مقدمهٔ ناشر

دوست خوبم، سلام

حضرت حافظ می‌گوید:

«بنازم آن مژهٔ شوخ عافیت کش را

که موج می‌زندش آب نوش بر سر نیش»

به نظرم خیلی بیت قشنگی است، قدرت تصویرسازی و ارتباط تصویر و مفهوم در این بیت آن قدر زیاد است که اولاً به قول ادیبان، آدم انگشت حیرت به دندان می‌گزد و ثانیاً می‌رود سرکار که ببینید معنی آن چه خوانده، چیست؟!؟! اما ممکن است بپرسید این بیت در مقدمهٔ کتاب ماجراهای من و درسام فیزیک سال دوازدهم چه می‌کند. سؤال خوبی است. راستش خواستم بگویم بالاخره ما آن قدر از ادبیات سرمان می‌شود که بتوانیم یک بیت در مورد موج و ارتعاش بیاوریم.

جواب بالا شوخی بود، حقیقتش این است که زیبایی فیزیک از بعضی جهات در حد زیبایی‌های شعرهای حافظ است. اما هر دوی این زیبایی‌ها را وقتی درمی‌یابید که خوب بفهمید و خوب حسشان کنید. برای فهمیدن خوب و درست و حسابی درس فیزیکتان، این کتاب را برایتان آماده کرده‌ایم که مطمئنیم شگفت‌زده‌تان می‌کند و برای فهمیدن شعر حافظ، دیگر نوبت شماست که بگویید و بجویید که چه باید بکنید.

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

خوب و خوش باشید.

مقدمهٔ مؤلفان

تقدیم به سه عزیز که هیچ چیزی جز زحمت برایشان نداشته‌ام

مادرم، پدرم و پدر لیلی

این مقدمه هیچ ربطی به کتاب ندارد. اصلن مقدمه رو گذاشتن که مؤلف هر چه دل تنگش می‌خواهد بگوید. دل تنگ من هم می‌خواهد در مورد طبیعت‌گردی و بازدید از روستاهای ایران بگوید. دوستان خوبم، طبیعت زیبا و روستاهای زیبای ایران رو دریابید! بعد کنکورتون برید و این روستاها رو ببینید. موبایل‌هاتون هم با خودتون نبرید که بتونید از طبیعتش لذت ببرید! من روستاهای خیلی زیبایی رو دیدم. خیلی‌هاشون معروف هستند و خیلی‌هاشون هم معروف نیستند. در این مقدمه می‌خوام در مورد سه‌تا از اون‌ها با شما صحبت کنم.

۱) **روستای توآباد:** این روستای سرسبز در استان قزوین و در نزدیکی شهرستان آوج قرار دارد. آب‌وهوای این روستا سرد و کوهستانی است که باعث شده است، در تابستان مقصد بسیار مناسبی برای روستاگردی باشد. زبان مادری مردم این روستا، ترکی آذری است و به فارسی هم تسلط دارند. بهترین زمان برای سرزدن به این روستا شهریور است که فصل برداشت مهم‌ترین محصول این روستا، یعنی گردو است. راستش رو بخواهید گردویی رو که در این روستا خوردم، هیچ‌جا نخوردم! اگه رفتید و گردو خوردید، یاد ما هم باشید.

۲) **کمرود:** این روستا که در نزدیکی بخش بلده و روستای یوش (زادگاه و آرامگاه نیما یوشیج) قرار دارد، دارای آب‌وهوای سرد کوهستانی است. قدمت این روستا به قبل از اسلام برمی‌گردد و جاذبه‌های طبیعی و تاریخی‌ای همچون آتشکده، بقعهٔ امامزاده نوح، رود نور، مراتع سرسبز و ... را در دل خود جای داده است. از محصولات کشاورزی این روستای سرسبز می‌توان به سیر، سیب، گیلاس و ... اشاره کرد. اگر در تابستان کمی از ارتفاعات اطراف روستا بالا بروید، منظرهٔ دلنشینی را از روستا، مراتع و دام‌هایی که در حال چرا هستند، خواهید دید.

۳) **فرومد یا فریومد:** این روستای تاریخی، محل زندگی و آرامگاه شاعر قرن هشتم هجری، ابن یمین فریومدی است. این روستا که در شرق استان سمنان قرار دارد، از توابع شهرستان میامی است. فرومد به‌جز آرامگاه ابن یمین دارای جاذبه‌های گردشگری دیگری مانند: مسجد جامع فرومد (باقی‌مانده از قرن هفتم هجری)، چنارهای تنومند و خیلی قدیمی، امامزاده سید احمد، منطقهٔ سرسبز کلاته‌آقا و ... است. در نزدیکی این روستا هم آرامگاه شیخ حسن جوری (رهبر نهضت سربداران)، سد خاکی شیخ حسن جوری و ... قرار دارد. از محصولات این روستا هم می‌توانیم به زردآلو، انجیر، فلفل و ... اشاره کنیم.

شعر زیبای زیر منسوب به ابن یمین فریومدی است:

آن‌کس که بداند و بخواهد که بداند — خود را به بلندای سعادت برساند
آن‌کس که بداند و بداند که بداند — اسب شرف از گنبد گردون بجهاند
آن‌کس که بداند و نداند که بداند — با کوزهٔ آب است ولی تشنه بماند
آن‌کس که نداند و بداند که نداند — لنگان خرک خویش به مقصد برساند
آن‌کس که نداند و بخواهد که بداند — جان و تن خود را ز جهالت برهاند
آن‌کس که نداند و نداند که نداند — در جهل مرکب ابدالدهر بماند
آن‌کس که نداند و نخواهد که بداند — حیف است چنین جانوری زنده بماند

تشکر می‌کنم از:

۱) همسر هنرمندم خانم صالح‌پور عزیز که سختی نبودنم را صبورانه تحمل کرد. واقعاً ازت ممنونم.

۲) استاد فرهادی گرامی که کیفیت این کتاب به خاطر قلم پرتوان ایشان است.

۳) مسئول پروژهٔ کتاب، خانم ده‌حقی گرامی که سختی کار با بنده را تحمل کردند و پروژهٔ سخت فیزیک ماجراهای دوازدهم را به سرانجام رساندند.

۴) خانم جعفری گرامی که زحمات فراوانی برای این کتاب کشیدند.

۵) مشاوران علمی و ویراستاران کتاب آقایان نامی، محمدی، حزنیان، پوررضا، زرکش و خانم‌های محب‌تاش و کشاورز که بدون کمک آن‌ها این کتاب، کتاب نبود.

۶) مدیریت تألیف کتاب‌های ماجراهای من و درسام، دکتر اسلامی دوست‌داشتنی که هر روز به من می‌گفتند: «مهدی خیلی دیره!»

۷) مهندس سبزمیدانی گرامی که اگر الان می‌توانم کتاب کمک آموزشی بنویسم، حاصل اعتماد و راهنمایی‌های ایشان است.

۸) مهندس بقایی بزرگوار و تیم فوق‌العادهٔ ایشان در واحد تولید خیلی‌سبز که هیچ‌وقت نمی‌توانم لطف‌هایشان را جبران کنم.

۹) دکتر ابوذر نصری و دکتر کمیل نصری که اگر نبودند، خیلی‌سبزی نبود که بنده برای کتاب فیزیک دوازدهم ماجراهای من و درسام‌اش مقدمه بنویسم.

مهدی هاشمی

تقدیم به همسرم که هر موفقیتم حاصل صبوری‌های اوست

سلام دوستای خوبم ♡

صبر کنین! خواهش می‌کنم صبر کنین

همینجوری که نباید کتاب رو باز کنین و شروع کنین به خوندن!

دو کلمه باهاتون حرف دارم .آقاپسرا دخترخانما بله یا شمام. شمایی که به ما اعتماد کردین و خیلی سیزی شدین از اعتمادتون ممنونم ولی خواهش می‌کنم چند دقیقه وقت بذارین و به حرف‌های من گوش بدین.

چند تا سوال دارم!

تا حالا دیدین کسی از فوتبال بدش بیاد و حالش از توپ به هم بخوره؟ ولی برسه به تیم ملی؟

تا حالا دیدین کسی از موسیقی بدش بیاد ولی یه نوازندهٔ چیره‌دست بشه؟

تا حالا دیدین کسی از ریخت کامپیوتر چندشش بشه ولی یه برنامه‌نویس توپ و نامبر وان بشه؟

حتما همه جواب‌هاتون به سؤالات مزخرف من منفیه.

خوب معلومه‌ا شرط اول برای موفقیت در هر چیزی اینه که اول به اون چیز علاقه‌مند باشی. دوستش داشته باشی. ♡ یخوای که براش وقت بذاری. فیزیک هم همین‌جورها تا دوستش نداشته باشی، ♡ تا باهاش رفیق نشی، تا نخوای که یاد بگیریش؛ هر تلاشی برای یادگیریش محکوم به شکسته.

اگر قرار باشه کتاب رو با غرغر و ناله و نفرین به جد و آباء همهٔ فیزیکدان‌ها، از ارشمیدس گرفته تا مرحوم تازه درگذشته، استیون هاوکینگ باز کنی، بهتره این کار رو نکنی چون فایده‌ای نداره!

اول باید باهاش آشتی کنی. بهش نزدیک بشی! دوستش داشته باشی. ♡ اون وقته که می‌بینی باهات رفیق میشه و زیبایی‌هاشو بهت نشون میده.

شاید بپرسی که چه‌جوری؟ مگه میشه فیزیک رو دوست داشت؟

ما فیزیکی‌ها این‌جور مواقع می‌گیم بله! کافیه دستگاه مختصات خودتو عوض کنی! گاهی سخت‌ترین مسئله‌ها با تغییر دستگاه مختصات به راحتی حل میشه.

باید زاویهٔ دیدتو تغییر بدی! یه چیزی تو مایه‌های شعر سهراب :

«چشم‌ها را باید شست... جور دیگر باید دید»

می‌دونم گاهی وقت‌ها ما معلم‌ها مقصریم که قبل از نشون دادن زیبایی‌های فیزیک شما رو مجبور می‌کنیم که کلی فرمول و تعاریفی که اصلاً نفهمیدین چی هست رو حفظ کنین.

ولی قرار نیست تاوان اشتباه احتمالی بعضی از ما معلم‌ها رو شما پس بدین کها

پس خیلی سبز چیکاره‌س؟ مگه میشه به فکر شما بچه‌های دوست‌داشتنی ♡ نباشه؟

من و دوست خوبم آقای مهدی هاشمی سعی کردیم توی این کتاب با لحنی ساده و صمیمی و خودمونی چهرهٔ دوست‌داشتنی فیزیک رو به شما نشون بدیم.

هرچند محدودیت‌های زیادی بابت مطابقت کامل مطالب این کتاب با کتاب درسی داشتیم. چون ما باید کاری می‌کردیم که شما علاوه بر لذت‌بردن از مطالعهٔ کتاب، بتونین نمره‌ای عالی توی امتحان نهایی بگیرین اما با این حال هرجا فرصت فراهم شد سعی کردیم یه کوچولو از فضای خشک و رسمی کتاب درسی فاصله بگیریم.

آرزو می‌کنم یه روزی کتابی دربارهٔ فیزیک بنویسیم که نه به درد امتحان نهایی بخوره و نه به درد کنکور! بلکه فقط به درد خوندن و لذت‌بردن و کیف‌کردن بخورها به درد شناخت داستان هیجان‌انگیز تاریخ علم فیزیک و پدیده‌های فیزیکی دور و برمون!

بگذریم! حرف من اینه که هروقت احساس می‌کنین نگاهتون به فیزیک مهربون‌تر شده و انقدر اعتماد به نفس و انگیزه دارین که بتونین کتاب رو با کلی انرژی و حس خوب قورت بدین و نمرهٔ ۲۰ امتحان نهایی رو مال خودتون کنین! بسم الله خوشحال میشم اگه کتاب رو باز کنین و شروع کنین.

در نهایت قبل از اینکه حرفامو تموم کنم دوست دارم از مدیران مؤسسهٔ خیلی سبز، برادران نصری، آقا ابوذر و آقا کمیل تشکر کنم که خیلی سبز رو ساختند! ♡♡ از مهندس سبزمیدانی که با تواضع و فروتنی نظرات خودشونو بیان می‌کردن! از خانم دهقی که خیلی توی کارش جدی و مسلط بود، از ویراستاران عزیز، از دوست عزیزم قنبر حمیدی که خیلی کمکم کرد و همچنین از شخص آقای مهدی هاشمی تشکر و قدردانی کنم که اجازه دادند در کنارشون باشم و یاد بگیرم.

و در آخر بی‌معرفتیه اگر یادی نکنم از استادی که ما رو عاشق فیزیک کرد! مرحوم دکتر نعمت‌الله گلستانیان عزیز ♡♡♡ که یک معلّم به تمام معنا بود. ایشان سهم بزرگی در آموزش فیزیک کشورمون دارند و در طی نزدیک به ۶۰ سال معلّمی (کلمه‌ای که خودش اصرار داشت برایش به کار ببریم) کتاب‌های پرشماری در زمینهٔ فیزیک نوشت و معلّمان بی‌شماری تربیت کرد. متأسفانه سوم مرداد سال ۹۶ ما این مرد بزرگ را از دست دادیم . روحش شاد... آرزومند آرزوهای شما

سعید فرهادی

فهرست

حرکت بر خط راست

فصل اول: حرکت بر خط راست ۷
پاسخ سؤال‌های امتحانی ۵۲

دینامیک

فصل دوم: دینامیک ۶۵
پاسخ سؤال‌های امتحانی ۹۶

نوسان و موج

فصل سوم: نوسان و موج ۱۱۰
پاسخ سؤال‌های امتحانی ۱۵۷

آشنایی با فیزیک اتمی و هسته‌ای

فصل چهارم: آشنایی با فیزیک اتمی و هسته‌ای ۱۷۴
پاسخ سؤال‌های امتحانی ۲۰۸

امتحان‌های نیم‌سال اول ۲۱۷
امتحان‌های نیم‌سال دوم ۲۲۱
امتحان نهایی دی‌ماه ۹۸ ۲۲۵
امتحان نهایی خردادماه ۹۸ ۲۲۷
امتحان نهایی خردادماه ۹۹ ۲۴۲
امتحان نهایی خردادماه ۱۴۰۰ ۲۴۷
امتحان نهایی خردادماه ۱۴۰۱ ۲۵۱

پاسخ‌نامهٔ امتحان‌های نیم‌سال اول ۲۲۹
پاسخ‌نامهٔ امتحان‌های نیم‌سال دوم ۲۳۳
پاسخ‌نامهٔ امتحان نهایی دی‌ماه ۹۸ ۲۳۹
پاسخ‌نامهٔ امتحان نهایی خردادماه ۹۸ ۲۴۰
پاسخ‌نامهٔ امتحان نهایی خردادماه ۹۹ ۲۴۵
پاسخ‌نامهٔ امتحان نهایی خردادماه ۱۴۰۰ ۲۴۹
پاسخ‌نامهٔ امتحان نهایی خردادماه ۱۴۰۱ ۲۵۴

حرکت بر خط راست

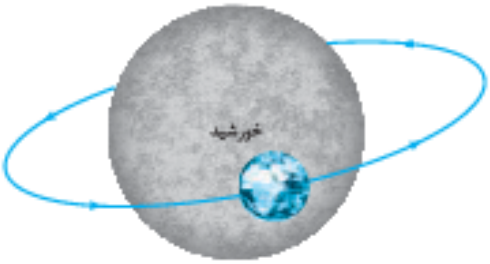
۱ مفاهیم اولیهٔ حرکت‌شناسی

چرا حرکت‌شناسی؟

اطراف ما پُر است از اجسامی که در حال حرکت هستند، حتی همین کتابی که ظاهراً بدون حرکت در دستان شماست. از مولکول‌هایی تشکیل شده است که دائماً در حال نوسان و حرکت‌اند. خودِ شما و کتابی که در دست دارید، روی کرهٔ زمینی هستید که با تندی خیره‌کننده‌ای در حدود $108000\ km/h$ در حال گردش به دور خورشید است. تصور کنید! شما سوار بر کرهٔ زمین در هر ثانیه نزدیک به $30\ km$ در فضا حرکت می‌کنید. هر جسمی در جهان هستی یا در حال حرکت انتقالی و یا چرخشی و یا نوسانی است؛ بنابراین برای درک بهتر این دنیای لغزان و غلتان و چرخان و لرزان!! باید حرکت و انواع آن را بررسی کنیم.

بررسی حرکت اجسام در شاخه‌ای از دانش فیزیک به نام حرکت‌شناسی (سینماتیک) صورت می‌گیرد.

انواع حرکت



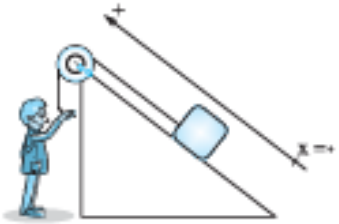
یک جسم می‌تواند در فضا (سه بعد)، صفحه (دو بعد) و یا بر خط راست (یک بعد) حرکت کند. پرواز مگس بالای سر شما وقتی خواب هستید، نمونه‌ای آزاردهنده از حرکت در سه بعد است!! حرکت زمین به دور خورشید، اگر زمین را یک نقطه فرض کنیم، نمونه‌ای از حرکت روی صفحه است.

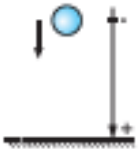
مثال‌های بالا نمونه‌هایی از حرکت دوبعدی و سه‌بعدی هستند اما در این فصل می‌خواهیم حرکت یک‌بُعدی یا همان حرکت روی خط راست را بررسی کنیم.

حرکت بر خط راست

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

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





قبل از این‌که به ادامهٔ مبحث بپردازیم، بیایید با دو مفهوم اساسی در حرکت یعنی زمان و مکان، بیشتر آشنا شویم.

زمان و مکان

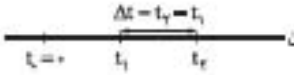
زمان

لحظه: لحظه به معنای یک تک‌مقدار از زمان است. اگر کمیت زمان را بر روی یک محور نشان دهیم، هر نقطه از این محور، یک لحظه را نشان می‌دهد.

مبدأ زمان: به لحظهٔ شروع بررسی حرکت (t_0) مبدأ زمان می‌گوییم و به آن عدد صفر را نسبت می‌دهیم ($t_0 = 0$). مثلاً در بررسی حرکت یک اتومبیل بنابر شرایط مسئله می‌توانیم لحظه‌های مختلفی را مبدأ زمان بگیریم؛ مثل لحظه‌ای که چراغ راهنمایی سبز می‌شود، لحظه‌ای که از اتومبیل دیگری سبقت می‌گیرد و یا لحظه‌ای که در فاصلهٔ معینی از مکان مشخصی قرار دارد.

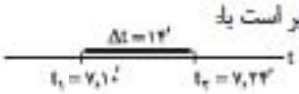
بازهٔ زمانی: یک بازهٔ پیوسته بین دو لحظه را بازهٔ زمانی می‌نامیم و آن را با نماد (t_1, t_2) نشان می‌دهیم. در واقع بازهٔ زمانی شامل تمام لحظات بین دو لحظهٔ t_1 و t_2 است.

