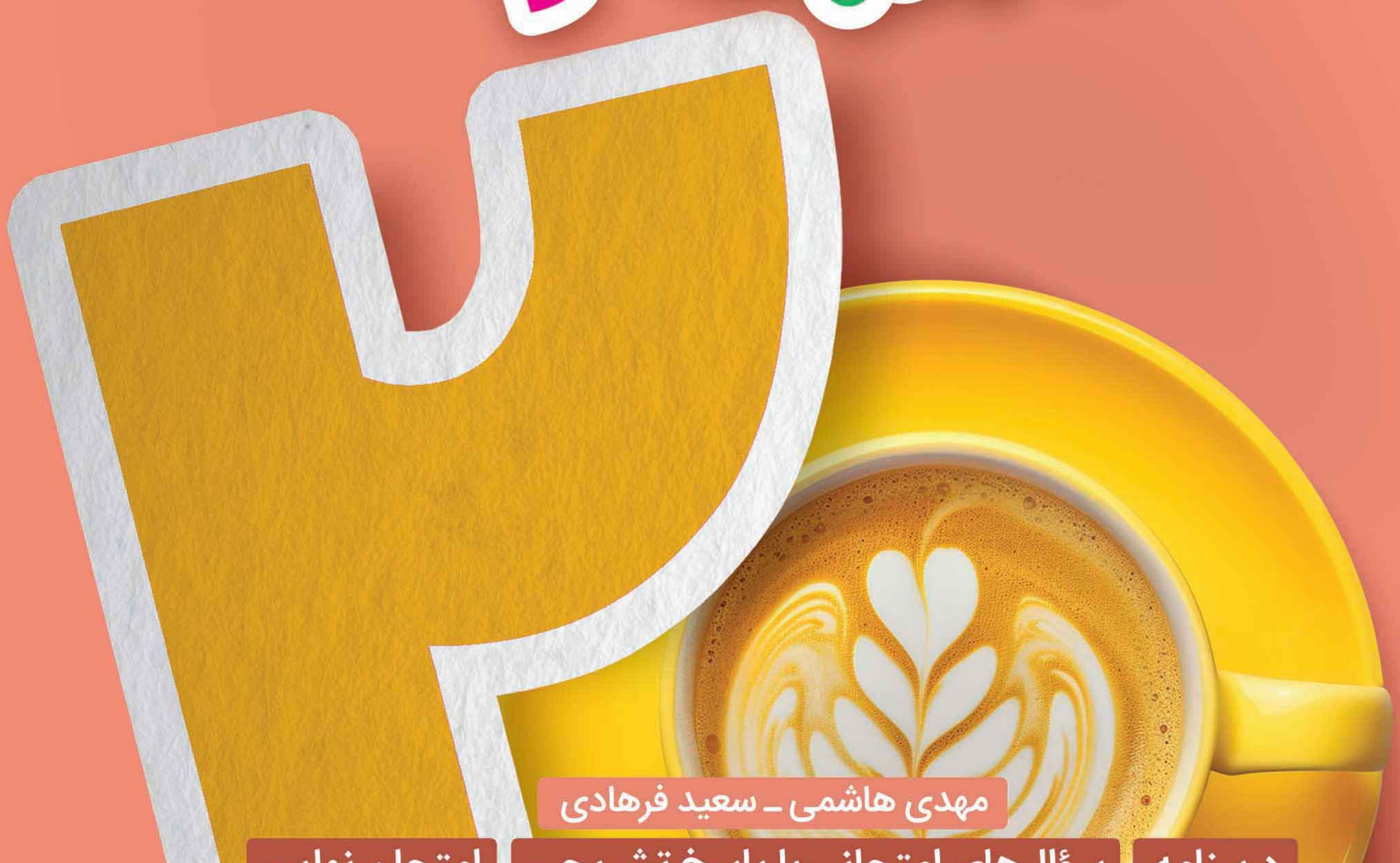
خیلی سبز!

ماجرای بیست فیزیک تجربی ۳

بر اساس سبک جدید امتحانات نهایی
٪۶۰ نمره پذیرش دانشگاه
ویژه ارتقاء معدل

پایه دوازدهم



مهدی هاشمی ـ سعید فرهادی

درسنامه | **سؤال‌های امتحانی با پاسخ تشریحی** | **امتحان نهایی**

دارای بیش از ۱۱۰۰ سؤال امتحانی شامل سؤال‌های امتحان نهایی، برگرفته از کتاب درسی و امتحان نهایی در قالب:

- ۱۰۰ مثال آموزشی در درسنامه‌ها
- ۱۰۰۰ سؤال امتحانی طبقه‌بندی شده در انتهای درسنامه‌ها

شامل سؤال‌های دشوار برای دانش‌آموزانی که به کمتر از بیست قانع نمی‌شوند.

پاسخ‌های گام به گام و یاددهنده برای همهٔ سؤالات

درسنامه‌های کاربردی و یاددهنده به همراه نکته‌ها و تذکرهای لازم برای بیست گرفتن در امتحان نهایی

به همراه کادرهای ویژه شاملِ:

- کادرهای تعاریف و فرمول‌ها
- کادرهای «این رو بخون که یاد بگیری» برای کمک به یادگیری کاربرد مفاهیم و فرمول‌ها در حل سؤال‌ها
- کادرهای «حالا خودت جواب بده» برای تثبیت مطالب یاد گرفته شده.
- کادرهای «کتاب درسی زیر ذره بین» برای بررسی نکات حفظی پنهان کتاب درسی

Jet Questions
سؤال‌های پیشرو برای بیست گرفتن

دوست خوبم، سلام

حضرت حافظ می‌گوید:

بنـازم آن مـژهٔ شـوخ عافیت‌کـش را کـه مـوج می‌زنـدش آب نـوش بـر سـر نیـش

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 می‌گزد و ثانیاً می‌رود سرکار که ببینید معنی آن‌چه خوانده، چیست؟!؟! اما ممکن است بپرسید این بیت در مقدمهٔ کتاب ماجرای بیست فیزیک سال دوازدهم چه می‌کند. سؤال خوبی است. راستش خواستم بگویم بالأخره ما آن قدر از ادبیات سرمان می‌شود 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 زیبایی‌های شعرهای حافظ است. اما هر دوی این زیبایی‌ها را وقتی درمی‌یابید که خوب بفهمید و خوب حسشان کنید. برای فهمیدن خوب و درست و حسابی درس فیزیکتان، این کتاب را برایتان آماده کرده‌ایم که مطمئنیم شگفت‌زده‌تان می‌کند و برای فهمیدن شعر حافظ، دیگر نوبت شماست که بگویید و بجویید 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.

مقدمهٔ مؤلف

از آن‌جایی 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 حفظیاتِ 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 نحوهٔ 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 درس‌نامهٔ 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 همه‌چیز را برای امتحان نهایی یاد گرفته باشید.

تیترها، کادرها و آیکون‌های مورد استفاده در درس‌نامه

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

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

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

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

تندی متوسط: به نسبت مسافت پیموده‌شده به مدت‌زمان طی آن مسافت، تندی متوسط می‌گوییم. $S_{av} = \frac{L}{\Delta t}$

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 صفحهٔ ۱۵ کتاب مشاهده کنید.)

کادر حالا خودت جواب بده: نوبتی هم باشه نوبت شماست! ما تعریف، فرمول و نحوهٔ 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 صفحهٔ ۱۵ کتاب مشاهده کنید.)

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

بخش ۲: سؤال‌های امتحانی

بعد از درس‌نامهٔ هر درس سؤال‌های امتحانی آن درس قرار گرفته است. این سؤال‌ها شامل سؤال‌های امتحان نهایی‌های سال‌های گذشته به صورت طبقه‌بندی‌شده، سؤال‌های مشابهت‌سازی‌شدهٔ 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 ۲تاش تألیفی و سخت است و ۲تاش هم امتحان نهایی خرداد ۱۴۰۲ و خرداد ۱۴۰۳) به همراه پاسخ در انتهای کتاب قرار گرفته است که چیزی برای ۲۰گرفتن در امتحان نوبت اول و امتحان نهایی کم نداشته باشید!

فهرست

فصل اول: حرکت بر خط راست

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

فصل دوم: دینامیک

درس اول: نیرو و قانون اول نیوتون ۶۱
درس دوم: قانون دوم نیوتون ۶۴
درس سوم: قانون سوم نیوتون ۶۶
درس چهارم: معرفی برخی نیروهای خاص؛ این قسمت: نیروی وزن و نیروی مقاومت شاره ۶۸
درس پنجم: معرفی برخی نیروهای خاص؛ این قسمت: نیروی کشش نخ ۷۲
درس ششم: معرفی برخی نیروهای خاص؛ این قسمت: نیروی عمودی سطح ۷۳
درس هفتم: معرفی برخی نیروهای خاص؛ این قسمت: نیروی اصطکاک و نیروی تکیه‌گاه ۷۷
درس هشتم: معرفی برخی نیروهای خاص؛ این قسمت: نیروی کشسانی فنر ۸۳
درس نهم: تکانه ۸۷
درس دهم: نیروی گرانشی ۹۱

فصل سوم: نوسان و امواج

درس اول: آشنایی با حرکت هماهنگ ساده ۹۴
درس دوم: نمودار مکان ـ زمان در حرکت هماهنگ ساده ۹۸
درس سوم: نوسانگر جرم ـ فنر؛ شتاب و نیرو در نوسان هماهنگ ساده ۱۰۰
درس چهارم: انرژی در حرکت هماهنگ ساده ۱۰۳
درس پنجم: آونگ ساده ۱۰۸
درس ششم: بسامد طبیعی، نوسان واداشته و پدیدهٔ تشدید ۱۱۰
درس هفتم: موج ۱۱۳
درس هشتم: بررسی دقیق‌تر امواج عرضی ۱۱۸
درس نهم: امواج الکترومغناطیسی ۱۲۴
درس دهم: امواج طولی و مفاهیم اولیهٔ صوت ۱۲۷
درس یازدهم: شدت صوت و تراز آن ـ ادراک شنوایی ۱۳۰
درس دوازدهم: اثر دوپلر ۱۳۴
درس سیزدهم: پدیدهٔ اول: بازتاب موج ۱۳۷
درس چهاردهم: بازتاب امواج الکترومغناطیسی ۱۴۲
درس پانزدهم: پدیدهٔ دوم: شکست موج ۱۴۵
درس شانزدهم: شکست امواج الکترومغناطیسی ۱۴۹

فصل چهارم: آشنایی با فیزیک اتمی و هسته‌ای

درس اول: فیزیک کلاسیک و فیزیک جدید ـ پدیدهٔ فوتوالکتریک ۱۵۶
درس دوم: طیف گسیلی خطی ۱۶۰
درس سوم: سیر پیشرفت مدل‌های اتمی ۱۶۵
درس چهارم: طیف جذبی ـ موفقیت‌ها و نارسایی‌های مدل بور ۱۷۰
درس پنجم: لیزر ۱۷۴
درس ششم: آشنایی با ساختار هسته ۱۷۶
درس هفتم: نیروی هسته‌ای و انرژی بستگی هسته ۱۷۹
درس هشتم: پرتوزایی ۱۸۲
درس نهم: نیمه‌عمر ۱۸۶

پاسخ‌نامهٔ تشریحی

۱۹۰

امتحانات

نمونه امتحان نیم‌سال اول (امتحان شمارهٔ ۱) ۲۵۱
نمونه امتحان نیم‌سال اول (امتحان شمارهٔ ۲) ۲۵۳
نمونه امتحان نیم‌سال دوم (امتحان شمارهٔ ۳) ۲۵۵
نمونه امتحان نیم‌سال دوم (امتحان شمارهٔ ۴) ۲۵۷
نمونه امتحان نیم‌سال دوم (نهایی خرداد ۱۴۰۲) ۲۵۹
نمونه امتحان نیم‌سال دوم (نهایی خرداد ۱۴۰۳) ۲۶۱
پاسخ سؤال‌های امتحانی ۲۶۳

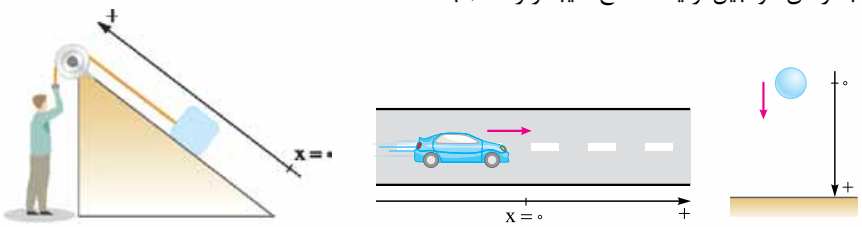
درس‌نامه و سؤالات امتحانی

فصل ۱ : حرکت بر خط راست

درس ۱: مفاهیم اولیهٔ 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 جادهٔ 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.

