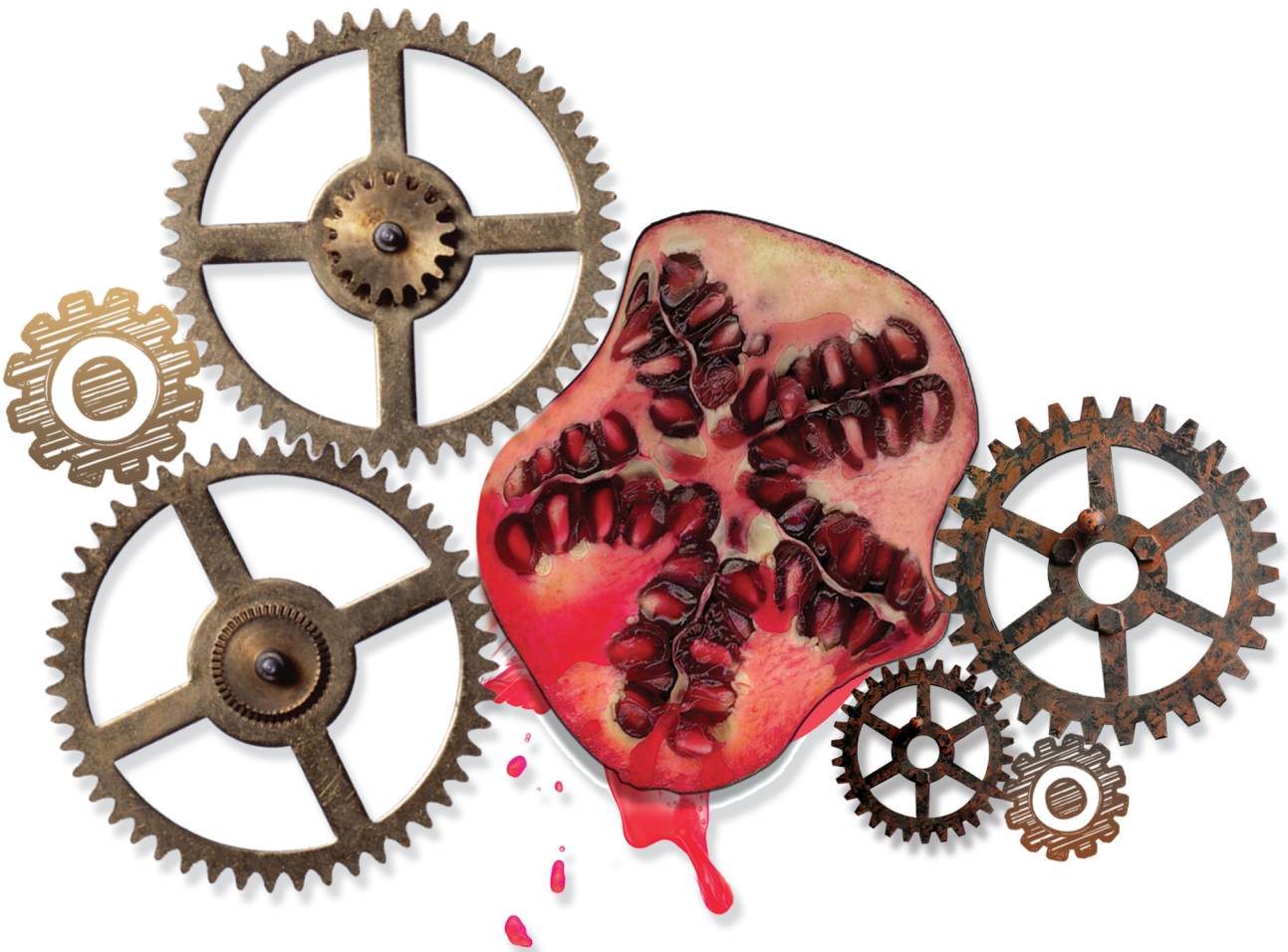
مجموعه کتاب‌های
علامه حلی

فیزیک نهم



• پوریا دیارکجوری • سیدمحمد هاشمی‌نسب • سیدیحیی طباطبایی • مهدی قهرمانی • سیدمحسن حنیفی

مجموعه کتاب‌های علامه حلی

فیزیک نهم

- سیدحسین حنیفی
- پوریا دیارکجوری
- سیدیحیی طباطبایی
- سیدمحمد هاشمی‌نسب
- مهدی قهرمانی

شناسنامه کتاب

عنوان و نام پدیدآور : فیزیک نهم
مشخصات نشر : تهران: انتشارات حلی، ۱۳۹۸
مشخصات ظاهری : ۲۷×۲۰ س م. ۱: مصور (رنگی)، جدول (رنگی)، نمودار (رنگی)؛ ص ۲۱۶
فروست : مجموعه کتاب علامه‌حلی
شابک : ۹۷۸-۶۰۰-۴۹۶-۱۴۵-۵
وضعیت فهرست نویسی : فیپای مختصر
یادداشت : فهرست‌نویسی کامل این اثر در نشانی *http://opac.nlai.ir* : قابل دسترسی است.
یادداشت : پدیدآورندگان: سیدحسین حنیفی‌یزدی، سیدمحمد هاشمی‌نسب، سیدیحیی طباطبایی، پوریا دیارکجوری، مهدی قهرمانی
یادداشت : واژه‌نامه
شناسه افزوده : حنیفی‌یزدی، سیدحسین، ۱۳۶۰
شماره کتابشناسی ملی : ۵۸۴۴۷۶۳

علامه حلی

عنوان کتاب	فیزیک نهم
ناشر	انتشارات حلی
مؤلفان	سیدحسین حنیفی‌یزدی، سیدمحمد هاشمی‌نسب، پوریا دیارکجوری، سیدیحیی طباطبایی، مهدی قهرمانی
مدیر تولید	سمیه سادات فاطمی
ویراستارعلمی	علی ابوسعیدان
صفحه‌آرا	راضیه سادات فرهانیان
طراح جلد	الهه شرفی
تصویرسازان	محمدحسین صفدریان، محمدحسن فاضلی
سال چاپ	۱۴۰۲
نوبت چاپ	پنجم
شمارگان	۳۰۰۰ جلد
قیمت	۲۷۲۰۰۰ تومان
شماره شابک	۹۷۸-۶۰۰-۴۹۶-۱۴۵-۵

تهران، خیابان انقلاب، میدان فردوسی، ابتدای کوچه براتی، پلاک ۱۶ واحد ۱۴
تلفن دفتر مرکزی: ۹-۶۶۷۴۴۳۸۴

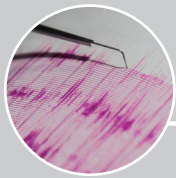
جالب است براتی

کلیه حقوق این اثر برای ناشر محفوظ است.

هیچ شخص حقیقی یا حقوقی حق برداشت تمام یا قسمتی از اثر را به صورت چاپ، فتوکپی، جزوه و مجازی ندارد.

متخلفان به موجب بند ۵ از ماده ۲ قانون حمایت از ناشران تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.

فهرست مطالب



فصل ۱ حرکت

درسنامه ۵

تمرین ۲۵

پرسش‌های چهارگزینه‌ای ۳۱

فصل ۲ نیرو

درسنامه ۳۹

تمرین ۷۲

پرسش‌های چهارگزینه‌ای ۸۰

فصل ۳ فشار و آثار آن

درسنامه ۸۹

تمرین ۱۱۵

پرسش‌های چهارگزینه‌ای ۱۱۹

فصل ۴ ماشین‌ها

درسنامه ۱۲۹

تمرین ۱۵۹

پرسش‌های چهارگزینه‌ای ۱۶۸

فصل ۵ نجوم

درسنامه ۱۷۵

پرسش‌های چهارگزینه‌ای ۱۹۲

پاسخ‌ها ۱۹۵

قبل از شروع به مطالعهٔ کتاب این قسمت را بخوانید:

وقتی شروع به خواندن این کتاب کنید با بخش‌های مختلفی مواجه می‌شوید که غالباً یک لاک‌پشت متفاوت برای هرکدام وجود دارد که در هریک از این بخش‌ها از شما انتظار داریم کار متفاوتی انجام دهید. این قسمت‌ها براساس تئوری‌های نوین آموزش و تجارب موفق تدریس برای آموزش دانش‌آموزان مستعد طراحی شده است. این بخش‌ها شامل:

درخت دانش: در صفحه اول هر فصل، نموداری رسم شده تا به شما کمک کند در کمترین حجم، مطالب علمی فصل و چگونگی تقسیم‌بندی و ارتباط آن‌ها را با هم درک کنید. درواقع این بخش نقشه‌ای است برای گم نشدن در موضوعات علمی.

اهداف رفتاری: بعد از درخت دانش، چند جمله نوشته شده که از اول کار معلوم کند این فصل را می‌خوانیم که چه بشود. خوب است در آخر فصل هم برگردیم و ببینیم، آیا می‌توانیم کارهایی را که در این بخش گفته انجام دهیم یا نه!

ببینش: درباره برخی از قسمت‌ها لازم است که چیزهایی غیر از نوشته ببینیم. اگر به قسمت این کتاب در سایت سر بزنید برای هر ببینش فیلم، نرم افزار یا ... هست که خوب است ببینیدش!

پاسخگو باش: در این قسمت باید پاسخگوی مطالبی که تا اینجا خوانده‌اید باشید. پاسخگوی سؤالاتی که انتظار می‌رود بعد از خواندن درس تا آن قسمت، بتوانید باکمی فکرکردن به آن‌ها جواب دهید.

فسفر بسوزان: شاید لازم باشد مقدار بیشتری از مغز خودمان استفاده کنیم و قدری فسفر ذخیره شده را بسوزانیم. البته اگر نتوانستید به سوالات این بخش جواب دهید افسرده نشوید؛ برخی از فسفر بسوزانیدها را خود مولفان هم بلد نیستند جواب دهند!

کنکاش کن: همه یادگیری در زمان کلاس اتفاق نمی‌افتد. گاهی لازم است راجع‌به یک موضوع خارج از فضای کلاس تحقیق کنیم و نتیجه آن را در کلاس ارائه دهیم. کتابخانه، خانواده، دوستان، اینترنت و ... منابعی هستند که برای این کار میتوانیم استفاده کنیم.

دست‌به‌کارشو: در موضوعات علمی مخصوصاً علوم تجربی، یادگیری باکیفیت بدون انجام آزمایش، مشاهده و ساخت وسایل علمی امکان‌پذیر نیست. در قسمت دست‌به‌کارشو نحوه انجام آزمایش، دستورالعمل ساخت وسیله و یا نوع مشاهده توضیح داده می‌شود.

تاریخ علم: در این بخش شخصیتی در متن درس معرفی می‌شود و درکنار صفحه، عکس و مختصری از زندگی وی می‌بینید. حق مسلم ما است که حداقل قیافه این دانشمندان دوست داشتنی را ببینیم، شاید در کتاب‌های آینده عکس شما هم اینجا قرار بگیرد!

جالب است بدانی: برای افرادی که دوست دارند بیشتر از سطح استاندارد با موضوعات آشنا شوند این قسمت توصیه می‌شود. در این قسمت مطالبی آورده شده که خواندن و یادگرفتن آن الزامی نیست ولی آن‌قدر جذاب است که نشود به‌راحتی بی‌خیال خواندن آن شد.

نوبت بازی: خیلی وقت‌ها موضوعات درسی اساس یک بازی هستند و یا می‌شود برای یادگرفتن آن‌ها از یک بازی استفاده کرد. در نوبت بازی درواقع هم درس می‌خوانیم و هم بازی می‌کنیم.

جمع‌بندی کن: در انتهای فصل برای یک جمع‌بندی سریع می‌توان از این قسمت کمک گرفت. در این قسمت با هم فصل را جمع می‌کنیم و نکات و مطالب مهم را برای خود تکمیل می‌کنیم.

شهرفرنگ: از آنجایی که همه ما ساعت‌هایی از روز را در اینترنت سِیر می‌کنیم، می‌شود علاوه‌بر سایر کارها، به سایت‌های علمی و جذاب هم سر زد. در بخش شهرفرنگ سایتی مربوط به موضوع فصل معرفی می‌شود که توصیه مؤلفان بازدید از آن سایت است.

پیشنهاد بازدید: جاها و مکان‌های بسیاری وجود دارد که می‌شود دید و یاد گرفت. در فصل‌هایی که به‌نظر مؤلفان مکانی مناسب و مرتبط با موضوع فصل وجود داشته در بخش پیشنهاد بازدید معرفی شده است.

تصحیح کن: یک بار هم خودمان را جای معلم‌ها بگذاریم و برگه تصحیح کنیم. این قسمت یک برگه امتحانی با جواب است که برخی از جواب‌ها دارای غلط و اشتباه است. برگه را تصحیح کنید و نمره دهید.

