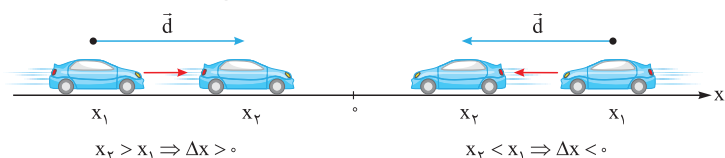
$$\vec{d} = \vec{r}_f - \vec{r}_i = (-2 \text{ m})\vec{i} - (5 \text{ m})\vec{i} = (-7 \text{ m})\vec{i}$$

اندازه بردار جابه جایی را با d یا $|\vec{d}|$ نشان می دهیم؛ مثلاً در نمونه بالا $d = 7 \text{ m}$ است.

توجه بردار جابه جایی به مبدأ مختصات انتخاب شده بستگی ندارد. برای مثال در نمونه حرکت توپ بولینگ اگر هر نقطه دیگری را به عنوان مبدأ مختصات (مکان) انتخاب کنیم، بردار جابه جایی همان $\vec{d} = (-7 \text{ m})\vec{i}$ است.

یک خبر خوب! در حرکت بر خط راست می توانیم مکان و جابه جایی را به جای بردار با یک عدد نشان دهیم.

برای مکان، اگر متحرک در سمت راست مبدأ باشد، این عدد مثبت ($x > 0$) و اگر در سمت چپ مبدأ باشد، این عدد منفی است. ($x < 0$)



بنابراین اگر جسمی در لحظه t_1 در مکان x_1 و در لحظه t_2 در مکان x_2 باشد، جابه جایی جسم در بازه زمانی Δt برابر خواهد بود با:

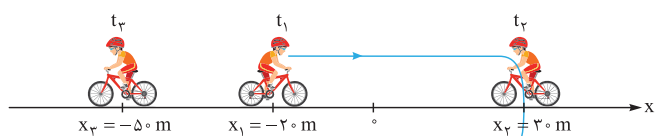
$$\Delta x = x_2 - x_1$$

$x_2 > x_1 \Rightarrow \Delta x > 0$ اگر متحرک در جهت مثبت محور جابه جا شده باشد.

$x_2 < x_1 \Rightarrow \Delta x < 0$ اگر متحرک در خلاف جهت مثبت محور جابه جا شده باشد.

این رو بخون که یاد بگیری

مثان یک دوچرخه‌سوار حواس‌پرت در لحظه t_1 از مکان x_1 به راه می‌افتد و در لحظه t_2 به مکان x_2 می‌رسد. این دوچرخه‌سوار در این لحظه



متوجه می‌شود که مسیر را اشتباه آمده است؛ بنابراین دور می‌زند و در لحظه t_3 به مکان x_3 می‌رسد. در این صورت مطابق شکل روبه‌رو، مکان متحرک در لحظات t_1 ، t_2 و t_3 به ترتیب $x_1 = -20 \text{ m}$ ، $x_2 = 30 \text{ m}$ و $x_3 = -50 \text{ m}$ است.

با توجه به این اطلاعات جابه‌جایی دوچرخه‌سوار در بازه‌های زمانی (t_1, t_2) ، (t_2, t_3) و (t_1, t_3) برابر است با:

$$\Delta x_{(t_1, t_2)} = x_2 - x_1 = (+30 \text{ m}) - (-20 \text{ m}) = +50 \text{ m} \quad \Delta x_{(t_2, t_3)} = x_3 - x_2 = (-50 \text{ m}) - (+30 \text{ m}) = -80 \text{ m}$$

$$\Delta x_{(t_1, t_3)} = x_3 - x_1 = (-50 \text{ m}) - (-20 \text{ m}) = -30 \text{ m}$$

مسافت و تفاوت‌های آن با جابه‌جایی

مسافت پیموده‌شده (۱): به مجموع طول‌های پیموده‌شده توسط متحرک (طول مسیر حرکت)، **مسافت پیموده‌شده** و یا به اختصار **مسافت** می‌گوییم.

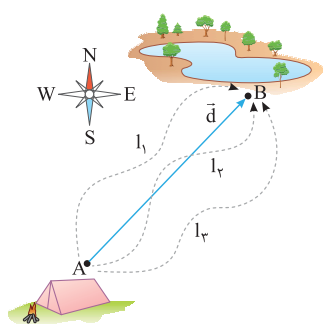
تفاوت جابه‌جایی و مسافت هر چند یکای استاندارد مسافت طی‌شده، مانند یکای استاندارد جابه‌جایی، متر (m) است، اما این دو کمیت تفاوت‌های

مهمی دارند که حالا می‌خواهیم آن‌ها را بیان کنیم:

۱ جابه‌جایی کمیتی برداری است؛ بنابراین علاوه بر بزرگی دارای جهت نیز می‌باشد. اگر بخواهیم چند جابه‌جایی را با هم جمع کنیم، باید از جمع برداری استفاده کنیم؛ اما **مسافت طی‌شده کمیتی نرده‌ای است** که جهت ندارد و اگر بخواهیم چند مسافت را با هم جمع کنیم، باید آن‌ها را به صورت جبری جمع کنیم. (همون جمع معمولی فودمون)

۲ جابه‌جایی به مسیر حرکت بستگی ندارد، بلکه فقط به نقاط ابتدایی و انتهایی حرکت وابسته است. اما **مسافت طی‌شده کاملاً به مسیر حرکت بستگی دارد.** اگر چند متحرک از مسیرهای متفاوت بین دو نقطه معین جابه‌جا شوند، بردار جابه‌جایی برای همه آن‌ها یکسان است اما مسافت‌های پیموده‌شده توسط آن‌ها یکسان نیست.

این رو بخون که یاد بگیری



مثان در شکل مقابل چند گردشگر از مسیرهای مختلف از کمپ خود تا دریاچه می‌روند. همان‌طور که

در شکل می‌بینید بردار جابه‌جایی همه آن‌ها $\vec{d}$ است، اما مسافت پیموده‌شده توسط آن‌ها (l_1, l_2, l_3) متفاوت است.

نکته اگر مسیر حرکت جسمی خط راست نباشد، مسافت طی‌شده توسط آن قطعاً از اندازه جابه‌جایی بزرگ‌تر است. فقط در حرکت بر خط راست، آن هم به شرطی که متحرک تغییر جهت ندهد، مسافت طی‌شده با اندازه جابه‌جایی برابر می‌شود؛ یعنی همواره داریم:

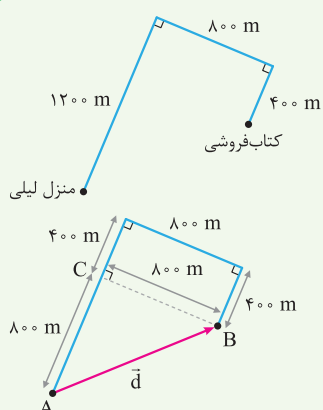
$$l \geq |\vec{d}|$$

حالا خودت جواب بده

مثال لیلی برای رفتن به کتاب‌فروشی، مسیر منزل تا کتاب‌فروشی را مطابق شکل طی می‌کند.

الف بردار جابه‌جایی لیلی را رسم کرده و اندازه آن را به دست آورید.

ب مسافت طی‌شده توسط لیلی را محاسبه کنید.



پاسخ الف بردار جابه‌جایی لیلی برداری است که مکان اولیه لیلی (منزل) را به مکان ثانویه او (کتاب‌فروشی) وصل می‌کند. اول این بردار ($\vec{d}$) را در شکل روبه‌رو رسم می‌کنیم:

حالا با توجه به شکل، می‌توانیم با استفاده از رابطه فیثاغورس اندازه بردار جابه‌جایی را به دست آوریم:

$$|\vec{d}| = AB = \sqrt{AC^2 + CB^2} = \sqrt{800^2 + 800^2} = 800\sqrt{2} \text{ m} \approx 1131/4 \text{ m}$$

ب مسافت طی‌شده توسط لیلی با مجموع طول‌های پیموده‌شده توسط او برابر است؛ یعنی: $l = 1200 \text{ m} + 800 \text{ m} + 400 \text{ m} = 2400 \text{ m}$ همان‌طور که ملاحظه می‌کنید، چون لیلی تغییر جهت داده است، مسافت طی‌شده توسط لیلی از اندازه جابه‌جایی او بزرگ‌تر است.

مسافت طی‌شده در حرکت بر خط راست برای محاسبه مسافت طی‌شده روی خط راست دو حالت وجود دارد:

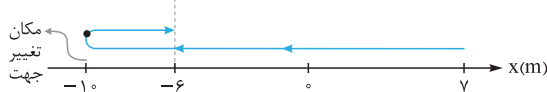
۱ اگر متحرک بدون تغییر جهت بر خط راست حرکت کند مسافت طی‌شده با اندازه (قدرمطلق) جابه‌جایی برابر است؛ یعنی:

$$l = |\Delta x|$$

۲ اگر متحرک تغییر جهت دهد، باید اندازه (قدرمطلق) جابه‌جایی متحرک قبل از تغییر جهت را با اندازه (قدرمطلق) جابه‌جایی بعد از تغییر جهت جمع کنیم؛ یعنی:

$$l = |\Delta x_1| + |\Delta x_2|$$

این رو بخون که یاد بگیری

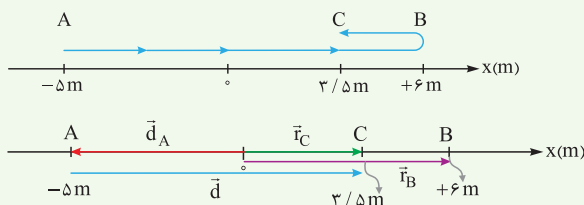


اگر مسیر حرکت یک متحرک به صورت زیر باشد، برای محاسبه مسافت طی شده باید اندازه (قدرمطلق) جابه‌جایی متحرک قبل از تغییر جهت را با اندازه (قدرمطلق) جابه‌جایی بعد از تغییر جهت جمع کنیم؛ یعنی:

$$l = |\Delta x_1| + |\Delta x_2| = |-10 - (-6)| + |-6 - 7| = |-4| + |-13| = 4 + 13 = 17 \text{ m}$$

حالا خودت جواب بده

(مشابه مثال کتاب درسی)



مثال متحرکی مسیری مطابق شکل را بر خط راست طی می‌کند.

