



دکتر ابوالقاسم قلم‌سیاه

در سال ۱۲۹۹ هجری شمسی در یک خانواده یزدی مقیم کرمان زاده شد. در پنج سالگی وارد مکتب‌خانه شد و گلستان سعدی را آموخت. دوره تحصیلات ابتدایی و متوسطه را در کرمان گذراند. سپس وارد دانشسرای مقدماتی شد و با رتبه شاگرد اولی در سال ۱۳۱۸ برای ادامه تحصیل به دانشسرای عالی تهران رفت. در سال ۱۳۲۲ از این دانشسرا فارغ‌التحصیل شد و به تدریس فیزیک در شهر یزد مشغول شد. در سال ۱۳۲۹ برای ادامه تحصیل به فرانسه رفت و پس از سه سال دکترای علوم فیزیک را اخذ کرد. مرکز اتمی فرانسه به او پیشنهاد شغل با حقوق بسیار بالا کرد اما او نپذیرفت و برای خدمت به کشورش و ادای دین به ایران بازگشت. در سال ۱۳۴۲ در مرکز اتمی دانشگاه تهران مشغول به کار و تدریس شد. ایشان در طول مدت فعالیت‌های علمی در سه زمینه آموزش، پژوهش و تألیف کتاب‌های علمی خدمات شایانی را به جامعه ارائه کرده است. بسیاری از استادان و دبیران با تجربه از دانشجویان دکتر ابوالقاسم قلم‌سیاه بوده‌اند. ایشان در مصاحبه‌ای فرموده‌اند: «پیام من به جوانان این است که موفقیت در سایه سعی و تلاش و سخت‌کوشی همراه با برنامه منظم به دست می‌آید. جوان‌ها باید ببینند چرا مردم ژاپن یا آلمان در جهان امروز موفق‌اند؟ زندگی مردمان این سرزمین‌ها سراسر تلاش و کوشش است. برخی ژاپنی‌ها بیش از ساعت موظف و بدون تقاضای اضافه حقوق، کار می‌کنند. جوانان ما باید مطمئن باشند که مردم به افرادی که به آن‌ها خدمت می‌کنند، رو می‌آورند.»

دکتر ابوالقاسم قلم‌سیاه مؤلف بسیاری از کتاب‌ها و مقاله‌های ارزشمند در زمینه‌های آموزشی و پژوهشی بودند. کتاب مکانیک سال چهارم رشته ریاضی-فیزیک، نمونه‌ای از ۸ جلد کتاب‌های درسی و آثار بسیار پر محتوا و اثربخش ایشان در نظام آموزش و پرورش ایران بوده است.

ایشان تا آخرین روزهای زندگی پربار خود (در سن ۹۰ سالگی) به تألیف، ترجمه و ویرایش مشغول بودند.

مقدمه

سلام به بچه‌های خوب کنکوری تجربی... البته بهتره بگیم سلام به پزشک‌ها، دندان‌پزشک‌ها، داروسازها و پرستارهای آینده... اول از همه یه دمت گرم به شما که این کتاب رو انتخاب کردی و یه خدا قوت هم از همین حالا بهت می‌گیم که کلی برای آماده شدن برای کنکور قراره تلاش کنی و با این کتاب می‌خواهی فیزیک رو بترکونی. ما برای اینکه این کتاب به شکل الانش دربیاد خیلی تلاش کردیم و میتونی مطمئن باشی از صفر تا صد مطالب توی این کتاب پوشش داده شده. میگی چطوری؟ بیا که کلی حرف داریم باهات.

روزی روزگاری، تابستان ۹۷ – انتشارات مهروماه

یادش بخیر، اون موقع‌ها کتاب‌ها تغییر کرده بود و همه داشتن تلاش میکردن کتاب‌های کمک درسی رو به موقع به دست دانش‌آموزا برسونن. ما از همون موقع علاوه بر اینکه دوس داشتیم شما هر چه زودتر کتاب به دستتون برسه، تو فکر این بودیم که چیکار میشه کرد که یک کتاب بنویسیم که همه دانش‌آموزا توی هر مدرسه‌ای با هر جزوه و معلمی بتونن ازش استفاده کنن و از همه مهمتر چجوری به کتاب میتونه کتاب اول و آخر باشه... خب الان یعنی تابستون ۱۴۰۰، بالاخره افتاد اون اتفاقی که باید میفتاد. طی این سال‌ها همواره سطح کتاب رو ارتقاء دادیم اما این کتابی که میبینید بین خودمون صدایش می‌کنیم «بازنویسی شده». این یعنی هر کاری که باید می‌کردیم رو انجام دادیم؛ یعنی دیگه آخرشه! ترکیب رو تغییر دادیم و کامبک زدیم. خلاصه که سطح هر چی که هست داری به یه درصد خوب تو فیزیک فکر میکنی. درسته؟ حله، اون با ما.

ساختار کتاب جامع فیزیک دوازدهم

این کتاب از بخش‌های زیر تشکیل می‌شود:

- **درسنامه:** آموزش تمامی مطالب رو همراه با مثال‌های متنوع در این بخش براتون در قالب ایستگاه‌های آموزشی آوردیم. یک بخش کامل که نه تنها کتاب درسی رو کامل پوشش میده، بلکه با نکته‌ها و مثال‌هایی که داره شما رو برای حل تست‌ها آماده می‌کنه.
- **پرسش‌های چهارگزینه‌ای:** بعد از هر ایستگاه درسنامه، تست‌های مربوط به اون ایستگاه با تنوع زیاد و سطوح متفاوت در این بخش اومدن.
- **آزمون‌های مبحثی:** بعد از خوندن چنتا ایستگاه و حل تست‌هاش، باید به آزمونی از خودتون بگیرید که ببینید چند چندی؟ آزمون‌های مبحثی برای همین داستان طراحی شدن. ضمناً برای جمع‌بندی چیزهایی که یاد گرفتید قبل از آزمون‌های آزمایشی هم عالین.
- **هایپر تست:** تقریباً آخرای هر فصل یه تعداد تست اومده که هدف از طرح اون‌ها به چالش کشیدن دانش‌آموزای خاصه.
- **فصل در یک نگاه:** همون طور که از اسمش معلومه، خلاصه مطالب فصل توی یک یا دو صفحه اومده تا بتونید با یک نگاه مطالبی که یاد گرفتید رو مرور کنید.
- **آزمون جامع:** آزمون کلی و استاندارد برای هر فصل که عیار شما رو مشخص می‌کنه.
- **هایپرآزمون جامع فصل:** با همون ویژگی‌های آزمون جامع اما یه خورده فیتیله رو کشیدیم بالا تا برای درصدهای بالاتر هم خودتونو محک بزنید.

ویژگی‌های کتاب جامع فیزیک دوازدهم

- **جامع مته کتاب فیزیک دوازدهم مهروماه:** هرچیزی که برای یادگیری و تست زدن و خلاصه برای کسب یه درصد خوب تو کنکور نیاز دارید، توی این کتاب هست. از درسنامه و مثال و تست گرفته تا آزمون‌های مبحثی و جامع و حتی سوالات سطح بالاتر برای دانش‌آموزایی که به درصد ۱۰۰ فکر میکنن.
- **درسنامه‌های کاملاً دسته‌بندی شده:** همه مطالبی که بهشون نیاز دارید با دقت تمام دسته‌بندی شدن و با کلی مثال آموزشی خوب سعی کردیم برای زدن تست‌ها آمادتون کنیم. ویژگی اصلی درسنامه‌ها در کنار پوشش همه مطالب با یک روند خفن، جمع‌بندی مطالب در قالب جدول و شکل‌هایی که کلی با سلیقه براتون آمادشون کردیم تا زود به زود بتونید مطالبو جمع و جور کنید.

● **تست‌های طبقه‌بندی شده:** تست‌ها با وسواس زیاد از ساده به سخت چیده شدن. تنوع زیاده، خیلی زیاد. همه مدل تستی هم توش پیدا می‌کنید: آموزشی، حفظی، کنکوری، تست‌های آزمون‌های آزمایشی و تست‌های تالیفی خلاقانه برای هر سطح دانش‌آموزی؛ که البته همگی استاندارد هستن! دو تا مسئله رو خوب رعایت کردیم. ۱- تعداد تست‌ها منطقی باشه تا وقتتون که مهمترین دارایی شماست تلف نشه ۲- تست‌هایی با ایده‌ها و سبک و سیاق‌های تکراری نداشته باشیم و از همه مهمتر منطبق با کتاب درسی جدید و در چارچوب کنکور باشه.

● **خلاصه هر فصل:** کل نکته‌ها و فرمول‌های مهم فصل رو با یه نظم خاص و البته شکل و شمایل واقعا جذاب براتون نهایتا توی دو صفحه، آخرای فصل قبل از آزمون جامع آوردیم تا هر وقت خواستید فصلی رو جمع‌بندی کنید یه سر به این بخش بزنید. سر بزنید واقعا! پشیمون نمیشید...

● **آزمون‌های جامع دوسطی:** حتما تا حالا شده که بعد از خوندن خلاصه‌ی فصل بخواید با یه سری تست دوره خودتونو کامل کنید. آخر هر فصل دو تا آزمون جامع، که دومیش سختتره، براتون گذاشتیم که خیالتون از این بابت هم راحت بشه

چگونه از این کتاب استفاده کنیم؟

پیشنهاد می‌کنیم این روش رو استفاده کنید:

- ۱ ایستگاه‌های آموزشی رو خوب مطالعه کنید و مثال‌هاش رو حل کنید تا به تسلط برسید.
 - ۲ تست‌های هر ایستگاه رو به ترتیب حل کنید و حتما پیشنهاد می‌کنیم از جلد پاسخ‌نامه که روش‌های کاملا تشریحی و خوبی داره برای یادگیری بیشتر استفاده کنید.
 - ۳ هر چند تا مبحثی که پیشروی می‌کنید، یه آزمون مبحثی هست که میتونید برای تثبیت مطالبی که یادگرفتید از شون استفاده کنید.
 - ۴ به دانش‌آموزایی که به کسب درصد ۱۰۰ توی فیزیک فکر میکنن پیشنهاد میکنیم از هاپیرتست‌ها غافل نشن!
 - ۵ هر وقت خواستید فصل رو دوره کنید یه سر به بخش «فصل در یک نگاه» بزنید و بعدش برید سراغ آزمون‌های جامعی که با دو سطح براتون آخر هر فصل گذاشتیم.
- برای اینکه احساس قدرتی که بعد از انجام این کارها دارید تقویت بشه، پیشنهاد می‌کنیم از سایر کتاب‌ها نیز در کنار این کتاب استفاده کنید.



لقمه طلایی مرور سریع فیزیک کنکور



جمع‌بندی فیزیک (ریاضی، تجربی)



آزمون پلاس فیزیک

سخنی با همکاران و اساتید گرامی

خیلی خوشحالیم از اینکه کتاب ما را به عنوان منبع کمکی کلاس خود انتخاب کرده اید. این کتاب برای همه دانش‌آموزان با هر سطحی تالیف شده و از این بابت به شما اطمینان می‌دهیم که چالشی در استفاده از کتاب پیش روی آن‌ها نخواهد بود.

شما می‌توانید متناسب با سطح کلاس و دانش‌آموزان تست‌هایی را انتخاب و به عنوان تکلیف به دانش‌آموزان بدهید. ضمنا در جلد پاسخ‌های تشریحی کاملی ارائه شده‌اند که مطالعه آن‌ها به دانش‌آموز برای تثبیت مطالب و یادگیری روش‌های مختلف حل تست قطعا کمک خواهد کرد.

از شما استادان عزیز درخواست میکنیم این مجموعه را از نقدهای خود محروم نکنید. لذا خواهشمند است نظرات ارزشمند خود را با روابط عمومی انتشارات مهرماه در میان بگذارید.

قدردانی

◀ جناب آقای احمد اختیاری مدیر فرزانه انتشارات و آقای استاد محمدحسین انوشه مدیر شورای تألیف که همواره حامی و راهنمای ما بوده‌اند.

◀ اساتید برجسته فیزیک کشور آقایان رامین بدیعی، علیرضا یارمحمدی، رامین شادلویی، هومن باستی و آبتین عابد که در زمینه نظارت و ویرایش علمی و همین‌طور کارشناسی و ارزیابی محتوای کتاب سنگ تمام گذاشتند.

◀ مدیران و مسئولین دلسوز مهروماه که بدون زحمات آن‌ها، کتاب به ثمر نمی‌نشست؛ آقای حسن امین‌ناصری (مدیر اجرایی انتشارات)، آقای عباس گودرزی (مدیر فروش) و آقای امیر انوشه (مدیر سایت و روابط عمومی)

◀ مسئولین شایسته واحدهای تولید، هنری و ویراستاری: خانم مریم تاجداری (مدیر تولید)، آقای میلاد صفایی (مدیر فنی)، آقای محسن فرهادی (مدیر هنری)، خانم کبری ملکی (مدیر واحد ویراستاری) و نیروهای زحمتکش همه این واحدها

◀ خانم بهاره اسداللهی مسئول ویراستاری دپارتمان فیزیک که همراه با نیروهای توانمندشان در ویرایش علمی کتاب بسیار خوش درخشیدند. لازم می‌دانیم که در این رابطه از ویراستاران علمی قدرتمند فیزیک آقایان بابک اسلامی و منصور داودوندی تقدیر ویژه به عمل آوریم.

◀ خانم زهرا غیاثوند مسئول هماهنگی واحد تألیف که همواره ما را همراهی کردند.

◀ کانون فرهنگی آموزش (قلم‌چی) که مجوز ارائه تست‌های باکیفیت کانون را در کتاب‌های مهروماه اعطا نمودند.

مؤلفان کتاب

فهرست

۷

فصل ۱: حرکت بر خط راست



۱۲۱

فصل ۲: دینامیک



۲۰۷

فصل ۳: نوسان و امواج



۳۶۳

فصل ۴: آشنایی با فیزیک اتمی و هسته‌ای



۴۱۹

پیوست: سؤالات کنکور ۱۴۰۰

۴۲۷

پاسخ‌نامه کلیدی

ایستگاه ۱: مسافت و جابه‌جایی

مسافت

به طول مسیری که یک متحرک طی می‌کند، مسافت پیموده‌شده یا به اختصار مسافت گفته می‌شود. مسافت را با نماد ℓ نشان می‌دهیم.

جابه‌جایی

به پاره‌خط جهت‌داری که مکان اولیه متحرک را به مکان نهایی آن متحرک وصل می‌کند، بردار جابه‌جایی گفته می‌شود. بردار جابه‌جایی را با نماد \vec{d} و اندازه جابه‌جایی را با نماد d نشان می‌دهیم.

به عنوان مثال، مطابق شکل مقابل دنده‌ای را در نظر بگیرید که پس از پیمودن یک مسیر منحنی شکل (مسیر خط‌چین) از نقطه (۱) به نقطه (۲) رسیده است. مسافت طی‌شده توسط دنده در طی این حرکت برابر با طول مسیر خط‌چین از نقطه (۱) تا (۲) می‌شود و همان‌طور که مشاهده می‌کنید بردار جابه‌جایی نیز برداری است که ابتدای مسیر (نقطه (۱)) را به انتهای مسیر (نقطه (۲)) وصل می‌کند.

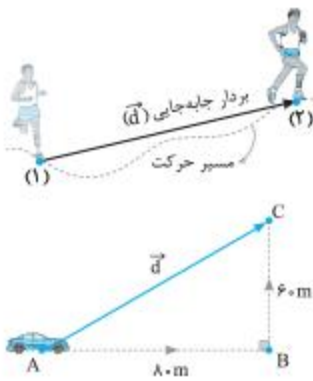
به عنوان یک مثال عددی، اتومبیلی را در نظر بگیرید که مطابق شکل مقابل از نقطه A شروع به حرکت می‌کند و پس از طی کردن مسیرهای AB و BC در نقطه C متوقف می‌شود. طبق تعریف، مسافت پیموده شده برابر است با:

$$\ell = 80 + 60 = 140 \text{ m}$$

$$d = \sqrt{80^2 + 60^2} = 100 \text{ m}$$

همچنین اندازه جابه‌جایی را به کمک قضیه فیثاغورس می‌توانیم محاسبه کنیم:

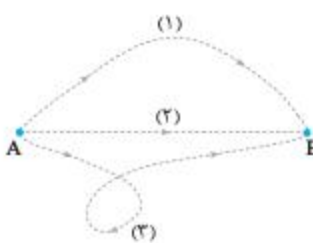
نکات مربوط به مسافت و جابه‌جایی:



۱ هر دو کمیت از جنس طول هستند و یکای آن‌ها در SI، متر (m) است.

۲ اگر متحرک پس از طی مسیری در نهایت به نقطه شروع حرکت بازگردد (یعنی نقاط اول و آخر مسیر یکی باشد)، جابه‌جایی صفر است. دقت کنید که مسافت برابر با طول مسیر پیموده‌شده و مخالف صفر است. به عنوان مثال وقتی اتومبیلی یک دور کامل دور میدانی می‌چرخد، جابه‌جایی آن برابر با صفر و مسافت طی شده توسط آن برابر با محیط میدان است.

۳ مسافت کمیتی نرده‌ای است و جهت ندارد؛ اما جابه‌جایی کمیتی برداری است که هم اندازه و هم جهت دارد.



۴ مسافت به مسیر حرکت بستگی دارد؛ اما جابه‌جایی مستقل از مسیر حرکت بوده و فقط به نقاط ابتدا و انتهای حرکت بستگی دارد. به عنوان مثال وقتی متحرکی مانند شکل مقابل از سه مسیر مختلف از نقطه A به نقطه B می‌رسد، مسافت‌های طی‌شده در این مسیرها می‌توانند متفاوت از هم بوده و هر مقداری داشته باشند؛ اما جابه‌جایی در تمام مسیرها یکسان و برابر با برداری است که نقطه A را به نقطه B وصل می‌کند.

۵ اندازه جابه‌جایی برابر با کوتاه‌ترین مسیر ممکن بین دو نقطه است. (خیلی واضح که کوتاه‌ترین مسیر ممکن، خط مستقیمیه که اول و آخر مسیر رو به هم وصل می‌کنه) به بیان دیگر اندازه جابه‌جایی متحرک همیشه کوچک‌تر یا مساوی مسافت طی‌شده توسط آن است؛ یعنی: $d \leq \ell$

۶ اندازه جابه‌جایی متحرک و مسافت طی‌شده توسط آن فقط در صورتی با هم برابر می‌شوند که حتماً متحرک روی خط راست و در یک جهت ثابت حرکت کند. به بیان دیگر اگر جهت حرکت متحرک ثابت باشد، حتماً حرکت روی خط راست است و مسافت و جابه‌جایی هم‌اندازه‌اند.