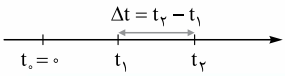
زمان و مکان

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 لحظهٔ 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 فاصلهٔ معینی از مکان مشخصی قرار دارد. *(معمولاً توو امتحان نهایی خودشون مبدأ زمان رو مشخص می‌کنن).*

بازهٔ زمانی: یک بازهٔ پیوسته بین دو لحظه را بازهٔ زمانی می‌نامیم و آن را با نماد (t_1, t_2) نشان می‌دهیم. *(هواستون باشه $t_1 < t_2$ است).* در واقع بازهٔ زمانی شامل تمام لحظات بین دو لحظهٔ t_1 و t_2 است. مثلاً بازهٔ زمانی $(0\,s, 3\,s)$ شامل تمام لحظات بین دو لحظهٔ $t_1 = 0\,s$ تا $t_2 = 3\,s$ است.

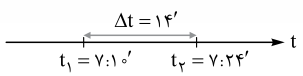
مدت‌زمان بین دو لحظهٔ t_1 و t_2 که در واقع طول بازهٔ زمانی (t_1, t_2) است، از رابطهٔ $\Delta t = t_2 - t_1$ به دست می‌آید.



این رو بخون که یاد بگیری

مثال 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 بازهٔ زمانی حرکت این دانش‌آموز برابر است با:

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

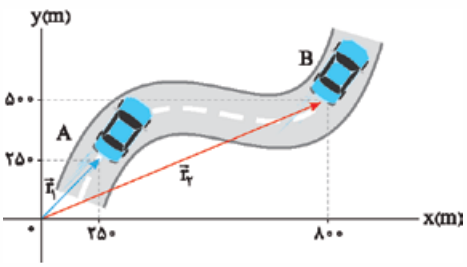


مکان، جابه‌جایی و مسافت

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 لحظهٔ t_1 در نقطهٔ A و در لحظهٔ t_2 در نقطهٔ B است؛ در واقع این یعنی متحرک در بازهٔ زمانی (t_1, t_2) از نقطهٔ A تا نقطهٔ B روی مسیر مشخص‌شده حرکت کرده است. بردارهای مکان این اتومبیل را در لحظه‌های t_1 و t_2 به صورت زیر نمایش می‌دهیم:



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

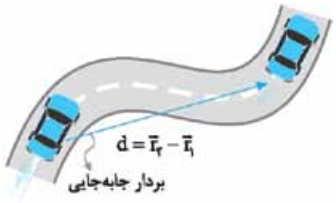
$$\vec{r}_2 = x_2\vec{i} + y_2\vec{j} = (800\,m)\vec{i} + (500\,m)\vec{j}$$

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

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

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

همان طور که می‌بینید بردار جابه‌جایی از تفاضل بردار مکان نهایی و بردار مکان اولیه به دست می‌آید.



مثلاً در مثال اتومبیل، بردار جابه‌جایی برابر است با:

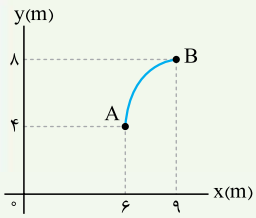
$$\vec{d}=\vec{r}_2-\vec{r}_1=[\underbrace{(800\,m)\vec{i}}_{x_2\vec{i}}+\overbrace{(500\,m)\vec{j}}^{y_2\vec{j}}]-[\underbrace{(250\,m)\vec{i}}_{x_1\vec{i}}+\overbrace{(250\,m)\vec{j}}^{y_1\vec{j}}]$$

$$=\underbrace{(800\,m-250\,m)}_{\Delta x}\vec{i}+\underbrace{(500\,m-250\,m)}_{\Delta y}\vec{j}=(550\,m)\vec{i}+(250\,m)\vec{j}$$

نکته اندازهٔ بردار جابه‌جایی را با d یا $|\vec{d}|$ نشان می‌دهیم و آن را در دو بعد از رابطهٔ $d=\sqrt{\Delta x^2+\Delta y^2}$ به دست می‌آوریم.

حالا خودت جواب بده

مثال **متحرکی از نقطهٔ A به نقطهٔ B می‌رود؛ اندازهٔ بردار جابه‌جایی این متحرک را به دست آورید.**



پاسخ **روش اول:** ابتدا بردارهای مکان اولیه و نهایی جسم را به صورت $\vec{i}$ و $\vec{j}$ می‌نویسیم: $\vec{r}_A=(6\,m)\vec{i}+(4\,m)\vec{j}\ ,\ \vec{r}_B=(9\,m)\vec{i}+(8\,m)\vec{j}$

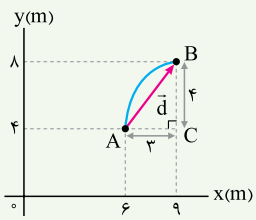
حالا از تفاضل بردارهای مکان نهایی و اولیه، بردار جابه‌جایی را به دست می‌آوریم:

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

و در نهایت اندازهٔ بردار جابه‌جایی را محاسبه می‌کنیم:

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

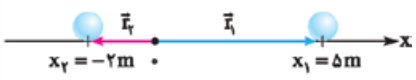
روش دوم: ابتدا بردار جابه‌جایی که نقطهٔ A را به نقطهٔ B وصل می‌کند، رسم می‌کنیم.



حالا در مثلث قائم‌الزاویه‌ای که تشکیل شده است، طبق رابطهٔ فیثاغورس داریم:

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

بردارهای مکان و جابه‌جایی در حرکت بر خط راست: در حرکت بر خط راست، بردار مکان هم‌راستا 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.



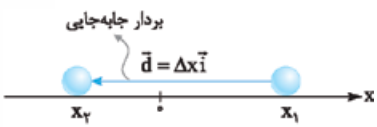
$$\begin{cases}\vec{r}_1=x_1\vec{i}=(5\,m)\vec{i}\\ \vec{r}_2=x_2\vec{i}=(-2\,m)\vec{i}\end{cases}$$

نکته هنگام عبور متحرک از مبدأ محور x، بردار مکان متحرک تغییر جهت می‌دهد.

در حرکت بر خط راست، بردار جابه‌جایی نیز همیشه با مسیر حرکت هم‌راستا است، اما جهت آن ممکن است در جهت محور یا در خلاف جهت آن باشد.

بردار جابه‌جایی در حرکت بر خط راست: $\vec{d}=\vec{r}_2-\vec{r}_1=x_2\vec{i}-x_1\vec{i}=\Delta x\vec{i}$

برای نمونه در مثال توپ بولینگ داریم:



$$\vec{d}=\vec{r}_2-\vec{r}_1=(-2\,m)\vec{i}-(5\,m)\vec{i}=(-7\,m)\vec{i}$$

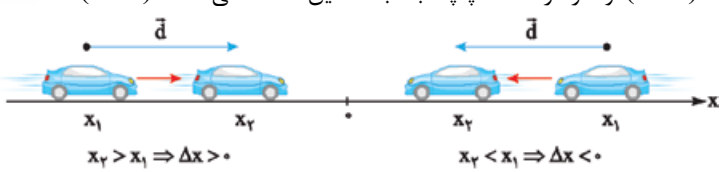
اندازهٔ بردار جابه‌جایی را با d یا $|\vec{d}|$ نشان می‌دهیم؛ مثلاً در نمونهٔ بالا $d=7\,m$ است.

توجه بردار جابه‌جایی به مبدأ مختصات انتخاب‌شده بستگی ندارد. برای مثال در نمونهٔ حرکت توپ بولینگ اگر هر نقطهٔ دیگری را به عنوان مبدأ مختصات (مکان) انتخاب کنیم، بردار جابه‌جایی همان $\vec{d}=(-7\,m)\vec{i}$ است.

یک خبر خوب! در حرکت بر خط راست می‌توانیم مکان و جابه‌جایی 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 لحظهٔ t_1 در مکان x_1 و در لحظهٔ t_2 در مکان x_2 باشد، جابه‌جایی جسم در بازهٔ زمانی Δt برابر خواهد بود با: $\Delta x=x_2-x_1$

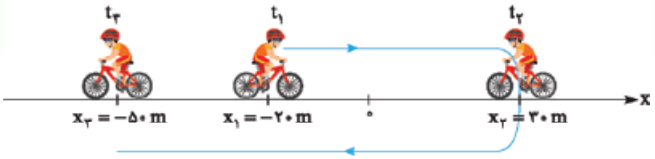


اگر متحرک در جهت مثبت محور جابه‌جا شده باشد. $\Rightarrow\ x_2>x_1\ \Rightarrow\ \Delta x>0$

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

این رو بخون که یادبگیری

مثلن یک دوچرخه‌سوار حواس‌پرت در لحظهٔ t_1 از مکان x_1 به راه می‌افتد و در لحظهٔ 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 لحظهٔ 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 $x_1 = -20\,m$، $x_2 = 30\,m$ و $x_3 = -50\,m$ 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:

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

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

مسافت و تفاوت‌های آن با جابه‌جایی

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

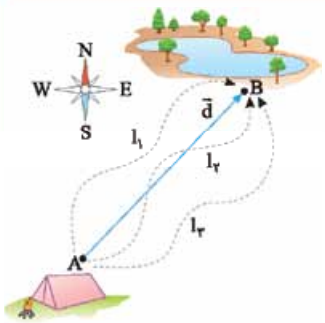
تفاوت جابه‌جایی و مسافت هر چند یکای استاندارد مسافت طی‌شده، مانند یکای استاندارد جابه‌جایی، متر (m) است، اما این دو کمیت تفاوت‌های مهمی دارند که حالا می‌خواهیم آن‌ها را بیان کنیم:

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 خودمون)

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 نقطهٔ معین جابه‌جا شوند، بردار جابه‌جایی برای همهٔ آن‌ها یکسان است اما مسافت‌های پیموده‌شده توسط آن‌ها یکسان نیست.

این رو بخون که یادبگیری

مثلن در شکل مقابل چند گردشگر از مسیرهای مختلف از کمپ خود تا دریاچه می‌روند. همان‌طور که در شکل می‌بینید بردار جابه‌جایی همهٔ آن‌ها $\vec{d}$ است، اما مسافت پیموده‌شده توسط آن‌ها (l_1, l_2, l_3) متفاوت است.



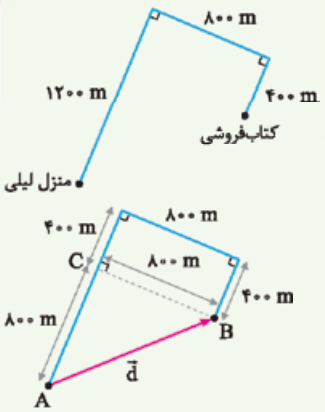
نکته اگر مسیر حرکت جسمی خط راست نباشد، مسافت طی‌شده توسط آن قطعاً از اندازهٔ جابه‌جایی بزرگ‌تر است. فقط در حرکت بر خط راست، آن هم به شرطی که متحرک **تغییر جهت ندهد**، مسافت طی‌شده با اندازهٔ جابه‌جایی برابر می‌شود؛ یعنی همواره داریم: $l \geq |\vec{d}|$

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 اندازهٔ آن را به دست آورید.

ب) مسافت طی‌شده توسط لیلی را محاسبه کنید.



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

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

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

ب مسافت طی‌شده توسط لیلی با مجموع طول‌های پیموده‌شده توسط او برابر است؛ یعنی: $l = 1200\,m + 800\,m + 400\,m = 2400\,m$

همان‌طور که ملاحظه می‌کنید، چون لیلی تغییر جهت داده است، مسافت طی‌شده توسط لیلی از اندازهٔ جابه‌جایی او بزرگ‌تر است.

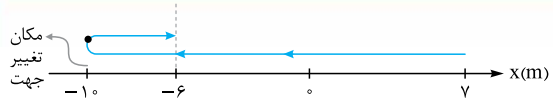
مسافت طی‌شده در حرکت بر خط راست برای محاسبهٔ مسافت طی‌شده روی خط راست دو حالت وجود دارد:

۱ اگر متحرک بدون تغییر جهت بر خط راست حرکت کند مسافت طی‌شده با اندازهٔ (قدرمطلق) جابه‌جایی برابر است؛ یعنی: $l = |\Delta x|$

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



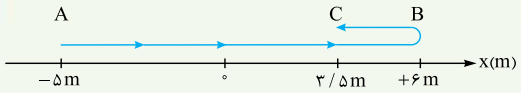
$l=|\Delta x_1|+|\Delta x_2|=|-۱۰\,m-۷\,m|+|-۶\,m-(-۱۰\,m)|=|-۱۷\,m|+|۴\,m|=۲۱\,m$

حالا خودت جواب بده

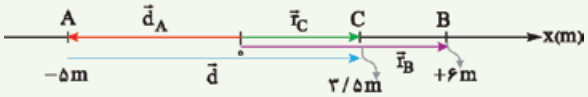
مثال متحرکی مسیری مطابق شکل را بر خط راست طی می‌کند. (مشابه مثال کتاب درسی)

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

ب) اندازهٔ جابه‌جایی و مسافت طی‌شدهٔ جسم را به دست آورید.