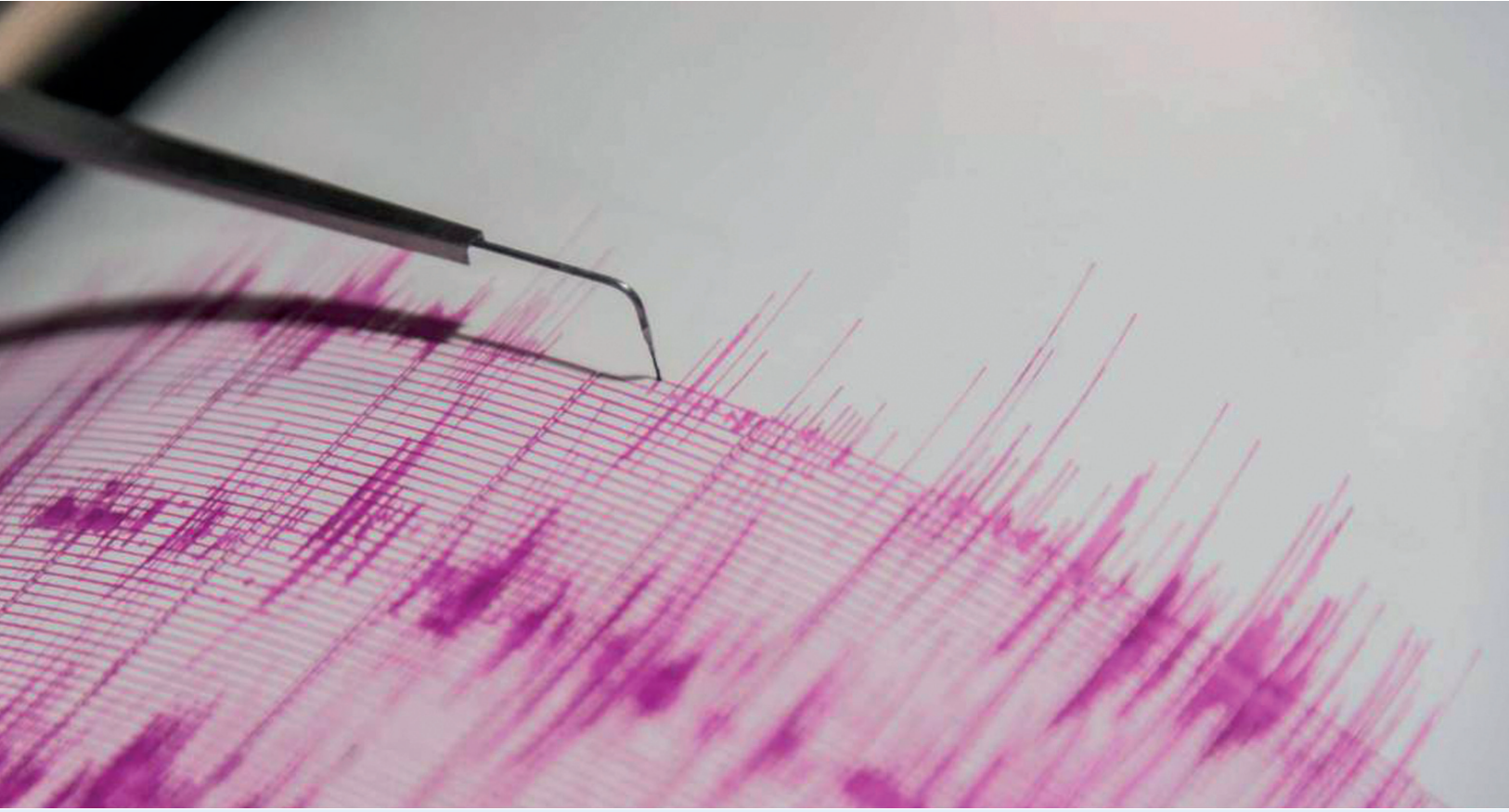
لغت‌نامه: ما دانش‌آموزان مستعد و متفاوت (!) دوست داریم بتوانیم علاوه بر مطالب درسی، جستجویی هم بکنیم و ببینیم در دنیا درباره موضع درسی ما چه چیزی وجود دارد. برای همین در پایان هر فصل لغات مهم با معادل انگلیسی آن آورده شده است.

تمرین‌ها: در آخر هر فصل تمرین‌های مرتبط با آن آورده شده است. تعداد تمرین‌ها، وقت لازم برای انجام آن‌ها، تعداد سؤالات سخت و آسان و نوع سؤالات کاملاً محاسبه شده، پس خیالتان راحت که همه را می‌توانید انجام دهید. سوالات سخت با ستاره مشخص شده، اگر این سوالات را نتوانستید حل کنید خیلی به خودتان آسیب نزنید!

پرسش‌های چهارگزینه‌ای: سؤالات چهارگزینه‌ای یا همان تست هم در آخر هر فصل طراحی شده است. سؤالات چهارگزینه‌ای با این پیش فرض طراحی شده است که اگر نکات مربوط به سؤال را بلد باشید حداکثر در ۲ دقیقه بتوانید به آن جواب دهید.

یک پژوهش دانش‌آموزی: تجربه انجام یک پروژه واقعی با مطالب درسی، به آدم این حس را می‌دهد که این درس‌ها به یک دردی هم می‌خورند! به‌صورت کوتاه یکی از این تجربیات موفق در آخر کتاب در این بخش ارائه شده است.

پاسخ‌ها: پاسخ تشریحی سؤالات چهارگزینه‌ای همه فصل‌ها به‌طور کامل و نیز پاسخ تشریحی تمرین‌های زوج طراحی شده است. سوالات فرد هم می‌ماند که خودتان حل کنید.



زلزله‌نگار حرکت قلم را که فقط در جهت عمودی است، به‌صورت خطوطی در صفحه دو بعدی رسم می‌کند! این کار چه فایده‌ای دارد؟ می‌توان با استفاده از تفاوت زمانی رسیدن موج‌های مختلف زلزله به زلزله‌نگار، فاصله محل وقوع زلزله را از زلزله‌نگار به‌دست آورد. چگونه خطوط دوبعدی رسم‌شده تفاوت زمانی رسیدن موج‌ها را معلوم می‌کنند؟ چگونه با استفاده از این تفاوت زمانی، فاصله زلزله‌نگار تا محل زلزله معلوم می‌شود؟

فصل اول حرکت چیست

اگر این فصل را به خوبی مطالعه کنی و کارهای خواسته‌شده را به دقت انجام دهی؛

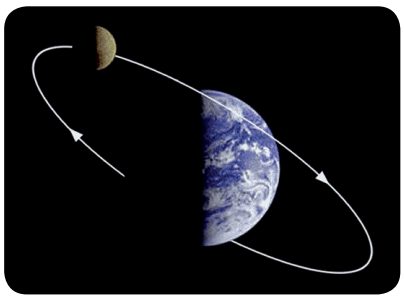
- نگاه دقیق‌تری نسبت به حرکت داشتن یا حرکت نداشتن اجسام پیدا می‌کنی.
- با مفهوم جابه‌جایی و مسافت و با محاسبات حرکت آشنا می‌شوی.
- تعریف و محاسبات سرعت متوسط و تندی متوسط را یاد می‌گیری و با مفهوم تندی و سرعت لحظه‌ای آشنا می‌شوی.
- می‌توانی برای حرکت روی یک خط مستقیم نمودار مکان ـ زمان رسم کنی و آن را تحلیل کنی.
- مفهوم شتاب را می‌آموزی و می‌توانی شتاب متوسط را حساب کنی.

اهداف رفتاری

طبیعت در حرکت

آب رودخانه‌ها از ارتفاعات به سمت دریا جاری می‌شود

جهان پیرامون ما، یک جهان پر از حرکت است. پرواز پرندگان، حرکت خودروها و قطارها و هواپیماها، افتادن برگ درختان، حرکت آب رودخانه‌ها و ... مثال‌هایی از حرکت در جهان پیرامون ما هستند. وقتی شما در حال خواندن خطوط این نوشته هستید، چشمانتان حرکت می‌کنند تا شما بتوانید نوشته را دنبال کنید. وقتی با کسی گفت‌وگو می‌کنید یا صدای محیط اطراف خود را می‌شنوید، در واقع جبهه‌های صدا (صوت) در هوا حرکت می‌کنند تا به گوش شما برسند. ممکن است بعضی وسایل و ابزارهای دور و برمان ساکن به نظر برسند، ولی در واقع تمام ذرات تشکیل‌دهنده آن‌ها دائم در لرزش و نوسان هستند.


معادلات فیزیکی نشان می‌دهند که ماه برای اینکه به سمت زمین سقوط نکند، باید با سرعت مشخصی به دور زمین در حرکت باشد

دویدن شخص و چرخش توربین‌های بادی در این عکس، مثال‌هایی از حرکت هستند

حرکت، وجه مشترک تمام وسایل نقلیه است

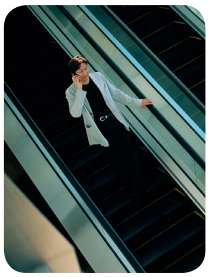
از دریچه چشم پیرمرد ساکن!

فسفر بسوزان

شاید در مترو یا قطارهای بین‌شهری یا در خودروهای کنار هم، این موضوع را تجربه کرده باشی که وقتی قطاری روی ریل کناری (یا خودروی کناری) به آرامی شروع به حرکت می‌کند، فکر می‌کنیم قطار (یا خودروی) خودمان شروع به حرکت کرده است! به نظر تو دلیل بروز چنین تصور اشتباهی چیست؟

آیا واقعاً پرنده‌هایی که پرواز می‌کنند و یا خودروهایی که در خیابان با سرعت حرکت می‌کنند، موجودات متحرکی هستند؟ آیا درختان که ریشه در خاک دارند، ساختمان‌ها و کوه‌ها و تیرهای برق ساکن‌اند؟

ممکن است شما روی سطح زمین بایستید و ساکن به نظر برسید، ولی امروز می‌دانیم اگر کسی از بیرون کره زمین به شما نگاه کند، نه تنها شما را ساکن نمی‌بیند، بلکه شما را همراه با کره زمین با سرعتی حدود سی کیلومتر بر ثانیه به دور خورشید در حرکت می‌بیند. پس بالاخره شما ساکن هستید یا نه؟



ورزشکاری را در نظر بگیرید که در گوشه باشگاه، روی تردمیل می‌دود! او به شدت خسته می‌شود، اما فاصله‌ای را طی نمی‌کند! درست برعکس کسی که بدون هیچ تلاشی روی پله برقی ایستاده و از طبقه همکف به طبقه اول می‌رود! نظرتان درباره حرکت‌کردن این دو نفر چیست؟

کدام‌یک حرکت می‌کند و کدام‌یک ساکن است؟

پاسخ پرسش‌های بالا این است که هیچ ساکن مطلقی در دنیا وجود ندارد. همان‌طور که گفتیم زمین در مدار خود به دور خورشید در گردش است. خورشید و کل منظومه شمسی درون کهکشان راه شیری حرکت می‌کنند و کهکشان راه شیری هم مانند بقیه کهکشان‌ها در حرکت است. (با این موضوع در فصل نجوم بیشتر آشنا می‌شویم)

وقتی می‌گوییم جسمی حرکت می‌کند، اغلب منظورمان این است که موقعیت آن نسبت به سطح زمین و اجسام ساکن روی آن تغییر می‌کند. خودروها در خیابان از درختان کنار خیابان دور یا به آن‌ها نزدیک می‌شوند. پرنده‌های در پرواز، فاصله‌شان با ساختمان‌ها تغییر می‌کند؛ بنابراین اغلب اوقات داریم حرکت اجسام را نسبت به سطح زمین می‌سنجیم. مثلاً وقتی می‌گوییم پس از به صدا درآمدن زنگ تفریح در حرکت به سمت در خروجی هستیم، حرکت خودمان را نسبت به در خروجی کلاس می‌سنجیم.

از دید راننده خودرو، جاده و درختان کنار جاده موجودات متحرک هستند.

ساکن، جسمی است که پیرمرد ساکن او را ساکن ببیند!

اگر حرکت اجسام را نسبت به جسم دیگری بسنجیم، نتایج متفاوتی می‌گیریم. مثلاً اگر حرکت اجسام را نسبت به خودرویی که در خیابان در حرکت است بسنجیم، آن‌گاه درختان کنار خیابان، سطح خیابان، خانه‌ها، تیرهای برق و ... همگی متحرک خواهند بود و راننده و مسافران خودرو ساکن هستند.

پیرمرد ساکن، لفظی است که به مرجع سنجش حرکت نسبت می‌دهیم. دنبال شخص خاصی نگردید، اغلب خودتان هستید!

بنابراین برای اینکه تعیین کنیم چه اجسامی حرکت می‌کنند، ابتدا باید مرجع سنجش حرکت را تعیین کنیم. مرجع سنجش حرکت می‌تواند هرچیزی باشد، هرچند اغلب آن را سطح زمین در نظر می‌گیریم. از این به بعد به مرجع سنجش حرکت **پیرمرد ساکن** می‌گوییم! واژه پیرمرد ساکن به ما یادآوری می‌کند که هر جسمی به‌عنوان پیرمرد ساکن انتخاب شود، خودش و همه اجسامی که موقعیتشان (مکانشان) نسبت به پیرمرد ساکن، ثابت است ساکن‌اند و اجسامی که مکانشان نسبت به پیرمرد ساکن متغیر است، متحرک‌اند. در واقع برای اینکه بدانیم چه جسمی ساکن و چه جسمی متحرک است، باید از دریچه چشم پیرمرد ساکن به دنیا نگاه کنیم!