۱ تست: اتومبیلی وارد یک میدان می‌شود و پس از نیم‌دور چرخش دور میدان، از آن خارج می‌شود. از لحظه ورود اتومبیل به میدان تا لحظه خروج آن از میدان، مسافت طی‌شده چند برابر اندازه جابه‌جایی است؟

$\frac{\pi}{4}$ (۴)

$\frac{\pi}{2}$ (۳)

π (۲)

۱ (۱)

پاسخ: گزینه ۳

شعاع مسیر چرخش اتومبیل را R فرض کرده و شکل مقابل را رسم می‌کنیم. مسافت طی‌شده برابر با نصف محیط دایره است:



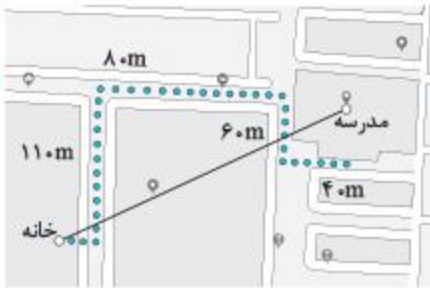
$$\ell = \frac{1}{2}(\text{محیط}) = \frac{1}{2}(2\pi R) = \pi R$$

جابه‌جایی پاره‌خطی است که مکان اولیه اتومبیل را به مکان ثانویه آن وصل می‌کند. مشخص است که اندازه جابه‌جایی برابر با قطر دایره است:

$$d = \text{قطر} = 2R$$

$$\frac{\text{مسافت}}{\text{جابه‌جایی}} = \frac{\ell}{d} = \frac{\pi R}{2R} = \frac{\pi}{2}$$

حالا پاسخ نهایی تست را محاسبه می‌کنیم:



۴. شکل روبه‌رو مسیر حرکت یک دانش‌آموز از مدرسه تا خانه‌اش را در نرم‌افزار google map نشان می‌دهد. مسافت طی شده توسط دانش‌آموز و اندازه جابه‌جایی آن در طی این حرکت، به ترتیب از راست به چپ چند متر است؟

- (۱) ۱۰۰، ۲۵۰
- (۲) ۱۳۰، ۲۵۰
- (۳) ۱۰۰، ۲۹۰
- (۴) ۱۳۰، ۲۹۰

۵. شخصی در حال پیاده‌روی در یک مسیر مستقیم است. این شخص از نقطه A شروع به حرکت کرده و پس از طی ۵۰m به نقطه B می‌رسد و متوقف می‌شود، سپس تغییر جهت داده و ۲۰m به طرف A حرکت می‌کند و در نقطه C متوقف می‌شود. مسافت طی شده و اندازه جابه‌جایی شخص در کل این حرکت به ترتیب از راست به چپ، چند متر است؟

- (۱) ۳۰، ۷۰
- (۲) ۷۰، ۳۰
- (۳) ۲۰، ۷۰
- (۴) ۲۰، ۳۰

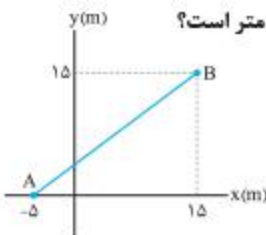
۶. فوتبالیستی از دروازه تیم خودشان در یک مسیر مستقیم شروع به دویدن به سمت دروازه تیم حریف می‌کند و وقتی به دروازه حریف می‌رسد، متوقف شده و دوباره روی خط راست باز می‌گردد و در مرکز زمین می‌ایستد. مسافت طی شده در طی این حرکت چند برابر اندازه جابه‌جایی آن است؟

- (۱) ۱
- (۲) ۲
- (۳) ۳
- (۴) ۴

۷. توپ کوچکی را از ارتفاع ۱۰ متری زمین رها می‌کنیم. هر بار که توپ به زمین برخورد می‌کند، به اندازه نصف بیشترین ارتفاع قبل از برخورد به زمین، بالا می‌رود. از لحظه رها شدن تا لحظه سومین برخورد به زمین، مسافتی که توپ طی کرده است، چند برابر اندازه جابه‌جایی آن است؟

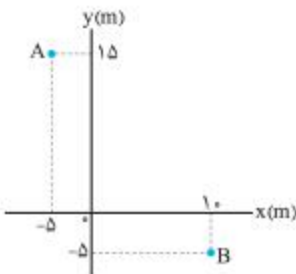
- (۱) ۱/۵
- (۲) ۲
- (۳) ۲/۵
- (۴) ۳

۸. شکل زیر مسیر حرکت متحرکی را در صفحه $x-y$ نشان می‌دهد. بزرگی جابه‌جایی متحرک از نقطه A تا نقطه B چند متر است؟



- (۱) ۱۵
- (۲) ۲۰
- (۳) ۲۵
- (۴) ۳۰

۹. مطابق شکل متحرکی در صفحه $x-y$ ، از نقطه A به نقطه B می‌رسد. اندازه جابه‌جایی متحرک و مسافتی که طی می‌کند، بر حسب متر کدام است؟



- (۱) ۲۵، ۲۵
- (۲) ۲۵، نمی‌توان تعیین کرد.
- (۳) $۵\sqrt{۵}$ ، $۵\sqrt{۵}$
- (۴) $۵\sqrt{۵}$ ، نمی‌توان تعیین کرد.

۱۰. از ارتفاع ۳۰ متری سطح زمین، گلوله کوچکی را پرتاب می‌کنیم تا ۴۰m دورتر از پای محل پرتاب به زمین برخورد کند. بزرگی جابه‌جایی جسم در این حرکت چند متر است؟

- (۱) ۷۰
- (۲) ۵۰
- (۳) ۱۰
- (۴) صفر

۱۱. متحرکی در صفحه $x-y$ در حال حرکت است و معادله مسیر حرکت آن در SI به صورت $y = ۳x + ۱۰$ می‌باشد. اندازه جابه‌جایی متحرک هنگامی که از $x_1 = ۲m$ به $x_2 = ۴m$ می‌رود، چند متر است؟

- (۱) ۸
- (۲) $۲\sqrt{۱۰}$
- (۳) $۳\sqrt{۳}$
- (۴) ۱۲

۱۲. پهبادی از روی زمین ۱۰m به طرف بالا و در راستای قائم حرکت می‌کند، سپس ۲۰m به طرف شمال و بعد از آن ۱۰m به طرف جنوب حرکت می‌کند. در کل این حرکت، بزرگی جابه‌جایی پهباد چند متر است؟

- (۱) صفر
- (۲) $۱۰\sqrt{۲}$
- (۳) ۲۰
- (۴) $۲۰\sqrt{۲}$

۱۳. پرنده‌ای از لانه‌اش به پرواز در می‌آید. این پرنده ابتدا ۶۰m به طرف شمال، ۸۰m به طرف غرب پرواز می‌کند و در نهایت ۱۰۰m در راستای قائم رو به بالا پرواز می‌کند. جابه‌جایی پرنده در طی این حرکت چند متر است؟

- (۱) ۲۴۰
- (۲) ۲۰۰
- (۳) $۱۰۰\sqrt{۲}$
- (۴) $۱۰۰\sqrt{۳}$

۱۴. متحرکی در یک مسیر دایره‌ای حرکت می‌کند. هنگامی که یک چهارم محیط دایره را طی می‌کند، نسبت اندازه جابه‌جایی به مسافت طی شده آن کدام است؟

- (۱) ۱
- (۲) $\frac{\sqrt{۲}}{\pi}$
- (۳) $\frac{۲\sqrt{۲}}{\pi}$
- (۴) π

مثال: متحرکی روی محور x در حرکت است و معادله مکان - زمان آن در SI به صورت $x = t^2 - 6t + 8$ می‌باشد. به سؤالات زیر در رابطه با این متحرک پاسخ دهید:

الف) مکان اولیه متحرک را در SI به دست آورید.
 پاسخ: کافی است که $t = 0$ s را در معادله مکان - زمان قرار دهیم:
ب) بردار مکان متحرک را در لحظه $t = 3$ s در SI بیان کنید.
 پاسخ: $t = 3$ s را در معادله مکان - زمان قرار می‌دهیم:

$t = 0 \Rightarrow x_0 = 0 - 6 \times 0 + 8 \Rightarrow x_0 = 8 \text{ m}$
 $t = 3 \text{ s} \Rightarrow x = 3^2 - 6 \times 3 + 8 = -1 \text{ m}$
 $\vec{d} = -1 \times \vec{i} = (-1 \text{ m}) \vec{i}$



بردار مکان به صورت $\vec{d} = x \vec{i}$ است: در نتیجه داریم:
پ) متحرک در چه لحظه‌ای دوباره به مکان اولیه‌اش بازمی‌گردد؟
 پاسخ: مکان اولیه متحرک $x_0 = 8 \text{ m}$ است: پس کافی است معادله $x = x_0$ را حل کنیم:

$x = x_0 \Rightarrow t^2 - 6t + 8 = 8 \Rightarrow t^2 - 6t = 0$
 $\Rightarrow t(t - 6) = 0 \Rightarrow t_1 = 0, t_2 = 6 \text{ s}$
 همان لحظه شروع حرکت و $t_2 = 6 \text{ s}$ لحظه بازگشت به مکان اولیه است.
ت) جهت بردار مکان این متحرک چند بار عوض می‌شود؟

پاسخ: جهت بردار مکان در ریشه‌های ساده معادله $x = 0$ عوض می‌شود. (چون در این لحظات بردار مکان صفر شده و علامت آن نیز تغییر می‌کند.)
 $x = 0 \Rightarrow t^2 - 6t + 8 = 0 \Rightarrow (t - 2)(t - 4) = 0 \Rightarrow t_1 = 2 \text{ s}, t_2 = 4 \text{ s}$

چون هر دو ریشه ساده هستند، قابل قبول‌اند و جهت بردار مکان دو بار عوض می‌شود.
ث) اندازه و جهت جابه‌جایی این متحرک را در ثانیه دوم حرکتش محاسبه کنید.

پاسخ: ثانیه دوم یک بازه زمانی یک ثانیه‌ای از لحظه $t_1 = 1 \text{ s}$ تا $t_2 = 2 \text{ s}$ است. ابتدا باید این لحظات را در معادله مکان - زمان قرار داده و مکان متحرک را در این لحظات به دست آوریم:

$t_1 = 1 \text{ s} \Rightarrow x_1 = 1 - 6 + 8 = 3 \text{ m}$
 $t_2 = 2 \text{ s} \Rightarrow x_2 = 4 - 12 + 8 = 0$

حالا جابه‌جایی را به کمک رابطه $d = \Delta x$ محاسبه می‌کنیم:

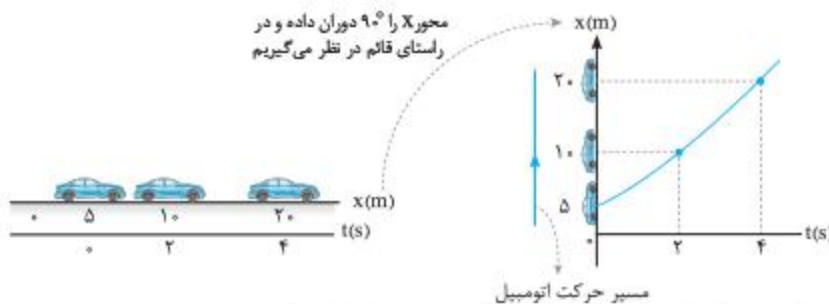
$d = \Delta x = x_2 - x_1 = 0 - 3 \Rightarrow d = -3 \text{ m}$ یا $\vec{d} = (-3 \text{ m}) \vec{i}$

بچه‌ها فعلاً سراغ تست‌های ایستگاه ۳ نرید، اول ایستگاه ۴ رو بخونید تا راحت‌تر بتونید تست‌ها رو حل کنید. نمودار مکان - زمان دید خوبی رو بهتون خواهد داد.

ایستگاه ۴: نمودار مکان - زمان

نموداری است که در آن مکان جسم بر حسب زمان رسم شده است و با آن در هر لحظه می‌توان مکان جسم را مشخص کرد. اتومبیلی را در نظر بگیرید که روی خط راست (محور x) حرکت می‌کند و در لحظه‌های صفر، 2 s و 4 s از مکان‌های به ترتیب 5 m ، 10 m و 20 m متری عبور می‌کند. برای اینکه نمودار مکان - زمان این اتومبیل را رسم کنیم، محور x را 90° دوران می‌دهیم و مسیر حرکت اتومبیل را در راستای قائم در نظر می‌گیریم و محور زمان را در راستای افقی حفظ می‌کنیم. مختصات مکان - زمان جسم، نقاط نمودار و نوع حرکت جسم، شکل نمودار مکان - زمان را مشخص می‌کند.

محور x را 90° دوران داده و در راستای قائم در نظر می‌گیریم

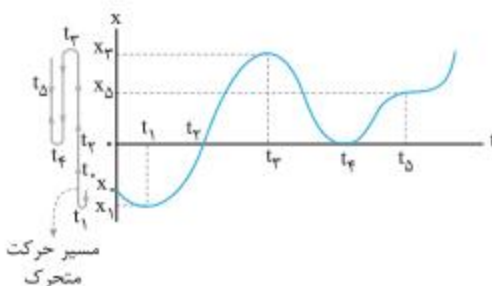


مسیر حرکت اتومبیل

از نمودار مکان - زمان یک متحرک می‌توان اطلاعات زیادی به دست آورد. به عنوان یک مثال به نمودار شکل مقابل دقت کنید. می‌خواهیم به کمک این مثال، اطلاعاتی که می‌شود از نمودار مکان - زمان استخراج کرد را به شما آموزش دهیم:

۱) مکان متحرک را در هر لحظه می‌توان مشخص کرد. به عنوان مثال متحرک در لحظه t_1 در مکان x_1 و در لحظه t_2 در مکان x_2 و در لحظه t_3 در مکان صفر قرار دارد.

۲) نقطه برخورد نمودار با محور x ، مکان اولیه متحرک (مکان متحرک در لحظه $t = 0$) را نشان می‌دهد. در نمودار ارائه شده، مکان اولیه متحرک است که یک عدد منفی را نشان می‌دهد.



مسیر حرکت متحرک



۲ در زمان‌هایی که نمودار بالای محور t (محور افقی) است، متحرک در مکان‌های مثبت ($x > 0$) و در زمان‌هایی که نمودار پایین محور t است، متحرک در مکان‌های منفی ($x < 0$) قرار دارد. متحرک طبق نمودار فوق در بازه زمانی صفر تا t_2 در مکان‌های منفی و در بازه زمانی t_2 تا t_5 در مکان‌های مثبت قرار دارد.

۴ در لحظاتی که نمودار، محور t را قطع می‌کند (دقت کنید که قطع می‌کند و نه مماس با آن است!) متحرک به مبدأ مکان رسیده و از آن عبور می‌کند. در این لحظات علامت x و جهت بردار مکان متحرک تغییر می‌کند. در نمودار فوق فقط لحظه t_2 این ویژگی را دارد، ولی t_4 این گونه نیست!

۵ در بازه‌های زمانی‌ای که نمودار صعودی است، متحرک در جهت مثبت محور x در حرکت است (بازه‌های t_1 تا t_2 و t_4 تا t_5) و در بازه‌های زمانی‌ای که نمودار نزولی است، متحرک در خلاف جهت محور x در حرکت است (بازه‌های صفر تا t_1 و t_2 تا t_4). همچنین در بازه‌هایی که نمودار افقی است، چون با گذر زمان مکان آن تغییر نمی‌کند، متحرک ساکن است، مانند زمان‌های بعد از لحظه t_5 .

۶ در نقاط قله و دره نمودار (نقاط اکسترمم)، متحرک متوقف شده و جهت حرکت آن عوض می‌شود (لحظات t_1 ، t_2 و t_4). در رابطه با لحظه t_4 هم باید بگوییم که متحرک در این لحظه به مبدأ مکان رسیده است، ولی از آن عبور نکرده، بلکه در مبدأ مکان متوقف شده و تغییر جهت داده است.

۷ در لحظه t_5 ، متحرک برای لحظاتی متوقف شده اما سپس در همان جهت قبلی ادامه می‌دهد و تغییر جهت نمی‌دهد. دقت کنید که برای تغییر جهت حرکت، باید حالت صعودی یا نزولی بودن نمودار مکان - زمان عوض شود.

۸ فاصله متحرک از مبدأ مکان در هر لحظه برابر با $|x|$ است. در نتیجه در زمان‌هایی که $|x|$ در حال افزایش است، متحرک در حال دور شدن از مبدأ مکان و در زمان‌هایی که $|x|$ در حال کاهش است، متحرک در حال نزدیک شدن به مبدأ مکان می‌باشد.

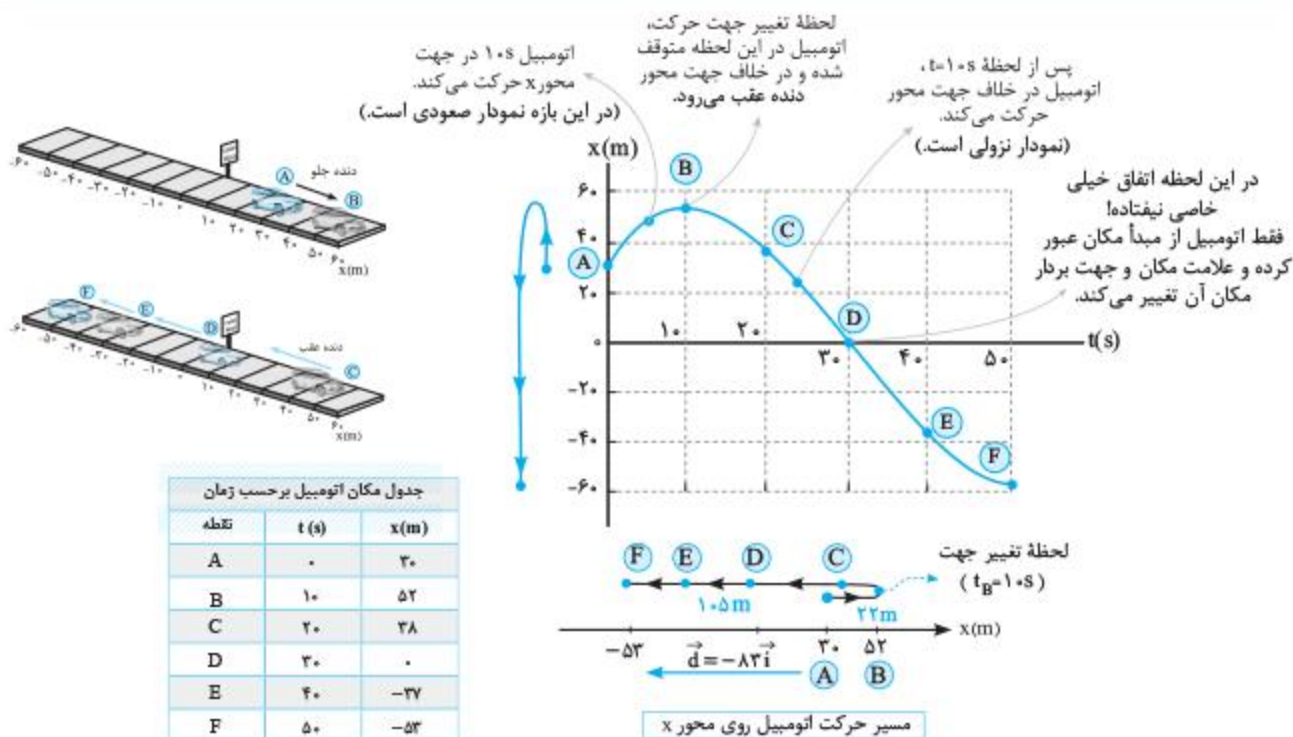
۹ دقت کنید که متحرک روی محور x (یک خط راست) در حال حرکت است و نمودار مکان - زمان، مسیر حرکت آن نیست! به عنوان مثال اگر به مسیر حرکت این متحرک دقت کنید مشاهده می‌کنید که مسیر حرکت کاملاً متفاوت با نمودار است (یادمون نره که اصلاً حرکت در یک بُعد داره انجام میشه).

۱۰ جابه‌جایی در هر بازه زمانی را خیلی ساده و به کمک رابطه $d = \Delta x = x_2 - x_1$ به دست می‌آوریم؛ اما برای محاسبه مسافت، باید طول مسیر پیموده شده را به دست آوریم. بدین منظور باید اندازه جابه‌جایی متحرک بین هر دو تغییر جهت متوالی را به دست آورده و تمام مقادیر را با هم جمع کنیم. به عنوان مثال برای محاسبه مسافت پیموده شده متحرک فوق در بازه زمانی صفر تا t_5 باید اندازه جابه‌جایی‌ها را در بازه‌های زمانی صفر تا t_1 ، t_1 تا t_2 ، t_2 تا t_4 و t_4 تا t_5 محاسبه کرده و با هم جمع کنیم:

$\ell = |x_1 - x_0| + |x_2 - x_1| + |0 - x_2| + |x_5 - 0|$

• برای درک بهتر نمودار مکان - زمان، مطابق شکل زیر اتومبیلی را در نظر بگیرید که ابتدا ده ثانیه روی محور x دنده جلو حرکت کرده و سپس در لحظه $t = 10s$ متوقف شده و به مدت $40s$ دنده عقب حرکت می‌کند.

توضیحات روی نمودار مکان - زمان را به خوبی بخوانید!



اتومبیل در مبدأ زمان در مکان $x_A = 30m$ و در انتهای حرکت در نقطه $x_F = -53m$ قرار دارد، در نتیجه جابه‌جایی آن در طی این حرکت برابر است با:

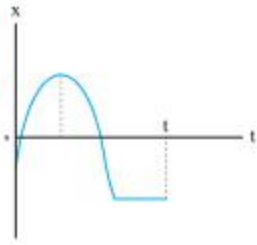
$d = \Delta x = x_F - x_A = -53 - 30 = -83m$

و بردار جابه‌جایی آن برابر است با:

همچنین اتومبیل در لحظه $t_B = 10s$ تغییر جهت می‌دهد، بنابراین برای محاسبه مسافت باید مجموع اندازه جابه‌جایی قبل از تغییر جهت ($|\Delta x_1|$) و

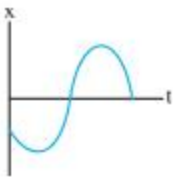
اندازه جابه‌جایی بعد از تغییر جهت ($|\Delta x_2|$) را محاسبه کرده و مسافت را به دست آوریم:

$$\left. \begin{aligned} |\Delta x_1| &= |x_B - x_A| = |52 - 30| = 22m \\ |\Delta x_2| &= |x_F - x_B| = |-53 - 52| = 105m \end{aligned} \right\} \Rightarrow \ell = 22 + 105 = 127m$$



۴۶. نمودار مکان-زمان متحرکی که در مسیری مستقیم حرکت می‌کند، مطابق شکل است. در بازه زمانی صفر تا t .

