



فیزیک (۳) رشته‌ی تجربی

پایه‌ی دوازدهم

مؤلفین:

محسن قرقچیان، محمدرضا خوش‌سیما



انتشارات خوش‌خون

خنده و گریه

تا حالا شده توی یه مکان عمومی مثل رستوران، بانک و ... یه موضوع خنده‌داری براتون اتفاق بیفته بخواید از ته دل بخندید، اونم در حد انفجارجار!!! چی کار می‌کنید؟ خجالت رو می‌ذارید کنار و از ته دل می‌خندید اونم طوری که همه با خنده‌تون بخندن یا نه، یکم چاشنی شو می‌آرید پایین طوری که چند نفر اطرافتون بفهمن یا فقط به یه لبخند کوچک بسنده می‌کنید!!

حالا اگر یه اتفاق ناراحت‌کننده افتاده باشه چی؟ گریه‌تونو پنهون می‌کنید، با به چند قطره اشک اکتفا می‌کنید، یا نه بیشتر، با چشمای گریون شروع می‌کنید تو خیابون قدم زدن!!

نمی‌دونم کدومشون منطقی به نظر میاد!!

از نظر شما کدومش درست‌ه!! خنده‌ای که باعث خنده دیگران بشه یا گریه‌ای که غم رو تو دل دیگران راه بده.

اگر خنده‌تون باعث شه که یه لحظه یه نفر از غم‌های دنیا رها شه باید این کار رو بکنید یا نکنید!! من که باشم می‌کنم (البته طوری که نودگی به نظر نیاد). اگر گریه‌تون باعث بشه بغض دل یه نفر دیگه بترکه و اونم شروع کنه به گریه، باید این کار رو بکنید یا نکنید!! من که باشم می‌کنم.

خب شاید بگید که چی!!

احتمالا هر کدوم از ما لذت خنده‌هایی که با خنده‌ی خودمون ایجاد کردیم رو تجربه کردیم. چه حس جالبی داره، وقتی بلند می‌خندی و همه به صدای خنده‌ی تو می‌خندن، یکی از ته دل و بدون قضاوت تو، یکی با دلیل اینکه چه خوب! دلش شاده و یکی با این فکر که بابا اینم رد داده، ولی هر کدوم با هر دیدی با تو همراه می‌شن شروع می‌کنن به خندیدن.

حس جالبیه اگر تجربه نکردید حتما تو یه مکان و فضای مناسب امتحان کنید (نرید وسط مراسم عزاداری بعد بگید حرفت جواب نداد).

هر کاری توش یه لذتی داره. اگر آدم ته دلش صاف و صادق باشه شاید کوچکترین کارش هم همراه با لذت باشه.

شما تو چه چیزی استعداد دارید؟

من یکی از استعدادهامو تو ریاضی پیدا کردم، همه یه استعداد یا توانایی ندارن، به قول اساتید علوم تربیتی و اجتماعی، سی و چند شاخه‌ی توانایی و استعداد داریم که هر فردی می‌تونه توی چندتا از شاخه‌ها استعداد داشته باشه و هیچ کسی هم نیست که توی تمام شاخه‌ها توانایی داشته باشه. یکی استعداد ورزشی داره اونم نه تو همه‌ی رشته‌ها یکی شناگر خوبیه، یکی فوتبالیست، یکی ژیمناست، یکی تیسور و، یکی استعداد تو هنر نقاشی داره، یکی مجسمه‌سازی، یکی بازیگری، یکی گلدوزی، یکی فرش‌بافی و ... ، یکی استعداد ریاضی داره، یکی فیزیک، یکی تاریخ، یکی ادبیات و ...

گفتم یه انسان تک بعدی نیست ممکنه یه تاجر و ورزشکار مهندس باشی مثل علی دایی یا پزشک آهنگساز خواننده باشی مثل محمد اصفهانی یا استاد مجری برنامه‌ساز مهندس باشی مثل عادل فردوسی‌پور یا ...

حالا اگر بپرسید چطور باید استعدادهاتونو بشناسید می‌گم یکی از راهاش مدرسه است که به دلیل سیستم آموزشی نادرست یا ناقص ممکنه تونو کمک لازم رو بهتون بکنه. ولی شما می‌تونید استعدادتونو با مطالعه، مشاوره، روابط اجتماعی، علایق و ... پیدا کنید.

خب یکی از توانایی‌ها و استعدادهایی که من در دوران مدرسه در خودم پیدا کردم ریاضیه، عاشق ریاضی‌ام شاید بهتر بگم گاهی دیوونه‌شم. خب بر طبق یه قاعده‌ی روانشناسی باید دوست و همکاری داشته باشم که اون‌ها هم عاشق یا دیوونه‌ی یه شاخه علمی باشن (بازم می‌گم صددرصد نیست). اونا هم علاقه، استعداد و آرامششون رو تو ریاضی، فیزیک، شیمی، هنر، ادبیات و ... یافتن. باز هم می‌گم ممکنه من همین آرامش، هیجان، عشق و ... رو تر گفتن شعر یا نوشتن متنی مثل همین متن هم داشته باشم (فکر نکنین یه آدم تک بعدی هستین هیچ آدمی تک بعدی نیست).

خوشخوان انتشاراتی ویژه‌ی دانش آموزان ممتاز

آره این شعار ما در بدو تاسیس بود؛ وقتی که کسی زیاد به ممتازها اهمیت نمی‌داد! اگر هم بود در حد چند مدرسه و چند کتاب خاص. ما اومدیم که بگیم تو همه‌ی کشور ممتاز داریم نه فقط شهرهای بزرگ. خواستیم بگیم ممتازهایی که توی روستای گرمسیر و سردسیر هستین ما هواتونو داریم، چون خودمون هم از همون ریشه‌ایم. خب به مرور مثل هر شغل و حرفه‌ای دوستان دیگه هم وارد زمینه‌ی توجه به دانش‌آموزان ممتاز شدن (ما با ممتازها بودیم وقتی ممتاز بودن مد نبود).

ما می‌نوشتیم تا اونی که مثل خودمون عاشق درس و مبحث خاصیه سیرآب بشه. ما تالیف می‌کردیم تا دانش‌آموزهای خوبمون هی دنبال این کتاب اون کتاب نرن و گذشت ...

ما به هدفمون رسیدیم، شدیم ویژه ویژه ... ولی همین ویژه بودن به روزایی شد دردسر، روزایی که به دلیل تغییر فرهنگ و شرایط درس خوندن (گاهی بی‌ارزش شدن ادامه تحصیل و کم‌علاقگی به علم و بی‌ارزش شدن مدارج تحصیلی)، دانشگاه رفتن ساده‌تر از گذشته شد و کم‌بایتر (که چه خوب) و شکر که استرس کمتر شد و ای کاش کمتر بشه و روزی برسه که روی دوش هیچ جووونی استرس کنکور نباشه تا راحت به پرورش استعدادهای واقعی فکر کنه و اون‌ها رو فدای کنکور نکنه (ولی هنوز تشنه‌ها هستن).

بگذریم، پس از ۱۷ سال می‌خواهیم بگیریم که ما نه تنها علاقه‌مندان هر شاخه‌ی علمی خاص مختص به دبیرستان رو رها نکردیم بلکه می‌خواهیم روش آموزشی رو ارائه بدیم تا هر دانش‌آموزی با هر استعدادی بتونه در زمینه‌ی خاص در حد توانش (تاکید می‌کنم در حد ظرفیتش و نه بیشتر) رشد کنه تا علاوه بر ایجاد علاقه در زمینه‌ی علمی مورد نظر، بتونیم راهی رو برای رسیدن به اهداف آینده‌اش باز کنیم. شاید ریاضی برای من شیرین باشه و برای شما سخت، فیزیک برای یکی شیرین باشه و برای دیگری سخت، ولی مهم این‌که یاد بگیریم رشد کنیم و راه رشد کردن رو یاد بگیریم. به قول یه جمله معروف ما می‌خواهیم به‌جای ماهی، ماهیگیری (روش حل، لذت بردن و فکر کردن) رو به شما یاد بدیم تا هر کسی به اندازه‌ی توانش بتونه از دریای بزرگ جلوی روش ماهی بگیره. یکی با یه ماهی خودشو سیر می‌کنه، یکی با چند تا خانواده شو و یکی با ماهی‌های بیشتری جامعه و فرهنگشو.

امیدوارم در سانی که پیش رو دارید کلی ماهی از دریای موفقیت بگیرید، کنکور آینده‌ی کسی رو نمی‌سازه شماید که آینده رو می‌سازید.

ساختار

کتاب‌های دوازدهمی که از انتشارات به چاپ رسیده، به شکل زیرند:

درس‌نامه: درس‌نامه‌ی هر فصل به‌صورت جلسه‌بندی به همراه مثال‌ها و تست‌های متنوع ارائه شده، تا ضمن عمق بخشی به مطالب موجود در کتاب درسی، دانش‌آموزهای عزیز رو برای امتحان‌های مختلف از جمله امتحان نهایی آماده کنن.

پرسش‌های چهارگزینه‌ای: پرسش‌ها چهار دسته دارن:

۱. سطح ساده ۲. سطح متوسط ۳. سطح دشوار ۴. ترکیب سطوح

برای این‌که کتاب، برای بیشتر دانش‌آموزان قابل استفاده باشه، پرسش‌ها سطح‌بندی شده‌اند تا دانش‌آموزان متوسط به پایین نروما دنبال پرسش‌های سطح سخت نرن و دانش‌آموزهای متوسط به بالا وقت خودشونو برای پرسش‌های ساده خیلی سپری نکنن. برای این‌که مهارت دوستای عزیز رو در تشخیص سوالات ساده، متوسط و سخت بالا ببریم، پرسش‌های ترکیب سطوح رو آوردیم تا هر دانش‌آموزی بتونه متناسب با سطح تواناییش سوالات مربوط به سطحشو تشخیص بده.

پرسش‌های تکمیلی فصل: چون بعد از تموم شدن هر جلسه دانش‌آموز با ذهنیت نکات همون بخش شروع به حل کردن سوالات می‌کنه، شاید این موضوع در نهایت ایده‌آل نباشه، چون هنر شما زمانی نشون داده می‌شه که بتونید تشخیص بدید هر سوال برای کدوم مبحثه، پس با آوردن سوالات ترکیبی با یه تیر دو نشون زدیم یکی بالا بردن قدرت تشخیص مبحث مرتبط با سوال و دوم مرور فصل.

سوالات کنکور مرتبط با فصل: سعی کردیم سوالات کنکور داخل و خارج سال‌های اخیر مربوط به هر فصل رو برای شما جمع کنیم تا با شکل سوالات کنکور هم آشنا بشید.

پاسخ‌کلیدی و تشریحی پرسش‌ها: هم پاسخ‌نامه‌ی کلیدی و هم تشریحی سوالات رو بعد از اتمام فصل آوردیم، حتی برای بعضی از سوالات بیشتر از یک راه‌حل آوردیم. راستی، همه به پاسخ‌نامه‌ی تشریحی حتما سر بزنا!!!!!!

آزمون‌های سه‌گانه: در آخر هر فصل سه آزمون استاندارد برای کنکوریای عزیز آوردیم تا سطح یادگیری مطالب رو برای خودشون بسنجن. راستی فقط جواب کلیدی رو داخل کتاب قرار دادیم تا خدایی نکرده اگر تو سوالی مشکل داشتید سعی کنید با جست‌وجو داخل کتاب یا مراجعه به دبیرتون به اون بخش مسلط بشین. (البته سعی می‌کنیم جوابا رو داخل سایت قرار بدیم تا دوستایی که احیاناً مراجعه به دبیر براشون سخته دچار مشکل نشن).

آخر

با تشکر از تمام دوستانی که ما رو در تالیف و چاپ این کتاب یاری کردند و با طلب عفو و بخشش برای نواقص و کاستی‌ها از شما، برای همه‌ی شما در زندگی موفقیت و سربلندی رو از خداوند متعال خواستارم.

رسول حاجی‌زاده

مدیر انتشارات خوشخوان

مقدمه مؤلف

سلام بر شما خوبان

برخی اوقات فکر می‌کنیم، چگونه بعضی از آدم‌ها نسبت به سایرین دوست‌دشمنی‌تر و موفق‌تر هستند؟
آدم‌های خوش سیرت و موفق، به صورت تصادفی به وجود نمی‌آیند. این آدم‌ها ویژگی‌ها و مهارت‌های خاصی را
هوشمندانه با برنامه‌ریزی به مرور زمان کسب کرده‌اند.

تجربه کردن

آنها ...

تلاش بی‌وقفه

برنامه داشتن

مشورت گرفتن

شکست خوردن

امیدوار بودن

... را تجربه می‌کنند.

احساس مسئولیت

نسبت به ...

سرنوشت خودشان

سرنوشت هموعشان

آینده‌ی محیط زیست

کسانی که برگردنشان حق دارند

انسان‌های دردمند و گرفتار

.... احساس مسئولیت می‌کنند.

تمرین کردن

برای ...

کمتر ادعا داشتن و اهل عمل بودن

قضاوت نابه‌جا نکردن و انصاف داشتن

بی‌موقع و بی‌منت، دوست داشتن و عشق ورزیدن

"چه باید کرد" به جای "چرا گفتن"

هر روز بهتر از دیروز بودن

... تمرین می‌کنند.

از صمیم قلب، برایتان روزگاری سرشار از شادی و سلامت آرزو مندیم.



محسن قرقچیان - محمدرضا خوش‌سیما

تابستان ۱۳۹۸



۱	فصل اول	حرکت بر خط راست
۲		درسنامه و پرسش‌های چهار گزینه‌ای
۸۵		پاسخ کلیدی پرسش‌های چهار گزینه‌ای
۸۷		پاسخ تشریحی پرسش‌های چهار گزینه‌ای
۱۳۳		آزمون‌ها
۱۳۷	فصل دوم	دینامیک و قانون گرانش
۱۳۸		درسنامه و پرسش‌های چهار گزینه‌ای
۱۹۲		پاسخ کلیدی پرسش‌های چهار گزینه‌ای
۱۹۳		پاسخ تشریحی پرسش‌های چهار گزینه‌ای
۲۲۳		آزمون‌ها
۲۲۷	فصل سوم	نوسان و امواج
۲۲۸		درسنامه و پرسش‌های چهار گزینه‌ای
۳۳۹		پاسخ کلیدی پرسش‌های چهار گزینه‌ای
۳۴۲		پاسخ تشریحی پرسش‌های چهار گزینه‌ای
۳۸۵		آزمون‌ها
۳۹۱	فصل چهارم	آشنایی با فیزیک اتمی و هسته‌ای
۳۹۲		درسنامه و پرسش‌های چهار گزینه‌ای
۴۳۹		پاسخ کلیدی پرسش‌های چهار گزینه‌ای
۴۴۱		پاسخ تشریحی پرسش‌های چهار گزینه‌ای
۴۵۹		آزمون‌ها

فصل اول

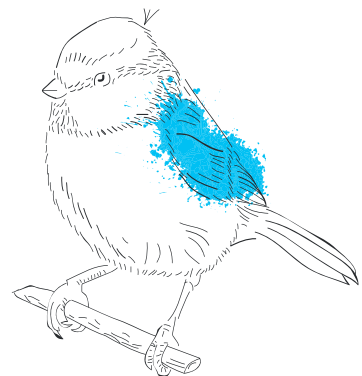
حرکت بر خط راست

بخش ۱: مسافت، جابه‌جایی و تندی متوسط، سرعت متوسط

بخش ۲: حرکت با سرعت ثابت، تندی لحظه‌ای و سرعت لحظه‌ای، شتاب متوسط

بخش ۳: حرکت با شتاب ثابت، شتاب لحظه‌ای

بخش ۴: نمودارهای حرکت





مقدمه

فیزیک علم زندگی است. بنابراین به بررسی و تحلیل رویدادهایی که در طبیعت رخ می‌دهد، می‌پردازد. یکی از رویدادهای بسیار مهم و متنوع در اطراف ما حرکت اجسام مختلف است. حرکت زمین، حرکت ترن‌ها و خودروها، حرکت توپ ورزشی، ربات، الکترون و ... نمونه‌هایی از این پدیده‌ی فیزیکی مهم هستند.

شاید جالب باشد بدانید که

۱. تندی سنج خودرو یا دوچرخه چه کمیتی را مشخص می‌کند؟
۲. دستگاه‌های فاصله‌یاب که توسط مهندسان عمران یا نقشه‌برداری استفاده می‌شود، چگونه عمل می‌کنند؟
۳. وقتی می‌گوییم هواپیمای مافوق صوت، مفهوم آن چیست؟
۴. بررسی حرکت پیستون درون سیلندر چه اهمیتی دارد؟
۵. مفاهیم سرعت و شتاب چه تفاوتی دارند؟
۶. در برنامه‌ریزی خطوط هوایی و یا ترن‌ها نقش سرعت و معادلات حرکت چیست؟
۷. در سامانه‌ی هوشمند خودروی بدون راننده "LIDAR" چگونه فاصله‌ها بررسی می‌شود؟
۸. در صنعت داروسازی در حوزه‌ی "Target therapy" سرعت و مکان جذب دارو چه اهمیتی دارد؟
۹. در صنعت، چگونه دستگاه‌های پرس‌کاری را برای وجود مانع خارجی، مانند دست کارگر ایمن‌سازی می‌کنند؟
۱۰. در خطوط تولید کارخانه‌های صنعتی، مانند خودروسازی حرکت ربات‌ها چگونه تنظیم می‌شود؟
۱۱. وقتی می‌گوییم زمان حمله‌ی مار کبری ۴۰ میلی‌ثانیه و زمان پلک زدن انسان ۲۰۰ میلی‌ثانیه است، نسبت شتاب‌ها چگونه است؟
۱۲. چگونه سرعت مجاز برای خودروها و ترن‌ها بررسی می‌شود؟
۱۳. چگونه طول باند پرواز را برای بلند شدن و نشست هواپیما تعیین می‌کنند؟
۱۴. چگونه با بررسی حرکت لایه‌های زمین، امکان وقوع زلزله را پیش‌بینی می‌کنند؟

بخش اول: مفاهیم حرکت، جابه‌جایی و مسافت، تندی متوسط و سرعت متوسط

حرکت: وقتی جسمی مکان خود را با گذشت زمان تغییر می‌دهد، می‌گوییم حرکت کرده است. به عنوان نمونه، قطاری که مسیر بین دو ایستگاه را طی می‌کند، جسم متحرک نامیده می‌شود. اگر حرکت یک جسم در مسیر مستقیم روی خط راست انجام شود، حرکت را مستقیم‌الخط می‌نامیم. به عنوان نمونه، دنده‌ای که در مسیر مستقیم فاصله‌ی بین شروع و خط پایان را طی می‌کند، دارای حرکت مستقیم‌الخط است. در مبحث حرکت‌شناسی (سینماتیک) به دنبال علت حرکت یعنی نیرو نیستیم. در فصل بعد (دینامیک) حرکت همراه با نیرو بررسی می‌شود.