بینش

ممکن است یک جسم از دید یک پیرمرد ساکن، متحرک؛ و از دید پیرمرد ساکن دیگری، ساکن باشد. ممکن است یک جسم، از دید یک پیرمرد ساکن در حرکت به سمت چپ و از دید یک پیرمرد ساکن دیگر، در حرکت به سمت راست باشد. خلاصه همه‌چیز به پیرمرد ساکن بستگی دارد!

کنکاش کن

تحقیق کن که سرعت‌شمار اتومبیل‌ها سرعت خودرو را نسبت به کدام پیرمرد ساکن می‌سنجد؟ مرجع اندازه‌گیری سرعت خودرو چیست؟

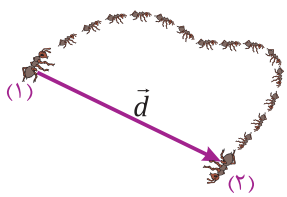
پاسخگو باش

قطاری روی خط آهن با سرعت زیادی به طرف جلو حرکت می‌کند. مسافران در قطار نشسته‌اند و کودکی از جلوی قطار به آرامی به طرف انتهای قطار می‌رود. اتومبیلی روی جاده کنار راه‌آهن از قطار سبقت می‌گیرد. در هر ستون از جدول زیر، یکی از اجسام یا افراد مسئله را به‌عنوان پیرمرد ساکن انتخاب کرده‌ایم و حرکت بقیه را به نسبت به آن سنجیده‌ایم. با توجه به این توضیحات و شکل زیر، جدول زیر را کامل کنید:

لوکوموتیوران	پیرمرد ساکن			
مسافران قطار	ساکن			
کودک در قطار	متحرک ←	پیرمرد ساکن	متحرک ←	
راننده اتومبیل			پیرمرد ساکن	
مسافران اتومبیل				متحرک →
درختان کنار جاده				پیرمرد ساکن

جابه‌جایی و مسافت طی‌شده

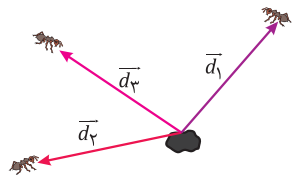
جابه‌جایی



بردار جابه‌جایی مورچه

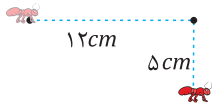
مورچه‌ای که در کف کلاس حرکت می‌کند را دنبال می‌کنیم. این مورچه در یک لحظه در مکان (۱) است و مدتی بعد، به مکان (۲) می‌رسد. جابه‌جایی مورچه در این مدت، به‌صورت یک بردار نمایش داده می‌شود که از مکان اول مورچه به مکان آخر آن وصل شده است.

بردار جابه‌جایی مورچه، که آن را با $\vec{d}$ نشان می‌دهیم، به مسیری که مورچه طی کرده است بستگی ندارد. ما واقعاً نمی‌دانیم (یا به عبارت درست‌تر، لازم نیست بدانیم!) در بین این لحظات مورچه در چه مکان‌هایی بوده است. تنها چیزی که اهمیت دارد، نقاط اول و آخر است. طول بردار جابه‌جایی را اختصاراً **جابه‌جایی** می‌نامیم و آن را با d (بدون فلش) نشان می‌دهیم.



همان‌طور که در شکل روبه‌رو پیدا است، ممکن است چند مورچه که از لانه بیرون آمده‌اند، جابه‌جایی‌های برابر داشته باشند؛ اما بردار جابه‌جایی‌شان متفاوت باشد. زیرا وقتی از بردار جابه‌جایی صحبت می‌کنیم، جهت حرکت نیز اهمیت دارد.

مثال: مورچه‌ای در کف کلاس مسیر زیر را طی کرده است:



جابه‌جایی مورچه چند سانتی‌متر است؟

پاسخ:

طبق رابطه فیثاغورس، جابه‌جایی مورچه برابر است با:

$$d = \sqrt{۱۲^۲ + ۵^۲} = \sqrt{۱۴۴ + ۲۵} = \sqrt{۱۶۹} = ۱۳cm$$

مسافت طی‌شده

به طول مسیری که جسمِ متحرک طی می‌کند، مسافت طی‌شده می‌گوییم. مسافت طی‌شده برخلاف جابه‌جایی، فقط به مکان اول و آخر جسم بستگی ندارد و به شکل مسیر هم وابسته است. فرض کنید توپی را به طرف بالا پرتاب می‌کنیم تا دوباره به دست ما برسد. در حرکت رفت و برگشتی این توپ، جابه‌جایی صفر است اما مسافت طی‌شده دو برابر حداکثر ارتفاعی است که توپ بالا رفته است. اگر جسم ساکن باشد و ساکن بماند، مسافت طی‌شده توسط آن صفر است؛ ولی مسافت طی‌شده نمی‌تواند منفی باشد. همچنین مسافت طی‌شده به جهت حرکت بستگی ندارد.

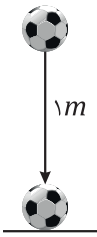
سروش ادعا می‌کند که اگر جسم روی یک خط در حرکت باشد، مسافت طی‌شده با جابه‌جایی آن برابر است. آیا تو با او موافقی؟ در این باره توضیح بده.

مثال: مادر زهرا روزی برای صحبت با معلم او، مسیر خانه تا مدرسه به طول ۸۰۰ متر را طی می‌کند و پس از تمام شدن جلسه، از همان مسیر به خانه برمی‌گردد. جابه‌جایی و مسافت طی‌شده توسط مادر زهرا در این روز چقدر است؟

پاسخ:

مادر زهرا ابتدا در خانه بوده و در پایان نیز به خانه می‌رسد، پس جابه‌جایی او صفر است؛ اما او برای رفتن به مدرسه و بازگشتن به خانه، دو بار مسیر خانه تا مدرسه را طی کرده است، پس مسافت طی‌شده توسط او ۱۶۰۰ متر است.

مثال: توپی را از ارتفاع ۱ متری رها می‌کنیم. این توپ بعد از هر برخورد نصف دفعه قبل بالا می‌آید.



الف) مسافت طی‌شده توسط توپ از لحظه رهاکردن تا برخورد سوم به زمین چقدر است؟

ب) بردار جابه‌جایی توپ در این محدوده زمانی چیست؟

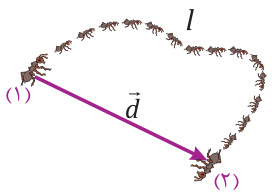
پاسخ:

الف) توپ بعد از هربار برخورد، نصف دفعه قبل بالا می‌آید. از لحظه رهاکردن تا برخورد سوم با زمین، توپ سه حرکت رفت (به طرف زمین) و دو حرکت برگشت انجام می‌دهد، پس:

$$\text{مسافت طی‌شده} = ۱ + ۰/۵ + ۰/۵ + ۰/۲۵ + ۰/۲۵ = ۲/۵m$$

ب) در ابتدا توپ در ارتفاع ۱ متری سطح زمین است و در لحظه برخورد سوم با زمین، روی زمین است. پس بردار جابه‌جایی توپ در کل، ۱ متر است به طرف پایین.

سرعت متوسط و تندی متوسط



سرعت متوسط

مورچه کف کلاس را که در بخش قبل در مورد آن صحبت کردیم به یاد آورید.

فرض کنید مورچه فاصله بین نقاط (۱) و (۲) را در مدت زمانی مشخص طی کرده است. مدت زمان را با Δt نشان می‌دهیم، زیرا t ابتدای واژه *time* به معنای زمان است و Δ نمادی است که برای نشان دادن تغییر یک کمیت به‌کار می‌رود؛ پس Δt یعنی تغییر زمان از نقطه (۱) تا نقطه (۲) که همان مدت زمان سپری‌شده از (۱) تا (۲) است.

اکنون اگر بردار جابه‌جایی مورچه را بر مدت زمان صرف‌شده تقسیم کنیم، بردار سرعت متوسط مورچه به‌دست می‌آید. بردار سرعت متوسط، هم مقدار و هم‌جهت دارد. مقدار آن از رابطه زیر به‌دست می‌آید؛ و جهت آن همان جهت بردار جابه‌جایی است:

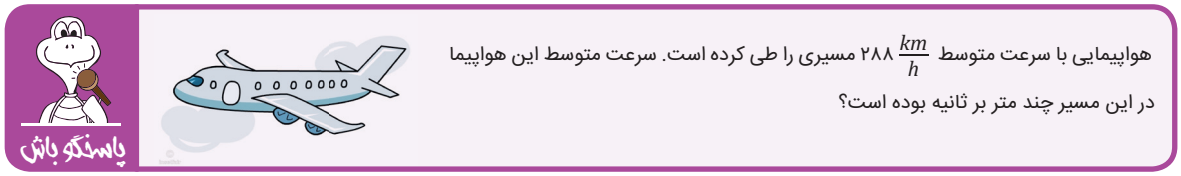
$$\text{سرعت متوسط } (v_{av}) = \frac{\text{جابه‌جایی } (d)}{\text{مدت زمان صرف شده } (\Delta t)}$$

سرعت متوسط به ما می‌گوید که متحرک در هر ثانیه **به‌طور متوسط** چقدر جابه‌جا شده است. باید دقت داشت که جابه‌جایی متحرک در هر ثانیه دقیقاً به اندازه سرعت متوسط نیست! زیرا ممکن است در ثانیه‌های متوالی جهت حرکت و مقدار سرعت متحرک تفاوت کند و این باعث می‌شود که مقدار جابه‌جایی ثانیه‌های متوالی حرکت با هم متفاوت شود.

همان‌طور که در رابطه بالا معلوم است، اگر جابه‌جایی جسم صفر باشد، سرعت متوسط آن هم صفر است. البته این به معنای ساکن بودن جسم در تمام لحظات نیست؛ بلکه تنها بیان می‌کند که مکان اول و آخر جسم یکسان است.

یکای سرعت متوسط، از تقسیم یکای طول بر یکای زمان به‌دست می‌آید؛ مانند متر بر ثانیه، کیلومتر بر ساعت، .... می‌توانیم یکاهای مختلف سرعت متوسط را به هم تبدیل کنیم، مثلاً اگر خودرویی در مدت ۱ ساعت به اندازه $۹۰km$ جابه‌جا شود، سرعت متوسط آن $۹۰\frac{km}{h}$ است که معادل $۲۵\frac{m}{s}$ است. روش این تبدیل یکا را در زیر می‌بینید:

$$۹۰\frac{km}{h}=۹۰\frac{۱۰۰۰m}{۳۶۰۰s}=\frac{۹۰۰۰۰m}{۳۶۰۰s}=\frac{۹۰۰}{۳۶}\frac{m}{s}=۲۵\frac{m}{s}$$



هواپیمایی با سرعت متوسط $۲۸۸\frac{km}{h}$ مسیری را طی کرده است. سرعت متوسط این هواپیما در این مسیر چند متر بر ثانیه بوده است؟

مثال: آسانسوری از طبقه همکف در مدت $۲۰s$ به طبقه پنجم می‌رود. $۲۲s$ در طبقه پنجم می‌ایستد و سپس در مدت $۸s$ به طبقه سوم می‌رود. اگر فاصله طبقات از هم ۳ متر باشد، سرعت متوسط آسانسور در کل این مدت چقدر و در چه جهتی است؟

پاسخ:

آسانسور در کل مدت ۵۰ ثانیه، از طبقه همکف به طبقه سوم رسیده است، یعنی جابه‌جایی آن ۹ = ۳ × ۳ متر و به سمت بالا بوده است. پس:

$$v_{as}=\frac{d}{\Delta t}=\frac{۹m}{۵۰s}=۰/۱۸\frac{m}{s}\quad \text{(به سمت بالا)}$$

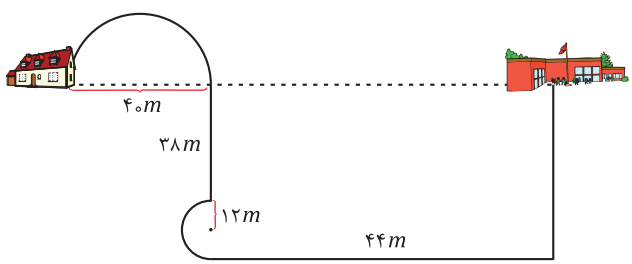
تندی متوسط

اگر مسافت طی شده توسط یک متحرک را به مدت زمان صرف‌شده تقسیم کنیم، تندی متوسط متحرک به دست می‌آید. یعنی:

$$\text{تندی متوسط } (S_{av}) = \frac{\text{مسافت طی شده } (l)}{\text{مدت زمان صرف شده } (\Delta t)}$$

تندی متوسط همواره یک عدد مثبت است و جهت ندارد (چرا؟). مقدار تندی متوسط بیان می‌کند که یک مسافت معلوم را به‌طورکلی چقدر تند طی کرده‌ایم. اگر قدری دقیق‌تر بخواهیم بگوییم، تندی متوسط به ما می‌گوید که متحرک **به‌طور متوسط** در هر ثانیه چه مسافتی را پیموده است. دقت کنید که مسافتی که متحرک در هر ثانیه پیموده است دقیقا به اندازه تندی متوسط نیست و یکای تندی متوسط (مانند یکای سرعت متوسط) متر بر ثانیه، کیلومتر بر ساعت، .... است.