- جهت حرکت متحرک چند بار تغییر کرده است؟
- (۱) صفر
 - (۲) ۱
 - (۳) ۲
 - (۴) ۳

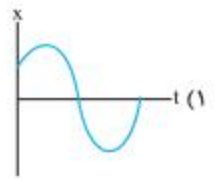
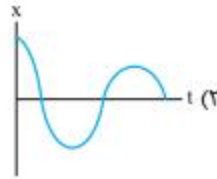
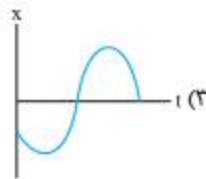
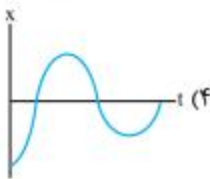
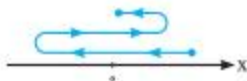


۴۷. نمودار مکان-زمان متحرکی که روی محور x حرکت می‌کند، مطابق شکل است. در کدام گزینه مسیر حرکت متحرک روی

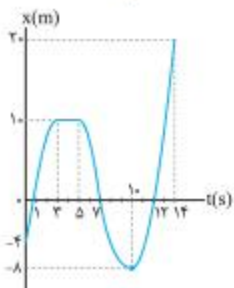
محور x به درستی رسم شده است؟



۴۸. مسیر حرکت متحرکی روی محور x مطابق شکل است. کدام گزینه می‌تواند نمودار مکان-زمان مربوط به این حرکت باشد؟

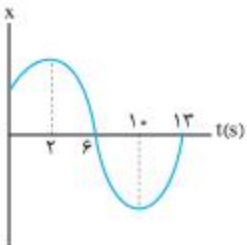


۴۹. در نمودار مکان-زمان شکل روبه‌رو، متحرک در بازه زمانی صفر تا ۱۴ ثانیه متر را پیموده و متر را جابه‌جا شده و جهت حرکتش بار عوض شده است.



- (۱) ۳، ۲۴، ۶۰
- (۲) ۲، ۲۴، ۴۲
- (۳) ۲، ۲۴، ۶۰
- (۴) ۳، ۲۴، ۴۲

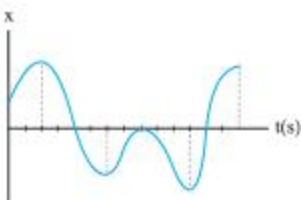
۵۰. نمودار مکان-زمان متحرکی مطابق شکل است. در بازه زمانی صفر تا $t = 13$ ، این متحرک در مجموع ثانیه در حال دور شدن از مبدأ مکان است و ثانیه در خلاف جهت محور x حرکت می‌کند. (پاسخ‌ها از راست به چپ نوشته شده‌اند).



- (۱) ۸، ۶
- (۲) ۶، ۸
- (۳) ۷، ۶
- (۴) ۶، ۷

۵۱. نمودار مکان-زمان متحرکی که روی محور x حرکت می‌کند، مطابق شکل است. در طی این حرکت به ترتیب

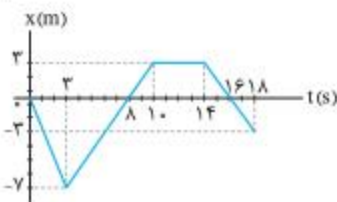
از راست به چپ، چند بار جهت بردار مکان متحرک تغییر می‌کند و متحرک در کل چند ثانیه در خلاف جهت محور x حرکت می‌کند؟ (محور زمان به واحدهای یک ثانیه‌ای درجه‌بندی شده است). (کانون فرهنگی آموزش)



- (۱) ۷، ۲
- (۲) ۸، ۴
- (۳) ۷، ۴
- (۴) ۸، ۲

۵۲. شکل روبه‌رو نمودار مکان-زمان متحرکی را نشان می‌دهد. کدام گزینه در مورد حرکت این متحرک از

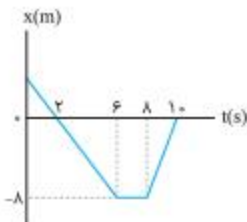
شروع حرکت تا لحظه $t = 18$ s درست است؟ (کانون فرهنگی آموزش)



- (۱) در لحظه‌های ۸ s و ۱۶ s تغییر جهت داده است.
- (۲) در مجموع به مدت ۷ ثانیه در خلاف جهت محور x حرکت کرده است.
- (۳) در مجموع به مدت ۶ ثانیه سرعت آن صفر بوده است.
- (۴) در بازه زمانی صفر تا ۱۶ ثانیه، تندی متوسط آن صفر است.

۵۳. نمودار مکان-زمان متحرکی که روی خط راست حرکت می‌کند، مطابق شکل است. در بازه زمانی صفر تا ۱۰ s جسم

چند متر در جهت x های منفی حرکت کرده است؟



- (۱) صفر
- (۲) ۴
- (۳) ۸
- (۴) ۱۲

ایستگاه ۱۱: حرکت دو متحرک با سرعت ثابت

وقتی با حرکت دو متحرک با سرعت ثابت سروکار داریم، با تشکیل معادله مکان - زمان آن‌ها روی یک محور مشترک (مبدأ مکان هر دو باید یک نقطه مشترک باشد)، می‌توانیم به پاسخ مورد نظر تست برسیم. به نکات زیر در این رابطه توجه کنید:

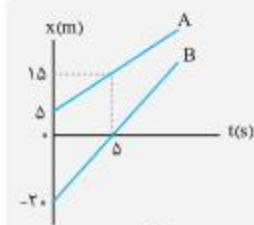
۱ اگر دو متحرک A و B هم‌زمان از دو نقطه متفاوت حرکت کنند و در لحظه t به هم برسند، مکان دو متحرک در این لحظه یکسان است:

$$t_A = t_B = t \Rightarrow x_A = x_B$$

۲ اگر دو متحرک با اختلاف زمانی T حرکتشان را شروع کنند و در لحظه t به هم برسند، مکان آن‌ها در این لحظه، یکی است: ولی مدت زمان حرکت آن‌ها با هم فرق می‌کند. مثلاً اگر متحرک B به اندازه T ثانیه حرکتش را دیرتر شروع کرده باشد، داریم:

$$t_B = t_A - T \Rightarrow x_A = x_B$$

۳ فاصله دو متحرک در هر لحظه از رابطه $|x_B - x_A|$ به دست می‌آید.



تست: نمودار مکان - زمان دو متحرک به صورت شکل مقابل است. به ترتیب از راست به چپ، در چه لحظه‌ای

دو متحرک به هم می‌رسند و تا این لحظه متحرک B چند متر طی کرده است؟

$$\begin{aligned} & ۵۰, ۱۲/۵ \text{ (۲)} \\ & ۲۵, ۰۶ \text{ (۴)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & ۳۰, ۱۲/۵ \text{ (۱)} \\ & ۱۵, ۰۶ \text{ (۳)} \end{aligned}$$

پاسخ: گزینه «۲»

گام اول ابتدا معادله حرکت هر یک از متحرک‌ها را می‌نویسیم. برای این کار با استفاده از شیب نمودارها سرعت هر یک را به دست می‌آوریم:

$$v_A = \frac{15 - 5}{5 - 0} = 2 \text{ m/s}$$

$$v_B = \frac{0 - (-20)}{5 - 0} = 4 \text{ m/s}$$

$$x_A = 2t + 5, \quad x_B = 4t - 20$$

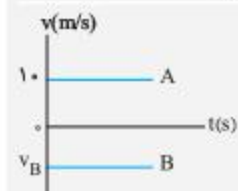
گام دوم معادله حرکت A و B را می‌نویسیم:

گام سوم برای این‌که دو متحرک در یک نقطه به هم برسند، باید مکان آن‌ها با یکدیگر برابر باشد:

$$x_A = x_B \Rightarrow 2t + 5 = 4t - 20 \Rightarrow t = 12/5 \text{ s}$$

لحظه به هم رسیدن:

گام چهارم حالا ببینیم که متحرک B تا این لحظه چند متر طی کرده است: $\Delta x_B = v_B \Delta t_B = \frac{\Delta t_B = 12/5 \text{ s}}{v_B = 4 \text{ m/s}} \rightarrow \Delta x_B = 12/5 \times 4 = 50 \text{ m}$



تست: نمودار سرعت - زمان دو متحرک که هم‌زمان روی خط راست حرکت می‌کنند، مطابق شکل است. اگر در لحظه $t = 0 \text{ s}$

متحرک A از نقطه $x = -20 \text{ m}$ و متحرک B از نقطه $x = 40 \text{ m}$ عبور کند و دو متحرک پس از ۴ ثانیه به یکدیگر برسند، v_B چند متر بر ثانیه است؟

$$-10 \text{ (۴)} \quad -7/5 \text{ (۳)} \quad -5 \text{ (۲)}$$

پاسخ: گزینه «۲»

گام اول متحرک A با سرعت ثابت 10 m/s در جهت مثبت و متحرک B با سرعت v_B در جهت منفی به طرف یکدیگر حرکت می‌کنند. معادله

$$x_A = 10t - 20, \quad x_B = v_B t + 40$$

حرکت آن‌ها را می‌نویسیم:

گام دوم چون دو متحرک پس از ۴ s به هم می‌رسند، معادله‌های حرکت را به ازای $t = 4 \text{ s}$ مساوی یکدیگر قرار می‌دهیم:

$$x_A = x_B \Rightarrow 10t - 20 = v_B t + 40 \xrightarrow{t=4\text{s}} 40 - 20 = 4v_B + 40 \Rightarrow v_B = -5 \text{ m/s}$$

تست: متحرکی با سرعت ثابت 36 km/h روی محور x از $x = 0 \text{ m}$ در جهت مثبت محور عبور می‌کند. ۲ ثانیه پس از آن متحرک دیگری با تندی 5 m/s از نقطه $x = 50 \text{ m}$ به طرف متحرک اول حرکت می‌کند. هنگامی که متحرک‌ها به هم می‌رسند، مسافتی که متحرک اول می‌پیماید چند برابر مسافتی است که متحرک دوم پیموده است؟

$$۴ \text{ (۴)}$$

$$۳ \text{ (۳)}$$

$$۲ \text{ (۲)}$$

$$۱ \text{ (۱)}$$

پاسخ: گزینه «۴»

گام اول چون متحرک دوم ۲ s دیرتر حرکت کرده است، اگر مدت زمان حرکت اولی را t در نظر بگیریم، مدت زمان حرکت دومی $(t - 2)$ است:

$$x_1 = v_1 t + x_1 \quad \frac{v_1 = 36 \text{ km/h} = 10 \text{ m/s}}{x_1 = 0} \rightarrow x_1 = 10t$$

بنابراین معادله حرکت هر یک را با استفاده از رابطه $x = vt + x_0$ می‌نویسیم:

$$x_2 = -5(t - 2) + 50$$

دقت کنید که متحرک دوم در جهت منفی حرکت می‌کند و سرعت آن منفی است:

گام دوم اکنون مکان متحرک‌ها را مساوی یکدیگر قرار می‌دهیم تا لحظه به هم رسیدن آن‌ها را به دست آوریم:

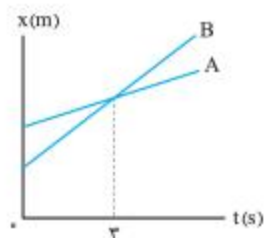
$$x_1 = x_2 \Rightarrow 10t = -5(t - 2) + 50 \Rightarrow 15t = 60 \Rightarrow t = 4 \text{ s}$$

$$\Delta x_1 = 10 \times 4 = 40 \text{ m}, \quad \Delta x_2 = -5(4 - 2) = -10 \text{ m}$$

گام سوم جابه‌جایی هر یک را به دست می‌آوریم:

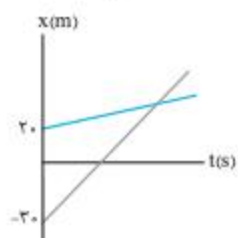
$$\frac{|\Delta x_1|}{|\Delta x_2|} = \frac{40}{10} = 4$$

گام چهارم نسبت مورد نظر برابر است با:



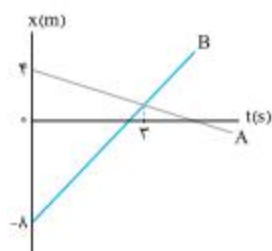
۲۰۴. نمودار $x-t$ دو متحرک A و B روی خط راست حرکت می‌کنند، مطابق شکل است. چند ثانیه پس از شروع حرکت، فاصله دو متحرک از یکدیگر ۲ برابر فاصله آن‌ها در لحظه $t = 0.5$ می‌شود؟ (کانون فرهنگی آموزش)

- ۶ (۱)
- ۹ (۲)
- ۱۲ (۳)
- ۶ (۴)



۲۰۵. شکل روبه‌رو، نمودار مکان-زمان دو متحرک است که روی محور x حرکت می‌کنند. اگر دو متحرک در لحظه $t = 58$ از کنار هم عبور کنند، در چه لحظه‌ای بر حسب ثانیه، فاصله این دو متحرک از هم 100 m می‌شود؟

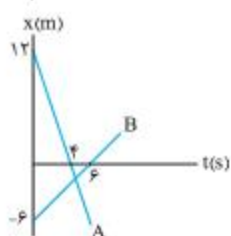
- ۷/۵ (۱)
- ۱۰ (۲)
- ۱۲/۵ (۳)
- ۱۵ (۴)



۲۰۶. نمودار مکان-زمان دو متحرک A و B مطابق شکل است. در چه لحظه‌ای فاصله دو متحرک از یکدیگر برابر با ۸ متر می‌شود؟

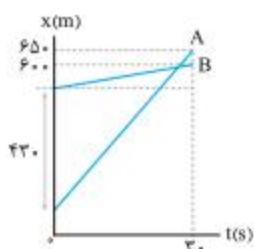
- ۱ (۱)
- ۴ (۲)
- ۵ (۳)
- ۴ (۴)

(۴) گزینه‌های «۱» و «۳» درست هستند.



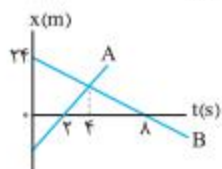
۲۰۷. شکل روبه‌رو، نمودار مکان-زمان دو متحرک A و B را نشان می‌دهد که روی محور x در حال حرکت‌اند. این دو متحرک در چه لحظه‌ای به هم می‌رسند؟

- ۴/۲۵ (۱)
- ۴/۵ (۲)
- ۵ (۳)
- ۵/۲۵ (۴)



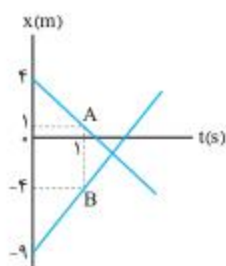
۲۰۸. نمودار مکان-زمان دو متحرک A و B مطابق شکل است. سرعت متحرک A چند متر بر ثانیه بیشتر از سرعت متحرک B است؟ (تجربین خارج ۹۴)

- ۱۲ (۱)
- ۱۲/۶ (۲)
- ۱۶ (۳)
- ۱۶/۳ (۴)



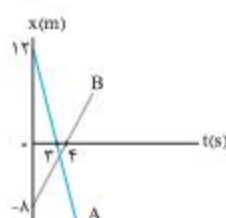
۲۰۹. نمودار مکان-زمان دو متحرک که روی خطی راست حرکت می‌کنند، مطابق شکل است. فاصله دو متحرک از یکدیگر در مبدأ زمان چند متر است؟ (کانون فرهنگی آموزش)

- ۴۸ (۲)
- ۳۲ (۱)
- ۴۲ (۴)
- ۳۶ (۳)



۲۱۰. نمودار مکان-زمان دو متحرک A و B مطابق شکل است. در لحظه‌ای که $\vec{v}_A = -2\vec{v}_B$ می‌شود، فاصله دو متحرک از یکدیگر چند متر است؟ (\vec{v}_B و \vec{v}_A به ترتیب بردار مکان دو متحرک A و B است.) (کانون فرهنگی آموزش)

- ۶ (۱)
- ۳ (۲)
- ۲ (۳)
- ۱ (۴)



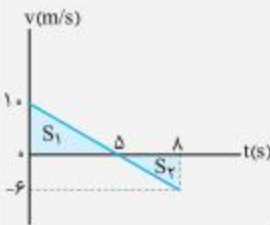
۲۱۱. شکل روبه‌رو، نمودار مکان-زمان دو متحرک A و B را نشان می‌دهد که هم‌زمان در راستای محور x حرکت می‌کنند. به ترتیب از راست به چپ، در چه لحظه‌ای بر حسب ثانیه و در چه مکانی بر حسب متر، دو متحرک به هم می‌رسند؟

- (۱) $3/5, -1/5$
- (۲) $2/3, -2/3$
- (۳) $1/3, -8/3$
- (۴) $1/3, -4/3$

(برگرفته از کتاب درسی)

$$v = at + v_0 \Rightarrow v = -2t + 10$$

روش دوم گام اول معادله سرعت - زمان جسم را می‌نویسیم:



$$t_s = \frac{-10}{-2} = 5 \text{ s}$$

$$t = 8 \text{ s} \Rightarrow v = -2 \times 8 + 10 = -6 \text{ m/s}$$

گام سوم مجموع قدرمطلق مساحت‌های محصور نمودار با محور زمان را (که برابر مسافت طی شده است) به‌دست می‌آوریم:

$$\ell = S_1 + S_2 = \left| \frac{5 \times 10}{2} \right| + \left| \frac{3 \times (-6)}{2} \right| = 33 \text{ m}$$

ایستگاه ۱۶: نمودار مکان - زمان حرکت با شتاب ثابت

حالا دیگر می‌دانیم که معادله مکان - زمان حرکت با شتاب ثابت، یک تابع درجه دو به‌صورت $x = \frac{1}{2}at^2 + v_0t + x_0$ است: در نتیجه نمودار مکان - زمان حرکت با شتاب ثابت، بخشی از یک سهمی خواهد بود. مشخص است که اگر $a > 0$ باشد، ضریب t^2 مثبت شده و سهمی روبه بالا است و اگر $a < 0$ باشد، سهمی رو به پایین است. در جدول زیر، تمام حالت‌های ممکن برای درک بهتر موضوع نمودارهای شتاب - زمان و سرعت - زمان متناظر با هر نمودار مکان - زمان را نیز در جدول آورده‌ایم. حالا وقتشه که خیلی با دقت این جدول را نگاه کنید:

علامت شتاب		مثبت ($a > 0$)			منفی ($a < 0$)		
نمودار شتاب زمان							
		$v_0 < 0$	$v_0 = 0$	$v_0 > 0$	$v_0 < 0$	$v_0 = 0$	$v_0 > 0$
نمودار سرعت زمان							
نمودار مکان زمان							
		بدون تغییر جهت			بدون تغییر جهت		
نوع حرکت	حرکت تندشونده	حرکت تندشونده			حرکت تندشونده		

نکته: وقتی در مسئله‌ای با نمودار مکان - زمان حرکت شتاب ثابت روبرو بودیم، معمولاً رابطه مستقل از شتاب بسیار کاربردی است. چون طبق اطلاعات نمودار معمولاً Δx و Δt مشخص است و در رأس سهمی هم سرعت صفر است و از شتاب هم بی‌خبریم؛ بنابراین در اکثر مواقع باید از معادله مستقل از شتاب استفاده کرد.



۶۴۸. دو اسکیت‌باز به جرم‌های ۸۰kg و ۶۰kg روبه‌روی هم ایستاده‌اند و با دست‌های خود یکدیگر را هل می‌دهند و از هم جدا می‌شوند. حرکت اسکیت‌باز با جرم بیشتر چگونه است؟ (اصطکاک اسکیت‌ها با زمین ناچیز است.) (برگرفته از کتاب درسی)

- (۱) ساکن می‌ماند.
 (۲) همواره با شتاب حرکت می‌کند.
 (۳) ابتدا شتاب‌دار و سپس یکنواخت حرکت می‌کند.
 (۴) ابتدا یکنواخت و سپس شتاب‌دار حرکت می‌کند.



۶۴۹. پدر و پسری به ترتیب با جرم‌های ۸۰kg و ۵۰kg بر روی یخ روبه‌روی هم ایستاده‌اند. اگر پدر، پسرش را هل دهد و در نتیجه این حرکت، پسر شتابی برابر a بگیرد. شتابی که خودش می‌گیرد، کدام است؟ (از اصطکاک صرف نظر شود.) (برگرفته از کتاب درسی)

- (۱) $\frac{5}{8}a$ به طرف چپ
 (۲) $\frac{4}{5}a$ به طرف چپ
 (۳) $\frac{5}{8}a$ به طرف راست
 (۴) $\frac{4}{5}a$ به طرف راست

۶۵۰. یک گلوله توپ جنگی به جرم ۵kg با تندی ۲۰۰m/s از لوله توپ خارج می‌شود. اگر جرم بدنه توپ جنگی ۱۰ton باشد، تندی عقب زدن بدنه توپ جنگی چند متر بر ثانیه است؟

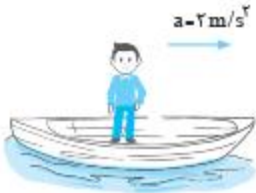
- (۱) صفر
 (۲) ۱۰۰
 (۳) ۱۰
 (۴) $۰/۱$



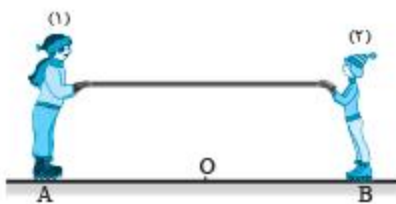
۶۵۱. اسکیت‌بازی به جرم ۶۰kg وزنه‌ای به جرم ۱۰kg را در دست گرفته و ساکن است. اگر اسکیت‌باز، وزنه را با سرعت ۱۰m/s به صورت افقی رو به جلو پرتاب کند، حرکت اسکیت‌باز در حین پرتاب وزنه و پس از آن چگونه خواهد بود؟ (اصطکاک اسکیت با زمین ناچیز است.)