مسافت

فرض کنیم دانش‌آموزی از حیاط مدرسه به طرف کلاس خود که در طبقه‌ی دوم قرار دارد حرکت می‌کند. طول این مسیر طی شده را مسافت پیموده شده یا به اختصار مسافت می‌نامیم.

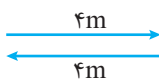
تذکر

مسافت ممکن است فقط مستقیم، فقط‌های شکسته یا منحنی و یا این‌که مجموعه‌ای شامل دو یا چند مورد از موارد فوق باشد.



مثال ۱. وقتی معلمی هنگام تدریس از یک طرف تخته تا طرف دیگر حرکت کرده و دوباره به محل اول باز می‌گردد، مسافت طی شده چند متر است؟ (مسیر حرکت را مستقیم و طول تخته را ۴ متر فرض کنید.)

پاسخ: مسافت طی شده توسط معلم شامل دو پاره‌خط رفت و برگشت است. بنابراین، مسافت طی شده ۸ متر است.



جابه‌جایی

اگر پاره‌خط جهت‌داری را از مکان شروع حرکت به مکان پایان حرکت وصل کنیم، این پاره‌خط جهت‌دار را که از مبدأ به مقصد وصل می‌شود، بردار جابه‌جایی می‌نامیم.

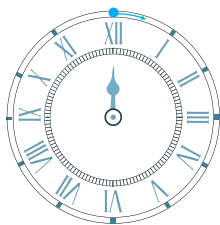
تذکر

بردار جابه‌جایی دارای جهت است، ولی مسافت طی شده جهت ندارد.

مثال ۲. وقتی نوک عقربه‌ی ثانیه‌شمار از عدد ۱۲ شروع به حرکت می‌کند و دوباره به همان مکان باز می‌گردد، مسافت و جابه‌جایی را محاسبه کنید. (نوک عقربه در دایره‌ای به شعاع ۱۰ سانتی‌متر حرکت می‌کند.)

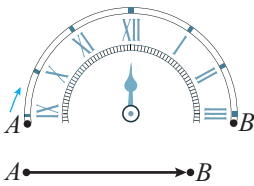
پاسخ: بردار جابه‌جایی باید مکان ابتدای حرکت (مبدأ) را به مکان انتهای حرکت وصل کند، بنابراین جابه‌جایی صفر است. مسافت طی شده طول مسیری است که نوک عقربه‌ی ثانیه‌شمار طی می‌کند. این مسیر به صورت دایره‌ای به شعاع ۱۰ سانتی‌متر است. بنابراین، اندازه‌ی مسافت طی شده محیط دایره‌ای به شعاع ۱۰ cm است.

$$L = 2\pi R = 2 \times 3.14 \times \frac{1}{10} = 0.628m = 628mm$$





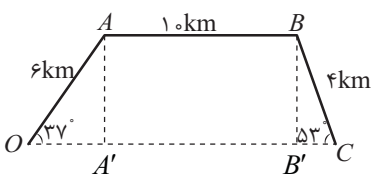
مثال ۳. در مثال ۲، اگر عقربه از عدد ۹ تا عدد ۳ حرکت کند حداقل مسافت طی شده و جابه‌جایی نوک عقربه به طول ۱۰ سانتی‌متر چند میلی‌متر است؟



پاسخ: مسافت طی شده مطابق شکل مسیر A تا B یعنی محیط نیم‌دایره است. دقت کنیم تعداد دورهای بیش‌تر می‌تواند باعث افزایش مسافت طی شده گردد. جابه‌جایی طول بردار AB است و به مسیر حرکت بستگی ندارد.

بنابراین: (۱) مسافت طی شده برابر است با $\pi R = 3/14 \times \frac{1}{10} = \frac{314}{1000} m$ و بر حسب میلی‌متر معادل $314 mm$ است.

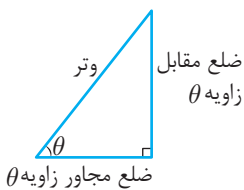
(۲) جابه‌جایی برابر است با $2 \times \frac{1}{10} = 0/2 m$ و بر حسب میلی‌متر معادل $200 mm$ است.



مثال ۴. یک بالگرد امداد از مبدأ O حرکت را شروع و با مسیر $OABC$ در مقصد C حرکت را تمام می‌کند. اگر مسیر حرکت مطابق شکل مقابل باشد، مسافت و جابه‌جایی را به‌دست آورید.

پاسخ: مسافت طی شده مجموع پاره‌خط‌های OA ، AB و BC است. ولی جابه‌جایی، برداری است که از O به C وصل می‌شود و مجموع OA' و $A'B'$ است.

یادآوری:



$$\sin \theta = \frac{\text{ضلع مقابل}}{\text{وتر}}$$

$$\cos \theta = \frac{\text{ضلع مجاور}}{\text{وتر}}$$

بنابراین: (۱) مسافت طی شده برابر است با: $6 + 10 + 4 = 20 km$

(۲) جابه‌جایی برابر است با: $6 \cos 37^\circ + 10 + 4 \cos 53^\circ = 17/2 km$

تندی متوسط و سرعت متوسط

مسافت طی شده در واحد زمان را تندی متوسط و جابه‌جایی متحرک در واحد زمان را سرعت متوسط می‌نامیم.

$$s_{av} = \frac{l}{\Delta t} \quad \text{تندی متوسط}$$

$$\vec{v}_{av} = \frac{\vec{d}}{\Delta t} \quad \text{سرعت متوسط}$$

تذکر

تندی متوسط کمیت نرده‌ای ولی سرعت متوسط کمیت برداری است. واحد هر دو کمیت در SI متر بر ثانیه است. بنابراین بردار سرعت متوسط دارای مفهوم است ولی بردار تندی متوسط بی‌معنی است.

مثال ۵. سرعت متوسط متحرکی $\frac{72 km}{h}$ است.

(الف) سرعت را بر حسب واحد SI بیابید.

(ب) پس از ۲۰ دقیقه چند متر، جابه‌جا می‌شود؟

پاسخ: (الف)

$$72 \frac{km}{h} = \frac{m}{s} \Rightarrow \frac{72 \times 10^3 m}{3600 s} = \frac{m}{s} = 20$$

$$\vec{v} = \frac{d}{\Delta t} \Rightarrow d = 20 \times (20 \times 60) = 24000 m$$

(ب)

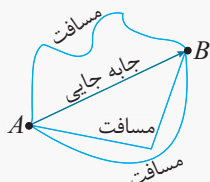
تذکر

برای تبدیل سرعت از $\frac{km}{h}$ به $\frac{m}{s}$ کافی است عدد مورد نظر را در $\frac{10}{36}$ ضرب کنیم.

مثال ۶. وقتی می‌گوییم تندی متوسط متحرکی $40 \frac{m}{s}$ است، مفهوم آن چیست؟

پاسخ: یعنی این که متحرک به‌طور متوسط در هر ثانیه مسافت ۴۰ متر را طی می‌کند.

تذکر

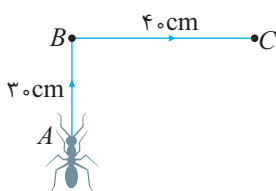


برای یک حرکت مشفق، مقدار تندی متوسط همواره بزرگ‌تر یا مساوی با مقدار سرعت متوسط است. زیرا سرعت متوسط به پاره‌قط واصل بین ابتدا و انتهای مسیر بستگی دارد ولی تندی متوسط به مسافت طی شده برای رسیدن از مبدأ به مقصد بستگی دارد. همواره جابه‌جایی کوچک‌تر یا مساوی با مسافت است.

مثال ۷. در مسابقات دوی استقامت، اگر شروع و پایان مسابقه مکان یکسانی باشد برنده، کیست؟ شخصی که سرعت متوسط بیش‌تری داشته باشد یا تندی متوسط بیش‌تر؟

پاسخ: سرعت متوسط همه دوندگانی که به نقطه‌ی پایان می‌رسند صفر است زیرا جابه‌جایی همه آن‌ها صفر است. ولی تندی متوسط متفاوت است زیرا مسافت‌های یکسانی را در زمان‌های متفاوت طی می‌کنند.

مثال ۸. مورچه‌ای مسیر ABC را در مدت ۵۰ ثانیه طی می‌کند. سرعت متوسط و تندی متوسط آن را معلوم کنید.



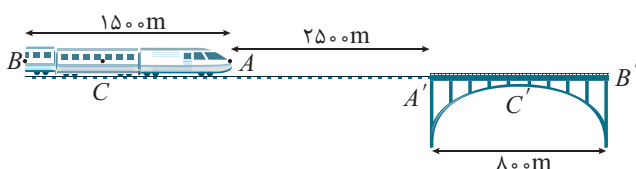
$$s_{av} = \frac{30 + 40}{50} = 1.4 \frac{cm}{s}$$

پاسخ: تندی متوسط:

$$\vec{v}_{av} = \frac{d_{AC}}{\Delta t} = \frac{\sqrt{30^2 + 40^2}}{50} = 1 \frac{cm}{s}$$

سرعت متوسط:

مثال ۹. قطاری به طول ۱۵۰۰ متر در فاصله‌ی ۲۵۰۰ متری از پلی به طول ۸۰۰ متر قرار دارد. پس از مدت ۲ دقیقه قطار به‌طور کامل از پل عبور می‌کند. سرعت متوسط قطار را در SI بیابید.



پاسخ: اگر بخواهیم قطار به‌طور کامل از پل عبور کند، باید نقطه‌ی B

به نقطه‌ی B' برسد. بنابراین خواهیم داشت:

$$\vec{v}_{av} = \frac{\vec{d}}{\Delta t} = \frac{1500 + 2500 + 800}{120} = 40 \frac{m}{s}$$

مثال ۱۰. در مسأله‌ی قبل اگر بخواهیم وسط قطار به وسط پل برسد، تقریباً چند دقیقه زمان لازم است؟

پاسخ: باید نقطه C به C' برسد.

$$\vec{v} = \frac{\vec{d}}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{\vec{d}}{\vec{v}} = \frac{750 + 2500 + 400}{40} \Rightarrow \Delta t = \frac{3650}{40} = 91.25 s \Rightarrow \Delta t = \frac{91.25}{60} \text{ min} \approx 1.5 \text{ min}$$

تذکر

اگر متحرکی مسیر مستقیم را با سرعت‌های ثابت $v_1, v_2, v_3, \dots$ و در بازه‌های زمانی $\Delta t_1, \Delta t_2, \Delta t_3, \dots$ طی کند. برای

محاسبه‌ی سرعت متوسط آن، جابه‌جایی کل را به زمان کل حرکت تقسیم می‌کنیم.

$$\vec{v} = \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2 + \Delta x_3 + \dots}{\Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3 + \dots}$$

توجه کنید که می‌توان $\Delta x = vt$ یا $\Delta t = \frac{\Delta x}{v}$ را در رابطه‌ی فوق جایگزین نمود.





مثال ۱۱. متحرکی در مسیر مستقیم ابتدا مسافت ۴۰۰ متر را با سرعت $۲۰ \frac{m}{s}$ و سپس ۹۰۰ متر بعدی را با سرعت $۳۰ \frac{m}{s}$ طی می‌کند.

سرعت متوسط در کل مسیر چند متر بر ثانیه است؟

پاسخ:

$$\vec{v} = \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2}{\Delta t_1 + \Delta t_2} = \frac{400 + 900}{\frac{400}{20} + \frac{900}{30}} = \frac{1300}{\frac{20}{3} + \frac{30}{3}} = 26 \frac{m}{s}$$

مثال ۱۲. در هر حالت سرعت متوسط را در کل مسیر تعیین کنید.

الف) متحرکی دو جابه‌جایی متوالی d_1 و d_2 را با سرعت‌های ثابت v_1 و v_2 طی می‌کند.

ب) متحرکی در دو زمان یکسان جابه‌جایی‌های متوالی را با سرعت v_1 و v_2 طی می‌کند.

پ) متحرکی دو مسافت متوالی هم‌اندازه را با سرعت‌های v_1 و v_2 طی می‌کند.

پاسخ:

$$\text{الف) } \vec{v} = \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2}{\Delta t_1 + \Delta t_2} \xrightarrow{\Delta x_1 = d_1, \Delta x_2 = d_2} \vec{v} = \frac{d_1 + d_2}{\frac{d_1}{v_1} + \frac{d_2}{v_2}} = v \left(\frac{d_1 + d_2}{\frac{d_1}{v_1} + \frac{d_2}{v_2}} \right) = v$$

توجه داشته باشید که بدون محاسبه نیز انتظار می‌رفت که سرعت متوسط v باشد، وقتی متحرک در مسیر مستقیم با تندی ثابت v حرکت می‌کند، سرعت متوسط و تندی متوسط برابرند؛ همچنین جابه‌جایی و مسافت طی شده هم‌اندازه هستند.

$$\vec{v} = \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2}{\Delta t_1 + \Delta t_2} = \frac{v_1 t + v_2 t}{t + t} = \frac{v_1 + v_2}{2} \quad \text{ب)}$$

$$\vec{v} = \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2}{\Delta t_1 + \Delta t_2} = \frac{d + d}{\frac{d}{v_1} + \frac{d}{v_2}} = \frac{2d}{\frac{d}{v_1} + \frac{d}{v_2}} = \frac{2v_1 v_2}{v_1 + v_2} \quad \text{پ)}$$

مثال ۱۳. متحرکی ۸۰ درصد از مسیری را با سرعت ثابت v طی می‌کند. سپس به اندازه‌ی ۲۵ درصد از مسیر طی شده را با سرعت ثابت ۲۷ باز می‌گردد. سرعت متوسط در کل حرکت چند برابر v است؟

پاسخ:

$$\vec{v} = \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2}{\Delta t_1 + \Delta t_2} = \frac{\frac{4}{10}d - \frac{1}{4}(\frac{4}{10}d)}{\frac{4}{10} \frac{d}{v} + \frac{1}{4}(\frac{4}{10} \frac{d}{v})} \Rightarrow \vec{v} = \frac{\frac{4}{10}d - \frac{1}{10}d}{\frac{4}{10} \frac{d}{v} + \frac{1}{10} \frac{d}{v}} = \frac{\frac{3}{10}d}{\frac{5}{10} \frac{d}{v}} = \frac{3}{5}v$$



مثال ۱۴. یک کوادکوپتر از مکانی با مختصات $A \begin{pmatrix} 100 \\ 200 \end{pmatrix}$ در مدت $10s$ به مکانی با مختصات

$B \begin{pmatrix} 400 \\ 600 \end{pmatrix}$ جابه‌جا می‌شود. هر یک از موارد زیر را تعیین کنید.

الف) بردار مکان اولیه (ب) بردار مکان ثانویه (پ) بردار جابه‌جایی (ت) بردار سرعت متوسط

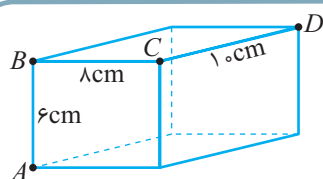
پاسخ:

$$\text{الف) } \vec{d}_1 = x_1 \vec{i} + y_1 \vec{j} = 100 \vec{i} + 200 \vec{j}$$

$$\text{ب) } \vec{d}_2 = x_2 \vec{i} + y_2 \vec{j} = 400 \vec{i} + 600 \vec{j}$$

$$\text{پ) } \vec{d} = \vec{d}_2 - \vec{d}_1 = 300 \vec{i} + 400 \vec{j} \Rightarrow |\vec{d}| = \sqrt{300^2 + 400^2} = 500 m$$

$$\text{ت) } \vec{v}_{av} = \frac{\vec{d}}{\Delta t} = \frac{300 \vec{i} + 400 \vec{j}}{10} = 30 \vec{i} + 40 \vec{j} \frac{m}{s} \Rightarrow |\vec{v}_{av}| = 50 \frac{m}{s}$$



مثال ۱۵. مورچه‌ای با تندی ثابت $۲ \frac{cm}{s}$ در مسیر ABCD حرکت می‌کند.

(الف) سرعت متوسط را در جابه‌جایی A تا D تعیین کنید.

(ب) تندی متوسط را در مسیر A تا D تعیین کنید.

پاسخ:

$$\text{الف) } v_{av} = \frac{d}{\Delta t} = \frac{\sqrt{(AB)^2 + (BC)^2 + (CD)^2}}{t_{AB} + t_{BC} + t_{CD}}$$

توجه کنید که وقتی نماد بردار روی v یا d قرار ندارد، منظورمان مقدار این کمیت‌ها است.

$$v_{av} = \frac{\sqrt{6^2 + 8^2 + 10^2}}{\frac{6}{2} + \frac{8}{2} + \frac{10}{2}} = \frac{10\sqrt{2}}{12} = \frac{5\sqrt{2}}{6} \frac{cm}{s}$$

$$\text{ب) } s = \frac{l}{\Delta t} = \frac{6 + 8 + 10}{3 + 4 + 5} = \frac{24}{12} = 2 \frac{cm}{s}$$

مثال ۱۶. شکل مقابل نمودار مکان - زمان شناگری را نشان می‌دهد که در مسیر مستقیم حرکت رفت و برگشت را انجام می‌دهد. به

هر یک از موارد زیر پاسخ دهید:

(الف) سرعت متوسط در کل حرکت چند متر بر ثانیه است؟

(ب) تندی متوسط در کل حرکت چند متر بر ثانیه است؟

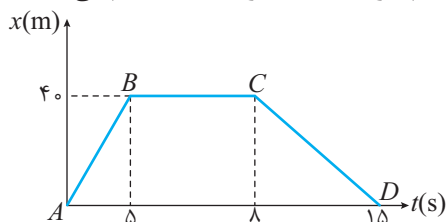
(پ) سرعت متوسط در مسیر AB و BC و CD چند متر بر ثانیه است.

(ت) بیش‌ترین تندی در چه مسیری است.

(ث) شیب خط‌های AB و CD را معلوم کنید و با سرعت متوسط در این مسیرها

مقایسه کنید.

پاسخ:



$$\text{الف) } \vec{v}_{av} = \frac{\vec{d}}{\Delta t} = 0$$

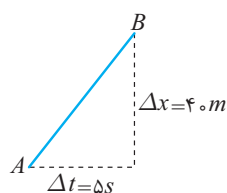
$$\text{ب) } s_{av} = \frac{l}{\Delta t} = \frac{40 + 40}{15} = \frac{16}{3} \frac{m}{s}$$

$$\text{پ) } \vec{v}_{av} = \frac{\vec{d}_{AB}}{\Delta t} = \frac{40}{5} = 8 \frac{m}{s} \text{ و } \vec{v}_{av} = \frac{\vec{d}_{BC}}{\Delta t} = 0 \text{ و } \vec{v}_{av} = \frac{\vec{d}_{CD}}{\Delta t} = \frac{-40}{7} = -\frac{40}{7} \frac{m}{s}$$

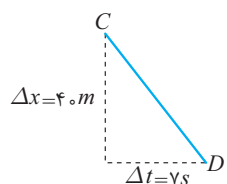
$$\text{ت) } s_{AB} = \frac{40}{5} = 8 \frac{m}{s}, \quad s_{CD} = \frac{40}{7} \frac{m}{s}$$

تذکر

دقت کنید که تندی متوسط کمیت عددی است. بیش‌ترین تندی متوسط در مسیر AB است.