الف) بردار مکان نقاط A، B و C و بردار جابه‌جایی کل حرکت را رسم کنید.

ب) اندازه جابه‌جایی و مسافت طی شده جسم را به دست آورید.

پاسخ الف)

$$|\Delta x_{\text{کل}}| = |x_C - x_A| \Rightarrow |\Delta x_{\text{کل}}| = |3/5 - (-5)| = |8/5| \text{ m}$$

ب) برای محاسبه جابه‌جایی از نقطه A تا نقطه C داریم:

و اما چون متحرک در نقطه B تغییر جهت داده است، برای محاسبه مسافت طی شده، باید اندازه جابه‌جایی جسم از A تا B را با اندازه جابه‌جایی جسم از B تا C جمع کنیم:

$$d = |\Delta x_{AB}| + |\Delta x_{BC}| = |x_B - x_A| + |x_C - x_B| = |6 - (-5)| + |3/5 - 6| = |11| + |-27/5| = 11 + 27/5 = 13/5 \text{ m}$$

سؤال‌های امتحانی

جاهای خالی را با کلمه‌های مناسب کامل کنید.

(نهایی تهری فرداد ۱۴۰۱)

۱- مسافت، کمیتی است.

(نهایی تهری فرداد ۹۹ و ۱۴۰۳ و نهایی ریاضی فرداد ۱۴۰۱)

۲- برداری که مبدأ محور را به مکان جسم در هر لحظه وصل می‌کند، نامیده می‌شود.

در جمله‌های زیر عبارت درست را از داخل پرانتز انتخاب کنید.

(نهایی تهری فرداد ۹۴)

۳- حرکت سیاره زمین به دور خورشید، مثالی از حرکت (یک‌بعدی / دوبعدی) است.

(نهایی تهری فرداد ۹۹)

۴- در حرکت روی محور X وقتی متحرک به مکان آغازینش بازمی‌گردد (جابه‌جایی / مسافت) متحرک صفر است.

(نهایی ریاضی فرداد ۹۹ و فرداد ۱۴۰۰)

۵- در حرکت بر روی خط راست و بدون تغییر جهت، مسافت با (اندازه جابه‌جایی / اندازه سرعت) برابر است.

(نهایی ریاضی فرداد ۱۴۰۳)

۶- هنگام عبور متحرک از مبدأ محور X، بردار (مکان / جابه‌جایی) متحرک تغییر جهت می‌دهد.



۷- مطابق شکل مقابل، شخصی در راستای خط راست از مکان ۱ به مکان ۲ رفته و سپس در همان مسیر به مکان ۳ برمی‌گردد. اندازه بردار جابه‌جایی (بیشتر از / کم‌تر از)

(نهایی ریاضی دی ۱۴۰۱)

برابر با) مسافت پیموده شده است.

به پرسش‌ها و مسئله‌های زیر پاسخ دهید.

(نهایی تهری قاج از کشور دی ۱۴۰۰)

۸- بردار جابه‌جایی را تعریف کنید و یکای آن را بنویسید.

(نهایی تهری قاج از کشور فرداد ۱۴۰۰)

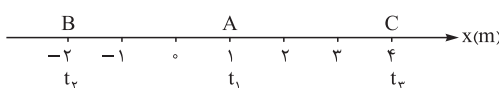
۹- مسافت را تعریف کنید.

(نهایی ریاضی دی ۹۹)

۱۰- دو تفاوت بین مسافت و جابه‌جایی را بیان کنید.

(نهایی تهری قاج از کشور دی ۹۷)

۱۱- متحرکی مطابق شکل در لحظه t_1 در نقطه A، در لحظه t_2 در نقطه B و در لحظه t_3 در نقطه C قرار دارد.



الف) جهت و اندازه بردار مکان متحرک را در لحظه t_2 بنویسید.

ب) بردار جابه‌جایی متحرک در بازه زمانی t_1 تا t_3 را به دست آورید.

پ) مسافت طی شده توسط متحرک در بازه زمانی t_1 تا t_3 چند متر است؟

۱۲- مدار حرکت زمین به دور خورشید یک بیضی به محیط تقریبی ۹۴۰ میلیون کیلومتر است. کم‌ترین

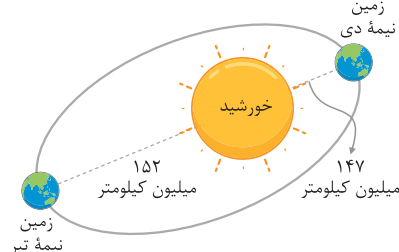
فاصله زمین از مرکز خورشید ۱۴۷ میلیون کیلومتر است که در نیمه دی‌ماه اتفاق می‌افتد. بیشترین

فاصله زمین از مرکز خورشید هم در نیمه تیر رخ می‌دهد که این فاصله در حدود ۱۵۲ میلیون کیلومتر

است. با توجه به شکل روبه‌رو، بردار جابه‌جایی زمین از نیمه تیر تا نیمه دی را رسم کنید و اندازه آن را

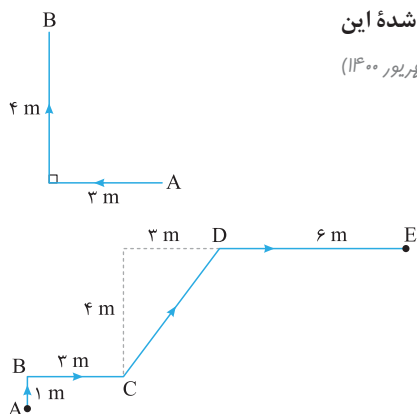
با مسافت پیموده شده در این مدت مقایسه کنید.

(مشابه پرسش کتاب درسی)



۱۳- همانند شکل مقابل متحرکی مسیر A تا B را طی می کند. اندازه بردار جابه جایی و مسافت پیموده شده این متحرک در مسیر A تا B را به دست آورید و با هم مقایسه کنید.

(نمایی تهرانی شهریور ۱۴۰۰)



۱۴- علی از نقطه A روی مسیر نشان داده شده در شکل روبه رو به نقطه E می رود.

الف) مسافت طی شده توسط علی چند متر است؟

ب) بردار جابه جایی علی را رسم کنید.

پ) اندازه جابه جایی علی چند متر است؟

ت) بردار جابه جایی علی را بر حسب بردارهای یکه بنویسید.

۱۵- متحرکی از نقطه $\begin{bmatrix} 2 \\ -3 \end{bmatrix}$ به نقطه $\begin{bmatrix} 8 \\ 2 \end{bmatrix}$ می رود. این متحرک چند واحد جابه جا شده است؟

درس ۲: سرعت و تندی

سرعت متوسط

با تعریف سرعت متوسط در علوم نهم آشنا شده اید، بیاید یک بار دیگر آن را مرور کنیم.

بردار سرعت متوسط اگر بردار جابه جایی ($\vec{d}$) را بر مدت زمان جابه جایی (Δt) تقسیم کنیم، **بردار سرعت متوسط** به دست می آید.

$$\vec{v}_{av} = \frac{\vec{d}}{\Delta t}$$

که در آن $\vec{d}$ بر حسب متر (m)، زمان بر حسب (s) و سرعت بر حسب متر بر ثانیه (m/s) است.

نکته با توجه به این که Δt مثبت است، سرعت متوسط هم جهت با جابه جایی است.

اندازه سرعت متوسط: اندازه (بزرگی) سرعت متوسط از تقسیم اندازه جابه جایی بر مدت زمان جابه جایی محاسبه می شود:

تذکر: اگر بردار سرعت را به صورت $\vec{v} = v_x \vec{i} + v_y \vec{j}$ داشته باشیم، اندازه سرعت متوسط را مانند هر بردار دیگر می توانیم از رابطه فیثاغورس به

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$

دست آوریم:

این رو بخون که یاد بگیری

مثان اگر بردار جابه جایی متحرکی در مدت ۸ s به صورت $\vec{d} = (16\vec{i} - 20\vec{j}) \text{ m}$ باشد، بردار سرعت متوسط این متحرک و اندازه آن برابر است با:

$$\vec{v}_{av} = \frac{\vec{d}}{\Delta t} = \frac{(16\vec{i} - 20\vec{j}) \text{ m}}{8 \text{ s}} = (2\vec{i} - 2.5\vec{j}) \text{ m/s} \Rightarrow v = \sqrt{(2 \text{ m/s})^2 + (2.5 \text{ m/s})^2} = \sqrt{10.25 \text{ m}^2/\text{s}^2} \approx 3.2 \text{ m/s}$$

نکته یکای متداول دیگری که برای سرعت به کار می رود، کیلومتر بر ساعت (km/h) است که با استفاده از رابطه زیر، به متر بر ثانیه تبدیل

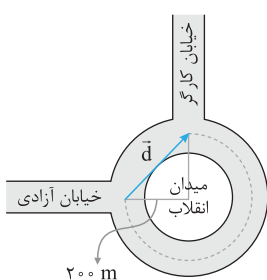
$$1 \frac{\text{km}}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \times \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} = \frac{1}{3.6} \text{ m/s} \Rightarrow \square \text{ km/h} \xrightarrow[\times 3.6]{\div 3.6} \bigcirc \text{ m/s}$$

می شود:

این رو بخون که یاد بگیری

$$36 \text{ km/h} \div 3.6 = 10 \text{ m/s}$$

مثان ۳۶ km/h برابر ۱۰ m/s است:



مثان اتومبیلی مطابق شکل روبه رو، از خیابان آزادی وارد میدان انقلاب می شود و پس از ۲۵ s از خیابان کارگر

خارج می شود. اگر شعاع دایره ای که اتومبیل، روی آن حرکت می کند، ۲۰۰ m باشد، می خواهیم بردار سرعت متوسط این اتومبیل را تعیین کنیم. اول به سراغ اندازه سرعت می رویم. برای محاسبه اندازه سرعت متوسط اتومبیل

ابتدا با توجه به شکل روبه رو، اندازه بردار جابه جایی را به دست می آوریم: $|\vec{d}| = \sqrt{200^2 + 200^2} = 200\sqrt{2} \text{ m}$

$$v_{av} = \frac{d}{\Delta t} = \frac{200\sqrt{2} \text{ m}}{25 \text{ s}} = 8\sqrt{2} \text{ m/s}$$

بنابراین سرعت متوسط برابر است با:

برای تعیین جهت بردار سرعت متوسط هم به این نکته توجه می کنیم که بردار سرعت با بردار جابه جایی هم جهت است؛ بنابراین:

حالا خودت جواب بده

مثال بردار جابه‌جایی متحرکی به صورت $\vec{d} = 16\vec{i} - 28\vec{j}$ داده شده است. اگر این جابه‌جایی در مدت‌زمان ۴ ثانیه صورت گیرد، بردار سرعت متوسط و اندازه آن را به دست آورید.

$$\vec{v}_{av} = \frac{\vec{d}}{\Delta t} = \frac{(16\vec{i} - 28\vec{j}) \text{ m}}{4 \text{ s}} = (4\vec{i} - 7\vec{j}) \text{ m/s}$$

پاسخ ابتدا بردار سرعت متوسط را به دست می‌آوریم:

$$v_{av} = \sqrt{4^2 + (-7)^2} = \sqrt{16 + 49} = \sqrt{65} \text{ m/s} \approx 8.1 \text{ m/s}$$

و حالا اندازه بردار سرعت متوسط را محاسبه می‌کنیم:

سرعت متوسط در حرکت بر خط راست

$$\vec{v}_{av} = \frac{\vec{d}}{\Delta t} = \frac{\Delta \vec{x}}{\Delta t} \vec{i}$$

در حرکت بر خط راست می‌توانیم رابطه سرعت متوسط را به صورت روبه‌رو بنویسیم:

نکته با این‌که سرعت متوسط کمیتی برداری است، اما در حرکت بر خط راست می‌توانیم سرعت متوسط را مانند جابه‌جایی با یک عدد مثبت و یا منفی نمایش دهیم و از خواص برداری آن صرف‌نظر کنیم. با این فرض رابطه سرعت متوسط در حرکت بر خط راست به شکل ساده‌تر زیر درمی‌آید:

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$$

نکته در حرکت بر خط راست، در یک بازه زمانی مشخص، علامت سرعت متوسط نشان‌دهنده جهت جابه‌جایی جسم در آن بازه زمانی است:

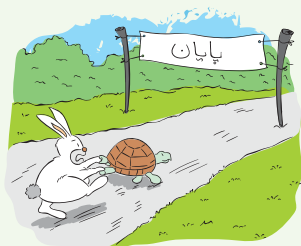
$v_{av} < 0 \Leftrightarrow \Delta x < 0$: جسم در خلاف جهت مثبت محور جابه‌جا شود
 $v_{av} > 0 \Leftrightarrow \Delta x > 0$: جسم در جهت مثبت محور جابه‌جا شود

حالا خودت جواب بده

مثال اتومبیلی در لحظه $t_1 = 2 \text{ s}$ در ۱۶ متری سمت راست مبدأ قرار دارد. اگر در لحظه $t_2 = 6 \text{ s}$ این اتومبیل به ۱۶ متری سمت چپ مبدأ برود، سرعت متوسط اتومبیل در این بازه زمانی را به دست آورید.

پاسخ در لحظه $t_1 = 2 \text{ s}$ مکان متحرک $x_1 = +16 \text{ m}$ و در لحظه $t_2 = 6 \text{ s}$ مکان متحرک $x_2 = -16 \text{ m}$ است؛ بنابراین:

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} \Rightarrow v_{av} = \frac{(-16 \text{ m}) - (16 \text{ m})}{6 \text{ s} - 2 \text{ s}} = \frac{-32 \text{ m}}{4 \text{ s}} = -8 \text{ m/s}$$



مثال داستان مسابقه دوی لاک‌پشت و خرگوش را که شنیده‌اید! فرض کنید این بار مسیر مسابقه، خط راستی به طول یک کیلومتر است. خرگوش مغرور به لاک‌پشت ارفاق می‌کند و در خط شروع باقی می‌ماند و لاک‌پشت شروع به حرکت می‌کند. اگر سرعت متوسط خرگوش 18 km/h و سرعت متوسط لاک‌پشت 90 m/h باشد، پس از طی حداکثر چند متر توسط لاک‌پشت، خرگوش باید شروع به حرکت کند تا این بار مسابقه را به لاک‌پشت نبازد؟

پاسخ ابتدا حساب می‌کنیم که خرگوش برای طی مسافت 1000 m ، چه مدت‌زمانی را نیاز دارد. برای این کار ابتدا سرعت متوسط خرگوش را به متر بر ثانیه تبدیل کرده و سپس زمان مورد نیاز را حساب می‌کنیم:

$$v_{av} = 18 \text{ km/h} \div 3.6 = 5 \text{ m/s}$$

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{\Delta x}{v_{av}} = \frac{1000 \text{ m}}{5 \text{ m/s}} = 200 \text{ s}$$

حالا محاسبه می‌کنیم که در مدت 200 s ، لاک‌پشت چه مسافتی را می‌تواند طی کند:

$$\Delta x = v'_{av} \Delta t = \left(90 \frac{\text{m}}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \right) \times 200 \text{ s} = 5 \text{ m}$$

وقتی که لاک‌پشت هنوز به ۵ متری خط پایان نرسیده است، خرگوش باید شروع به حرکت کند تا لاک‌پشت در مسابقه نبازد. اما مسئله حداکثر مقدار مسافت طی شده توسط لاک‌پشت قبل از حرکت خرگوش را می‌خواهد؛ پس:

$$\Delta x = (1000 \text{ m}) - (5 \text{ m}) = 995 \text{ m}$$

سرعت متوسط در حرکت چندمرحله‌ای

اگر جسمی حرکتی را روی خط راست، در چند مرحله انجام دهد، سرعت متوسط متحرک از نسبت

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2 + \dots}{\Delta t_1 + \Delta t_2 + \dots}$$

مجموع جابه‌جایی‌ها به مجموع زمان‌های سپری‌شده به دست می‌آید:

نکته ۱: در رابطه بالا گاهی باید Δx ها را برحسب v ها و Δt های هر مرحله بنویسیم ($\Delta x = v \times \Delta t$) و یا گاهی Δt ها را برحسب v ها و Δx های هر

$$v_{av} = \frac{v_1 \Delta t_1 + v_2 \Delta t_2 + \dots}{\Delta t_1 + \Delta t_2 + \dots} \quad \text{یا} \quad v_{av} = \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2 + \dots}{\frac{\Delta x_1}{v_1} + \frac{\Delta x_2}{v_2} + \dots}$$

مرحله وارد رابطه بالا کنیم ($\Delta t = \frac{\Delta x}{v_{av}}$): یعنی:

نکته ۲: برای به دست آوردن سرعت متوسط و تندی متوسط، باید کل زمان را در نظر بگیرید. در واقع زمان‌هایی که متحرک می‌ایستد هم جزئی

از حرکت است.

این رو بخون که یاد بگیری

مثان شخصی مسیر مستقیمی را ابتدا در مدت ۶ دقیقه با سرعت متوسط 3 m/s و سپس در مدت ۴ دقیقه با سرعت متوسط 2 m/s دویده است. می‌خواهیم بدانیم سرعت متوسط این شخص در کل حرکت چند متر بر ثانیه است: ابتدا در هر قسمت از حرکت، جابه‌جایی این شخص را محاسبه می‌کنیم:

$$\text{مرحله اول} \begin{cases} \Delta t_1 = 6 \text{ min} = 360 \text{ s} \\ v_{av,1} = 3 \text{ m/s} \end{cases} \Rightarrow \Delta x_1 = v_{av,1} \cdot \Delta t_1 = (3 \text{ m/s}) \times (360 \text{ s}) = 1080 \text{ m}$$

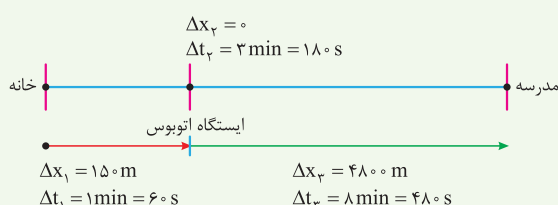
$$\text{مرحله دوم} \begin{cases} \Delta t_2 = 4 \text{ min} = 240 \text{ s} \\ v_{av,2} = 2 \text{ m/s} \end{cases} \Rightarrow \Delta x_2 = v_{av,2} \cdot \Delta t_2 = (2 \text{ m/s}) \times (240 \text{ s}) = 480 \text{ m}$$

$$v_{av} = \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2}{\Delta t_1 + \Delta t_2} = \frac{1080 \text{ m} + 480 \text{ m}}{360 \text{ s} + 240 \text{ s}} = \frac{1560 \text{ m}}{600 \text{ s}} = 2.6 \text{ m/s}$$

حالا سرعت متوسط این شخص را محاسبه می‌کنیم:

حالا خودت جواب بده

مثال رها یک روز صبح از منزل خارج می‌شود و در مسیر مستقیم و بدون تغییر جهت ابتدا 150 m را در مدت یک دقیقه طی می‌کند تا به ایستگاه اتوبوس برسد، سپس ۳ دقیقه را در یک نقطه می‌ایستد تا اتوبوس برسد؛ سپس ۸ دقیقه با اتوبوس که سرعت متوسط آن 10 m/s است در مسیری مستقیم تا مدرسه مطابق شکل روبه‌رو می‌رود. سرعت متوسط رها را محاسبه کنید.



پاسخ در مرحله اول $\Delta x_1 = 150 \text{ m}$ و $\Delta t_1 = 60 \text{ s}$ است، در مرحله دوم $\Delta t_2 = 3 \text{ min} = 180 \text{ s}$ است، اما چون رها در این مدت ایستاده است بنابراین $\Delta x_2 = 0$ و در مرحله آخر در مدت $\Delta t_3 = 8 \text{ min} = 480 \text{ s}$ رها به اندازه $\Delta x_3 = v_{av} \cdot \Delta t_3 = 10 \times 480 = 4800 \text{ m}$ جابه‌جا می‌شود.

$$v_{av} = \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2 + \Delta x_3}{\Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3} = \frac{150 \text{ m} + 0 + 4800 \text{ m}}{60 \text{ s} + 180 \text{ s} + 480 \text{ s}} = 6.875 \text{ m/s}$$

پس سرعت متوسط رها از منزل تا مدرسه برابر است با:

تندی متوسط

پس از آشنایی با مفهوم سرعت متوسط، نوبت به آشنایی با تندی متوسط می‌رسد.