- (۱) شتاب‌دار در خلاف جهت حرکت وزنه حرکت می‌کند.
 (۲) با سرعت ثابت ۶m/s در خلاف جهت پرتاب وزنه حرکت می‌کند.
 (۳) با سرعت ثابت $\frac{5}{3}\text{m/s}$ در خلاف جهت پرتاب وزنه حرکت می‌کند.
 (۴) ابتدا شتاب‌دار و سپس با سرعت ثابت $\frac{5}{3}\text{m/s}$ در خلاف جهت پرتاب وزنه حرکت می‌کند.

۶۵۲. شخصی به جرم ۸۰kg درون قایق ساکنی به جرم ۱۲۰kg مطابق شکل ایستاده است. اگر شخص با شتاب ثابت ۲m/s^2 به طرف راست شروع به حرکت کند، قایق با چه شتابی و در چه جهتی حرکت خواهد کرد؟ (از اصطکاک بین قایق و سطح آب صرف نظر شود.)



- (۱) با شتاب $\frac{4}{3}\text{m/s}^2$ به سمت راست حرکت می‌کند.
 (۲) با شتاب $\frac{4}{3}\text{m/s}^2$ به سمت چپ حرکت می‌کند.
 (۳) با شتاب $\frac{4}{5}\text{m/s}^2$ به سمت راست حرکت می‌کند.
 (۴) با شتاب $\frac{4}{5}\text{m/s}^2$ به سمت چپ حرکت می‌کند.



۶۵۳. مطابق شکل، دو نفر به جرم‌های m_1 و $m_2 = \frac{1}{2}m_1$ روی یک سطح افقی با اصطکاک ناچیز قرار دارند. اگر در ابتدا به فاصله‌های مساوی از نقطه O قرار داشته باشند و توسط طنابی هریک دیگری را به سمت خود بکشند، کدام یک از موارد زیر درست است؟ (تجربین خارج ۹۸)

- (۱) در نقطه O به یکدیگر می‌رسند.
 (۲) بین O و B به یکدیگر می‌رسند.
 (۳) بین O و A به یکدیگر می‌رسند.
 (۴) m_1 ساکن می‌ماند و m_2 به او می‌رسد.

۶۵۴. دو اسکیت‌باز به جرم‌های ۵۰kg و ۷۵kg ، دو سر طناب سبکی را در دست گرفته‌اند و نیروسنجی به وسط طناب متصل است. یکی از آن‌ها طناب را می‌کشد و نیروسنج، مقدار F را نشان می‌دهد. اگر اسکیت‌باز با جرم کمتر، در مدت ۲s ، چهار متر جابه‌جا شود، اسکیت‌باز با جرم بیشتر در همین مدت زمان، چند متر جابه‌جا می‌شود؟



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

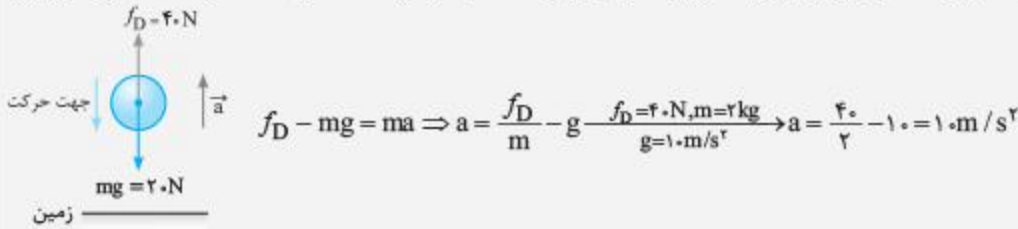
تست: جسمی به جرم 2 kg از بالای ساختمان بلندی به سمت پایین پرتاب می‌شود. اگر نیروی مقاومت هوا در یک لحظه برابر 40 N باشد، بزرگی

شتاب متحرک در این لحظه چند متر بر مجذور ثانیه و به کدام سمت است؟ ($g = 10\text{ m/s}^2$)

- (۱) 20 ، پایین (۲) 10 ، بالا (۳) 20 ، بالا (۴) 10 ، پایین

پاسخ: گزینه ۱

مطابق شکل در لحظه مذکور، $f_D > mg$ است. بنابراین نیروی خالص و شتاب جسم به سمت بالا و حرکت کندشونده است. با استفاده از قانون دوم نیوتون داریم:



تحلیل کامل حرکت یک چترباز

چتربازی را در نظر بگیرید که از ارتفاع بلندی سقوط می‌کند و پس از رسیدن به تندی حدی‌اش چترش را باز می‌کند. مطابق جدول زیر حرکت چترباز را از لحظه سقوط تا رسیدن به زمین در ۴ مرحله بررسی می‌کنیم:

شکل	مقایسه f_D و mg	توجه تغییر f_D	جهت شتاب	نوع حرکت	هنوان مرحله
	$f_D < mg$	افزایش	پایین	تندشونده	(۱) سقوط اولیه چترباز
	$f_D = mg$	ثابت	$a = 0$	یکنواخت	(۲) حرکت با تندی حدی
	$f_D > mg$	کاهش	بالا	کندشونده	(۳) باز شدن چتر
	$f_D = mg$	ثابت	$a = 0$	یکنواخت	(۴) حرکت با تندی حدی جدید

نکته: ۱) تندی حدی با چتر همواره کوچک‌تر از تندی حدی بدون چتر است!

۲) در لحظه باز شدن چتر، چون تندی بیشینه است، نیروی مقاومت هوا هم بیشینه است ($f_{D,max}$).



نکته ۱: برای تعیین جهت شتاب در بالاترین نقطه مسیر به یاد بیاورید که جهت شتاب همواره با جهت نیروی خالص وارد بر جسم یکسان است.
۲: در این نوع حرکت، تندی جسم رفته رفته کاهش یافته و در بالاترین نقطه مسیر به کمترین مقدار خود می‌رسد؛ بنابراین حرکت جسم تا رسیدن به بالاترین نقطه مسیر (نقطه اوج) همواره **کندشونده** است و نیروی مقاومت هوا در نقطه اوج، **کمترین** مقدار را دارد.

تست: توپی به جرم 500 g را با تندی اولیه v با زاویه α نسبت به افق پرتاب می‌کنیم. اگر در بالاترین نقطه از مسیر حرکت، نیروی مقاومت هوا برابر 12 N باشد، بزرگی شتاب جسم در این نقطه چند متر بر مجذور ثانیه و در کدام جهت است؟ ($g = 10\text{ m/s}^2$)

پاسخ: گزینه ۳
 گام اول: با استفاده از رابطه $a = \sqrt{\left(\frac{f_D}{m}\right)^2 + g^2}$ داریم:

$$a = \sqrt{\left(\frac{12}{0.5}\right)^2 + 10^2} = \sqrt{676} = 26\text{ m/s}^2$$

گام دوم: جهت شتاب با جهت نیروی خالص وارد بر جسم برابر است، بنابراین جهت شتاب به صورت \swarrow است.

جمع‌بندی مطالب

در آخر به این خاطر که مطالب این بخش را یکجا داشته باشید، جدول زیر وضعیت نیروی وزن و مقاومت هوا را برای حالت‌های مختلف نشان می‌دهد:

وضعیت حرکت	جسم با تندی کمتر از تندی حدى رو به پایین حرکت می‌کند ($mg > f_D$)	جسم با تندی بیشتر از تندی حدى رو به پایین حرکت می‌کند ($mg < f_D$)	جسم رو به بالا حرکت می‌کند	جسم یک مسیر منحنی را طی کند تا به بالاترین نقطه مسیر برسد.
نیروهای وارد بر جسم				
نیروی خالص	$F_{net} = mg - f_D$	$F_{net} = f_D - mg$	$F_{net} = mg + f_D$	$F_{net} = \sqrt{f_D^2 + (mg)^2}$
شتاب	$a = g - \frac{f_D}{m}$	$a = \frac{f_D}{m} - g$	$a = g + \frac{f_D}{m}$	$a = \sqrt{\left(\frac{f_D}{m}\right)^2 + g^2}$
جهت شتاب	پایین	بالا	پایین	مایل
نوع حرکت	حرکت تندشونده	حرکت کندشونده	حرکت کندشونده	حرکت تا نقطه اوج کندشونده

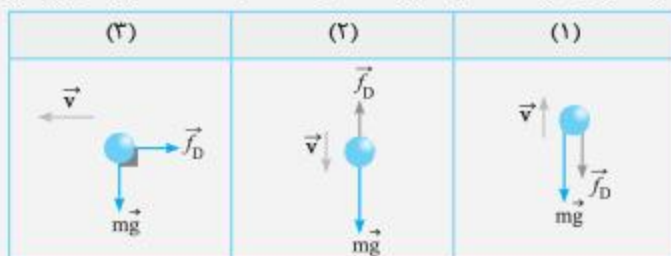
تست: مطابق جدول، یک گلوله را در ۳ حالت مختلف از یک نقطه با تندی‌های اولیه یکسان در سه جهت نشان داده شده (قائم به سمت بالا، پایین و افقی به سمت چپ) پرتاب می‌کنیم. با در نظر گرفتن نیروی مقاومت هوا، کدام گزینه مقایسه درستی از بزرگی شتاب گلوله بلافاصله پس از پرتاب است؟



$a_1 > a_2 > a_3$ (۱) $a_2 > a_3 > a_1$ (۲) $a_1 > a_3 > a_2$ (۳) $a_1 > a_2 > a_3$ (۴)

پاسخ: گزینه ۴

چون تندی اولیه گلوله یکسان است، بزرگی نیروی مقاومت هوا در ابتدای حرکت برای هر ۳ حالت یکسان است. در حالت‌های داده شده، نیروهای وارد بر گلوله را رسم می‌کنیم و نیروی خالص وارد بر آن را محاسبه می‌کنیم:



$$\left. \begin{aligned} F_{net,1} &= mg + f_D \\ F_{net,2} &= |mg - f_D| \\ F_{net,3} &= \sqrt{(mg)^2 + f_D^2} \end{aligned} \right\} \Rightarrow F_{net,1} > F_{net,2} > F_{net,3}$$

$a_1 > a_2 > a_3$

با توجه به اینکه $F_{net} = ma$ و m یکسان است، داریم:

پرسش‌های چهارگزینه‌ای

۷.۳. چند مورد از عبارات‌های زیر در مورد نیروی عمودی سطح نادرست است؟

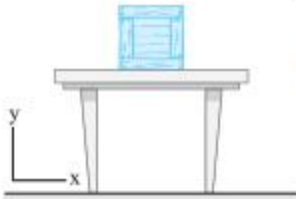
- (الف) این نیرو عمود بر سطح تماس و ناشی از تغییر شکل در محل سطح تماس با جسم است.
 (ب) واکنش این نیرو همواره به مرکز کره زمین وارد می‌شود.
 (پ) این نیرو از طرف تکیه‌گاه جسم به آن وارد می‌شود و همواره به سمت بالاست.
 (ت) اگر جسمی را روی یک زمین سفت و سخت قرار دهیم، به دلیل اینکه سطح تغییر شکل نمی‌دهد، نیروی عمودی سطح به جسم وارد نمی‌شود.

۱ (۱) ۲ (۲) ۳ (۳) ۴ (۴)

۷.۴. مطابق شکل جعبه‌ای به جرم 500g روی سطح میزی قرار گرفته است. اگر نیروی عمودی سطح وارد بر کتاب را با \vec{F}_N و واکنش آن را با \vec{F}'_N نشان دهیم، کدام گزینه در SI درست است؟ ($g = 10\text{m/s}^2$) (برگرفته از کتاب درسی)

۱ (۱) $\vec{F}'_N = \Delta\vec{j}, \vec{F}_N = \Delta\vec{j}$ ۲ (۲) $\vec{F}'_N = \Delta\vec{j}, \vec{F}_N = -\Delta\vec{j}$

۳ (۳) $\vec{F}'_N = -\Delta\vec{j}, \vec{F}_N = \Delta\vec{j}$ ۴ (۴) $\vec{F}'_N = -\Delta\vec{j}, \vec{F}_N = -\Delta\vec{j}$



۷.۵. در شکل زیر، اگر جرم جعبه 3kg باشد، نیروی عمودی سطح در حالت (ب) نسبت به حالت (الف) چند درصد و چگونه تغییر می‌کند؟ ($g = 10\text{m/s}^2$)

(برگرفته از کتاب درسی)



(ب)

(الف)

۱ (۱) کاهش، 60% ۲ (۲) افزایش، 60% ۳ (۳) کاهش، 80% ۴ (۴) افزایش، 80%

۷.۶. در شکل روبه‌رو، شخصی به جرم m روی ترازوی فنری ایستاده و با دست خود نیرویی به بزرگی F را به‌طور عمود به طرف پایین بر میز وارد می‌کند. ترازوی فنری چه مقداری را نشان می‌دهد؟

۱ (۱) $mg + F$ ۲ (۲) $mg - F$

۳ (۳) $\frac{mg}{F}$ ۴ (۴) $\frac{F}{mg}$



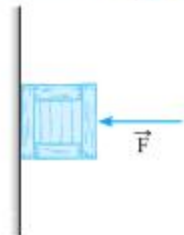
۷.۷. در شکل روبه‌رو با نیروی $F = 40\text{N}$ جسمی را به دیوار تکیه داده‌ایم. اگر جرم جسم 1kg باشد، نیروی عمودی سطح چند نیوتون و واکنش این نیرو به کدام سمت است؟

۱ (۱) راست، 40

۲ (۲) چپ، 40

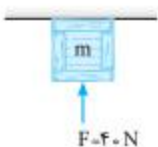
۳ (۳) راست، 10

۴ (۴) چپ، 10



۷.۸. در شکل روبه‌رو، جسمی به جرم m با نیروی قائم F به سقف فشرده شده است. اگر نیروی عمودی که سقف به جسم وارد می‌کند 10N باشد، m بر حسب کیلوگرم کدام است؟ ($g = 10\text{N/kg}$)

۱ (۱) 2 ۲ (۲) 3 ۳ (۳) 4 ۴ (۴) 5



۷.۹. شخصی به جرم 60kg در حالی که روی یک ترازو ایستاده، با دست‌هایش بر میله بارفیکس که بر دیوار متصل است، نیرو وارد می‌کند. اگر ترازو 480N را نشان دهد، نیرویی که بارفیکس بر شخص وارد می‌کند، نیوتون و به طرف _____ است. ($g = 10\text{N/kg}$)

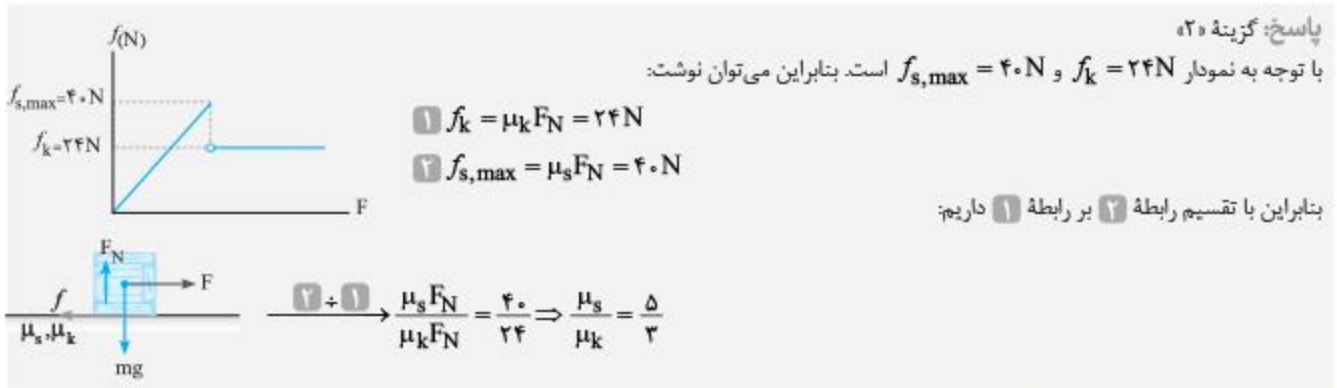
۱ (۱) بالا، 120

۲ (۲) پایین، 120

۳ (۳) بالا، 480

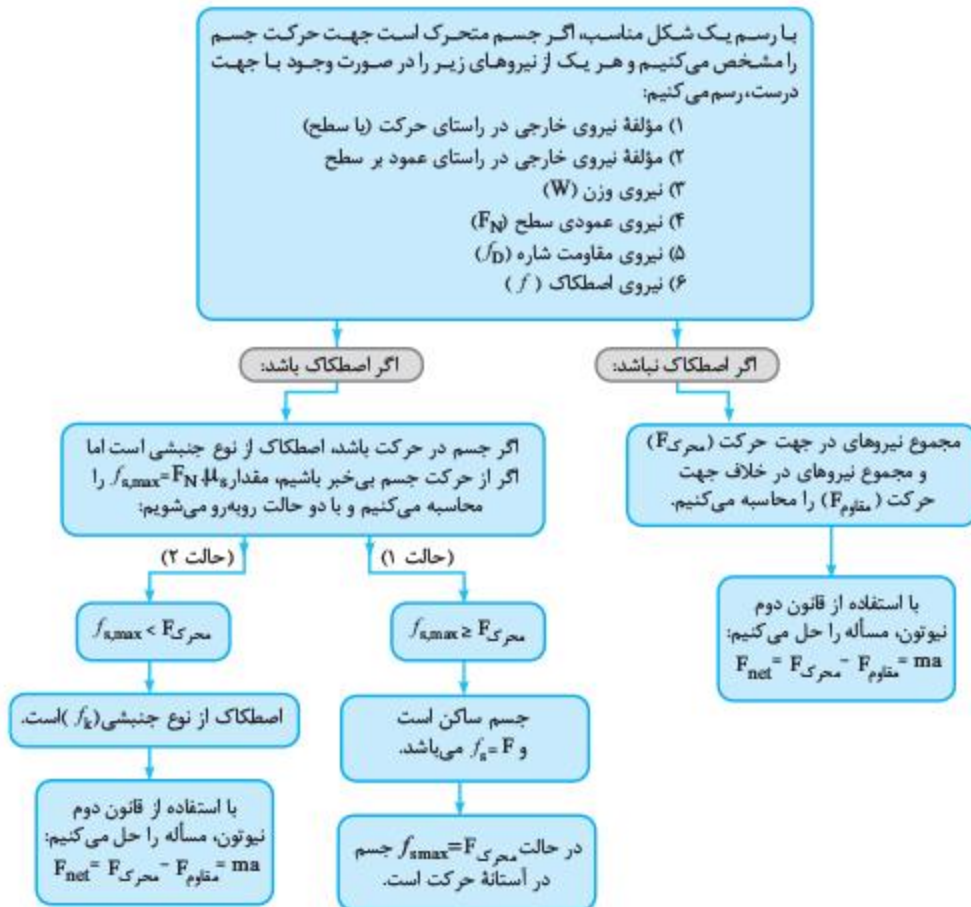
۴ (۴) پایین، 480



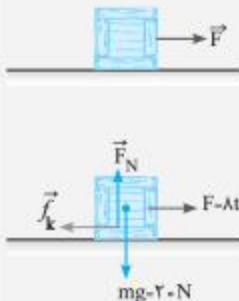


نحوه حل مسائل دینامیک

برای حل اصولی و مطمئن مسائل دینامیک بهتر است مراحل طر حواره زیر را طی کنید:



تست: جسمی به جرم ۲kg روی یک سطح افقی قرار دارد. اگر نیرویی که بر حسب زمان به صورت $F = 8t$ است به جسم وارد شود، شتاب جسم در لحظه $t = 4s$ در SI کدام است؟ ($\mu_k = 0.8, \mu_s = 1, g = 10m/s^2$)



- ۱) ۸
- ۲) ۱۰
- ۳) ۲۰
- ۴) ۲۴

پاسخ: گزینه ۱

با استفاده از شیوه‌نامه‌ای که برای حل مسائل دینامیک مطرح کردیم پیش می‌رویم:

- نیروهای وارد بر جسم را رسم می‌کنیم:
- از حرکت یا عدم حرکت جسم بی‌خبریم. بنابراین $f_{s,max}$ را محاسبه می‌کنیم:

$$f_{s,max} = \mu_s F_N \xrightarrow{F_N = mg} f_{s,max} = \mu_s mg = 1 \times 2 \times 10 = 20N$$

$$t = 4s \Rightarrow F = 8 \times 4 = 32N$$

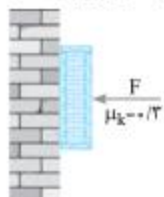
اندازه نیروی F در لحظه $t = 4s$ برابر است با:

حالا با مقایسه نیروها وضعیت حرکت جسم را مشخص می‌کنیم:

جسم حرکت می‌کند و اصطکاک از نوع جنبشی است.

$$F > f_{s,max} \Rightarrow$$

۷۶۳. مطابق شکل، جسمی به جرم $200g$ را با نیروی عمودی F بر دیوار تکیه داده و نگه داشته‌ایم. نیروی اصطکاک دیوار بر جسم چند نیوتون است؟



$(g = 10 \text{ N/kg})$

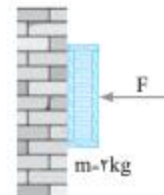
(۱) صفر

(۲) 0.2

(۳) 2

(۴) اندازه F باید معلوم باشد.