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



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

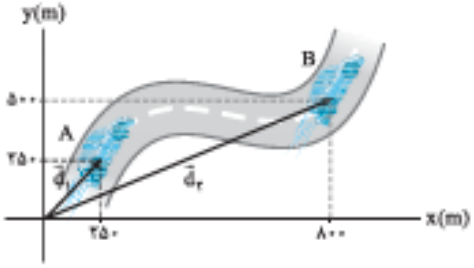
$$\begin{matrix} t_1 = 7{,}10' \\ t_2 = 7{,}24' \end{matrix} \Rightarrow \Delta t = t_2 - t_1 = 7{,}24' - 7{,}10' = 14'$$



مکان، جابه‌جایی و مسافت طی‌شده

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

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



$$\vec{d}_1 = x_1\vec{i} + y_1\vec{j} = (250\ \text{m})\vec{i} + (250\ \text{m})\vec{j}$$
$$\vec{d}_2 = x_2\vec{i} + y_2\vec{j} = (800\ \text{m})\vec{i} + (500\ \text{m})\vec{j}$$

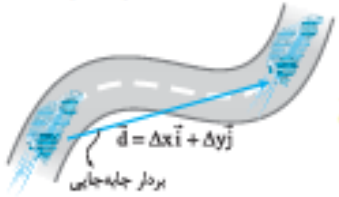
بردار مکان در حرکت بر خط راست: در حرکت بر خط راست، بردار مکان هم‌راستا با مسیر حرکت است و جهت آن یا در جهت مثبت محور انتخاب‌شده است و یا در جهت منفی آن. مثلاً در شکل زیر، بردارهای مکان توپ بولینگ در دو لحظه نشان داده شده است.

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

جابه‌جایی: برداری که مکان اولیهٔ متحرک را به مکان نهایی آن وصل می‌کند، **بردار جابه‌جایی** می‌نامیم و آن را با $\vec{d}$ نشان می‌دهیم. بردار جابه‌جایی از تفاضل بردار مکان نهایی و بردار مکان اولیه به دست می‌آید، یعنی:

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

مثلاً در مثال اتومبیل، بردار جابه‌جایی برابر است با:



$$\vec{d} = \vec{d}_2 - \vec{d}_1 = [(800\ \text{m})\vec{i} + (500\ \text{m})\vec{j}] - [(250\ \text{m})\vec{i} + 250\ \text{m})\vec{j}] = (550\ \text{m})\vec{i} + (250\ \text{m})\vec{j}$$

و یا در مثال توپ بولینگ داریم:

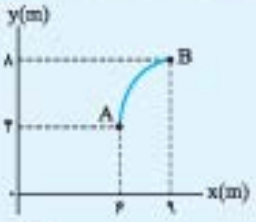
$$\vec{d} = \vec{d}_2 - \vec{d}_1 = (-2\ \text{m})\vec{i} - (5\ \text{m})\vec{i} = (-7\ \text{m})\vec{i}$$

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

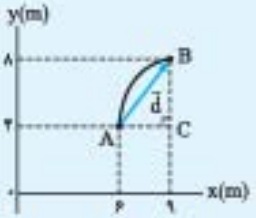
نکته بردار جابه‌جایی، به مبدأ مختصات انتخاب‌شده بستگی ندارد. برای مثال در نمونهٔ حرکت توپ بولینگ اگر هر نقطهٔ دیگری را به عنوان مبدأ مختصات (مکان) انتخاب کنیم، بردار جابه‌جایی همان $\vec{d} = (-۷\,m)\vec{i}$ است.

مثال و پاسخ

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



پاسخ **روش اول** ابتدا بردار جابه‌جایی که نقطهٔ A را به نقطهٔ B وصل می‌کند، رسم می‌کنیم.



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

$$AB^۲ = AC^۲ + CB^۲ \Rightarrow AB^۲ = ۳^۲ + ۴^۲ = ۲۵ \Rightarrow |\vec{d}| = AB = ۵\,cm$$

روش دوم ابتدا بردار مکان‌های اولیه و نهایی جسم را به صورت $\vec{i}$ و $\vec{j}$ می‌نویسیم:

$$\vec{d}_A = (۶\,m)\vec{i} + (۴\,m)\vec{j}$$

$$\vec{d}_B = (۹\,m)\vec{i} + (۸\,m)\vec{j}$$

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

$$\vec{d} = \vec{d}_B - \vec{d}_A = [(۹\,m)\vec{i} + (۸\,m)\vec{j}] - [(۶\,m)\vec{i} + (۴\,m)\vec{j}] = (۳\,m)\vec{i} + (۴\,m)\vec{j}$$

و در نهایت اندازهٔ بردار جابه‌جایی را محاسبه می‌کنیم:

$$d = \sqrt{d_x^۲ + d_y^۲} = \sqrt{(۳\,m)^۲ + (۴\,m)^۲} = ۵\,m$$

مسافت طی‌شده (l): به مجموع طول‌های پیموده‌شده توسط متحرک (طول مسیر حرکت)، مسافت طی‌شده می‌گوییم.

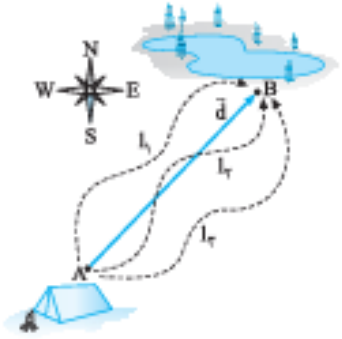
جابه‌جایی و مسافت طی‌شده چه فرقی دارند؟

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

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

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

نمونه در شکل روبه‌رو، چند متحرک از مسیرهای متفاوت، از نقطهٔ A به نقطهٔ B رفته‌اند. بردار جابه‌جایی همهٔ متحرک‌ها $\vec{d}$ است اما مسافت پیموده‌شده توسط آن‌ها با هم متفاوت است؛ یعنی $l_۱ \neq l_۲ \neq l_۳$.



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

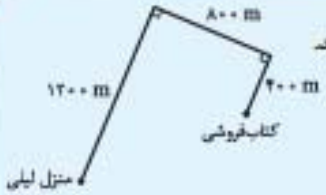
$$l \geq |\vec{d}|$$

مثال و پاسخ

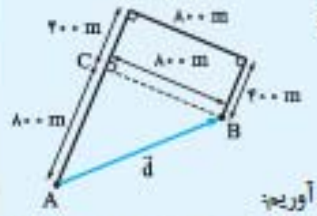
مثال لیلی برای رفتن به کتاب‌فروشی، مسیر منزل تا کتاب‌فروشی را مطابق شکل طی می‌کند.

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

ب) مسافت طی‌شده توسط لیلی را محاسبه کنید.



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



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

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

ب مسافت طی‌شده توسط لیلی با مجموع طول‌های پیموده‌شده توسط او برابر است؛ یعنی:

$$l = 1200\,m + 800\,m + 400\,m = 2400\,m$$

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

یک خبر خوب!!!

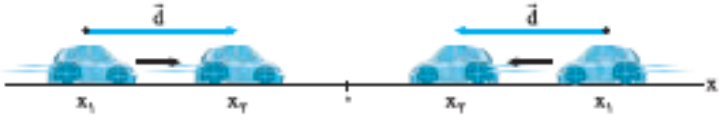
اگر با محاسبات برداری میانهٔ خوبی ندارید، برای شما خبر خوبی داریم!

گفتیم که در این کتاب قصد داریم روی حرکت بر خط راست تمرکز کنیم. همان‌طور که دیدیم، در این نوع حرکت بردارهای مکان با مسیر حرکت هم‌راستا هستند و جهت آن‌ها یا مثبت است یا منفی؛ بنابراین از این به بعد در حرکت بر خط راست، مکان یک جسم را به جای بردار مکان با یک عدد نمایش می‌دهیم. اگر مکان جسم سمت مثبت مختصات باشد، آن را با علامت مثبت و اگر مکان جسم سمت منفی مختصات باشد، آن را با علامت منفی نشان می‌دهیم.

در حرکت بر خط راست، بردار جابه‌جایی همیشه هم‌راستا با مسیر حرکت است و جهت آن یا هم‌سو با جهت مثبت محور و یا در خلاف جهت آن است؛ بنابراین می‌توانیم از خواص برداری جابه‌جایی نیز صرف‌نظر کنیم و آن را با اعدادی مثبت یا منفی نشان دهیم.

اگر جسمی در لحظهٔ t_1 در مکان x_1 و در لحظهٔ t_2 در مکان x_2 باشد، جابه‌جایی جسم در بازهٔ زمانی Δt برابر خواهد بود با: $\Delta x = x_2 - x_1$

اگر متحرک در جهت مثبت انتخاب‌شده حرکت کند، $x_2 > x_1$ و $\Delta x > 0$ (مثبت) و اگر متحرک در جهت منفی محور حرکت کند، $x_2 < x_1$ و $\Delta x < 0$ (منفی) خواهد بود.



نمونه در مورد توپ بولینگ شکل زیر مکان اولیه (x_1)، مکان نهایی (x_2) و جابه‌جایی توپ (Δx) برابر است با:

$$\begin{cases} x_1 = +5\,m \\ x_2 = -2\,m \end{cases} \Rightarrow \Delta x = x_2 - x_1 = (-2\,m) - (+5\,m) = -7\,m$$

مسافت طی‌شده در حرکت بر خط راست

گفتیم که اگر متحرکی روی خط راست و بدون تغییر جهت حرکت کند، مسافت طی‌شده با اندازهٔ جابه‌جایی برابر است ($l = |\Delta x|$) اما اگر متحرکی که روی خط راست حرکت می‌کند، تغییر جهت بدهد، مسافت طی‌شده قطعاً از اندازهٔ جابه‌جایی بزرگ‌تر است ($l > |\Delta x|$). در این حالت برای محاسبهٔ مسافت طی‌شده باید اندازهٔ (قدرمطلق) جابه‌جایی متحرک قبل از تغییر جهت را با اندازهٔ (قدرمطلق) جابه‌جایی بعد از تغییر جهت با هم جمع کنیم؛ یعنی: $l = |\Delta x_1| + |\Delta x_2|$

مثال و پاسخ

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

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

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

(مشابه مثال کتاب درسی)

مثال و پاسخ

مثال متحرکی در مبدأ زمان $(t=0)$ در مکان $x=+21\,m$ است و با سرعت $-10\,m/s$ روی محور xها حرکت می‌کند و با شتاب ثابت $2\,m/s^2$ از سرعتش می‌کاهد.

الف) معادلهٔ حرکت این متحرک را بنویسید.

ب) در کدام لحظه (یا لحظات) متحرک از مبدأ می‌گذرد؟

پ) در کدام لحظه (یا لحظات) سرعت متحرک صفر می‌شود؟ در این لحظه متحرک در کدام مکان قرار دارد؟

ت) در کدام لحظه (یا لحظات) متحرک از $x=-10\,m$ می‌گذرد؟

پاسخ **الف)** مکان اولیهٔ متحرک $x_0=+21\,m$ و سرعت اولیهٔ آن $v_0=-10\,m/s$ است. چون حرکت کندشونده است، باید دقت کنیم که علامت شتاب متحرک باید مخالف علامت سرعت آن، یعنی مثبت باشد؛ بنابراین $a=+2\,m/s^2$. اکنون اعداد x_0، v_0 و a را در فرم کلی معادلهٔ حرکت با شتاب ثابت قرار می‌دهیم:

$$x=\frac{1}{2}at^2+v_0t+x_0 \Rightarrow x=\frac{1}{2}\times(2\,m/s^2)t^2+(-10\,m/s)t+21\,m \xrightarrow{\text{در SI}} x=t^2-10t+21$$

ب) برای یافتن زمانی که متحرک از مبدأ می‌گذرد، باید $x=0$ باشد:

$$0=t^2-10t+21 \Rightarrow t=\frac{10\pm\sqrt{100-4(21\times1)}}{2} \Rightarrow \begin{cases} t_1=(\frac{10+4}{2})\,s=7\,s \\ t_2=(\frac{10-4}{2})\,s=3\,s \end{cases}$$

این مقدارها را با استفاده از تجزیه هم می‌توانیم به دست آوریم:

$$0=t^2-10t+21 \Rightarrow 0=(t-7\,s)(t-3\,s) \Rightarrow t=\begin{cases}7\,s\\3\,s\end{cases}$$

پس متحرک در دو لحظهٔ $t=3\,s$ و $t=7\,s$ از مبدأ عبور می‌کند.

این‌که متحرک دو بار از مبدأ گذشته، نشان می‌دهد که پس از لحظهٔ $t=3\,s$ متحرک در یک لحظه تغییر جهت داده و مجدداً در لحظهٔ $t=7\,s$ از مبدأ عبور کرده است.

پ) برای آن‌که لحظه صفرشدن سرعت را پیدا کنیم، باید رابطهٔ سرعت ـ زمان را بنویسیم:

$$v=at+v_0 \Rightarrow v=2t-10 \xrightarrow{v=0} 2t-10=0 \Rightarrow t=5\,s$$

قبل از این لحظه، سرعت متحرک منفی بوده است (چون سرعت اولیه منفی بود) و به سمت منفی محور xها در حال حرکت بوده است. در این لحظه سرعتش صفر می‌شود و بعد از آن جهت حرکتش تغییر می‌کند و در جهت مثبت محور xها حرکت می‌کند.

برای یافتن مکان متحرک در این لحظه، $t=5\,s$ را در معادلهٔ حرکت قرار می‌دهیم. در SI داریم:

$$x=t^2-10t+21 \xrightarrow{t=5\,s} x=(5)^2-10(5)+21=-4\,m$$

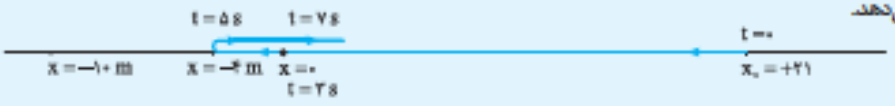
ت) x را مساوی $-10\,m$ می‌گذاریم تا ببینیم متحرک در چه زمانی از این مکان عبور کرده است.

$$x=t^2-10t+21 \Rightarrow t^2-10t+21=-10 \Rightarrow t^2-10t+31=0$$

دلتای معادلهٔ درجه‌دوم فوق را تشکیل می‌دهیم:

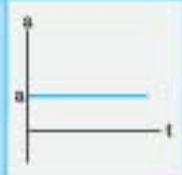
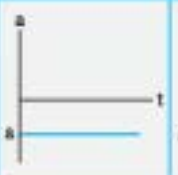
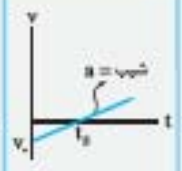
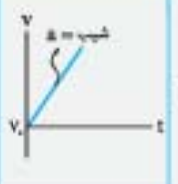
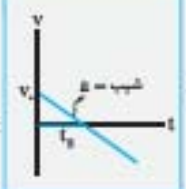
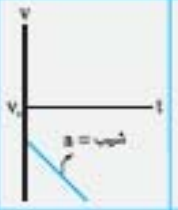
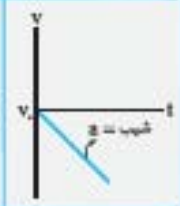
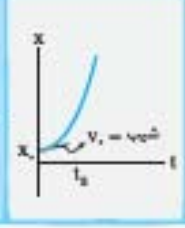
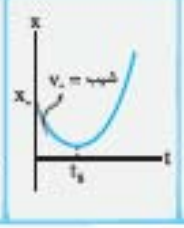
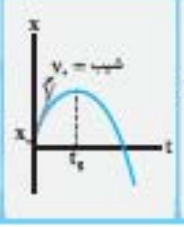
$$\Delta=\sqrt{100-4(1\times31)}=\sqrt{-24}$$

می‌بینیم که دلتای معادلهٔ بالا منفی است و در نتیجه معادلهٔ فوق جواب ندارد؛ یعنی متحرک هیچ‌گاه از نقطهٔ $-10\,m$ عبور نمی‌کند. البته این جواب قابل پیش‌بینی بود؛ زیرا سرعت متحرک در $x=-4\,m$ صفر شده و متحرک مجدداً به سمت مثبت بازمی‌گردد. نمودار زیر مسیر حرکت این متحرک را نشان می‌دهد.



نمودار مکان ـ زمان در حرکت با شتاب ثابت

در قسمت قبل دیدید که معادلهٔ مکان ـ زمان یک متحرک که با شتاب ثابت بر روی خط راست در حرکت است، به صورت $x=\frac{1}{2}at^2+v_0t+x_0$ است. با توجه به این معادله می‌فهمیم که رابطهٔ x برحسب t یک رابطهٔ درجه۲ است. در درس ریاضی خوانده‌اید که نمودار یک چندجمله‌ای درجه۲، یک سهمی است؛ پس نمودار x برحسب t برای یک حرکت با شتاب ثابت به صورت یک سهمی است. در جدول صفحهٔ بعد نمودارهای $a-t$ و $v-t$ را به همراه نمودار $x-t$ به ازای سرعت و شتاب‌های مختلف می‌بینید (در همهٔ نمودارها، مکان اولیه مثبت در نظر گرفته شده است.)

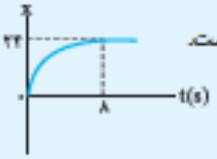
ویژگی / معادله	$a>0$ $v_0>0$	$a>0$ $v_0<0$	$a>0$ $v_0=0$	$a<0$ $v_0>0$	$a<0$ $v_0<0$	$a<0$ $v_0=0$
$a=$ مقدار ثابت						
$v=at+v_0$						
$x=\frac{1}{2}at^2+v_0t+x_0$						

نکته در نمودارهای بالا می‌بینید، وقتی شتاب مثبت است، تقعر (یا همان گودی) نمودار $x-t$ به سمت بالا است (∪)، در حالی که هرگاه شتاب منفی است، تقعر نمودار $x-t$ به سمت پایین است (∩).

نکته باز هم در نمودارهای بالا می‌بینید، در نقاط بیشینه (max) و کمینه (min) که شیب خط مماس بر نمودار $x-t$ صفر است، سرعت صفر می‌شود.

مثال و پاسخ

مثال نمودار مکان ـ زمان متحرکی که با شتاب ثابت بر خط راست حرکت می‌کند، مطابق شکل روبه‌رو است.



الف) شتاب و سرعت اولیهٔ متحرک را به دست آورید.

ب) نمودار سرعت ـ زمان آن را رسم کنید.