تندی متوسط: به نسبت مسافت پیموده‌شده به مدت‌زمان طی مسافت، **تندی متوسط** می‌گوییم و آن را با s_{av} نمایش می‌دهیم.

$$s_{av} = \frac{l}{\Delta t}$$

در رابطه تندی متوسط، l مسافت طی شده برحسب متر (m)، Δt بازۀ زمانی برحسب ثانیه (s) و s_{av} تندی متوسط برحسب متر بر ثانیه (m/s) است.

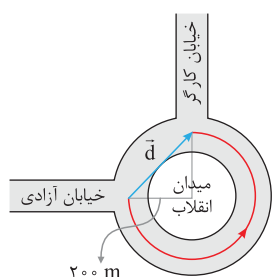
این رو بخون که یاد بگیری

مثان بایاید یک بار دیگر به مثال اتومبیلی که میدان انقلاب را دور می‌زد نگاهی بیندازیم. قبلاً سرعت متوسط آن را حساب کردیم، حالا می‌خواهیم تندی متوسطش را حساب کنیم. برای محاسبۀ تندی متوسط اتومبیل، ابتدا باید مسافت پیموده‌شده را به دست آوریم. مسافت طی‌شده (l) توسط اتومبیل $\frac{3}{4}$ محیط دایره پیموده‌شده است؛ بنابراین:

$$l = \frac{3}{4} (2\pi R) = \frac{3}{4} \times \pi \times 200 = 300\pi \text{ m}$$

$$s_{av} = \frac{l}{\Delta t} = \frac{300\pi \text{ m}}{25 \text{ s}} = 12\pi \text{ m/s}$$

و حالا:



تندی متوسط چه تفاوتی با سرعت متوسط دارد؟ این دو کمیت کاملاً با هم متفاوت‌اند. سرعت متوسط کمیتی برداری است؛ یعنی هم دارای اندازه و یکا و هم دارای جهت است. ولی تندی متوسط، کمیتی نرده‌ای است و فقط با یک عدد و یکای مربوطه بیان می‌شود.

نکته ۱: اگر متحرکی بدون تغییر جهت روی خط راست حرکت کند، مسافت طی‌شده با مقدار جابه‌جایی برابر است؛ در نتیجه اندازه سرعت متوسط با تندی متوسط برابر است.

نکته ۲: اگر مسیر حرکت جسمی خط راست نباشد، تندی متوسط متحرک قطعاً از اندازه سرعت متوسط آن بزرگ‌تر است. فقط در حرکت بر خط راست، آن هم به شرطی که متحرک تغییر جهت ندهد تندی متوسط متحرک با اندازه سرعت متوسط برابر می‌شود، یعنی همواره داریم:

$$s_{av} \geq |v_{av}|$$

برای این که بیشتر به تفاوت این دو کمیت پی ببرید، به نمونه زیر توجه کنید:

این رو بخون که یادگیری

مثان رکورد شنی ۴۰۰ متر آزاد با زمان ۳ دقیقه و ۴۰ ثانیه در اختیار «پل بیدرمن» از آلمان است. پل برای ثبت این رکورد، طول ۲۰۰ متری استخر را به صورت رفت و برگشت شنا کرد؛ بنابراین تندی متوسط پل برابر است با:

$$s_{av} = \frac{1}{\Delta t} = \frac{400 \text{ m}}{220 \text{ s}} \approx 1/82 \text{ m/s}$$

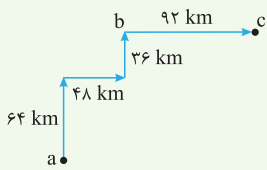
$$3 \text{ min} \times \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} + 40 \text{ s} = 180 \text{ s} + 40 \text{ s} = 220 \text{ s}$$

اما سرعت متوسط آقای بیدرمن در این بازه زمانی صفر است؛ زیرا در انتهای مسابقه به مکان اولیه خود برگشته است و جابه جایی او در مدت ۳ دقیقه و ۴۰ ثانیه (۲۲۰ s) صفر است. $d = 0 \Rightarrow v_{av} = 0$

نکته برای به دست آوردن سرعت متوسط و تندی متوسط، باید کل زمان را در نظر بگیرید. در واقع زمان هایی که متحرکی می ایستد، جزئی از حرکت است.

حالا خودت جواب بده

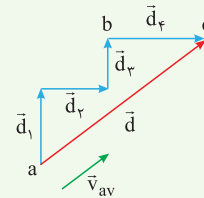
مثان در زمان های قدیم یک مرد روستایی با یک شتر از روستای (a) مطابق شکل به ترتیب ۶۴ km را در مدت زمان ۴ ساعت، ۴۸ km را در مدت ۳ ساعت، ۳۶ km را در مدت ۲ ساعت طی می کند و پس از یک ساعت استراحت در روستای (b)، ۹۲ km دیگر را در مدت ۱۰ ساعت طی می کند تا به روستای (c) برسد. الف) بردار سرعت متوسط شتر را در کل مسیر رسم کرده و بزرگی آن را محاسبه کنید. ب) تندی متوسط را حساب کنید.



پاسخ الف) اولین جابه جایی $\vec{d}_1 = (64 \text{ km})\vec{j}$ ، دومین جابه جایی $\vec{d}_2 = (48 \text{ km})\vec{i}$ ، سومین جابه جایی $\vec{d}_3 = (36 \text{ km})\vec{j}$ و در نهایت آخرین جابه جایی $\vec{d}_4 = (92 \text{ km})\vec{i}$ است. برای محاسبه سرعت متوسط، باید جابه جایی کل را بر مدت زمان کل (یعنی با در نظر گرفتن زمان استراحت)، تقسیم می کنیم:

$$\vec{v}_{av} = \frac{\vec{d}}{\Delta t} = \frac{\vec{d}_1 + \vec{d}_2 + \vec{d}_3 + \vec{d}_4}{\Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3 + \Delta t_4 + \Delta t_5} = \frac{(64 \text{ km})\vec{j} + (48 \text{ km})\vec{i} + (36 \text{ km})\vec{j} + (92 \text{ km})\vec{i}}{4 \text{ h} + 3 \text{ h} + 2 \text{ h} + 1 \text{ h} + 10 \text{ h}}$$

$$\Rightarrow \vec{v}_{av} = \frac{(140 \text{ km})\vec{i} + (100 \text{ km})\vec{j}}{20 \text{ h}} \Rightarrow \vec{v}_{av} = (7\vec{i} + 5\vec{j}) \text{ km/h}$$



توجه کنید که زمان یک ساعت استراحت را هم در محاسبات در نظر گرفتیم؛ زیرا این یک ساعت نیز جزئی از زمان های سپری شده در مدت زمان جابه جایی زمان از روستای (a) به روستای (c) است. حالا بزرگی سرعت متوسط را به دست می آوریم:

$$|\vec{v}_{av}| = \sqrt{(7)^2 + (5)^2} \text{ km/h} = \sqrt{74} \text{ km/h} \approx 8/6 \text{ km/h}$$

بردار سرعت متوسط همیشه هم جهت با بردار جابه جایی است. بردار جابه جایی را رسم می کنیم تا جهت بردار سرعت متوسط نیز مشخص شود.

ب) برای محاسبه تندی متوسط، کل مسافت طی شده را بدون توجه به جهت آن، بر کل مدت زمان طی مسافت تقسیم می کنیم:

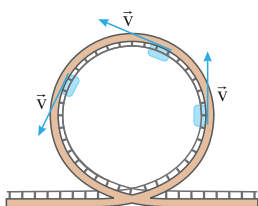
$$s_{av} = \frac{l_1 + l_2 + l_3 + l_4}{\Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3 + \Delta t_4 + \Delta t_5} = \frac{(64 \text{ km}) + (48 \text{ km}) + (36 \text{ km}) + (92 \text{ km})}{4 \text{ h} + 3 \text{ h} + 2 \text{ h} + 1 \text{ h} + 10 \text{ h}} \Rightarrow s_{av} = \frac{240 \text{ km}}{20 \text{ h}} = 12 \text{ km/h}$$

در این مثال هم دیدیم چون متحرک تغییر جهت داده است، سرعت متوسط و تندی متوسط با هم برابر نیستند.

سرعت و تندی لحظه ای

سرعت متحرک در هر لحظه را «سرعت لحظه ای» می نامیم و آن را با $\vec{v}$ نشان می دهیم. هم چنین تندی متحرک در هر لحظه را نیز تندی لحظه ای می نامیم.

سرعت لحظه ای نیز یک کمیت برداری است که مطابق با آن چه که در شکل روبه رو می بینید، همواره بر مسیر حرکت مماس است. اما **تندی لحظه ای** کمیتی نرده ای است. در واقع سرعت لحظه ای، اندازه و جهت سرعت در هر لحظه را نشان می دهد اما تندی لحظه ای فقط اندازه سرعت در هر لحظه را بیان می کند؛ بنابراین می توانیم بگوییم: **تندی لحظه ای همان اندازه سرعت لحظه ای است.**



نکته ۱: حواستان باشد سرعت لحظه ای و سرعت متوسط، دو کمیت کاملاً متفاوت اند. تنها در صورتی که در یک بازه زمانی، بردار سرعت لحظه ای ثابت باشد، یعنی هم اندازه و هم جهت سرعت لحظه ای تغییر نکند، سرعت متوسط در آن بازه زمانی با سرعت در هر لحظه برابر است. این اتفاق فقط در حرکت بر خط راست، امکان پذیر است.

نکته ۲: عقربه تندی سنج خودروها، تندی لحظه ای خودرو را نشان می دهند.

سرعت و تندی لحظه‌ای در حرکت بر خط راست

وقتی متحرکی روی خط راست حرکت می‌کند، می‌توانیم از خواص برداری سرعت لحظه‌ای صرف‌نظر کنیم و سرعت لحظه‌ای را با علامتی مثبت یا منفی نشان دهیم. علامت سرعت لحظه‌ای نشان‌دهنده جهت حرکت متحرک در آن لحظه است. اگر سرعت مثبت بود، یعنی متحرک به سمت مثبت محور x ها حرکت می‌کند و اگر سرعت منفی بود، یعنی متحرک به سمت منفی محور x ها حرکت می‌کند.

تذکر: تندی لحظه‌ای فقط اندازه سرعت لحظه‌ای را نشان می‌دهد؛ پس همواره مثبت است.