پاسخ الف



ب برای محاسبهٔ جابه‌جایی از نقطهٔ A تا نقطهٔ C داریم: $|\Delta x_{کل}|=|x_C-x_A| \Rightarrow |\Delta x_{کل}|=|+۳/۵\,m-(-۵\,m)|=+۸/۵\,m$

و اما چون متحرک در نقطهٔ B تغییر جهت داده است، برای محاسبهٔ مسافت طی‌شده، باید اندازهٔ جابه‌جایی جسم از A تا B را با اندازهٔ جابه‌جایی جسم از B تا C جمع کنیم:

$d=|\Delta x_{AB}|+|\Delta x_{BC}|=|x_B-x_A|+|x_C-x_B|=|+۶\,m-(-۵\,m)|+|۳/۵\,m-۶\,m|$

$=|+۱۱\,m|+|-۲/۵\,m|=۱۱\,m+۲/۵\,m=۱۳/۵\,m$

سؤال‌های امتحانی

جاهای خالی را با کلمه‌های مناسب کامل کنید.

۱- مسافت، کمیتی ..... است. (نهایی تجربی خرداد ۱۴۰۱)

۲- برداری که مبدأ محور را به مکان جسم در هر لحظه وصل می‌کند، ..... نامیده می‌شود. (نهایی تجربی خرداد ۹۹ و ۱۴۰۳ و نهایی ریاضی خرداد ۱۴۰۱)

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

۳- حرکت سیارهٔ زمین به دور خورشید، مثالی از حرکت (یک‌بعدی / دوبعدی) است. (نهایی تجربی خرداد ۹۴)

۴- در حرکت روی محور x وقتی متحرک به مکان آغازینش بازمی‌گردد (جابه‌جایی / مسافت) متحرک صفر است. (نهایی تجربی خرداد ۹۹)

۵- در حرکت بر روی خط راست و بدون تغییر جهت، مسافت با (اندازهٔ جابه‌جایی / اندازهٔ سرعت) برابر است. (نهایی ریاضی خرداد ۹۹ و خرداد ۱۴۰۰)

۶- هنگام عبور متحرک از مبدأ محور x، بردار (مکان / جابه‌جایی) متحرک تغییر جهت می‌دهد. (نهایی ریاضی خرداد ۱۴۰۳)

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. اندازهٔ بردار جابه‌جایی (بیشتر از / کم‌تر از / برابر با) مسافت پیموده‌شده است. (نهایی ریاضی دی ۱۴۰۱)

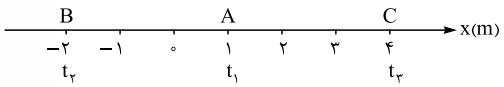
به پرسش‌ها و مسئله‌های زیر پاسخ دهید.

۸- بردار جابه‌جایی را تعریف کنید و یکای آن را بنویسید. (نهایی تجربی خارج از کشور دی ۱۴۰۰)

۹- مسافت را تعریف کنید. (نهایی تجربی خارج از کشور خرداد ۱۴۰۰)

۱۰- دو تفاوت بین مسافت و جابه‌جایی را بیان کنید. (نهایی ریاضی دی ۹۹)

۱۱- متحرکی مطابق شکل در لحظهٔ t_1 در نقطهٔ A، در لحظهٔ t_2 در نقطهٔ B و در لحظهٔ t_3 در نقطهٔ C قرار دارد. (نهایی تجربی خارج از کشور دی ۹۷)

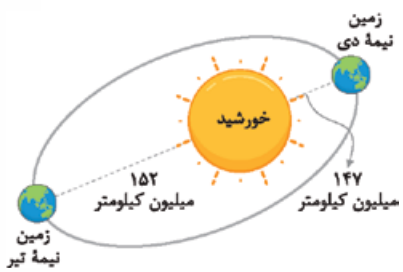


الف) جهت و اندازهٔ بردار مکان متحرک را در لحظهٔ t_2 بنویسید.

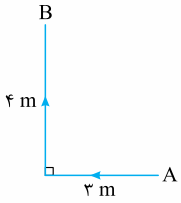
ب) بردار جابه‌جایی متحرک در بازهٔ زمانی t_1 تا t_3 را به دست آورید.

پ) مسافت طی‌شده توسط متحرک در بازهٔ 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 فاصلهٔ زمین از مرکز خورشید ۱۴۷ میلیون کیلومتر است که در نیمهٔ دی‌ماه اتفاق می‌افتد. بیشترین فاصلهٔ زمین از مرکز خورشید هم در نیمهٔ تیر رخ می‌دهد که این فاصله در حدود ۱۵۲ میلیون کیلومتر است. با توجه به شکل روبه‌رو، بردار جابه‌جایی زمین از نیمهٔ تیر تا نیمهٔ دی را رسم کنید و اندازهٔ آن را با مسافت پیموده‌شده در این مدت مقایسه کنید. (مشابه پرسش کتاب درسی)



۱۳- همانند شکل مقابل متحرکی مسیر A تا B را طی می‌کند. اندازهٔ بردار جابه‌جایی و مسافت پیموده‌شدهٔ این متحرک در مسیر A تا B را به دست آورید و با هم مقایسه کنید. (نهایی تجربی شهریور ۱۴۰۰)



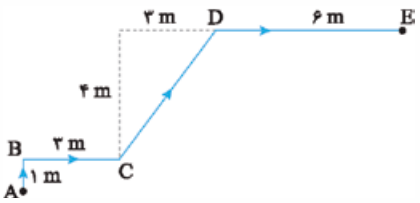
۱۴- علی از نقطهٔ A روی مسیر نشان داده‌شده در شکل روبه‌رو به نقطهٔ E می‌رود.

الف) مسافت طی‌شده توسط علی چند متر است؟

ب) بردار جابه‌جایی علی را رسم کنید.

پ) اندازهٔ جابه‌جایی علی چند متر است؟

ت) بردار جابه‌جایی علی را برحسب بردارهای یکه بنویسید.



۱۵- متحرکی از نقطهٔ $\begin{bmatrix}۲\\-۳\end{bmatrix}$ به نقطهٔ $\begin{bmatrix}۸\\۲\end{bmatrix}$ می‌رود. این متحرک چند واحد جابه‌جا شده است؟

درس ۲: سرعت و تندی

سرعت متوسط

با تعریف سرعت متوسط در علوم نهم آشنا شده‌اید، بیایید یک بار دیگر آن را مرور کنیم.

بردار سرعت متوسط اگر بردار جابه‌جایی $(\vec{d})$ را بر مدت‌زمان جابه‌جایی (Δt) تقسیم کنیم، بردار سرعت متوسط به دست می‌آید.

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

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

نکته با توجه به این‌که Δt مثبت است، سرعت متوسط هم‌جهت با جابه‌جایی است.

اندازهٔ سرعت متوسط: اندازهٔ (بزرگی) سرعت متوسط از تقسیم اندازهٔ جابه‌جایی بر مدت‌زمان جابه‌جایی محاسبه می‌شود:

$$v_{av} = \frac{d}{\Delta t}$$

تذکر اگر بردار سرعت را به صورت $\vec{v} = v_x\vec{i} + v_y\vec{j}$ داشته باشیم، اندازهٔ سرعت متوسط را مانند هر بردار دیگر می‌توانیم از رابطهٔ فیثاغورس به دست آوریم:

$$v = \sqrt{v_x^۲ + v_y^۲}$$

این رو بخون که یاد بگیری

مثلن اگر بردار جابه‌جایی متحرکی در مدت ۸ s به صورت $\vec{d} = (۱۶\vec{i} - ۲۰\vec{j})\ m$ باشد، بردار سرعت متوسط این متحرک و اندازهٔ آن برابر است با:

$$\vec{v}_{av} = \frac{\vec{d}}{\Delta t} = \frac{(۱۶\vec{i} - ۲۰\vec{j})\ m}{۸\ s} = (۲\vec{i} - ۲/۵\vec{j})\ m/s \Rightarrow v = \sqrt{(۲\ m/s)^۲ + (۲/۵\ m/s)^۲} = \sqrt{۱۰/۲۵\ m^۲/s^۲} \simeq ۳/۲\ m/s$$

نکته یکای متداول دیگری که برای سرعت به کار می‌رود، کیلومتر بر ساعت (km/h) است که با استفاده از رابطهٔ زیر، به متر بر ثانیه تبدیل می‌شود:

$$۱\frac{km}{h} \times \frac{۱\ h}{۳۶۰۰\ s} \times \frac{۱۰۰۰\ m}{۱\ km} = \frac{۱}{۳/۶}\ m/s \Rightarrow \square\ km/h \underset{\times ۳/۶}{\overset{\div ۳/۶}{\rightleftarrows}} \bigcirc\ m/s$$

این رو بخون که یاد بگیری

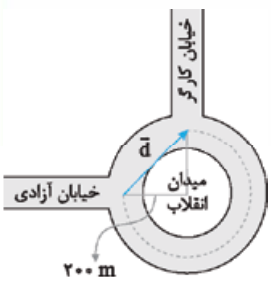
مثلن ۳۶ km/h برابر ۱۰ m/s است:

$$۳۶\ km/h \div ۳/۶ = ۱۰\ m/s$$

مثلن اتومبیلی مطابق شکل روبه‌رو، از خیابان آزادی وارد میدان انقلاب می‌شود و پس از ۲۵ s از خیابان کارگر خارج می‌شود. اگر شعاع دایره‌ای که اتومبیل، روی آن حرکت می‌کند، ۲۰۰ m باشد، می‌خواهیم بردار سرعت متوسط این اتومبیل را تعیین کنیم. اول به سراغ اندازهٔ سرعت می‌رویم. برای محاسبهٔ اندازهٔ سرعت متوسط اتومبیل ابتدا با توجه به شکل روبه‌رو، اندازهٔ بردار جابه‌جایی را به دست می‌آوریم: $|\vec{d}| = \sqrt{۲۰۰^۲ + ۲۰۰^۲} = ۲۰۰\sqrt{۲}\ m$

بنابراین سرعت متوسط برابر است با:

$$v_{av} = \frac{d}{\Delta t} = \frac{۲۰۰\sqrt{۲}\ m}{۲۵\ s} = ۸\sqrt{۲}\ m/s$$



برای تعیین جهت بردار سرعت متوسط هم به این نکته توجه می‌کنیم که بردار سرعت با بردار جابه‌جایی هم‌جهت است؛ بنابراین:

حالا خودت جواب بده

مثال **بردار جابه‌جایی متحرکی به صورت $\vec{d} = ۱۶\vec{i} - ۲۸\vec{j}$ داده شده است. اگر این جابه‌جایی در مدت‌زمان ۴ ثانیه صورت گیرد، بردار سرعت متوسط و اندازهٔ آن را به دست آورید.**

پاسخ ابتدا بردار سرعت متوسط را به دست می‌آوریم:

$$\vec{v}_{av} = \frac{\vec{d}}{\Delta t} = \frac{(۱۶\vec{i} - ۲۸\vec{j})\,m}{۴\,s} = (۴\vec{i} - ۷\vec{j})\,m/s$$

و حالا اندازهٔ بردار سرعت متوسط را محاسبه می‌کنیم:

$$v_{av} = \sqrt{۴^۲ + (-۷)^۲} = \sqrt{۱۶ + ۴۹} = \sqrt{۶۵}\,m/s \simeq ۸/۱\,m/s$$

سرعت متوسط در حرکت بر خط راست

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

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

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 رابطهٔ سرعت متوسط در حرکت بر خط راست به شکل ساده‌تر زیر درمی‌آید:

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_۲ - x_۱}{t_۲ - t_۱}$$

نکته در حرکت بر خط راست، در یک بازهٔ زمانی مشخص، **علامت سرعت متوسط نشان‌دهندهٔ جهت جابه‌جایی جسم در آن بازهٔ زمانی** است:

$v_{av} < ۰ \Leftrightarrow \Delta x < ۰$: جسم در خلاف جهت مثبت محور جابه‌جا شود

$v_{av} > ۰ \Leftrightarrow \Delta x > ۰$: جسم در جهت مثبت محور جابه‌جا شود

حالا خودت جواب بده

مثال **اتومبیلی در لحظهٔ $t_۱ = ۲\,s$ در ۱۶متری سمت راست مبدأ قرار دارد. اگر در لحظهٔ $t_۲ = ۶\,s$ این اتومبیل به ۱۶متری سمت چپ مبدأ برود، سرعت متوسط اتومبیل در این بازهٔ زمانی را به دست آورید.**