مثال: مهسا مسیر خانه تا مدرسه را مطابق شکل زیر در مدت ۱۰ دقیقه طی کرده است. تندی متوسط و سرعت متوسط مهسا در این ۱۰ دقیقه چقدر بوده است؟ (فرض کنید $\pi=۳$)



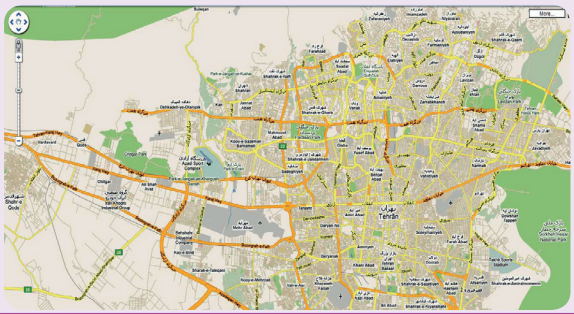
پاسخ:

$$\text{طول کل مسیر} = (۲۰\times۳)+۳۸+(۱۲\times۳)+۴۴+(۳۸+۲۴)=۲۴۰m$$

$$\text{تندی متوسط} = \frac{۲۴۰m}{۱۰\min}=\frac{۲۴۰m}{۱۰\min\times\frac{۶۰s}{۱\min}}=\frac{۲۴۰m}{۶۰۰s}=۰/۴\frac{m}{s}$$

$$\text{سرعت متوسط} = \frac{\text{جابه‌جایی}}{\text{مدت زمان}}=\frac{(۲۰+۲۰+۴۴)m}{۱۰\min\times\frac{۶۰s}{۱\min}}=\frac{۸۴m}{۶۰۰s}=۰/۱۴\frac{m}{s}$$

نقشه شهرتان را تهیه کن و مسیر خانه تا مدرسه (یا تا مسجد، باشگاه، یا خانه پدربزرگ یا هر جای دیگری که دوست داری!) را روی آن مشخص کن (دقیقاً همان مسیری که آن را طی می‌کنی!). با استفاده از مقیاس نقشه، طول مسیر را محاسبه کن. با کمک ساعت مچی، زمانی که طول می‌کشد تا به مدرسه (یا تا جایی که در نظر گرفته‌ای) برسی را به دست بیاور و تندی متوسط حرکت خود را حساب کن. می‌توانی از نرم‌افزارهای نقشه تلفن همراه هم استفاده کنی.



رضا قوچان‌نژاد مهاجم تیم‌ملی فوتبال ایران، با ثبت رکورد ۱۱/۱۱ کیلومتر دوندگی در بازی مقابل تیم ملی آرژانتین در مرحله گروهی جام‌جهانی ۲۰۱۴ برزیل، دونده‌ترین بازیکن ایران بود. تندی متوسط قوچان‌نژاد در این مسابقه چقدر بوده است؟ به نظر تو مقدار سرعت متوسط قوچان‌نژاد در این مسابقه به چه عددی نزدیک است؟ چرا؟

مثال: دوچرخه‌سواری یک مسیر به طول $3km$ را در مدت ۱۵ دقیقه یک‌بار می‌رود و دوباره برمی‌گردد. تندی متوسط دوچرخه‌سوار در کل رفت و برگشت چند کیلومتر بر ساعت است؟

پاسخ:

در تندی متوسط، مسافت طی‌شده مهم است؛ پس کل مسافت رفت و برگشت ($6km$) را تقسیم بر مدت زمان حرکت می‌کنیم:

$$\text{تندی متوسط} = \frac{۶\ km}{۱۵\ \text{min}} = \frac{۶\ km}{۱۵\ \text{min} \times \frac{۱\ h}{۶۰\ \text{min}}} = \frac{۶\ km}{\frac{۱}{۴}\ h} = ۲۴\ \frac{km}{h}$$

چه موقع مقدار سرعت متوسط و تندی متوسط با هم برابر می‌شوند؟

سرعت لحظه‌ای و تندی لحظه‌ای

تندی خودروها در همه‌جای جاده یکسان نیست

در یک مسافرت از تهران به چالوس، به‌خاطر پیچ و خم جاده، بارها جهت حرکت خودرو تغییر می‌کند و همچنین به دلایل مختلف، عددی که عقربه تندی‌سنج خودرو نشان می‌دهد دائم تغییر می‌کند. مثلاً پیچ‌ها و تونل‌ها، خودرو کندتر حرکت می‌کند و در عوض در قسمت‌های مستقیم‌تر، تندی بیشتری دارد. در این چند سال اخیر ترافیک جاده چالوس خیلی زیاد شده و در خیلی از قسمت‌های جاده خودروها توقف کامل دارند، یعنی تندی خودرو صفر می‌شود. به‌طور خلاصه، در هر لحظه خودرو تندی و جهت حرکت متفاوتی دارد. به تندی حرکت یک جسم در هر لحظه، **تندی لحظه‌ای** گفته می‌شود. در واقع تندی لحظه‌ای، عددی است که تندی‌سنج خودرو در هر لحظه نشان می‌دهد. اگر تندی متحرکی ثابت باشد، تندی لحظه‌ای آن در تمام لحظات با هم برابر است.

اگر به تندی لحظه‌ای جهت را هم بیفزائیم، سرعت لحظه‌ای جسم را مشخص کرده‌ایم. **سرعت لحظه‌ای** جسم بیان می‌کند که جسم در هر لحظه با چه مقدار تندی و در چه جهتی حرکت می‌کند.

اما سؤالی که ممکن است به ذهن برسد این است که اساساً مگر آیا متحرک در لحظه جابه‌جا می‌شود که برایش سرعت لحظه‌ای تعریف می‌کنیم؟! در پاسخ باید گفت در فیزیک مفهوم تمام کمیت‌های لحظه‌ای نظیر سرعت لحظه‌ای، آن

است که بازه زمانی بسیار بسیار کوچکی در اطراف لحظه موردنظر را معین کنیم و برایش جابه‌جایی را حساب کنیم. حاصل تقسیم این جابه‌جایی (قاعدتاً کوچک) به زمان بسیار کم، سرعت لحظه‌ای را معلوم می‌کند. در واقع سرعت یا تندی لحظه‌ای، سرعت یا تندی متوسط برای یک بازه بسیار کوچک زمان در اطراف لحظه موردنظر است.

مثال: در یک عطسه شدید، چشمان انسان به مدت ۰/۵ ثانیه بسته می‌شود. اگر راننده‌ای که با سرعت $۷۲\frac{km}{h}$ در حرکت است، عطسه کند، در مدتی که چشمانش بسته می‌شود، خودروی او چقدر جلو می‌رود؟

پاسخ:

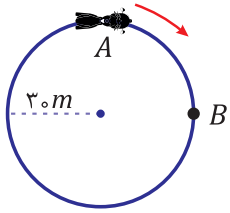
ابتدا تندی خودرو را برحسب متر بر ثانیه حساب می‌کنیم:

$$۷۲\frac{km}{h}=۷۲\frac{۱۰۰۰m}{۳۶۰۰s}=\frac{۷۲۰۰۰m}{۳۶۰۰s}=\frac{۷۲۰}{۳۶}\frac{m}{s}=۲۰\frac{m}{s}$$

اکنون می‌توانیم پیشروی خودرو را در مدت ۰/۵ ثانیه از رابطه زیر به‌دست آوریم:

پیشروی خودرو = تندی خودرو × مدت زمان $=۲۰\frac{m}{s}\times ۰/۵s=۱۰m$

مثال: موتورسواری مانند شکل زیر، با تندی ثابت $۱۵\frac{m}{s}$ دور میدانی به شعاع $۳۰m$ در جهت ساعتگرد می‌چرخد. اگر ابتدا موتورسوار در نقطه A بوده باشد: $(\pi=۳)$



الف) سرعت لحظه‌ای موتورسوار را وقتی به نقطه B می‌رسد، مشخص کنید.

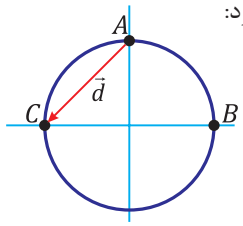
ب) مقدار سرعت متوسط موتورسوار را از ابتدا تا ۹ ثانیه بعد حساب کنید.

پاسخ:

الف) چون تندی موتورسوار ثابت است، مقدار سرعت لحظه‌ای آن در تمام لحظات همان تندی ثابت است؛ اما در نقطه B جهت سرعت موتورسوار به سمت پایین است (چرا؟). پس سرعت لحظه‌ای آن در نقطه B عبارت است از:

سرعت لحظه‌ای در B $=۱۵\ \frac{m}{s}$ (به طرف پایین)

ب) محیط میدان $۳۰\times۳\times۲$ متر یا ۱۸۰متر است. با تندی $۱۵\frac{m}{s}$، مدت زمانی به اندازه $\frac{۱۸۰}{۱۵}=۱۲$ ثانیه طول می‌کشد تا موتورسوار یک دور کامل بزند؛ بنابراین در مدت ۹ ثانیه، موتورسوار $\frac{۳}{۴}$ دور زده است و به نقطه C رسیده است. پس جابه‌جایی آن که در شکل مشخص شده، با کمک قضیه فیثاغورس محاسبه می‌شود:



$$d=\sqrt{۳۰^۲+۳۰^۲}=۳۰\sqrt{۲}m$$

اکنون مقدار سرعت متوسط را از رابطه $v_{av}=\frac{d}{\Delta t}$ حساب می‌کنیم:

$$v_{av}=\frac{d}{\Delta t}=\frac{۳۰\sqrt{۲}m}{۹s}=\frac{۱۰\sqrt{۲}}{۳}\frac{m}{s}\simeq ۴/۷\frac{m}{s}$$

جهت این سرعت، هم‌جهت با بردار جابه‌جایی نشان داده شده در شکل است.

رکود فعلی دوی صد متر، در اختیار دونده‌ای از کشور جامائیکا به نام اوسین بولت است. او توانست در مسابقات جهانی برلین در سال ۲۰۰۹ میلادی در مدت زمان ۹/۵۸ ثانیه خود را به خط پایان برساند. تندی متوسط اوسین بولت در این مسابقه چقدر بوده است؟

برای ایجاد انفجار با دینامیت در حفره‌های معادن، از فتیله‌هایی استفاده می‌شود که به کندی (۱ متر در ۲ دقیقه) می‌سوزند. برای اینکه کارگر معدن پس از روشن‌کردن فتیله دینامیت بتواند حداقل ۱۵۰ متر با سرعت $۵\frac{m}{s}$ از دینامیت دور شود، طول فتیله حداقل باید چقدر باشد؟

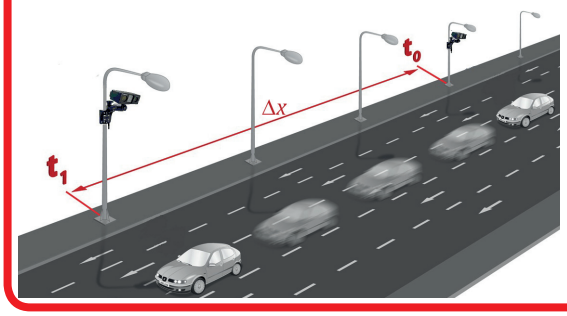
جالب است برانی

برخی دوربین‌های کنترل سرعت (که در بزرگراه‌های ما هم اغلب از این مدل استفاده می‌شود) هنگام عبور خودرو از کنارشان تندی لحظه‌ای خودرو را محاسبه می‌کنند و اگر از مقدار مجاز بیشتر باشد، از آن عکس می‌گیرند.

مدل دیگری از دوربین‌های کنترل سرعت، به‌صورت دوربین‌های دوتایی هستند که در فاصله مشخص (حدوداً ۱۱۰ متر) در طول مسیر نصب می‌شوند و مدت زمان رسیدن خودرو از دوربین اول تا دوربین دوم را محاسبه می‌کنند و اگر تندی متوسط خودرو در این بین از مقدار مجاز بیشتر باشد، برای خودرو جریمه در نظر گرفته می‌شود.

دوربین کنترل سرعت لحظه‌ای

روش دوم نسبت به روش اول این برتری را دارد که راننده با ترمز ناگهانی پیش از رسیدن به دوربین، نمی‌تواند مانع جریمه شدن خود شود، زیرا چیزی که محاسبه می‌شود تندی متوسط حرکت اوست و نه تندی حرکت او در لحظه رسیدن به دوربین!