توجه: از این به بعد هر جا از کلمه «سرعت» و یا «تندی» به تنهایی استفاده کردیم، به ترتیب منظورمان بردار سرعت لحظه‌ای و تندی لحظه‌ای است.

تندشونده یا کندشونده بودن حرکت

حتماً برای شما خیلی پیش آمده که در یک اتومبیل نشست‌اید و راننده اتومبیلی که در آن هستید، می‌خواهد از یک اتومبیل که جلوی شما حرکت می‌کند، سبقت بگیرد. فرض کنید در ابتدا، تندی اتومبیل شما و اتومبیل جلویی یکسان باشد. برای این که از اتومبیل جلویی سبقت بگیرید، باید راننده شما تندی اتومبیلش را افزایش دهد. در این حالت حرکت اتومبیل شما تندتر و تندتر می‌شود تا بتوانید از اتومبیل جلویی سبقت بگیرید. در واقع حرکت اتومبیل شما «تندشونده» خواهد بود.

حالا فرض کنید یک نیشان آبی از جلو به سمت شما بیاید. شما و راننده اتومبیلی که سوار آن هستید، می‌دانید که راننده نیشان آبی حتماً ترمز نخواهد کرد!!! پس راننده اتومبیل شما پایش را با تمام قدرت روی پدال ترمز فشار می‌دهد و تندی اتومبیلش را کاهش می‌دهد. در این حالت حرکت شما کندتر و کندتر می‌شود. در واقع در این حالت، حرکت شما «کندشونده» خواهد بود.

جمع‌بندی: وقتی تندی یک متحرک زیاد می‌شود، حرکت تندشونده است و وقتی تندی یک متحرک کم می‌شود، حرکت کندشونده است.

سؤال‌های امتحانی

■ درستی یا نادرستی عبارتهای زیر را مشخص کنید.

۱۶- اگر سرعت متوسط یک متحرک صفر باشد، مسافت طی شده توسط آن صفر است.

(نهایی ریاضی شهریور ۱۴۰۰)

۱۷- سرعت متوسط یک کمیت برداری است که همواره با بردار تغییر مکان، هم جهت است.

(نهایی ریاضی شهریور ۱۴۰۰)

۱۸- عقربه تندی سنج خودرو، تندی لحظه‌ای خودرو را نشان می‌دهد.

■ جاهای خالی زیر را با کلمه‌های مناسب کامل کنید.

۱۹- اگر هنگام گزارش تندی لحظه‌ای، به جهت حرکت متحرک نیز اشاره کنیم، در واقع آن را بیان کرده‌ایم.

۲۰- اگر سرعت متحرک در تمام لحظات یک بازه زمانی باشد، سرعت متوسط با سرعت لحظه‌ای برابر است.

■ در جمله‌های زیر عبارت درست را از داخل پرانتز انتخاب کنید.

۲۱- در حرکت یک جسم در بازه‌های زمانی‌ای که سرعت متوسط خودرو (مثبت / منفی) است، حرکت خودرو در جهت محور x است.

(نهایی ریاضی شهریور ۱۴۰۰)

۲۲- بردار سرعت در هر نقطه از مسیر حرکت، بر مسیر حرکت (عمود / مماس) است.

(نهایی تهری شهریور ۹۵)

۲۳- در حرکت یک‌بعدی، جهت حرکت با توجه به جهت (شتاب / سرعت) تعیین می‌شود.

(نهایی تهری خارج از کشور فرورد ۹۵ و نهایی ریاضی دی ۹۲)

۲۴- بردار سرعت متوسط با بردار (جابه‌جایی / تغییر سرعت) هم جهت است.

(نهایی تهری شهریور ۱۴۰۲ و نهایی ریاضی فرورد ۱۴۰۱)

۲۵- تندی متوسط، یک کمیت (بردهای / برداری) و یکای آن متر بر ثانیه است.

(نهایی ریاضی فرورد ۱۴۰۳)

۲۶- در یک بازه زمانی معین، تندی متوسط متحرک نمی‌تواند (بزرگ‌تر / کوچک‌تر) از اندازه سرعت متوسط آن باشد.

(نهایی تهری فرورد ۱۴۰۲ و مشابه نهایی ریاضی فرورد ۱۴۰۲)

۲۷- نسبت مسافت طی شده به مدت زمان حرکت (سرعت متوسط / تندی متوسط) نامیده می‌شود.

■ به پرسش‌ها و مسئله‌های زیر پاسخ دهید.

۲۸- سرعت متوسط را تعریف کنید.

(نهایی تهری فرورد ۹۷)

۲۹- مفهوم فیزیکی عبارت روبه‌رو را بیان کنید: «تندی متوسط دانش‌آموزی $1/4 \text{ m/s}$ است.»

(برگرفته از مثال کتاب درسی)

۳۰- در چه صورت اندازه سرعت متوسط متحرک با تندی متوسط آن برابر است؟

(نهایی تهری فرورد ۹۸ و شهریور ۹۸)

(مشابه فعالیت کتاب درسی)

۳۱- اگر چهار متحرک در طی 2 s بر روی مسیری مستقیم از مکان آغازین به مکان پایانی رفته باشند، جدول زیر را کامل کنید.

مکان آغازین	مکان پایانی	برداری جابه‌جایی	سرعت متوسط	جهت حرکت
4 m	صفر			متحرک A
$5/2 \text{ m}$	$-2/4 \text{ m}$			متحرک B
-2 m	$4/8 \text{ m}$			متحرک C
-10 m	-2 m			متحرک D
8 m			4 m/s	متحرک E
	-6 m	7 m		متحرک F

۳۲- شکل زیر، حرکت یک حشره را که در راستای محور x در حرکت است، در هر یک از لحظه‌های $t_1 = 10\text{ s}$ و $t_2 = 40\text{ s}$ نشان می‌دهد. (مشابه مثال کتاب درسی)



(نمایی تپری فردار ۱۳۰۰)

۳۳- متحرکی در مدت زمان 8 m/s از مکان $\vec{d}_1 = (-4\text{ m})\vec{i}$ به مکان $\vec{d}_2 = (+4\text{ m})\vec{i}$ می‌رود.

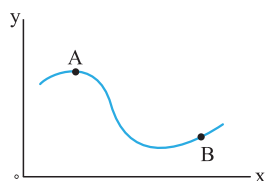
الف) جهت حرکت این متحرک را تعیین کنید.

ب) بزرگی سرعت متوسط متحرک در مدت زمان 8 ثانیه چند متر بر ثانیه است؟

پ) مسافت طی شده متحرک چند متر است؟

۳۴- در شکل مقابل، مسیر حرکت جسمی که با تندی ثابت در صفحه xoy از A به B می‌رود، نشان داده شده است. با انتقال شکل به پاسخ‌نامه، بردارهای زیر را نشان دهید:

(نمایی تپری دی ۹۶)



الف) بردار تغییر مکان (جابجایی) جسم بین دو نقطه A و B .

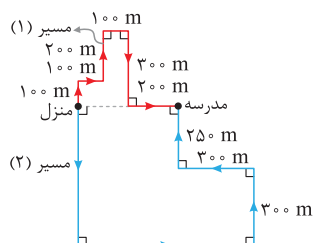
ب) بردارهای سرعت لحظه‌ای جسم در دو نقطه A و B .

۳۵- سعید و حمید برای رفتن به مدرسه از منزل خارج می‌شوند. سعید تمام مسیر (۱) را می‌دود ولی حمید

از مسیر (۲) با تاکسی به مدرسه می‌رود. هر دو هم‌زمان و پس از 4 دقیقه و 10 ثانیه به مدرسه می‌رسند.

الف) اندازه سرعت متوسط هر یک از آن‌ها را محاسبه کنید.

ب) تندی متوسط هر یک از آن‌ها را محاسبه کنید.



۳۶- اتومبیلی یک میدان دایره‌شکل به شعاع 125 m را دور می‌زند. اگر سرعت متوسط اتومبیل در مدتی که نصف میدان را دور می‌زند، 5 m/s باشد، تندی متوسط اتومبیل را محاسبه کنید. ($\pi = 3/14$)

۳۷- درختی به ارتفاع 15 m را از پایین‌ترین نقطه قطع می‌کنیم و درخت در مدت $1/5\text{ s}$ بر زمین می‌افتد. سرعت متوسط بالاترین نقطه درخت در مدت زمان سقوط چند متر بر ثانیه است؟

۳۸- متحرکی روی خط راست و بدون تغییر جهت، مسافت‌های متوالی 10 m ، 20 m و 30 m را به ترتیب با سرعت‌های 2 m/s ، 4 m/s و 6 m/s طی می‌کند. سرعت متوسط آن در این حرکت چند متر بر ثانیه است؟

۳۹- در هر یک از حالات زیر، سرعت متوسط را محاسبه کنید.

الف) متحرکی بر خط راست بدون تغییر جهت دو مسافت مساوی Δx را با سرعت‌های متوسط v_1 و v_2 طی کند.

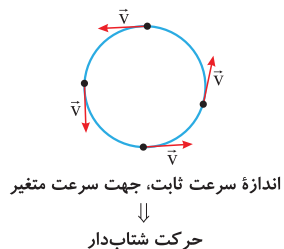
ب) متحرکی بر خط راست بدون تغییر جهت در دو بازه زمانی مساوی Δt با سرعت‌های متوسط v_1 و v_2 حرکت کند.

۴۰- متحرکی روی خط راست و بدون تغییر جهت، $1/3$ زمان حرکت خود را با سرعت 60 m/s ، $1/3$ زمان حرکت خود را با سرعت 24 m/s و مابقی را با سرعت 12 m/s طی می‌کند. سرعت متوسط حرکت متحرک چند متر بر ثانیه است؟

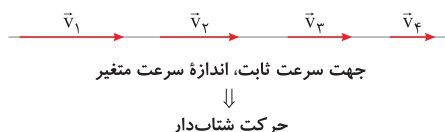
درس ۳: شتاب

شتاب چیست؟

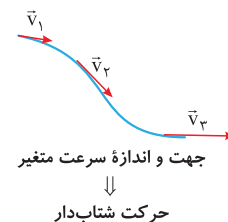
هرگاه سرعت جسمی تغییر کند، حرکت آن جسم شتاب‌دار است. در واقع اگر بردار سرعت چه از نظر اندازه و چه از نظر جهت و یا از هر دو نظر، ثابت نباشد، حرکت متحرک، شتاب‌دار است پس می‌توانیم بگوییم، تمام حرکت‌های نشان داده شده در شکل‌های زیر شتاب‌دار هستند:



اندازه سرعت ثابت، جهت سرعت متغیر
↓
حرکت شتاب‌دار



جهت سرعت ثابت، اندازه سرعت متغیر
↓
حرکت شتاب‌دار



جهت و اندازه سرعت متغیر
↓
حرکت شتاب‌دار

نکته حرکت بدون شتاب (حرکت با سرعت ثابت) فقط روی خط راست ممکن است، چون اگر مسیر حرکت خط راست نباشد، حتماً جهت بردار سرعت، تغییر می‌کند (حتی اگر اندازه آن ثابت باشد).