۷۶۴. در شکل روبه‌رو، اگر ضریب اصطکاک ایستایی و جنبشی بین جسم با دیوار به ترتیب 0.4 و 0.2 باشد، حداقل نیروی عمودی F چند نیوتون باشد تا جسم روی دیوار نلغزد؟ $(g = 10 \text{ N/kg})$



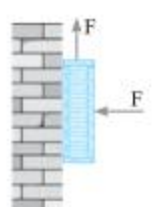
(۲) 200

(۴) 50

(۱) 400

(۳) 100

۷۶۵. در شکل روبه‌رو، جرم جسم 6 kg و ضریب اصطکاک ایستایی جسم با دیوار 0.4 است. F چند نیوتون باشد تا جسم در آستانه لغزش به طرف بالا باشد؟ $(g = 10 \text{ m/s}^2)$ (برگرفته از کتاب درسی)



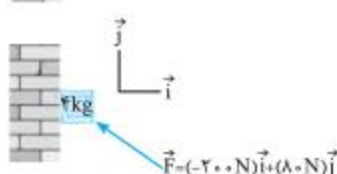
(۲) 15

(۴) 150

(۱) 10

(۳) 100

۷۶۶. جسمی مطابق شکل با اعمال نیروی \vec{F} به دیوار قائم چسبیده و تکان نمی‌خورد. نیروی اصطکاک وارد بر جسم _____ نیوتون و به سمت _____ است. $(g = 10 \text{ N/kg}, \mu_s = 0.5)$



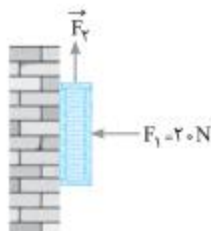
(۱) 100 ، بالا

(۲) 100 ، پایین

(۳) 40 ، بالا

(۴) 40 ، پایین

۷۶۷. در شکل مقابل، به جسمی به جرم m که به دیوار قائمی تکیه دارد، دو نیروی عمود بر هم $F_1 = 20 \text{ N}$ و F_2 وارد می‌شود. اگر ضریب اصطکاک ایستایی جسم با دیوار 0.25 باشد، اختلاف حداقل و حداکثر اندازه F_2 چند نیوتون باشد تا جسم در حال سکون باقی بماند؟



(۲) 10

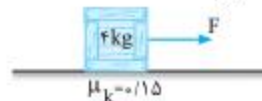
(۴) جرم جسم باید معلوم باشد.

(۱) 5

(۳) 20

نیروی اصطکاک جنبشی

۷۶۸. جسمی به جرم 4 kg تحت تأثیر نیروی F در حال حرکت با سرعت ثابت است. نیروی F چند نیوتون است؟ $(g = 10 \text{ m/s}^2)$



(۲) 2

(۴) 6

(۱) 1

(۳) 4

۷۶۹. مطابق شکل، کارگری جعبه‌ای ساکنی را با طنابی افقی با نیروی ثابت 380 N می‌کشد. اگر جرم جعبه 60 kg و ضریب اصطکاک ایستایی و جنبشی بین جعبه و سطح به ترتیب 0.6 و 0.4 باشد و جعبه در حال حرکت باشد، شتاب حرکت جعبه چند متر بر مجذور ثانیه است؟ $(g = 10 \text{ m/s}^2)$ (برگرفته از کتاب درسی)



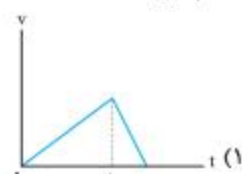
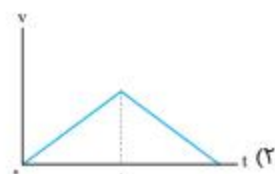
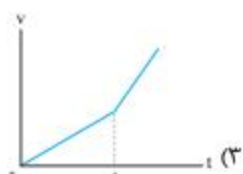
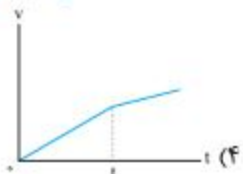
(۲) $\frac{7}{3}$

(۴) $\frac{3}{7}$

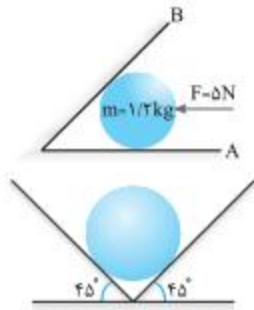
(۱) $\frac{1}{3}$

(۳) 3

۷۷۰. جسمی به جرم m تحت تأثیر نیروی \vec{F} روی سطحی با ضریب اصطکاک μ_1 از حال سکون شروع به حرکت می‌کند و پس از مدت زمان t وارد سطح دیگری با ضریب اصطکاک μ_2 می‌شود در صورتی که اندازه نیروی \vec{F} در دو حالت یکسان باشد، نمودار سرعت-زمان حرکت جسم مطابق کدام گزینه است؟ (کانون فرهنگی آموزش)



۸۹۷. کره‌ای مطابق شکل بین دو سطح صاف و صیقلی قرار دارد. برآیند نیرویی که دیواره‌های A و B بر کره وارد می‌کنند،



چند نیوتون است؟ ($g = 10 \text{ m/s}^2$)

- ۵ (۱)
۱۲ (۲)
۱۷ (۴)
۱۳ (۳)

۸۹۸. در شکل مقابل، کره‌ای همگن به جرم 5 kg بدون اصطکاک قرار دارد. این جسم به هر یک از

دیواره‌ها، نیروی چند نیوتونی را وارد می‌کند؟ ($g = 10 \text{ m/s}^2$) (ریاضی خارج ۹۸)

- ۲۰ (۱)
۲۵ (۲)
۲۵√۲ (۳)
۵۰√۲ (۴)

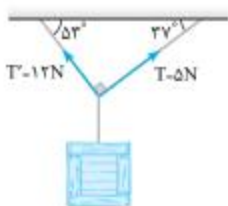
۸۹۹. مطابق شکل با نیروی افقی $F = 8 \text{ N}$ جسمی به جرم 600 g را که به یک طناب بدون جرم وصل است، ساکن نگه داشته‌ایم. بزرگی نیروی کشش طناب



چند نیوتون است؟ ($g = 10 \text{ N/kg}$)

- ۶ (۱)
۸ (۲)
۱۴ (۴)
۱۰ (۳)

۹۰۰. در شکل روبه‌رو، جرم نخ‌ها ناچیز و جسم در حال تعادل است. بزرگی نیروی وزن جسم چند نیوتون است؟ ($\cos 37^\circ = 0.8$)

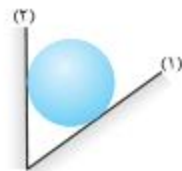


- ۵ (۱)
۱۲ (۲)
۱۳ (۳)
۱۷ (۴)

۹۰۱. در شکل مقابل، جرم کره همگن 6 kg و اندازه نیرویی که دیوار (۱) بر کره وارد می‌کند، برابر نیرویی است که دیوار

قائم (۲) بر کره وارد می‌کند. اگر اصطکاک بین سطوح ناچیز باشد، اندازه نیرویی که دیوار (۲) بر کره در حال تعادل وارد

می‌کند در SI کدام است؟ ($g = 10 \text{ N/kg}$)

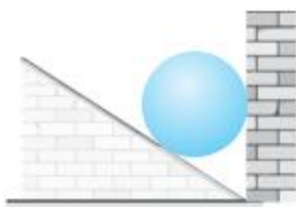


- صفر (۱)
۶۰ (۳)
۹۰ (۴)
۴۰ (۲)

۹۰۲. در شکل مقابل، جسم کروی به جرم 30 kg بین دو سطح شیب‌دار و دیوار قائم تکیه داده شده است. اگر اندازه

نیرویی که دیوار قائم بر جسم کروی وارد می‌کند، 0.8 برابر اندازه نیرویی باشد که سطح شیب‌دار بر جسم کروی

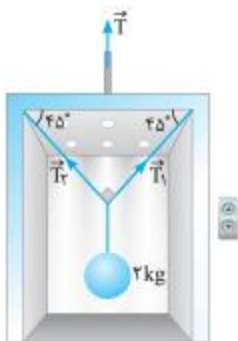
وارد می‌کند، اندازه نیرویی که دیوار قائم بر جسم کروی وارد می‌کند در SI کدام است؟ ($g = 10 \text{ N/kg}$)



- ۱۰۰ (۱)
۲۰۰ (۲)
۳۰۰ (۳)
۴۰۰ (۴)

۹۰۳. در شکل روبه‌رو، آسانسور با شتاب 2 m/s^2 به صورت کندشونده رو به پایین حرکت می‌کند. بزرگی برآیند

نیروهای کشش نخ‌های \vec{T}_1 و \vec{T}_2 چند نیوتون است؟ (جرم نخ‌ها ناچیز است و $g = 10 \text{ N/kg}$)

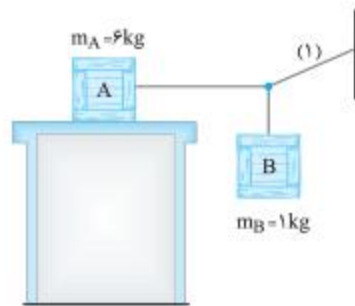


- صفر (۱)
۲۴ (۲)
۱۶ (۳)
۴ (۴)

۹۰۴. در شکل مقابل، دو جسم A و B در حال تعادل‌اند. زمانی که جسم A در آستانه حرکت است،

نیروی کشش نخ (۱) برابر 26 N است. ضریب اصطکاک ایستایی بین جسم A و سطح میز کدام است؟

($g = 10 \text{ N/kg}$)



- ۰/۱ (۱)
۰/۲۴ (۲)
۰/۴ (۳)
۰/۴۴ (۴)



فصل در یک نگاه

۱ قوانین نیوتون

• **قانون سوم:** هرگاه جسمی به جسم دیگر نیرو وارد کند، جسم دوم نیز به جسم اول، نیرویی هم اندازه، هم راستا و در خلاف جهت وارد می‌کند.

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$

نکته

$$F_{net} = 0 \Leftrightarrow a = 0$$

۲ \vec{F}_{net} و \vec{a} همیشه هم جهت هستند.

• **قانون اول:** اگر $F_{net} = 0$ باشد، جسم تمایل به حفظ وضعیت حرکتش دارد. (لختی)
 • **قانون دوم:** هرگاه بر جسم نیروی خالصی وارد شود، جسم تحت تأثیر آن نیرو شتاب می‌گیرد که این شتاب با نیروی خالص نسبت مستقیم داشته و در همان جهت نیروی خالص است و با جرم رابطه عکس دارد.

$$\vec{F}_{net} = m\vec{a}$$

(مجموع نیروهای مخالف حرکت) - (مجموع نیروهای موافق حرکت): F_{net} = نیروی خالص

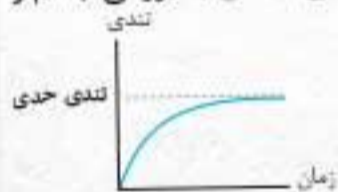
۲ نیروهای خاص

• وزن (W)

۱ $W = mg$ نیروی وزن همواره به سمت مرکز زمین است. ۲ جرم جسم همیشه ثابت است، اما وزن آن در شرایط مختلف، تغییر می‌کند. ۳ واکنش نیروی وزن از طرف جسم بر زمین وارد می‌شود.

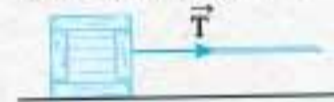
• مقاومت شاره (\vec{f}_D)

۱ نیرویی است که شاره در خلاف جهت حرکت جسم بر آن وارد می‌کند. ۲ به بزرگی جسم و تندی آن بستگی دارد. (تندی بیشتر \leftarrow مقاومت شاره بیشتر)
 • تندی حدی: بیشینه تندی سقوط جسم در هوا را تندی حدی می‌گویند که در این حالت $f_D = mg$ است.

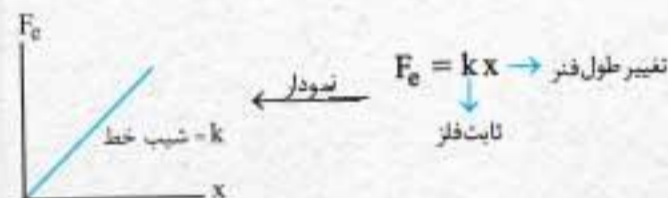


• کشش نخ (T)

۱ کشش نخ در تمام نقاط یک نخ یا طناب بدون جرم ثابت است. ۲ جهت کشش، همواره به سمت مرکز نخ است.



• کشسانی فنر (F_e)



• عمودی سطح (F_N)

از طرف سطح، عمود بر جسم اثر می‌کند. اگر جسم بدون وجود نیروی خارجی روی سطح افقی، ساکن باشد، $F_N = mg$ است. در غیر این صورت باید F_N محاسبه شود.

حرکت آسانسور: بسته به اندازه شتاب و جهت حرکت آسانسور، نیروی عمودی سطح مطابق جدول زیر است:

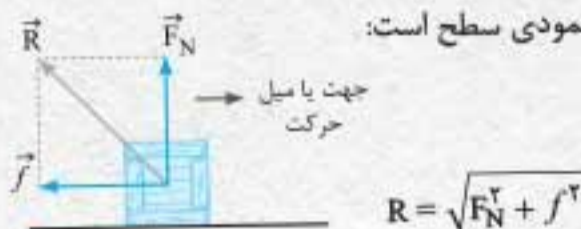
جهت حرکت	ساکن	تندشونده رو به پایین / کند شونده رو به بالا	تندشونده رو به بالا / کند شونده رو به پایین	سقوط آزاد (پاره شدن کابل)
F_N	$F_N = mg$	$F_N = m(g - a)$	$F_N = m(g + a)$	$F_N = 0$

• اصطکاک (f)

جسم ساکن	اصطکاک ایستایی: f_s	$f_s = F_{جرم}$
جسم در آستانه حرکت	اصطکاک ایستایی بیشینه: $f_{s,max}$	$f_{s,max} = \mu_s F_N$
جسم متحرک	اصطکاک جنبشی: f_k	$f_k = \mu_k F_N$

• نیروی سطح (R)

برایند دو نیروی اصطکاک و عمودی سطح است:



• تعادل:

اگر جسم ساکن باشد $\Leftrightarrow \vec{a} = 0 \Leftrightarrow \vec{F}_{net} = 0$
 در نتیجه $F_{net,x} = 0, F_{net,y} = 0$

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \xrightarrow{\text{شتاب گرانشی در فاصله h از سطح زمین}} g' = \frac{GM_e}{(R_e + h)^2} \xrightarrow{\text{شتاب گرانشی در سطح زمین}} g' = \frac{GM_e}{R_e^2}$$

• نیروی گرانشی:

• نکته (p)

۱ $\vec{p} = m\vec{v}$ \leftarrow حالت یکمندی $p = mv$ ۲ رابطه تکانه با انرژی جنبشی: $K = \frac{p^2}{2m} = \frac{pv}{2}$ ۳ تغییر تکانه: $\Delta \vec{p} = m\Delta \vec{v}$ (حواسمان به جهت v باشد).

$$\vec{F}_{av} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t}$$

نکته مساحت زیر نمودار نیروی خالص بر حسب زمان، برابر با Δp است.

ایستگاه ۱: حرکت نوسانی و مفاهیم اولیه

به حرکت‌هایی که در آن‌ها اجسام پی‌درپی در حال انجام یک حرکت رفت و برگشتی‌اند، **حرکت نوسانی** می‌گویند. ضربان قلب انسان، تاب خوردن، بالا و پایین رفتن سرنشینان یک کشتی که در حال حرکت روی امواج است، زمین‌لرزه و حرکت جسم متصل به فنر، نمونه‌هایی از حرکت نوسانی‌اند.

نکته: به جسمی که دارای حرکت نوسانی است، نوسانگر گفته می‌شود.



نوسان دوره‌ای

نوسان‌ها می‌توانند دوره‌ای باشند یا نباشند. نوسانی را دوره‌ای می‌نامند که هر دور آن در دوره‌ای دیگر دقیقاً تکرار شود. شکل مقابل تصویری از ریتم قلب انسان را نشان می‌دهد که مثالی معروف از حرکت‌های نوسانی دوره‌ای است.

چرخه (سیکل)

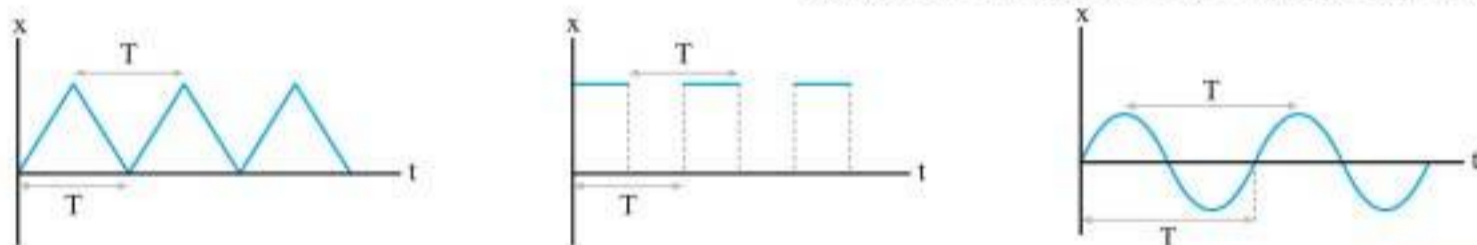
اگر دوباره به تصویر ریتم قلب انسان نگاه کنیم، می‌بینیم که نقش‌های این تصویر به‌طور منظم تکرار می‌شوند که به آن **چرخه** یا **سیکل** حرکت گفته می‌شود. **تذکره:** وقتی نوسانگر، یک چرخه یا سیکل کامل را طی می‌کند، یک نوسان کامل انجام داده است: یعنی هنگامی که نوسانگر پس از انجام حرکت رفت و برگشت کامل، به وضعیت اولیه خود بازگردد، یک نوسان کامل انجام داده است.

دوره تناوب

مدت‌زمان انجام یک چرخه کامل (یک نوسان کامل)، **دوره تناوب** نامیده می‌شود و آن را با T نمایش می‌دهند.

تذکره: دوره تناوب از جنس زمان بوده و واحد آن در SI، ثانیه (s) است.