(ث) شیب خط AB برابر با $\frac{\Delta x}{\Delta t}$ یعنی همان سرعت متوسط در مسیر AB است.



شیب خط CD برابر با $\frac{\Delta x}{\Delta t}$ یعنی همان سرعت متوسط در مسیر CD است.





مثال ۱۷. نمودار مکان - زمان متحرکی که در مسیر مستقیم حرکت می کند مطابق شکل سهمی مقابل است. هر یک از موارد زیر را تعیین کنید.

(الف) سرعت متوسط در کل حرکت

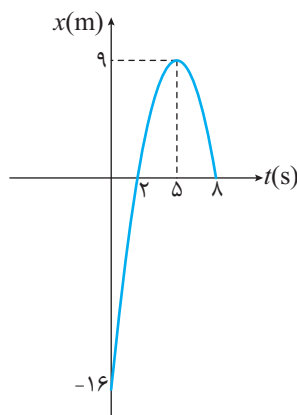
(ب) دورترین فاصله ی متحرک از مبدأ

(پ) زمان هایی که متحرک در مبدأ مکان است.

(ت) سرعت متوسط در مدتی که از مبدأ دور می شود.

(ث) معادله مکان - زمان را رسم کنید.

پاسخ:



(الف) $\vec{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{0 - (-16)}{8} = 2 \frac{m}{s}$

(ب) $x = -16m$

$t_1 = 2s$ و $t_2 = 8s$

(پ) متحرک دو بار از مبدأ عبور می کند.

(ت) با توجه به نمودار در ۳ بازه ی زمانی، نزدیک شدن و دور شدن را معلوم می کنیم.

در بازه ی زمانی $0 < t_1 < 2$ ، متحرک از مکان $x_1 = -16m$ به $x_2 = 0$ می رسد.

در بازه ی زمانی $2 < t_2 < 5$ ، متحرک از مکان $x_1 = 0$ به $x_2 = 9m$ می رسد.

در بازه ی زمانی $5 < t_3 < 8$ ، متحرک از مکان $x_1 = 9m$ به $x_2 = 0$ می رسد.

$\vec{v}_{av} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{9 - 0}{3} = 3 \frac{m}{s}$

(ث) می دانیم که در سهمی معادله y بر حسب x به صورت $y = ax^2 + bx + c$ است. در نمودار داده شده مکان بر حسب زمان است یعنی به جای تابع y ، تابع x و به جای متغیر x متغیر t وجود دارد، بنابراین خواهیم داشت:

$x = at^2 + bt + c$

c عرض از مبدأ است که در این جا معادل (-16) قرار می گیرد. برای رأس سهمی اگر متغیر $\frac{-b}{2a}$ باشد، بیشینه ی تابع y_{max} به دست می آید.

$(-\frac{4}{a}, -\frac{b}{2a})$ ، در واقع مختصات رأس سهمی $(-\frac{b}{2a}, -\frac{4}{a})$ است.

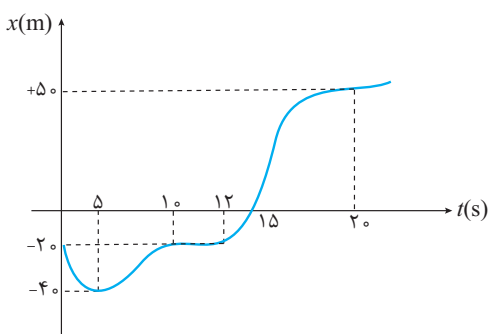
$x = k(t-2)(t-8)$

(در این جا $t = 5 = \frac{-b}{2a}$ متغیر و $x_{max} = 9 = -\frac{4}{a}$)

در لحظه $t = 0$ مکان متحرک $-16m$ است.

$x = -16 = k(-2)(-8) \Rightarrow k = -1$

$x = -(t-2)(t-8) = -t^2 + 10t - 16$



مثال ۱۸. با توجه به نمودار مکان - زمان مقابل به هر مورد پاسخ دهید.

(الف) در مدت $20s$ پس از شروع حرکت، متحرک چه مدت در مکان منفی و چه مدت در مکان مثبت بوده است؟

(ب) در چه لحظه هایی متحرک متوقف می شود؟

(پ) سرعت متوسط در ۵ ثانیه اول، چند برابر سرعت متوسط در ۵ ثانیه ی سوم است؟

(ت) از لحظه ی شروع تا لحظه ای که به دورترین فاصله از مبدأ می رسد

سرعت متوسط چقدر است؟

(ث) سرعت متوسط بین دو لحظه ای که متحرک تنها برای لحظه ای متوقف

می شود، چقدر است؟

پاسخ: (الف) با توجه به نمودار $15s$ آغازین حرکت مکان منفی است و در ۵ ثانیه چهارم مکان مثبت است.

(ب) در ۵ ثانیه ی اول متحرک از مبدأ دور می شود و به دورترین مکان منفی رسیده و متوقف می شود. در بازه $10 < t < 12$ نیز متوقف است.

(پ)

$$\vec{v}_{av} = \frac{\vec{d}}{\Delta t} = \frac{x_{t=5} - x_{t=0}}{5 - 0} = \frac{-40 - (-20)}{5} = -\frac{4}{1} \frac{m}{s}$$

$$\vec{v}_{av} = \frac{\vec{d}}{\Delta t} = \frac{x_{t=15} - x_{t=10}}{5} = \frac{0 - (-20)}{5} = \frac{4}{1} \frac{m}{s}$$

$$\Rightarrow \frac{-4}{4} = -1$$

$$\vec{v}_{av} = \frac{\vec{d}}{\Delta t} = \frac{50 - (-20)}{20} = \frac{7}{2} \frac{m}{s}$$

$$\vec{v}_{av} = \frac{50 - (-40)}{15} = \frac{6}{5} \frac{m}{s}$$

برای نسبت سرعت متوسط در دو بازه زمانی داریم:

(ت) دورترین فاصله از مبدأ (+50) متر است.

(ث) در زمان‌های $t = 20s$ و $t = 5s$ متحرک متوقف می‌شود.

مثال ۱۹. در سهمی مقابل، نمودار مکان - زمان متحرکی که روی خط راست حرکت می‌کند،

مشخص شده است. هر یک از موارد داده شده را تعیین کنید.

(الف) سرعت متوسط از شروع حرکت تا دومین عبور از مرکز

(ب) معادله مکان - زمان

(پ) زمان و مکان توقف

(ت) زمانی که طول می‌کشد متحرک به مکان اولیه باز گردد (t'')

(ث) سرعت متوسط از ابتدای لحظه‌ای که در مکان منفی قرار دارد تا آخرین لحظه‌ای که از

مبدأ دور می‌شود.

(ج) تندی متوسط وقتی از ابتدا تا انتهای لحظه‌ای که در مکان منفی قرار دارد.

(چ) مسیر حرکت را رسم کنید.

پاسخ:

$$\text{الف) } \vec{v}_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{0 - 64}{8 - 0} = -8 \frac{m}{s}$$

$$\text{ب) } x = k(t - 4)(t - 8) \xrightarrow{x=64, t=0} 64 = k(-4)(-8) \Rightarrow k = 2$$

$$x = 2(t - 4)(t - 8) = 2(t^2 - 12t + 32) = 2t^2 - 24t + 64$$

(پ) متحرک از لحظه‌ای شروع تا $t = 4s$ به مبدأ نزدیک می‌شود و از $t = 4s$ تا t' به دورترین مکان منفی می‌رسد، در لحظه‌ای t' متحرک در مکان x' متوقف می‌شود.

با استفاده از تقارن در سهمی می‌دانیم $t' = 6s$ است، برای محاسبه x' خواهیم داشت:

(ت) روش اول: برای این که به مکان اول بازگردد، باید $x = 64m$ باشد.

$$64 = 2t^2 - 24t + 64 \Rightarrow 2t^2 - 24t = 0 \Rightarrow t = 0 \text{ و } t = 12s$$

روش دوم: با استفاده از تقارن در سهمی می‌توانیم بگوییم $t'' = 8 + 4 = 12s$

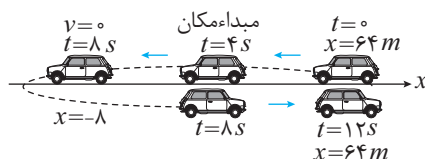
(ث) متحرک در بازه زمانی $4 < t < 8$ در مکان منفی قرار دارد و در $4 < t < 6$ در حال دور شدن از مبدأ است.

$$\vec{v}_{av} = \frac{-8 - 0}{6 - 4} = -\frac{4}{1} \frac{m}{s}$$

(ج) برای محاسبه تندی متوسط لازم است، مسافت طی شده در مدتی را که مکان منفی است معلوم کنیم.

$$s_{av} = \frac{l}{\Delta t} = \frac{(+8) + (8)}{4} = \frac{4}{1} \frac{m}{s}$$

(چ) دقت کنید اگرچه نمودار مکان - زمان سهمی است ولی مسیر حرکت خط راست است.





مثال ۲۰. سهمی مقابل نمودار مکان زمان متحرکی را نشان می‌دهد که روی خط راست حرکت می‌کند.

(الف) سرعت متوسط از ابتدای حرکت تا دومین عبور از مبدأ را بیابید.

(ب) معادله مکان - زمان را معلوم کنید.

(پ) زمان توقف را بیابید.

پاسخ:

(الف) در $t = 8$ برای دومین بار از مبدأ عبور می‌کند.

$$\vec{v}_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{0 - 20}{8} = -\frac{5}{2} \frac{m}{s}$$

دقت کنید علامت منفی برای سرعت نشان می‌دهد که جابه‌جایی منفی بوده است.

$$x = t^2 + bt + c \Rightarrow x = k(t - 4)(t - 8) \quad (\text{ب})$$

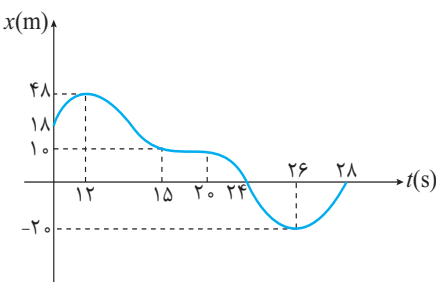
در لحظه‌ی $t = 0$ مکان متحرک $x = 20 \text{ m}$ است.

$$x = 20 = k(-4)(-8) \Rightarrow k = \frac{5}{8}$$

$$x = \frac{5}{8}(t - 4)(t - 8) = \frac{5}{8}t^2 - \frac{15}{2}t + 20$$

(پ) مطابق شکل، زمان توقف t' یعنی رأس سهمی، که دورترین مکان در نمودار است، با استفاده از تقارن در سهمی خواهیم داشت:

$$t' = \frac{4 + 8}{2} = 6 \text{ s}$$



مثال ۲۱. نمودار مکان - زمان متحرکی نشان داده شده است:

(الف) سرعت متوسط از ابتدای حرکت تا وقتی به دورترین فاصله از مبدأ می‌رسد

چقدر است؟

(ب) سرعت متوسط در بازه‌ای که در مکان منفی قرار دارد و از مبدأ دور می‌شود

چقدر است؟

(پ) سرعت متوسط در بازه‌ای که در مکان منفی قرار دارد و به مبدأ نزدیک می‌شود

چقدر است؟

(ت) بیش‌ترین مقدار سرعت متوسط در بازه‌ای که در مکان مثبت قرار دارد و به مبدأ نزدیک می‌شود چقدر است؟

(ج) در کل حرکت جهت حرکت چند بار تغییر کرده است؟

(چ) در کل حرکت تندی متوسط بیش‌تر است یا سرعت متوسط؟

پاسخ:

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{48 - 18}{12} = \frac{2}{3} \frac{m}{s}$$

(الف) در بازه $0 < t < 12$

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{-20 - 0}{26 - 24} = -10 \frac{m}{s}$$

(ب) در بازه $24 < t < 26$

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{0 - (-20)}{28 - 26} = 10 \frac{m}{s}$$

(پ) در بازه $26 < t < 28$

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{10 - 48}{15 - 12} = \frac{-38}{3} \frac{m}{s}$$

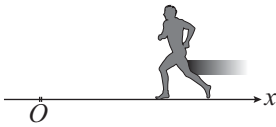
(ت) در بازه $12 < t < 15$

(ث) تا وقتی متحرک در حال دور شدن یا نزدیک شدن به مبدأ است، جهت حرکت عوض نمی‌شود، در لحظه‌ای که جهت حرکت عوض می‌شود، روند دور شدن یا نزدیک شدن به مبدأ تغییر می‌کند. در لحظه‌های $t = 12 \text{ s}$ و $t = 26 \text{ s}$ این اتفاق رخ می‌دهد.

(ج) جابه‌جایی در کل حرکت (-18 m) است. ولی مسافت طی شده به مراتب بیش‌تر است. بنابراین تندی متوسط از سرعت متوسط بیش‌تر است.

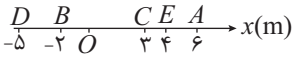
پرسش‌های سطح ساده

۱. شخصی مطابق شکل روبه‌رو بر محور x ها می‌دود. کدام گزینه جهت بردار مکان او را در لحظه‌ی نشان داده شده در شکل، درست نمایش می‌دهد؟



- (۱) $\rightarrow$ (۲) $\leftarrow$
(۳) $\uparrow$ (۴) $\downarrow$

۲. متحرکی روی خط مستقیم مسیر $ABCDE$ را طی می‌کند. نسبت مسافت به جابه‌جایی آن کدام است؟



- (۱) -۱ (۲) -۱۵
(۳) -۱۳/۵ (۴) -۱۶/۵

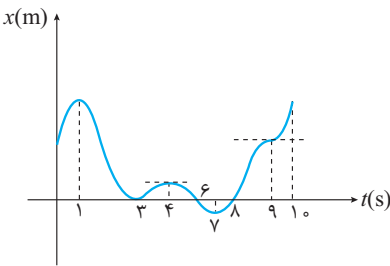
۳. مسافت طی شده متحرکی که با معادله زمان - مکان $x = 3t^3 + 5t^2 + t + 1$ در SI است و در دو ثانیه‌ی اول حرکتش چند متر است؟

- (۱) ۳۶ (۲) ۴۷ (۳) ۳۷ (۴) ۴۶

۴. متحرکی روی مسیر مستقیم با معادله‌ی مکان - زمان $x = -t^2 + 4t - 3$ در حال حرکت است. جابه‌جایی متحرک را در دو ثانیه‌ی سوم حرکت چند متر است؟

- (۱) +۱۵ (۲) +۱ (۳) -۱۲ (۴) -۱۵

۵. با توجه به نمودار مکان - زمان شکل روبه‌رو، متحرک در مدت ثانیه در حال نزدیک شدن به مبدأ است و بار از مبدأ عبور می‌کند.



- (۱) ۲ و ۶
(۲) ۲ و ۵
(۳) ۳ و ۶
(۴) ۳ و ۵

۶. متحرکی نیمی از زمان حرکت بین نقاط A و B را روی خط مستقیم با سرعت $20 \frac{km}{h}$ و نیمی دیگر را با سرعت $16 \frac{km}{h}$ طی می‌کند. سرعت متوسط

بین این دو نقطه چند متر بر ثانیه است؟

- (۱) ۱۸ (۲) $\frac{160}{9}$ (۳) $\frac{40}{3}$ (۴) ۵

پرسش‌های سطح متوسط

۷. در کدام یک از موارد زیر اندازه‌ی جابه‌جایی و مسافت متحرک نمی‌تواند یکسان باشد؟

- (۱) متحرک در حال نزدیک شدن به مبدأ باشد.
(۲) متحرک در حال حرکت، تندی‌اش در یک لحظه به سرعت صفر برسد.
(۳) علامت سرعت متحرک عوض شود.
(۴) سرعت و تندی متحرک هم علامت نباشند.

۸. معادله‌ی حرکت ذره‌ای که روی مسیر مستقیم در حال حرکت است به صورت $-2t^2 + 6t + 8$ است. از لحظه سوم تا پنجم حرکت کدام گزاره صحیح است؟

- (۱) متحرک در حال نزدیک شدن به مبدأ است.
(۲) متحرک در حال دور شدن از مبدأ است.
(۳) متحرک ابتدا از مبدأ دور شده، سپس نزدیک می‌شود.
(۴) متحرک ابتدا به مبدأ نزدیک شده و سپس دور می‌شود.

۹. در چه صورت اندازه‌ی سرعت متوسط یک متحرک با تندی متوسط آن لزوماً برابر است؟

- (۱) متحرک با تندی ثابت حرکت کند.
(۲) متحرک روی خط مستقیم حرکت کند.
(۳) سرعت متحرک در هیچ لحظه‌ای صفر نشود.
(۴) متحرک روی مسیر مستقیم تغییر جهت ندهد.

۱۰. متحرکی روی محور x ها در حال حرکت است. در کدام یک از گزینه‌های زیر متحرک الزاماً در حال نزدیک شدن به مبدأ است؟

- (۱) سرعت و تندی متحرک خلاف علامت هم باشند.
(۲) سرعت و تندی متحرک هم‌علامت باشند.
(۳) $xv > 0$
(۴) $xv < 0$



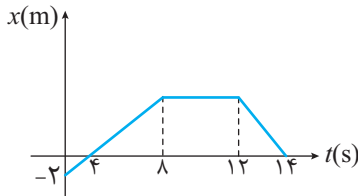
۱۱. قطاری به طول ۳۰۰ متر در مدت ۰/۵ ساعت با تندی ثابت ۰/۸ کیلومتر بر ساعت از پلی عبور می کند. طول پل چند متر است؟

- (۱) ۴۰۰ (۲) ۳۰۰ (۳) ۲۰۰ (۴) ۱۰۰

۱۲. متحرکی با معادله حرکت $x = t^3 - 4t + 1$ روی خط مستقیم در حال حرکت است. سرعت متوسط متحرک در ۳ ثانیه دوم حرکت چند برابر ۳ ثانیه اول است.