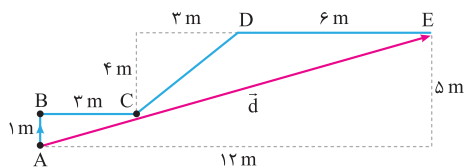
سرعت یا تغییر سرعت؟ مسئله این است! خوب دقت کنید! شتاب همواره با تغییر سرعت متناسب است نه با خود سرعت! بنابراین نمی‌توانیم

بگوییم، جسمی که سرعت بیشتری دارد، حتماً شتاب بیشتری هم دارد.

پاسخ نامہ تشریحی



ب بردار جابه‌جایی برداری است که ابتدای مسیر را به انتهای مسیر وصل می‌کند؛ پس در شکل زیر بردار جابه‌جایی، بردار $\vec{AE}$ است.



پ همان‌طور که در شکل بالا می‌بینید علی‌مجموعاً 12 m به سمت راست و 5 m به سمت بالا حرکت کرده است؛ پس طول $\vec{d}$ برابر است با:

$$d^2 = 12^2 + 5^2 = 144 + 25 = 169 \Rightarrow d = \sqrt{169} = 13\text{ m}$$

ت علی 12 m به سمت راست حرکت کرده است؛ پس جابه‌جایی در راستای افقی به صورت $\vec{i}(12\text{ m})$ است. او همچنین 5 m به سمت بالا حرکت کرده است. در نتیجه جابه‌جایی در راستای قائم او به صورت $\vec{j}(5\text{ m})$ است و داریم:

$$\vec{d} = (12\vec{i} + 5\vec{j})\text{ m}$$

۱۵. بردار جابه‌جایی از تفاضل بردارهای مکان به دست می‌آید:

$$\vec{d} = \begin{bmatrix} 12 \\ 5 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 12 \\ 5 \end{bmatrix} \Rightarrow \vec{d} = 12\vec{i} + 5\vec{j}$$

اندازه بردار جابه‌جایی برابر است با:

$$|\vec{d}| = \sqrt{12^2 + 5^2} = \sqrt{144 + 25} = \sqrt{169} = 13\text{ m}$$

۱۶. نادرست؛ اگر متحرک مسیری را طی کرده باشد و سپس به نقطه شروع حرکت برگشته باشد، سرعت متوسط صفر است؛ اما، مسافت طی شده صفر نیست.

۱۷. درست

۱۹. سرعت لحظه‌ای

۲۱. مثبت

۲۳. سرعت

۲۴. جابه‌جایی - بردار سرعت متوسط برابر با بردار جابه‌جایی تقسیم بر زمان است. زمان یک عدد مثبت است؛ پس بردار سرعت متوسط و جابه‌جایی هم‌جهت هستند.

۲۵. نرده‌ای

۲۶. کوچک‌تر - همواره $|v_{av}| \leq s_{av}$ است.

۲۷. تندى متوسط

۲۸. سرعت متوسط کمیتی برداری است که از تقسیم جابه‌جایی بر مدت‌زمان

لازم برای جابه‌جایی به دست می‌آید و واحد آن m/s است:

۲۹. مفهوم فیزیکی این عبارت این است که دانش‌آموز به طور متوسط در هر ثانیه $1/4\text{ m}$ از طول مسیرش را می‌پیماید.

۳۰. اگر متحرکی روی خط راست و بدون تغییر جهت حرکت کند، اندازه سرعت متوسط و تندى متوسط آن برابر است.

۳۱. متحرک A: بردار جابه‌جایی: $\vec{d}_A = \Delta x_A \vec{i} = (0 - 4\text{ m})\vec{i} = (-4\vec{i})\text{ m}$

$$v_{av,A} = \frac{\Delta x_A}{\Delta t} = \frac{-4\text{ m}}{2\text{ s}} = -2\text{ m/s}$$

جهت حرکت با توجه به این که بردار جابه‌جایی به سمت منفی x ها است، منفی است.

متحرک B: بردار جابه‌جایی:

$$\vec{d}_B = \Delta x_B \vec{i} = (-2/4\text{ m} - 5/2\text{ m})\vec{i} = (-7/2\vec{i})\text{ m}$$

$$v_{av,B} = \frac{\Delta x_B}{\Delta t} = \frac{-7/2\text{ m}}{2\text{ s}} = -3/2\text{ m/s}$$

جهت حرکت: منفی

متحرک C: بردار جابه‌جایی:

$$\vec{d}_C = \Delta x_C \vec{i} = (4/8\text{ m} - (-2\text{ m})) = (6/8\vec{i})\text{ m}$$

$$v_{av,C} = \frac{\Delta x_C}{\Delta t} = \frac{6/8\text{ m}}{2\text{ s}} = 3/8\text{ m/s}$$

جهت حرکت: مثبت

فصل اول: حرکت بر خط راست

۱. نرده‌ای

۳. دوبعدی

۵. اندازه جابه‌جایی

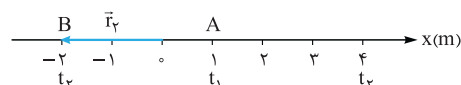
۷. کم‌تر از

۸. پاره‌خط جهت‌داری که مکان آغازین حرکت را به مکان پایانی حرکت وصل می‌کند، بردار جابه‌جایی نامیده می‌شود. یکای جابه‌جایی، متر (m) است.

۹. طول مسیر پیموده‌شده توسط متحرک را، مسافت پیموده‌شده یا به اختصار مسافت می‌نامند.

۱۰. I. جابه‌جایی کمیتی برداری است، اما مسافت کمیتی نرده‌ای است. II. مسافت به مسیر حرکت وابسته است، اما جابه‌جایی به مسیر حرکت وابسته نیست و فقط به نقطه شروع و پایان حرکت وابسته است.

۱۱. الف بردار مکان این متحرک در لحظه t_1 به صورت برداری است که مبدأ مکان را به محل حضور او در این لحظه وصل می‌کند. این متحرک در t_1 در $x = -2\text{ m}$ قرار دارد:



$$\vec{r}_1 = (-2\text{ m})\vec{i}$$

ب بردار مکان در t_1 به صورت $\vec{r}_1 = (1\text{ m})\vec{i}$ و بردار مکان او در t_2 به صورت

$$\vec{d} = \vec{d}_2 - \vec{d}_1 = (4\text{ m})\vec{i} - (1\text{ m})\vec{i} = (3\text{ m})\vec{i}$$

پ مسافت طی‌شده برابر طول کلی مسیری است که متحرک طی می‌کند. متحرک ابتدا از $x_A = 1\text{ m}$ به $x_B = -2\text{ m}$ و سپس از $x_B = -2\text{ m}$ به سمت

نقطه C می‌رود و در t_2 به $x_C = 4\text{ m}$ می‌رسد؛ پس کل طولی که او طی کرده است، برابر است با:

$$l = |\Delta x_1| + |\Delta x_2| = |-2\text{ m} - (1\text{ m})| + |4\text{ m} - (-2)\text{ m}| = |-3\text{ m}| + |6\text{ m}| = 3\text{ m} + 6\text{ m} = 9\text{ m}$$

۱۲. از نقطه ابتدای حرکت به نقطه انتهایی حرکت وصل می‌کنیم و بردار جابه‌جایی را مشخص می‌کنیم؛ طول این بردار برابر است با:

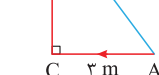
$$d = 152 \times 10^6\text{ km} + 147 \times 10^6\text{ km} = 299 \times 10^6\text{ km}$$

مسافت طی‌شده در این مدت نصف طول مدار است؛ پس:

$$l = \frac{940 \times 10^6\text{ km}}{2} = 470 \times 10^6\text{ km}$$

همان‌طور که می‌بینید، چون حرکت بر خط راست نیست، $d < l$ است.

۱۳. با توجه به شکل روبه‌رو، اندازه جابه‌جایی برابر با اندازه بردار $\vec{AB}$ است؛ پس با توجه به قضیه فیثاغورس داریم:



$$d = \sqrt{(AC)^2 + (CB)^2} = \sqrt{3^2 + 4^2} = 5\text{ m}$$

مسافت برابر طول مسیر حرکت است؛ پس:

$$l = AC + CB = 3\text{ m} + 4\text{ m} = 7\text{ m}$$

$d < l$ است و این موضوع به این خاطر است که در حرکت، تغییر جهت داریم. **۱۴. الف گام اول:** ابتدا طول قسمت CD را به کمک رابطه فیثاغورس حساب می‌کنیم:

$$CD^2 = 4^2 + 3^2 \Rightarrow CD^2 = 16 + 9 = 25 \Rightarrow CD = \sqrt{25} = 5\text{ m}$$

گام دوم: مسافت طی‌شده برابر با طول کل مسیر است؛ پس:

$$l = AB + BC + CD + DE = 1\text{ m} + 3\text{ m} + 5\text{ m} + 6\text{ m} = 15\text{ m}$$

متحرک D: بردار جابه‌جایی:

$$\vec{d}_D = \Delta x_D \vec{i} = (-2 \text{ m} - (-10 \text{ m})) \vec{i} = (8 \vec{i}) \text{ m}$$

$$v_{av,D} = \frac{\Delta x_D}{\Delta t} = \frac{8 \text{ m}}{2 \text{ s}} = 4 \text{ m/s}$$

جهت حرکت: مثبت

متحرک E: جابه‌جایی و جهت حرکت: سرعت متوسط متحرک در مدت ۲ s برابر با ۴ m/s است؛ بنابراین جهت حرکت مثبت است و جابه‌جایی آن برابر

$$\vec{d}_E = (v_{av,E} \Delta t) \vec{i} = (4 \text{ m/s} \times 2 \text{ s}) \vec{i} = (8 \vec{i}) \text{ m}$$

است با:

$$\Delta x_E = x_{2E} - x_{1E} \Rightarrow 8 = x_{2E} - 8 \Rightarrow x_{2E} = 16 \text{ m}$$

متحرک F: مکان آغازین:

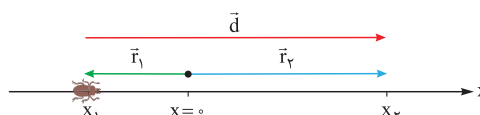
$$\Delta x_F = x_{2F} - x_{1F} \Rightarrow 7 \text{ m} = -6 \text{ m} - x_{1F} \Rightarrow x_{1F} = -13 \text{ m}$$

$$v_{av,F} = \frac{\Delta x_F}{\Delta t} = \frac{7 \text{ m}}{2 \text{ s}} = 3.5 \text{ m/s}$$

سرعت متوسط:

جهت حرکت: مثبت

۳۲ الف بردار مکان در هر لحظه، به صورت برداری است که از مبدأ مختصات به محل جسم وصل می‌شود. بردار جابه‌جایی هم محل ابتدایی جسم را به محل نهایی آن وصل می‌کند؛ پس بردار مکان اولیه ($\vec{r}_1$)، بردار مکان نهایی ($\vec{r}_2$) و بردار جابه‌جایی ($\vec{r}$) به صورت زیر رسم می‌شوند.