در شکل‌های زیر دوره تناوب چند حرکت دوره‌ای را مشاهده می‌کنید:



بسامد (فرکانس)

تعداد نوسان‌های کامل انجام‌شده (تعداد چرخه یا سیکل) در مدت‌زمان یک ثانیه (واحد زمان) را **بسامد** یا **فرکانس** می‌نامند و آن را با نماد f نشان می‌دهند. آن جایی که مدت زمان یک نوسان کامل برابر با T (دوره تناوب) است، رابطه بین بسامد و دوره تناوب را می‌توان به صورت مقابل نوشت:

تذکره: یکای بسامد در SI، $\frac{1}{\text{ثانیه}}$ است که به افتخار فیزیکدان مشهور آلمانی، هاینریش هرتز، هرتز نامگذاری شده است و با نماد Hz نشان داده می‌شود. $1 \text{ Hz} = 1 \text{ (چرخه بر ثانیه)} = \frac{1}{\text{ثانیه}} = \text{s}^{-1}$

تست: نمودار جریان بر حسب زمان وسیله‌ای برقی، مطابق شکل است. دوره تناوب این جریان چند ثانیه است؟

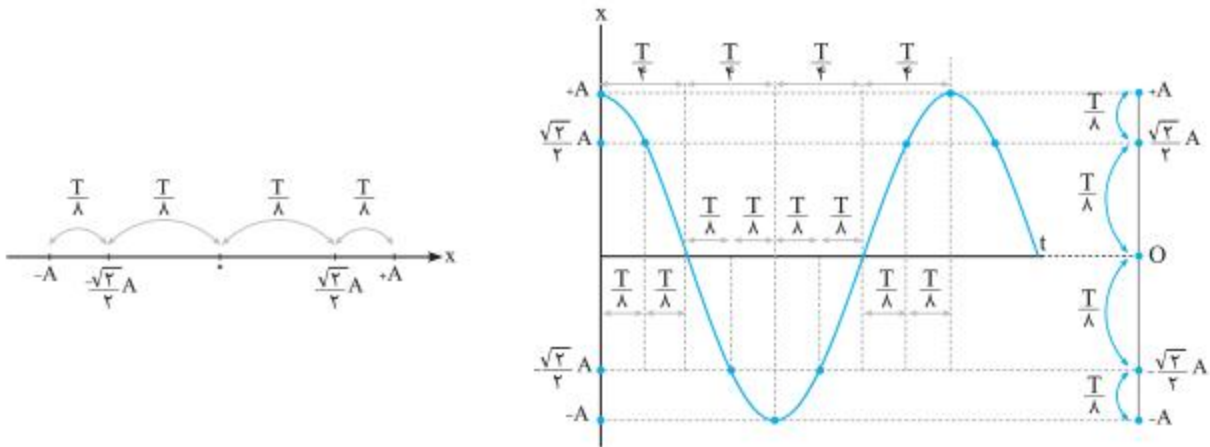
پاسخ: گزینه ۳

چرخه یا سیکل جریان این وسیله برقی یک مثلث است که در هر ۱۰ ms، یک بار تکرار می‌شود؛ بنابراین دوره تناوب این جریان برابر با ۱۰ ms است:

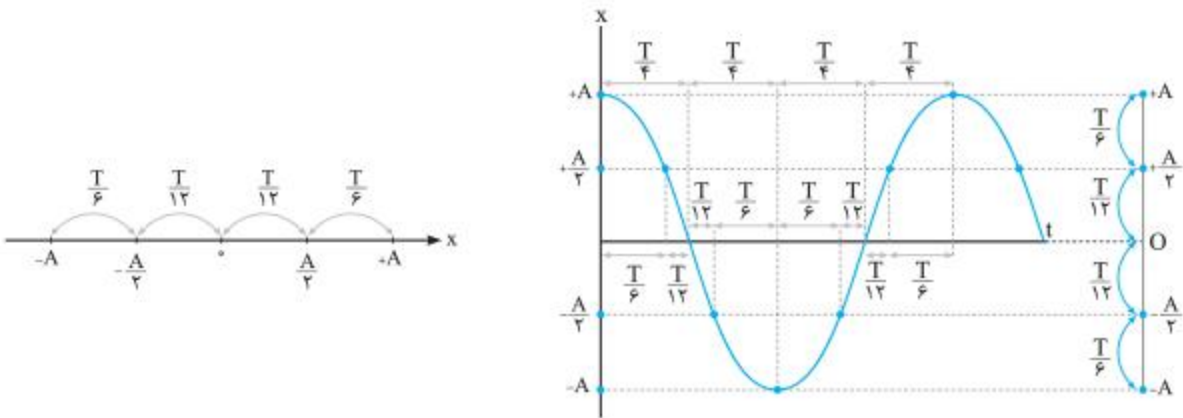
$$T = 10 \text{ ms} \xrightarrow{1 \text{ ms} = 10^{-3} \text{ s}} T = 10 \times 10^{-3} \text{ s} = 10^{-2} \text{ s} = 0.01 \text{ s}$$

۱۰ (۱)
۲۰ (۲)
۰/۰۱ (۳)
۰/۰۲ (۴)

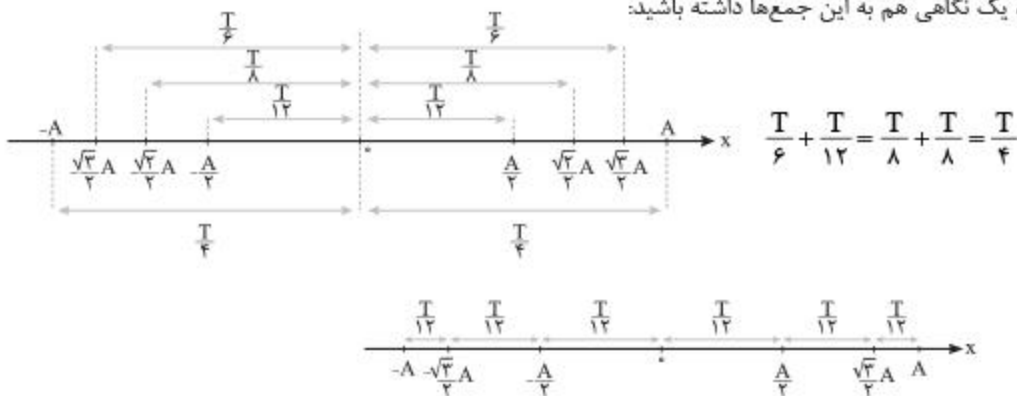
$$x = \pm \frac{\sqrt{2}}{2} A \quad \text{۲}$$



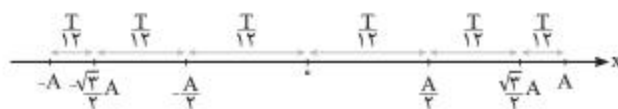
$$x = \pm \frac{1}{2} A \quad \text{۳}$$



تذکره: برای راحت‌تر شدن کار شما برای حفظ کردن این الگوها، هر ۴ نقطه خاص را با هم در شکل زیر آورده‌ایم، همچنین جمع‌های زیر نیز در پاسخ‌گویی تست‌ها پر کاربرد هستند، یک نگاهی هم به این جمع‌ها داشته باشید:



شکل زیر هم می‌تواند مفید باشد:



تست: نوسانگر هماهنگ ساده‌ای روی پاره‌خطی به طول ۸cm، نوسان می‌کند. اگر بسامد حرکت ۲Hz باشد، حداقل چند ثانیه طول می‌کشد

نوسانگر از مکان $x = 2\text{ cm}$ به مرکز نوسان برسد؟

$$\frac{1}{24} (۴)$$

$$\frac{1}{6} (۳)$$

$$\frac{1}{4} (۲)$$

$$\frac{1}{3} (۱)$$

پاسخ: گزینه ۴

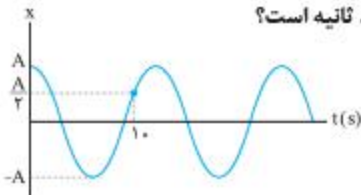
نوسانگر از مکان $x = 2\text{ cm}$ به مرکز نوسان برسد؟

$$2A = \lambda \Rightarrow \lambda = 2A \Rightarrow A = 4\text{ cm} \quad , \quad T = \frac{1}{f} = \frac{1}{2}\text{ s}$$

گام اول دامنه و دوره را محاسبه می‌کنیم:

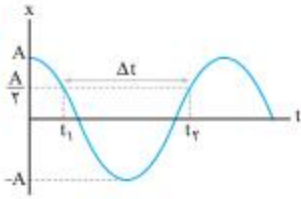
گام دوم x را بر حسب A محاسبه می‌کنیم:

$$\frac{x}{A} = \frac{2}{4} = \frac{1}{2} \Rightarrow x = \frac{A}{2}$$



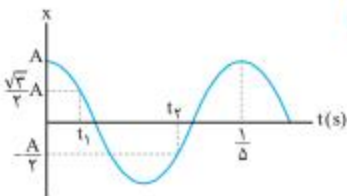
۱۱۱۷. شکل مقابل، نمودار مکان - زمان حرکت هماهنگ ساده‌ای را نشان می‌دهد. دوره نوسان این نوسانگر چند ثانیه است؟

- ۱۱ (۱)
- ۱۲ (۲)
- ۱۲/۵ (۳)
- ۱۳ (۴)



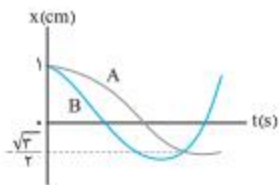
۱۱۱۸. در نمودار روبه‌رو که مربوط به نوسانگر ساده است، Δt چند برابر دوره است؟ (ریاضی خارج ۸۹ با تغییر)

- ۱/۲ (۱)
- ۱/۳ (۲)
- ۲/۳ (۳)
- ۳/۴ (۴)



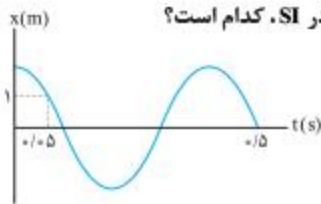
۱۱۱۹. نمودار مکان - زمان نوسانگری مطابق شکل است. $\Delta t = t_2 - t_1$ چند ثانیه است؟ (ریاضی خارج ۹۰ با تغییر)

- ۱/۱۰ (۱)
- ۱/۱۵ (۲)
- ۱/۱۲ (۳)
- ۷/۶۰ (۴)



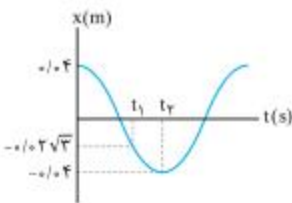
۱۱۲۰. نمودار مکان - زمان دو نوسانگر که دارای حرکت هماهنگ ساده هستند، مطابق شکل روبه‌رو است. دوره تناوب نوسانگر A چند برابر دوره تناوب نوسانگر B است؟ (کانون فرهنگی آموزش)

- ۱/۲ (۱)
- ۱/۳ (۲)
- ۲ (۳)
- ۲ (۴)



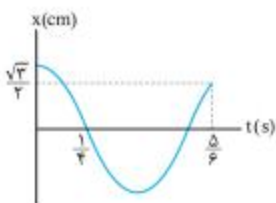
۱۱۲۱. شکل مقابل، نمودار مکان - زمان حرکت هماهنگ ساده‌ای را نشان می‌دهد. معادله مکان - زمان این نوسانگر در SI، کدام است؟

- (۱) $x = 2 \cos(\Delta \pi t)$
- (۲) $x = \sqrt{2} \cos(\Delta \pi t)$
- (۳) $x = 2 \cos(2 / \Delta \pi t)$
- (۴) $x = \sqrt{2} \cos(2 / \Delta \pi t)$



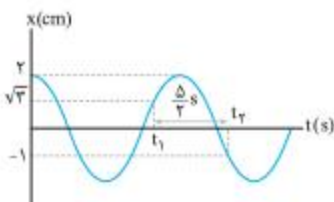
۱۱۲۲. نمودار مکان - زمان نوسانگر هماهنگ ساده‌ای مطابق شکل زیر است. معادله آن در SI کدام است؟ (تجربی ۸۵ با تغییر)

- (۱) $x = 0.4 \cos(\frac{\Delta \pi}{3} t)$
- (۲) $x = 0.4 \cos(\frac{\Delta \pi}{6} t)$
- (۳) $x = 0.4 \cos(\frac{\Delta \pi}{4} t)$
- (۴) $x = 0.4 \cos(\frac{\Delta \pi}{8} t)$



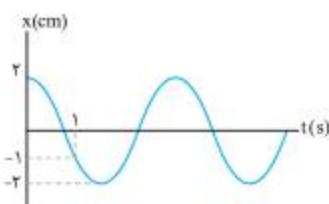
۱۱۲۳. نمودار مکان - زمان نوسانگری مطابق شکل است. مکان نوسانگر در لحظه $t = \frac{7}{12}$ s چند سانتی‌متر است؟

- ۳/۲ (۱)
- ۳/۲ (۲)
- sqrt(3)/۲ (۳)
- sqrt(3)/۲ (۴)



۱۱۲۴. نمودار مکان - زمان نوسانگری، مطابق شکل است. فاصله نوسانگر از مبدأ در لحظه $t = 1$ s چند سانتی‌متر است؟ (ریاضی خارج ۸۷)

- ۱ (۱)
- sqrt(2) (۲)
- sqrt(3) (۳)
- ۱/۲ (۴)

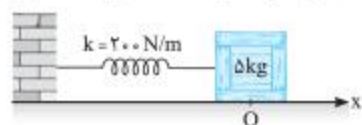


۱۱۲۵. نمودار مکان - زمان نوسانگری مطابق شکل است. سرعت متوسط آن در فاصله زمانی $t = 0$ s تا $t = \frac{\pi}{8}$ s چند سانتی‌متر بر ثانیه است؟ ($\sqrt{2} = 1/4$, $\sqrt{3} = 1/7$)

- ۸/۲۱ (۱)
- ۸/۳۵ (۲)
- ۸/۲۱ (۳)
- ۸/۳۵ (۴)

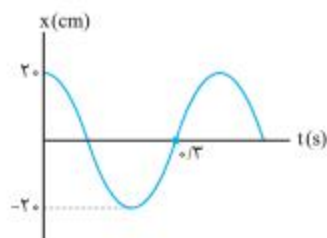


۱۱۴۵. در شکل روبه‌رو، وزنه روی پاره‌خطی به طول ۲۰ cm حرکت هماهنگ ساده انجام می‌دهد. اگر در لحظه $t = -s$ وزنه در مکان $x = 10\text{ cm}$ باشد، مکان آن در لحظه $t = \frac{5}{12}\text{ s}$ بر حسب سانتی‌متر، کدام است؟ ($\pi^2 = 10$)



- (۱) ۵
- (۲) $5\sqrt{3}$
- (۳) -۵
- (۴) $-5\sqrt{3}$

۱۱۴۶. نمودار مکان-زمان حرکت نوسانگر جرم و فنری، مطابق شکل است. اگر جرم نوسانگر 0.4 kg باشد، ضریب سختی فنر چند واحد SI است؟ ($\pi^2 = 10$)



- (۱) ۱۰
- (۲) ۲۰
- (۳) ۱۰۰
- (۴) ۲۰۰

۱۱۴۷. معادله مکان-زمان نوسانگر جرم و فنری در SI به صورت $x = A \cos(\omega t)$ است و ۲ ثانیه طول می‌کشد تا متحرک پس از لحظه صفر برای دومین بار به نقطه $x = -\frac{A}{2}$ برسد. اگر جرم وزنه متصل به فنر را ۱۹ درصد کاهش دهیم، دوره تناوب آن چند ثانیه خواهد شد؟ (کانون فرهنگی آموزش)

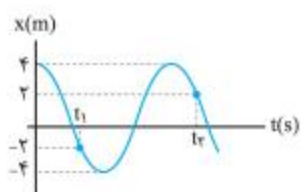
- (۱) 0.9
- (۲) $2/7$
- (۳) $1/8$
- (۴) $5/4$

۱۱۴۸. جسمی به انتهای فنر افقی بدون جرمی بسته شده و روی مسیر افقی بدون اصطکاک نوسان می‌کند. اگر در فاصله ۲ cm از مرکز نوسان، اندازه نیروی کشسانی فنر، ۸ برابر وزن جسم باشد، این نوسانگر در هر دقیقه چند نوسان کامل انجام می‌دهد؟ ($g = \pi^2$)

- (۱) ۶۰
- (۲) ۱۲۰
- (۳) ۶۰۰
- (۴) ۱۲۰۰

۱۱۴۹. وزنه‌ای را به یک فنر بدون جرم به طول ۲۰ cm متصل کرده و آن را در راستای قائم به نوسان در می‌آوریم. اگر حداقل و حداکثر طول فنر در حین نوسان ۲۲ cm و ۲۶ cm باشد، دوره این نوسانگر جرم و فنر چند ثانیه است؟ ($g = \pi^2\text{ m/s}^2$)

- (۱) 0.2
- (۲) 0.3
- (۳) 0.4
- (۴) 0.5



۱۱۵۰. نمودار مکان-زمان نوسانگر هماهنگ ساده وزنه-فنری مطابق شکل مقابل است. اگر ثابت فنر $10\pi^2\text{ N/m}$ و جرم وزنه ۴۰۰ g باشد، حاصل $t_2 - t_1$ بر حسب ثانیه کدام است؟ (کانون فرهنگی آموزش)

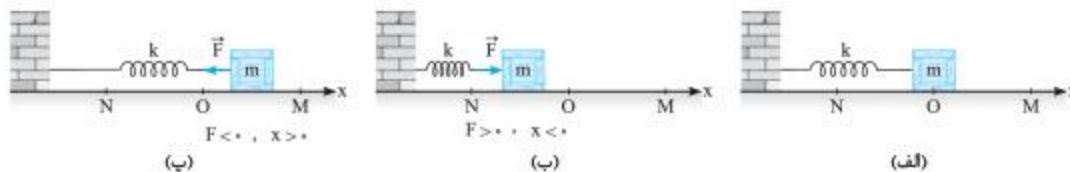
- (۱) $\frac{1}{4}$
- (۲) $\frac{1}{15}$
- (۳) $\frac{1}{12}$
- (۴) $\frac{1}{3}$

ایستگاه ۴: معادلات نیرو-مکان و شتاب-مکان حرکت هماهنگ ساده

در متن کتاب درسی اشاره مستقیم به معادلات شتاب و نیروی حرکت هماهنگ ساده نشده است؛ اما در تمرین‌های آخر فصل سوالات نیرو و شتاب حرکت هماهنگ ساده وجود دارد. علاوه بر این در فصل قبل با نیروی فنر و قانون دوم نیوتون آشنا شده‌اید. بنا به همین دو دلیل مهم، طراح کنکور می‌تواند سوالات نیرو و شتاب حرکت هماهنگ ساده را مطرح کند؛ بنابراین ما در این کتاب به این موضوعات پرداخته‌ایم.

معادله نیرو-مکان

مطابق شکل‌های زیر، نوسانگر جرم و فنری را در نظر بگیرید که روی سطح افقی بدون اصطکاک حرکت هماهنگ ساده انجام می‌دهد. تنها نیروی وارد بر جسم در راستای افقی، نیروی فنر است و وقتی جسم در نقطه O است، فنر طول عادی خود را دارد. طبق قانون هوک، اندازه نیروی فنر از رابطه $|F| = k|x|$ به دست می‌آید. در این رابطه k ، ثابت فنر و $|x|$ فاصله نوسانگر از نقطه تعادل است.



همان‌طور که در شکل (پ) مشاهده می‌کنید، در مکان‌های مثبت ($x > 0$) فنر باز شده و نیروی فنر به سمت چپ است ($F < 0$). همچنین مطابق شکل (ب) در مکان‌های منفی ($x < 0$)، فنر فشرده شده و نیروی فنر به سمت راست است ($F > 0$). یعنی همواره علامت x و F مخالف یکدیگر است؛ در نتیجه حالا با در نظر گرفتن علامت x و F ، رابطه نیروی وارد بر نوسانگر بر حسب مکان آن به صورت روبه‌رو به دست می‌آید:

$$F = -kx$$

نکته: ۱) نیروی وارد بر نوسانگر هماهنگ ساده، همواره به سمت مرکز نوسان (نقطه O) است.

۲) برای مقایسه اندازه نیروی وارد بر یک نوسانگر در دو مکان x_1 و x_2 از رابطه $F = -kx$ استفاده می‌کنیم:

$$\left. \begin{aligned} F_1 &= -kx_1 \\ F_2 &= -kx_2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{F_2}{F_1} = \frac{-kx_2}{-kx_1} \Rightarrow \frac{F_2}{F_1} = \frac{x_2}{x_1}$$

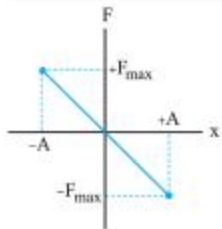
پاسخ: گزینه ۴

گام اول: معادله مکان - زمان نوسانگر ساده به صورت $x = A \cos(\omega t)$ است، در نتیجه می توان نوشت:

$$x_1 = 0.1 \cos(10\pi t) \Rightarrow A_1 = 0.1 \text{ m}, \omega_1 = 10\pi \text{ rad/s} \quad , \quad x_2 = 0.2 \cos(20\pi t) \Rightarrow A_2 = 0.2 \text{ m}, \omega_2 = 20\pi \text{ rad/s}$$

گام دوم: حالا از نکته فوق استفاده می کنیم:

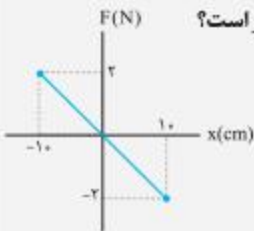
$$\frac{F_{\max_2}}{F_{\max_1}} = \left(\frac{m_2}{m_1}\right) \times \left(\frac{A_2}{A_1}\right) \times \left(\frac{\omega_2}{\omega_1}\right)^2 \xrightarrow{F_{\max_1} = F_{\max_2}} 1 = \left(\frac{m_2}{m_1}\right) \times \left(\frac{0.2}{0.1}\right) \times \left(\frac{20\pi}{10\pi}\right)^2 \Rightarrow 1 = \left(\frac{m_2}{m_1}\right) \times 2 \times 2^2 \Rightarrow \frac{m_2}{m_1} = \frac{1}{8}$$



نکته: معادله نیرو - مکان حرکت هماهنگ ساده به صورت $F = -kx$ یا $F = -m\omega^2 x$ است، بنابراین نمودار نیرو بر حسب مکان به صورت شکل روبه‌رو است و همچنین توجه کنید که بیشینه x هم‌اندازه با دامنه نوسان است ($x_{\max} = \pm A$).

$$F_{\max} = kA = mA\omega^2$$

تست: نمودار نیرو - مکان نوسانگر هماهنگ ساده‌ای به جرم 200 g مطابق شکل زیر است. بسامد نوسان‌های آن چند هرتز است؟



$$\frac{10}{\pi} \quad (2)$$

$$\frac{5}{\pi} \quad (1)$$

$$\frac{20}{\pi} \quad (4)$$

$$\frac{15}{\pi} \quad (3)$$

پاسخ: گزینه ۱

گام اول: طبق نمودار مشخص است که $A = 10 \text{ cm}$ و $F_{\max} = 2 \text{ N}$ می باشد.