پاسخ الف) مکان اولیهٔ متحرک $x_0=0$ است و به ازای $t=8s$ مکان متحرک برابر با $x=24\,m$ است. این اعداد را در معادلهٔ حرکت با شتاب ثابت جای‌گذاری می‌کنیم.

$$x=\frac{1}{2}at^2+v_0t+\cancel{x_0} \Rightarrow 24=\frac{1}{2}a(8)^2+v_0\times 8 \Rightarrow 24=32a+8v_0 \Rightarrow 4a+v_0=3 \quad (1)$$

از طرفی در لحظهٔ $t=8s$ شیب خط مماس بر نمودار مکان ـ زمان صفر است؛ پس سرعت متحرک در این لحظه صفر $(v=0)$ می‌شود. اگر این اعداد را هم در رابطهٔ سرعت ـ زمان جای‌گذاری کنیم، داریم:

$$v=at+v_0 \Rightarrow 0=8a+v_0 \quad (2)$$

با حل معادلات (۱) و (۲) در یک دستگاه داریم:

$$\times(-2)\begin{cases}8a+v_0=0\\4a+v_0=3\end{cases} \Rightarrow \begin{cases}\cancel{8a}+v_0=0\\-\cancel{8a}-2v_0=-6\end{cases} \Rightarrow -v_0=-6 \Rightarrow v_0=6\,m/s$$

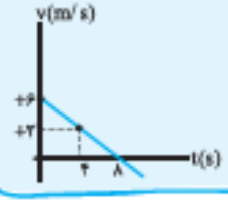
و با جای‌گذاری $v_0=6\,m/s$ در یکی از معادلات می‌توانیم شتاب متحرک را به دست آوریم:

$$8a+6=0 \Rightarrow a=\frac{-3}{4}\,m/s^2$$

ب) با توجه به شتاب و سرعت اولیه، معادلهٔ سرعت ـ زمان این متحرک به صورت زیر است:

$$v=at+v_0 \Rightarrow v=-\frac{3}{4}t+6$$

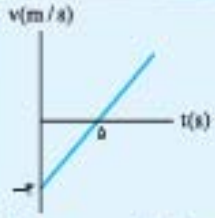
با داشتن معادلهٔ سرعت ـ زمان، رسم نمودار سرعت ـ زمان اصلاً کاری ندارد:



$$\begin{cases}t_1=0 \Rightarrow v_1=+6\,m/s\\t_2=4 \Rightarrow v_2=+3\,m/s\end{cases}$$

مثال و پاسخ

مثال نمودار سرعت ـ زمان متحرکی مطابق شکل مقابل است. با فرض این‌که در مبدأ زمان، متحرک در $x = +10\ m$ قرار دارد، معادلهٔ حرکت را بنویسید و نمودار مکان ـ زمان آن را رسم کنید.



پاسخ طبق گفتهٔ مسئله، مکان اولیه $x_0 = +10\ m$ و از روی نمودار $v_0 = -4\ m/s$ است؛ پس برای نوشتن معادلهٔ حرکت، شتاب را کم داریم:

$$a_{av} = a = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{0 - (-4\ s)}{(5\ s - 0)} = 0/8\ m/s^2$$

اعداد به دست آمده را در معادلهٔ حرکت با شتاب ثابت قرار می‌دهیم:

$$x = \frac{1}{2}at^2 + v_0 t + x_0 \Rightarrow x = \frac{1}{2} \times 0/8 \times t^2 + (-4)t + 10 \Rightarrow x = 0/4t^2 - 4t + 10$$

برای رسم نمودار مکان ـ زمان به این نکات توجه می‌کنیم:

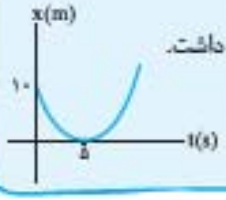
۱) در $t = 0$، مکان جسم $x = +10\ m$ است؛ پس نمودار از $x = +10\ m$ شروع می‌شود.

۲) شتاب مثبت است، در نتیجه تقعر (گودی) نمودار به سمت بالا است.

۳) در لحظهٔ $t = 5\ s$ سرعت صفر می‌شود؛ پس در نمودار مکان ـ زمان در این لحظه، نقطهٔ min خواهیم داشت.

۴) در لحظهٔ $t = 5\ s$ که سرعت صفر می‌شود، متحرک در $x = 0/4(5)^2 - 4(5) + 10 = 0$ قرار دارد.

با توجه به موارد بالا، نمودار مکان ـ زمان به صورت روبه‌رو خواهد بود:



کی و کجا وعدهٔ دیدار ما!!!

همان‌طور که در برخی مسائل حرکت یکنواخت نیز دیدیم، گاهی اوقات در مسائل، مشخصات حرکتی دو متحرک داده می‌شود و زمان و مکان به هم رسیدن دو متحرک خواسته می‌شود. در این شرایط باید معادلهٔ حرکت دو متحرک را با توجه به نوع حرکت نوشته و آن‌ها را برابر هم قرار دهیم؛ یعنی: شرط به هم رسیدن دو متحرک $x_A = x_B$ است.

مثال و پاسخ

مثال در لحظه‌ای که چراغ راهنمایی سبز می‌شود، اتومبیل با شتاب ثابت $a = 2/2\ m/s^2$ به راه می‌افتد. در همان لحظه کامیونی که با تندی ثابت $9/5\ m/s$ در حرکت است، به اتومبیل می‌رسد و از آن پیشی می‌گیرد.

الف) چند ثانیه پس از این لحظه، اتومبیل به کامیون می‌رسد؟

ب) اتومبیل در چه فاصله‌ای از چراغ راهنمایی به کامیون می‌رسد؟

پ) نمودار مکان ـ زمان این دو متحرک را رسم کنید.

پاسخ الف ابتدا معادلهٔ حرکت اتومبیل و کامیون را می‌نویسیم. برای نوشتن معادلهٔ حرکت، قبل از هر چیزی باید مبدأ مکان و مبدأ زمان را مشخص کنیم. در این مثال تقاطع را به عنوان $x = 0$ و لحظه‌ای را که چراغ سبز می‌شود، به عنوان مبدأ زمان $(t = 0)$ در نظر می‌گیریم. در لحظهٔ $t = 0$ هر دو متحرک در مبدأ مکان بوده‌اند؛ بنابراین $x_{A,0} = x_{B,0} = 0$.

اتومبیل با شتاب ثابت و بدون سرعت اولیه حرکت می‌کند؛ پس:

$$x = \frac{1}{2}at^2 + v_0 t + x_0 \Rightarrow x_A = \frac{1}{2} \times 2/2 \times t^2 + 0 \times t + 0 \Rightarrow x_A = 1/1t^2$$

اما کامیون با سرعت ثابت حرکت می‌کند؛ بنابراین:

$$x = vt + x_0 \Rightarrow x_B = 9/5t + 0 \Rightarrow x_B = 9/5t$$

حالا با برابر قراردادن معادلهٔ حرکت اتومبیل و کامیون، داریم:

$$x_A = x_B \Rightarrow 1/1t^2 = 9/5t \Rightarrow 1/1t^2 - 9/5t = 0 \Rightarrow (1/1t - 9/5)t = 0$$

$$\Rightarrow \begin{cases} t_1 = 0 & \text{(غ ق ق) مربوط به لحظهٔ شروع حرکت} \\ t_2 = \frac{9/5}{1/1} \simeq 8/6\ s \end{cases}$$

دینامیک

۱ نیرو و قانون اول نیوتون

در فصل قبل برخی از انواع حرکت را مورد بررسی قرار دادیم؛ اما در مورد سؤال‌هایی مثل:

- چرا سرعت برخی اجسام ثابت است اما برخی دیگر شتاب دارند؟
- چرا سرعت برخی اجسام کاهش می‌یابد و سرعت برخی دیگر افزایش؟
- چرا برخی اجسام روی خط راست حرکت می‌کنند و برخی دیگر روی مسیرهای منحنی و ...

صحبت نکردیم.

به نظر شما کدام عامل تعیین می‌کند که اجسام چگونه حرکت کنند؟ حتماً جواب می‌دهید: *دقیق معلومه نیرو! تو علوم توم خوندیم*

نیرو

به جای این‌که بیاییم برای نیرو تعریف بنویسیم، بهتر است برای درک نیرو، چند نمونهٔ زیر را با هم بررسی کنیم:

نمونه۱ فرض کنید شما در خودروی پورشه نشسته‌اید که یک‌دفعه ماشین خاموش می‌شود و شما می‌خواهید دستی به ماشین بزنید و آن را هل دهید. همین هل‌دادن شما نمونه‌ای از نیرو وارد کردن است. در این حالت نیرویی که به خودرو وارد می‌کنید، باعث افزایش اندازهٔ سرعت آن می‌شود.

(می‌دونیم کلمهٔ فورد رو اصلن به پورشه نمیاد، فقط به سمعد میاد!)

نمونه۲ مرد هندی‌ای که در شکل روبه‌رو می‌بینید، با موی خود قطار ۴۰۰۰۰ کیلوگرمی را می‌کشد. کشیدن نیز نمونه‌ای از نیرو واردکردن است.

نمونه۳ وقتی کاغذی را مچاله می‌کنید یا تکه چوبی را می‌بُرید، به آن‌ها نیرو وارد می‌کنید؛ پس نیرو می‌تواند باعث تغییر شکل اجسام شود.

مثال‌های دیگری که بیانگر واردکردن نیرو هستند نیز همواره در اطراف ما رخ می‌دهند، مانند شوت‌زدن یا پرتاب‌کردن یک توپ، بستن یک پیچ با آچار، شکستن چیزی یا خم‌کردن آن و ... .

اما آیا برای واردکردن نیرو به یک جسم، باید با جسم تماس داشت؟ برای پاسخ به این سؤال به نمونهٔ زیر توجه کنید:

نمونه۴ زمانی که سیب روی سر نیوتون افتاد، زمین بدون هیچ تماسی، سیب را به سمت خود کشید؛ بنابراین نیروی گرانش می‌تواند بدون تماس بین دو جسم اثر کند. نیروهای الکتریکی و مغناطیسی نیز از این گونه‌اند. با توجه به مطالب ذکرشده می‌توان نتایج صفحهٔ بعد را در مورد نیرو بیان کرد:

نتیجه‌گیری

۱) نیرو عاملی است که اگر بر یک جسم وارد شود، سبب تغییر شکل جسم و تغییر اندازه یا جهت سرعت آن می‌شود.

۲) نیرو، برهم‌کنش (تأثیر) دو جسم بر یکدیگر است.

۳) این تأثیر می‌تواند ناشی از تماس دو جسم و یا از راه دور باشد؛ به همین خاطر نیروها به دو دستهٔ نیروهای تماسی (مانند اصطکاک) و نیروهای غیرتماسی (مانند نیروی وزن) تقسیم می‌شود.

نیرو کمیتی برداری است

وقتی می‌گوییم نیرو یک کمیت برداری است؛ یعنی هم اندازه دارد و هم جهت. اندازهٔ نیرو را با نیروسنج اندازه می‌گیریم و برحسب نیوتون (N) بیان می‌کنیم. اما برای درک بهتر جهت‌داربودن نیرو کافی است که به تصاویر زیر نگاه کنیم. در هر دو حالت، پت و مت نیروی $50\,N$ به جعبه وارد می‌کنند اما در تصویر اول، جعبه تکان نمی‌خورد ولی در تصویر دوم، جعبه حرکت می‌کند.

تصویر اول

تصویر دوم

این اتفاق به این خاطر است که در تصویر اول، نیروهای وارد بر جعبه مانند آن‌چه در شکل زیر می‌بینید، در خلاف جهت هم هستند و همدیگر را خنثی می کنند ولی در حالت دوم این نیروها هم‌جهت هستند؛ پس در مورد نیرو، جهت نیز مهم است.

حالت اول　　حالت دوم

با توجه به این‌که نیرو یک کمیت برداری است، آن را با یک پاره‌خط جهت‌دار نشان می‌دهیم. هر چه‌قدر پاره‌خط بزرگ‌تر باشد، بیانگر بزرگ‌تربودن نیرو است. نمادی که برای نمایش نیرو در رابطه‌ها استفاده می‌کنیم، $\vec{F}$ است که علامت $\rightarrow$ بر روی F بیانگر برداری‌بودن نیرو است. اگر بخواهیم اندازهٔ نیرو را نشان دهیم، از نمادهای F یا $|\vec{F}|$ استفاده می‌کنیم.

نیروهای متوازن

اگر چند نیرو اثر یکدیگر را خنثی کنند، می‌گوییم آن نیروها **«متوازن»** هستند. مثلاً اگر دو نیرو هم‌اندازه و در خلاف جهت هم باشند، متوازن هستند. اگر نیروهای وارد بر یک جسم متوازن نباشند، می‌گوییم بر جسم، «نیروی خالص غیرصفری» وارد می‌شود. **متوازن بودن یا نبودن نیروهای وارد بر یک جسم، چگونگی حرکت یک جسم را تعیین می‌کنند.**

حالا می‌خواهیم به یک سؤال مهم پاسخ دهیم: «نقش و اثر نیرو در حرکت اجسام چیست؟»

پاسخ این سؤال را نیوتون در قانون‌های سه‌گانه‌اش به ما داده است. ما در این درس‌نامه به بررسی قانون اول می‌پردازیم و در درس‌نامه‌های بعدی به سراغ قانون دوم و سوم می‌رویم.

قانون اول نیوتون

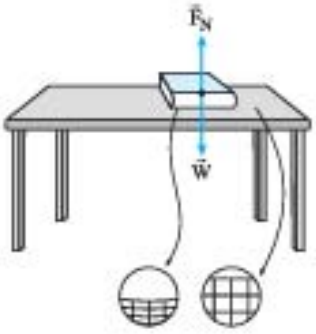
تا پیش از گالیله مردم فکر می‌کردند که هر جسمی که در حال حرکت است، برای ادامهٔ حرکتش به نیرو احتیاج دارد اما گالیله با طراحی آزمایشی نشان داد که برخلاف نظر پیشینیانش برای ادامه پیداکردن حرکت با سرعت ثابت، نیازی به نیروی اضافی نیست. نیوتون با بهبود این نظر، **قانون اول** خود در مورد حرکت را به صورت زیر بیان کرد:

> **قانون اول نیوتون:** یک جسم حالت سکون یا حرکت با سرعت ثابت بر روی خط راست خود را حفظ می‌کند، مگر آن‌که نیروی خالص غیرصفری به آن وارد شود.

۶ معرفی برخی نیروهای خاص؛ این قسمت: نیروی عمودی سطح

هم‌اکنون که کتاب فیزیک (۳) ماجراهای من و درسام را می‌خوانید، احتمالاً کتاب روی میزتان قرار دارد. کتاب روی میز شما ساکن است؛ بنابراین نیروهای وارد بر کتاب شما متوازن هستند. به نظرتان چه نیروهایی بر کتاب وارد می‌شود؟

همان‌طور که حدس زدید، یکی از آن‌ها نیروی وزن کتاب است که آن را به سمت پایین می‌کشد. اما کتاب روی میز در حال تعادل است و شتابی ندارد. کدام نیرو، نیروی وزن را خنثی کرده است؟



نیروی دیگری که به جسم وارد می‌شود و نیروی وزن را خنثی می‌کند تا جسم به سمت پایین شتاب نداشته باشد، **نیروی عمودی سطح** است که از طرف میز بر جسم اثر می‌کند. عامل ایجاد نیروی عمودی سطح، تغییر شکل سطح تماس دو جسم است، اما چون تغییر شکل جزئی است، با چشم عادی قابل دیدن نیست. حالا اگر کتاب خود را روی اسفنج قرار دهید، تغییر شکل اسفنج را خواهید دید. تغییر شکل اسفنج حاصل از نیرویی است که کتاب شما به آن وارد می‌کند و عکس‌العمل آن به کتاب شما وارد می‌شود که همان نیروی عمودی سطح است. نیروی عمودی سطح را با $\vec{F}_N$ نشان می‌دهیم.

محاسبهٔ نیروی عمودی سطح

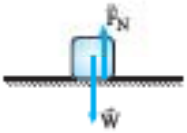
برای محاسبهٔ اندازهٔ نیروی عمودی سطح، به ترتیب زیر عمل می‌کنیم:

۱) جهت نیروی F_N را تعیین می‌کنیم. نیروی F_N همواره عمود بر سطح و از طرف تکیه‌گاه به سمت جسم است.

۲) سایر نیروهایی را که در راستای عمود بر سطح به جسم وارد می‌شوند، مشخص می‌کنیم.

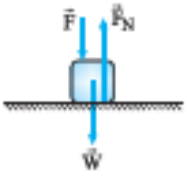
۳) قانون دوم نیوتون را برای راستایی که نیروی عمودی سطح در آن راستا قرار دارد، می‌نویسیم و F_N را محاسبه می‌کنیم.

به نمونه‌های زیر توجه کنید:



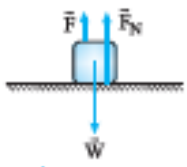
نمونه ۱ جسمی روی سطح افقی قرار دارد و در راستای قائم شتاب ندارد. در این حالت، نیروی $\vec{F}_N$ در راستای y قرار دارد و در این راستا نیروی وزن (W) نیز بر جسم وارد می‌شود. این دو نیرو را بر روی جسم نشان داده و قانون دوم نیوتون را برای راستای y می‌نویسیم:

$$F_{net} = 0 \Rightarrow F_N - W = 0 \Rightarrow F_N = W \Rightarrow F_N = mg$$



نمونه ۲ فرض کنیم جسم روی سطح افقی قرار دارد و با نیروی F به سطح فشرده می‌شود، اما جسم در راستای قائم بدون شتاب باقی می‌ماند. این بار نیز نیروی F_N در راستای عمود بر سطح یعنی راستای قائم قرار دارد و در این راستا نیروی F و نیروی وزن نیز بر جسم وارد می‌شود. با استفاده از قانون دوم نیوتون داریم:

$$F_{net} = 0 \Rightarrow F_N - F - W = 0 \Rightarrow F_N = W + F \Rightarrow F_N = mg + F$$



نمونه ۳ فرض کنیم جسم روی سطح افقی قرار دارد و نیروی F رو به بالا بر جسم وارد می‌شود، اما جسم از سطح بلند نمی‌شود و در راستای قائم شتاب ندارد. این بار هم نیروی F_N، F و W در راستای قائم هستند و برای این راستا قانون اول نیوتون را می‌نویسیم:

$$F_{net} = 0 \Rightarrow F + F_N - W = 0 \Rightarrow F_N = W - F \Rightarrow F_N = mg - F$$

مثال و پاسخ

مثال شخصی روی ترازویی ایستاده است و طنابی را که از سقف آویزان است، به سمت پایین می‌کشد. عددی که ترازو نشان می‌دهد، چه تغییری می‌کند؟

پاسخ وقتی شما روی یک ترازو می‌ایستید، آن‌چه که ترازو اندازه می‌گیرد، در واقع عکس‌العمل نیروی عمودی سطحی است که ترازو به شما وارد می‌کند. در این مثال قبل از آن‌که شخص طناب را بکشد، نیروی عمودی سطح با وزن شخص برابر است (مثل نمونهٔ ۱) و ترازو نیرویی برابر با وزن شخص را نشان می‌دهد. اما وقتی شخص طناب را به پایین می‌کشد، طبق قانون سوم نیوتون، طناب نیز نیرویی مساوی رو به بالا بر شخص وارد می‌کند و دیگر ترازو نیرویی که نشان می‌دهد، برابر نیروی وزن نیست. اگر نیروهای وارد بر شخص را نشان دهیم و نیروی عمودی سطح را محاسبه کنیم، داریم:

$$F_{net} = 0 \Rightarrow F_N + F - W = 0 \Rightarrow F_N = W - F$$

مقداری که ترازو نشان می‌دهد، اندازهٔ عکس‌العمل نیروی عمودی سطح است که هم‌اندازهٔ F_N است که در این‌جا از وزن شخص کم‌تر است.