پاسخ در لحظهٔ $t_۱ = ۲\,s$ مکان متحرک $x_۱ = +۱۶\,m$ و در لحظهٔ $t_۲ = ۶\,s$ مکان متحرک $x_۲ = -۱۶\,m$ است؛ بنابراین:

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_۲ - x_۱}{t_۲ - t_۱} \Rightarrow v_{av} = \frac{(-۱۶\,m) - (۱۶\,m)}{۶\,s - ۲\,s} = \frac{-۳۲\,m}{۴\,s} = -۸\,m/s$$

مثال **داستان مسابقهٔ 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 $۱۸\,km/h$ و سرعت متوسط لاک‌پشت $۹۰\,m/h$ 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 $۱۰۰۰\,m$، 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:

$$\text{خرگوش } v_{av} = ۱۸\,km/h \div ۳/۶ = ۵\,m/s$$

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{\Delta x}{v_{av}} = \frac{۱۰۰۰\,m}{۵\,m/s} = ۲۰۰\,s$$

حالا محاسبه می‌کنیم که در مدت $۲۰۰\,s$، لاک‌پشت چه مسافتی را می‌تواند طی کند:

$$\Delta x = v'_{av}\Delta t = (۹۰\frac{m}{h} \times \frac{۱h}{۳۶۰۰s}) \times ۲۰۰\,s = ۵\,m$$

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

$$\text{مسافت طی‌شده توسط لاک‌پشت} = (۱۰۰۰\,m) - (۵\,m) = ۹۹۵\,m$$

سرعت متوسط در حرکت چندمرحله‌ای

اگر جسمی حرکتی را روی خط راست، در چند مرحله انجام دهد، سرعت متوسط متحرک از نسبت مجموع جابه‌جایی‌ها به مجموع زمان‌های سپری‌شده به دست می‌آید:

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{\Delta x_۱ + \Delta x_۲ + \cdots}{\Delta t_۱ + \Delta t_۲ + \cdots}$$

نکته ۱: در رابطهٔ بالا گاهی باید Δxها را برحسب vها و Δtهای هر مرحله بنویسیم $(\Delta x = v \times \Delta t)$ و یا گاهی Δtها را برحسب vها و Δxهای هر مرحله وارد رابطهٔ بالا کنیم $(\Delta t = \frac{\Delta x}{v_{av}})$؛ یعنی:

$$v_{av} = \frac{v_۱\Delta t_۱ + v_۲\Delta t_۲ + \cdots}{\Delta t_۱ + \Delta t_۲ + \cdots} \quad \text{یا} \quad v_{av} = \frac{\Delta x_۱ + \Delta x_۲ + \cdots}{\frac{\Delta x_۱}{v_۱} + \frac{\Delta x_۲}{v_۲} + \cdots}$$

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

مثلن شخصی مسیر مستقیمی را ابتدا در مدت ۶ دقیقه با سرعت متوسط $۳\,m/s$ و سپس در مدت ۴ دقیقه با سرعت متوسط $۲\,m/s$ 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:

مرحلهٔ اول $\begin{cases}\Delta t_۱ = ۶\,min = ۳۶۰\,s \\ v_{av,۱} = ۳\,m/s\end{cases} \Rightarrow \Delta x_۱ = v_{av,۱}.\Delta t_۱ = (۳\,m/s)\times(۳۶۰\,s) = ۱۰۸۰\,m$

مرحلهٔ دوم $\begin{cases}\Delta t_۲ = ۴\,min = ۲۴۰\,s \\ v_{av,۲} = ۲\,m/s\end{cases} \Rightarrow \Delta x_۲ = v_{av,۲}.\Delta t_۲ = (۲\,m/s)\times(۲۴۰\,s) = ۴۸۰\,m$

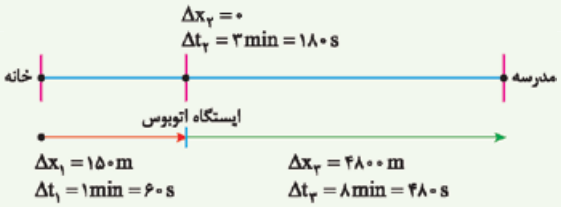
حالا سرعت متوسط این شخص را محاسبه می‌کنیم:

$$v_{av} = \frac{\Delta x_۱ + \Delta x_۲}{\Delta t_۱ + \Delta t_۲} = \frac{۱۰۸۰\,m + ۴۸۰\,m}{۳۶۰\,s + ۲۴۰\,s} = \frac{۱۵۶۰\,m}{۶۰۰\,s} = ۲/۶\,m/s$$

حالا خودت جواب بده

مثال **رها یک روز صبح از منزل خارج می‌شود و در مسیر مستقیم و بدون تغییر جهت ابتدا ۱۵۰ متر 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 $۱۰\,m/s$ است در مسیری مستقیم تا مدرسه مطابق شکل روبه‌رو می‌رود. سرعت متوسط رها را محاسبه کنید.**

پاسخ در مرحلهٔ اول $\Delta x_۱ = ۱۵۰\,m$ و $\Delta t_۱ = ۶۰\,s$ است، در مرحلهٔ دوم $\Delta t_۲ = ۳\,min = ۱۸۰\,s$ است، اما چون رها در این مدت ایستاده است بنابراین $\Delta x_۲ = ۰$ و در مرحلهٔ آخر در مدت $\Delta t_۳ = ۸\,min = ۴۸۰\,s$ رها به اندازهٔ $۴۸۰۰\,m$ جابه‌جا می‌شود. $\Delta x_۳ = v_{av}.\Delta t_۳ = ۱۰\times۴۸۰ = ۴۸۰۰\,m$



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

$$v_{av} = \frac{\Delta x_۱ + \Delta x_۲ + \Delta x_۳}{\Delta t_۱ + \Delta t_۲ + \Delta t_۳} = \frac{۱۵۰\,m + ۰ + ۴۸۰۰\,m}{۶۰\,s + ۱۸۰\,s + ۴۸۰\,s} = ۶/۸۷۵\,m/s$$

تندی متوسط

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

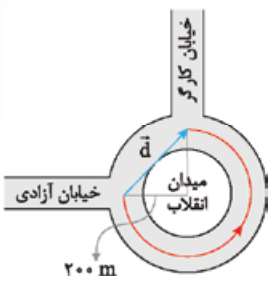
تندی متوسط: به نسبت مسافت پیموده‌شده به مدت‌زمان طی مسافت، تندی متوسط می‌گوییم و آن را با s_{av} نمایش می‌دهیم.

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

در رابطهٔ تندی متوسط، l مسافت طی‌شده برحسب متر (m)، Δt بازهٔ زمانی برحسب ثانیه (s) و s_{av} تندی متوسط برحسب متر بر ثانیه (m/s) است.

این رو بخون که یاد بگیری

مثلن بیایید 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 محاسبهٔ تندی متوسط اتومبیل، ابتدا باید مسافت پیموده‌شده را به دست آوریم. مسافت طی‌شده (l) توسط اتومبیل $\frac{۳}{۴}$ محیط دایرهٔ پیموده‌شده است؛



بنابراین: $l = \frac{۳}{۴}(۲\pi R) = \frac{۳}{۲}\times\pi\times۲۰۰ = ۳۰۰\pi\,m$

و حالا: $s_{av} = \frac{l}{\Delta t} = \frac{۳۰۰\pi\,m}{۲۵\,s} = ۱۲\pi\,m/s$

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 اندازهٔ سرعت متوسط با تندی متوسط برابر است.

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

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

برای این‌که بیشتر به تفاوت این دو کمیت پی ببرید، به نمونهٔ زیر توجه کنید:

این رو بخون که یاد بگیری

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

$$s_{av} = \frac{l}{\Delta t} = \frac{۴۰۰\,m}{۲۲۰\,s} \simeq ۱/۸۲\,m/s \qquad \text{زمان کل حرکت} : ۳\,min \times \frac{۶۰\,s}{۱\,min} + ۴۰\,s = ۱۸۰\,s + ۴۰\,s = ۲۲۰\,s$$

اما سرعت متوسط آقای بیدرمن در این بازهٔ زمانی صفر است؛ زیرا در انتهای مسابقه به مکان اولیهٔ خود برگشته است و جابه‌جایی او در مدت ۳ دقیقه و ۴۰ ثانیه $(۲۲۰\,s)$ صفر است. $d = ۰ \Rightarrow v_{av} = ۰$

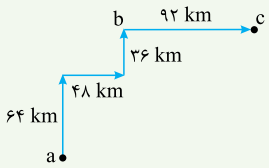
نکته برای به دست آوردن سرعت متوسط و تندی متوسط، باید کل زمان را در نظر بگیرید. در واقع زمان‌هایی که متحرکی می‌ایستد، جزئی از حرکت است.

حالا خودت جواب بده

مثال **در زمان‌های قدیم یک مرد روستایی با یک شتر از روستای (a) مطابق شکل به ترتیب ۶۴ km را در مدت‌زمان ۴ ساعت، ۴۸ km را در مدت ۳ ساعت، ۳۶ km را در مدت ۲ ساعت طی می‌کند و پس از یک ساعت استراحت در روستای (b)، ۹۲ km دیگر را در مدت ۱۰ ساعت طی می‌کند 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.



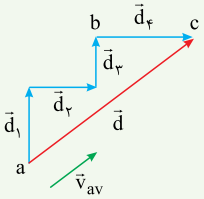
پاسخ **الف** اولین جابه‌جایی $\vec{d}_۱ = (۶۴\,km)\vec{j}$، دومین جابه‌جایی $\vec{d}_۲ = (۴۸\,km)\vec{i}$، سومین جابه‌جایی $\vec{d}_۳ = (۳۶\,km)\vec{j}$ و در نهایت آخرین جابه‌جایی $\vec{d}_۴ = (۹۲\,km)\vec{i}$ است. برای محاسبهٔ سرعت متوسط، باید جابه‌جایی کل را بر مدت‌زمان کل (یعنی با در نظر گرفتن زمان استراحت)، تقسیم می‌کنیم:

$$\vec{v}_{av} = \frac{\vec{d}}{\Delta t} = \frac{\vec{d}_۱ + \vec{d}_۲ + \vec{d}_۳ + \vec{d}_۴}{\Delta t_۱ + \Delta t_۲ + \Delta t_۳ + \Delta t_۴ + \Delta t_۵} = \frac{(۶۴\,km)\vec{j} + (۴۸\,km)\vec{i} + (۳۶\,km)\vec{j} + (۹۲\,km)\vec{i}}{۴\,h + ۳\,h + ۲\,h + ۱\,h + ۱۰\,h}$$

$$\Rightarrow \vec{v}_{av} = \frac{(۱۴۰\,km)\vec{i} + (۱۰۰\,km)\vec{j}}{۲۰\,h} \Rightarrow \vec{v}_{av} = (۷\vec{i} + ۵\vec{j})\,km/h$$

توجه کنید که زمان یک ساعت استراحت را هم در محاسبات در نظر گرفتیم؛ زیرا این یک ساعت نیز جزئی از زمان‌های سپری‌شده در مدت‌زمان جابه‌جایی زمان از روستای (a) به روستای (c) است. حالا بزرگی سرعت متوسط را به دست می‌آوریم:

$$|\vec{v}_{av}| = \sqrt{(۷)^۲ + (۵)^۲}\ km/h = \sqrt{۷۴}\ km/h \simeq ۸/۶۰\,km/h$$



بردار سرعت متوسط همیشه هم‌جهت با بردار جابه‌جایی است. بردار جابه‌جایی را رسم می‌کنیم تا جهت بردار سرعت متوسط نیز مشخص شود.

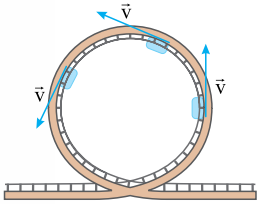
ب برای محاسبهٔ تندی متوسط، کل مسافت طی‌شده را بدون توجه به جهت آن، بر کل مدت‌زمان طی مسافت تقسیم می‌کنیم:

$$s_{av} = \frac{l_۱ + l_۲ + l_۳ + l_۴}{\Delta t_۱ + \Delta t_۲ + \Delta t_۳ + \Delta t_۴ + \Delta t_۵} = \frac{(۶۴\,km) + (۴۸\,km) + (۳۶\,km) + (۹۲\,km)}{۴\,h + ۳\,h + ۲\,h + ۱\,h + ۱۰\,h} \Rightarrow s_{av} = \frac{۲۴۰\,km}{۲۰\,h} = ۱۲\,km/h$$

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

سرعت و تندی لحظه‌ای

سرعت متحرک در هر لحظه را «سرعت لحظه‌ای» می‌نامیم و آن را با $\vec{v}$ نشان می‌دهیم. هم‌چنین تندی متحرک در هر لحظه را نیز تندی لحظه‌ای می‌نامیم.