گام دوم: با استفاده از رابطه $F_{\max} = mA\omega^2$ ، بسامد زاویه‌ای را محاسبه می کنیم:

$$F_{\max} = mA\omega^2 \xrightarrow{\substack{F_{\max} = 2 \text{ N}, A = 10 \text{ cm} = 10^{-1} \text{ m} \\ m = 200 \text{ g} = 2 \times 10^{-1} \text{ kg}}} 2 = 2 \times 10^{-1} \times 10^{-1} \times \omega^2 \Rightarrow \omega^2 = 100 \Rightarrow \omega = 10 \text{ rad/s}$$

$$\omega = 2\pi f \xrightarrow{\omega = 10 \text{ rad/s}} 10 = 2\pi f \Rightarrow f = \frac{5}{\pi} \text{ Hz}$$

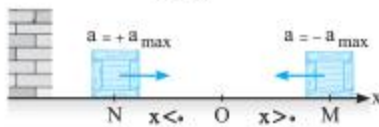
گام سوم: رابطه بسامد و بسامد زاویه‌ای به صورت $\omega = 2\pi f$ است.

معادله شتاب - مکان

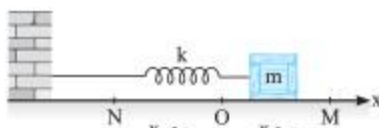
طبق قانون دوم نیوتون، نیروی خالص وارد بر جسم برابر با حاصل ضرب جرم در شتاب جسم است. نیروی وارد بر جسم از رابطه $F = -kx$ به دست می آید:

$$F = -kx \xrightarrow{\substack{\text{قانون دوم نیوتون} \\ F=ma}} ma = -kx \Rightarrow a = -\frac{k}{m}x \xrightarrow{\omega^2 = \frac{k}{m}} a = -\omega^2 x$$

در نتیجه می توان نوشت:



رابطه به دست آمده، معادله شتاب - مکان نوسانگر هماهنگ ساده است. مشاهده می کنید که همواره علامت شتاب و مکان نوسانگر مخالف یکدیگر است. مطابق شکل، شتاب نوسانگر (مانند نیرو) همواره به سمت مرکز نوسان است، یعنی جهت حرکت تأثیری در علامت شتاب ندارد و فقط علامت مکان جسم مهم است.



نکته: مطابق شکل مقابل، نوسانگر جرم و فنری را در نظر بگیرید که حرکت هماهنگ ساده انجام می دهد. در جدول زیر در چهار وضعیت، پارامترهای مربوط به نوسانگر را تحلیل کرده ایم:

وضعیت نوسانگر	شکل	مکان	سرعت	نیرو	شتاب	نوع حرکت
نوسانگر در مسیر MO در حال نزدیک شدن به مبدأ است.		+	-	-	-	تندشونده
نوسانگر در مسیر ON در حال نزدیک شدن به انتهای مسیر است.		-	-	+	+	کندشونده
نوسانگر در مسیر NO در حال نزدیک شدن به مبدأ است.		-	+	+	+	تندشونده
نوسانگر در مسیر OM در حال نزدیک شدن به انتهای مسیر است.		+	+	-	-	کندشونده

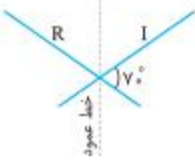
در جدول فوق هم مشاهده می کنید که در لحظه عبور نوسانگر از مرکز نوسان (نقطه O) علامت نیرو و شتاب تغییر می کند.

۱۵۷۱. موج تختی با یک مانع برخورد کرده و بازتاب می‌شود. اگر زاویه بین جبهه‌های موج تابیده با جبهه‌های موج بازتابیده برابر با ۸۰° درجه باشد، زاویه تابش چند درجه است؟

- (۱) ۴۰°
 (۲) ۵۰°
 (۳) ۶۰°

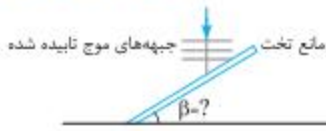
(۴) بسته به شرایط هر یک از گزینه‌های «۱» و «۲» می‌تواند درست باشد.

۱۵۷۲. در شکل مقابل، یک جبهه موج فرودی (I) و یک جبهه موج بازتابی (R) را مشاهده می‌کنید. زاویه تابش چند درجه است؟



- (۱) ۲۰°
 (۲) ۳۵°
 (۳) ۶۵°
 (۴) ۷۰°

۱۵۷۳. در شکل زیر، جبهه‌های موج تابیده شده به مانع تخت، موازی محور x ها هستند. اگر امتداد جبهه‌های موج بازتابیده با محور x ها زاویه ۶۰° بسازند، زاویه مانع تخت با محور x چند درجه است؟

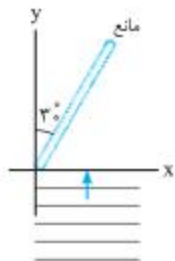


- (۱) ۳۰°
 (۲) ۶۰°
 (۳) ۴۵°
 (۴) ۹۰°

۱۵۷۴. در شکل روبه‌رو تشت موجی را مشاهده می‌کنید. تیغه تخت در سطح آب نوسان می‌کند و موج ایجاد شده به دلیل این نوسان‌ها با مانع تخت برخورد می‌کند. در کدام گزینه جبهه‌های موج بازتابیده از مانع به درستی رسم شده است؟

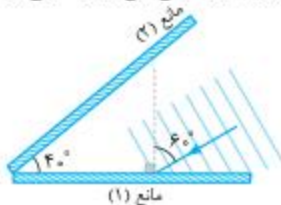


۱۵۷۵. در شکل روبه‌رو، موج تختی موازی محور y حرکت کرده و با مانع تختی برخورد می‌کند. در کدام گزینه جبهه‌های موج بازتابیده از مانع به درستی رسم شده است؟



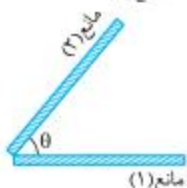
بازتاب موج از دو مانع تخت متقاطع

۱۵۷۶. دو مانع تخت متقاطع با یکدیگر زاویه ۴۰° می‌سازند. جبهه موج تختی با زاویه تابش ۶۰° با مانع (۱) برخورد می‌کند. زاویه بازتابش این جبهه موج از سطح مانع (۲)، چند درجه است؟



- (۱) ۲۰°
 (۲) ۴۰°
 (۳) ۶۰°
 (۴) ۷۰°

۱۵۷۷. مطابق شکل، دو مانع تخت با یکدیگر زاویه θ می‌سازند. اگر جبهه موجی با مانع (۱) برخورد کرده، بازتاب شود و در ادامه، بازتاب آن با مانع (۲) برخورد کرده و بازتاب شود، مسیر حرکت آن چند درجه منحرف می‌شود؟ ($\theta < ۹۰^\circ$)



- (۱) θ
 (۲) ۲θ
 (۳) $۱۸۰ - \theta$
 (۴) $۱۸۰ - ۲\theta$

ایستگاه ۱: فوتون

فیزیک جدید

علیرغم موفقیت فیزیک کلاسیک در توصیف گستره وسیعی از پدیده‌های فیزیکی، در ابتدای قرن بیستم، پدیده‌هایی مشاهده و آزمایش‌هایی انجام شد که توجیه آن‌ها به کمک فیزیک کلاسیک ممکن نبود (مانند پدیده فوتوالکتریک و طیف خطی که در ادامه فصل با آنها آشنا می‌شویم). تلاش برای توضیح رفتار برخی پدیده‌های فیزیکی منجر به بنیان‌گذاری نظریه‌هایی از جمله نظریه نسبیت خاص، نسبیت عام و نظریه کوانتومی شد که امروزه به آن **فیزیک جدید** می‌گویند.

- **نظریه نسبیت خاص:** به مطالعه پدیده‌های فیزیکی در تندی‌های بسیار زیاد و قابل مقایسه با تندی نور می‌پردازد.
- **نظریه نسبیت عام:** مربوط به مطالعه هندسه فضا-زمان و گرانش است.
- **نظریه کوانتومی:** پدیده‌های فیزیکی در مقیاس‌های بسیار کوچک، مانند اتم‌ها و ذره‌های سازنده آن‌ها را مورد مطالعه قرار می‌دهد.

تذکر: بیشتر حوزه‌های فیزیک که تاکنون با آن سروکار داشته‌اید از جمله مکانیک نیوتونی، ترمودینامیک و نظریه الکترومغناطیسی ماکسول جزو فیزیک کلاسیک هستند که به کمک فیزیک کلاسیک قابل توجیه‌اند؛ اما برخی پدیده‌ها مانند پدیده فوتوالکتریک و طیف خطی اتم‌ها که در این فصل با آن‌ها آشنا می‌شویم توسط فیزیک کلاسیک قابل توجیه نیستند.

فوتون

اینشتین فرض کرد که نور با بسامد f را می‌توان به صورت مجموعه‌ای از بسته‌های انرژی در نظر گرفت: هر بسته انرژی که **فوتون** نام دارد، دارای انرژی‌ای است که از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$E = hf \quad \left(\begin{array}{l} \text{بسامد نور فرودی (Hz)} \\ \uparrow \\ f = \frac{c}{\lambda} \\ \text{تندی انتشار موج در خلأ } (3 \times 10^8 \text{ m/s}) \end{array} \right) \quad \left(\begin{array}{l} \text{طول موج (m)} \\ \uparrow \\ \lambda \end{array} \right) \quad \left(\begin{array}{l} \text{ثابت پلانک} \\ \downarrow \\ h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s} \end{array} \right)$$

← انرژی فوتون (J)

تذکر: ثابت پلانک نامیده می‌شود که مقدار آن در SI برابر با $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ است.

نکته: الکترون ولت: برای بیان انرژی فوتون، ژول واحد بسیار بزرگی است؛ بنابراین از واحد کوچک‌تری به نام الکترون ولت (eV) استفاده می‌کنیم. یک الکترون ولت تغییر انرژی پتانسیل یک الکترون در جابه‌جایی بین دو نقطه با اختلاف پتانسیل یک ولت است: $1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$

① برای تبدیل ژول و الکترون ولت به یکدیگر داریم:

$$J \begin{cases} \xrightarrow{\div 1.6 \times 10^{-19}} \text{eV} \\ \xrightarrow{\times 1.6 \times 10^{-19}} \text{J} \end{cases}$$

تذکر: یکای ثابت پلانک را می‌توان به جای $\text{J}\cdot\text{s}$ برحسب $\text{eV}\cdot\text{s}$ بیان کرد:

$$h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s} \times \frac{1 \text{ eV}}{1.6 \times 10^{-19} \text{ J}} \approx 4.14 \times 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}$$

② اگر h را برحسب $\text{eV}\cdot\text{s}$ و تندی c را برحسب nm/s در رابطه hc جایگذاری کنیم، داریم:

$$hc = \frac{4.14 \times 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s} \times 3 \times 10^8 \text{ nm/s}}{\text{eV}\cdot\text{s برحسب } h \quad \text{nm/s برحسب } c} \approx 1240 \text{ eV}\cdot\text{nm}$$

③ **تست:** انرژی هر یک از فوتون‌های مربوط به پرتویی با طول موج ۰/۶ میکرومتر برحسب ژول کدام است؟ ($c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ و $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$)

3×10^{-15} (۱)	$3/3 \times 10^{-19}$ (۲)	$6/6 \times 10^{-19}$ (۳)	6×10^{-22} (۴)
-------------------------	---------------------------	---------------------------	-------------------------

پاسخ: گزینه ۱

با استفاده از رابطه $E = \frac{hc}{\lambda}$ ، انرژی هر یک از فوتون‌های پرتو را حساب می‌کنیم. فقط دقت کنید طول موج باید برحسب متر باشد:

$$E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{c \times 3 \times 10^8 \text{ m/s} \times h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}}{\lambda = 0.6 \mu\text{m} = 6 \times 10^{-7} \text{ m}} \Rightarrow E = 6/6 \times 10^{-22} \times \frac{3 \times 10^8}{6 \times 10^{-7}} \Rightarrow E = 3/3 \times 10^{-19} \text{ J}$$

توجه کنید که چون h برحسب $\text{J}\cdot\text{s}$ است، انرژی هم برحسب ژول به دست می‌آید.

انرژی موج الکترومغناطیسی

برای محاسبه انرژی موج الکترومغناطیسی ابتدا باید با مفهوم کمیت کوانتومی آشنا شویم. **کمیت کوانتومی:** کمیتی گسسته است که مضرب درستی از مقدار پایه یا کوانتوم آن کمیت است؛ به طور مثال بار الکتریکی (q) کمیتی کوانتومی است و کوانتوم (مقدار پایه) آن برابر با بار الکتریکی یک الکترون ($e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$) است. حالا در مورد انرژی موج الکترومغناطیسی می‌توان گفت: انرژی موج الکترومغناطیسی کمیتی کوانتومی است که مضرب درستی از انرژی یک فوتون (hf) است.

ایستگاه ۲: اثر فوتوالکتریک

شکل‌های زیر برهم‌کنش نور فرودی فرابنفش و مرئی را با کلاهک یک برق‌نمای باردار نشان می‌دهد. مطابق شکل (الف)، اگر به کلاهک برق‌نمایی با بار منفی، نور فرابنفش بتابد، انحراف ورقه‌های آن کاهش می‌یابد. این درحالی است که مطابق شکل (ب) اگر نور فرابنفش را با یک نور مرئی جایگزین کنیم، تغییری در انحراف ورقه‌های برق‌نما ایجاد نمی‌شود.



حالا بیایید دلیل این پدیده را جست‌وجو کنیم: آزمایش نشان می‌دهد که هرگاه نوری با بسامد مناسب مانند فرابنفش به سطح فلزی بتابد، الکترون‌هایی از سطح آن گسیل می‌شوند. این پدیده فیزیکی را اثر فوتوالکتریک و الکترون‌های جدا شده از سطح فلز را فوتوالکترتون می‌نامند.

بنابراین حالا می‌توانیم انحراف ورقه‌های برق‌نما را این‌گونه توجیه کنیم:

۱) نور فرابنفش توانسته موجب رخداد اثر فوتوالکتریک در سطح فلز کلاهک الکتروسکوپ شود؛ بنابراین تعدادی فوتوالکترتون از این سطح جدا شده و ورقه‌های برق‌نما به هم نزدیک می‌شوند.

۲) با تابیدن نور مرئی به‌وجود آمده توسط لامپ رشته‌ای معمولی به سطح فلز کلاهک برق‌نما، اثر فوتوالکتریک رخ نمی‌دهد؛ پس فوتوالکترونی جدا نشده و در انحراف ورقه‌ها تغییری ایجاد نمی‌شود. بنابراین بسامد نور مرئی تکفامی که توسط لامپ رشته‌ای به وجود آمده به اندازه‌ای نیست که بتواند موجب رخداد اثر فوتوالکتریک شود.

نارسایی فیزیک کلاسیک در توجیه پدیده فوتوالکتریک

مشاهده نتایج آزمایش فوتوالکتریک با مبانی فیزیک کلاسیک سازگاری نداشت، به‌طوری‌که:

۱) نور، موجی الکترومغناطیسی است. می‌توان انتظار داشت هنگام برهم‌کنش نور فرودی با سطح فلز، نیروی $\vec{F} = -e\vec{E}$ ناشی از میدان الکتریکی این موج، به الکترون‌های فلز وارد شود و آن‌ها را به نوسان وادارد، بنابراین با رسیدن دامنه نوسانات برخی از الکترون‌ها به یک حد معین، الکترون‌ها انرژی جنبشی لازم برای جداسازی از سطح فلز را پیدا می‌کنند.

نتیجه: این پدیده باید در هر بسامدی رخ دهد، درحالی که این نتیجه با تجربه سازگار نیست!

۲) براساس نظریه ماکسول، شدت نور با مربع دامنه میدان الکتریکی موج متناسب است. ($I \propto E^2$)

نتیجه: در بسامدی معین، با افزایش شدت نور فرودی بر سطح فلز، باید الکترون‌ها با انرژی جنبشی بیشتری از سطح فلز جدا شود، درحالی که تجربه این را تأیید نمی‌کند. بلکه هر چه شدت نور فرودی بر سطح فلز افزایش یابد، بیشینه انرژی جنبشی فوتوالکترتون‌ها افزایش نخواهد یافت بلکه تعداد فوتوالکترتون‌ها بیشتر خواهد شد. بنابراین فیزیک کلاسیک در توجیه پدیده فوتوالکتریک ناتوان است. برای توجیه این پدیده به سراغ فیزیک جدید می‌رویم.

توجیه پدیده فوتوالکتریک توسط فیزیک جدید

همان‌طور که می‌دانیم اینشتین با توجه به کارهای قبلی پلانک، فرض کرد که نور با بسامد f را می‌توان به‌صورت مجموعه‌ای از بسته‌های انرژی در نظر گرفت. هر بسته انرژی که فوتون نام دارد، دارای انرژی‌ای است که از رابطه $E = hf = h \frac{c}{\lambda}$ به‌دست می‌آید. براساس این نظریه هر فوتون انرژی خود را تنها به یک الکترون داده و الکترون تحت شرایطی انرژی لازم جهت جداسازی از سطح فلز را به‌دست می‌آورد.

درواقع اگر فوتون انرژی کافی داشته باشد تا فرایند خارج کردن الکترون از فلز را انجام دهد، الکترون به‌طور آنی از آن گسیل می‌شود. در این صورت بخشی از انرژی فوتون صرف جدا کردن الکترون از فلز می‌شود و مابقی آن به انرژی جنبشی الکترون خارج شده تبدیل می‌شود. بنابراین دو توجیه بسیار مهم فیزیک جدید در این زمینه مطابق زیر است:

۱) اگر بسامد نور تابیده شده از بسامدی موسوم به بسامد آستانه (که به جنس فلز بستگی دارد) کمتر باشد، انرژی فوتون‌ها برای جدا کردن الکترون از سطح فلز کافی نبوده و پدیده فوتوالکتریک رخ نمی‌دهد.

۲) برای نوری که فوتون‌های آن دارای حداقل انرژی لازم برای وقوع پدیده فوتوالکتریک هستند، افزایش شدت نور (با ثابت ماندن بسامد) فقط سبب افزایش تعداد فوتون‌ها و در نتیجه افزایش تعداد فوتوالکترتون‌ها می‌شود؛ درحالی که انرژی جنبشی فوتوالکترتون‌ها بدون تغییر باقی می‌ماند.

تذکره: بیشینه طول موج فرودی بر سطح فلز که می‌تواند منجر به رخداد پدیده فوتوالکتریک شود را طول موج آستانه گویند. دقت کنید که بسامد آستانه و طول موج آستانه به جنس فلز بستگی دارد.

نکته: از روابط زیر می‌توانیم برای بدست آوردن طول موج آستانه، بسامد آستانه و یا حداقل انرژی لازم برای جدا کردن یک فلز استفاده کنیم.

$$E_{\min} = hf_{\text{آستانه}} \quad \cdot \quad E_{\min} = h \frac{c}{\lambda_{\text{آستانه}}}$$

پرسش‌های چهارگزینه‌ای

۱۹۳۴. در اتم هیدروژن، تابش پرتوهای وابسته به رشته پفوند ($n' = 5$)، در چه محدوده‌ای از طیف موج‌های الکترومغناطیسی است؟ (ریاضی خارج ۹۲)

- (۱) فرورسرخ
(۲) فرابنفش
(۳) فرورسرخ و مرئی
(۴) فرابنفش و مرئی

۱۹۳۵. در اتم هیدروژن، الکترون از تراز $n = 3$ به $n' = 1$ می‌آید. فوتون گسیلی، مربوط به کدام رشته و در کدام منطقه از طیف موج‌های الکترومغناطیسی است؟ (تجربی ۸۶)

- (۱) بالمر - فرابنفش
(۲) لیمان - مرئی
(۳) لیمان - فرابنفش
(۴) بالمر - فرورسرخ

۱۹۳۶. در اتم هیدروژن، در کدام یک از رشته‌های زیر فقط پرتوهای فرورسرخ تابش می‌شود؟ (تجربی ۹۳)

- (۱) پاشن - براکت - پفوند
(۲) بالمر - پاشن - براکت
(۳) لیمان - پاشن - براکت
(۴) بالمر - براکت - پفوند

۱۹۳۷. با گرم کردن تدریجی گاز هیدروژن از دماهای پایین تا دماهای بالا، ابتدا خط‌های رشته و در نهایت خط‌های رشته ظاهر می‌شوند. (تجربی ۸۳)

- (۱) پفوند - بالمر
(۲) لیمان - پفوند
(۳) بالمر - پفوند
(۴) پفوند - لیمان

۱۹۳۸. در اتم هیدروژن، الکترون در تراز $n = 6$ قرار دارد. این الکترون ابتدا به تراز $n' = 3$ رفته و سپس از تراز $n = 3$ به تراز $n' = 1$ می‌رود. این الکترون ابتدا فوتونی با طول موجی در ناحیه و سپس فوتونی با طول موجی در ناحیه گسیل می‌کند.