کنکاش کن

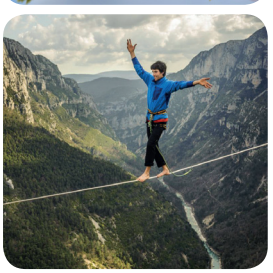
یکی دیگر از معیارهایی که اغلب برای بیان تندی حرکت هواپیماهای جنگی یا موشک‌ها استفاده می‌شود، عدد ماخ نام دارد. در مورد عدد ماخ و نحوه محاسبه آن تحقیق کن و با اجازه معلم کلاس، برای دوستانت ارائه بده.

موشک ایرانی زمین به زمین فاتح، در حین پرواز به سرعتی حدود ۳/۵ ماخ می‌رسد.

فسفر بسوزان

به نظرت آیا همواره مقدار سرعت لحظه‌ای با تندی لحظه‌ای برابر است؟ مقدار سرعت متوسط با تندی متوسط چطور؟ چه موقع می‌توانیم با اطمینان بگوییم که مقدار سرعت متوسط با تندی متوسط برابر است؟

تحلیل حرکت روی خط راست



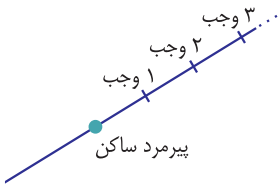
اجسام و موجودات اطراف ما اغلب حرکات پیچیده‌ای دارند. مثلاً وقتی فوتبالیستی از کنار زمین توپی را برای مهاجم هم‌تیمی خود روی دروازه سانتر می‌کند، توپ مسیر پیچیده‌ای را طی می‌کند؛ هم بالا می‌رود و هم جلو و هم به خاطر چرخش توپ، مسیر حرکتش کات می‌گیرد. سرعت توپ هرچه بالاتر می‌رود، کمتر؛ و دوباره حین پایین آمدن زیاد می‌شود. یا به‌عنوان یک مثال دیگر، حرکت یک پشه وقتی اطراف ما پرواز می‌کند را در نظر بگیرید. این پشه به دفعات جهت حرکت خود را عوض می‌کند. بالا و پایین، چپ و راست، جلو و عقب می‌رود. سرعت حرکتش گاهی زیاد و گاهی کم می‌شود. می‌بینیم که حرکت پشه حتی از حرکت توپ کات‌دار هم پیچیده‌تر است.

حتی بررسی حرکت برگی که از شاخه درخت در فصل پاییز جدا می‌شود نیز چندان ساده نیست. برگ در حین پایین آمدن پیچ و تاب می‌خورد، می‌چرخد و به چپ و راست و جلو و عقب می‌رود.

ساده‌ترین شکل حرکت، حرکت یک جسم روی یک خط راست است. باید خیالمان راحت باشد که جسم مورد نظر ما، از این خط بیرون نمی‌رود! در این صورت مقدار قابل توجهی از پیچیدگی‌های حرکت از بین می‌رود، زیرا جسم فقط می‌تواند روی یک خط حرکت کند. حرکت یک بندباز روی طناب و یا حرکت سقوط آزاد یک سنگ یا حرکت توپ در بازی استُپ‌هوایی به‌شرط آنکه آن را مستقیم به طرف بالا پرتاب کنیم، مثال‌هایی از این حرکت هستند.

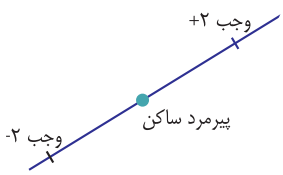
برای تحلیل حرکت یک جسم روی خط راست، باید گام‌های زیر را طی کنیم:

گام اول) قبل از هر چیز باید پیرمرد ساکن را تعیین کنیم. این انتخاب کاملاً دلخواه است؛ بنابراین یک نقطه از راستای حرکت را به‌عنوان پیرمرد ساکن در نظر می‌گیریم.



گام دوم) اکنون مکان جسم روی این خط، به معنای فاصله آن از پیرمرد ساکن خواهد بود. برای تعیین فاصله هم، باید یکی از یکاهای طول را انتخاب کنیم. مثلاً می‌توانیم از متر، سانتی‌متر، کیلومتر یا اینچ و یا یکای دیگری که خودمان درست کرده‌ایم استفاده کنیم.

گام سوم) جسمی که روی یک خط حرکت می‌کند را در نظر بگیرید. فرض کنید یکی از نقاط این خط را به‌عنوان پیرمرد ساکن در نظر گرفتیم و فاصله‌ها را با یکای متر می‌سنجیم. اگر به شما گفته شود که جسم در فاصله ۱ متری پیرمرد ساکن است، آیا شما می‌توانید به‌طور قطع بگویید که جسم کجاست؟ بدیهی است که دو پاسخ برای این سؤال وجود دارد زیرا دو نقطه روی این خط، به فاصله ۱ متری از پیرمرد ساکن وجود دارد. برای اینکه مکان این دو نقطه را از هم متمایز کنیم، به یکی علامت مثبت و به دیگری علامت منفی نسبت می‌دهیم. چون هر دو فاصله یک متر است، یکی می‌شود مکان $+1m$ و دیگری می‌شود مکان $-1m$ در واقع پیرمرد ساکن، خط حرکت را به دو نیم‌خط تقسیم می‌کند که یکی از نیم‌خط‌ها دارای علامت مثبت و دیگری دارای علامت منفی است.



گام چهارم) حالا مکان هر نقطه روی خط، با یک عدد مثبت یا منفی (البته همراه با یکای طول) معلوم شده است. چه خوب می‌شود که برای خط حرکت، یک اسم هم انتخاب کنیم. مثلاً به آن بگوییم محور xها! پیرمرد ساکن را هم معمولاً با O نشان می‌دهیم.

پس از این به بعد برای اینکه نشان دهیم مکان جسم در ۱۰+ متری پیرمرد ساکن است، می‌توانیم بنویسیم:

$$x = +10m$$

فرض کنید متحرکی که در مکان x_1 است، پس از مدتی به مکان x_2 می‌رسد. این متحرک در این مدت، به اندازهٔ $x_2 - x_1$ جابه‌جا شده است که آن را با Δx (دلتا ایکس) نشان می‌دهیم. یعنی $\Delta x = x_2 - x_1$

قبلا گفتیم که جابه‌جایی هم مقدار و هم جهت دارد. در این روش، جهت جابه‌جایی را علامت Δx تعیین می‌کند. به شکل‌های زیر توجه کنید:

هر دو جابه‌جایی، به طول ۳ متر انجام شده‌اند؛ اما جهت آن‌ها با هم فرق دارد. علامت مثبت به معنای جابه‌جایی در جهت مثبت محور xها و علامت منفی به معنای جابه‌جایی در جهت منفی محور xهاست.

آیا متحرک مستقیماً از x_1 به x_2 آمده است و یا اینکه به نقاط دورتری هم رفته و بعد برگشته است؟! این‌ها در محاسبهٔ جابه‌جایی اهمیتی ندارند. جابه‌جایی فقط به تفاضل x_1 و x_2 (یعنی مکان اول و آخر) بستگی دارد.

در حرکت روی خط راست به‌راحتی می‌توانیم سرعت متوسط را از رابطه $v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ به‌دست آوریم.

نقش جهت حرکت در علامت سرعت متوسط است؛ چرا که اگر سرعت متوسط منفی باشد، یعنی جابه‌جایی منفی بوده است و در کل متحرک رو به نیم‌خط منفی‌ها جابه‌جا شده است.

جدول مکان ـ زمان

یک روش جالب برای تحلیل حرکت جسمی که روی خط راست حرکت می‌کند، این است که از حرکت آن به مدت مشخصی فیلم‌برداری کنیم، سپس فیلم را به‌صورت عکس‌هایی با فاصلهٔ زمانی مشخص ببریم (فریم ـ فریم کنیم) و در هر عکس مکان جسم را (نسبت به یک پیرمرد ساکن مشترک در همهٔ عکس‌ها!) تعیین کنیم.

این کار برای یک متحرک طبیعی انجام شده است و جدول مکان ـ زمان زیر به دست آمده است. اکنون می‌خواهیم با کمک شما ببینیم این اعداد مربوط به چه حرکتی هستند؟ از تحلیل آن‌ها چه می‌فهمیم؟

شماره فریم	مکان متحرک	شماره فریم	مکان متحرک	شماره فریم	مکان متحرک	شماره فریم	مکان متحرک
۱	۳۱۶	۱۱	۷۵	۲۱	۲۱۳	۳۱	۰
۲	۳۱۳	۱۲	۳۰	۲۲	۲۱۵	۳۲	۲۴
۳	۳۰۵	۱۳	۳۶	۲۳	۲۱۱	۳۳	۵۸
۴	۲۹۱	۱۴	۷۲	۲۴	۲۰۱	۳۴	۸۵
۵	۲۷۱	۱۵	۱۰۴	۲۵	۱۸۴	۳۵	۱۱۰
۶	۲۴۶	۱۶	۱۳۳	۲۶	۱۶۴	۳۶	۱۲۹
۷	۲۱۹	۱۷	۱۵۸	۲۷	۱۴۰	۳۷	۱۴۵
۸	۱۸۸	۱۸	۱۸۰	۲۸	۱۱۱	۳۸	۱۵۵
۹	۱۵۴	۱۹	۱۹۶	۲۹	۷۷	۳۹	۱۶۰
۱۰	۱۱۶	۲۰	۲۰۷	۳۰	۴۰	۴۰	۱۵۸

اولین چیزی که می‌فهمیم این است که مکان جسم عوض می‌شود، پس جسم در حرکت است. ضمناً دیده می‌شود که مکان جسم در ابتدا (لحظهٔ اول) از همه بیشتر است، بعد شروع به کم‌شدن می‌کند تا به نزدیکی صفر می‌رسد، سپس دوباره زیاد می‌شود اما به مقدار اول خود نمی‌رسد و دوباره شروع به کم‌شدن می‌کند تا به نزدیکی صفر می‌رسد و دوباره زیاد می‌شود؛ اما حتی به قدر دفعه دوم هم نمی‌رسد. تا این‌جا به نظر می‌رسد که ما با یک حرکت رفت و برگشتی طرفیم (چرا؟).

با دقت بیشتر در اعداد جدول نتایج دیگری هم به دست می‌آید. فاصله فریم‌ها (فاصله‌های زمانی) ثابت است؛ اما عددهای مکان با نظم ثابتی کم و زیاد نمی‌شوند. ابتدا تغییرات مکان کوچک است و هرچه مکان متحرک به صفر نزدیک‌تر می‌شود، تغییرات مکان بزرگ‌تر می‌شود. وقتی متحرک برمی‌گردد (یعنی جهت حرکت آن عوض می‌شود؛ راستی از کجا فهمیدیم که جهت حرکت متحرک کِی عوض شده؟!)، هنوز تغییرات مکان بزرگ است و هرچه عدد مکان بزرگ‌تر می‌شود، تغییرات مکان کوچک‌تر می‌شود. چون فاصلهٔ زمانی فریم‌ها ثابت است، پس بزرگ بودن تغییرات مکان نشان‌دهندهٔ این است که متحرک تندتر حرکت می‌کند (چرا؟). یعنی متحرک در اطراف پیرمرد ساکن به‌صورت ناگهانی برمی‌گردد (یادتان که نرفت؟ قبل و بعد از لحظه برگشتن، تغییرات مکان بزرگ بود) و آرام آرام کند می‌شود تا مقداری از پیرمرد ساکن دور شود، بایستد و برگردد. البته گفتیم هر بار کمتر از دفعهٔ قبل دور می‌شود. خلاصهٔ همهٔ حرف‌هایی که زدیم در جدول زیر بازنویسی شده است.

تحلیل تغییر مکان		تغییر مکان نسبت به فریم قبل	تحلیل مکان	مکان متحرک	شماره فریم
			رفت	۳۱۶	۱
حرکت به سمت منفی	تندشدن حرکت	-۳		۳۱۳	۲
		-۸		۳۰۵	۳
		-۱۴		۲۹۱	۴
		-۲۰		۲۷۱	۵
		-۲۵		۲۴۶	۶
		-۲۷		۲۱۹	۷
		-۳۱		۱۸۸	۸
		-۳۴		۱۵۴	۹
		-۳۸		۱۱۶	۱۰
		-۴۱		۷۵	۱۱
		-۴۵		۳۰	۱۲
حرکت به سمت مثبت	کندشدن حرکت	۶	برگشت	۳۶	۱۳
		۳۶		۷۲	۱۴
		۳۲		۱۰۴	۱۵
		۲۹		۱۳۳	۱۶
		۲۵		۱۵۸	۱۷
		۲۲		۱۸۰	۱۸
		۱۶		۱۹۶	۱۹
		۱۱		۲۰۷	۲۰
		۶		۲۱۳	۲۱
		۲		۲۱۵	۲۲

تحلیل تغییر مکان		تغییر مکان نسبت به فریم قبل	تحلیل مکان	مکان متحرک	شماره فریم
حرکت به سمت منفی	تندشدن حرکت	-۴	رفت	۲۱۱	۲۳
		-۱۰		۲۰۱	۲۴
		-۱۷		۱۸۴	۲۵
		-۲۰		۱۶۴	۲۶
		-۲۴		۱۴۰	۲۷
		-۲۹		۱۱۱	۲۸
		-۳۴		۷۷	۲۹
		-۳۷		۴۰	۳۰
		-۴۰		۰	۳۱
حرکت به سمت مثبت	کندشدن حرکت	۲۴	برگشت	۲۴	۳۲
		۳۴		۵۸	۳۳
		۲۷		۸۵	۳۴
		۲۵		۱۱۰	۳۵
		۱۹		۱۲۹	۳۶
		۱۶		۱۴۵	۳۷
		۱۰		۱۵۵	۳۸
		۵		۱۶۰	۳۹
سرعت منفی حرکت به سمت نیم‌خط منفی		-۲	رفت	۱۵۸	۴۰

احتمالاً شما هم تا این‌جا متوجه شده‌اید که متحرک مورد بررسی چیست! آفرین! همان حدس درست است.