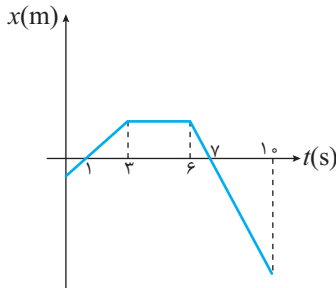
- (۱) ۴/۵ (۲) ۶/۴ (۳) ۱۱/۸ (۴) ۱۲/۸

۱۳. با توجه به نمودار مکان- زمان مقابل نسبت سرعت متوسط متحرک در ۳ ثانیه سوم به ثانیه ی سیزدهم کدام گزینه است؟



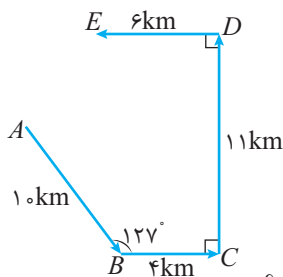
- (۱) $-\frac{1}{3}$
(۲) -۱
(۳) $-\frac{2}{3}$
(۴) -۲

۱۴. نمودار مکان - زمان متحرکی که روی خط مستقیم حرکت می کند مطابق شکل زیر است. در کدام بازه ی زمانی، اندازه ی سرعت متوسط متحرک بزرگ تر است؟



- (۱) ۵۰ تا ۸ ثانیه
(۲) ۱ تا ۴ ثانیه
(۳) ۰/۵ تا ۶ ثانیه
(۴) ۶/۵ تا ۹ ثانیه

۱۵. متحرکی روی مسیر مشخص شده در شکل از نقطه ی A به E می رود. جابه جایی این متحرک چند کیلومتر است؟ ($\sin 37^\circ = 0/6$)



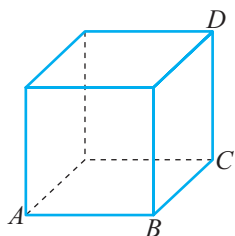
- (۱) $\sqrt{61}$
(۲) $4\sqrt{2}$
(۳) $3\sqrt{2}$
(۴) ۵

۱۶. معادله ی حرکت جسمی در SI به صورت $x = -t^2 + 3t - 2$ است. در کدام بازه ی زمانی جابه جایی جسم مثبت است؟

- (۱) ۱/۳ تا ۱/۹ ثانیه (۲) ۰/۸ تا ۲/۴ ثانیه (۳) ۱/۴ تا ۱/۵۵ ثانیه (۴) ۱/۱ تا ۲/۱ ثانیه

پرسش های سطح دشوار

۱۷. مطابق شکل متحرکی با تندی ثابت v مسیر ABCD را طی می کند. سرعت متوسط در این جابه جایی



کدام است؟ (هر ضلع مکعب L فرض می شود.)

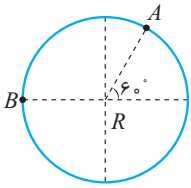
- (۱) $\frac{\sqrt{3}}{3}v$
(۲) $\frac{\sqrt{2}}{2}v$
(۳) $4v$
(۴) $3v$

۱۸. شناگری فاصله دو نقطه ی A و B را در طول مسیر حرکت آب در روخانه ای با توان ثابت حرکت می کند. زمان بیشینه ی حرکت شناگر ۴ برابر زمان کمینه ی آن است. نسبت تندی حرکت شناگر در زمانی که آب ساکن است به تندی رودخانه کدام گزینه است؟

- (۱) ۴ (۲) $\frac{5}{3}$ (۳) $\frac{3}{5}$ (۴) $\frac{1}{4}$



۱۹. متحرکی مسیر دایره‌ای را با تندی $\frac{\pi R m}{6 s}$ دور می‌زند، حداکثر سرعت متوسط آن از A تا B کدام است؟



- (۱) $\frac{\sqrt{3}}{2} R$ (۲) $\frac{R}{2}$
(۳) $\sqrt{3} R$ (۴) $\frac{\sqrt{3}}{4} R$

۲۰. متحرکی روی مسیر مستقیم با معادله مکان - زمان $x = -t^2 + 6t - 5$ در حال حرکت است. مسافت متحرک در ۲ ثانیه‌ی دوم حرکت چند متر است؟

- (۱) ۰ (۲) ۱ (۳) ۲ (۴) ۸

۲۱. معادله‌ی مکان - زمان متحرکی که روی مسیر مستقیم حرکت می‌کند به صورت $x = at^2 + bt + c$ است. در چند شرط از موارد زیر، این متحرک همواره در حال دور شدن از مبدأ است؟

- (الف) $a, b, c > 0$ (ب) $c > 0, ab > 0$ (پ) $a, b, c < 0$
(ت) $c < 0, ab < 0$ (ث) $abc > 0$ (ج) $c < 0, ab > 0$
(۱) ۲ (۲) ۳ (۳) ۴ (۴) ۵

۲۲. شناسگری طول استخری به اندازه‌ی ۵۰ متر را با سرعت $\frac{m}{s}$ در مسیر مستقیم رفته و با سرعت $\frac{6m}{s}$ در همان مسیر برمی‌گردد. سرعت متوسط این شناگر در ۸ ثانیه‌ی اول حرکتش چند متر بر ثانیه است؟

- (۱) ۰ (۲) $\frac{3}{2}$ (۳) ۴ (۴) $\frac{16}{13}$

۲۳. معادله‌ی مکان - زمان متحرکی در SI به صورت $x = 5 + 2 \sin(\frac{\pi}{4} t)$ است. از لحظه‌ی ۲ تا ۱۰ ثانیه، این متحرک چه مسافتی را بر حسب متر طی می‌کند؟

- (۱) ۱۶ (۲) ۲۰ (۳) ۱۸ (۴) ۱۰

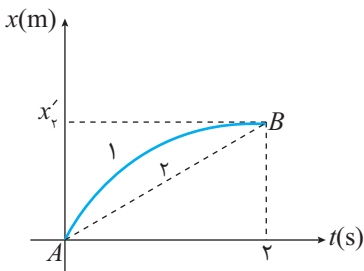
۲۴. متحرکی روی مسیر مستقیم $\frac{1}{3}$ فاصله‌ی بین دو نقطه‌ی را با سرعت ثابت $\frac{m}{s}$ و $\frac{2}{5}$ بقیه‌ی مسیر را با سرعت ۱۰ متر بر ثانیه طی می‌کند. سرعت متوسط بین این دو نقطه چند متر بر ثانیه است؟

- (۱) ۱۲ (۲) $\frac{40}{3}$ (۳) ۱۵ (۴) ۱۸

۲۵. شخصی می‌خواهد فاصله‌ی بین دو شهر را که ۲۱ کیلومتر است، به ترتیب با سرعت‌های $\frac{2}{5}$ و ۳ کیلومتر بر ساعت طی کند. این شخص در بین راه پس از ۱۵ کیلومتر پیاده‌روی چند ساعت استراحت کند تا سرعت متوسط آن $\frac{2}{1}$ کیلومتر بر ساعت شود؟

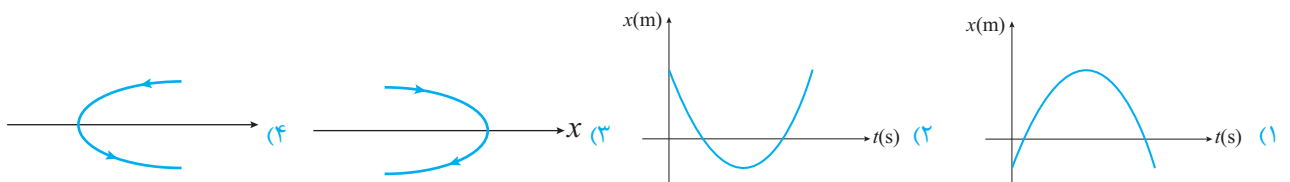
- (۱) $\frac{5}{8}$ (۲) ۱ (۳) $\frac{1}{5}$ (۴) ۲

۲۶. با توجه به نمودار مقابل کدام گزینه برای نسبت $\frac{\bar{v}_1}{\bar{v}_2}$ در ۲ ثانیه‌ی اول صحیح است؟



- (۱) برابر با $\frac{1}{2}$
(۲) بیش‌تر از ۱
(۳) کم‌تر از ۱
(۴) برابر ۱

۲۷. معادله‌ی مکان - زمان متحرکی در SI به صورت $x_t = t^2 - 8t + 12$ است. کدام گزینه مسیر حرکت را بهتر نشان می‌دهد؟



۲۸. متحرکی روی خط مستقیم فاصله‌ی دو نقطه‌ی A و B که ۱۲۰ متری از هم فاصله دارند، را طی می‌کند به طوری که نیمی از مسیر را با تندی $۱۲ \frac{m}{s}$

و نیم دیگر را با تندی $۲۴ \frac{m}{s}$ می‌پیماید. تندی متوسط متحرک در ۲ ثانیه‌ی سوم حرکت چند متر بر ثانیه است؟

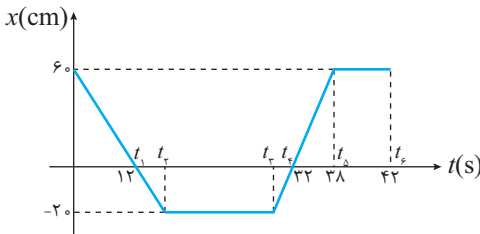
- ۱۲ (۱) ۱۶ (۲) ۱۸ (۳) ۲۴ (۴)

۲۹. نمودار مکان - زمان کفش دوزکی به صورت مقابل است. کدام موارد درست است؟
(الف) سرعت متوسط در کل مسیر صفر است.

(ب) مقدار سرعت متوسط بین t_1 تا t_3 معادل $\frac{۱۰}{۹} \frac{cm}{s}$ است.

(پ) کم‌ترین سرعت متوسط در هنگام دور شدن از مبدأ $۵ \frac{cm}{s}$ است.

(ت) بیش‌ترین مقدار سرعت متوسط هنگام نزدیک شدن به مبدأ $۱۰ \frac{cm}{s}$ است.



- ۱ (الف و ت) ۲ (ب و پ) ۳ (پ و ت) ۴ (همه موارد)

۳۰. معادله‌ی حرکت ذره‌ای که روی مسیر مستقیم در حال حرکت است، در SI به صورت $x = t^2 - 6t - 16$ است. از لحظه‌ی دوم تا چهارم حرکت، کدام گزاره صحیح است؟

- ۱ (متحرک در حال نزدیک شدن به مبدأ است.)
۲ (متحرک در حال دور شدن از مبدأ است.)
۳ (متحرک ابتدا از مبدأ دور شده سپس نزدیک می‌شود.)
۴ (متحرک ابتدا به مبدأ نزدیک شده و سپس دور می‌شود.)

۳۱. معادله مکان - زمان متحرکی که روی محور X ها در حال حرکت است، به صورت $x = at + b$ است. در کدام یک از شرایط زیر این متحرک همواره در حال دور شدن از مبدأ است؟

- ۱ ($a < 0$ و $b > 0$) ۲ ($a > 0$ و $b > 0$) ۳ ($a < 0$ و $b < 0$) ۴ (گزینه‌های ۲ و ۳)

پرسش‌های ترکیب سطوح

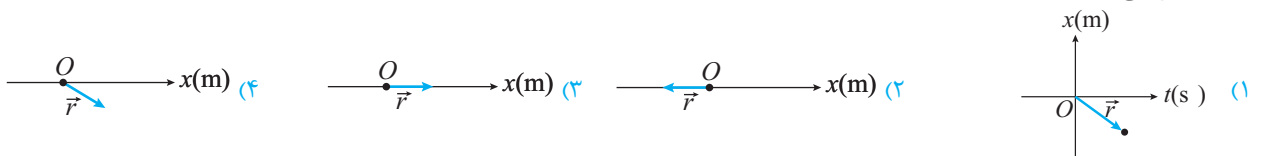
۳۲. معادله حرکت جسمی در SI با رابطه $x = 2t^2 + 1$ داده شده است. سرعت متوسط این جسم در SI در بازه‌ی زمانی بین دو لحظه‌ی ۱ و ۱/۰۰۰۱ به کدام گزینه نزدیک‌تر است؟

- ۲ (۱) ۱ (۲) ۴ (۳) ۸ (۴)

۳۳. معادله‌ی مکان - زمان متحرکی به صورت $x = t^4 + 3t^3 + 4t^2 + 8t$ است. مسافت طی شده در ۲ ثانیه‌ی اول چند متر است؟

- ۸۴ (۱) ۳۶ (۲) ۷۲ (۳) ۷۵ (۴)

۳۴. معادله‌ی حرکت جسمی در یک بعد با رابطه‌ی $x = -t^2 + 6t - 8$ در SI داده شده است. کدام گزینه بردار مکان این متحرک را در لحظه‌ی $t = ۱s$ درست نشان می‌دهد؟



۳۵. معادله‌ی مکان - زمان متحرکی که روی محور X ها حرکت می‌کند به صورت $x = t^3 - t + 7$ است. اگر سرعت متوسط این متحرک از $t = 2s$ تا $t = t_2$ برابر $۲۷ \frac{m}{s}$ باشد، t_2 چند ثانیه است؟

- ۳ (۱) ۴ (۲) ۵ (۳) ۶ (۴)

۳۶. شخصی بین دو صخره ایستاده و فریاد می‌زند، اگر فاصله‌ی زمانی دریافت پژواک‌ها از دو صخره (T) باشد، اختلاف فاصله از دو صخره است. (سرعت صوت ۷ است.)

- ۳۷.T (۱) $\frac{۳}{۲} ۷.T$ (۲) $v.T$ (۳) $\frac{۱}{۲} ۷.T$ (۴)

۳۷. متحرکی که روی مسیر مستقیم با سرعت‌های ثابت در حرکت است، ۱۵ km را با سرعت $\frac{km}{h}$ و سپس ۱۰ km را با سرعت $\frac{km}{h}$ ۴۰ رفته و در

انتهای ۵ km را با سرعت $\frac{km}{h}$ بازمی‌گردد. بزرگی سرعت متوسط کل حرکت چند کیلومتر بر ساعت است؟

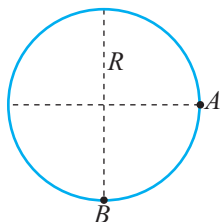
- ۶۰ (۱) ۱۰ (۲) $\frac{۷۰}{۸}$ (۳) $\frac{۸۰}{۷}$ (۴)



۳۸. شخصی از پله برقی مترو زمانی که خاموش است در مدت ۱ دقیقه مسیری را طی می‌کند و در حالتی که پله روشن است و شخص قدم نمی‌زند، این مسیر را در مدت ۳ دقیقه طی می‌کند، اگر پله روشن باشد و شخص در جهت پله‌ها قدم بزند، این مسیر در چند ثانیه طی می‌شود؟

- (۱) ۴۵ (۲) ۲۴۰ (۳) ۳۰ (۴) ۱۵

۳۹. متحرکی روی مسیر مقابل با تندی ثابت v حرکت می‌کند، حداکثر سرعت متوسط در مسیر A تا B چند برابر v است؟ ($\pi \simeq 3$)



- (۱) $\sqrt{2}v$
(۲) $2\sqrt{3}v$
(۳) $\frac{\sqrt{3}}{2}v$
(۴) $\frac{2\sqrt{2}}{3}v$

۴۰. معادله مکان-زمان متحرکی در SI به صورت $x = -3t^2 + 18t + 21$ است. در چند ثانیه پس از شروع حرکت، این متحرک مسافت و جابه‌جایی طی شده یکسان است؟

- (۱) ۳ ثانیه (۲) ۴ ثانیه (۳) ۷ ثانیه (۴) کل حرکت

۴۱. اتومبیلی روی مسیر مستقیم بین دو نقطه‌ی M و N در حال حرکت با سرعت ثابت است. نیمی از مسیر حرکت را با سرعت $15 \frac{m}{s}$ طی کرده و سپس

نیمی از زمان باقی‌مانده را با سرعت $25 \frac{m}{s}$ و بقیه مسیر را با سرعت $35 \frac{m}{s}$ را می‌پیماید. سرعت متوسط کل حرکت این اتومبیل چند متر بر ثانیه است؟

- (۱) ۳۰ (۲) ۲۵ (۳) ۲۰ (۴) $17/5$

۴۲. کدام یک از عبارات زیر صحیح نیست؟

- (۱) علامت منفی در بیان جابه‌جایی به معنای بیان جهت حرکت در مسیر مستقیم است.
(۲) عددی که عقربه تندی‌سنج خودرو نشان می‌دهد، سرعت لحظه‌ای خودرو است.
(۳) در فیزیک یک لحظه به هیچ‌وجه طول نمی‌کشد و لحظه به یک تک مقدار از زمان اشاره دارد.
(۴) تندی یک کمیت نرده‌ای و سرعت یک کمیت برداری است.

۴۳. متحرکی روی مسیر دایره‌ای به شعاع ۳ متر با تندی ثابت 2π متر بر ثانیه در حال حرکت است. سرعت متوسط این متحرک پس از گذشت $3/5$ ثانیه چند متر بر ثانیه است؟

- (۱) $\frac{6\sqrt{3}}{7}$ (۲) $\frac{6\sqrt{2}}{7}$ (۳) $\frac{6}{7}$ (۴) $\frac{12\sqrt{2}}{7}$

۴۴. متحرکی ۶۰ درصد از مسیر مستقیم را با سرعت ثابت v و بقیه مسیر را با سرعت ثابت $4v$ طی می‌کند، سرعت متوسط در طول مسیر چند برابر v است؟

- (۱) $\frac{5}{3}$ (۲) $\frac{10}{7}$ (۳) $\frac{5}{2}$ (۴) $\frac{7}{3}$

۴۵. متحرکی که روی خط مستقیم با سرعت‌های ثابت در حال حرکت است، 5 km را با سرعت $10 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ ، 10 km را با سرعت $40 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ و 15 km را با

سرعت $15 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ در یک جهت طی می‌کند. سرعت متوسط کل مسیر حرکت چند $\frac{\text{km}}{\text{h}}$ است؟

- (۱) $\frac{60}{7}$ (۲) $\frac{120}{7}$ (۳) ۲۵ (۴) ۳۰

۴۶. متحرکی روی مسیر دایره‌ای شکل به شعاع ۳ متر با تندی ثابت $12\pi \frac{m}{s}$ حرکت می‌کند. نسبت جابه‌جایی به مسافت طی شده توسط متحرک از

لحظه‌ی شروع حرکت تا $\frac{1}{6}$ ثانیه چند برابر این نسبت از شروع حرکت تا $\frac{1}{12}$ ثانیه است؟

- (۱) $\frac{\sqrt{2}}{2}$ (۲) $\sqrt{2}$ (۳) $\frac{\sqrt{3}}{2}$ (۴) $\sqrt{3}$



بخش دوم: تندی و سرعت لحظه‌ای - حرکت یکنواخت - مفهوم شتاب

تندی لحظه‌ای و سرعت لحظه‌ای

وقتی با خودرو مسافرت می‌کنیم، ممکن است در طول مسیر سرعت خودرو ثابت نباشد، بنابراین اگر زمان رسیدن به مقصد را بخواهیم باید سرعت متوسط در کل مسیر را تعیین کنیم.

به نظر شما اگر قرار باشد دوربین‌های پلیس تخلفی را برای سرعت غیرمجاز ثبت کنند، آیا سرعت متوسط در این‌جا کاربرد دارد؟ پاسخ منفی است، زیرا ممکن است در کل مسیر سرعت متوسط مجاز ولی در لحظه‌هایی غیرمجاز باشد، بنابراین آن‌چه در دوربین‌های سرعت‌سنج اندازه‌گیری می‌شود، سرعت خودرو در یک لحظه‌ی خاص است. این سرعت را سرعت لحظه‌ای می‌گوییم.

تندی لحظه‌ای نیز قابل محاسبه است، مقدار سرعت لحظه‌ای را که جهت در آن بیان نمی‌شود، تندی لحظه‌ای می‌نامیم. در واقع تندی لحظه‌ای مقدار سرعت لحظه‌ای است.