تا این‌جا دیدیم که نیروی عمودی سطح ممکن است با وزن جسم برابر، از آن بزرگ‌تر و یا کوچک‌تر باشد. مثال بعدی را حل کنید تا ببینید که نیروی عمودی سطح ممکن است در راستای افقی باشد و اصلاً ربطی به وزن نداشته باشد.

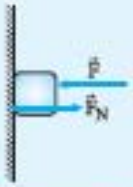
مثال و پاسخ

مثال جسمی به وزن $50\ N$ را مطابق شکل به دیواری تکیه داده و با نیروی افقی $F = 70\ N$ آن را نگه داشته‌ایم. نیروی عمودی سطح را محاسبه کنید.

پاسخ در این مثال سطح تکیه‌گاه در راستای قائم است. می‌دانیم که نیروی عمودی سطح، همواره بر سطح تکیه‌گاه عمود است. در نتیجه این نیرو در راستای افقی خواهد بود. قانون اول نیوتون را برای راستای افقی می‌نویسیم:

$$F_{net} = 0 \Rightarrow F - F_N = 0 \Rightarrow F_N = F = 70\ N$$

این نتیجه قابل انتظار بود!! یعنی هر قدر نیروی F بیشتر باشد، جسم با نیروی بزرگ‌تری به دیوار فشرده می‌شود و دیوار نیز نیروی بزرگ‌تری را بر جسم وارد می‌کند. در این حالت چون نیروی عمودی سطح ($\vec{F}_N$) در راستای افقی است، ربطی به وزن نخواهد داشت.



در مثال‌هایی که تاکنون برای نیروی عمودی سطح حل کردیم، اجسام در راستای عمود بر سطح شتاب نداشتند اما یک جسم می‌تواند در راستای عمود بر سطح شتاب داشته باشد. بهترین مثال، شخصی است که درون آسانسوری ایستاده است و آسانسور با شتاب به سمت بالا یا پایین حرکت می‌کند. بیایید نیروی عمودی سطح در آسانسور را دقیق‌تر بررسی کنیم.

نیروی عمودی سطح در آسانسور

فرض کنیم شخصی به جرم m درون آسانسوری قرار دارد. می‌خواهیم نیروی عمودی سطح که از طرف کف آسانسور بر شخص وارد می‌شود را به دست آوریم. برای این کار حالت‌های زیر را در نظر می‌گیریم (جهت مثبت را رو به بالا فرض می‌کنیم):

الف) آسانسور ساکن است و یا با سرعت ثابت بالا یا پایین می‌رود.

چون در هر سه حالت ذکرشده شتاب حرکت صفر است، از نظر دینامیکی این سه حالت با هم تفاوتی ندارند و در همهٔ این حالت‌ها، نیروهای وارد بر شخص متوازن هستند و داریم: $F_{net} = 0 \Rightarrow F_N - W = 0 \Rightarrow F_N = W$

ب) آسانسور با شتابی به اندازهٔ a تندشونده رو به بالا حرکت می‌کند.

$$F_{net,y} = ma_y \Rightarrow F_N - W = ma$$
$$F_N = ma + W \Rightarrow F_N = ma + mg \Rightarrow F_N = m(g + a)$$

در این حالت، نیروی عمودی سطح از وزن فرد بیشتر است.

پ) آسانسور با شتابی به اندازهٔ a تندشونده رو به پایین حرکت می‌کند.

$$F_{net,y} = ma_y \Rightarrow F_N - W = -ma$$
$$\Rightarrow F_N = -ma + W \Rightarrow F_N = mg - ma \Rightarrow F_N = m(g - a)$$

در این حالت نیروی عمودی سطح از وزن فرد کم‌تر است.

۹- دامنهٔ حرکت نوسانگری که حرکت هماهنگ ساده انجام می‌دهد، $4\ cm$ و فرکانس آن $\frac{1}{12}\ Hz$ است. اگر نوسانگر در $t=0$ در طرف مثبت x و در نقطهٔ بازگشت، قرار داشته باشد: $(\cos\frac{\pi}{6}=\frac{\sqrt{3}}{2})$

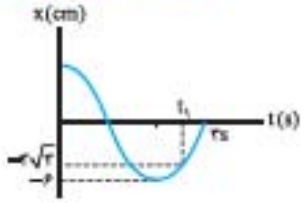
الف) معادلهٔ مکان ـ زمان حرکت این نوسانگر را در SI بنویسید.

ب) در $t=7\ s$ متحرک در چه مکانی قرار دارد؟

پ) در چه لحظه‌ای برحسب ثانیه، متحرک برای اولین بار در $x=-2\ cm$ قرار می‌گیرد؟

۱۰- دامنهٔ نوسان یک حرکت هماهنگ ساده $2\times10^{-1}\ m$ و بسامد آن $5\ Hz$ است. معادلهٔ حرکت این نوسانگر را بنویسید و نمودار مکان ـ زمان آن را در یک دوره رسم کنید. (مشابه تمرین کتاب درسی)

۱۱- نمودار مکان ـ زمان نوسانگری به صورت زیر است: (مشابه تمرین کتاب درسی)



الف) معادلهٔ حرکت این نوسانگر در را SI بنویسید.

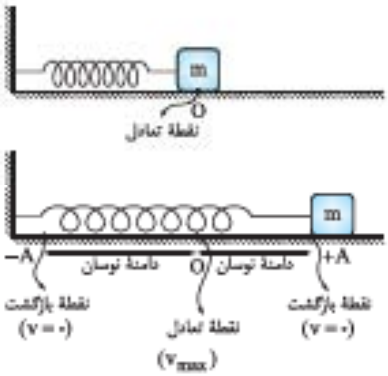
ب) مقدار t_1 را به دست آورید.

پ) متحرک در $t_1+\frac{T}{4}$ در کدام نقطه قرار دارد؟

ت) متحرک در $t=30\ s$ در چه مکانی برحسب سانتی‌متر قرار دارد؟

ث) در این $30\ s$ چند نوسان انجام داده است؟

۲ نوسانگر جرم ـ فنر



یک مثال مشهور از حرکت هماهنگ ساده، نوسان دستگاه جرم ـ فنر است. اگر روی یک سطح افقی بدون اصطکاک جرمی را به انتهای فنری که به دیوار متصل است، ببندیم و آن را اندکی از وضع تعادل (وضعیتی که فنر کشیده یا فشرده نشده است) جابه‌جا کرده و سپس رها کنیم، حرکت دستگاه جرم ـ فنر حرکت هماهنگ ساده خواهد بود.

بسامد زاویه‌ای و دورهٔ تناوب دستگاه جرم ـ فنر

در درس‌نامهٔ قبلی گفتیم که بسامد زاویه‌ای و دورهٔ تناوب نوسانگر به مشخصات فیزیکی نوسانگر بستگی دارد. در مورد دستگاه جرم ـ فنر، بسامد زاویه‌ای به **جرم وزنه** و **ثابت فنر** بستگی دارد و مستقل از **دامنهٔ نوسان** است. بسامد زاویه‌ای برای وزنه‌ای به جرم m که به فنری با ثابت k متصل است، از رابطهٔ زیر به دست می‌آید

$$\omega=\sqrt{\frac{k}{m}}$$

و در مورد دورهٔ تناوب می‌توانیم بنویسیم:

$$\omega=\sqrt{\frac{k}{m}}\Rightarrow\frac{2\pi}{T}=\sqrt{\frac{k}{m}}\Rightarrow T=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

رابطهٔ فوق به این معنا است که هر چه جرم وزنه بیشتر و ثابت فنر کم‌تر باشد، دورهٔ تناوب افزایش می‌یابد و نوسان کندتر می‌شود.

مثال و پاسخ

مثال وزنه‌ای به جرم $400\ g$ را به انتهای فنری با ثابت $1000\ N/m$ بسته و آن را روی سطح افقی بدون اصطکاک به اندازهٔ $5\ cm$ از وضع تعادل خارج کرده و سپس رها می‌کنیم. $(\pi=3/14)$

الف) دورهٔ تناوب نوسان دستگاه را محاسبه کنید.

ب) رابطهٔ مکان ـ زمان را برای این دستگاه بنویسید.

پاسخ **الف** از رابطهٔ $T=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$، دورهٔ تناوب را به دست می‌آوریم:

$$T=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}=2\times3/14\times\sqrt{\frac{0/4\ kg}{1000\ N/m}}=2\times3/14\times0/02\ s=0/1256\ s$$

نکته مهم دیدیم که از رابطهٔ $\omega=\sqrt{\frac{k}{m}}$ داریم $k=m\omega^2$؛ بنابراین انرژی مکانیکی دستگاه جرم ـ فنر را می‌توانیم به صورت زیر نیز بنویسیم:

$$E=\frac{1}{2}kA^2 \Rightarrow E=\frac{1}{2}m\omega^2A^2 \xrightarrow{\omega=2\pi f} E=2\pi^2mA^2f^2$$

هر چند رابطهٔ بالا را برای دستگاه جرم ـ فنر به دست آوردیم، اما می‌توانیم نشان دهیم که برای همهٔ دستگاه‌هایی که حرکت هماهنگ ساده انجام می‌دهد، درست است؛ یعنی:

در حرکت هماهنگ ساده، انرژی مکانیکی با مجذور دامنه و مجذور بسامد متناسب است.

مثال و پاسخ

مثال وقتی انرژی جنبشی و پتانسیل دستگاه جرم ـ فنر برابرند، تندی نوسانگر را برحسب دامنه و بسامد نوسانگر به دست آورید.

پاسخ می‌توانیم بنویسیم:

$$K+U=E$$

فرض مسئله این است که انرژی جنبشی و پتانسیل برابرند؛ یعنی:

$$U=K \Rightarrow K+K=E \Rightarrow 2K=E \Rightarrow 2\times\frac{1}{2}mv^2=2\pi^2mA^2f^2$$

$$\Rightarrow v=\sqrt{2\pi^2A^2f^2}=\sqrt{2}\pi Af$$

بیشینهٔ تندی در حرکت هماهنگ ساده

اکنون می‌توانیم ثابت کنیم که بیشینهٔ تندی در حرکت هماهنگ ساده از رابطهٔ $v_{max}=A\omega$ به دست می‌آید. وقتی نوسانگر از نقطهٔ تعادل می‌گذرد، همهٔ انرژی مکانیکی آن از نوع جنبشی است؛ زیرا در این حالت فنر طول عادی خود را دارد $(x=0)$ ولی تندی بیشینه است؛ بنابراین برای نقطهٔ تعادل می‌توانیم بنویسیم:

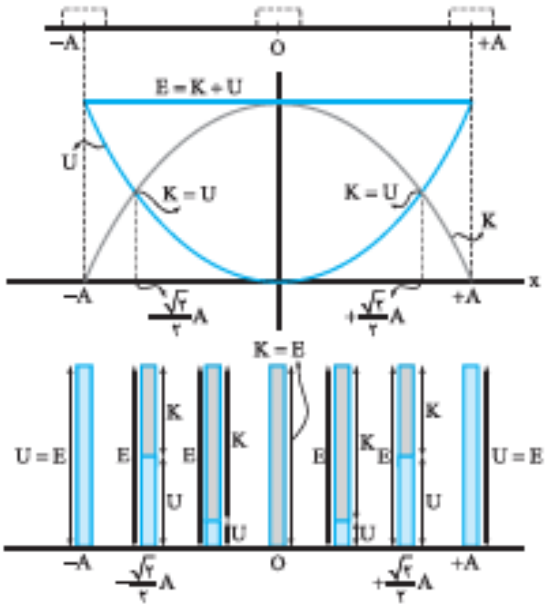
$$K=E \Rightarrow \frac{1}{2}mv_{max}^2=\frac{1}{2}kA^2 \xrightarrow{k=m\omega^2} \frac{1}{2}mv_{max}^2=\frac{1}{2}m\omega^2A^2$$

$$\Rightarrow v_{max}^2=\omega^2A^2 \Rightarrow v_{max}=A\omega$$

نمودارهای انرژی در دستگاه جرم ـ فنر

دیدیم که در دستگاه جرم ـ فنر دائماً انرژی پتانسیل کشسانی و انرژی جنبشی به یکدیگر تبدیل می‌شوند، اما مجموع این دو انرژی یعنی انرژی مکانیکی همواره مقدار ثابتی دارد. در نقاط بازگشت $(x=\pm A)$ همهٔ انرژی مکانیکی از نوع پتانسیل و در نقطهٔ تعادل $(x=0)$ همهٔ انرژی مکانیکی از نوع جنبشی است.

نمودارهای روبه‌رو نحوهٔ تغییر انرژی‌های پتانسیل و جنبشی در حین نوسان دستگاه جرم ـ فنر را به خوبی نشان می‌دهد.



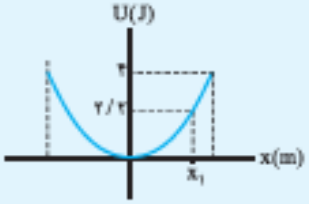
نکته می‌توانیم نشان دهیم در نقاط $x=\pm\frac{\sqrt{2}}{2}A$ انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل دستگاه جرم و فنر با هم برابرند.

مثال و پاسخ

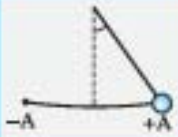
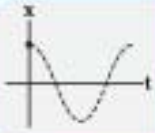
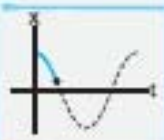
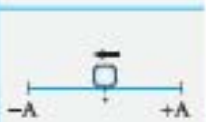
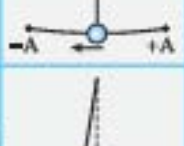
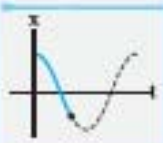
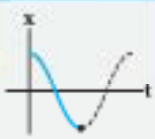
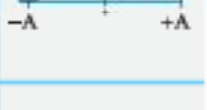
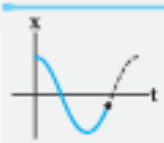
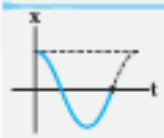
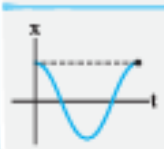
مثال نمودار انرژی پتانسیل برحسب مکان یک دستگاه جرم ـ فنر مطابق شکل است. اگر ثابت فنر $200\ N/m$ و جرم نوسانگر $100\ g$ باشد:

الف) دامنهٔ نوسان را به دست آورید.

ب) تندی نوسانگر در مکان x_1 را محاسبه کنید.



بررسی حرکت هماهنگ ساده در یک دورهٔ تناوب با فرض $x_0 = +A$

وضعیت نوسانگر: جرم ـ فنر	وضعیت نوسانگر: آونگ ساده	مکان	زمان	سرعت	انرژی جنبشی	انرژی پتانسیل	نمودار مکان ـ زمان
		$x = +A$	$t = 0$	صفر	صفر	بیشینه $(\frac{1}{2}kA^2)$	
		$0 < x < +A$	$0 < t < \frac{T}{4}$	منفی	در حال افزایش	در حال کاهش	
		$x = 0$	$t = \frac{T}{4}$	منفی و بیشینه $v_{max} = -A\omega$	بیشینه $(\frac{1}{2}kA^2)$	صفر	
		$-A < x < 0$	$\frac{T}{4} < t < \frac{T}{2}$	منفی	در حال کاهش	در حال افزایش	
		$x = -A$	$t = \frac{T}{2}$	صفر	صفر	بیشینه $(\frac{1}{2}kA^2)$	
		$-A < x < 0$	$\frac{T}{2} < t < \frac{3T}{4}$	مثبت	در حال افزایش	در حال کاهش	
		$x = 0$	$t = \frac{3T}{4}$	مثبت و بیشینه $v_{max} = +A\omega$	بیشینه $(\frac{1}{2}kA^2)$	صفر	
		$0 < x < +A$	$\frac{3T}{4} < t < T$	مثبت	در حال کاهش	در حال افزایش	
		$x = +A$	$t = T$	صفر	صفر	بیشینه $(\frac{1}{2}kA^2)$	

● در شکل‌های مربوط به آونگ، زاویهٔ انحراف اغراق‌آمیز رسم شده است. زاویهٔ انحراف آن‌قدر کوچک است که می‌توانیم مسیر نوسان را خط راست در نظر بگیریم. هم‌چنین برای جلوگیری از شلوغی و آشفتگی در شکل‌های مربوط به نوسانگر جرم ـ فنر، فنر را رسم نکرده‌ایم.

سؤال‌های امتحانی

۳۰- درستی یا نادرستی عبارت‌های زیر را تعیین کنید.

الف) بستگی دورهٔ تناوب آونگ به شتاب گرانشی، روش دقیقی را برای تعیین g به دست می‌دهد.

ب) دورهٔ تناوب آونگ ساده به شتاب گرانشی و دامنهٔ نوسان بستگی دارد.

پ) در لحظه‌ای که آونگ کاملاً عمودی است، بیشترین سرعت را دارد.

ت) اگر چگالی گلولهٔ آونگ را دو برابر و طول آونگ را نصف کنیم، دورهٔ آونگ نصف می‌شود.

۳۱- دو آونگ A و B با طول‌های مساوی داریم. اگر جرم گلولهٔ آونگ A دو برابر جرم گلولهٔ آونگ B باشد، دورهٔ تناوب آونگ A چند برابر دورهٔ تناوب آونگ B است؟ (دو آونگ در یک محل هستند.)

۳۲- آونگ A و آونگ B را در یک محل با هم به نوسان درمی‌آوریم. آونگ A در مدت ۳۰ ثانیه، ۲۰ نوسان کامل و آونگ B در همین مدت، ۱۵ نوسان کامل انجام می‌دهد. طول آونگ A چند برابر طول آونگ B است؟

۳۳- یک ساعت آونگ‌دار طوری تنظیم شده است که آونگ آن در ۱۵ دقیقاً یک رفت و برگشت کامل را انجام دهد. اگر شتاب گرانش در محل تنظیم ساعت، $۹/۸\ m/s^۲$ باشد، طول آونگ چند سانتی‌متر است؟

۳۴- آونگ ساده‌ای در ۵۴ ثانیه، ۳۰ نوسان کامل انجام می‌دهد. طول این آونگ چند سانتی‌متر است؟ ($g = ۱۰\ m/s^۲$ و $\pi^۲ = ۱۰$ فرض شود.)