ب چون حشره در راستای خط راست حرکت می‌کند، سرعت متوسط آن برابر است با:

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{0/2 \text{ m} - (-0.2 \text{ m})}{4 \text{ s} - 1 \text{ s}} = \frac{0.2 \text{ m}}{3 \text{ s}} = 0.067 \text{ m/s}$$

مثبت‌بودن سرعت نشان می‌دهد که حشره در جهت مثبت محور X حرکت کرده است.

۳۳ الف متحرک در جهت مثبت محور X حرکت می‌کند.

$$\vec{v}_{av} = \frac{\vec{d}}{\Delta t} = \frac{(+4 \text{ m}) \vec{i} - (-4 \text{ m}) \vec{i}}{8 \text{ s}} = (1 \text{ m/s}) \vec{i}$$

ب

بنابراین اندازه سرعت متوسط برابر است با:

پ اگر متحرک روی خط راست و بدون تغییر جهت، حرکت کند، مسافت ۸ m است اما اگر حرکت متحرک روی خط راست نباشد، نمی‌توان مسافت را تعیین کرد.

۳۴ الف بردار جابه‌جایی، نقطه ابتدایی را به نقطه انتهایی وصل می‌کند و جهت آن به سمت نقطه انتهایی است.

ب بردار سرعت لحظه‌ای، در هر نقطه بر مسیر حرکت مماس است. از طرفی چون تندی ثابت است، اندازه سرعت‌های لحظه‌ای و در نتیجه طول بردارهای سرعت باید برابر باشد.

۳۵ الف برای محاسبه سرعت متوسط به جابه‌جایی نیاز داریم. می‌دانیم که جابه‌جایی به مسیر حرکت بستگی ندارد و فقط به نقطه ابتدایی و انتهایی مسیر بستگی دارد. بردار جابه‌جایی، برداری است که منزل را به مدرسه وصل می‌کند.

از روی شکل و با توجه به اندازه‌های داده‌شده مشخص است که سعید و حمید هر دو در مدت ۴ دقیقه و ۱۰ ثانیه (۲۵۰ s) به اندازه ۴۰۰ متر جابه‌جا شده‌اند، بنابراین داریم:

$$|\vec{v}_{av}| = \frac{|\vec{d}|}{\Delta t} = \frac{400 \text{ m}}{250 \text{ s}} = 1.6 \text{ m/s}$$

ب برای محاسبه تندی متوسط، مسافت طی‌شده برای ما مهم است و مسافت طی‌شده به مسیر حرکت بستگی دارد که برای سعید و حمید متفاوت است. ابتدا با توجه به اعداد داده‌شده روی شکل مسافت طی‌شده توسط سعید و حمید را محاسبه می‌کنیم:

$$l_{\text{سعید}} = 100 \text{ m} + 100 \text{ m} + 200 \text{ m} + 100 \text{ m} + 300 \text{ m} + 200 \text{ m} = 1000 \text{ m}$$

$$l_{\text{حمید}} = 550 \text{ m} + 700 \text{ m} + 300 \text{ m} + 300 \text{ m} + 250 \text{ m} = 2100 \text{ m}$$

حالا تندی متوسط هر کدام را به دست می‌آوریم:

$$s_{av,\text{سعید}} = \frac{l_{\text{سعید}}}{\Delta t} = \frac{1000 \text{ m}}{250 \text{ s}} = 4 \text{ m/s}$$

$$s_{av,\text{حمید}} = \frac{l_{\text{حمید}}}{\Delta t} = \frac{2100 \text{ m}}{250 \text{ s}} = 8.4 \text{ m/s}$$

۳۶ وقتی اتومبیل نصف میدان را دور می‌زند، اندازه جابه‌جایی اتومبیل برابر است با قطر میدان، بنابراین:

$$|\vec{d}| = 2 \times (125 \text{ m}) = 250 \text{ m}$$

حالا با استفاده از رابطه سرعت متوسط، زمان پیمودن نیم دور را به دست می‌آوریم:

$$|\vec{v}_{av}| = \frac{|\vec{d}|}{\Delta t} \Rightarrow 5 \text{ m/s} = \frac{250 \text{ m}}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{250 \text{ m}}{5 \text{ m/s}} = 50 \text{ s}$$

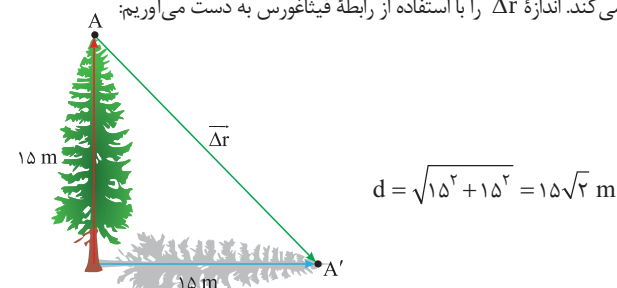
حالا که زمان پیمودن نیم دور را داریم، مسافت نیم دور را که نصف محیط دایره است، به دست می‌آوریم:

$$l = \frac{1}{2} \times \text{محیط} = \frac{1}{2} \times 2\pi R = 3/14 \times 125 \text{ (m)} \approx 293 \text{ m}$$

و در آخر تندی متوسط اتومبیل برابر است با:

$$s_{av} = \frac{l}{\Delta t} = \frac{293 \text{ m}}{50 \text{ s}} = 5.86 \text{ m/s}$$

۳۷ برای مسئله یک شکل رسم می‌کنیم. برای سادگی درخت را با یک پاره‌خط جهت‌دار نشان می‌دهیم. در شکل نقاط A و A' بالاترین نقطه درخت در حالت ایستاده و افتاده است. بردار جابه‌جایی این نقطه، برداری است که A را به A' وصل می‌کند. اندازه $\Delta \vec{r}$ را با استفاده از رابطه فیثاغورس به دست می‌آوریم:



و حالا با استفاده از رابطه سرعت متوسط داریم:

$$|\vec{v}_{av}| = \frac{|\vec{d}|}{\Delta t} = \frac{15\sqrt{2} \text{ m}}{1/\sqrt{2} \text{ s}} = 10\sqrt{2} \text{ m/s}$$

۳۸ سرعت متوسط برابر با جابه‌جایی کل تقسیم بر زمان کل است؛ پس اول به سراغ به دست آوردن زمان‌های هر یک از جابه‌جایی‌ها می‌رویم.

$$\Delta t_1 = \frac{\Delta x_1}{v_1} = \frac{10 \text{ m}}{2 \text{ m/s}} = 5 \text{ s}, \Delta t_2 = \frac{\Delta x_2}{v_2} = \frac{20 \text{ m}}{4 \text{ m/s}} = 5 \text{ s}$$

$$\Delta t_3 = \frac{\Delta x_3}{v_3} = \frac{30 \text{ m}}{6 \text{ m/s}} = 5 \text{ s}$$

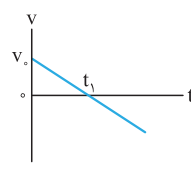
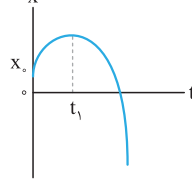
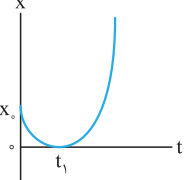
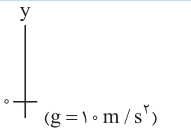
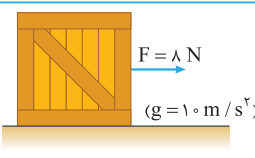
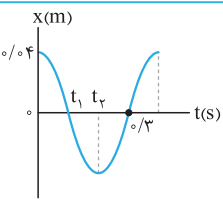
حالا به سراغ محاسبه سرعت متوسط می‌رویم:

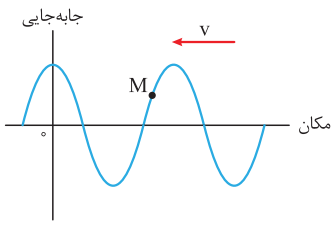
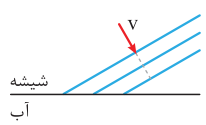
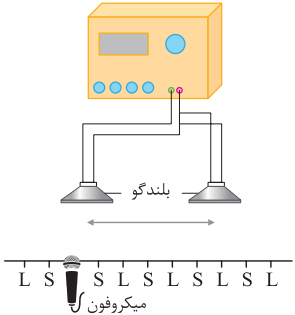
$$v_{av} = \frac{\Delta x_T}{\Delta t_T} = \frac{10 \text{ m} + 20 \text{ m} + 30 \text{ m}}{5 \text{ s} + 5 \text{ s} + 5 \text{ s}} = \frac{60 \text{ m}}{15 \text{ s}} = 4 \text{ m/s}$$

۳۹ الف سرعت متوسط متحرک برابر است با:

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{10 \text{ m} + 20 \text{ m} + 30 \text{ m}}{5 \text{ s} + 5 \text{ s} + 5 \text{ s}} = \frac{60 \text{ m}}{15 \text{ s}} = 4 \text{ m/s}$$

$$v_{av} = \frac{\Delta x + \Delta x}{\Delta t_1 + \Delta t_2} = \frac{2\Delta x}{(v_1 + v_2)\Delta t} \Rightarrow v_{av} = \frac{2v_1 v_2}{v_1 + v_2}$$

نمونه امتحان نیم سال دوم		رشته ریاضی و فیزیک		فیزیک ۳	ردیف
امتحان شماره ۶	مدت امتحان: ۱۲۰ دقیقه	امتحان نهایی خرداد ۱۴۰۳	Kheylisabz.com	نمره	
۱	در جمله‌های زیر، عبارت درست را از داخل پرانتز انتخاب کرده و در پاسخ برگ بنویسید. (الف) شیب خط مماس بر نمودار مکان - زمان در هر لحظه، (سرعت - شتاب) متحرک در آن لحظه را نشان می‌دهد. (ب) هنگام عبور متحرک از مبدأ محور x ، بردار (مکان - جابه‌جایی) متحرک تغییر جهت می‌دهد. (ج) در یک بازه زمانی معین، تندی متوسط متحرک نمی‌تواند (بزرگ‌تر - کوچک‌تر) از اندازه سرعت متوسط آن باشد. (د) بردار شتاب متوسط در هر بازه زمانی، همواره در جهت (سرعت - تغییر سرعت) است.	۱			
۲	شکل روبه‌رو نمودار سرعت - زمان یک متحرک را نشان می‌دهد. کدام یک از شکل‌های (۱) یا (۲) می‌تواند نشان‌دهنده نمودار مکان - زمان این متحرک باشد؟   	۰/۲۵			
۳	یک خودروی پلیس در کنار جاده ایستاده است. موتورسواری با سرعت ثابت 108 km/h از کنار آن می‌گذرد. در همین لحظه، خودروی پلیس با شتاب ثابت 4 m/s^2 در همان جهت شروع به حرکت می‌کند. (الف) پس از چه مدت پلیس به موتورسوار می‌رسد؟ (۰/۷۵) (ب) نمودار سرعت - زمان هر دو متحرک را تا لحظه‌ای که سرعت آن‌ها یکسان می‌شود، در یک دستگاه مختصات رسم کنید. (۰/۷۵)	۱/۵			
۴	سنگی از بالای یک پل آزادانه سقوط می‌کند و با تندی 40 m/s به سطح آب برخورد می‌کند. (الف) سرعت متوسط سنگ را در حین سقوط به دست آورید. (۰/۵) (ب) ارتفاع پل نسبت به سطح آب چه قدر است؟ (۰/۵)	۱			
۵	درستی یا نادرستی جمله‌های زیر را با عبارت‌های (درست) یا (نادرست) در پاسخ برگ مشخص کنید. (الف) وقتی نیروهای وارد بر جسمی متوازن باشند، جسم با شتاب ثابت حرکت می‌کند. (ب) در تصادفات، کیسه هوا با افزایش مدت زمان برخورد، نیروی متوسط وارد بر سرنشین را کاهش می‌دهد. (ج) در یک دیسک گردان با دوره ثابت، هر چه از مرکز دیسک دور تر شویم، تندی حرکت کم تر می‌شود.	۰/۷۵			
۶	آزمایشی را شرح دهید که بتوان ثابت یک فنر را به کمک وسایل مقابل اندازه گرفت: فنر، خط‌کش، وزنه با جرم معین، گیره و پایه.	۰/۷۵			
۷	شکل روبه‌رو جسمی به جرم 3 kg را نشان می‌دهد که روی یک سطح افقی با ضرایب اصطکاک ایستایی و جنبشی $0/4$ و $0/3$ در حال سکون قرار دارد. به جسم نیروی افقی 8 N وارد می‌شود. $(g = 10 \text{ m/s}^2)$ (الف) نیروی اصطکاک وارد بر جسم را با محاسبه تعیین کنید. (۰/۷۵) (ب) اگر نیروی افقی وارد بر جسم حذف شود، اندازه نیروی سطح بر جسم کاهش می‌یابد یا افزایش؟ (۰/۱۵)	۱			
۸	ارتفاع یک ماهواره از سطح زمین 5 برابر شعاع زمین است، وزن آن در این ارتفاع چند برابر وزنش در سطح زمین است؟	۰/۷۵			
۹	شکل مقابل یک سطل به جرم 5 kg را نشان می‌دهد که توسط یک طناب با نیروی کشش 60 N در راستای قائم به طرف بالا کشیده می‌شود. اگر نیروی مقاومت هوا در برابر حرکت سطل $2/5 \text{ N}$ باشد، شتاب حرکت آن را حساب کنید. $(g = 10 \text{ N/kg})$	۰/۷۵			
۱۰	به سؤالات زیر پاسخ کوتاه دهید. (الف) یک آونگ ساده از زمین به کره ماه برده می‌شود. دوره تناوب آن بیشتر می‌شود یا کم تر؟ $(g \text{ زمین} > g \text{ ماه})$ (ب) اگر بسامد نیروی واداشته با بسامد طبیعی نوسانگر برابر باشد، چه پدیده‌ای رخ می‌دهد؟ (ج) کدام نوع از امواج می‌توانند در خلأ منتشر شوند؟ (د) شخصی از یک چشمه صوتی ساکن دور می‌شود. بسامد صوتی که دریافت می‌کند، چگونه تغییر می‌کند؟	۱			
۱۱	نمودار مکان - زمان یک نوسانگر جرم - فنر مطابق شکل روبه‌رو است. (الف) معادله حرکت این نوسانگر را بنویسید. (۱) (ب) انرژی مکانیکی آن را در دو لحظه t_1 و t_2 مقایسه کنید. (۰/۱۵)	۱/۲۵			

نمونه امتحان نیم سال دوم		رشته ریاضی و فیزیک		فیزیک ۳	نمره
ردیف	امتحان شماره ۶	مدت امتحان: ۱۲۰ دقیقه	امتحان نهایی خرداد ۱۴۰۳	Kheilisabz.com	
۱۲	تراز شدت صوت در کتابخانه ۳۰ dB و در خیابان شلوغ ۷۰ dB است. شدت صوت در خیابان شلوغ چند برابر شدت صوت در کتابخانه است؟ ($I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$)				۰/۷۵
۱۳	شکل مقابل نقش یک موج در حال پیشروی را در یک سیم نشان می دهد. (الف) این موج طولی است یا عرضی؟ (ب) در این لحظه، نقطه M بر روی سیم، در حال بالا رفتن است یا پایین آمدن؟ (ج) نیروی کشش این سیم را کاهش می دهیم، تندی پیشروی موج چگونه تغییر می کند؟				۰/۷۵
۱۴	فاصله بین شما و یک دیوار بلند ۱۳/۲ m است. اگر تندی انتشار صوت در هوا ۳۳۰ m/s باشد، آیا قادر به شنیدن پژواک صدای خود خواهید بود؟ چرا؟				۰/۷۵
۱۵	مطابق شکل، موج نور فرودی از شیشه وارد آب می شود. ($n = \frac{3}{4}$: شیشه و $n = \frac{4}{3}$: آب) (الف) با انتقال شکل به پاسخ برگ، ادامه جبهه های موج پس از ورود به آب را به طور کیفی رسم کنید. (۰/۵) (ب) تندی انتشار نور در آب، چند برابر تندی انتشار آن در شیشه است؟ (۰/۵)				۱
۱۶	(الف) شکل مقابل، یک مولد سیگنال های صوتی را نشان می دهد. چرا میکروفون در نقاط L و S صداهایی با شدت های متفاوت ثبت می کند؟ (۰/۵) (ب) سه بسامد تشدید متوالی یک تار با دو انتهای بسته عبارتند از: ۳۰۰ Hz، و ۴۲۰ Hz. اگر تندی انتشار صوت در تار برابر ۲۴۰ m/s باشد، طول تار را به دست آورید. (۱)				۱/۵
۱۷	جاهای خالی را در جمله های زیر با کلمه های مناسب پر کنید. (الف) طول موج های گسیلی اتم هیدروژن در رشته لیمان، در ناحیه طیف امواج الکترومغناطیسی قرار دارند. (ب) طبق مدل اتمی، اتم پایدار نیست و الکترون در نهایت روی هسته سقوط می کند. (ج) طیف گسیلی و طیف هیچ دو گازی همانند یکدیگر نیست. (د) وقتی تعداد الکترون ها در تراز های شبه پایدار نسبت به تراز پایین تر بسیار بیشتر باشد، الکترون ها در محیط لیزری رخ داده است.				۱
۱۸	پرتوی فرابنفشی با طول موج ۲۵۰ nm بر سطح تیغه ای از جنس آهن با تابع کار ۴/۵ eV تابیده می شود. بیشینه انرژی جنبشی فوتون های جدا شده از سطح آهن را حساب کنید. ($hc = 1240 \text{ eV.nm}$)				۰/۷۵
۱۹	در گذار الکترون از تراز چهارم به تراز دوم در اتم هیدروژن، انرژی فوتون گسیل شده چند الکترون ولت و بسامد آن چند هرتز است؟ ($h = 4 \times 10^{-15} \text{ eV.s}$)				۱
۲۰	هر یک از موارد ستون اول به کدام مورد در ستون دوم مرتبط است؟ (دو مورد در ستون دوم اضافی است). (الف) هسته های با تعداد نوترون های متفاوت و تعداد پروتون های یکسان (ب) نیروی هسته ای (ج) عدد اتمی هسته دختر، یک واحد افزایش می یابد. (د) کاربرد در آشکارساز های دود		(a) نوکلئون (b) واپاشی آلفا (c) واپاشی بتای مثبت (d) ایزوتوپ (e) کوتاه برد (f) واپاشی بتای منفی		۱
۲۱	(الف) نیمه عمر یک ماده رادیواکتیو ۶ روز است. پس از ۳۰ روز، چه کسری از هسته های فعال اولیه باقی می ماند؟ (۱) (ب) یک ماده کندساز نوترون ها در واکنش شکافت هسته ای را نام ببرید. (۰/۲۵) (ج) چه نوع واکنش هسته ای در سطح خورشید اتفاق می افتد؟ (۰/۲۵)				۱/۵
جمع نمرات					۲۰