بنابراین: سرعت لحظه‌ای علاوه بر مقدار سرعت لحظه‌ای، جهت آن را نیز معلوم می‌کند.

سوال: به نظر شما آیا درست است که بگوییم «عقربه‌ی سرعت‌سنج خودرو» سرعت را نشان می‌دهد؟

پاسخ: خیر، باید گفته شود «عقربه‌ی تندی‌سنج خودرو» تندی را نشان می‌دهد، زیرا فقط درباره‌ی مقدار سرعت لحظه‌ای (تندی) اطلاعات می‌دهد و درباره‌ی جهت آن گزارشی ارائه نمی‌کند.



مثال ۲۲. مطابق شکل، اتومبیلی که عقربه‌ی تندی‌سنج آن عدد ثابتی را نشان می‌دهد در

مدت ۱۰ ثانیه میدانی به شعاع ۵۰ متر را دور می‌زند.

(الف) تندی متوسط وقتی نیم دور می‌چرخد، چند $\frac{m}{s}$ است؟

(ب) سرعت متوسط وقتی نیم دور می‌چرخد، چند $\frac{m}{s}$ است؟ ($\pi \simeq 3$)

(پ) تندی لحظه‌ای چند $\frac{m}{s}$ است؟

(ت) سرعت لحظه‌ای چگونه است؟

پاسخ:

$$s_{av} = \frac{l}{\Delta t} = \frac{(2\pi R)}{5} = 30 \frac{m}{s}$$

(الف) مسافت نصف محیط است:

(ب) جابه‌جایی قطر دایره است:

$$\vec{v}_{av} = \frac{\vec{d}}{\Delta t} = \frac{2R}{5} = 20 \frac{m}{s}$$

(پ) تندی لحظه‌ای همان عددی است که عقربه تندی‌سنج نشان می‌دهد یعنی $30 \frac{m}{s}$ دقت کنید در حرکت با تندی ثابت، تندی متوسط همان تندی لحظه‌ای خواهد بود.

(ت) سرعت لحظه‌ای دارای مقدار $30 \frac{m}{s}$ است، ولی باید برای آن جهت مشخص کنیم. فرضاً در نقطه‌ی C، سرعت لحظه‌ای $30 \frac{m}{s}$ در جهت شرق خواهد بود.

توجه داشته باشید که اگر بخواهیم به جای سرعت متوسط، سرعت لحظه‌ای را به‌دست آوریم، باید زمان Δt را تا حد ممکن به یک بازه بسیار کوچک برسانیم. در حالتی که Δt خیلی خیلی کوچک و در حد صفر باشد می‌گوییم Δt به صفر میل می‌کند. ($\Delta t \rightarrow 0$)

فرض کنیم یک لیوان آب در اختیار داریم و هر بار نصف آن را مصرف می‌کنیم. به نظر شما آیا این مقدار آب تمام می‌شود؟! آن‌چه که در ذهن شما ایجاد شد مقدار آبی است که رفته رفته، کمتر و کمتر می‌شود ولی هرگز تمام نمی‌شود.

در این‌جا می‌گوییم آب باقی‌مانده به صفر میل می‌کند، ولی هرگز صفر نمی‌شود.

در فیزیک وقتی Δt به صفر میل می‌کند، کمیتی که در این زمان بسیار کوتاه محاسبه می‌شود کمیت لحظه‌ای خواهد بود.



در شکل مقابل، اگر نقطه‌ی B را خیلی به نقطه‌ی A نزدیک کنیم به جای Δt یک لحظه‌ی بسیار کوچک خواهیم داشت یعنی:

$$t_B - t_A = \Delta t \Rightarrow \Delta t \rightarrow 0$$

یعنی خط واصل بین A و B تبدیل به خط مماس بر A می‌شود.

به عبارتی شیب خط مماس بر منحنی مکان زمان در هر لحظه، سرعت لحظه‌ای در آن موقعیت را نشان می‌دهد.

قرارداد مهم

در کتاب‌های فیزیک وقتی سرعت یا تندى مطرح می‌شود عبارت‌های سرعت لحظه‌ای و تندى لحظه‌ای مورد نظر است. و اگر بخواهیم متوسط این کمیت‌ها را مطرح کنیم باید واژه‌های سرعت متوسط یا تندى متوسط را به کار ببریم. نمادهای این چهار کمیت را به خاطر بسپارید.

$\vec{v} \rightarrow$ سرعت لحظه‌ای

$\vec{v}_{av} = \vec{v} \rightarrow$ بردار سرعت متوسط

$s \rightarrow$ تندى لحظه‌ای

$s_{av} \rightarrow$ تندى متوسط

تذکر

«در کاربردهای روزمره وقتی می‌گوییم لفظه‌ای درنگ کن و یا وقتی می‌گوییم لفظه‌ی باشکوه اهدای جام، منظورمان «مدت زمان» است. ولی در فیزیک مفهوم لفظه شامل مدت زمان نمی‌شود بلکه یک «تک مقدار» است.

یادداشت ریاضی

اکنون می‌خواهیم مفهوم سرعت لحظه‌ای را از روی نمودار مکان زمان بررسی کنیم. مطابق شکل نشان داده شده سرعت متوسط در بازه Δt برابر است با:

$$\frac{\vec{d}}{\Delta t} = \vec{v}_{av} = \frac{\overrightarrow{AB}}{t_2 - t_1} \Rightarrow \frac{AB}{\Delta t} = \vec{v}_{av}$$

این نسبت همان $\tan \alpha$ یعنی شیب است.

بنابراین:

سرعت متوسط بین دو لحظه شیب خط واصل بین این دو لحظه در نمودار مکان - زمان است.

در واقع اگر در مدت Δt جابه‌جایی Δx انجام شود، برای تعیین سرعت متوسط خواهیم داشت:

$$\tan \alpha = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \vec{v}_{av}$$

ولی اگر $\Delta t \rightarrow 0$ جابه‌جایی بسیار کوچک dx ایجاد خواهد شد، و برای سرعت لحظه‌ای خواهیم داشت:

$$v_t = \frac{dx}{dt} \text{ سرعت لحظه‌ای}$$

توجه: در مبحث ریاضیات بررسی خواهید کرد که چنین مفهومی را مشتق می‌نامیم. یعنی سرعت لحظه‌ای برابر است با مشتق مکان نسبت به زمان (شیب مماس بر منحنی مکان زمان در هر لحظه) وقتی از تابع $f(x)$ مشتق بگیریم، با استفاده از مفهوم حد خواهیم داشت:

$$\frac{dy}{dx} = f'(x) = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{f(x + \Delta x) - f(x)}{(x + \Delta x) - x}$$

$$\frac{dy}{dx} = y' = nx^{n-1}$$

در حالت کلی، اگر از تابع $y = x^n$ مشتق بگیریم، خواهیم داشت:

$$\lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{(x + \Delta x)^3 - (x^3)}{(x + \Delta x) - x} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{(x^3 + 3x^2\Delta x + 3x\Delta x^2 + \Delta x^3) - x^3}{\Delta x}$$

به عنوان مثال، مشتق $y = x^3$ چنین است:



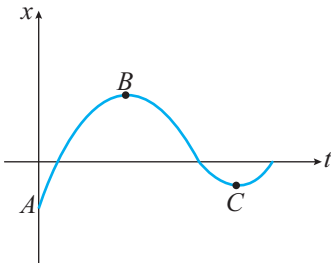
$$\lim_{\Delta x \rightarrow 0} (3x^2 + 3x\Delta x + \Delta x^2) = 3x^2$$

اگر از Δx صورت فاکتور بگیریم و با مخرج ساده کنیم:

به عنوان مثال اگر تابع مکان برحسب زمان متحرکی به صورت $x = t^2 - 4t$ باشد. معادله‌ی سرعت لحظه‌ای برابر است با:

$$v_t = \frac{dx}{dt} = x' = 2t - 4$$

و برای $x = t^3$ خواهیم داشت:

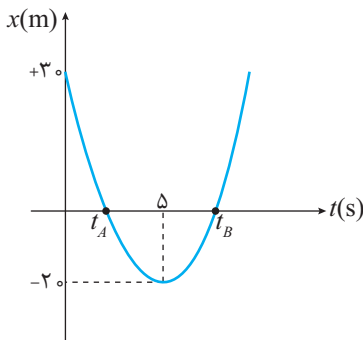


مثال ۲۳. با توجه به نمودار مکان - زمان مقابل به موارد زیر پاسخ دهید:

الف) چند بار متحرک متوقف می‌شود؟

ب) سرعت اولیه مثبت است یا منفی؟

پاسخ: الف) با توجه به این که سرعت (منظورمان سرعت لحظه‌ای است) شیب نمودار مکان - زمان در هر لحظه است، بنابراین در نقاط B و C سرعت صفر می‌شود و متحرک متوقف می‌شود.
ب) شیب نمودار در لحظه‌ی شروع مثبت است، پس سرعت اولیه مثبت است.



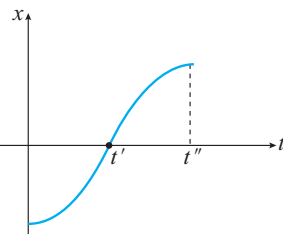
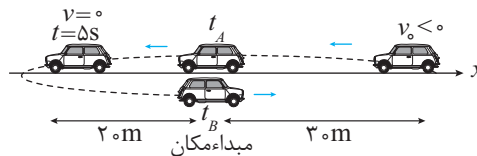
مثال ۲۴. در نمودار مقابل الف) سرعت متوسط تا لحظه‌ی توقف چند $\frac{m}{s}$ است؟

ب) مسیر حرکت را رسم کنید.

پاسخ: الف) در لحظه توقف، شیب نمودار $x-t$ (سرعت لحظه‌ای) صفر می‌شود.

$$\vec{v}_{av} = \frac{x_{t=\Delta} - x_{t=0}}{\Delta} = \frac{(-2) - (+3)}{\Delta} = -1 \frac{m}{s}$$

ب)



مثال ۲۵. حرکت متحرک مقابل را تحلیل کنید.

پاسخ: متحرک از مکان اولیه‌ی منفی دارای سرعت اولیه‌ی صفر است و در جهت مثبت شروع به حرکت می‌کند، زیرا سرعت آن مثبت است. در لحظه‌ی t' با بیش‌ترین سرعت (بیش‌ترین شیب) از مبدأ عبور می‌کند. رفته رفته سرعت آن اگرچه مثبت است، ولی کاهش می‌یابد تا در لحظه t'' متوقف می‌شود.

مثال ۲۶. معادله‌ی مکان - زمان متحرکی به صورت $x = t^2 - 16t + 60$ است.

الف) مکان اولیه و سرعت متوسط در ۱۰ ثانیه‌ی اول را بیابید.

ب) زمان عبور از مبدأ را تعیین کنید.

پ) مکان توقف را معلوم کنید.

پاسخ: الف)

$$x_{t=0} = x_0 = 0 - 0 + 60 = 60m$$

$$\vec{v}_{av} = \frac{x_{t=10} - x_{t=0}}{10} = \frac{0 - 60}{10} = -6 \frac{m}{s}$$

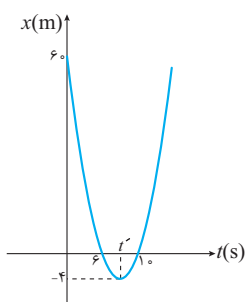
$$x = 0 \Rightarrow t^2 - 16t + 60 = 0 \Rightarrow t_1 = 6s, t_2 = 10s$$

ب) ریشه‌های معادله مکان - زمان، زمان عبور از مبدأ را مشخص می‌کند.

پ) با توجه به این که نمودار مکان - زمان سهمی است. با رسم سهمی نمودار مکان - زمان و استفاده از تقارن در سهمی، خواهیم داشت:

$$t' = 8s$$





یعنی زمان توقف $t' = 8s$ است.

بنابراین مکان توقف $x = -4m$ است:

$$x_{t'=8} = 64 - 12 \times 8 + 60 = -4m$$

روش دوم: می‌توانیم معادله‌ی سرعت - زمان را با مشتق به‌دست آوریم:

$$v = \frac{dx}{dt} = (t^2 - 12t + 60)' = 2t - 12$$

$$v = 2t - 12 \xrightarrow{v=0} 2t - 12 = 0 \Rightarrow t = 6s$$

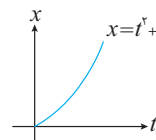
$$x_{t=6} = 6^2 - (12 \times 6) + 60 = -4m$$

مثال ۲۷. معادله‌ی مکان - زمان متحرکی در SI به‌صورت $x = t^2 + 4t$ است.

(الف) آیا این متحرک متوقف می‌شود؟

(ب) آیا می‌توانیم بگوییم مسافت طی شده برای این متحرک همواره با جابه‌جایی برابر است؟

(ج) سرعت اولیه‌ی متحرک چند $\frac{m}{s}$ است؟



پاسخ:

(الف) روش اول

$$v = x' = 2t + 4 \quad \text{روش دوم:}$$

$$2t + 4 = 0 \Rightarrow t = -2 \Rightarrow \text{زمان منفی قابل قبول نیست بنابراین توقف ندارد}$$

(ب) چون در مسیر مستقیم بدون تغییر جهت حرکت می‌کند و متوقف نمی‌شود، مسافت و جابه‌جایی برابر است.

(ج) روش اول: شیب نمودار در لحظه‌ی $t = 0$ را باید معلوم کنیم.

$$\text{روش دوم: } v_{t=0} = 2t + 4 = 4 \frac{m}{s}$$

مثال ۲۸. معادله‌ی مکان - زمان متحرکی در SI به‌صورت $x = t^3 - 6t^2$ است.

(الف) معادله سرعت لحظه‌ای این متحرک را بر حسب t تعیین کنید؟

(ب) این متحرک در چه زمان‌هایی متوقف می‌شود؟

(پ) این متحرک در چه مکانی متوقف می‌شود؟

(ت) این متحرک با چه سرعتی از مبدأ عبور می‌کند؟

پاسخ: (الف) ابتدا معادله‌ی سرعت لحظه‌ای را با مشتق مکان به‌دست می‌آوریم.

$$v_t = \frac{dx}{dt} = 3t^2 - 12t$$

$$v = 3t^2 - 12t = 0 \Rightarrow t = 0, \quad t = 4$$

(ب)

$$x_{t=0} = 0 \quad \text{و} \quad x_{t=4} = (4^3) - 6(4^2) = -32m$$

(پ) در معادله‌ی مکان $t = 0$ و $t = 4s$ قرار می‌دهیم:

$$x = 0 \Rightarrow t^3 - 6t^2 = 0 \Rightarrow t^2(t - 6) = 0 \Rightarrow t = 0 \quad \text{و} \quad t = 6s$$

(ت) برای تعیین زمان عبور از مبدأ از $x = 0$ ریشه‌ها را به‌دست می‌آوریم:

$$v_{t=6} = |3t^2 - 12t|_{t=6} \Rightarrow v_{t=6} = 36 \frac{m}{s}$$

بنابراین باید سرعت در لحظه‌ی $t = 6s$ را به‌دست آوریم تا سرعت عبور از مبدأ مشخص شود:

شتاب متوسط و شتاب لحظه‌ای

وقتی می‌گوییم یک خودرو شتاب بالایی دارد، مفهوم آن چیست؟ آیا ممکن است شتاب اولیه‌ی یک موتورسیکلت بیش‌تر از یک قطار باشد؟

برای پاسخ به سوال‌های بالا مفهوم شتاب را که در سال نهم با آن آشنا شدید یادآوری می‌کنیم. تغییر سرعت یک جسم در مدت زمان معین باعث ایجاد

شتاب می‌شود. شتاب ممکن است در اثر تغییر در مقدار سرعت یا جهت سرعت و یا هر دو عامل به‌وجود آید.



مثال ۲۹. در هر یک از حرکت‌های زیر معلوم کنید حرکت یکنواخت است یا شتابدار؟

(الف) قطاری که با تندی ثابت در مسیر مستقیم حرکت می‌کند.

(ب) آسانسوری که با تندی ثابت در راستای قائم پایین می‌آید.

(پ) دوچرخه‌سواری که مسیر دایره‌ای را با تندی ثابت طی می‌کند.

(ت) توپ بسکتبالی که به طرف حلقه پر تاب می‌شود.

پاسخ: همان‌طور که می‌دانیم تندی لحظه‌ای کمیتی نرده‌ای، ولی سرعت لحظه‌ای کمیتی برداری است. طبق قرارداد، در هر مورد منظورمان از تندی همان تندی لحظه‌ای و سرعت همان سرعت لحظه‌ای است.

مورد	تغییر در مقدار سرعت	تغییر در جهت سرعت	نوع حرکت
الف	×	×	یکنواخت
ب	×	×	یکنواخت
پ	×	✓	شتابدار
ت	✓	✓	شتابدار

رابطه شتاب متوسط

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

تغییر سرعت متحرک در واحد زمان را شتاب متوسط می‌گویند.

توجه داشته باشید که شتاب متوسط از تقسیم کمیت برداری Δv بر کمیت نرده‌ای Δt حاصل می‌شود، بنابراین شتاب متوسط کمیتی برداری است.

علاوه بر این اگر متحرک در یک جهت معین حرکت کند، خواهیم داشت $a_{av} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$

واحد شتاب متوسط در SI متر بر مجذور ثانیه ($\frac{m}{s^2}$) است.



مثال ۳۰. وقتی می‌گوییم شتاب متوسط یوزپلنگ $15 \frac{m}{s^2}$ است، مفهوم آن چیست؟

پاسخ: یعنی در هر ثانیه مقدار سرعت آن $15 \frac{m}{s}$ افزایش می‌یابد.

البته این شتاب فقط در چند ثانیه برقرار است و یوزپلنگ نمی‌تواند به مدت طولانی این شتاب را حفظ کند (در عمل یک آهو برای فرار، مسیر و در نتیجه زمان را طولانی می‌کند)



مثال ۳۱. وقتی می‌گوییم یک چتر از هنگام سقوط به شتاب صفر می‌رسد، مفهوم آن چیست؟

پاسخ: یعنی پس از مدتی تغییرات سرعت آن صفر می‌شود، و سرعت از سرعت معینی بیش‌تر نخواهد شد.

در واقع شتاب در حال کاهش ولی سرعت تا لحظه‌ای که $a = 0$ می‌شود، در حال افزایش است.

مثال ۳۲. صفر تا $100 \frac{km}{h}$ یک خودرو $\frac{5}{9}$ ثانیه است. شتاب این خودرو در SI چقدر است؟

$$100 \frac{km}{h} = \frac{m}{s} \Rightarrow \frac{100 \frac{km}{h}}{\frac{m}{s}} = 100 \times \frac{10}{36} = \frac{250}{9} \frac{m}{s}$$

پاسخ:

$$\vec{a}_{av} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{\frac{250}{9} - 0}{\frac{5}{9}} = 50 \frac{m}{s^2}$$



مثال ۳۳. نمودار سرعت - زمان متحرکی مطابق شکل مقابل است.