۳۵- دورهٔ حرکت نوسانی کم‌دامنهٔ یک آونگ ساده به طول ۸۱ cm برابر ۱/۸ s است. اگر طول آونگ ۶۴ cm باشد، دورهٔ حرکت آن چند ثانیه است؟

۳۶- الف) ساعتی آونگ‌دار (با آونگ ساده) در تهران تنظیم شده است. اگر این ساعت به منطقه‌ای در استوا برده شود، عقب می‌افتد یا جلو؟

ب) به نظر شما آیا با افزایش دما، یک ساعت آونگ‌دار جلو می‌افتد یا عقب؟ ($g_{تهران} = ۹/۸\ m/s^۲$ و $g_{استوا} = ۹/۷۸\ m/s^۲$)

۳۷- اگر یک آونگ را در ارتفاع $h = R$ (R شعاع کرهٔ زمین است)، از سطح زمین به نوسان درآوریم، دورهٔ نوسان آن نسبت به حالتی که در سطح زمین نوسان می‌کند، چند برابر خواهد شد؟

۳۸- اگر یک ساعت آونگ‌دار را در ماه تنظیم کنیم و سپس به سطح زمین بیاوریم: ($g_m = \frac{۱}{۶} g_e$)

الف) دورهٔ آن چگونه تغییر می‌کند؟

ب) ساعت عقب می‌افتد یا جلو؟

۳۹- دورهٔ آونگی بر روی کرهٔ زمین ۱/۸ s است. دورهٔ آونگ بر روی کرهٔ ماه تقریباً چند ثانیه است؟ ($g_m = \frac{۱}{۶} g_e$)

۴ بسامد طبیعی، نوسان واداشته و پدیدهٔ تشدید

بسامد طبیعی

فرض کنید یک نوسانگر را از حالت تعادل خارج کنیم و سپس آن را به حال خودش رها کنیم تا آزادانه نوسان کند. همان‌طور که خواندید، این نوسانگر با یک بسامد خاص که به دامنهٔ نوسان وابسته نیست، شروع به نوسان می‌کند. به این بسامد خاص که فقط به ویژگی‌های ساختاری نوسانگر وابسته است، **بسامد طبیعی** نوسانگر می‌گوییم و آن را با $f_۰$ نشان می‌دهیم.

نمونه بسامد طبیعی سامانهٔ جرم ـ فنر برابر $f_۰ = \frac{۱}{۲\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}$ و بسامد طبیعی آونگ ساده برابر $f_۰ = \frac{۱}{۲\pi}\sqrt{\frac{g}{L}}$ است.

مثال و پاسخ

مثال بسامد طبیعی سامانهٔ جرم ـ فنری را که جرم نوسانگر آن ۲۵ g و ثابت فنر آن ۲۲/۵ N/m است، به دست آورید.

پاسخ تنها کافی است اعداد داده‌شده را در رابطهٔ $f_۰ = \frac{۱}{۲\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}$ قرار دهیم:

$$f_۰ = \frac{۱}{۲\pi}\sqrt{\frac{k}{m}} = \frac{۱}{۲\pi}\sqrt{\frac{۲۲/۵\ N/m}{۲۵\ g}} = \frac{۱}{۲\pi}\sqrt{\frac{۲۲/۵\ N/m}{۲۵\times۱۰^{-۳}\ kg}} = \frac{۳۰}{۲\pi} = \frac{۱۵}{\pi}\ Hz$$

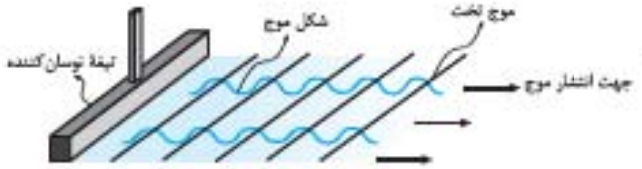
مشخصه‌های موج

برای ایجاد یک موج، دو چیز لازم داریم:

۱- **چشمهٔ موج:** به شخص یا وسیلهٔ نوسانگری که با نوسان‌های خود، موج را ایجاد می‌کند، چشمهٔ موج می‌گوییم.

۲- **محیط انتشار موج:** محیطی که نوسان‌های ایجادشده توسط چشمهٔ موج در آن منتشر می‌شود، محیط انتشار می‌نامیم.

به عنوان نمونه در مثال ایجاد موج در فنر اسلینکی (فنر بلند و کشیده) دست ما چشمهٔ موج و فنر، محیط انتشار موج است و یا در مثال تشت موج، آب داخل تشت، محیط انتشار موج است و می‌توانیم از یک تیغه یا یک گوی کوچک به عنوان چشمهٔ موج استفاده کنیم. البته اگر چشمهٔ موج، تیغهٔ نوسان‌کننده بر سطح آب باشد، موج تخت ایجاد می‌شود، اما اگر چشمهٔ موج یک گوی نوسان‌کننده باشد، موج دایره‌ای تشکیل می‌گردد.



هر موج با مشخصه‌های مربوط به خود بررسی می‌شود. مشخصه‌های موج عبارت‌اند از:

۱- **دورهٔ تناوب موج (T):** **مدت‌زمانی را که هر ذره از محیط یک نوسان کامل انجام می‌دهد، دورهٔ تناوب موج می‌نامیم.** دورهٔ تناوب موج یا دورهٔ تناوب چشمهٔ موج برابر است.

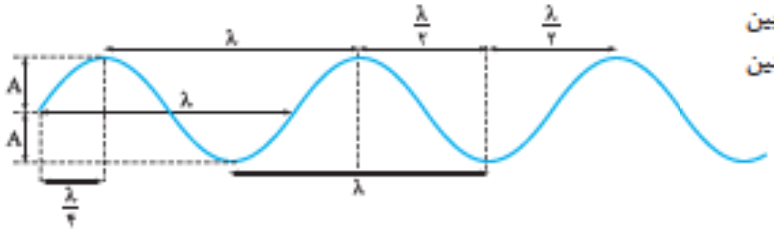
۲- **بسامد موج (f):** **تعداد نوسان‌های انجام‌شدهٔ هر ذره از محیط در یک ثانیه را بسامد موج می‌نامیم.** بدیهی است که بسامد موج با بسامد چشمهٔ موج یکسان است و بین دورهٔ تناوب و بسامد موج، رابطهٔ روبه‌رو برقرار است.

$$f = \frac{1}{T}$$

۳- **دامنهٔ موج (A):** **بیشترین جابه‌جایی یک ذره از مکان تعادلش را دامنهٔ موج می‌نامیم.** مثلاً در مثال موج سطحی در تشت موج، دامنه همان فاصلهٔ قله‌ها و دره‌ها نسبت به حالتی است که آب آرام و ساکن است.

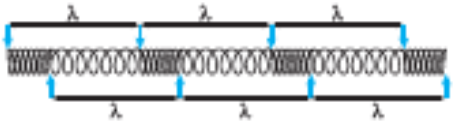
۴- **تندی انتشار موج (v):** اگر یک قله (برآمدگی) یا دره (فرورفتگی) موج در مدت‌زمان Δt مسافت L را طی کند، تندی انتشار موج از رابطهٔ $v = \frac{L}{\Delta t}$ به دست می‌آید.

۵- **طول‌موج (λ):** **به مسافتی که موج در یک دورهٔ تناوب طی می‌کند، طول موج می‌گوییم.**



نکته واضح است که در محیط انتشار موج، فاصلهٔ بین دو قله یا دو درهٔ متوالی با طول موج برابر است. هم‌چنین فاصلهٔ یک قله از درهٔ مجاورش نصف طول موج است.

نکته در امواج طولی فاصلهٔ بین دو تراکم یا دو انبساط متوالی برابر با طول موج است.



و اما نکتهٔ آخر که خیلی هم مهم است!

از مشخصه‌های ذکرشده برای موج، دورهٔ تناوب، بسامد و دامنهٔ موج صرفاً به مشخصات چشمهٔ موج وابسته‌اند. سرعت انتشار موج، فقط به جنس و ویژگی‌های فیزیکی محیط انتشار موج بستگی دارد و در نهایت طول موج هم به مشخصات چشمهٔ موج و هم به ویژگی‌های محیط انتشار موج وابسته است.

رابطهٔ تندی انتشار موج با دوره و بسامد

اگر سرعت انتشار موج در یک محیط v باشد، در مدت یک دورهٔ تناوب (T) به اندازهٔ یک طول موج (λ) مسافت طی می‌کند؛ بنابراین می‌توانیم بنویسیم:

$$v = \frac{L}{\Delta t} \Rightarrow v = \frac{\lambda}{T} \Rightarrow v = \lambda f$$

مثال و پاسخ

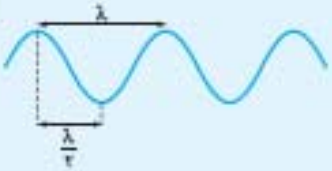
مثال در آزمایش تشت موج، فاصلهٔ بین یک برآمدگی (قله) از فرورفتگی (دره) مجاورش ۰/۵۰ سانتی‌متر است. اگر چشمهٔ موج، یک گوی نوسانگر با بسامد ۲۰۰ Hz باشد:

الف) طول موج ایجادشده چند سانتی‌متر است؟

ب) تندی انتشار موج در این تشت، چند m/s است؟

پ) اگر مقداری آب به تشت اضافه کنیم، تا عمق آب درون تشت بیشتر شود، کدام‌یک از مشخصه‌های زیر تغییر می‌کند؟

۱- دورهٔ تناوب موج ۲- دامنهٔ موج ۳- سرعت انتشار موج ۴- طول موج



پاسخ الف) قبلاً گفتیم که فاصلهٔ بین دو قله یا دو درهٔ متوالی به اندازهٔ یک طول موج است؛ بنابراین فاصلهٔ بین یک قله از درهٔ مجاورش نصف طول موج است:

$$\frac{\lambda}{2}=0/50\,cm \Rightarrow \lambda=1/0\,cm$$

ب) با استفاده از رابطهٔ طول موج داریم:

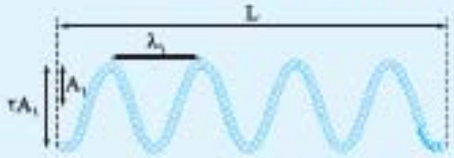
$$v=\lambda f \Rightarrow v=(1/0\times10^{-2}\ m)\times(200\ Hz)=2/0\ m/s$$

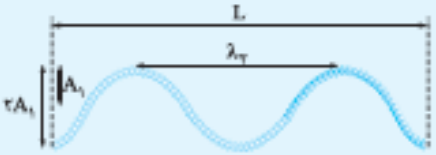
پ) با افزایش عمق تشت، یکی از ویژگی‌های فیزیکی محیط انتشار موج تغییر می‌کند. در حالی که تغییر، در چشمهٔ موج رخ نداده است؛ بنابراین دورهٔ تناوب و دامنه که به مشخصات چشمهٔ موج وابسته‌اند، ثابت می‌مانند. اما تندی انتشار امواج سطحی که به مشخصات محیط انتشار بستگی دارد، تغییر می‌کند. آزمایش نشان می‌دهد، **در آب‌های کم‌عمق، با افزایش‌یافتن عمق آب، سرعت انتشار امواج بر سطح آب افزایش می‌یابد.** از طرفی با ثابت‌ماندن دورهٔ تناوب و افزایش تندی انتشار موج، طبق رابطهٔ $\lambda = vT$، طول موج نیز افزایش پیدا می‌کند.

مثال و پاسخ

مثال در دو طناب کاملاً مشابه، دو موج عرضی ایجاد کرده‌ایم. دامنه، بسامد، دورهٔ تناوب و طول موج امواج ایجادشده در دو طناب را مقایسه کنید.

پاسخ با توجه به شکل، دامنهٔ موج ۱ با دامنهٔ موج ۲ برابر است اما طول موج ۲ از طول موج ۱ بزرگ‌تر است.





چون دو طناب مشابه‌اند، تندی انتشار موج در هر دو یکسان است؛ بنابراین می‌توانیم بنویسیم:

$$v_1=v_2 \Rightarrow \lambda_1 f_1=\lambda_2 f_2 \Rightarrow \frac{\lambda_1}{\lambda_2}=\frac{f_2}{f_1}$$

یعنی **اگر تندی انتشار دو موج یکسان باشد، بسامد با طول موج نسبت معکوس دارد؛** بنابراین چون $\lambda_2 > \lambda_1$ است، بنابراین $f_2 < f_1$.

از طرفی دورهٔ تناوب با بسامد رابطهٔ عکس دارد؛ بنابراین:

$$T_2 > T_1$$

نکته به طور کلی اگر تندی انتشار دو موج یکسان باشد، هر چه در فاصلهٔ معینی از محیط انتشار موج، تعداد قله‌ها و دره‌ها بیشتر باشد (طول موج کم‌تر باشد)، بسامد موج بیشتر و دورهٔ تناوب آن کم‌تر است.

سؤال‌های امتحانی

۴۸- درستی یا نادرستی عبارت‌های زیر را تعیین کنید.

الف) میکروموج و موج‌های صوتی برای انتشار به محیط مادی نیاز ندارد.

ب) منشأ یکسان امواج مکانیکی و الکترومغناطیسی باعث شده است که این دو نوع موج، مشخصه‌های یکسانی داشته باشند.

پ) در موج‌های پیش‌رونده، ماده به همراه موج منتقل می‌شود.

ت) اگر چشمهٔ موج به طور هماهنگ ساده نوسان کند، اجزای محیط حول نقطهٔ تعادل خود با همان بسامد چشمه نوسان می‌کنند.

ث) برای یک موج، فاصلهٔ نوک یک ستیغ نسبت به سطح ساکن محیط برابر دامنه است.

ج) در یک محیط یکسان اگر بسامد یک چشمه تغییر کند، بسامد موج تغییر نمی‌کند.

چ) تندی انتشار موج‌های سطحی روی آب‌های کم‌عمق به عمق آب وابسته است.

۴۹- جملات زیر را با عبارت‌های مناسب پر کنید.

الف) موج‌هایی که برای انتشار به محیط مادی نیاز دارند، ..... نام دارند و موج‌هایی که برای انتشار به محیط مادی نیاز ندارند، ..... نام دارند.

ب) در موج ..... جابه‌جایی هر جزء نوسان‌کننده از محیط انتشار موج، عمود بر جهت انتشار موج است.

پ) فاصلهٔ بین دو قلهٔ مجاور را ..... می‌نامیم.

ت) مدت‌زمانی را که هر ذرهٔ محیط، یک نوسان کامل انجام می‌دهد، ..... موج می‌نامیم.

ث) در یک موج دایره‌ای، جبهه‌های موج به صورت ..... است و بردار سرعت موج در راستای ..... است.

۵۰- کلمه‌های مناسب را از داخل پرانتز انتخاب کنید.

الف) به موج‌هایی که در آن‌ها جابه‌جایی هر جزء نوسان‌کننده از محیط (عمود بر / در راستای) حرکت موج است، موج طولی گفته می‌شود.

ب) اگر برای ایجاد یک موج در یک فنر که آن را به صورت عمودی در دست گرفته‌ایم، دست خود را بالا و پایین ببریم، موج ایجادشده در فنر (طولی / عرضی) خواهد بود.

پ) به هر یک از برآمدگی‌ها یا فرورفتگی‌های ایجادشده روی سطح آب در یک تشت موج، یک (جبههٔ موج / طول موج) می‌گوییم.

ت) دورهٔ تناوب موج (برابر / متفاوت) با دورهٔ تناوب چشمه است.

ث) در آب‌های کم‌عمق، افزایش عمق آب باعث (افزایش‌یافتن / ثابت‌ماندن) طول موج و باعث (کاهش‌یافتن / ثابت‌ماندن) دورهٔ تناوب موج می‌شود.

۵۱- موج‌های مکانیکی چگونه به وجود می‌آیند؟

۵۲- نوع موج‌های زیر را از نظر مکانیکی یا الکترومغناطیسی‌بودن تعیین کنید.

الف) موج‌های روی سطح آب ب) موج‌های ایجادشده در فنر پ) میکروموج ت) موج رادیویی

ث) صوت ج) نور مرئی چ) پرتوی x

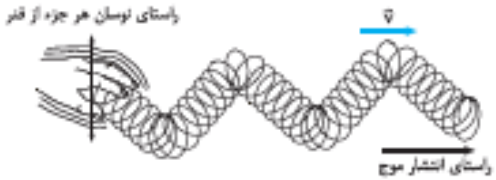
۵۳- موج‌های پیش‌رونده را تعریف کنید.

۵۴- طول موج را تعریف کنید.

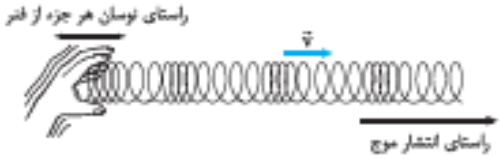
۵۵- بسامد موج را تعریف کنید.

۵۶- تندی انتشار موج به چه چیزی وابسته است؟

۵۷- در شکل‌های زیر نوع موج را تعیین کنید.



الف) .....



ب) .....