از یک حرکت روی خط راست، فیلمی تهیه کن و با تفکیک فیلم به فریم‌های مختلف و مکان‌یابی متحرک، یا با استفاده از نرم‌افزارهایی مانند *Tracker*، جدول مکان ـ زمان حرکت را تشکیل بده؛ سپس مانند آنچه در قسمت قبل آموختی، اعداد جدول را تحلیل کن و نتایج را در کنار جدول وارد کن.

سه پیشنهاد برای بررسی حرکت در زیر آمده است:

سقوط ساچمه سربی در استوانه پر از روغن مایع

صعود شاتل فضایی یا پرتابگر ماهواره (خودت نباید فیلم بگیری! فیلمش را از اینترنت تهیه کن!)

بالا آمدن توپ پینگ‌پونگی که از زیر آب رها شود

اگر همه کارهای مربوط به فیلم حرکت، عکس‌ها، جدول اعداد و تحلیل آن را کامل انجام دادی، می‌توانی نتایج کارت را برای ما هم بفرستی تا اگر دوست داشتی و در صورت تأیید درستی آن در چاپ بعدی کتاب، به نام خودت آن را چاپ کنیم!

تمرین‌ها

حرکت، جابه‌جایی، مسافت

۱. قایقی در جهت جریان آب رودخانه‌ای، از کنار الوارهایی که روی آب شناورند می‌گذرد. یک ماهی که در خلاف جهت آب شنا می‌کند از زیر قایق رد می‌شود. با توجه به مطالبی که راجع‌به پیرمرد ساکن خوانده‌اید، جدول زیر را کامل کنید.

قایق‌سوار				پیرمرد ساکن
ماهی		پیرمرد ساکن		
درختی در ساحل	پیرمرد ساکن			
الوارها	متحرک به سمت جلو		پیرمرد ساکن	

۲. درستی یا نادرستی عبارت‌های زیر را معلوم کنید.

الف) ممکن است جسمی نسبت به یک ناظر ساکن باشد، اما نسبت به ناظر دیگری در حرکت باشد.

ب) جابه‌جایی و مسافت هر دو کمیت‌های اسکالرند و فقط مقدارشان مهم است.

پ) سکون یک مفهوم نسبی است.

ت) مسافتی که یک متحرک می‌پیماید همواره بزرگتر مساوی مقدار جابه‌جایی آن است.

ث) ممکن است یک پیرمرد ساکن (ناظر) خودش نسبت به زمین دارای حرکت باشد.

ج) هر ناظری حتماً نسبت به خودش ساکن است.

۳. عبارت مناسب را از درون پرانتز انتخاب کنید و جمله درستی بسازید.

الف) زمانی مسافت طی‌شده توسط یک متحرک برابر مقدار جابه‌جایی آن است که (متحرک روی خط راست حرکت کند ـ جهت حرکت متحرک تغییر نکند.)

ب) علامت منفی در جابه‌جایی نشان می‌دهد (متحرک به سمت منفی محورها جابه‌جا شده است ـ مقدار جابه‌جایی متحرک در حال کاهش است.)

پ) (مسافت ـ جابه‌جایی) کمیتی است که هیچ‌گاه منفی نمی‌شود و فقط مقدارش مهم است.

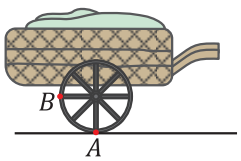
ت) ممکن است (مقدار جابه‌جایی ـ مسافت پیموده شده توسط) متحرکی صفر باشد، اما (مقدار جابه‌جایی ـ مسافت پیموده شده توسط) آن صفر نباشد!

۴. موشی در حال دویدن بر روی حلقه‌ای دایره‌ای شکل به شعاع ۱۰ متر است. طوری‌که در هر ثانیه مسافت $۵۰cm$ را می‌پیماید. با فرض آنکه $\pi = ۳$ باشد:

الف) مسافتی که موش پس از ۲۰ ثانیه می‌پیماید و مقدار جابه‌جایی آن را در این مدت حساب کنید.

ب) مقدار جابه‌جایی آن از لحظه شروع حرکت با گذر زمان چگونه تغییر می‌کند؟

۵. ★ نقاط A و B روی یک چرخ گاری به شعاع $۳۰cm$ قرار دارد. وقتی گاری ۴۵ و ۹۰ سانتی‌متر به سمت راست حرکت کرد، مقدار جابه‌جایی نقاط A و B حدوداً چند سانتی‌متر می‌شود؟ $(\pi = ۳)$



سرعت و تندی متوسط و لحظه‌ای

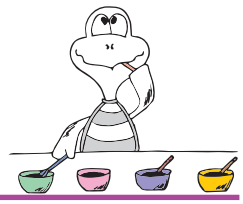
۶. درستی یا نادرستی عبارت‌های زیر را معلوم کنید.

الف) سرعت کمیتی برداری است که هم مقدارش و هم جهتش برای ما اهمیت دارد.

ب) اگر مقدار سرعت متحرکی که روی یک خط راست حرکت می‌کند و تغییر جهت نمی‌دهد تغییر کند، مسافتی که می‌پیماید با مقدار جابه‌جایی‌اش برابر است.

پ) تندی لحظه‌ای با مقدار سرعت لحظه‌ای و تندی متوسط با مقدار سرعت متوسط برابر است.

ت) سرعت متوسط یک متحرک نشان می‌دهد که آن متحرک به‌طور متوسط در هر ثانیه چه مسافتی را طی کرده است.



پرسش‌های چهارگزینه‌ای

حرکت، جابه‌جایی، مسافت

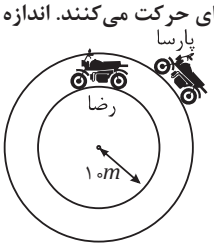
۱. دوچرخه‌سواری که با تندی ثابتِ ۲ متر بر ثانیه (یعنی در هر ثانیه ۲ متر حرکت می‌کند) دور یک میدان بزرگ می‌چرخد، در مدت ۳۱۴ ثانیه یک دور کامل می‌زند. جابه‌جایی این دوچرخه‌سوار در مدت ۱۵۷ ثانیه چقدر است؟ (پیشرفت تحصیلی سمپاد ۹۵-۹۴)

۱) صفر ۲) ۱۰۰ متر ۳) ۲۰۰ متر ۴) ۳۱۴ متر

۲. در کدام مورد مسافت طی شده و جابه‌جایی برابر است؟ (علامه‌حلی ۹۸-۹۷)

۱) آونگی در حال نوسان است.
۲) ماشینی که از سراشیبی تپه‌ای بالا می‌رود و سپس پایین می‌آید.
۳) بسته‌ای که از هواپیمای در حال حرکت رها می‌شود.
۴) هیچ‌کدام

۳. رضا و پارسا سوار بر موتوری با تندی ثابت $۱۰\frac{m}{s}$ (یعنی در هر ثانیه ۱۰ متر حرکت می‌کند) مطابق شکل به‌صورت دایره‌ای حرکت می‌کنند. اندازه جابه‌جایی کدام‌یک از آن‌ها در مدت یک ثانیه بیشتر است؟ (علامه‌حلی ۹۷-۹۶)



۱) پارسا ۲) رضا
۳) هر دو برابر هستند. ۴) باید شعاع دایره چرخش پارسا مشخص شود.

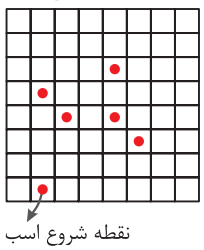
۴. کدام گزینه درست نیست؟

۱) ممکن نیست در حرکتی، جابه‌جایی متحرک از مسافتی که می‌پیماید بیشتر شود.
۲) در همه حرکت‌ها مسافت از جابه‌جایی بیشتر است.
۳) اگر حرکتی رخ دهد ممکن است جابه‌جایی صفر شود، اما مسافت حتماً صفر نخواهد بود.
۴) اگر متحرک در راستای خط راست حرکت نکند، حتماً مسافتی که می‌رود از جابه‌جایی‌اش بیشتر خواهد شد.

۵. مسافرین درون یک هواپیمای مسافربری در حال پرواز:

۱) نسبت به هیچ نقطه‌ای از زمین ساکن نیستند. ۲) نسبت به هوایی که در آن در پروازند ساکنند.
۳) نسبت به خلبان هواپیما در حال حرکتند. ۴) ممکن نیست نسبت به مسافرین هواپیمای دیگری که در پرواز است ساکن باشند.

۶. در یک بازی شطرنج دو دوست توافق می‌کنند که مهره‌های شطرنج به نوع دیگری حرکت کنند. مثلاً اسب به‌جای حرکت ، حرکت را می‌کند. مطابق شکل اسب سفید در صفحه شطرنجی که خانه‌هایش ۳ × ۳ است، ۵ حرکت کرده است. در پایان این ۵ حرکت مسافت و جابه‌جایی اسب چقدر بوده است؟



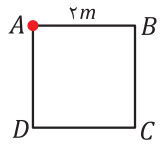
۱) $۱۲cm - ۶۰cm$
۲) $۱۲cm - ۷۵cm$
۳) $۹\sqrt{۲}\ cm - ۷۵cm$
۴) $۹\sqrt{۲}\ cm - ۶۰cm$

۷. مقدار جابه‌جایی کدام متحرک ابتدا زیاد و سپس کم نمی‌شود؟

۱) ماشینی که یک دور دورِ یک میدان می‌چرخد.
۲) سنگی که به بالا پرتاب شده است و پس از مدتی به پایین برمی‌گردد.
۳) توپی که از دم دروازه توسط دروازه‌بان شوت می‌شود و مسیر قوسی شکلی را طی می‌کند.
۴) آونگی که یک نوسان (رفت و برگشت) کامل انجام می‌دهد.

سرعت و تندی متوسط و لحظه‌ای

۸. متحرکی که با تندی ثابت حرکت می‌کند در مدت ۱۰ ثانیه مسیر $ABCD$ را روی مربع مقابل می‌پیماید. سرعت متوسط متحرک در این مدت چقدر است؟



۱) صفر ۲) $۰/۲\frac{m}{s}$
۳) $۰/۶\frac{m}{s}$ ۴) $۰/۸\frac{m}{s}$

تصحیح کن. آزمون زیر را تصحیح کن و نمره بده!!

پایه: نهم | بسمه تعالی | مدت آزمون: ۴۰ دقیقه

تاریخ آزمون: | **مبحث آزمون: حرکت‌شناسی** | بارم آزمون: ۱۵ نمره

نام و نام‌خانوادگی: بهادر قدرتی | نام دبیر: استادگرامی جناب آقای رحیمی | صفحه ۱

بارم

۱. درستی یا نادرستی هریک از موارد زیر را تعیین کنید و دلیل نادرست بودن جملات نادرست را بیان کنید. — ۳ نمره

الف) اگر متحرکی روی یک خط راست در حرکت باشد، جابه‌جایی و مسافت طی شده آن با هم برابر است. درست

ب) توپی را به‌طرف بالا پرتاب می‌کنیم تا دوباره به زمین برگردد. جهت شتاب توپ در رفت و برگشت یکسان است.
نادرست ـ جهت شتاب در رفت و برگشت عوض می‌شود.