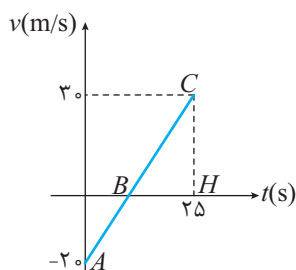
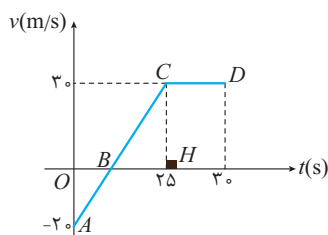
الف) شتاب متوسط از ابتدای حرکت تا لحظه توقف چند $\frac{m}{s^2}$ است؟

ب) در چه بازه‌ای از زمان، شتاب متوسط صفر است؟

پ) شتاب متوسط در مدتی که متحرک در سوی مثبت حرکت می‌کند چقدر است؟

پاسخ: الف) متحرک در لحظه‌ی t_B متوقف می‌شود. با استفاده از تشابه $t_B = 10s$ است. مثلث

OAB و BCH مشابه هستند:



$$\frac{OB}{BH} = \frac{OA}{HC} \Rightarrow \frac{t_B}{25 - t_B} = \frac{20}{30} \Rightarrow 50 - 2t_B = 3t_B \Rightarrow t_B = 10s$$

$$\vec{a}_{av} = \frac{0 - (-20)}{10} = 2 \frac{m}{s^2}$$

بنابراین شتاب متوسط از آغاز حرکت تا لحظه‌ی توقف برابر است با:

ب) در بازه‌ی زمانی ۲۵ تا ۳۰ ثانیه سرعت ثابت است، بنابراین: $\vec{a}_{av} = 0$

پ) وقتی سرعت مثبت است، متحرک در سوی مثبت حرکت می‌کند. در بازه‌ی زمانی t_B تا t_D سرعت مثبت است. بنابراین شتاب متوسط در

$$\vec{a}_{av} = \frac{\vec{v}_{t=30} - \vec{v}_{t=10}}{30 - 10} = \frac{30 - 0}{20} = 1.5 \frac{m}{s^2}$$

بازه‌ی ۱۰s تا ۳۰s برابر است با:

مثال ۳۴. معادله‌ی سرعت - زمان متحرکی در SI به صورت $v_t = 4t - 8$ است:

الف) شتاب متوسط این حرکت در ۱۰ ثانیه اول چند $\frac{m}{s^2}$ است؟

ب) شتاب متوسط تا لحظه توقف چند $\frac{m}{s^2}$ است؟

$$\vec{a}_{av} = \frac{v_{t=10} - v_{t=0}}{\Delta t} = \frac{32 - (-8)}{10} = 4 \frac{m}{s^2}$$

پاسخ: الف)

$$v = 0 \Rightarrow 4t - 8 = 0 \Rightarrow t = 2s$$

ب) ابتدا لحظه‌ی توقف را به دست می‌آوریم:

$$\vec{a}_{av} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_{t=2} - v_{t=0}}{2} = \frac{0 - (-8)}{2} = 4 \frac{m}{s^2}$$

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، شتاب متوسط در هر دو قسمت برابر $4 \frac{m}{s^2}$ است.

تذکر

اگر شتاب حرکت در هر بازه‌ی زمانی دلفواه برابر باشد، حرکت را شتاب ثابت می‌نامیم.

مثال ۳۵. وقتی می‌گوییم حرکت یک قطار در ۲۰ ثانیه‌ی اول با شتاب ثابت $1 \frac{m}{s^2}$ انجام می‌شود، مفهوم آن چیست؟

پاسخ: یعنی در هر ثانیه مقدار سرعت $1 \frac{m}{s}$ افزایش می‌یابد.

زمان	$t=0$	$t=2$	$t=3$	...	$t=20$
سرعت	۱m/s	۲m/s	۳m/s		۲۰m/s

مثال ۳۶. آیا در واقعیت حرکت یک اتومبیل که با شتاب $6 \frac{m}{s^2}$ شروع به حرکت می‌کند، حرکتی شتاب ثابت است؟

پاسخ: خیر - با گذشت زمان شتاب صفر می‌شود و در لحظه‌ای که شتاب صفر می‌شود، متحرک به حداکثر سرعت خود می‌رسد و افزایش سرعت متوقف می‌شود.

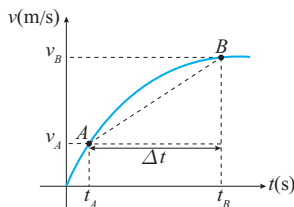


شتاب لحظه‌ای

همان‌طور که در یادداشت ریاضی، سرعت لحظه‌ای را مشتق مکان نسبت به زمان معرفی کردیم، برای شتاب لحظه‌ای نیز چنین مفهومی وجود دارد. شتاب متحرک در هر لحظه را شتاب لحظه‌ای می‌نامیم.

تذکر

برای سادگی به جای واژه شتاب لحظه‌ای از شتاب استفاده می‌کنیم و آن را نماد $\vec{a}$ می‌نامیم.



با استفاده از مفهوم شتاب متوسط در نمودار $v-t$ شیب خط واصل بین دو نقطه‌ی A و B ، شتاب متوسط را در این بازه زمانی را معلوم می‌کند.

اگر بازه‌ی زمانی Δt به صفر میل کند، به جای پاره خط AB خطی مماس بر نقطه‌ی A ایجاد می‌شود بنابراین در زمان‌های بسیار کوچک شیب خط مماس بر منحنی سرعت زمان در هر لحظه، شتاب آن لحظه را معلوم می‌کند.

$$\vec{a}_{av} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \Rightarrow \vec{a}_{av} = \vec{a}_t$$

$$\Delta t \rightarrow 0$$

$$\vec{a}_t = \frac{dv}{dt} = (v)'$$

به عبارتی مشتق سرعت برحسب زمان، شتاب لحظه‌ای را معلوم می‌کند.

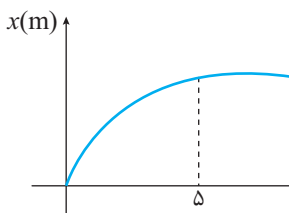
مثال ۳۷. معادله‌ی سرعت متحرکی در SI به صورت $v = t^2 + 4t$ است. معادله‌ی شتاب لحظه‌ای را بیابید.

$$a_t = \frac{dv}{dt} = (t^2 + 4t)' = 2t + 4$$

پاسخ:

۲۲

مثال ۳۸. با توجه به نمودار مکان زمان مقابل، اگر مقدار شتاب متوسط در ۵ ثانیه اول برابر با



$4 \frac{m}{s^2}$ باشد، سرعت اولیه متحرک را به دست آورید.

پاسخ: همان‌طور که می‌دانیم، شتاب متوسط برابر با تغییرات سرعت در واحد زمان است.

بنابراین خواهیم داشت:

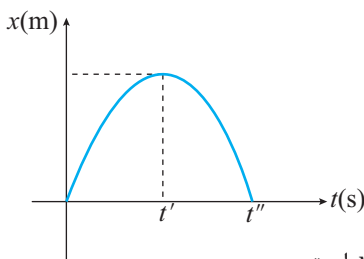
$$\vec{a}_{av} = \frac{v_{t=5} - v_{t=0}}{5} = 4$$

با توجه به این که شیب نمودار در لحظه‌ی $t = 5s$ صفر است، پس سرعت لحظه‌ای (سرعت) در این لحظه صفر است، پس سرعت متحرک کاهش

$$\Rightarrow -4 = \frac{v_{t=5} - v_{t=0}}{5} = \frac{0 - v_0}{5} \Rightarrow v_{t=0} = 20 \frac{m}{s}$$

یافته و شتاب منفی است.

مثال ۳۹. با توجه به نمودار مکان - زمان مقابل به هر مورد پاسخ دهید.



(الف) سرعت اولیه مثبت است یا منفی؟

(ب) در چه لحظه‌ای سرعت صفر می‌شود؟

(پ) شتاب متوسط از لحظه شروع تا توقف مثبت یا منفی؟

(ت) شتاب متوسط در کل حرکت مثبت است یا منفی؟

پاسخ:

(الف) در نمودار مکان - زمان شیب نمودار در هر لحظه، سرعت لحظه‌ای را معلوم می‌کند. بنابراین $v_0 > 0$ است.

(ب) در لحظه‌ای که شیب نمودار $x-t$ صفر می‌شود، سرعت (سرعت لحظه‌ای) صفر می‌شود بنابراین در لحظه t' سرعت صفر می‌شود.

$$\vec{a}_{av} = \frac{v_{t'} - v_0}{t' - 0} \Rightarrow \vec{a}_{av} < 0$$

(پ)

$$\vec{a}_{av} = \frac{v_{t''} - v_0}{t'' - 0} \Rightarrow \vec{a}_{av} < 0$$

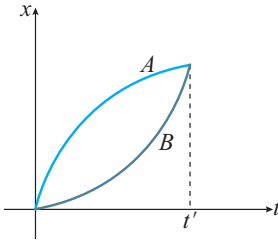
(ت)

$$v_{t''} < 0$$

$$v_0 > 0$$

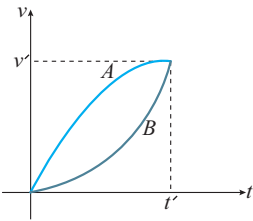


مثال ۴۰. هر یک از نمودارهای A و B را تحلیل کنید.



پاسخ: در نمودار A ابتدا شیب مثبت است و رفته رفته شیب کاهش می‌یابد، بنابراین سرعت مثبت و در حال کاهش است. یعنی شتاب منفی است. علاوه بر این متحرک در حال دور شدن از مبدأ است. در نمودار B ابتدا شیب صفر و رفته رفته شیب مثبت بیشتر می‌شود. بنابراین سرعت در حال افزایش است، پس شتاب مثبت است. علاوه بر این متحرک در حال دور شدن از مبدأ است. توجه داشته باشید که در مدت t' جابه‌جایی هر دو متحرک A و B برابر است بنابراین طبق رابطه $\vec{v}_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ سرعت متوسط A و B در بازه‌ی صفر تا t' با هم برابر است.

مثال ۴۱. نمودارهای A و B را تحلیل کنید.



پاسخ: در نمودار A ابتدا شیب مثبت است و رفته رفته شیب کاهش می‌یابد، تا به صفر برسد. بنابراین شتاب اولیه مثبت و بیشینه است و شتاب نهایی صفر است، یعنی شتاب در حال کاهش است. علاوه بر این مساحت زیر نمودار $v.t$ که جابه‌جایی را مشخص می‌کند مثبت و در نتیجه سرعت متوسط مثبت است. در نمودار B شیب ابتدا صفر است و رفته رفته افزایش می‌یابد، بنابراین شتاب اولیه صفر و شتاب نهایی بیش‌ترین شتاب است.

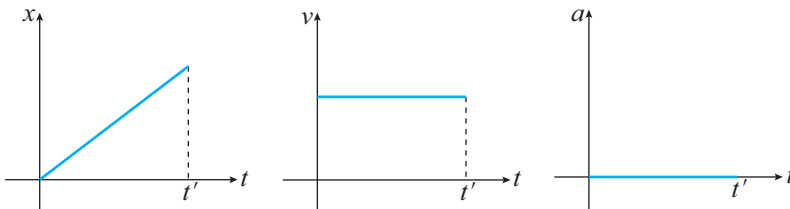
علاوه بر این مساحت زیر نمودار $v.t$ که جابه‌جایی را مشخص می‌کند، مثبت است در نتیجه سرعت متوسط مثبت است. توجه داشته باشید که طبق رابطه شتاب متوسط $\vec{a}_{av} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ تغییر سرعت هر دو متحرک در بازه‌ی زمانی صفر تا t' برابر است و چون مقدار آن v' است، شتاب متوسط هر دو متحرک $\vec{a}_{av} = \frac{v'}{t'}$ است. علاوه بر این سرعت متوسط A بیش‌تر از سرعت متوسط B است. زیرا (سطح زیر نمودار) در نتیجه جابه‌جایی آن بیش‌تر است.

مثال ۴۲. اتومبیل A در راستای افقی با تندی ثابت حرکت می‌کند و اتومبیل B در مسیر دایره‌ای با تندی ثابت میدانی را دور می‌زند. نوع حرکت این دو متحرک را بررسی کنید.

پاسخ: برای اتومبیل A هم مقدار سرعت (تندی) و هم جهت سرعت ثابت است. بنابراین حرکت اتومبیل A یک حرکت سرعت ثابت است، یعنی حرکت یکنواخت مستقیم‌الخط (سرعت ثابت روی مسیر مستقیم) است. برای اتومبیل B مقدار سرعت (تندی) ثابت است، ولی جهت سرعت در هر لحظه مماس بر مسیر حرکت است، یعنی لحظه به لحظه جهت سرعت و در نتیجه بردار سرعت تغییر می‌کند، اگرچه مقدار آن ثابت است، بنابراین حرکت دایره‌ای که با تندی ثابت انجام می‌شود (حرکت دایره‌ای یکنواخت) یک حرکت شتاب‌دار است.

حرکت یکنواخت (معادله و نمودارها)

فرض کنیم هواپیمایی در مسیر مستقیم با سرعت ثابت در حرکت باشد، در این صورت شیب نمودار مکان-زمان (سرعت) ثابت خواهد بود و شیب نمودار سرعت-زمان (شتاب) صفر خواهد بود.



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

$$v = \frac{x - x_0}{t - t_0} \Rightarrow x = vt + x_0$$

اگر مطابق شکل $t_1 = 0$ و $x_1 = x_0$ فرض می‌شود، خواهیم داشت:

این رابطه را معادله‌ی حرکت یکنواخت می‌نامیم.

تذکر

دقت کنید که x ، v و x_0 می‌توانند منفی یا مثبت باشند.



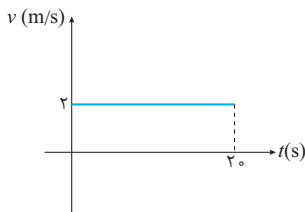
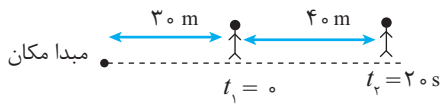
مثال ۴۳. با توجه به شکل داده شده، که مربوط به یک دوندۀ است که با تندی ثابت در حال

دویدن روی مسیر مستقیم است:

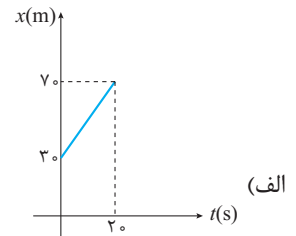
الف) نمودار مکان-زمان دوندۀ را رسم کنید؟

ب) نمودار سرعت-زمان دوندۀ را رسم کنید؟

پاسخ:



$$\vec{v}_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{40}{20} = 2 \frac{m}{s} \quad (ب)$$



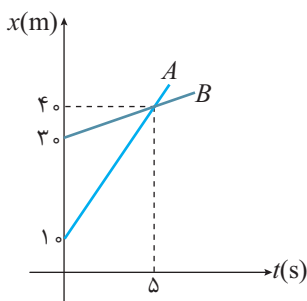
مثال ۴۴. نمودار مکان-زمان دو دوندۀ A و B مطابق شکل مقابل است.

الف) سرعت متوسط هر دوندۀ را بیابید.

ب) معادله مکان-زمان هر دوندۀ را بنویسید.

پ) در چه لحظه‌ای فاصله دو دوندۀ ۱۵ متر می‌شود.

پاسخ:



$$\vec{v}_{av} = \frac{40-10}{5} = 6 \frac{m}{s} \text{ و } \vec{v}_{av} = \frac{40-30}{5} = 2 \frac{m}{s}$$

الف)

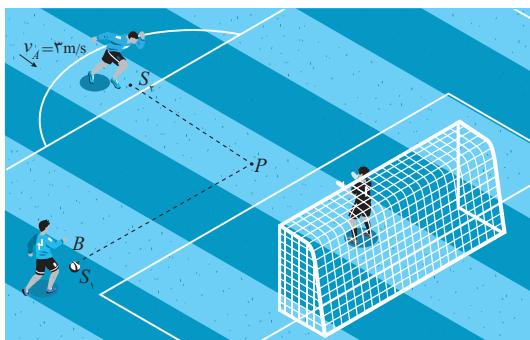
$$x = vt + x_0 \Rightarrow x_A = 6t + 10 \text{ و } x_B = 2t + 30 \quad (ب)$$

پ) توجه داشته باشید، اگر فاصله‌ی دو دوندۀ ۱۵ متر باشد دو حالت وجود دارد. ممکن است، متحرک A معادل ۱۵ متر عقب‌تر یا جلوتر از B باشد.

مطابق شکل داده شده ابتدا متحرک B در فاصله ۲۰ متر جلوتر از A قرار دارد.

$$x_A - x_B = 15 \Rightarrow (6t + 10) - (2t + 30) = 15 \Rightarrow t = \frac{35}{4} s$$

$$x_A - x_B = -15 \Rightarrow (6t + 10) - (2t + 30) = -15 \Rightarrow t = \frac{5}{4} s$$



مثال ۴۵. در یک حرکت تمرینی فوتبال، بازیکن B توپی را با شتاب

$-\frac{2}{s^2}$ و سرعت اولیه v_0 در مسیر افقی S_1P برای بازیکن A ارسال

می‌کند، v_0 چقدر باشد تا ۲ ثانیه پس از پاس، توپ با سرعت $\frac{1}{s}$ در

نقطه‌ی P به بازیکن A که سرعتش ثابت است، برسد؟

پاسخ: با طی جابه‌جایی برابر در نقطه‌ی P پاس دقیق به بازیکن A می‌رسد.

روش اول: سرعت متوسط بازیکن A و توپ باید در مدت ۲ ثانیه برابر باشد،

$$\Delta x_A = \Delta x_B \Rightarrow \bar{v}_A t = \bar{v}_t t \Rightarrow 3 = \left(\frac{v_0 + 1}{2} \right) \Rightarrow v_0 = 5 \frac{m}{s}$$

روش دوم: با استفاده از رابطه‌ی شتاب:

$$a = -2 = \frac{v - v_0}{t} \Rightarrow -2 = \frac{1 - v_0}{2} \Rightarrow v_0 = 5 \frac{m}{s}$$



مثال ۴۶. سرعت لحظه‌ای دو متحرک A و B در مسیر مستقیم با مبدأ برابر مطابق جدول زیر داده شده است:

t بر حسب ثانیه	$t=0$	$t=1$	$t=2$	$t=3$	$t=4$	$t=5$
$v_A(\frac{m}{s})$	۴	۴	۴	۴	۴	۴
$v_B(\frac{m}{s})$	۰	۰/۴	۰/۸	۱/۲	۱/۶	۲

الف) کدام حرکت یکنواخت و کدام حرکت شتاب ثابت است؟

ب) سرعت متوسط متحرک B در ۵ ثانیه، چند متر بر ثانیه است؟

پ) از لحظه‌ی آغاز تا پایان پنجمین ثانیه (لحظه‌ی $t=5s$) فاصله‌ی دو متحرک چگونه است؟

ت) نمودار سرعت - زمان دو متحرک را رسم کنید.