- (۱) فرابنفش - فرابنفش
(۲) فرورسرخ - فرابنفش
(۳) فرورسرخ - مرئی
(۴) مرئی - فرابنفش

۱۹۳۹. در اتم هیدروژن، کوتاه‌ترین طول موج مربوط به رشته از بلندترین طول موج مربوط به رشته بلندتر است.

- (۱) پاشن - پاشن
(۲) پاشن - بالمر
(۳) لیمان - براکت
(۴) لیمان - بالمر

۱۹۴۰. معادله خطوط طیف اتم هیدروژن مربوط به رشته‌ای به صورت $\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2} \right)$ است. خط‌های این رشته در کدام ناحیه از طیف امواج الکترومغناطیسی قرار دارند؟ ($R = 0.01 (nm)^{-1}$)

- (۱) فرورسرخ
(۲) فرابنفش
(۳) مرئی و فرابنفش
(۴) مرئی و فرورسرخ

۱۹۴۱. در اتم هیدروژن، الکترون در گذار از n به n' فوتونی در ناحیه تور مرئی گسیل می‌کند. n و n' به ترتیب از راست به چپ، کدام می‌توانند باشند؟ (تجربی ۹۱)

- (۱) ۱، ۲
(۲) ۳، ۴
(۳) ۲، ۵
(۴) ۴، ۵

۱۹۴۲. در اتم هیدروژن، الکترون در تراز $n = 3$ قرار دارد. اگر این اتم فوتونی از رشته بالمر ($n' = 2$) را تابش کند، مقدار طول موج آن چند متر است؟ (تجربی خارج ۸۸)

$$(R = 0.01 (nm)^{-1})$$

- (۱) $1/125 \times 10^{-6}$
(۲) $1/125 \times 10^{-7}$
(۳) $7/2 \times 10^{-6}$
(۴) $7/2 \times 10^{-7}$

۱۹۴۳. در اتم هیدروژن، الکترون از تراز n به تراز $n' = 2$ آمده و طول موج فوتون گسیل شده 720 nm است. این گسیل در رشته است و n برابر با

_____ می‌باشد. ($R = 0.01 (nm)^{-1}$) (تجربی خارج ۸۹)

- (۱) بالمر، ۳
(۲) لیمان، ۳
(۳) بالمر، ۹
(۴) لیمان، ۹

۱۹۴۴. در اتم هیدروژن، الکترون در مدار n قرار دارد. اگر این الکترون به مدار $n' = 3$ برود، فوتونی با طول موج 1200 nm گسیل می‌کند. n کدام است؟ (تجربی ۹۹)

$$(R = 0.01 (nm)^{-1})$$

- (۱) ۴
(۲) ۵
(۳) ۶
(۴) ۷

۱۹۴۵. در رشته براکت ($n' = 4$) برای اتم هیدروژن، در رابطه $\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$ به ازای $n = m + 1$ ، طول موج گسیلی چند میکرومتر است؟ ($R = 0.01 (nm)^{-1}$)

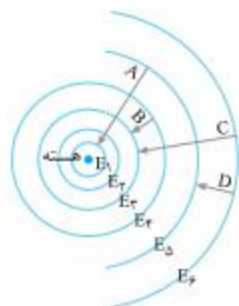
- (۱) ۰/۴
(۲) $\frac{40}{9}$
(۳) $\frac{40}{9}$
(۴) $5/10$

۱۹۴۶. در اتم هیدروژن، الکترونی از مدار n به مدار n' رفته و فوتونی با طول موج $112/5 \text{ nm}$ گسیل می‌کند. n و n' به ترتیب از راست به چپ کدام‌اند؟ (تجربی ۹۵)

$$(R = 0.01 (nm)^{-1})$$

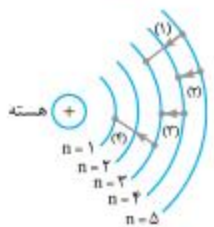
- (۱) ۱، ۳
(۲) ۱، ۴
(۳) ۲، ۳
(۴) ۲، ۴

۱۹۹۶. شکل روبه‌رو، مدارهای الکترون در الگوی بور برای اتم هیدروژن را نشان می‌دهد. در کدام گسیل، طول موج وابسته به فوتون تابش شده، بلندتر است؟



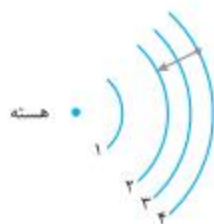
- A (۱)
- B (۲)
- C (۳)
- D (۴)

۱۹۹۷. در شکل مقابل چهار گذار در اتم هیدروژن نشان داده شده است، چه تعداد از عبارتهای زیر در مورد این شکل نادرست است؟ (الف گذارهای (۱)، (۲) و (۳) در ناحیه فرورسوخ قرار دارند. (ب) گذار (۴) در ناحیه فرابنفش قرار دارد. (پ) کمترین بسامد مربوط به گذار (۲) است. (ت) طول موج گذار (۱) بلندتر از طول موج گذار (۳) است.



- (۱) صفر
- (۲) ۱
- (۳) ۲
- (۴) ۳

۱۹۹۸. طر حواره مقابل مربوط به اتم هیدروژن در الگوی اتمی بور است. این تابش مربوط به رشته در طیف اتمی هیدروژن است و بزرگی انرژی فوتون تابش شده الکترون ولت است. ($E_R = 13/6 \text{ eV}$)



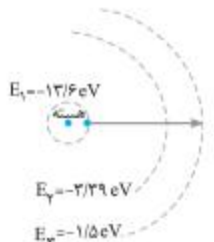
- (۱) لیمان، ۲/۵۵
- (۲) لیمان، ۱/۸۸
- (۳) بالمر، ۲/۵۵
- (۴) بالمر، ۱/۸۸

۱۹۹۹. شکل مقابل تعدادی از ترازهای اتم هیدروژن را نشان می‌دهد. کوتاه‌ترین طول موج فوتونی که با گذار بین این ترازها به دست می‌آید، تقریباً چند نانومتر است؟ ($hc = 1240 \cdot \text{eV} \cdot \text{nm}$)

$n = \infty$	$E_{\infty} = 0 \text{ eV}$
$n = 3$	$E_3 = -1/51 \text{ eV}$
$n = 2$	$E_2 = -3/4 \text{ eV}$
$n = 1$	$E_1 = -13/6 \text{ eV}$

- (۱) ۱۰۲
- (۲) ۱۲۱
- (۳) ۹۱
- (۴) ۳۶۴

۲۰۰۰. مانند شکل روبه‌رو، الکترون در اتم هیدروژن تغییر تراز داده است. در این گذار، فوتون می‌شود و انرژی آن برابر با الکترون ولت است. طول موج فوتون گسیلی نیز در ناحیه طیف الکترومغناطیسی قرار دارد.



- (۱) جذب، ۱۲/۱، فرابنفش
- (۲) تابش، ۱۲/۱، فرابنفش
- (۳) جذب، ۱/۹، فرورسوخ
- (۴) تابش، ۱/۹، فرورسوخ

۲۰۰۱. در اتم هیدروژن، اختلاف شعاع‌های دو مدار متوالی ۵ برابر شعاع اولین مدار است. اختلاف انرژی الکترون در این دو مدار چند ریذبرگ است؟

- (۱) ۱۱/۴۰۰
- (۲) ۵/۳۶
- (۳) ۷/۱۴۴
- (۴) ۳/۴

۲۰۰۲. در اتم هیدروژن، الکترون در گذار از تراز n به n' فوتونی با انرژی ۲/۵۵ eV گسیل می‌کند. n و n' به ترتیب کدام‌اند؟

- (۱) ۳، ۴
- (۲) ۲، ۴
- (۳) ۳، ۵
- (۴) ۴، ۵

۲۰۰۳. انرژی یونش الکترون در اتم هیدروژن در حالت پایه ۱۳/۶ eV است. اگر الکترون از مدار n به n' گذار کند و انرژی فوتون گسیل آن $2.0/4 \times 10^{-19} \text{ J}$ باشد، n و n' به ترتیب از راست به چپ کدام است؟

- (۱) ۱، ۴
- (۲) ۱، ۲
- (۳) ۱، ۳
- (۴) ۳، ۴

۲۰۰۴. در اتم هیدروژن، هنگامی که الکترون از مدار n به مدار پایه ($n'=1$) سقوط می‌کند، انرژی آن ۲۵ برابر می‌شود اگر الکترون از مدار n به مدار $n'=2$ سقوط کند، طول موج فوتون گسیلی در محدوده کدام طیف از امواج الکترومغناطیسی قرار خواهد داشت؟

(کانون فرهنگی آموزش)

- (۱) فرورسوخ
- (۲) مرئی
- (۳) فرابنفش
- (۴) پرتوهای گاما

۲۰۰۵. در اتم هیدروژن، الکترون در تراز قرار دارد که پرتو انرژی‌ترین فوتون تابشی از آن، ۲۴/۲۵ ریذبرگ انرژی دارد. کم‌انرژی‌ترین فوتون تابشی از این الکترون در این تراز، چند ریذبرگ انرژی دارد و مربوط به کدام رشته است؟

- (۱) ۹/۴۰۰، پفوند
- (۲) ۹/۴۰۰، براکت
- (۳) ۴۱/۴۰۰، پفوند
- (۴) ۴۱/۴۰۰، براکت

_____ eV

_____ ۱/۵۱ eV

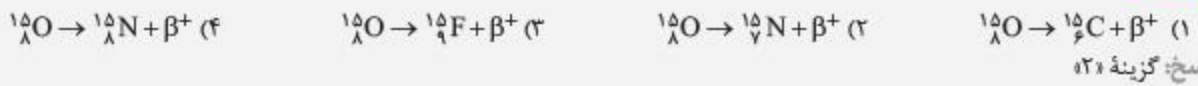
_____ ۳/۳۹ eV

_____ ۱۳/۶ eV

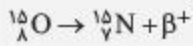
۲۰۰۶. شکل روبه‌رو، تعدادی از ترازهای انرژی اتم هیدروژن را نشان می‌دهد. کدام گذار می‌تواند به گسیل فوتونی با طول موج ۶۶۰ nm منجر شود؟ ($h = 4/126 \times 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$, $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$) (تجربی ۸۹)

- (۱) $n=1$ به $n=3$
- (۲) $n=2$ به $n=3$
- (۳) $n=1$ به $n=4$
- (۴) $n=2$ به $n=4$

تست: در واپاشی $^{15}_8\text{O}$ یک پروتون هسته مادر، به یک نوترون و یک پوزیترون تبدیل می‌شود. معادله این واپاشی به کدام شکل است؟

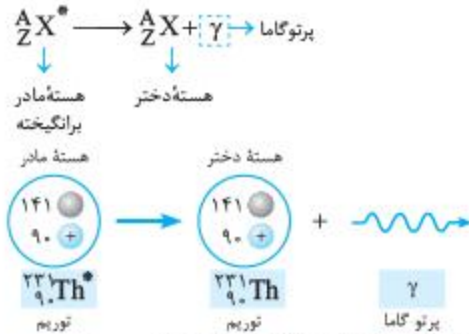


پروتون هسته مادر به یک نوترون و یک پوزیترون تبدیل شده است. در نتیجه عدد اتمی یک واحد کاهش یافته و عدد جرمی ثابت می‌ماند:



واپاشی گاما (γ)

اغلب هسته‌ها پس از واپاشی آلفا یا بتا در حالت برانگیخته قرار می‌گیرند و با گسیل فوتون‌های پر انرژی گاما به حالت پایه می‌رسند.



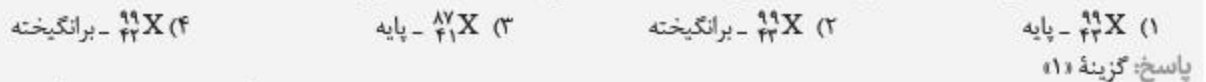
مثال: واپاشی گاما برای توریم ۲۳۱:

تذکر: در واپاشی γ ، Z و A تغییر نمی‌کنند، بلکه هسته برانگیخته که با علامت * نشان داده شده با گسیل یک ذره گاما به حالت پایه می‌رسد.

نکته: ۱) فوتون گسیل شده حاصل تغییر تراز انرژی نوکلئون‌های هسته است. پس انرژی پرتوهای γ از مرتبه keV تا MeV است.

۲) پرتو گاما از جنس امواج الکترومغناطیسی است؛ بنابراین بار الکتریکی ندارد و در میدان‌های الکترومغناطیسی منحرف نمی‌شود.

تست: در واکنش $^{238}_{92}\text{X}^* \rightarrow \dots + \gamma$ در جای خالی چه هسته‌ای قرار می‌گیرد و در چه حالتی قرار دارد؟



در واپاشی γ ، Z و A تغییری نمی‌کنند و فقط هسته برانگیخته با گسیل پرتو گاما از حالت برانگیخته ($^A_Z X^*$) به حالت پایه ($^A_Z X$) می‌رسد.

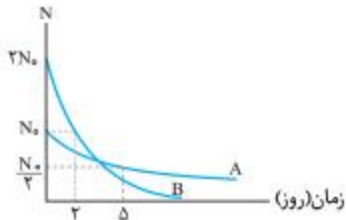
جمع‌بندی

در جدول زیر انواع واپاشی‌ها با ویژگی‌های کلیدی آن‌ها را بررسی کرده‌ایم:

اتفاقات واکنش	معادله واپاشی	نفوذپذیری در سرب	انحراف در میدان مغناطیسی	ذره گسیل شده	نوع واپاشی
هسته دو پروتون و دو نوترون از دست می‌دهد.	$^A_Z X \rightarrow ^{A-4}_{Z-2} Y + ^4_2\text{He}$ هسته مادر \rightarrow هسته دختر	۰/۰۱mm		^4_2He	آلفا (α)
یک نوترون به یک پروتون و یک الکترون تبدیل می‌شود و عدد اتمی هسته یک واحد افزایش می‌یابد.	$^A_Z X \rightarrow ^A_{Z+1} Y + ^0_{-1}e^-$	۰/۱mm		$^0_{-1}e^-$	بتای منفی (β^-)
یک پروتون به یک نوترون و یک پوزیترون تبدیل می‌شود و عدد اتمی هسته یک واحد کاهش می‌یابد.	$^A_Z X \rightarrow ^A_{Z-1} Y + ^0_{+1}e^+$	۰/۱mm		$^0_{+1}e^+$	بتای مثبت (β^+)
هسته برانگیخته با گسیل پرتوی گاما به حالت پایه می‌رسد و نوع هسته تغییر نمی‌کند.	$^A_Z X^* \rightarrow ^A_Z X + \gamma$ حالت پایه هسته برانگیخته	۱۰۰mm		γ	گاما (γ)

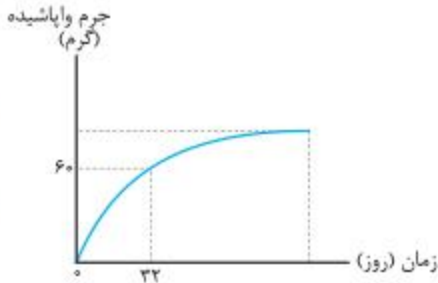
تست: کدام یک از جمله‌های زیر نادرست است؟

- پرتو گاما جزو امواج الکترومغناطیسی است.
- در فرایند گسیل پوزیترون یک پروتون به نوترون و پوزیترون تبدیل می‌شود.
- با گسیل ذره بتا (الکترون) از هسته، بار هسته کاهش می‌یابد.
- اغلب هسته‌ها، پس از گسیل ذره‌های α و β در حالت برانگیخته هستند و با گسیل γ به حالت پایه می‌رسند.



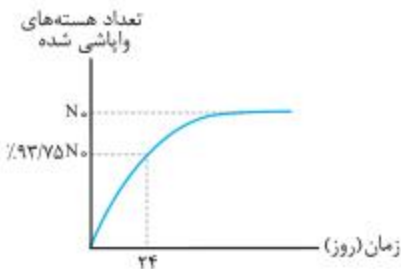
۲۱۴۲. نمودار روبه‌رو، تعداد هسته‌های مادر پرتوزا بر حسب زمان برای دو عنصر پرتوزای A و B را نشان می‌دهد. پس از گذشت ۳۰ روز، نسبت هسته‌های باقی‌مانده عنصر A به عنصر B کدام است؟ (کانون فرهنگی آموزش)

- (۱) ۱۲۸
(۲) ۵۱۲
(۳) ۲۵۶
(۴) ۶۴



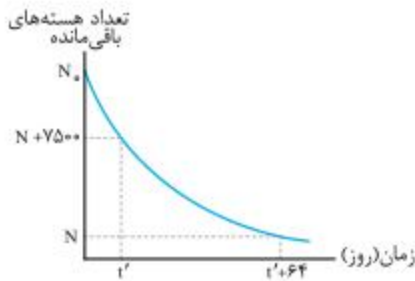
۲۱۴۳. نمودار جرم واپاشیده عنصر پرتوزا بر حسب زمان به صورت روبه‌رو است. اگر نیمه‌عمر این عنصر ۸ روز باشد، پس از ۱۶ روز چند گرم آن واپاشیده می‌شود؟

- (۱) ۸
(۲) ۱۶
(۳) ۳۰
(۴) ۴۸



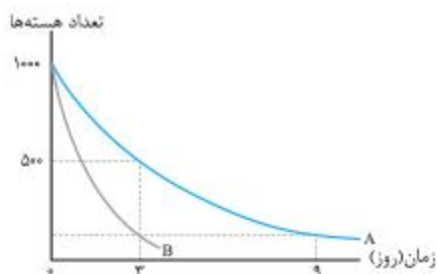
۲۱۴۴. نمودار تعداد هسته‌های واپاشی‌شده یک عنصر پرتوزا بر حسب زمان مطابق شکل است. پس از گذشت ۲۴ روز، چند روز دیگر طول می‌کشد تا $\frac{1}{32}$ هسته‌های اولیه باقی بماند؟

- (۱) ۶
(۲) ۱۲
(۳) ۱۸
(۴) ۲۴



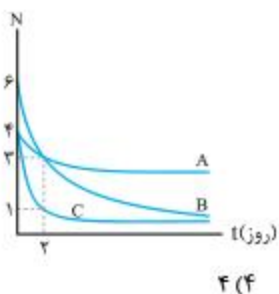
۲۱۴۵. در شکل روبه‌رو، تعداد هسته‌های باقی‌مانده ماده پرتوزا بر حسب زمان نشان داده شده است. اگر نیمه‌عمر این ماده، ۱۶ روز باشد، تعداد هسته‌های باقی‌مانده در زمان «روز ۹۶ + t'» چقدر است؟

- (۱) ۵۰۰
(۲) ۱۰۰۰
(۳) ۱۲۵
(۴) ۲۵۰



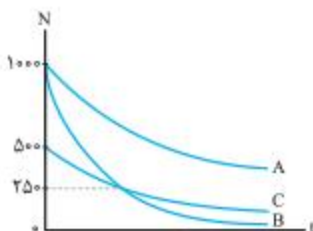
۲۱۴۶. نمودار تعداد هسته‌های دو ماده پرتوزای A و B بر حسب زمان مطابق شکل روبه‌رو است. پس از چند روز $\frac{1}{32}$ هسته‌های B فعال باقی می‌ماند؟ (ریاضی خارج ۹۵)

- (۱) ۳
(۲) ۴
(۳) ۵
(۴) ۶



۲۱۴۷. شکل روبه‌رو نمودار تعداد هسته‌های فعال برای سه ماده پرتوزای A، B و C را نشان می‌دهد. چند مورد از عبارات‌های زیر درست است؟

- (الف) نیمه‌عمر ماده A کمتر از ۴ روز است.
(ب) نیمه‌عمر ماده B برابر ۲ روز است.
(پ) نیمه‌عمر ماده C برابر ۱ روز است.
(ت) برای نیمه‌عمر سه ماده داریم: $(T_1)_B > (T_1)_C > (T_1)_A$.
- (۱) ۱
(۲) ۲
(۳) ۳
(۴) ۴



۲۱۴۸. نمودار تعداد هسته‌های سه عنصر پرتوزا بر حسب زمان، مطابق شکل روبه‌رو است. اگر نیمه‌عمر این سه عنصر T_A ، T_B و T_C باشد، کدام گزینه درست است؟ (ریاضی خارج ۹۷)

- (۱) $T_A = T_C > T_B$
(۲) $T_A > T_B = T_C$
(۳) $T_A > T_B > T_C$
(۴) $T_A > T_C > T_B$