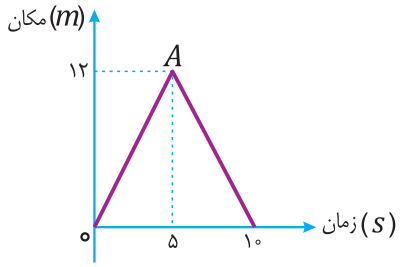
ج) شتاب در برخوردها خیلی بزرگ است، زیرا مدت زمان برخوردها کم است. درست

د) جابه‌جایی یک جسم در صفحه، به‌صورت یک بردار است که از مکان اول به طرف مکان آخر رسم می‌شود. نادرست

۲. توپی با سرعت $۱۰\frac{m}{s}$ به دیواری برخورد می‌کند و با سرعت $۸\frac{m}{s}$ از دیوار جدا می‌شود. اگر مدت زمان برخورد توپ با دیوار $۰/۰۵\,s$ باشد، شتاب متوسط توپ در برخورد با دیوار چقدر است؟ — ۲ نمره

$$\bar{a}=\frac{\Delta V}{\Delta t}=\frac{۱۰-(-۸)\frac{m}{s}}{۰/۰۵\,s}=۴۰\frac{m}{s^۲}$$

۳. در شکل زیر، نمودار مکان ـ زمان یک خودرو دیده می‌شود که به شکل یک مثلث متساوی‌الساقین است. تندی متوسط خودرو در ۱۰ ثانیه چقدر است؟ — ۲ نمره

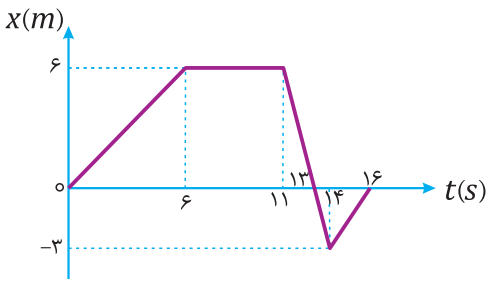


طول پاره‌خط $OA=\sqrt{۱۲^۲+۵^۲}=۱۳$

مسافت طی شده $=۱۳\times۲=۲۶\,m$

$$=\frac{\text{مسافت طی شده}}{\text{زمان}}=\frac{۲۶\,m}{۱۰\,s}=۲/۶\frac{m}{s}$$

۴. با توجه به نمودار مکان ـ زمان زیر، بیشترین تندی متحرک چقدر است؟ — ۳ نمره



شیب ۰s تا ۶s $=\frac{۶-۰}{۶-۰}=۱\frac{m}{s}$

شیب ۶s تا ۱۱s $=\frac{۶-۶}{۱۱-۶}=۰\frac{m}{s}$

شیب ۱۱s تا ۱۴s $=\frac{-۳-۶}{۱۴-۱۱}=-۳\frac{m}{s}$

شیب ۱۴s تا ۱۶s $=\frac{۰-(-۳)}{۱۶-۱۴}=۱/۵\frac{m}{s}$

پس بیشترین تندی از ثانیه ۱۴ تا ۱۶ اتفاق می‌افتد و ۱/۵ متر بر ثانیه است.

پاسخنامه تشریحی

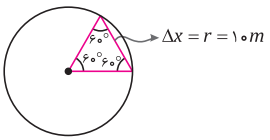
تمرین‌های زوج فصل ۱: حرکت

۲. الف) ✓ ب) ✗ پ) ✓ ت) ✓ ث) ✓ ج) ✓

۴. الف) $\text{مسافت طی شده توسط موش در } ۲۰s = ۲۰\times ۰/۵ = ۱۰m$

$\text{محیط دایره} = ۲\pi r = ۲\times ۳\times ۱۰ = ۶۰m$

پس موش $\frac{۱}{۶}$ محیط دایره را پیموده است و جابه‌جایی‌اش برابر است با:



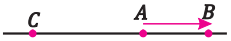
ب) مقدار جابه‌جایی موش تا وقتی به نقطه مقابل شروع حرکتش برسد افزایش می‌یابد و پس از شروع آن کاهش می‌یابد تا به صفر برسد. بنابراین از شروع حرکت تا دقیقه ۱ که به نقطه مقابل حرکتش می‌رسد جابه‌جایی زیاد می‌شود و از دقیقه ۱ تا دقیقه ۲ کاهش می‌یابد و این اتفاق در هر بار چرخش موش تکرار می‌شود.

۶. الف) ✓ ب) ✓ پ) ✗ ت) ✗

۸.

$AB = V_۱t_۱ = ۱۰\times ۵ = ۵۰m$

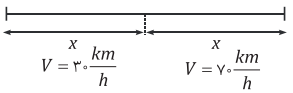
$BC = V_۲t_۲ = (۷۲\frac{km}{h}\times\frac{۱۰۰۰m}{km}\times\frac{۱h}{۳۶۰۰s})\times ۱۵ = ۲۰\frac{m}{s}\times ۱۵ = ۳۰۰m$



$\text{مقدار جابه‌جایی} = ۲۵۰m$

$\text{مسافت} = ۳۵۰m$

۱۰. فرض می‌کنیم طول کل مسیر $۲x$ باشد.



$$\overline{V}_{\text{کل مسیر}} = \frac{\Delta V_{\text{کل}}}{\Delta t_{\text{کل}}} = \frac{۲x}{\Delta t_{\text{نیمه اول}} + \Delta t_{\text{نیمه دوم}}} = \frac{۲x}{\frac{x}{۳۰}+\frac{x}{۷۰}} = \frac{۲x}{\frac{۷۰x+۳۰x}{۳۰\times ۷۰}}$$

$$= \frac{۳۰\times ۷۰\times ۲x}{۷۰x+۳۰x} = \frac{۴۲۰۰x}{۱۰۰x} = ۴۲\frac{km}{h}$$

۱۲.

$\Delta x_{\text{کل}} = ۳۰۰km$

$\begin{cases}\Delta x_۱ = ۱۰۰km & V_۱ = ۱۰۰\\ \Delta x_۲ = ۴۰km & V_۲ = ۴۰ \quad \Delta t_{\text{کل}} = ۳\ ۲۵h\\ \Delta x_۳ = ۱۶۰km & V_۳ = \end{cases}$

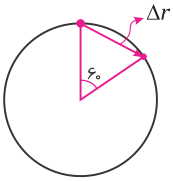
$$\frac{۳۰۰}{۳\ ۲۵} = \frac{۳۰۰}{\frac{۱۰۰}{۱۰۰}+\frac{۴۰}{۴۰}+\frac{۱۶۰}{V_۳}} \Rightarrow ۲+\frac{۱۶۰}{V_۳} = ۳/۲۵ \Rightarrow \frac{۱۶۰}{V_۳} = ۱/۲۵$$

$$\Rightarrow \quad = ۱۲۸\frac{km}{h}$$

باید بقیه مسیر را با این سرعت طی کند که سرعت غیرمجاز است؛ بنابراین اگر بخواهد با سرعت مجاز رانندگی کند؛ با این شرایط قطعاً به موقع نخواهد رسید.

۱۴. $\text{تندی متوسط} = \frac{d+۲d+۳d+۴d}{\frac{d}{V}+\frac{۲d}{۲V}+\frac{۳d}{۳V}+\frac{۴d}{۴V}} = \frac{۱۰d}{\frac{۴d}{V}} = ۲/۵V$

۱۶. در ۱۰ ثانیه، عقربه ثانیه شمار $\frac{۱}{۶}$ دور می‌زند. یعنی مسافتی Δr که می‌رود $\frac{۲\pi r}{۶}$ است؛ اما جابه‌جایی آن برابر است با طول عقربه. چرا که مکان اول عقربه، مکان دوم آن و بردار جابه‌جایی باهم یک مثلث متساوی‌الاضلاع می‌سازند:



$$V = \frac{۳۰cm}{۱۰s} = ۳\frac{cm}{s}$$

۱۸. با توجه به قضیه خط‌های موازی متوجه می‌شویم که دو مثلث، متساوی‌الاضلاع هستند.

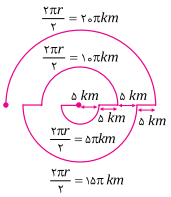
الف) $\text{تندی توسط} = \frac{\text{مسافت}}{\text{مدت زمان}} = \frac{۱۰+۱۰+۲/۵+۵+۵}{۶۰} = ۰/۵۴\frac{m}{s}$

ب) $\overline{V} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{۲/۵}{۶۰} = ۰/۰۴۲\frac{m}{s}$

۲۰. الف) جابه‌جایی خودرو برابر ۲۰ کیلومتر است.

پس سرعت متوسطش برابر است با:

$$\overline{V} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{۲۰}{۲۰} = ۱\frac{km}{h}$$



ب) میانگین اعدادی که سرعت شمار خودرو نشان می‌دهد و با تندی متوسط برابر است:

$$\text{مسافت طی‌شده} = ۲۰\pi+۵+۱۵\pi+۵+۱۰\pi+۵+۵\pi+۵$$

$$= ۵۰\pi+۲۰ \overset{\pi=۳}{=\!=\!=} ۵۰\times ۳+۲۰ = ۱۷۰\ km$$

$$\text{تندی متوسط} = \frac{۱۷۰\ km}{۲۰\ h} = ۸/۵\frac{km}{h}$$

۲۲. فرض می‌کنیم مسافت طی شده در هر دور برابر d باشد.

$\begin{cases}\text{مسافت دور اول} = d\\ \text{تندی متوسط دور اول} = ۳۰\frac{km}{h}\end{cases}$ $\begin{cases}\text{مسافت دور دوم} = d\\ \text{تندی متوسط دور دوم} = V\end{cases}$

$\text{تندی متوسط درکل دو دور} = ۶۰\frac{km}{h}$

$$\text{تندی متوسط در کل دو دور} = \frac{\text{مسافت طی شده دو دور}}{\text{مدت زمان}} \Rightarrow ۶۰ = \frac{۲d}{\frac{d}{۳۰}+\frac{d}{V}}$$

$$\Rightarrow ۳۰ = \frac{d}{\frac{d}{۳۰}+\frac{d}{V}} \Rightarrow d = d+\frac{۳۰}{V}d \Rightarrow ۰ = \frac{۳۰d}{V} \Rightarrow \xrightarrow{d\neq ۰} V\to\infty$$

یعنی اگر بخواهد تندی متوسطش در کل دو دور $۶۰\frac{km}{h}$ باشد، باید تندی‌اش در دوره دوم به بی‌نهایت میل کند که غیر ممکن است.

۲۴.

لحظه‌ای که متحرک در دورترین فاصله از مبدأ مختصات بوده است.	$t_۳$
لحظاتی که جهت حرکت متحرک عوض شده است.	$t_۶$ و $t_۴$ و $t_۲$ و $t_۱$
لحظاتی که متحرک از مبدأ مختصات گذشته است.	$t_۵$ و $t_۷$
بازه‌هایی از زمان که سرعت متحرک منفی بوده است.	$t_۳$ تا $t_۶$ و $t_۱$ تا $t_۲$
زمان‌هایی که متحرک دوباره از نقطه شروع حرکتش گذشته است.	$t_۴$ و $t_۲$
بازه‌هایی از زمان که مکان متحرک منفی بوده است.	$t_۷$ تا $t_۵$

۲۶. الف) طول زمین بازی را حدوداً ۱۰۰ متر در نظر می‌گیریم. بنابراین نیمهٔ زمین فاصله ۵۰ متری خط دروازه خواهدبود که در لحظات ۱۵s تا ۳۰s بازی در آن‌جا جریان داشته است.

ب) ضربهٔ مرکز در گوشهٔ زمین تیم ما زده می‌شود یعنی در $x = ۰m$ که در بازه زمانی ۶۰s تا ۷۵s این اتفاق می‌افتد.

پ) در لحظات ۳۰s تا ۶۰s ؛ چون شیب نمودار در این لحظات بیشترین مقدار را دارد. شیب نمودار مکان ـ زمان سرعت را نشان می‌دهد.

ت) در لحظات ۱۵s تا ۳۰s و ۶۰s تا ۷۵s $\overline{V} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{۵۰-۴۰}{۳۰-۰} = \frac{۱}{۳}\frac{m}{s}$

ث) $\overline{V} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{۰-۵۰}{۶۰-۳۰} = \frac{-۵}{۳}\frac{m}{s}$

ج) $\overline{V} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{۲۰-۴۰}{۱۰۰-۰} = ۰/۲\frac{m}{s}$

۲۸. سرعت متحرک در حال کم‌شدن است. چرا که شیب نمودار در حال کم شدن است.

۳۰. الف) شیب نمودار مکان - زمان نشان دهنده تندی حرکت آن است. بیشترین شیب در نمودار یا بین ثانیه‌های ۳ تا ۷/۵ رخ داده است و یا بین ثانیه‌های ۱۳ تا ۱۵. چرا که شیب نمودار از ثانیه ۱۰/۵ تا ۱۳ کمتر از ثانیه ۱۳ تا ۱۵ است و شیب بازه‌های ۰ تا ۳ و ۷/۵ تا ۱۰/۵ هم از بازه ۳ تا ۷/۵ کمتر است. برای این دو بازه تندی متوسط را حساب می‌کنیم:

$\text{تندی متوسط بین ثانیه‌های ۳ تا ۷/۵} = \frac{۷-(-۲۰)}{۷/۵-۳} = \frac{۲۷}{۴/۵}\frac{m}{s} = ۶\frac{m}{s}$

$\text{تندی متوسط بین ثانیه‌های ۱۳ تا ۱۵} = \frac{۱۰-۰}{۱۵-۱۳} = \frac{۱۰}{۲}\frac{m}{s} = ۵\frac{m}{s}$

پس بیشترین تندی بین ثانیه‌های ۳ تا ۷/۵ بوده است.

ب) مسافت طی‌شده در کل حرکت برابر با ۶۰ متر و جابه‌جایی دوچرخه برابر ۳۰ متر است.