۵۸- اگر موجی با سرعت ۳۰ m / s در یک دورهٔ تناوب ۴۵ m را طی کند، بسامد چشمهٔ موج چند هرتز است؟

۵۹- بسامد موج (۱) چهار برابر بسامد موج (۲) است. اگر سرعت موج (۲)، دو برابر سرعت موج (۱) باشد:

الف) نسبت دورهٔ تناوب موج (۱) به دورهٔ تناوب موج (۲) چه‌قدر است؟

ب) اگر طول موج موج (۱)، ۲ cm باشد، طول موج موج (۲) چند سانتی‌متر است؟

۶۰- در یک تشت موج اگر عمق آب ۲/۵ cm باشد، تندی انتشار موج ۰/۵ m / s می‌شود و اگر عمق آب ۳/۵ cm باشد، تندی انتشار موج ۰/۶ m / s می‌شود. اگر بسامد چشمه در دو حالت ۱ Hz باشد، نسبت طول موج در حالت اول به طول موج در حالت دوم چه‌قدر است؟

۶۱- دورهٔ تناوب یک موج ۰/۸ s است. اگر یک تپ در این مدت ۴۰ cm جلو برود:

الف) طول موج چند متر است؟

ب) تندی انتشار موج چند متر بر ثانیه است؟

۸۰- اگر طول آنتن یک رادیوی جیبی را ۳۰ cm کنیم، صدای رادیو کاملاً واضح می‌شود. اگر طول این آنتن $\frac{1}{4}$ طول موج دریافتی باشد، بسامدی که رادیو دریافت می‌کند، چند هرتز است؟ (مشابه تمرین کتاب درسی)

۸۱- در خلأ، کم‌ترین طول موج طیف نور مرئی حدود ۳۸۰ nm و بیشترین طول موج آن ۷۵۰ nm است. اختلاف بیشترین بسامد این طیف با کم‌ترین بسامد آن چند هرتز است؟

۸۲- بسامد نور بنفش $7/9\times10^{14}$ Hz است. اگر سرعت حرکت نور در آب $2/25\times10^{8}$ m/s باشد، طول موج این نور در آب را حساب کنید. (مشابه مسئلهٔ کتاب درسی)

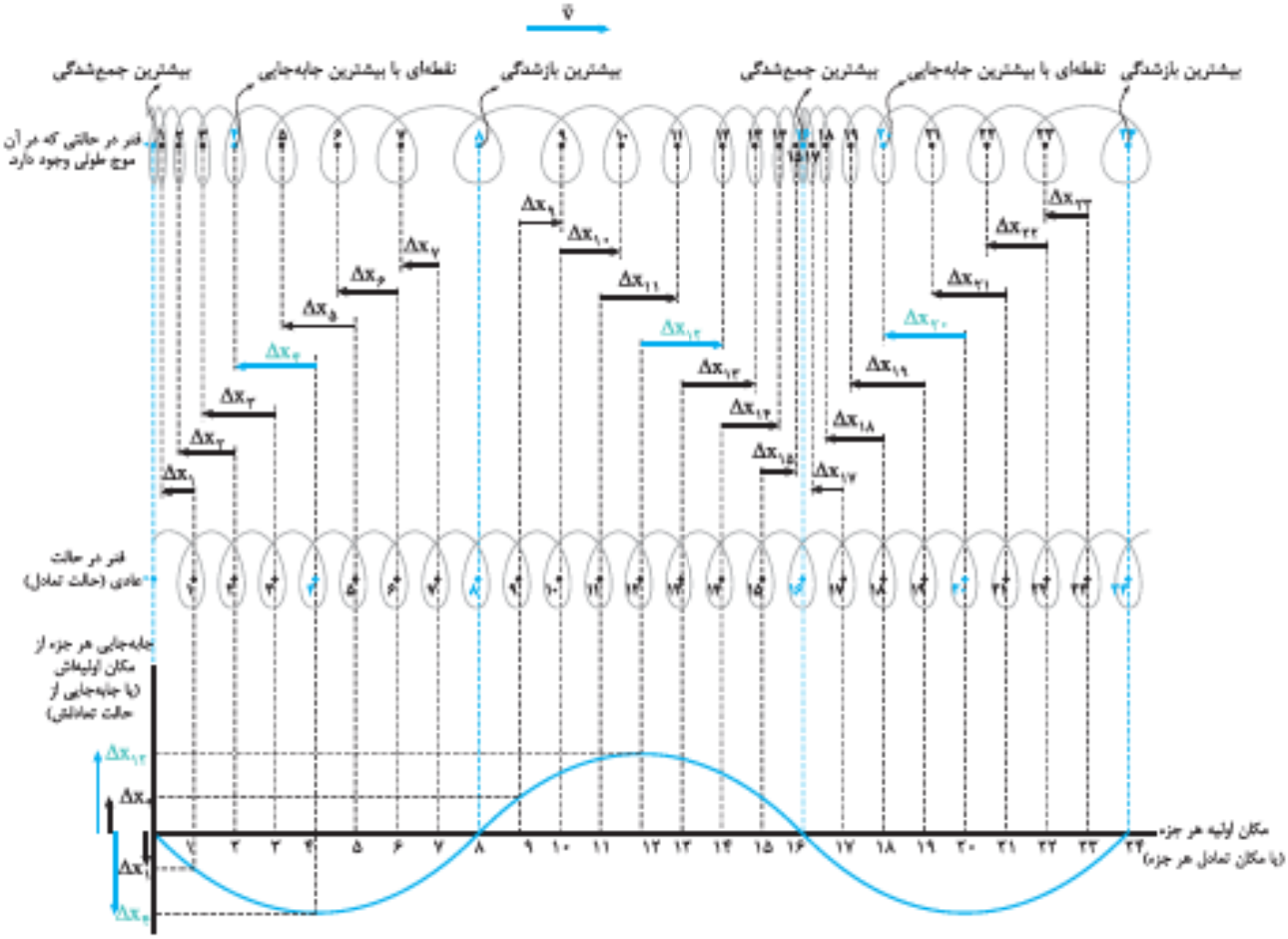
۸ امواج طولی

امواج طولی و مشخصه‌های آن

یک بار دیگر فنر بلند و کشیده‌ای را در نظر بگیرید. اگر یک سر فنر را به جلو حرکت دهیم، حلقه‌های فنر در آن ناحیه به هم نزدیک می‌شوند و یک جمع‌شدگی ایجاد می‌شود. حال اگر سر آزاد فنر را به عقب بکشیم موجب فاصله‌گرفتن حلقه‌ها از هم می‌شود و یک بازشدگی در فنر به وجود می‌آید. اگر به طور مداوم به صورت هماهنگ ساده یک سر فنر را به جلو و عقب حرکت دهیم، جمع‌شدگی (تراکم) و بازشدگی (انبساط)هایی ایجاد می‌شود که به طور متناوب در طول فنر منتشر می‌شود. در حالی که هر جزء فنر هم‌راستا با حرکت موج به چپ و راست می‌رود و در راستای انتشار موج حرکت هماهنگ ساده می‌کند.

اگر در یک **لحظهٔ معین** از فنر عکس بگیریم، مشاهده می‌کنیم در اثر جمع‌شدگی و بازشدگی‌های متوالی برخی نقاط از فنر به سمت چپ و برخی به سمت راست کشیده شده‌اند و برخی نقاط نیز در مکان تعادل خود باقی می‌مانند. مکان تعادل برای هر جزء فنر همان نقطه‌ای است که آن جزء از فنر در حالت عادی فنر در آن نقطه قرار دارد. در واقع مکان تعادل، مکان اولیهٔ یک جزء از فنر است، قبل از این‌که در فنر موج ایجاد شود.

اگر **جابه‌جایی هر جزء از فنر از مکان تعادلش** را روی محور عمودی و **مکان هر جزء از فنر در حالت عادی** را روی محور افقی نشان دهیم، مطابق شکل زیر نمودار جابه‌جایی ـ مکان موج طولی به صورت سینوسی به دست خواهد آمد. در شکل زیر، Δxها جابه‌جایی نقاط از محل تعادل است. در این لحظه جابه‌جایی نقاطی مثل ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۳ که در خلاف جهت انتشار موج حرکت کرده‌اند، منفی است. از طرفی جابه‌جایی نقاطی که در جهت انتشار موج حرکت کرده‌اند، مثبت است؛ نقاطی مثل ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴ و ۱۵.



- نقاط ۴ و ۲۰ **بیشترین جابه‌جایی را در خلاف جهت انتشار موج** دارند. جابه‌جایی این نقاط را به طور رنگی نشان داده‌ایم. (نقاطی که تراکم تمام می‌شود و پس از آن انبساط شروع می‌شود)
- نقطهٔ ۱۲ **بیشترین جابه‌جایی را در جهت انتشار موج** دارد. جابه‌جایی این نقطه را به طور رنگی نشان داده‌ایم. (نقاط انتهایی انبساط)
- نقاط ۰، ۸، ۱۶ و ۲۴ **بدون جابه‌جایی از وضع تعادل** هستند. این نقاط را در فنرها به طور رنگی نشان داده‌ایم. (نقاط جمع‌شدگی بیشینه که نقاط وسط تراکم‌ها و بازشدگی بیشینه که نقاط وسط انبساط‌ها هستند)
- در حلقه‌های فنر از نقطهٔ ۱ تا ۴ تراکم (فشردگی)، از نقطهٔ ۴ تا ۱۲ انبساط (بازشدگی)، از نقطهٔ ۱۲ تا ۲۰ مجدداً تراکم (فشردگی) و از نقطهٔ ۲۰ تا ۲۴ مجدداً انبساط (بازشدگی) رخ داده است.

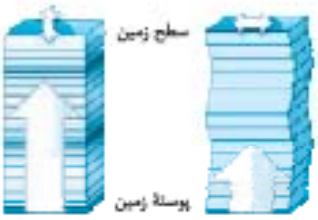
نکته۱ در امواج طولی، در مکان‌هایی که بیشترین جمع‌شدگی (تراکم بیشینه) یا بیشترین بازشدگی (انبساط بیشینه) رخ می‌دهد، جابه‌جایی هر جزء از محیط از وضعیت تعادل صفر است. این نقاط وسط ناحیهٔ تراکم و یا وسط ناحیهٔ انبساط هستند.

نکته۲ در امواج طولی در **نقطهٔ وسط** فاصلهٔ بین یک جمع‌شدگی بیشینه (وسط ناحیهٔ تراکم) و یک بازشدگی بیشینهٔ (وسط ناحیهٔ انبساط) مجاور هم، اندازهٔ جابه‌جایی هر جزء فنر از وضعیت تعادل بیشینه است. (مثل **نقطهٔ ۱۲** که وسط نقطهٔ ۸ و ۱۶ است.)

طول موج و دامنه در امواج طولی

مشخصه‌هایی که برای امواج عرضی به کار بردیم در مورد امواج طولی نیز درست است. فقط در امواج طولی، طول موج به صورت فاصلهٔ بین دو تراکم (جمع‌شدگی) و یا دو انبساط (بازشدگی) متوالی تعریف می‌شود. دامنه هم برابر با بیشینهٔ جابه‌جایی از وضعیت تعادل است. در شکل صفحهٔ قبل اندازهٔ جابه‌جایی نقاط ۴، ۱۲ و ۲۰ برابر با دامنه است.

امواج لرزه‌ای، ترکیبی از امواج طولی و عرضی



امواج لرزه‌ای منشأ اغلب زمین‌لرزه‌ها هستند. این امواج از لایه‌های زمین عبور می‌کنند و انرژی حاصل از لرزش‌های اعماق زمین را به سطح زمین حمل می‌کنند. دو نوع مهم از امواج لرزه‌ای، امواج اولیه (یا p) و امواج ثانویه (یا s) هستند.

امواج p طولی هستند و تندی انتشار آن‌ها از امواج s که عرضی هستند، بیشتر است. بنابراین معمولاً لرزه‌نگارها ابتدا امواج طولی p و سپس امواج عرضی s را دریافت می‌کنند.

مثال و پاسخ

مثال در زلزلهٔ آبان‌ماه ۱۳۹۶ در استان کرمانشاه کانون زمین‌لرزه در عمق ۱۱ کیلومتری زمین گزارش شد. اگر تندی امواج s برابر $۳/۵\ \frac{km}{s}$ و تندی امواج p برابر $۶/۵\ \frac{km}{s}$ باشد، امواج s چند ثانیه پس از امواج p به سطح زمین رسیده‌اند.

پاسخ ابتدا زمان رسیدن هر یک از موج‌ها به سطح زمین را حساب می‌کنیم:

$$v_p = \frac{x}{t_p} \Rightarrow ۶/۵\ \frac{km}{s} = \frac{۱۱\ km}{t_p} \Rightarrow t_p \simeq ۱/۷\ s$$

$$v_s = \frac{x}{t_s} \Rightarrow ۳/۵\ \frac{km}{s} = \frac{۱۱\ km}{t_s} \Rightarrow t_s \simeq ۳/۱\ s$$

حالا با کم‌کردن این دو زمان، اختلاف زمانی رسیدن دو موج به سطح زمین به دست می‌آید:

$$\Delta t = t_s - t_p = (۳/۱\ s) - (۱/۷\ s) = ۱/۴\ s$$

مشاهده می‌شود که اختلاف زمانی رسیدن دو موج به سطح زمین بسیار کم است. به همین دلیل در ایستگاه‌های لرزه‌نگاری که در فاصله نزدیک از کانون زمین‌لرزه قرار دارند، تفکیک امواج s و p به خوبی امکان‌پذیر نیست.

صوت، آشناترین موج طولی

امواج صوتی ممکن است از تارهای صوتی انسان‌ها و حیوانات، صفحات مرتعش (دیافراگم) یک بلندگو یا سیم‌های یک ساز زهی مانند گیتار یا ارتعاش هوای درون یک ساز بادی مانند شیپور و ... تولید شود. هر وسیله‌ای را که امواج صوتی تولید می‌کند **چشمهٔ صوت** می‌نامیم.

موج صوتی که از یک چشمه صوت ایجاد می‌شود، در صورتی که اطراف چشمهٔ صوت محیط مادی وجود داشته باشد، در تمام جهات منتشر می‌شود؛ زیرا صوت، موجی مکانیکی است و در خلأ منتشر نمی‌شود.

جدول زیر خلاصه‌ای از رشتهٔ طول موج‌های مربوط به طیف گسیلی اتم هیدروژن را بیان می‌کند.

(رشته‌های طیف گسیلی اتم هیدروژن)

رشته	n'	n	جای‌گذاری در معادلهٔ بالمر ـ ریدبرگ	مقدار تقریبی طول موج (nm)	محدودهٔ طول موج
لیمان	۱	۲	$\frac{۱}{\lambda}=R(\frac{۱}{۱}-\frac{۱}{۴})$	۱۲۱	فرابنفش
		۳	$\frac{۱}{\lambda}=R(\frac{۱}{۱}-\frac{۱}{۹})$	۱۰۲	
		۴	$\frac{۱}{\lambda}=R(\frac{۱}{۱}-\frac{۱}{۱۶})$	۹۷	
		۵	$\frac{۱}{\lambda}=R(\frac{۱}{۱}-\frac{۱}{۲۵})$	۹۵	
		۶	$\frac{۱}{\lambda}=R(\frac{۱}{۱}-\frac{۱}{۳۶})$	۹۳/۵	
		⋮	⋮	⋮	
		∞	$\frac{۱}{\lambda}=R(\frac{۱}{۱}-\frac{۱}{\infty})$	۹۰/۹	
بالمر	۲	۳	$\frac{۱}{\lambda}=R(\frac{۱}{۴}-\frac{۱}{۹})$	۶۵۵	مرئی رنگ قرمز
		۴	$\frac{۱}{\lambda}=R(\frac{۱}{۴}-\frac{۱}{۱۶})$	۴۸۵	مرئی رنگ نیلی
		۵	$\frac{۱}{\lambda}=R(\frac{۱}{۴}-\frac{۱}{۲۵})$	۴۳۳	مرئی رنگ آبی
		۶	$\frac{۱}{\lambda}=R(\frac{۱}{۴}-\frac{۱}{۳۶})$	۴۰۹	مرئی رنگ بنفش
		۷	$\frac{۱}{\lambda}=R(\frac{۱}{۴}-\frac{۱}{۴۹})$	۳۹۶	فرابنفش
		⋮	⋮	⋮	
		∞	$\frac{۱}{\lambda}=R(\frac{۱}{۴}-\frac{۱}{\infty})$	۳۶۳	فرابنفش
پاشن	۳	۴	$\frac{۱}{\lambda}=R(\frac{۱}{۹}-\frac{۱}{۱۶})$	۱۸۷۰	فروسرخ
		۵	$\frac{۱}{\lambda}=R(\frac{۱}{۹}-\frac{۱}{۲۵})$	۱۲۷۸	
		۶	$\frac{۱}{\lambda}=R(\frac{۱}{۹}-\frac{۱}{۳۶})$	۱۰۹۰	
		۷	$\frac{۱}{\lambda}=R(\frac{۱}{۹}-\frac{۱}{۴۹})$	۱۰۰۲	
		۸	$\frac{۱}{\lambda}=R(\frac{۱}{۹}-\frac{۱}{۶۴})$	۹۵۲	
		⋮	⋮	⋮	
		∞	$\frac{۱}{\lambda}=R(\frac{۱}{۹}-\frac{۱}{\infty})$	۸۱۸	

و به ازای $n=\infty$ داریم:

$$\frac{1}{\lambda_{min}}=R\left(\frac{1}{n'^2}-\frac{1}{n^2}\right)\xrightarrow{n'=3,n=\infty}\frac{1}{\lambda_{min}}=(0/011\frac{1}{nm})(\frac{1}{9}-\frac{1}{\infty})$$

$$\Rightarrow \frac{1}{\lambda_{min}}=(0/011\frac{1}{nm})\times(\frac{1}{9})=1/22\times10^{-3}\frac{1}{nm}$$

$$\Rightarrow \lambda_{min}=\frac{1nm}{1/22\times10^{-3}}\simeq 0/820\times10^{3}\,nm=820\,nm$$

بنابراین گسترهٔ طول موج‌های این رشته برابر است با:

$$\lambda_{max}-\lambda_{min}=1855\,nm-820\,nm=1035\,nm$$

سؤال‌های امتحانی

۱۳- درست یا نادرست بودن عبارت‌های زیر را بنویسید.

الف) اجسام فقط در دماهای بالا از خود امواج الکترومغناطیسی گسیل می‌کنند.

ب) تابش گرمایی برای همهٔ اجسام یک طیف پیوسته از طول موج‌ها است.

پ) طول موج‌های ایجادشده توسط یک ماده در طیف گسیلی خطی، منحصر به فرد است.

۱۴- عبارت مناسب را از داخل پرانتز انتخاب کنید.

الف) تابش گرمایی برای یک جسم جامد شامل گستره‌ای (پیوسته / گسسته) از طول موج‌ها است.

ب) تابش گسیلی از سطح اجسام در دماهای بالا بیشتر در ناحیهٔ (مرئی / فروسرخ) است.

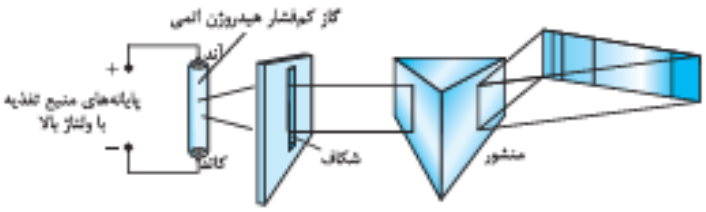
پ) به کمک طیف گسیلی (پیوسته / خطی) می‌توان به جنس یک گاز پی برد.

۱۵- تابش گرمایی را تعریف کنید.

۱۶- الف) تشکیل طیف پیوسته توسط اجسام جامد، ناشی از چیست؟

ب) چرا در گازهای کم‌فشار و رقیق طیف گسیلی گسسته است؟

۱۷- در مورد شکل روبه‌رو به سؤال‌های زیر پاسخ دهید.



الف) این آزمایش برای مشاهدهٔ چه پدیده‌ای طراحی شده است؟

ب) با تغییر گاز درون محفظهٔ شیشه‌ای چه تغییری مشاهده می‌شود؟

۱۸- به پرسش‌های زیر پاسخ کوتاه دهید. (توانایی - دی)

الف) طیف ایجادشده از یک رشتهٔ فلزی داغ در یک لامپ روشن از چه نوعی است؟

ب) قسمتی از طیف کدام سری در ناحیهٔ مرئی قرار دارد؟

۱۹- کوتاه‌ترین و بلندترین طول موج گسیلی در رشتهٔ براکت را به دست آورید و تعیین کنید که این خط‌ها در کدام گسترهٔ طول موج‌های الکترومغناطیسی است؟ $(R=0/011\,(nm)^{-1})$ (مشابه مثال کتاب درسی)

۲۰- طول موج اولین و دومین خط‌های طیفی اتم هیدروژن در رشتهٔ پفوند را به دست آورید و تعیین کنید که این خط‌ها در کدام گسترهٔ طول موج‌های الکترومغناطیسی واقع‌اند؟ $(R=0/01\,(nm)^{-1})$ (مشابه مثال کتاب درسی)

۲۱- الف) اولین طول موج رشتهٔ پاشن را محاسبه کنید. $(R_H=0/01\,(nm)^{-1})$

ب) فرکانس موج الکترومغناطیسی مربوط به این طول موج را تعیین کنید.