سرعت لحظه‌ای نیز یک کمیت برداری است که مطابق با آن‌چه که در شکل روبه‌رو می‌بینید، همواره بر مسیر حرکت مماس است. اما تندی لحظه‌ای کمیتی نرده‌ای است. در واقع سرعت لحظه‌ای، اندازه و جهت سرعت در هر لحظه را نشان می‌دهد اما تندی لحظه‌ای فقط اندازهٔ سرعت در هر لحظه را بیان می‌کند؛ بنابراین می‌توانیم بگوییم: **تندی لحظه‌ای همان اندازهٔ سرعت لحظه‌ای** است. تندی لحظه‌ای $= |\vec{v}| = v$

نکته ۱: حواستان باشد سرعت لحظه‌ای و سرعت متوسط، دو کمیت کاملاً متفاوت‌اند. تنها در صورتی که در یک بازهٔ زمانی، بردار سرعت لحظه‌ای ثابت باشد، یعنی هم اندازه و هم جهت سرعت لحظه‌ای تغییر نکند، سرعت متوسط در آن بازهٔ زمانی با سرعت در هر لحظه برابر است. این اتفاق فقط در حرکت بر خط راست، امکان‌پذیر است. $\vec{v} = ثابت \Rightarrow \vec{v} = \vec{v}_{av} \Rightarrow |\vec{v}| = |\vec{v}_{av}|$

نکته ۲: عقربهٔ تندی‌سنج خودروها، تندی لحظه‌ای خودرو را نشان می‌دهند.

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 نشان‌دهندهٔ جهت حرکت متحرک در آن لحظه است. اگر سرعت مثبت بود، یعنی متحرک به سمت مثبت محور xها حرکت می‌کند و اگر سرعت منفی بود، یعنی متحرک به سمت منفی محور xها حرکت می‌کند.

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

توجه از این به بعد هر جا از کلمهٔ «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 نشسته‌اید و رانندهٔ 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 این‌که از اتومبیل جلویی سبقت بگیرید، باید رانندهٔ 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 نیسان آبی از جلو به سمت شما بیاید. شما و رانندهٔ اتومبیلی که سوار آن هستید، می‌دانید که رانندهٔ نیسان آبی حتماً ترمز نخواهد کرد!!! پس رانندهٔ 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 طی‌شده توسط آن صفر است.**

۱۷- **سرعت متوسط یک کمیت برداری است که همواره با بردار تغییر مکان، هم‌جهت است.** *(نهایی ریاضی شهریور ۱۴۰۰)*

۱۸- **عقربهٔ تندی‌سنج خودرو، تندی لحظه‌ای خودرو را نشان می‌دهد.** *(نهایی ریاضی شهریور ۱۴۰۰)*

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 بازهٔ 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.**

۲۲- **بردار سرعت در هر نقطه از مسیر حرکت، بر مسیر حرکت (عمود/ مماس) است.** *(نهایی ریاضی شهریور ۱۴۰۰)*

۲۳- **در حرکت یک‌بعدی، جهت حرکت با توجه به جهت (شتاب/ سرعت) تعیین می‌شود.** *(نهایی تجربی شهریور ۹۵)*

۲۴- **بردار سرعت متوسط با بردار (جابه‌جایی/ تغییر سرعت) هم‌جهت است.** *(نهایی تجربی خارج از کشور خرداد ۹۵ و نهایی ریاضی دی ۹۲)*

۲۵- **تندی متوسط، یک کمیت (نرده‌ای/ برداری) و یکای آن متر بر ثانیه است.** *(نهایی تجربی شهریور ۱۴۰۲ و نهایی ریاضی خرداد ۱۴۰۱)*

۲۶- **در یک بازهٔ زمانی معین، تندی متوسط متحرک نمی‌تواند (بزرگ‌تر/ کوچک‌تر) از اندازهٔ سرعت متوسط آن باشد.** *(نهایی ریاضی خرداد ۱۴۰۳)*

۲۷- **نسبت مسافت طی‌شده به مدت‌زمان حرکت (سرعت متوسط/ تندی متوسط) نامیده می‌شود.** *(نهایی تجربی خرداد ۱۴۰۲ و مشابه نهایی ریاضی خرداد ۱۴۰۲)*

به پرسش‌ها و مسئله‌های زیر پاسخ دهید.

۲۸- **سرعت متوسط را تعریف کنید.** *(نهایی تجربی خرداد ۹۷)*

۲۹- **مفهوم فیزیکی عبارت روبه‌رو را بیان کنید: «تندی متوسط دانش‌آموزی $1/4\ m/s$ است.»** *(برگرفته از مثال کتاب درسی)*

۳۰- **در چه صورت اندازهٔ سرعت متوسط متحرک با تندی متوسط آن برابر است؟** *(نهایی تجربی خرداد ۹۸ و شهریور ۹۸)*

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.** *(مشابه فعالیت کتاب درسی)*

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

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

الف) بردارهای مکان و بردار جابه‌جایی حشره را در این بازهٔ زمانی رسم کنید.

ب) سرعت متوسط حشره را در این بازهٔ زمانی پیدا کنید.

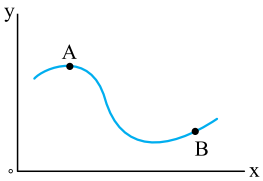
۳۳- متحرکی در مدت‌زمان $8\ m/s$ از مکان $\vec{d}_1 = (-4\ m)\vec{i}$ به مکان $\vec{d}_2 = (+4\ m)\vec{i}$ می‌رود. *(نهایی تجربی خرداد ۱۴۰۰)*

الف) جهت حرکت این متحرک را تعیین کنید.

ب) بزرگی سرعت متوسط متحرک در مدت‌زمان ۸ ثانیه چند متر بر ثانیه است؟

پ) مسافت طی‌شدهٔ متحرک چند متر است؟

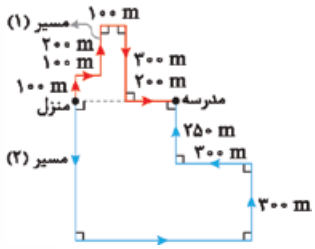
۳۴- در شکل مقابل، مسیر حرکت جسمی که با تندی ثابت در صفحهٔ xoy از A به B می‌رود، نشان داده شده است. با انتقال شکل به پاسخ‌نامه، بردارهای زیر را نشان دهید: *(نهایی تجربی دی ۹۶)*



الف) بردار تغییر مکان (جابه‌جایی) جسم بین دو نقطهٔ A و B.

ب) بردارهای سرعت لحظه‌ای جسم در دو نقطهٔ 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 ۴ دقیقه و ۱۰ ثانیه به مدرسه می‌رسند.



الف) اندازهٔ 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 ۱۲۵ 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 ۱۵ m را از پایین‌ترین نقطه قطع می‌کنیم و درخت در مدت $1/5\ s$ بر زمین می‌افتد. سرعت متوسط بالاترین نقطهٔ درخت در مدت‌زمان سقوط چند متر بر ثانیه است؟

۳۸- متحرکی روی خط راست و بدون تغییر جهت، مسافت‌های متوالی ۱۰ m، ۲۰ m و ۳۰ 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.

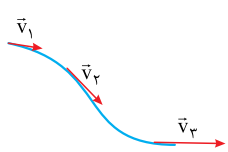
ب) متحرکی بر خط راست بدون تغییر جهت در دو بازهٔ زمانی مساوی Δt با سرعت‌های متوسط v_1 و v_2 حرکت کند.

۴۰- متحرکی روی خط راست و بدون تغییر جهت، $\frac{1}{2}$ زمان حرکت خود را با سرعت $60\ m/s$، $\frac{1}{3}$ 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:



جهت و اندازهٔ سرعت متغیر

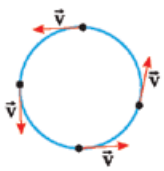
⇓

حرکت شتاب‌دار

جهت سرعت ثابت، اندازهٔ سرعت متغیر

⇓

حرکت شتاب‌دار

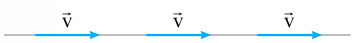


اندازهٔ سرعت ثابت، جهت سرعت متغیر

⇓

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 اندازهٔ آن ثابت باشد).



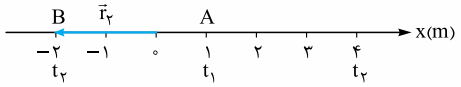
جهت و اندازهٔ سرعت ثابت

حرکت بدون شتاب ($a=0$)

سرعت یا تغییر سرعت؟ مسئله این است! خوب دقت کنید! **شتاب همواره با تغییر سرعت متناسب است نه با خودِ سرعت!** بنابراین نمی‌توانیم بگوییم، جسمی که سرعت بیشتری دارد، حتماً شتاب بیشتری هم دارد.

پاسخ نامهٔ تشریحی

۱. نرده‌ای
۲. بردار مکان
۳. دوبعدی
۴. جابه‌جایی
۵. اندازهٔ جابه‌جایی
۶. مکان
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 نقطهٔ شروع و پایان حرکت وابسته است.
۱۱. الف بردار مکان این متحرک در لحظهٔ t_2 به صورت برداری است که مبدأ مکان را به محل حضور او در این لحظه وصل می‌کند. این متحرک در t_2 در $x=-2\,m$ قرار دارد:



$\vec{r}_2=(-2\,m)\vec{i}$

ب بردار مکان در t_1 به صورت $\vec{r}_1=(1\,m)\vec{i}$ و بردار مکان او در t_3 به صورت $\vec{d}_3=(4\,m)\vec{i}$ است؛ پس: $\vec{d}=\vec{d}_3-\vec{d}_1=(4\,m)\vec{i}-(1\,m)\vec{i}=(3\,m)\vec{i}$

پ مسافت طی‌شده برابر طول کلی مسیری است که متحرک طی می‌کند. متحرک ابتدا از $x_A=1\,m$ به $x_B=-2\,m$ می‌رود و سپس از $x_B=-2\,m$ به سمت نقطهٔ C می‌رود و در t_3 به $x_C=4\,m$ می‌رسد؛ پس کل طولی که او طی کرده است، برابر است با:

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

۱۲. از نقطهٔ ابتدایی حرکت به نقطهٔ انتهایی حرکت وصل می‌کنیم و بردار جابه‌جایی را مشخص می‌کنیم:

طول این بردار برابر است با:

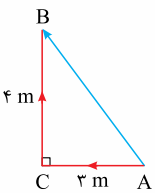
$$d=152\times10^6\,km+147\times10^6\,km=299\times10^6\,km$$

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

$$l=\frac{940\times10^6\,km}{2}=470\times10^6\,km$$

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

۱۳. با توجه به شکل روبه‌رو، اندازهٔ جابه‌جایی برابر با اندازهٔ بردار $\overrightarrow{AB}$ است؛ پس با توجه به قضیهٔ فیثاغورس داریم:



اندازهٔ جابه‌جایی: $d=\sqrt{(AC)^2+(CB)^2}=\sqrt{3^2+4^2}=5\,m$

مسافت برابر طول مسیر حرکت است؛ پس:

$$l=AC+CB=3\,m+4\,m=7\,m$$

$d<l$ است و این موضوع به این خاطر است که در حرکت، تغییر جهت داریم.