پاسخ: الف) حرکت A با سرعت ثابت (هم‌مقدار و هم‌جهت) و حرکت B با شتاب ثابت انجام می‌شود و مقدار شتاب آن برابر با $\frac{2-0}{5} = 0/4 \frac{m}{s^2}$ است.

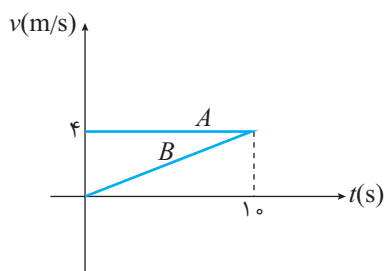
ب) از آن‌جا که تغییرات سرعت بر حسب زمان خطی است، بنابراین سرعت متوسط بین دو لحظه با میانگین سرعت بین آن دو لحظه برابر است.

$$\bar{v}_B = \frac{v_1 + v_2}{2} = \frac{0 + 2}{2} = 1 \frac{m}{s}$$

پ) چون دو متحرک هم مبدأ هستند، جابه‌جایی هر دو متحرک را به‌دست می‌آوریم و اختلاف این جابه‌جایی‌ها، فاصله‌ی دو متحرک را معلوم می‌کند.

$$\Delta x_A = \bar{v}_A \cdot t = 4 \times 5 = 20m \quad \text{و} \quad \Delta x_B = \bar{v}_B \cdot t = 1 \times 5 = 5m$$

بنابراین در پایان ۵ ثانیه اول متحرک A به اندازه ۱۵ متر جلوتر از B قرار دارد.



ت) توجه داشته باشید که در لحظه‌ی $t=10s$ اگرچه سرعت دو متحرک برابر می‌شود، ولی متحرک

B به اندازه‌ی ۲۰ متر از متحرک A عقب‌تر است.

به نظر شما چند ثانیه پس از لحظه‌ی $t=10s$ دو متحرک به هم می‌رسند؟

مثال ۴۷. یک خودرو با سرعت $72 \frac{km}{h}$ در مسیر مستقیم حرکت می‌کند. سامانه‌ی هوشمند خودرو با تشخیص مانع ساکنی در

فاصله‌ی ۶۰ متری، با شتاب ثابت $4 \frac{m}{s^2}$ سرعت خودرو را کاهش می‌دهد. این اتومبیل در چه فاصله‌ای از مانع متوقف می‌شود؟

پاسخ: از مفهوم سرعت متوسط در حرکت شتاب ثابت استفاده می‌کنیم:

$$v = 72 \frac{km}{h} = 72 \times \frac{10}{36} \frac{m}{s} = 20 \frac{m}{s}$$

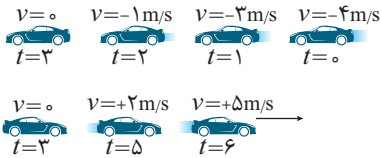
$$\Delta x = \bar{v} \cdot t \quad \left\{ \begin{array}{l} \bar{v} = \frac{v_1 + v_2}{2} = \frac{20 + 0}{2} = 10 \frac{m}{s} \\ t = \frac{v_2 - v_1}{a} \Rightarrow t = \frac{0 - 20}{-4} = 5s \end{array} \right. \Rightarrow \Delta x = (10)(5) = 50m$$

بنابراین خودرو در فاصله‌ی ۱۰ متری از مانع متوقف می‌شود.



بررسی نوع حرکت

حرکت تندشونده: اگر تندی حرکت متحرک در یک بازه‌ی زمانی مشخص در حال افزایش باشد می‌گوییم حرکت آن تندشونده است.
حرکت کندشونده: اگر تندی حرکت متحرک در یک بازه‌ی زمانی مشخص در حال کاهش باشد می‌گوییم حرکت آن کندشونده است.
 دقت شود افزایش تندی متفاوت از افزایش سرعت است. به طور مثال در شکل زیر از لحظه‌ی $t = 0$ تا $t = 3$ s سرعت افزایش می‌یابد ولی تندی کاهش می‌یابد و از لحظه‌ی $t = 3$ s تا $t = 6$ s تندی و سرعت افزایش می‌یابد. (تندی اندازه سرعت است)



برای بررسی نوع حرکت به روش‌های زیر می‌توان عمل کرد:

الف) بررسی اندازه‌ی سرعت:

اگر اندازه‌ی سرعت، $|v|$ زیاد شود حرکت تندشونده است و برعکس.

ب) بررسی حاصل ضرب av :

اگر $av > 0$ باشد حرکت تندشونده است.

اگر $av < 0$ باشد حرکت کندشونده است.

پ) بررسی در نمودار سرعت زمان ($v-t$):

اگر نمودار تغییرات سرعت نسبت به زمان متحرک با افزایش زمان از محور t دور شود حرکت تندشونده و اگر به محور t نزدیک شود حرکت کندشونده است.

ت) بررسی در نمودار مکان - زمان ($x-t$):

اگر با تغییر زمان نمودار به شیب صفر نزدیک شود حرکت کندشونده و اگر دور شود حرکت تندشونده است.



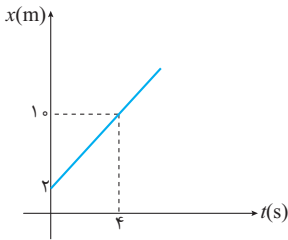
۴۷. نمودار مکان - زمان متحرکی به شکل مقابل است معادله حرکت آن در SI کدام است؟

(۱) $x = \frac{1}{3}t + 2$

(۲) $x = \frac{1}{3}t + 4$

(۳) $x = 2t + 4$

(۴) $x = 2t + 2$



۴۸. نمودار سرعت - زمان متحرکی که روی محور X حرکت می‌کند، مطابق شکل روبه‌رو است. شتاب

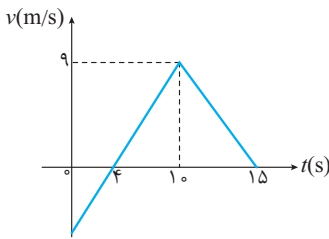
متوسط متحرک در بازه‌ی زمانی $t = 0$ تا $t = 15$ چند متر بر مجذور ثانیه است؟

(۱) $0/4$

(۲) $0/6$

(۳) $0/8$

(۴) 1



۴۹. متحرکی که روی محور X با سرعت ثابت در حرکت است در لحظه‌ی $t_1 = 1$ s از $x_1 = 4$ m و در لحظه‌ی $t_2 = 5$ s از $x_2 = -8$ m می‌گذرد.

معادله‌ی مکان، زمان آن کدام گزینه است؟

(۴) $x = -3t + 7$

(۳) $x = -3t + 10$

(۲) $x = -2t + 7$

(۱) $x = -2t + 10$

۵۰. متحرکی که روی مسیر مستقیم به صورت سرعت ثابت در حرکت است در لحظه‌ی $t_1 = 1$ (s) از $x_1 = +1$ m و در لحظه‌ی $t_2 = 4$ (s) از $x_2 = -5$ m می‌گذرد.

این متحرک در چه لحظه‌ای از نقطه‌ی $x_3 = -13$ m عبور می‌کند؟

(۴) 10

(۳) 9

(۲) 8

(۱) 7

۵۱. معادله‌ی مکان - زمان متحرکی که روی محور X حرکت می‌کند، در SI به صورت $x = -6t + 18$ است. جابه‌جایی در پنجمین ثانیه چند برابر پنج

ثانیه‌ی دوم است؟

(۴) $-\frac{1}{8}$

(۳) $-\frac{1}{4}$

(۲) $\frac{1}{6}$

(۱) $\frac{1}{5}$

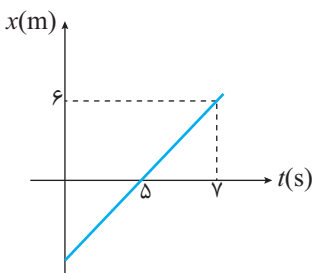
۵۲. معادله مکان - زمان متحرکی که نمودار $x - t$ آن به صورت زیر است، کدام گزینه است؟

(۱) $x = \frac{6}{7}t - \frac{30}{7}$

(۲) $x = \frac{6}{7}t - 15$

(۳) $x = 3t - 15$

(۴) $x = 3t - \frac{30}{7}$



۵۳. معادله‌ی مکان - زمان حرکت متحرکی به صورت $x = -5t + 4$ است. در کدام بازه‌ی زمانی، زمان نزدیک شدن به مبدأ و زمان دور شدن از مبدأ

یکسان است؟

(۴) از 0 تا $2/5$ ثانیه

(۳) $0/2$ تا $1/2$ ثانیه

(۲) $0/6$ تا 1 ثانیه

(۱) $0/5$ تا 1 ثانیه

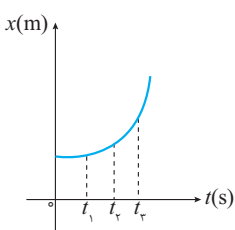
۵۴. نمودار مکان - زمان متحرکی سهمی و مطابق شکل است. سرعت متوسط متحرک در کدام بازه‌ی زمانی بیش‌تر است؟

(۱) t_1 تا t_2

(۲) t_3 تا t_1

(۳) t_3 تا t_2

(۴) بستگی به اندازه‌ی فاصله‌های زمانی دارد.



۵۵. کدام گزینه نادرست است؟

- (۱) در حرکت غیرمستقیم حرکت الزاماً شتابدار است.
- (۲) شتاب متوسط هم‌جهت با بردار تغییر سرعت است.
- (۳) در حرکت شتابدار برای آن‌که جهت سرعت عوض شود، الزاماً باید متحرک متوقف شود.
- (۴) ممکن است شتاب جسمی منفی باشد، ولی سرعت آن مثبت است.

۵۶. متحرکی بر روی خط $y = \frac{\sqrt{3}}{3}x + 5$ با سرعت $10 \frac{m}{s}$ حرکت می‌کند، این متحرک پس از ۲S چند متر جابه‌جا می‌شود؟

- (۱) $10\sqrt{3}$ (۲) ۲۰ (۳) ۱۰ (۴) ۴۰

۵۷. دو متحرک A و B هم‌زمان از شهر M روی مسیر مستقیم به ترتیب با سرعت‌های ثابت ۸۰ و ۶۰ کیلومتر بر ساعت به سمت شهر N که در فاصله‌ی ۱۲۰ کیلومتری M قرار دارد، حرکت می‌کنند. بیش‌ترین فاصله‌ی این دو متحرک چند کیلومتر است؟

- (۱) ۲۰ (۲) ۳۰ (۳) ۴۰ (۴) ۶۰

۵۸. معادله‌ی مکان متحرکی در SI، $x_t = -t^2 + 9t + 10$ است. مسافت طی شده در پنجمین ثانیه کدام است؟

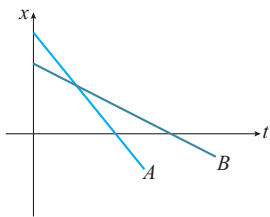
- (۱) $\frac{27}{5}$ (۲) $\frac{1}{2}$ (۳) صفر (۴) $\frac{51}{4}$

۵۹. معادله‌ی حرکت جسمی روی خط مستقیم به صورت $x = t^2 - 7t + 10$ است. در کدام لحظه زاویه‌ی بین بردار مکان و سرعت 180° است؟

- (۱) $1/2$ (۲) $2/1$ (۳) $3/3$ (۴) $5/3$

۶۰. دو متحرک A و B در مسیر مستقیم با سرعت ثابت $v_A = 10 \frac{m}{s}$ و $v_B = 54 \frac{km}{h}$ خلاف جهت هم و به سمت هم حرکت می‌کنند اگر فاصله‌ی دو متحرک ۱۵۰ متر باشد، حداکثر چند ثانیه بعد برای دومین بار فاصله‌ی دو متحرک به ۵۰ متر می‌رسد؟

- (۱) ۳ (۲) ۵ (۳) ۸ (۴) ۴



۶۱. با توجه به شکل مقابل، کدام یک از گزینه‌های زیر نادرست است؟

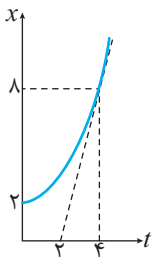
- (۱) سرعت متحرک B از A بیش‌تر است.
- (۲) فاصله‌ی دو متحرک ابتدا کم سپس زیاد می‌شود.
- (۳) زمانی که متحرک B به مبدأ می‌رسد، متحرک A در حال نزدیک شدن به مبدأ است.
- (۴) در بازه‌ی زمانی مساوی، جابه‌جایی A کم‌تر از B است.

۶۲. شخصی با سرعت $2 \frac{m}{s}$ در امتداد یک پله برقی قدم می‌زند، اگر سرعت پله برقی $1 \frac{m}{s}$ باشد، حداقل زمان لازم برای طی نمودن مسافت ۱۲ متر چند ثانیه است؟

- (۱) ۳ (۲) ۶ (۳) ۱۲ (۴) ۴

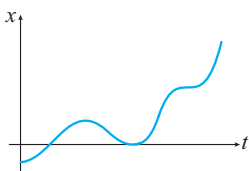
۶۳. معادله حرکت متحرکی در SI به صورت $x = \frac{1}{3}t^3 + \frac{1}{2}t^2 - 2t$ است. شتاب متوسط آن بین دو لحظه‌ی $t_1 = 2s$ و $t_2 = 3s$ برابر چند $\frac{m}{s^2}$ است؟

- (۱) ۱ (۲) ۳ (۳) ۶ (۴) ۴



۶۴. در شکل زیر سرعت لحظه‌ای $t = 4s$ چند برابر سرعت متوسط ۴ ثانیه اول است؟

- (۱) $\frac{4}{3}$ (۲) $\frac{8}{3}$ (۳) ۱ (۴) ۲

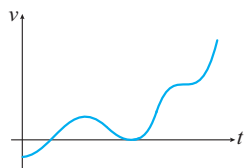


۶۵. در نمودار مکان - زمان شکل زیر بردار شتاب متحرک بار و نوع حرکت بار تغییر کرده است.

- (۱) ۵ - ۶ (۲) ۴ - ۶ (۳) ۵ - ۷ (۴) ۴ - ۷



۶۶. در نمودار سرعت - زمان شکل زیر بردار شتاب متحرک بار و نوع حرکت بار تغییر کرده است.



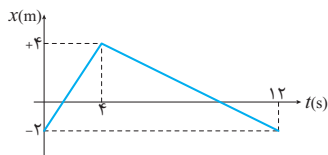
(۱) ۵ - ۲

(۲) ۴ - ۳

(۳) ۴ - ۲

(۴) ۵ - ۳

۶۷. با توجه به نمودار مکان - زمان شکل روبه‌رو، شتاب متوسط در ۳ ثانیه‌ی دوم چند متر بر مجذور ثانیه است؟



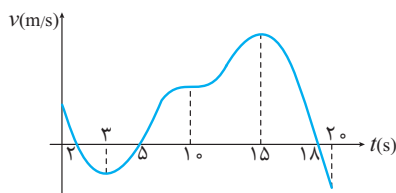
(۲) $-\frac{1}{4}$

(۱) $-\frac{1}{12}$

(۴) $-\frac{3}{4}$

(۳) $-\frac{3}{2}$

۶۸. متحرکی مطابق نمودار سرعت - زمان شکل مقابل حرکت کرده است. در ۲۰ ثانیه‌ی اول حرکت چند



ثانیه متحرک با حرکت کندشونده در خلاف جهت محور x حرکت کرده است؟

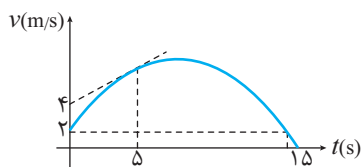
(۲) ۵

(۱) ۴

(۴) ۲

(۳) ۳

۶۹. با توجه به نمودار سرعت - زمان شکل زیر اگر شتاب در لحظه‌ی Δs ، $\frac{m}{s^2}$ باشد، شتاب متوسط



در بازه‌ی ۵ تا ۱۵ ثانیه چقدر است؟

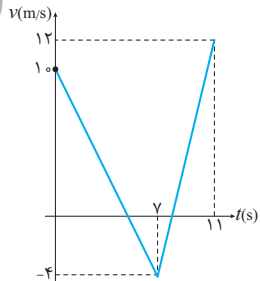
(۲) $-\frac{2}{5}$

(۱) $-\frac{3}{5}$

(۴) $-\frac{7}{10}$

(۳) $-\frac{4}{5}$

۷۰. با توجه به نمودار سرعت - زمان شکل مقابل شتاب حرکت جسم در ۴ ثانیه‌ی دوم چند متر بر مجذور



ثانیه است؟

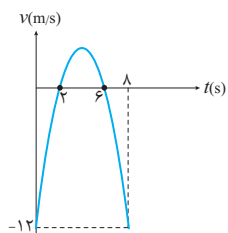
(۲) $\frac{3}{2}$

(۱) $\frac{3}{4}$

(۴) $\frac{7}{2}$

(۳) $\frac{5}{4}$

۷۱. نمودار سرعت - زمان شکل مقابل سهمی است. شتاب متوسط متحرک در بازه‌ای که حرکت کندشونده



ولی در جهت محور x است چند واحد SI است؟

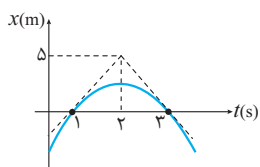
(۱) +۲

(۲) -۲

(۳) +۶

(۴) -۶

۷۲. با توجه به نمودار مکان - زمان شکل مقابل شتاب متوسط از ۱ تا ۳ ثانیه چند واحد SI است؟



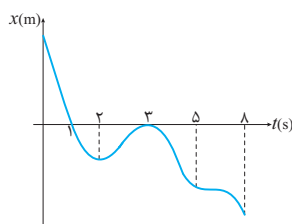
(۱) ۰

(۲) $-\frac{2}{5}$

(۳) -۵

(۴) -۱۰

۷۳. در نمودار مکان - زمان شکل زیر بردار مکان بار و بردار سرعت بار تغییر جهت



داده است.