۲۲- الف) کوتاه‌ترین و بلندترین طول موج سری بالمر اتم هیدروژن را برحسب نانومتر حساب کنید. (توانایی دی)

ب) تعیین کنید هر یک از این طول موج‌ها در کدام گسترهٔ طیف امواج الکترومغناطیسی واقع است؟

پ) گسترهٔ طول موج‌های این رشته چند نانومتر است؟ $(R=0/0109\,(nm)^{-1})$

۲۳ـ الف) بلندترین و کوتاه‌ترین طول موج خط طیفی اتم هیدروژن در رشتهٔ لیمان را حساب کنید. $(R_H = ۰/۰۱(nm)^{-1})$ (توانایی قبول در رشتهٔ تجربی)

ب) این طول موج‌ها در کدام ناحیه از طیف امواج الکترومغناطیسی قرار دارد؟

پ) گسترهٔ طول موج‌های این رشته چند نانومتر است؟

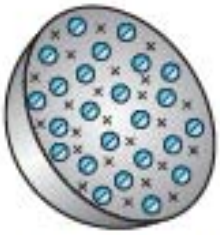
ت) گسترهٔ فرکانس این رشته را برحسب هرتز حساب کنید.

۳ سیر پیشرفت مدل‌های اتمی

یک بن‌بست دیگر در فیزیک کلاسیک!

خب! فیزیک کلاسیک چگونه طیف خطی گازهایی مثل هیدروژن را توضیح می‌دهد؟ آیا مدل‌های اتمی که در فیزیک کلاسیک مورد پذیرش بودند می‌توانستند بگویند داخل اتم چه خبر است؟ و چرا از اتم هر ماده فقط طول موج‌های معینی تابش می‌شود؟ برای پاسخ به این سؤال‌ها باید نگاهی به مدل‌های اتمی فیزیک کلاسیک بیندازیم. اولین مدل اتمی‌ای که بررسی می‌کنیم، مدل اتمی تامسون است.

مدل اتمی تامسون



ژوزف تامسون *(ایشون هیچ نسبتی با پرتقال تامسون ندارند!)* ابتدا الکترون را کشف کرد و سپس مدلی برای اتم ارائه داد. تامسون چنین فرض کرد که اتم ناحیه‌ای است که بار مثبت به طور یکنواخت در فضای آن توزیع شده است و الکترون‌ها که بار منفی و جرم بسیار ناچیز دارند در فضای اتم پراکنده شده‌اند، درست مانند کشمش‌های وسط کیک کشمشی!! به همین دلیل مدل اتمی تامسون به **مدل کیک کشمشی** نیز معروف است.

براساس این مدل، الکترون‌ها *(یا همان کشمش‌ها!)* با بسامدهای معینی در اطراف وضع تعادل خود ارتعاش می‌کنند و این ارتعاش باعث می‌شود که اتم‌ها امواج الکترومغناطیس گسیل کنند.

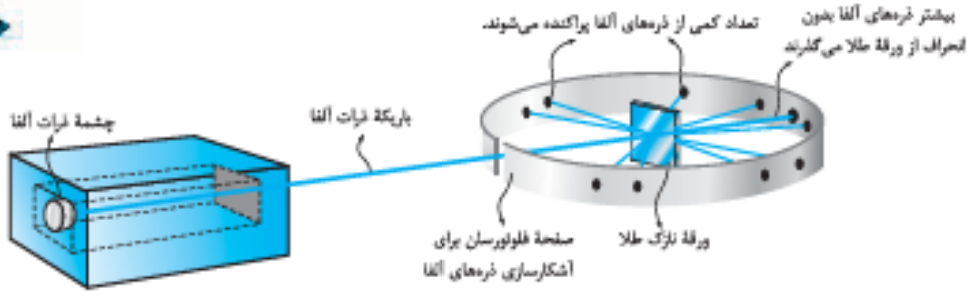
اشکالات مدل اتمی تامسون

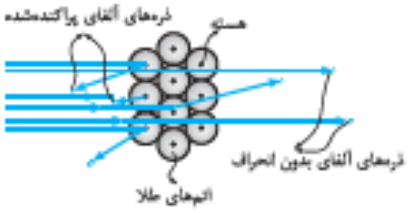
۱ بسامدهای امواج الکترومغناطیس ناشی از تابش‌های اتمی که از طریق تجربه و آزمایش به دست آمده بود با آن‌چه از مدل اتمی تامسون برداشت می‌شد، مطابقت نداشت؛ یعنی مدل اتمی تامسون نمی‌توانست توضیح دهد که چرا فقط بسامدهای معینی از هر اتم تابش می‌شود.

۲ نتایج آزمایش‌های رادرفورد که وجود هسته در اتم را تأیید می‌کرد با مدل کیک کشمشی آقای تامسون هم‌خوانی نداشت و همین موضوع باعث شد که مدل اتمی تامسون خیلی زود کنار گذاشته شود.

مدل اتمی رادرفورد

ارنست رادرفورد ذرات α (آلفا) را که از جنس هستهٔ هلیم هستند (یعنی بار مثبت دارند) ورقهٔ نازکی از طلا تاباند و در اطراف ورقهٔ طلا صفحه‌ای فلوئورسان قرار داد. ذرات آلفا بعد از تماس با ورقهٔ طلا به صفحهٔ فلوئورسان برخورد می‌کردند و موجب ایجاد جرقه‌های کوچک می‌شدند و به این ترتیب مسیر حرکت ذرات α آشکار می‌شد.





مشاهدات رادرفورد این بود: ۱ بیشتر ذرات آلفا بدون انحراف یا با انحراف اندک از ورقهٔ طلا عبور می‌کردند. ۲ برخی از ذرات آلفا با زاویهٔ انحراف زیاد از ورقهٔ طلا رد می‌شدند. ۳ تعداد کمی از ذرات α پس از برخورد به ورقه طلا کاملاً تغییر جهت داده و به عقب برمی‌گشتند.

مثال و پاسخ

مثال اگر اختلاف جرم نوکلئون‌ها و جرم یک هسته 2×10^{-28} kg باشد، انرژی بستگی این هسته چند ژول است؟

پاسخ کاستی جرم هسته (Δm) را در رابطهٔ $B=(\Delta m)c^2$ قرار می‌دهیم:

$$B=(\Delta m)c^2=(2\times10^{-28}\,kg)(3\times10^8\,m/s)^2=1/8\times10^{-11}\,J$$

نکته برای بیان انرژی بستگی هسته اغلب از یکای «الکترون‌ولت (eV)» و مضرب‌های دیگر آن مانند کیلوالکترون‌ولت (keV) و مگاالکترون‌ولت (MeV) استفاده می‌کنیم. همان‌طور که قبلاً دیدید رابطهٔ الکترون‌ولت با ژول به صورت زیر است:

$$1eV=1/602176\times10^{-19}\,J\simeq1/6\times10^{-19}J$$

برای نمونه در مثال قبل، انرژی بستگی هسته را برحسب مگاالکترون‌ولت به روش تبدیل زنجیره‌ای به دست می‌آوریم:

$$B=1/8\times10^{-11}\,J=1/8\times10^{-11}\,J\times\frac{1eV}{1/6\times10^{-19}J}\times\frac{MeV}{10^6\,eV}=112/5\,MeV$$

ترازهای انرژی در هسته

مانند انرژی الکترون‌ها در اتم، انرژی نوکلئون‌های موجود در هسته کوانتیده است و نوکلئون‌ها در ترازهای انرژی معینی در هسته قرار دارند. به همین خاطر نوکلئون‌های داخل هسته نمی‌توانند هر انرژی را داشته باشند.

اگر نوکلئون‌ها انرژی لازم را دریافت کنند، از حالت پایه به ترازهای انرژی بالاتر می‌روند و هسته برانگیخته می‌شود. هستهٔ برانگیخته را با نماد X^* نشان می‌دهیم. هستهٔ برانگیخته می‌تواند با گسیل یک فوتون به حالت پایه برگردد که انرژی این فوتون از مرتبهٔ کیلوالکترون‌ولت (keV) تا مگاالکترون‌ولت (MeV) است. از این موضوع می‌فهمیم که اختلاف ترازهای انرژی در هسته از مرتبهٔ کیلوالکترون‌ولت تا مگاالکترون‌ولت خواهد بود.

نکته همان‌طور که قبلاً دیدید، اختلاف ترازهای انرژی الکترون‌ها در حد الکترون‌ولت است؛ اما اختلاف ترازهای انرژی نوکلئون‌های هسته در حد مگاالکترون‌ولت است. به همین دلیل است که هستهٔ اتم‌ها در واکنش‌های شیمیایی برانگیخته نمی‌شوند و برای برانگیختگی آن‌ها به چیزی بیشتر از واکنش شیمیایی احتیاج داریم که همان واکنش هسته‌ای هستند.

سؤال‌های امتحانی

۶۷- درستی یا نادرستی عبارت‌های زیر را تعیین کنید.

الف) از دید نیروی هسته‌ای تفاوتی بین پروتون و نوترون وجود ندارد، به همین خاطر آن‌ها را به طور عام نوکلئون می‌نامیم.

ب) نیروی الکتروستاتیکی برخلاف نیروی هسته‌ای بلندبرد است.

پ) از عنصرهای سنگین فقط ۳ عنصر توریم، اورانیم و پلوتونیم در طبیعت یافت می‌شوند.

ت) هر چه تعداد نوکلئون‌های هسته بیشتر باشد، هسته پایدارتر است. (نوایی دی رشتهٔ ریاضی)

ث) با افزایش تعداد پروتون‌ها در هسته، نقش نیروی هسته‌ای، مؤثرتر از نیروی کولنی می‌شود. (نوایی شهریور رشتهٔ تجربی)

ج) هسته‌ها در واکنش‌های شیمیایی، برانگیخته می‌شوند. (نوایی شهریور رشتهٔ تجربی)

۶۸- عبارت درست را از داخل پرانتز انتخاب کنید.

الف) هستهٔ پایدار با بیشترین تعداد پروتون متعلق به (بیسموت / توریم) است.

ب) نسبت تعداد نوترون‌ها به تعداد پروتون‌ها $\left(\frac{N}{Z}\right)$ برای هسته‌های پایدار مختلف (ثابت است / تغییر می‌کند).

پ) هر چه هسته پایدارتر باشد، برای جداکردن نوکلئون‌ها از یکدیگر، مقدار انرژی (بیشتری / کم‌تری) مورد نیاز است.

ت) اختلاف انرژی ترازهای نوکلئون در هسته (بیشتر / کم‌تر) از اختلاف انرژی ترازهای الکترون در اتم است.

۶۹- چرا عناصر پایدار سنگین دارای نوترون بیشتری نسبت به پروتون هستند؟ (نوایی خرداد رشتهٔ تجربی)

۷۰- ترازهای انرژی نوکلئون‌ها در هسته‌ها در چه حدودی است؟

۷۱- آیا عامل پایداری هسته می‌تواند نیروهای کولنی یا گرانشی باشد؟ توضیح دهید. (نوایی خرداد رشتهٔ تجربی)

۷۲- دو تفاوت نیروی هسته‌ای با نیروهای کولنی و گرانشی را بنویسید. (نوایی خرداد رشتهٔ تجربی)

۷۳- چرا با افزایش عدد اتمی عناصر، تعداد نوترون‌ها نسبت به تعداد پروتون‌ها بیشتر می‌شود؟ (نوایی خرداد رشتهٔ ریاضی)

۷۴- انرژی بستگی هسته‌ای را تعریف کنید. (توابی فرداد رشتهٔ تجربی)

۷۵- چرا در فرایندهای هسته‌ای معمولاً جرم محصولات نهایی فرایند از جرم ذرات اولیه کم‌تر است؟ (توابی فرداد رشتهٔ ریاضی)

۷۶- هنگام تبدیل جرم به انرژی با وجودی که میزان جرم تبدیل‌شده، بسیار ناچیز است، اما انرژی آزادشده از آن بسیار بزرگ است. علت چیست؟ (توابی شوریور رشتهٔ تجربی)

۷۷- الف) شکل روبه‌رو بیانگر چه مفهومی است؟

ب) چرا جرم نوکلئون‌های جداشده بیشتر از هسته است؟

۷۸- انرژی معادل مقداری زغال‌سنگ، $۴۵\times۱۰^{۱۵}\ J$ است. جرم آن چند کیلوگرم است؟ $(c=۳\times۱۰^{۸}\ m/s)$ (توابی شوریور رشتهٔ ریاضی)

۷۹- الف) مرتبهٔ بزرگی تعداد هسته‌های اتم هلیم که می‌توان در یک جعبه به حجم یک متر مکعب جای داد را تخمین بزنید.

ب) در این صورت مرتبهٔ بزرگی جرم این جعبه چند کیلوگرم می‌شود؟ (مرتبهٔ بزرگی شعاع هسته $۱۰^{-۱۵}\ m$ و مرتبهٔ بزرگی جرم آن $۱۰^{-۲۷}\ kg$ است.)

۸ پرتوزایی

پرتوزایی طبیعی

تبدیل هسته‌های سنگین ناپایدار به هسته‌های سبک‌تر و پایدارتر را واپاشی می‌گوییم. واپاشی یک هسته از طریق پرتوزایی یعنی گسیل برخی ذرات یا فوتون‌ها از هسته صورت می‌گیرد. اگر پرتوزایی به طور طبیعی و خودبه‌خود صورت گیرد، آن را **پرتوزایی طبیعی** می‌نامیم. در اثر پرتوزایی طبیعی، سه نوع پرتوی آلفا (α)، بتا (β) و گاما (γ) ایجاد می‌شود.

در پرتوزایی، هستهٔ اولیه را «هستهٔ مادر» و هستهٔ ایجادشده پس از پرتوزایی را «هستهٔ دختر» می‌نامیم. البته خود هستهٔ دختر نیز ممکن است پرتوزا باشد.

حالا به بررسی دقیق‌تر واپاشی با هر یک از پرتوهایی که نام بردیم، می‌پردازیم:

الف) واپاشی با گسیل پرتو آلفا (α)

پرتوی آلفا شامل ذراتی از جنس هستهٔ هلیم با بار $+۲e$ هستند؛ یعنی ذرات آلفا مانند هستهٔ هلیم شامل ۲ پروتون و ۲ نوترون هستند ($^{۴}_{۲}He$). در نتیجه وقتی هسته‌ای سنگین، یک ذرهٔ آلفا گسیل می‌کند، دو پروتون و دو نوترون از دست می‌دهد.

واکنش کلی پرتوزایی α به صورت روبه‌رو است: پرتوزایی α: $^{A}_{Z}X_{N} \rightarrow {}^{۴}_{۲}He + {}^{A-۴}_{Z-۲}Y_{N-۲}$

یعنی اگر هسته‌ای سنگین یک ذرهٔ آلفا گسیل کند، دو واحد از عدد اتمی و دو واحد از عدد نوترونی و در نتیجه چهار واحد از عدد جرمی آن کاسته می‌شود؛ یعنی:

$$\begin{cases} A' = A - ۴ \\ Z' = Z - ۲ \\ N' = N - ۲ \end{cases}$$

به عنوان مثال اگر اورانیم ۲۳۸ ($^{۲۳۸}_{۹۲}U$) به عنوان هستهٔ مادر، ذرهٔ آلفا گسیل کند، به توریم $^{۲۳۴}_{۹۰}T$ (هستهٔ دختر) تبدیل می‌شود:

$$^{۲۳۸}_{۹۲}U \rightarrow {}^{۲۳۴}_{۹۰}Th + {}^{۴}_{۲}He$$

نکته ذره‌های آلفا، نسبت به ذرات β سنگین‌تر هستند و برد کوتاهی دارند، به طوری که پس از طی مسافت کوتاهی در هوا (۱ تا ۲ سانتی‌متر) به سرعت جذب می‌شوند و اگر این ذره‌ها از راه تنفس یا دستگاه گوارش وارد بدن شوند، باعث آسیب شدید به بافت‌های بدن می‌شوند.

ب) واپاشی با گسیل پرتو بتا (β)

واپاشی β متداول‌ترین نوع واپاشی در هسته‌ها است. این واپاشی که نخستین نوع پرتوزایی بود که توسط بکرل مشاهده شد، به دو صورت انجام می‌شود:

۱- واپاشی β^- (بتای منفی): واپاشی β معمولاً با گسیل ذرات باردار β^- که از جنس الکترون هستند ($_{-۱}^{۰}e^-$) رخ می‌دهد. برای آن‌که یک هسته علی‌رغم آن‌که الکترون ندارد، بتواند آن را گسیل کند، ابتدا یک نوترون به یک پروتون و یک الکترون تبدیل می‌شود و سپس الکترون ایجادشده گسیل می‌شود.

$$^{۱}_{۰}N \rightarrow {}^{۱}_{۱}P + {}^{۰}_{-۱}e^-$$

پاسخ سؤال‌های امتحانی

۱- الف) نادرست ـ بسامد آستانه به جنس فلز بستگی دارد و برای همهٔ فلزات یکسان نیست.

ب) نادرست ـ در صورتی که بسامد نور از بسامد آستانه بیشتر باشد، شدت نور فرودی فقط در تعداد فوتوالکترون‌ها مؤثر است و تغییری در انرژی جنبشی فوتوالکترون‌ها ایجاد نمی‌کند. اگر هم بسامد نور فرودی از بسامد آستانه کم‌تر باشد، هر چقدر شدت را افزایش دهیم، فوتوالکتریک رخ نمی‌دهد.

پ) درست

۲- الف) hf ب) بسامد آستانه (f_0)

پ) بستده‌ای انرژی

۳- الف) فرابنفش

ب) بیشتر ـ شرط رخ‌دادن فوتوالکتریک $\lambda < \lambda_0$ است.

پ) انرژی جنبشی الکترون خارج‌شده

ت) شدت ث) $eV.nm$

۴- وقتی نوری با بسامد مناسب مانند نور فرابنفش به سطحی فلزی بتابد الکترون‌هایی از آن گسیل می‌شوند. این پدیدهٔ فیزیکی را اثر فوتوالکتریک می‌نامیم و به الکترون‌های جداشده از سطح فلز فوتوالکترون می‌گوییم.

الکترون‌ها، انرژی نور فرودی را جذب می‌کنند و از سطح فلز خارج می‌شوند.

۵- الف) بررسی اثر فوتوالکتریک

ب) هیچ اتفاقی نمی‌افتد؛ چون پدیدهٔ فوتوالکتریک با نورهای با بسامد بالا، مانند فرابنفش اتفاق می‌افتد.

پ) باز هم اتفاقی رخ نمی‌دهد. پرتو فروسرخ نمی‌تواند الکترونی را از سطح فلز جدا کند و این موضوع ربطی به شدت نور فرودی ندارد.

ت) پدیدهٔ فوتوالکتریک رخ می‌دهد، ولی چون شدت کم است عددی که گالوانومتر نشان می‌دهد، کم است.