پس تندی و سرعت متوسط برابر است با:

$\text{تندی متوسط کل حرکت} = \frac{۶۰}{۱۵}\frac{m}{s} = ۴\frac{m}{s}$

$\text{سرعت متوسط کل حرکت} = \frac{۳۰}{۱۵}\frac{m}{s} = +۲\frac{m}{s}$

پ) دور زدن در نقطه‌ای رخ می‌دهد که مکان‌ها از زیاد شدن شروع به کم‌شدن می‌کنند یا برعکس. یعنی در ثانیه ۱۰/۵

۳۲. $V = \frac{۱۲۶\times ۱۰^۳}{۳۶۰۰} = ۳۵\frac{m}{s}$ و $\overline{V} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \Rightarrow ۳۵ = \frac{\Delta x}{۶} \Rightarrow \Delta x = ۲۱۰m$

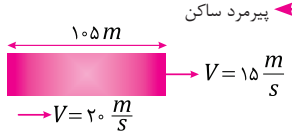
۳۴.

$\underbrace{\begin{cases}\Delta x = ۲۵۶\,km\\ V = ۹۶\frac{km}{h}\end{cases}}$ $\underbrace{\begin{cases}\Delta x = ۲۵۶\,km\\ V = ۱۲۸\frac{km}{h}\end{cases}}$

$\Delta t = \frac{\Delta x}{V} = \frac{۲۵۶}{۹۶}h$ $\Delta t' = \frac{۲۵۶}{۱۲۸} = ۲h \Rightarrow \frac{۲۵۶}{۹۶} - ۲ = \frac{۶۴}{۹۶}\times ۳۶۰۰ = ۲۴۰۰s$

به مدت ۲۴۰۰ ثانیه زودتر می‌رسد. یعنی ۴۰ دقیقه!

۳۶. الف) نسبت به درخت‌های کنار خیابان ← پیرمرد ساکن



ب و پ) اگر جابه‌جایی قطار را در مدت زمان سبقت موتور x فرض کنیم، در این مدت موتور باید ۱۰۵ متر بیشتر حرکت کرده باشد. پس:

$$\Delta t = \frac{x+۱۰۵}{V_M} = \frac{x}{V_T} \Rightarrow \frac{x+۱۰۵}{۲۰} = \frac{x}{۱۵}$$

$$\Rightarrow ۱۵x + ۱۵\times ۱۰۵ = ۲۰x \Rightarrow ۵x = ۱۵۷۵ \Rightarrow x = ۳۱۵m$$

و جابه‌جایی موتور برابر ۳۱۵ بعلاوه ۱۰۵ متر یعنی ۴۲۰ متر خواهد بود. موتور این مقدار را در ۲۱ ثانیه و در همان مدتی می‌پیماید که قطار ۳۱۵ متر را می‌پیماید.

راه دیگر: اگر پیرمرد ساکن راننده قطار بود، می‌دید که موتورسوار به او با سرعت ۵ متربرثانیه نزدیک می‌شود و لازم است ۱۰۵ متر طول قطار را طی کند تا از او سبقت بگیرد. این اتفاق در ۲۱ ثانیه می‌افتد.

۳۸. جابه‌جایی قطار به اندازه طول خودش (l) به‌علاوه طول پل است و ۲۰ ثانیه فرصت دارد که عبور کند.

$$V = ۳۶\frac{km}{h} = \frac{۳۶۰۰۰m}{۳۶۰۰s} = ۱۰\frac{m}{s}$$

$$\begin{cases}\Delta x = l + ۸۰\\ t = ۲۰s\end{cases} \Rightarrow l + ۸۰ = ۲۰\times ۱۰ = ۲۰۰ \Rightarrow l = ۱۲۰m$$

۴۰. الف) اسب‌سوار با سرعت $۳۰\frac{km}{h}$ به سمت جلوی کاروان می‌رود و کاروان با سرعت $۱۰\frac{km}{h}$ در حرکت است. یعنی اسب سوار فاصله ۰/۵ کیلومتری طول کاروان را با سرعت $۲۰\frac{km}{h}$ نسبت به کاروان می‌پیماید. پس $\frac{۱}{۴۰}h$ طول می‌کشد. یعنی ۱/۵ دقیقه

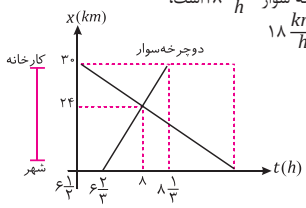
ب) اسب سوار برگشت را با سرعت $۴۰\frac{km}{h}$ نسبت به کاروان می‌پیماید. طول ۰/۵ کیلومتری کاروان را در مدت $\frac{۱}{۸۰}h$ یعنی ۴۵ ثانیه می‌پیماید.

پ) چون جابه‌جایی اسب‌سوار در کل مسیر، برابر جابه‌جایی نفر آخر صف است و مدت زمان حرکتش برابر مدت زمان حرکت اوست، سرعت متوسطش با سرعت متوسط کاروان برابر است و مساوی $۱۰\frac{km}{h}$ است.

۴۲. شهر را مبدأ فرض می‌کنیم. حرکت فرد پیاده کندتر از دوچرخه است. پس شیب نمودارش کمتر از دوچرخه‌سوار است. سرعت دوچرخه سوار $۱۸\frac{km}{h}$است،

پس نمودار حرکت دوچرخه‌سوار با شیب $۱۸\frac{km}{h}$ رسم می‌کنیم.

دوچرخه‌سوار ۳۰ کیلومتر را در مدت $\frac{۳۰}{۱۸}h$ یعنی $۱\frac{۲}{۳}h$ می‌پیماید.



پس در ساعت $۱\frac{۲}{۳} = ۶\frac{۲}{۳}$ به کارخانه می‌رسد. محل رسیدن دو نفر به هم در مکان ۲۴ km است. زیرا پیاده ۶ km حرکت کرده است. از نمودار (با رسم خیلی دقیق) و یا محاسبه می‌توان فهمید دوچرخه‌سوار تا رسیدن به پیاده مدت زمان $\frac{۲۴}{۱۸}h$ در حرکت بوده است، یعنی $۱\frac{۱}{۳}$ ساعت. پس ساعت به هم رسیدن آن‌ها $۱\frac{۱}{۳} + ۶\frac{۲}{۳} = ۸$ خواهد بود.

سرعت پیاده برابر است با شیب نمودار مکان ـ زمان. تندی فرد پیاده تا لحظه رسیدن به دوچرخه‌سوار برابر است با:

$$\text{شیب} = \text{تندی فرد پیاده} = \frac{۶}{۸-۶/۵} = ۴\frac{km}{h}$$

۴۴. طول قطار l است. ردشدن از کنار تیر تلگراف در مدت ۱۵ ثانیه رابطهٔ زیر را بین سرعت قطار و طول آن به ما می‌دهد:

$$V = \frac{l}{۱۵}$$

در قسمت دوم سؤال، قطار برای گذر از تونل مسافت $l + ۴۵۰$ متر را می‌پیماید و رابطه دیگری بین سرعت و طول قطار به‌دست می‌آید:

$$V = \frac{l+۴۵۰}{۴۵} \Rightarrow \frac{l+۴۵۰}{۴۵} = \frac{l}{۱۵} \Rightarrow ۴۵l = ۱۵l + ۱۵\times ۴۵۰$$

$$\Rightarrow ۳۰l = ۶۷۵۰ \Rightarrow l = ۲۲۵m \quad , \quad V = \frac{۲۲۵}{۱۵} = ۱۵\frac{m}{s}$$

حالا سرعت قطار دوم را محاسبه می‌کنیم.

$\overrightarrow{V_۱} = ۱۵\frac{m}{s}$ $\quad \overrightarrow{V_۲} = ?$

$l_۱ = ۲۲۵m$ $\quad l_۲ = ۳۰۰m$

قطارها در مدت ۲۱ ثانیه از کنار هم بگذرند.

$$\begin{cases}\Delta x_۱ = ۱۵\times ۲۱\\ \Delta x_۲ = V_۲\times ۲۱\\ \Delta x_۱ + \Delta x_۲ = ۲۲۵ + ۳۰۰ = ۵۲۵\end{cases} \Rightarrow ۵۲۵ = ۲۱\times ۱۵ + ۲۱V_۲ \Rightarrow V_۲ = ۱۰\frac{m}{s}$$

۴۶. می‌توان گفت جابه‌جایی خودرو در زمان‌های یکسان رو به کاهش است. یعنی سرعت خودرو رو به کاهش است. پس حرکت خودرو حتماً شتاب داشته است و شتاب حرکت آن کاهنده بوده است. مثلاً در حال ترمز کردن بوده است.

۴۸. الف)

$$\bar{a} = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{\frac{(۹۰-۰)\times ۱۰۰۰}{۳۶۰۰}\frac{m}{s}}{(۴/۵)s} = ۵/۵۶\frac{m}{s^۲}$$

ب) با فرض ثابت بودن شتاب توسط برای این خودرو، صفر تا صد این خودرو ۵ ثانیه است:

$$\bar{a} = \frac{\Delta V}{\Delta t} \Rightarrow ۵/۵۶ = \frac{\frac{(۱۰۰-۰)\times ۱۰۰۰}{۳۶۰۰}}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t \simeq ۵s$$

۵۰.

$$\bar{a} = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{(۷۲-۹۰)\times \frac{۱}{۳/۶}}{۲} = -۲/۵\frac{m}{s^۲}$$

۵۲.

الف) $a = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{۷/۵-۰}{۰/۷۵} = ۱۰\frac{m}{s^۲}$

ب) $a = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{۰-۰/۷۵}{۰/۰۳} = -۲۵۰\frac{m}{s^۲}$

پ) $\bar{V} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{۳}{۰/۷۵} = ۴\frac{m}{s}$

۵۴. یعنی سرعت حرکت متحرک در هر ثانیه به اندازه $۱۰\frac{km}{h}$ تغییر می‌کند، این شتاب برابر است با:

$$۱۰\frac{km}{h} = \frac{۱۰۰۰۰m}{۳۶۰۰s} = \frac{۱۰۰}{۳۶}\frac{m}{s}$$

$$\bar{a} = \frac{\Delta V}{t} = \frac{\frac{۱۰۰}{۳۶}\frac{m}{s}}{۱s} = \frac{۱۰۰}{۳۶}\frac{m}{s^۲} = ۲/۷۸\frac{m}{s^۲}$$

سؤالات چهارگزینه‌ای

۱. گزینه «۳»

به کمک تندی و زمان، مسافت حرکت دوچرخه‌سوار بدست می‌آید. این مسافت محیط دایره چرخش دوچرخه‌سوار است:

$$\text{مسافت حرکت} = v\times \Delta t = ۲\times ۳۱۴ = ۶۲۸m \Rightarrow ۲\pi r = ۶۲۸ \Rightarrow r = ۱۰۰m$$

در مدت ۱۵۷ ثانیه، دوچرخه‌سوار نصف دایره را می‌رود؛ بنابراین جابه‌جایی‌اش به اندازه قطر دایره است که برابر می‌شود با ۲۰۰ متر.

۲. گزینه «۴»

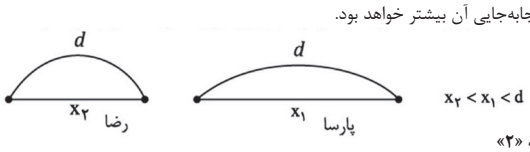
وقتی ماشین از تپه بالا می‌رود و پایین می‌آید در ساده‌ترین حالت مسیری به شکل عدد ۸ را رفته است. مسافت طی‌شده به اندازه طول جوهری است که برای نوشتن ۸ به‌کار رفته است. اما جابه‌جایی فاصله نقطه شروع و پایان است.

آونگ در حال نوسان مسیر دایره‌ای شکل را می‌پیماید. در این حرکت مسافت طی‌شده در هر لحظه به اندازه طول کمان دایره طی‌شده است. ولی جابه‌جایی را با متصل کردن نقطه ابتدا به انتها می‌توان یافت.

بسته رها شده هم در هوا مسیری منحنی شکل را می‌پیماید که برای این مسیر نیز جابه‌جایی و مسافت یکسان نیست؛ بنابراین هر سه گزینه غلط هستند.

۳. گزینه «۱»

در مدت یک ثانیه رضا کمانی از دایره (حدود $\frac{۱}{۶}$ دایره) را طی می‌کند. در همین مدت پارسا کمانی با طول برابر اما با زاویه کمتر را طی می‌کند. اندازه جابه‌جایی آن‌ها در مدت یک ثانیه همواره کمتر از مسافت پیموده شده توسط آن‌ها است. هرچه شعاع دایره چرخش بزرگ‌تر شود حرکت به حرکت یکنواخت بر خط راست نزدیک‌تر می‌شود و اندازه جابه‌جایی به مسافت پیموده شده نزدیک‌تر می‌شود. بنابراین چون شعاع حرکت پارسا بیشتر است، اندازه جابه‌جایی آن بیشتر خواهد بود.



۴. گزینه «۲»

اگر متحرک در راستای خط راست و بدون بازگشت حرکت کند مسافت و جابه‌جایی برابر خواهند شد و در غیراین‌صورت مسافت از جابه‌جایی بیشتر خواهد شد. جابه‌جایی هیچ‌گاه از مسافت بیشتر نمی‌شود؛ اگر حرکتی رخ دهد و متحرک در پایان به جای اولش برگردد، جابه‌جایی صفر می‌شود ولی مسافت صفر نیست. در واقع نمی‌شود حرکتی رخ دهد و مسافت صفر باشد.