(۲) ۳ - ۲

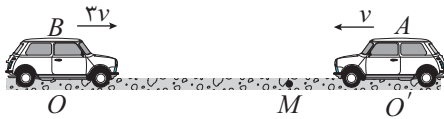
(۱) ۲ - ۱

(۴) ۱ - ۲

(۳) ۳ - ۱



۷۴. مطابق شکل دو متحرک با سرعت ثابت به طرف یکدیگر حرکت می‌کنند و t ثانیه بعد در M به هم می‌رسند. چند t بعد از شروع حرکت، متحرک A از M به O می‌رسد؟



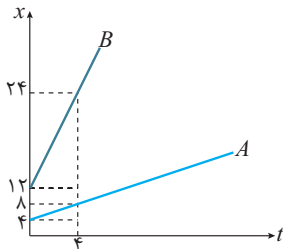
- (۱) ۱
(۲) ۲
(۳) ۳
(۴) ۴

۷۵. دو متحرک A و B با تندی‌های v_A و v_B در مسیری مستقیم به سمت هم حرکت می‌کنند. در مبدأ زمان فاصله‌ی آن‌ها d باشد و پس از t ثانیه به یکدیگر می‌رسند. سپس، پس از گذشت $\frac{2}{3}t$ متحرک تندتر، به محل اولیه متحرک دیگر برسد. اگر $v_B > v_A$ باشد، نسبت $\frac{v_B}{v_A}$ کدام است؟

- (۱) ۲
(۲) ۱
(۳) $\frac{3}{2}$
(۴) $\frac{4}{3}$

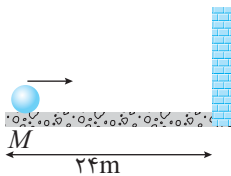
۷۶. عرض رودخانه‌ای d و سرعت آب آن (v) است. شخصی می‌خواهد با سرعت (v') پارو بزند و با کم‌ترین جابه‌جایی خود را به طرف دیگر برساند، در این صورت زمان کدام است؟

- (۱) $\frac{d}{\sqrt{v'^2 - v^2}}$
(۲) $\frac{d}{v'}$
(۳) $\frac{d}{\sqrt{v^2 + v'^2}}$
(۴) $\frac{d}{v + v'}$



۷۷. با توجه به نمودار مکان- زمان دو متحرک A و B در شکل مقابل، پس از چند ثانیه از لحظه‌ی $t = 0$ ، فاصله‌ی دو متحرک ۲۰ متر می‌شود؟

- (۱) ۵
(۲) ۶
(۳) ۸
(۴) ۷



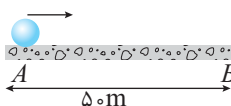
۷۸. دو گلوله‌ی A و B با سرعت ثابت از نقطه‌ی M مطابق شکل با سرعت‌های ثابت $\frac{6}{5}m/s$ و $\frac{4}{5}m/s$ به سمت دیواری در حال حرکت‌اند. اگر گلوله‌ای به دیوار برخورد کند، دقیقاً با همان سرعت برمی‌گردد. محل اولین ملاقات دو گلوله در زمانی که از کنار یکدیگر عبور می‌کنند تا نقطه‌ی شروع حرکت چند متر است؟

- (۱) ۱۶/۸
(۲) ۱۷/۲
(۳) ۱۷/۶
(۴) ۱۹/۲

۷۹. قطاری به طول $2L$ با سرعت ثابت v در حرکت است. در لحظه‌ی $t = 0$ به پلی به طول L می‌رسد. t ثانیه طول می‌کشد تا تمام قطار به طور کامل از پل عبور کند. چند t بعد از $t = 0$ وسط قطار به وسط پل می‌رسد؟

- (۱) $\frac{3}{2}$
(۲) $\frac{1}{2}$
(۳) $\frac{4}{3}$
(۴) $\frac{2}{3}$

۸۰. گلوله‌ای در لحظه‌ی $t = 0$ از نقطه‌ی A با تندی ثابت $\frac{5}{3}m/s$ به سمت B حرکت کرده و با همان تندی برمی‌گردد و این حرکت را به طور پیوسته ادامه می‌دهد. گلوله‌ی (۲) در لحظه‌ی $t = 0$ از همان نقطه‌ی A با تندی ثابت $\frac{2}{5}m/s$ به سمت B حرکت می‌کند و پس از رسیدن به آن متوقف می‌شود. گلوله‌ی (۱) در حین حرکت گلوله‌ی (۲) چند بار از کنار آن می‌گذرد؟

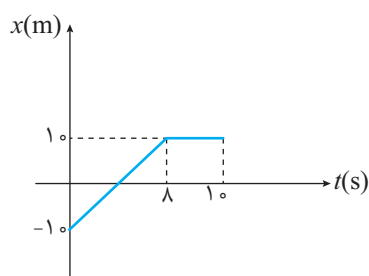


- (۱) ۵
(۲) ۶
(۳) ۷
(۴) ۸

۸۱. عرض رودخانه‌ای (d) و سرعت آب (v) است شخص می‌خواهد پارو زنان عرض رودخانه را در کم‌ترین زمان طی می‌کند. در این صورت جابه‌جایی قایق کدام است؟ (سرعت قایق نسبت به آب ساکن v' فرض شود)

- (۱) $\frac{v'^2}{v^2} \cdot d$
(۲) $\frac{v^2}{v'^2} \cdot d$
(۳) $\frac{\sqrt{v^2 + v'^2} \cdot d}{v}$
(۴) $\frac{\sqrt{v^2 + v'^2} \cdot d}{v'}$





۸۲. با توجه به نمودار مکان - زمان مقابل کدام گزینه درست است؟

(۱) سرعت متوسط در ۱۰ ثانیه اول $2 \frac{m}{s}$ است.

(۲) متحرک به مدت ۶s از مبدأ دور می شود.

(۳) در لحظه $t = 4$ متحرک ساکن است.

(۴) جابه جایی تا توقف با مسافت طی شده تا توقف برابر نیست.

۸۳. دو متحرک A و B با سرعت های ثابت v_A و v_B روی مسیر مستقیم هم زمان شروع به حرکت می کنند. اگر x_A و x_B مکان های دو متحرک در

$t = 0$ باشند، در کدام یک از موارد زیر الزاماً دو متحرک به یکدیگر برخورد خواهند داشت؟

(۱) $x_A > x_B$ و $v_A v_B > 0$

(۲) $x_B x_A < 0$ و $v_A v_B > 0$

(۳) $x_A > x_B$ و $v_A v_B < 0$

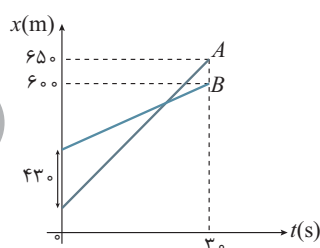
(۴) $x_B v_B < 0$ و $x_A v_A < 0$ و $v_A v_B < 0$

پرسش های ترکیب سطوح

۸۴. معادله ی حرکت متحرکی بر مسیر مستقیم در SI به صورت $x = \frac{t^3}{3} + t^2 + 3t$ است. شتاب متوسط متحرک در بازه های زمانی ۱ تا ۳ ثانیه چند

متر بر مجذور ثانیه است؟

(۱) ۶ (۲) ۳ (۳) ۸ (۴) ۴



۸۵. نمودار مکان - زمان دو متحرک A و B به صورت شکل مقابل است. سرعت متحرک A چند متر بر ثانیه

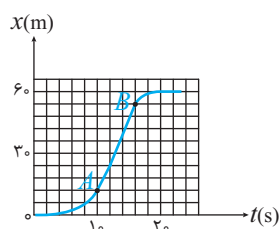
بیش تر از سرعت متحرک B است؟

(۱) ۱۲

(۲) ۱۲/۶

(۳) ۱۶

(۴) ۱۶/۳



۸۶. شکل زیر، نمودار مکان - زمان متحرکی است که در مسیر مستقیم حرکت کرده است. بیشینه ی

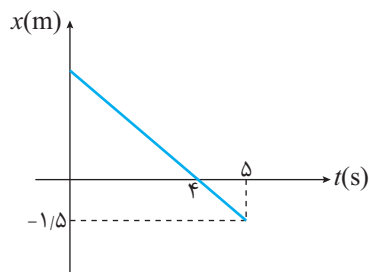
سرعت آن چند متر بر ثانیه است؟

(۱) ۳

(۲) ۵

(۳) ۷

(۴) ۹



۸۷. نمودار مکان - زمان حرکت ذره ای روی محور x ها به صورت مقابل است. معادله ی مکان - زمان حرکت

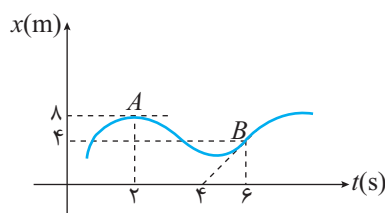
آن در SI کدام گزینه است؟

(۱) $x = \frac{2}{3}t + 6$

(۲) $x = \frac{3}{2}t + 6$

(۳) $x = -\frac{2}{3}t + 6$

(۴) $x = -\frac{3}{2}t + 6$



۸۸. در شکل مقابل شتاب متوسط در فاصله ی زمانی A تا B چند برابر سرعت متوسط در این فاصله است؟

(۱) $-\frac{1}{2}$ (۲) $-\frac{2}{3}$

(۳) -1 (۴) $+\frac{2}{3}$





۸۹. دو متحرک A و B که با فاصله‌ی ۱۰۰ متری یکدیگر قرار دارند، به سمت هم با سرعت‌های ۲ و ۶ متر بر ثانیه شروع به حرکت می‌کنند. در لحظه‌ای که این دو متحرک برای دومین بار به ۶۰ متری از یکدیگر می‌رسند، مسافت طی شده متحرک A چند متر بیش‌تر از B خواهد بود؟

- (۱) ۴۰ (۲) ۶۰ (۳) ۸۰ (۴) ۱۶۰

۹۰. متحرکی با سرعت ثابت $۶۰ \frac{m}{s}$ از نقطه‌ی A روی مسیر مستقیم به نقطه‌ی B رفته و با سرعت ثابت $۱۲۰ \frac{m}{s}$ ، $\frac{1}{3}$ مسیر را بازمی‌گردد. سرعت متوسط متحرک در کل مسیر حرکت چند متر بر ثانیه خواهد بود؟

- (۱) ۸۰ (۲) ۹۰ (۳) ۴۸ (۴) $\frac{۲۴۰}{۷}$

۹۱. دو قطار A و B به طول ۱۰۰ متر در فاصله‌ی ۳۰۰ متر از هم قرار دارند در مسیری مستقیم و با سرعت‌های ثابت $v_A = ۱۰۸ \frac{km}{h}$ و $v_B = ۷۲ \frac{km}{h}$ به طرف هم نزدیک می‌شوند. چند ثانیه بعد، فاصله‌ی آن‌ها ۱۰۰ متر می‌شود؟

- (۱) ۴ (۲) ۱۲ (۳) ۳۰ (۴) گزینه ۱ و ۲

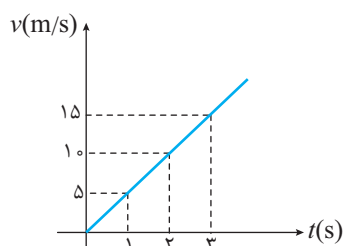
۹۲. اتومبیل A با سرعت ثابت از نقطه‌ی M روی خط مستقیم به سمت مقصد N که در فاصله‌ی ۶۰ کیلومتری آن قرار دارد حرکت می‌کند. اتومبیل B که از A ، ۱۵ کیلومتر عقب‌تر است، نیم ساعت دیرتر شروع به حرکت کرده ولی یک ساعت زودتر به مقصد می‌رسد. اگر سرعت اتومبیل B ، $۱۵۰ \frac{km}{h}$ باشد، سرعت اتومبیل A چند $\frac{km}{h}$ است؟

- (۱) ۳۰ (۲) ۴۵ (۳) ۶۰ (۴) ۹۰

۹۳. دو متحرک با سرعت‌های v_1 و v_2 در یک امتداد با فاصله‌ی ۲۰۰ متر حرکت می‌کنند. حداقل زمان رسیدن آن‌ها $\frac{T}{۴}$ و حداکثر T است. حداقل مقدار v_2 کدام است؟

- (۱) $\frac{۴۰۰}{T}$ (۲) $\frac{۱۰۰}{T}$ (۳) $\frac{۲۰۰}{T}$ (۴) $\frac{۳۰۰}{T}$

بخش سوم: حرکت شتاب ثابت (معادله‌ها و نمودارها)



اتومبیلی را در نظر بگیریم که نمودار سرعت لحظه‌ای (سرعت) برحسب زمان آن مطابق شکل مقابل باشد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، در هر ثانیه سرعت اتومبیل به اندازه‌ی $5 \frac{m}{s}$ افزایش می‌یابد:

$$0 \rightarrow 5 \frac{m}{s} \rightarrow 10 \frac{m}{s} \rightarrow 15 \frac{m}{s} \rightarrow 20 \frac{m}{s} \rightarrow \dots$$

یعنی تغییرات سرعت در هر ثانیه (واحد زمان) برابر $5 \frac{m}{s}$ است. بنابراین شتاب این حرکت ثابت و مقدار آن

طبق رابطه‌ی شتاب $5 \frac{m}{s^2}$ است.

اگر شتاب لحظه‌ای این حرکت را بررسی کنیم، به همین مقدار $5 \frac{m}{s^2}$ می‌رسیم. زیرا شیب نمودار $V-t$ در هر بازه زمانی دلخواه با شیب نمودار در هر

$$a_{av} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{10-0}{2} = 5 \frac{m}{s^2} \text{ در ۲ ثانیه‌ی اول و } a_{av} = \frac{15-0}{3} = 5 \frac{m}{s^2} \text{ در ۳ ثانیه‌ی اول}$$

لحظه برابر است. (شیب خط مماس بر یک خط راست همواره مقدار ثابتی دارد)

هر حرکت روی خط مستقیم که در لحظه‌های مختلف شتاب یکسان داشته باشد را حرکت شتاب ثابت می‌نامیم. در حرکت شتاب ثابت روابط زیر برقرار است:

۱) زمان - شتاب: $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v - v_0}{t - t_0} = \frac{v - v_0}{t} \Rightarrow \boxed{a = \frac{v - v_0}{t}}$

۲) سرعت - زمان: $a = \frac{v - v_0}{t} \Rightarrow \boxed{v = at + v_0}$

۳) معادله‌ی سرعت متوسط: $v_{av} = \frac{v + v_0}{2}$

از آن‌جا که سرعت برحسب زمان یک تابع خطی است، یعنی تغییرات سرعت در بازه‌های یکسان، هم اندازه است، می‌توان نتیجه گرفت سرعت متوسط بین دو لحظه با میانگین سرعت بین این دو لحظه برابر است.

$$\bar{v} = \frac{v_{t_1} + v_{t_2}}{2}$$

فرض کنیم، متحرکی با شتاب ثابت $4 \frac{m}{s^2}$ از حال سکون در مسیر مستقیم شروع به حرکت می‌کند. در پایان لحظه‌ی $t = 5 \text{ s}$ سرعت به $20 \frac{m}{s}$ می‌رسد.

$$0 \rightarrow 4 \rightarrow 8 \rightarrow 12 \rightarrow 16 \rightarrow 20$$

$$\bar{v} = \frac{0 + 4 + 8 + 12 + 16 + 20}{6} = 10 \frac{m}{s}$$

می‌توانیم از سرعت متوسط که همان میانگین سرعت در این بازه است، استفاده کنیم.

$$\bar{v} = \frac{0 + 20}{2} = 10 \frac{m}{s}$$

برای سادگی می‌توان میانگین سرعت ابتدا و انتهای بازه‌ی زمانی را محاسبه نمود که همان نتیجه را خواهد داشت:

۴) مکان - زمان: $v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \Rightarrow \left(\frac{v + v_0}{2}\right)(t) = \Delta x \xrightarrow{v=at+v_0} \Delta x = \left(\frac{at + v_0 + v_0}{2}\right)(t) \Rightarrow \Delta x = \frac{1}{2}at^2 + v_0t$

$$x - x_0 = \frac{1}{2}at^2 + v_0t \Rightarrow \boxed{x = \frac{1}{2}at^2 + v_0t + x_0}$$

بنابراین برای معادله مکان برحسب زمان خواهیم داشت:

۵) معادله‌ی مستقل از زمان، رابطه بین سرعت و شتاب و جابه‌جایی: $\boxed{v^2 - v_0^2 = 2a\Delta x}$

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

نمودار مکان-زمان

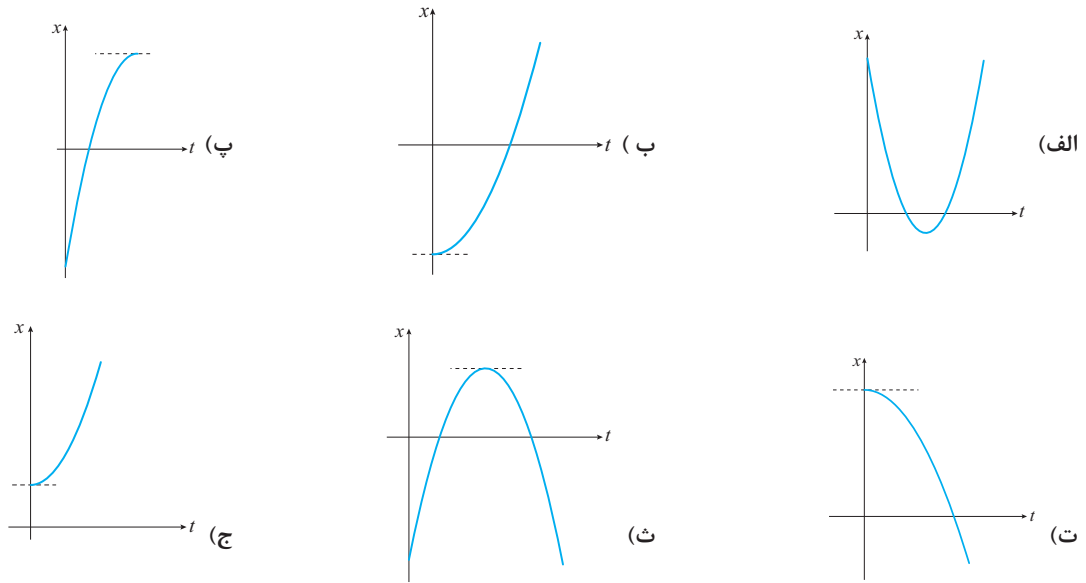
معادله‌ی مکان برحسب زمان درجه ۲ است بنابراین نمودار آن یک سهمی است.

اگر در معادله $x = \frac{1}{2}at^2 + v_0t + x_0$ ضریب t^2 مثبت باشد، سهمی دارای کمینه و اگر منفی باشد، سهمی دارای بیشینه است. شیب اولیه‌ی نمودار $x-t$ سرعت اولیه است.





مثال ۴۸. با توجه به نمودارهای مکان زمان علامت x_0 و a و v_0 را در هر سهمی معلوم کنید.



پاسخ:

کمیت	نمودار	الف	ب	پ	ت	ث	ج
(مکان اولیه) x_0		$x_0 > 0$	$x_0 < 0$	$x_0 < 0$	$x_0 > 0$	$x_0 < 0$	$x_0 > 0$
(سرعت اولیه) v_0		$v_0 < 0$	$v_0 = 0$	$v_0 > 0$	$v_0 = 0$	$v_0 > 0$	$v_0 = 0$
(جهت تقعر) a		$a > 0$	$a > 0$	$a < 0$	$a < 0$	$a < 0$	$a > 0$

نمودار شتاب - زمان

از آن جا که در حرکت شتاب ثابت مقدار شتاب در کل مسیر بدون تغییر است. بنابراین نمودار شتاب - زمان خطی مستقیم با شیب (تغییرات نسبت به زمان) صفر است.