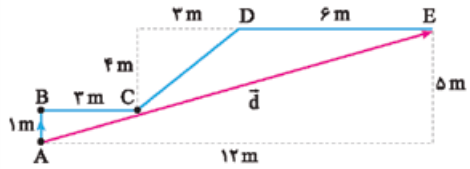
۱۴. الف گام اول: ابتدا طول قسمت CD را به کمک رابطهٔ فیثاغورس حساب می‌کنیم:

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

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

$$l=AB+BC+CD+DE=1\,m+3\,m+5\,m+6\,m=15\,m$$

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



پ همان‌طور که در شکل بالا می‌بینید علی مجموعاً ۱۲ m به سمت راست و ۵ m به سمت بالا حرکت کرده است؛ پس طول $\vec{d}$ برابر است با:

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

ت علی ۱۲m به سمت راست حرکت کرده است؛ پس جابه‌جایی در راستای افقی به صورت $(12\,m)\vec{i}$ است. او همچنین ۵m به سمت بالا حرکت کرده است. در نتیجه جابه‌جایی در راستای قائم او به صورت $(5\,m)\vec{j}$ است و داریم:

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

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

$$\vec{d}=\begin{bmatrix}8\\2\end{bmatrix}-\begin{bmatrix}2\\-3\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}6\\5\end{bmatrix}\Rightarrow\vec{d}=6\vec{i}+5\vec{j}$$

اندازهٔ بردار جابه‌جایی برابر است با:

$$|\vec{d}|=\sqrt{6^2+5^2}=\sqrt{36+25}=\sqrt{61}\,m$$

۱۶. نادرست؛ اگر متحرک مسیری را طی کرده باشد و سپس به نقطهٔ شروع حرکت برگشته باشد، سرعت متوسط صفر است؛ اما، مسافت طی‌شده صفر نیست.
۱۷. درست
۱۸. درست
۱۹. سرعت لحظه‌ای
۲۰. ثابت
۲۱. مثبت
۲۲. مماس
۲۳. سرعت
۲۴. جابه‌جایی ـ 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 ـ همواره $|v_{av}|\le s_{av}$ است.
۲۷. تندی 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: $\vec{v}_{av}=\frac{\vec{d}}{\Delta t}$

۲۹. مفهوم فیزیکی این عبارت این است که دانش‌آموز به طور متوسط در هر ثانیه ۱/۴ m از طول مسیرش را می‌پیماید.
۳۰. اگر متحرکی روی خط راست و بدون تغییر جهت حرکت کند، اندازهٔ سرعت متوسط و تندی متوسط آن برابر است.
۳۱. متحرک A: بردار جابه‌جایی: $\vec{d}_A=\Delta x_A\vec{i}=(0-4\,m)\vec{i}=(-4\vec{i})\,m$

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

جهت حرکت با توجه به این‌که بردار جابه‌جایی به سمت منفی xها است، **منفی** است.

متحرک B: بردار جابه‌جایی:

$$\vec{d}_B=\Delta x_B\vec{i}=(-2/4\,m-5/2\,m)\vec{i}=(-7/6\vec{i})\,m$$

سرعت متوسط: $v_{av,B}=\frac{\Delta x_B}{\Delta t}=\frac{-7/6\,m}{2\,s}=-3/8\,m/s$

جهت حرکت: منفی

متحرک C: بردار جابه‌جایی:

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

سرعت متوسط: $v_{av,C}=\frac{\Delta x_C}{\Delta t}=\frac{6/8\,m}{2\,s}=3/4\,m/s$

جهت حرکت: مثبت

متحرک D: بردار جابه‌جایی:

$$\vec{d}_D = \Delta x_D \vec{i} = (-۲\,m - (-۱۰\,m))\vec{i} = (۸\vec{i})m$$

$$v_{av,D} = \frac{\Delta x_D}{\Delta t} = \frac{۸\,m}{۲\,s} = ۴\,m/s$$

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 است با:

$$\vec{d}_E = (v_{av,E}\Delta t)\vec{i} = (۴\,m/s \times ۲\,s)\vec{i} = (۸\vec{i})m$$

مکان پایانی:

$$\Delta x_E = x_{۲E} - x_{۱E} \Rightarrow ۸ = x_{۲E} - ۸ \Rightarrow x_{۲E} = ۱۶\,m$$

متحرک F: مکان آغازین:

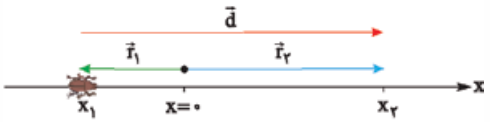
$$\Delta x_F = x_{۲F} - x_{۱F} \Rightarrow ۷\,m = -۶\,m - x_{۱F} \Rightarrow x_{۱F} = -۱۳\,m$$

سرعت متوسط:

$$v_{av,F} = \frac{\Delta x_F}{\Delta t} = \frac{۷\,m}{۲\,s} = ۳/۵\,m/s$$

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 اولیهٔ ($\vec{r}_۱$)، بردار مکان نهایی ($\vec{r}_۲$) و بردار جابه‌جایی ($\vec{d}$) به صورت زیر رسم می‌شوند.



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

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_۲ - x_۱}{t_۲ - t_۱} = \frac{۰/۳\,m - (-۰/۲\,m)}{۴۰\,s - ۱۰\,s} = \frac{۰/۵\,m}{۳۰\,s} \simeq ۰/۰۱۷\,m/s$$

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

۳۳. **الف** متحرک در جهت مثبت محور x حرکت می‌کند.

ب

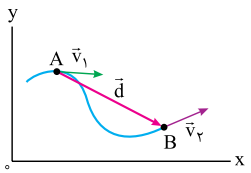
$$\vec{v}_{av} = \frac{\vec{d}}{\Delta t} = \frac{(+۴\,m)\vec{i} - (-۴\,m)\vec{i}}{۸\,s} = (۱\,m/s)\vec{i}$$

بنابراین اندازهٔ سرعت متوسط برابر است با: $v_{av} = ۱\,m/s$

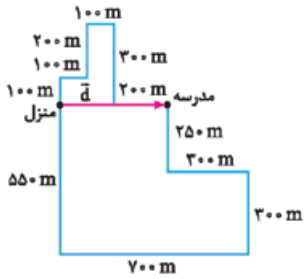
پ اگر متحرک روی خط راست و بدون تغییر جهت، حرکت کند، مسافت ۸ m است اما اگر حرکت متحرک روی خط راست نباشد، نمی‌توان مسافت را تعیین کرد.

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

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



۳۵. **الف** برای محاسبهٔ سرعت متوسط به جابه‌جایی نیاز داریم. می‌دانیم که جابه‌جایی به مسیر حرکت بستگی ندارد و فقط به نقطهٔ 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 اندازهٔ ۴۰۰ متر جابه‌جا شده‌اند، بنابراین داریم:

$$|\vec{v}_{av}| = \frac{|\vec{d}|}{\Delta t} = \frac{۴۰۰\,m}{۲۵۰\,s} = ۱/۶\,m/s$$

ب برای محاسبهٔ 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:

$$l_{سعید} = ۱۰۰\,m + ۱۰۰\,m + ۲۰۰\,m + ۱۰۰\,m + ۳۰۰\,m + ۲۰۰\,m = ۱۰۰۰\,m$$

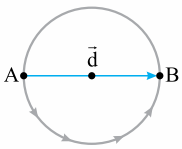
$$l_{حمید} = ۵۵۰\,m + ۷۰۰\,m + ۳۰۰\,m + ۳۰۰\,m + ۲۵۰\,m = ۲۱۰۰\,m$$

حالا تندی متوسط هر کدام را به دست می‌آوریم:

$$s_{av_{سعید}} = \frac{l_{سعید}}{\Delta t} = \frac{۱۰۰۰\,m}{۲۵۰\,s} = ۴\,m/s$$

$$s_{av_{حمید}} = \frac{l_{حمید}}{\Delta t} = \frac{۲۱۰۰\,m}{۲۵۰\,s} = ۸/۴\,m/s$$

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



$$|\vec{d}| = ۲ \times (۱۲۵\,m) = ۲۵۰\,m$$

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

$$|\vec{v}_{av}| = \frac{|\vec{d}|}{\Delta t} \Rightarrow ۵\,m/s = \frac{۲۵۰\,m}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{۲۵۰\,m}{۵\,m} = ۵۰\,s$$

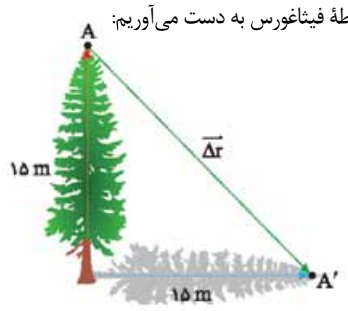
حالا که زمان پیمودن نیم دور را داریم، مسافت نیم دور را که نصف محیط دایره است، به دست می‌آوریم:

$$l = \frac{۱}{۲} \times \text{محیط} = \frac{۱}{۲} \times ۲\pi R = ۳/۱۴ \times ۱۲۵(m) \simeq ۳۹۳\,m$$

و در آخر تندی متوسط اتومبیل برابر است با:

$$s_{av} = \frac{l}{\Delta t} = \frac{۳۹۳\,m}{۵۰\,s} = ۷/۸۶\,m/s$$

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



$$d = \sqrt{۱۵^۲ + ۱۵^۲} = ۱۵\sqrt{۲}\,m$$

و حالا با استفاده از رابطهٔ سرعت متوسط داریم:

$$|\vec{v}_{av}| = \frac{|\vec{d}|}{\Delta t} = \frac{۱۵\sqrt{۲}\,m}{۱/۵\,s} = ۱۰\sqrt{۲}\,m/s$$

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.

$$\Delta t_۱ = \frac{\Delta x_۱}{v_۱} = \frac{۱۰\,m}{۲\,m/s} = ۵\,s \;,\; \Delta t_۲ = \frac{\Delta x_۲}{v_۲} = \frac{۲۰\,m}{۴\,m/s} = ۵\,s$$

$$\Delta t_۳ = \frac{\Delta x_۳}{v_۳} = \frac{۳۰\,m}{۶\,m/s} = ۵\,s$$

حالا به سراغ محاسبهٔ سرعت متوسط می‌رویم:

$$v_{av} = \frac{\Delta x_T}{\Delta t_T} = \frac{۱۰\,m + ۲۰\,m + ۳۰\,m}{۵\,s + ۵\,s + ۵\,s} = \frac{۶۰\,m}{۱۵\,s} = ۴\,m/s$$

۳۹. **الف** سرعت متوسط متحرک برابر است با:

$$v_{av} = \frac{\Delta x_۱ + \Delta x_۲}{\Delta t_۱ + \Delta t_۲}$$

در رابطهٔ بالا به جای Δt، مساوی آن یعنی $\frac{\Delta x}{v_{av}}$ را قرار می‌دهیم و چون $\Delta x_۱ = \Delta x_۲ = \Delta x$، داریم:

$$v_{av} = \frac{\Delta x + \Delta x}{\frac{\Delta x}{v_۱} + \frac{\Delta x}{v_۲}} = \frac{۲\Delta x}{(v_۱ + v_۲)\Delta x} \Rightarrow v_{av} = \frac{۲v_۱ v_۲}{v_۱ + v_۲}$$

ب سرعت متوسط متحرک برابر است با: $v_{av}=\frac{\Delta x_1+\Delta x_2}{\Delta t_1+\Delta t_2}$

در رابطهٔ بالا به جای Δx، مساوی آن یعنی $v.\Delta t$ را قرار می‌دهیم و چون $\Delta t_1=\Delta t_2=\Delta t$، داریم:

$$v_{av}=\frac{v_1.\Delta t+v_2.\Delta t}{\Delta t+\Delta t}=\frac{(v_1+v_2)\cancel{\Delta t}}{2\cancel{\Delta t}} \Rightarrow v_{av}=\frac{v_1+v_2}{2}$$

از قسمت (ب) نتیجه می‌گیریم که اگر متحرکی در بازه‌های زمانی مساوی با سرعت‌های v_1 و v_2 حرکت کند، سرعت متوسط در کل مدت حرکت برابر با میانگین v_1 و v_2 است.

۴۰. اگر کل زمان حرکت را T بگیریم، متحرک مدت $\frac{T}{2}$ را با سرعت $60\ m/s$، $\frac{T}{3}$ را با سرعت $24\ m/s$ حرکت می‌کند؛ پس متحرک مدت‌زمان $T-(\frac{T}{3}+\frac{T}{2})=\frac{T}{6}$ را با سرعت $12\ m/s$ طی می‌کند:

$$v_{av}=\frac{\Delta x_T}{\Delta t_T}=\frac{(60\ m/s)\frac{T}{2}+(24\ m/s)\frac{T}{3}+(12\ m/s)\frac{T}{6}}{T}$$

$$=(\frac{30T+8T+2T}{T})\ m/s=40\ m/s$$

۴۱. نادرست؛ اگر سرعت منفی باشد، برای این‌که حرکت تندشونده داشته باشیم، باید شتاب حرکت منفی باشد.

۴۲. نادرست؛ اگر جهت حرکت که همان جهت بردار سرعت است تغییر کند، با آن‌که اندازهٔ سرعت یعنی تندی ثابت است، حرکت شتاب‌دار خواهد بود.

۴۳. نادرست؛ شتاب هم به علت تغییر اندازهٔ سرعت تشکیل می‌شود و هم به علت تغییر در جهت سرعت.

۴۴. جنوب ـ حرکت خودرو کند می‌شود؛ بنابراین باید جهت شتاب در خلاف جهت حرکت خودرو که همان جهت سرعت است، باشد.

۴۵. تندشونده ـ هرگاه $av>0$ باشد، حرکت تندشونده است.

۴۶. کندشونده ـ در این حالت نیرو، شتابی در خلاف جهت سرعت ایجاد می‌کند که باعث کندشدن حرکت می‌شود.

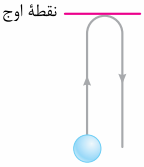
۴۷. تغییر سرعت

۴۸. تغییرات بردار سرعت لحظه‌ای تقسیم بر مدت‌زمان این تغییرات را شتاب متوسط می‌نامیم که کمیتی برداری و هم‌جهت با بردار تغییر سرعت است:

$$\vec{a}_{av}=\frac{\vec{v}_2-\vec{v}_1}{t_2-t_1}=\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$$

یکای شتاب متوسط m/s^2 است.

۴۹. بله ـ در حالتی که متحرک برای یک لحظه می‌ایستد و پس از آن جهت حرکت خود را عوض می‌کند، برای یک لحظه، سرعت حرکت صفر می‌شود ولی شتاب حرکت صفر نیست. پرتاب یک جسم در راستای قائم رو به بالا، نمونه‌ای از این حالت است که در نقطهٔ اوج سرعت صفر است ولی شتاب صفر نیست.



۵۰. به کمک رابطهٔ $a_{av}=\frac{\Delta v}{\Delta t}$ شتاب متوسط را حساب می‌کنیم:

$$a_{av}=\frac{\Delta v}{\Delta t}=\frac{21\ m/s-5\ m/s}{6\ s-2\ s}=\frac{16\ m/s}{4\ s}=4\ m/s^2$$

۵۱. **گام اول:** تغییرات سرعت را به دست می‌آوریم.

$$\Delta v=v_2-v_1=130\ km/h-40\ km/h=90\ km/h$$

گام دوم: تغییرات سرعت را برحسب متر بر ثانیه می‌نویسیم:

$$\Delta v=90\frac{km}{h}\times\frac{1\ h}{3600\ s}\times\frac{1000\ m}{1\ km}=25\ m/s$$

گام سوم: با استفاده از رابطهٔ $a_{av}=\frac{\Delta v}{\Delta t}$ شتاب متوسط را به دست می‌آوریم:

$$a_{av}=\frac{\Delta v}{\Delta t}=\frac{25\ m/s}{10\ s}=2/5\ m/s^2$$

۵۲. به کمک رابطهٔ $\vec{a}_{av}=\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$ سرعت نهایی را تعیین می‌کنیم:

$$\vec{a}_{av}=\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}=\frac{\vec{v}_2-\vec{v}_1}{\Delta t} \Rightarrow (2\ m/s^2)\vec{i}=\frac{v_2-(5\ m/s)\vec{i}}{4\ s}$$

$$\Rightarrow (8\ m/s)\vec{i}=v_2-(5\ m/s)\vec{i}$$

$$\Rightarrow v_2=(8\ m/s)\vec{i}+(5\ m/s)\vec{i}=(13\ m/s)\vec{i}$$

۵۳. **گام اول:** سرعت‌های داده‌شده را به متر بر ثانیه تبدیل می‌کنیم: $v_0=0$

$$v_1=72\frac{km}{h}\times\frac{1\ h}{3600\ s}\times\frac{1000\ m}{1\ km}=20\ m/s$$

$$v_2=90\frac{km}{h}\times\frac{1\ h}{3600\ s}\times\frac{1000\ m}{1\ km}=25\ m/s$$

گام دوم: شتاب متوسط قسمت اول برابر است با:

$$a_{av,1}=\frac{\Delta v_1}{\Delta t_1}=\frac{20\ m/s-0}{10\ s}=2\ m/s^2$$

گام سوم: چون شتاب ثابت است، $a_{av,1}=a_{av,2}=2\ m/s^2$ است و داریم:

$$a_{av,2}=\frac{\Delta v_2}{\Delta t_2} \Rightarrow 2\ m/s^2=\frac{25\ m/s-0}{\Delta t_2}$$

$$\Rightarrow \Delta t_2=\frac{25\ m/s}{2\ m/s^2}=12/5\ s$$

۵۴. شتاب متوسط برابر با $\vec{a}_{av}=\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$ است؛ پس:

$$\vec{a}_{av}=\frac{\vec{v}_2-\vec{v}_1}{t_2-t_1}=\frac{((-16\ m/s)-0)\vec{i}}{4\ s-0}=\frac{(-16\ m/s)\vec{i}}{4\ s}=(-4\ m/s^2)\vec{i}$$

این به معنی این است که شتاب متحرک در خلاف جهت محور x است.

۵۵. سرعت متحرک در نقطهٔ A در جهت منفی محور xها است؛ پس:

$$\vec{v}_A=-5\ m/s\,\vec{i}$$

اما در نقطهٔ B سرعت متحرک در جهت مثبت محور yها است؛ پس:

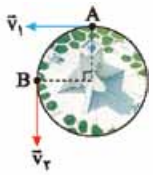
$$\vec{v}_B=5\ m/s\,\vec{j}$$

بنابراین شتاب متوسط برابر است با:

$$\vec{a}_{av}=\frac{\Delta v}{\Delta t}=\frac{\vec{v}_B-\vec{v}_A}{\Delta t}=\frac{(5\vec{j}-(-5\vec{i}))\ m/s}{10\ s}=\frac{(5\vec{j}+5\vec{i})\ m/s}{10\ s}$$

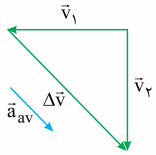
$$=(\frac{1}{2}\vec{i}+\frac{1}{2}\vec{j})\ m/s^2 \Rightarrow a_{av}=\sqrt{(\frac{1}{2})^2+(\frac{1}{2})^2}=\frac{\sqrt{2}}{2}\ m/s^2$$

۵۶. ابتدا اندازهٔ سرعت اتومبیل را برحسب m/s تعیین می‌کنیم:



$$v=72\ km/h\div 3/6=20\ m/s$$

حالا بردار $\Delta\vec{v}=\vec{v}_2-\vec{v}_1$ را رسم می‌کنیم و اندازهٔ آن را به دست می‌آوریم:



$$|\Delta\vec{v}|=\sqrt{20^2+20^2}=20\sqrt{2}\ m/s$$

و از رابطهٔ شتاب متوسط داریم:

$$|\vec{a}_{av}|=\frac{|\Delta\vec{v}|}{\Delta t}=\frac{20\sqrt{2}\ m/s}{20\ s}=\sqrt{2}\ m/s^2$$

جهت شتاب متوسط همان جهت $\Delta\vec{v}$ است.

۵۷. الف برای این‌که مکان اولیهٔ متحرک را به دست آوریم، کافی است t را مساوی صفر قرار دهیم: $x_{(t=0)}=(0)^2-4(0)+3=3m$

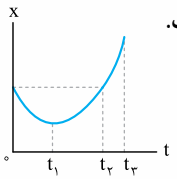
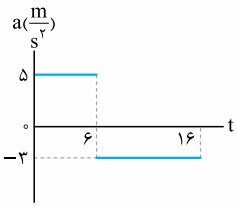
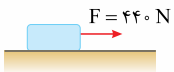
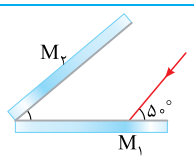
ب باید مکان را در $t=0$ و $t=4s$ با توجه به معادلهٔ مکان ـ زمان تعیین کنیم تا بتوانیم جابه‌جایی را حساب کنیم. مکان اولیه را که داریم، فقط می‌ماند مکان در $t=4s$.

$$x(t)=t^2-4t+3$$

$$\xrightarrow{t=4s} x_{(t=4s)}=(4)^2-4(4)+3=16-16+3=3m$$

پس جابه‌جایی برابر است با: $\Delta x_{(0-4s)}=x_{(t=4s)}-x_{(t=0)}=3\ m-3\ m=0$

نمونه امتحان نیم‌سال دوم	رشتهٔ علوم تجربی	فیزیک ۳
ردیف — امتحان شمارهٔ ۶ ـ نهایی خرداد ۱۴۰۳	مدت امتحان: ۱۲۰ دقیقه	Kheilisabz.com

ردیف		نمره
۱	درستی یا نادرستی جمله‌های زیر را با کلمه‌های «درست» یا «نادرست» در پاسخ‌برگ مشخص کنید. الف) برداری که مبدأ محور را به مکان جسم در هر لحظه وصل می‌کند، بردار جابه‌جایی جسم در آن لحظه نام دارد. ب) در حرکت با شتاب ثابت، سرعت متوسط متحرک در هر بازهٔ زمانی دلخواه، برابر سرعت لحظه‌ای آن است. ج) شتاب متوسط، کمیتی برداری و هم‌جهت با بردار تغییر سرعت است. د) مساحت سطح بین نمودار مکان ـ زمان و محور زمان در هر بازهٔ زمانی، برابر اندازهٔ جابه‌جایی در آن بازه است.	۱
۲	آیا در حرکت با سرعت ثابت، اندازهٔ جابه‌جایی متحرک همواره با مسافت پیموده‌شده، برابر است؟ چرا؟	۰/۵
۳	شکل روبه‌رو، نمودار مکان ـ زمان متحرکی را نشان می‌دهد که در امتداد محور x با شتاب ثابت در حرکت است. الف) در کدام بازهٔ زمانی، متحرک در خلاف جهت محور x حرکت می‌کند؟ ب) در کدام لحظه، متحرک تغییر جهت داده است؟ ج) در کدام لحظه، متحرک بیشترین سرعت لحظه‌ای را دارد؟ 	۰/۷۵
۴	شکل روبه‌رو، نمودار شتاب ـ زمان یک متحرک را که در امتداد محور x از حال سکون شروع به حرکت می‌کند، نشان می‌دهد. الف) با انجام محاسبات لازم، نمودار سرعت ـ زمان آن را در بازهٔ زمانی صفر تا ۱۶ s رسم کنید. ب) مسافت پیموده‌شده در بازهٔ زمانی ۶ s تا ۱۶ s چند متر است؟ 	۱/۲۵ ۰/۵
۵	کلمهٔ درست را از داخل پرانتز انتخاب و به پاسخ‌برگ منتقل کنید. الف) وزن یک جسم در مکان‌های مختلف (ثابت ـ متغیر) است. ب) با دو برابرکردن اندازهٔ تکانهٔ یک جسم، انرژی جنبشی آن (دو ـ چهار) برابر می‌شود. ج) در نمودار نیروی کشسانی فنر برحسب تغییر طول، هر چه ثابت فنر بیشتر باشد، شیب نمودار (بیشتر ـ کم‌تر) است. د) نیروی گرانشی میان دو ذره، با حاصل‌ضرب جرم آن‌ها نسبت (مستقیم ـ وارون) دارد. ه) شخصی درون آسانسوری روی یک ترازوی فنری ایستاده است. اگر آسانسور تندشونده به طرف پایین حرکت کند، ترازو عددی (کوچک‌تر ـ بزرگ‌تر) از وزن شخص را نشان می‌دهد.	۱/۲۵
۶	الف) لختی را تعریف کنید. ب) شخصی در حال هل‌دادن جعبه‌ای سنگین روی سطح افقی است و این جعبه در جهت این نیرو حرکت می‌کند. با توجه به آن‌که نیرویی که شخص به جعبه وارد می‌کند با نیرویی که جعبه به شخص وارد می‌کند هم‌اندازه است، توضیح دهید چگونه جعبه حرکت می‌کند.	۱
۷	مطابق شکل روبه‌رو جسمی به جرم ۸۰ kg روی سطح افقی در حال حرکت است. اگر شتاب جعبه در این حالت $1/5\ m/s^2$ باشد، ضریب اصطکاک جنبشی بین سطح و جعبه را به دست آورید. $(g = 10\ N/kg)$ 	۱
۸	دو گوی هم‌اندازه را که جرم یکی سه برابر دیگری است $(m_2 = 3m_1)$ از بالای برجی به ارتفاع h به طور هم‌زمان رها می‌کنیم. با فرض این‌که نیروی مقاومت هوا در طی حرکت دو گوی، ثابت و یکسان باشد با نوشتن روابط لازم، شتاب حرکت گوی‌ها را با هم مقایسه کنید.	۱
۹	جاهای خالی را با کلمات مناسب داده‌شده پر کنید. (یک کلمه اضافی است.) افزایش ـ کاهش ـ مکان‌یابی پژواکی ـ لیتوتریپسی الف) در حرکت هماهنگ ساده، وقتی نوسانگر به طرف نقطهٔ تعادل حرکت می‌کند، انرژی پتانسیل آن ..... می‌یابد. ب) برای اندازه‌گیری تندی شارش خون، از ..... همراه با اثر دوپلر استفاده می‌شود. ج) با کاهش دما و افزایش چگالی هوا، ضریب شکست هوا ..... می‌یابد.	۰/۷۵
۱۰	آزمایشی را توضیح دهید که نشان دهد آیا صوت در خلأ منتشر می‌شود. وسایل آزمایش: گوشی تلفن همراه، محفظهٔ تخلیهٔ هوای شیشه‌ای، پمپ تخلیهٔ هوا	۰/۷۵
۱۱	در شکل روبه‌رو، زاویهٔ بین دو آینه چند درجه باشد تا پرتوهای تابش و بازتابیده از آینهٔ M_2 بر هم منطبق گردد؟ 	۰/۵

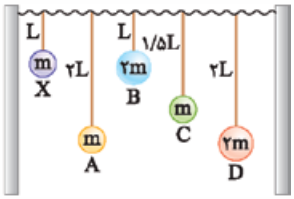
نمونه امتحان نیم‌سال دوم	رشتهٔ علوم تجربی	فیزیک ۳
ردیف — امتحان شمارهٔ ۶ ـ نهایی خرداد ۱۴۰۳	مدت امتحان: ۱۲۰ دقیقه	Kheilisabz.com — نمره

۱۲ (۰/۵)

مطابق شکل روبه‌رو، چند آونگ را از سیمی آویخته‌ایم. با به نوسان درآوردن آونگ X:

الف) آیا همهٔ آونگ‌ها شروع به نوسان می‌کنند؟

ب) در کدام آونگ پدیدهٔ تشدید اتفاق می‌افتد؟



۱۳ (۱/۲۵)

معادلهٔ نوسانی یک نوسانگر در SI به صورت $x = ۰/۰۵\cos ۱۰۰\pi t$ است.

الف) بسامد زاویه‌ای آن چند رادیان بر ثانیه است؟

ب) اندازهٔ شتاب نوسانگر را در لحظهٔ $t = \frac{۱}{۴۰۰}\,s$ به دست آورید. $(\cos\frac{\pi}{۴} = \frac{\sqrt{۲}}{۲}, \pi^۲ = ۱۰)$

۱۴ (۱)

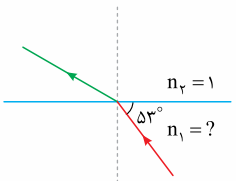
شنونده‌ای از فاصلهٔ ۶۴۰متری یک چشمهٔ صوت به فاصلهٔ ۱۶۰متری آن می‌رود. تراز شدت صوتی که می‌شنود چند دسی‌بل افزایش می‌یابد؟ $(\log ۲ = ۰/۳)$

۱۵ (۱)

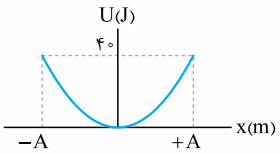
فنری به جرم $۰/۶\,kg$ و طول $۴\,m$ را با نیروی $۱/۲\,N$ می‌کشیم. اگر موج عرضی ایجادشده با بسامد $۲/۸\,Hz$ در طول فنر منتشر شود، طول موج آن را به دست آورید. $(\sqrt{۲} = ۱/۴)$

۱۶ (۱)

الف) مطابق شکل روبه‌رو، پرتوی نوری تحت زاویهٔ ۵۳° به مرز آب ـ هوا برخورد کرده است. اگر زاویهٔ شکست ۵۳° باشد، ضریب شکست را به دست آورید. $(\sin ۳۷^\circ = ۰/۶, \sin ۵۳^\circ = ۰/۸)$



ب) نمودار انرژی پتانسیل برحسب مکان در سامانهٔ جرم ـ فنری که به آن وزنه‌ای به جرم ۲۰۰ گرم وصل شده است، مطابق شکل روبه‌رو می‌باشد. بیشینهٔ سرعت نوسانگر را به دست آورید.



۱۷ (۱)

در جدول زیر برای هر گزاره از ستون (۱) گزارهٔ مناسب از ستون (۲) را انتخاب کرده و در پاسخبرگ بنویسید. (در ستون (۲) یک مورد اضافه است.)

ستون (۱)	ستون (۲)
الف) امواج الکترومغناطیسی گسیل‌شده از یک جسم جامد ملتهب	۱) طیف خطی
ب) کم‌ترین انرژی لازم برای خارج‌کردن الکترون از حالت پایه	۲) انرژی بستگی هسته‌ای
ج) عامل پایداری هسته	۳) نیروی هسته‌ای
د) انرژی لازم برای جداکردن نوکلئون‌های یک هسته	۴) انرژی یونش الکترون
	۵) طیف پیوسته

۱۸ (۱/۷۵)

الف) دو نارسایی مدل بور را بنویسید.

ب) فوتون متعلق به کوتاه‌ترین طول موج در رشتهٔ براکت $(n' = ۴)$ هیدروژن اتمی چند الکترون‌ولت انرژی دارد؟

$(hc = ۱۲۴۰\,eV.nm, R = ۰/۰۱\,(nm)^{-۱})$

۱۹ (۱/۲۵)

نوری با طول موج $۲۵۰\,nm$ به سطحی از جنس فلز تنگستن می‌تابد و سبب گسیل فوتوالکترون‌ها از آن می‌شود.

الف) اگر توان چشمهٔ نور فرودی $۸\,W$ باشد، در هر دقیقه چه تعداد فوتون از این چشمه گسیل می‌شود؟

ب) افزایش شدت نور فرودی، چه تأثیری در انرژی جنبشی و تعداد فوتوالکترون‌ها دارد؟ $(hc = ۲\times ۱۰^{-۲۵}\,J.m)$

۲۰ (۱)

سرب $^{۲۰۷}_{۸۲}Pb$ هستهٔ دختر پایداری است که از واپاشی α یا واپاشی β^- حاصل می‌شود. فرایندهای مربوط به هر یک از این واپاشی‌ها را بنویسید. در هر مورد، هستهٔ مادر را به صورت $^{A}_{Z}X$ در نظر گرفته و مقدارهای A و Z را مشخص کنید.

جمع نمرات	۲۰

پاسخ‌نامهٔ تشریحی امتحان شماره (۶)

۱. **الف** نادرست (۰/۲۵) **ب** نادرست (۰/۲۵)
ج درست (۰/۲۵) **د** نادرست (۰/۲۵)

۲. بله (۰/۲۵) چون متحرک تغییر جهت نمی‌دهد. (۰/۲۵)

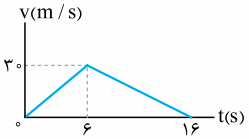
۳. **الف** در بازهٔ زمانی صفر تا t_1 (۰/۲۵)
ب در لحظهٔ t_1 (۰/۲۵)
ج در لحظهٔ t_3 (۰/۲۵)

۴. **الف**

$v = at + v_0$ (۰/۲۵) $\Rightarrow v = 5\times 6 = 30\ m/s$ (۰/۲۵)

$v = (-3\times 10) + 30 = 0\ m/s$ (۰/۲۵)

هر قسمت از نمودار (۰/۲۵)



ب

$l = \Delta x = \frac{1}{2}at^2 + v_0 t$ (۰/۲۵)

$= \frac{1}{2}(-3)\times 100 + (30\times 10) = 150\ m$ (۰/۲۵)

۵. **الف** متغیر (۰/۲۵) **ب** چهار (۰/۲۵)
ج بیشتر (۰/۲۵) **د** مستقیم (۰/۲۵)
هـ کوچک‌تر (۰/۲۵)

۶. **الف** اجسام میل دارند هنگامی که **نیروی خالص وارد بر آن‌ها صفر است** (۰/۲۵) **وضعیت حرکت خود را حفظ کنند** (۰/۲۵). این خاصیت لختی نام دارد.

ب با توجه به قانون سوم نیوتون، دو نیروی هم‌اندازه و **در خلاف جهت به دو جسم متفاوت وارد می‌شود** (۰/۲۵) بنابراین **نیروها همدیگر را خنثی نمی‌کنند** (۰/۲۵).

۷. $F_{net} = ma$ (۰/۲۵) $\Rightarrow F - \mu_k mg = ma$ (۰/۲۵)

$\Rightarrow 440 - \mu_k \times 800 = 80\times 1/5$ (۰/۲۵) $\Rightarrow \mu_k = 0/4$ (۰/۲۵)

۸. $F_{net} = ma$ (۰/۲۵) $\Rightarrow mg - F_D = ma$ (۰/۲۵)

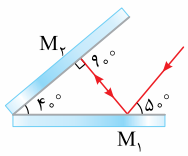
$a = g - \frac{F_D}{m}$ (۰/۲۵)

هر چه m بیشتر باشد، شتاب حرکت بیشتر است در نتیجه $a_2 > a_1$. (۰/۲۵)

۹. **الف** کاهش (۰/۲۵) **ب** مکان‌یابی پژواکی (۰/۲۵)
ج افزایش (۰/۲۵)

۱۰. گوشی تلفن همراه روشنی را زیر محفظهٔ تخلیهٔ هوای شیشه‌ای قرار می‌دهیم. در این حالت با برقراری تماس صدای آن شنیده می‌شود (۰/۲۵). با به کار افتادن پمپ تخلیهٔ هوا، صدا به تدریج ضعیف و سرانجام قطع می‌شود (۰/۲۵). در حالی که امواج الکترومغناطیسی هم‌چنان به گوشی می‌رسد. نتیجه می‌گیریم **صوت نمی‌تواند در خلأ منتشر شود** (۰/۲۵).

۱۱. رسم درست پرتوی بازتابیده از آینهٔ M_1 (۰/۲۵)
به دست آوردن زاویهٔ بین دو آینه $= 40^\circ$ (۰/۲۵)



۱۲. **الف** بله (۰/۲۵) **ب** آونگ B (۰/۲۵)

۱۳. **الف** $\omega = 100\pi\ rad/s$ (۰/۲۵)

ب

$x = 0/05\cos(100\pi\times\frac{1}{400})$ (۰/۲۵) $\Rightarrow x = 0/05\frac{\sqrt{2}}{2}\ m$ (۰/۲۵)

$|a| = \omega^2 x$ (۰/۲۵) $\Rightarrow |a| = 2500\sqrt{2}\ m/s^2$ (۰/۲۵)

۱۴. $\frac{I_2}{I_1} = (\frac{r_1}{r_2})^2$ (۰/۲۵) $\Rightarrow \frac{I_2}{I_1} = 16$ (۰/۲۵)

$\Delta\beta = 10\log\frac{I_2}{I_1} \Rightarrow \Delta\beta = 12\ dB$ (۰/۲۵)

۱۵.

$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} = \sqrt{\frac{FL}{m}}$ (۰/۲۵) $\Rightarrow v = 2\sqrt{2} = 2/8\ m/s$ (۰/۲۵)

$\lambda = \frac{v}{f}$ (۰/۲۵) $\Rightarrow \lambda = 1\ m$ (۰/۲۵)

۱۶. **الف**

$\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1} = \frac{n_1}{n_2}$ (۰/۲۵) $\Rightarrow n_1 = \frac{4}{3} = 1/33$ (۰/۲۵)

ب

$K_{max} = \frac{1}{2}mv_{max}^2$ (۰/۲۵) $\Rightarrow 40 = \frac{1}{2}\times 0/2\times v_{max}^2$

$\Rightarrow v_{max} = 20\ m/s$ (۰/۲۵)

۱۷. **الف** ۵) طیف پیوسته (۰/۲۵)
ب ۴) انرژی یونش الکترون (۰/۲۵)
ج ۳) نیروی هسته‌ای (۰/۲۵)
د ۲) انرژی بستگی هسته‌ای (۰/۲۵)

۱۸. **الف** این مدل برای وقتی که بیش از یک الکترون به دور هسته می‌گردد، به کار نمی‌رود (نیروی الکتریکی که یک الکترون بر الکترون دیگر وارد می‌کند به حساب نیامده است) ـ این مدل نمی‌تواند متفاوت‌بودن شدت خط‌های طیف گسیلی گاز هیدروژن اتمی را توضیح دهد. (هر مورد (۰/۲۵))

ب

$\frac{1}{\lambda} = R(\frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2})$ (۰/۲۵) $\Rightarrow \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{100}(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{\infty^2})$ (۰/۲۵)

$\Rightarrow \lambda = 1600\ nm$ (۰/۲۵)

$E = \frac{hc}{\lambda}$ (۰/۲۵) $\Rightarrow E = \frac{1240}{1600} = 0/775\ eV$ (۰/۲۵)

۱۹. **الف**

$pt = n\frac{hc}{\lambda}$ (۰/۲۵) $\Rightarrow 8\times 60 = n\times\frac{2\times 10^{-25}}{250\times 10^{-9}}$ (۰/۲۵)

$\Rightarrow n = 6\times 10^{20}$ (۰/۲۵)

ب انرژی جنبشی ثابت می‌ماند (۰/۲۵). تعداد فوتوالکترون‌ها افزایش می‌یابد. (۰/۲۵)

۲۰. $^{211}_{84}X \rightarrow {}^{4}_{2}\alpha + {}^{207}_{82}Pb$ (۰/۲۵) (۰/۲۵)

$^{207}_{81}X \rightarrow {}^{0}_{-1}e^- + {}^{207}_{82}Pb$ (۰/۲۵) (۰/۲۵)