ث) وقتی شدت زیاد شود، عددی که گالوانومتر نشان می‌دهد، افزایش می‌یابد.

۶- نور موجی الکترومغناطیس است؛ بنابراین می‌توانیم انتظار داشته باشیم، هنگام برهم‌کنش موج الکترومغناطیسی (نور فرودی) با سطح فلز میدان الکتریکی این موج، نیروی $\vec{F} = -e\vec{E}$ بر الکترون‌های فلز وارد کند و آن‌ها را به نوسان وادارد. به این ترتیب، وقتی دامنهٔ نوسان برخی از الکترون‌ها به قدر کافی بزرگ شود، انرژی جنبشی لازم برای جداشدن از سطح فلز پیدا می‌کنند. **بنابر این دیدگاه کلاسیکی، این پدیده باید با هر بسامدی رخ دهد، در حالی که این نتیجه با تجربه سازگار نیست.**

۷- به حداقل بسامد نور فرودی به یک فلز که باعث رخ‌دادن پدیدهٔ فوتوالکتریک می‌شود، بسامد آستانه می‌گوییم.

۸- الف) انرژی هر فوتون از رابطهٔ $E = \frac{hc}{\lambda}$ به دست می‌آید:

$$E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{1240\ eV.nm}{620\ nm} = 2\ eV$$

ب) هر الکترون‌ولت برابر $1/6\times10^{-19}\ J$ است؛ پس:

$$E = 2\ eV \times \frac{1/6\times10^{-19}\ J}{1\ eV} = 3/2\times10^{-19}\ J$$

پ) ابتدا باید ببینیم در هر ثانیه چند ژول انرژی از چشمه گسیل می‌شود. توان چشمه $60\ W$ است؛ پس: $E_T = Pt = 60\ W \times 1s = 60\ J$

حالا با تقسیم‌کردن انرژی کل به انرژی فوتون داریم:

$$\frac{E_T}{E} = \frac{60\ J}{3/2\times10^{-19}\ J} = 1/875\times10^{20}$$

۹- الف) اگر $f < f_0$ باشد، فوتوالکتریک اتفاق نمی‌افتد و افزایش شدت نور فرودی هیچ تأثیری ندارد.

ب) با تغییر بسامد در محدودهٔ $\frac{f_0}{2} \le f < f_0$ هیچ اتفاقی رخ نمی‌دهد.

پ) به ازای $f = f_0$ الکترون‌ها از سطح فلز جدا می‌شوند، اما انرژی جنبشی آن‌ها صفر است. افزایش شدت نور فرودی، تعداد الکترون‌های جداشده را زیاد می‌کند، بدون آن‌که در انرژی جنبشی آن‌ها تأثیر داشته باشد.

ت) اگر $f > f_0$ باشد، فوتوالکتریک رخ می‌دهد و افزایش شدت نور فرودی فقط تعداد فوتوالکترون‌ها را افزایش می‌دهد و تغییری در انرژی جنبشی آن‌ها ایجاد نمی‌کند.

ث) اگر $f > f_0$ باشد، فوتوالکتریک رخ می‌دهد و افزایش بسامد بدون آن‌که تعداد فوتوالکترون‌ها را تغییر دهد، موجب افزایش انرژی جنبشی آن‌ها می‌شود.

۱۰- حداقل بسامدی که بتواند از سطح فلز، الکترون جدا کند، همان بسامد آستانه است. رابطهٔ بسامد و طول موج را می‌نویسیم:

$$\lambda_0 = \frac{c}{f_0} \Rightarrow f_0 = \frac{c}{\lambda_0} = \frac{3\times10^{8}\ m/s}{330\times10^{-9}\ m} = 9/1\times10^{14}\ Hz$$

۱۱- انرژی گسیل‌شده توسط این لیزر در هر ثانیه برابر است با:

$$P = \frac{E}{t} \Rightarrow 5\times10^{-3}\ W = \frac{E}{1s} \Rightarrow E = 5\times10^{-3}\ J$$

این انرژی را برحسب الکترون‌ولت می‌نویسیم:

$$E = 5\times10^{-3}\ J \times \frac{1\ ev}{1/6\times10^{-19}\ J} = 3/125\times10^{16}\ eV$$

حالا باید ببینیم انرژی هر فوتون با طول موج $700\ nm$ چند الکترون‌ولت است:

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda} = \frac{1240\ eV.nm}{700\ nm} \simeq 1/77\ ev$$

و در آخر تعداد فوتون‌ها برابر است با:

$$n = \frac{E_{کل}}{E_{فوتون}} = \frac{3/125\times10^{16}\ eV}{1/771\ eV} = 1/764\times10^{16}$$

۱۲- اگر فرض کنیم که انرژی نور لامپ به طور یکنواخت در تمام جهت‌ها منتشر شود، پس در فاصلهٔ ۴ متری، کل انرژی لامپ بر روی سطح کره‌ای به شعاع ۴ متر توزیع شده است. مساحت این کرهٔ فرضی برابر است با:

$$A_{کل} = 4\pi R^2 = 4\times3\times(4m)^2 = 192\ m^2$$

به هر سانتی‌متر مربع یا 10^{-4} متر مربع از دیوار در هر ثانیه، 6×10^{12} فوتون می‌رسد؛ پس کل فوتون‌های گسیل‌شده از لامپ با یک تناسب ساده برابر است با:

$$\frac{\text{مساحت}}{\text{تعداد فوتون}}\quad \frac{10^{-4}}{6\times10^{12}}=\frac{192}{n}$$

$$\Rightarrow n=\frac{6\times10^{12}\times192}{10^{-4}}=1152\times10^{16}$$

انرژی کل فوتون‌ها برابر است با:

$$E=n\frac{hc}{\lambda}$$

$$=1152\times10^{16}\times\frac{1240\ \text{eV.nm}}{450\ \text{nm}}=3174/4\times10^{16}\ \text{eV}$$

انرژی کل فوتون‌ها را برحسب ژول می‌نویسیم:

$$E=3174/4\times10^{16}\ \text{eV}\times\frac{1/6\times10^{-19}\ \text{J}}{1\ \text{eV}}=5079/0\times10^{-3}\ \text{J}$$

$$\Rightarrow E=5/079\ \text{J}$$

بازده لامپ برابر است با نسبت انرژی کل فوتون‌ها به انرژی مصرفی آن در هر ثانیه؛ بنابراین:

$$R_a=\frac{5/079\ \text{J}}{60\ \text{J}}\times100\simeq\%8/47$$

۱۳- الف) نادرست ـ اجسام در هر دمایی که باشند، از خود امواج الکترومغناطیسی گسیل می‌کنند.

ب) نادرست ـ طیف گسیل‌شده از گازها به صورت گسسته است.

پ) درست ـ هیچ دو ماده‌ای طیف گسیلی خطی یکسانی ندارند.

۱۴- الف) پیوسته ب) مرئی

پ) خطی

۱۵- تمام اجسام در هر دمایی که باشند، از خود امواج الکترومغناطیسی گسیل (نشر) می‌کنند که به آن تابش گرمایی گفته می‌شود.

۱۶- الف) تشکیل طیف پیوسته توسط جسم جامد، ناشی از برهم‌کنش قوی بین اتم‌های سازندهٔ آن است.

ب) بین اتم‌های گازهای کم‌فشار و رقیق برهم‌کنش‌های قوی‌ای وجود ندارد به همین خاطر طیف گسسته‌ای که شامل طول موج‌های معینی است، گسیل می‌کنند.

۱۷- الف) طیف گسیلی خطی اتم هیدروژن

ب) محل خط‌های روشن تغییر می‌کند که بیانگر تغییر طول موج‌های گسیلی است.

۱۸- الف) پیوسته ب) بالمر

۱۹- اگر در رابطهٔ بالمر ـ ریدبرگ، یعنی $\frac{1}{\lambda}=R(\frac{1}{n'^2}-\frac{1}{n^2})$ مقدار n' را ۴ بگذاریم، رابطهٔ مربوط به رشتهٔ براکت را به دست می‌آوریم. بلندترین طول موج برای این رشته زمانی اتفاق می‌افتد که $n=5$ باشد:

$$\frac{1}{\lambda_{max}}=(0/011(nm)^{-1})(\frac{1}{4^2}-\frac{1}{5^2})$$

$$=0/011(nm)^{-1}\times(\frac{1}{16}-\frac{1}{25})=0/011(nm)^{-1}(2/25\times10^{-2})$$

$$\Rightarrow \frac{1}{\lambda_{max}}=0/000\,2475\,(nm)^{-1}\Rightarrow\lambda_{max}=4040\ nm$$

کوتاه‌ترین طول موج زمانی اتفاق می‌افتد که $n=\infty$ باشد:

$$\frac{1}{\lambda_{min}}=(0/011(nm)^{-1})(\frac{1}{4^2}-\frac{1}{\infty})$$

$$=\frac{0/011(nm)^{-1}}{16}=6/875\times10^{-4}\ (nm)^{-1}$$

$$\Rightarrow \lambda_{min}=1454\ nm$$

هر دو طول موج مربوط به ناحیهٔ فروسرخ است.

۲۰- در رشتهٔ پفوند $n'=5$ است؛ بنابراین اولین و دومین خط طیفی این رشته مربوط به $n=6$ و $n=7$ است؛ پس برای اولین خط داریم:

$$\frac{1}{\lambda_1}=R(\frac{1}{n'^2}-\frac{1}{n^2})=0/01(nm)^{-1}(\frac{1}{5^2}-\frac{1}{6^2})$$

$$=0/01(nm)^{-1}(\frac{1}{25}-\frac{1}{36})=0/01(nm)^{-1}(\frac{36-25}{36\times25})$$

$$=0/01(nm)^{-1}(\frac{11}{900})=\frac{11}{90000}(nm)^{-1}$$

$$\Rightarrow \lambda_1=\frac{90000}{11}=8181\ nm$$

برای دومین خط طول موج به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\frac{1}{\lambda_2}=R(\frac{1}{n'^2}-\frac{1}{n^2})=0/01(nm)^{-1}(\frac{1}{5^2}-\frac{1}{7^2})$$

$$=0/01(nm)^{-1}(\frac{1}{25}-\frac{1}{49})=0/01(nm)^{-1}(\frac{49-25}{49\times25})$$

$$=0/01(nm)^{-1}(\frac{24}{1225})=\frac{24}{122500}nm^{-1}$$

$$\Rightarrow \lambda_2=\frac{122500}{24}nm=5104\ nm$$

هر دو در ناحیهٔ فروسرخ قرار دارند.

۲۱- الف) اولین طول موج مربوط به رشتهٔ پاشن که در آن $n'=3$ است، مربوط به $n=4$ است؛ پس:

$$\frac{1}{\lambda}=R_H(\frac{1}{n'^2}-\frac{1}{n^2})\Rightarrow\frac{1}{\lambda}=0/01(nm)^{-1}(\frac{1}{3^2}-\frac{1}{4^2})$$

$$=\frac{1}{100\ nm}(\frac{1}{9}-\frac{1}{16})\Rightarrow\frac{1}{\lambda}=\frac{1}{100nm}(\frac{16-9}{9\times16})$$

$$\Rightarrow \lambda=\frac{14400}{7}=2057\ nm$$

ب) فرکانس یک موج الکترومغناطیس از رابطهٔ $f=\frac{c}{\lambda}$ به دست می‌آید؛ پس:

$$f=\frac{c}{\lambda}\Rightarrow f=\frac{3\times10^8\ m/s}{2057\times10^{-9}\ m}=1/45\times10^{14}\ Hz$$

۲۲- الف) در سری بالمر $n'=2$ است؛ پس برای به دست آوردن بلندترین طول موج در رابطهٔ $\frac{1}{\lambda}=R(\frac{1}{n'^2}-\frac{1}{n^2})$ مقدار n را ۳ قرار دهیم:

$$\frac{1}{\lambda_{max}}=R(\frac{1}{n'^2}-\frac{1}{n^2})=(0/0109\ (nm)^{-1})(\frac{1}{2^2}-\frac{1}{3^2})$$

$$=(0/0109\ (nm^{-1})(\frac{1}{4}-\frac{1}{9})=1/51\times10^{-3}$$

$$\Rightarrow \lambda_{max}=662\ nm$$

برای محاسبهٔ کوتاه‌ترین طول موج باید n را مساوی ∞ قرار دهیم:

$$\frac{1}{\lambda_{min}} = R(\frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2}) = (0/0109\,(nm)^{-1})(\frac{1}{4} - \frac{1}{\infty})$$

$$= 2/725\times10^{-3}\ nm^{-1} \Rightarrow \lambda_{min} = 367\ nm$$

ب) محدودهٔ بلندترین طول موج: مرئی

محدودهٔ کوتاه‌ترین طول موج: فرابنفش

پ) برای به دست آوردن گسترهٔ طول موج‌های این سری کافی است بلندترین طول موج را منهای کوتاه‌ترین طول موج کنیم:

$$\lambda_{max} - \lambda_{min} = 662\ nm - 367\ nm = 295\ nm$$

۲۳- الف) در رشتهٔ لیمان $n' = 1$ است؛ پس وقتی می‌خواهیم بلندترین طول موج این رشته را حساب کنیم، باید به جای n کوچک‌ترین عدد ممکن یعنی $n = 2$ را قرار دهیم.

$$\frac{1}{\lambda_{max}} = R_H(\frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2}) = (0/01\,(nm)^{-1})(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2})$$

$$= \frac{1}{100\,nm}(\frac{1}{1} - \frac{1}{4}) = \frac{1}{100\ nm}(\frac{3}{4}) = \frac{3}{400\ nm}$$

$$\Rightarrow \lambda_{max} = \frac{400}{3}\ nm = 133/3\ nm$$

برای این‌که کوتاه‌ترین طول موج را حساب کنیم، باید $n = \infty$ را در رابطه قرار دهیم:

$$\frac{1}{\lambda_{min}} = R_H(\frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2}) = (0/01\,(nm)^{-1})(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{\infty})$$

$$\Rightarrow \frac{1}{\lambda_{min}} = (0/01\,(nm^{-1}))(1) \Rightarrow \lambda_{min} = 100\,nm$$

ب) هر دو طول موج، مربوط به ناحیهٔ فرابنفش هستند.

پ) گسترهٔ طول موجی برابر است با:

$$\lambda_{max} - \lambda_{min} = 133/3\ nm - 100\ nm = 33/3\ nm$$

ت) برای به دست آوردن گسترهٔ فرکانسی باید فرکانس مربوط به λ_{min} و λ_{max} را حساب کنیم. چون فرکانس با طول موج رابطهٔ عکس دارد، فرکانس مربوط به λ_{min} بیشینهٔ فرکانس (f_{max}) می‌شود:

$$f_{max} = \frac{c}{\lambda_{min}} = \frac{3\times10^8}{100\times10^{-9}} = 3\times10^{15}\ Hz$$

و فرکانس مربوط به λ_{max} کمینهٔ فرکانس (f_{min}) می‌شود. مقدار $\lambda_{max} = \frac{400}{3}\ nm$ را در رابطهٔ $f_{min} = \frac{C}{\lambda_{max}}$ قرار می‌دهیم، که کارمان آسان‌تر شود.

$$f_{min} = \frac{c}{\lambda_{max}} = \frac{3\times10^8}{\frac{400}{3}\times10^{-9}} = 2/25\times10^{15}\ Hz$$

پس گسترهٔ فرکانسی برابر:

$$f_{max} - f_{min} = 3\times10^{15}\ Hz - 2/25\times10^{15}\ Hz$$

$$= 7/5\times10^{14}\ Hz$$

می‌شود.

۲۴- الف) نادرست ـ تامسون نسبت بار به جرم الکترون؛ یعنی $\frac{e}{m_e}$ را به دست آورد.

ب) درست

پ) درست

ت) نادرست ـ بالاترین تراز انرژی که در آن شمارهٔ تراز ∞ است، دارای انرژی صفر است.

ث) نادرست ـ یک ریدبرگ برابر با $13/6\ eV$ است. در واقع یک ریدبرگ یک مقدار مثبت است.

۲۵- الف) پایین‌تر

ب) پایه ـ برانگیخته

پ) انرژی یونش

ت) بور

ث) بور

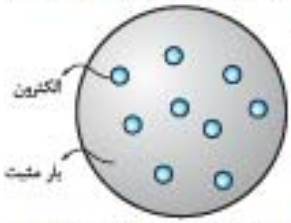
۲۶- الف) نمی‌کند

ب) $13/6\ eV$

پ) بور

ت) پایه

۲۷- بنابر مدل اتمی تامسون، اتم کره‌ای که بار مثبت به طور همگن در سرتاسر آن گسترده شده است. الکترون‌ها که سهم ناچیزی در جرم اتم دارند، مانند دانه‌های کشمش که در کیک کشمشی پخش شده‌اند، در جاهای مختلف اتم پراکنده شده‌اند.



۲۸- در مدل اتمی تامسون، الکترون‌ها با بسامد معینی حول وضع تعادلشان نوسان می‌کنند و همین نوسان سبب تابش امواج الکترومغناطیسی از اتم می‌شود.

۲۹- ۱) نمی‌تواند پایداری حرکت الکترون‌ها در مدارهای اتمی و در نتیجه پایداری اتم‌ها را توضیح دهد.

۲) قادر به توجیه طیف گسستهٔ اتمی نیست.

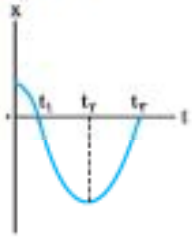
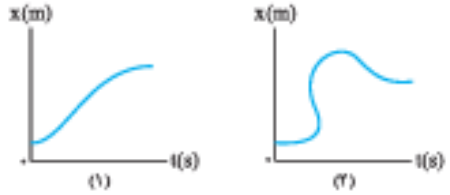
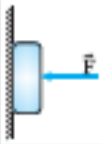
۳۰- ۱) در این مدل اگر الکترون نسبت به هسته، ساکن فرض شود، بر اثر نیروی ربایش الکتریکی، روی هسته سقوط می‌کند.

۲) اگر الکترون دور هسته بچرخد، حرکت شتاب‌دار دارد. بنابر فیزیک کلاسیک حرکت شتاب‌دار الکترون سبب تابش امواج الکترومغناطیسی می‌شود که بسامد آن با بسامد حرکت مداری الکترون برابر است. با تابش موج الکترومغناطیسی توسط الکترون، از انرژی آن کاسته می‌شود. این کاهش انرژی باعث می‌شود که شعاع مدار الکترون، دور هسته به تدریج کوچک شود و بسامد حرکت آن به تدریج بیشتر شود و در نتیجه، طیفی پیوسته گسیل کند و روی هسته بیفتد.

اشکال‌ها: در هر دو حالت، اتم ناپایدار خواهد بود که با واقعیت سازگار نیست. در حالت دوم طیف گسیلی هموار باید پیوسته باشد، در حالی‌که طیف گسیلی گازها گسسته است.

۳۱- رادرفورد مشاهده کرد که تعداد بسیار زیادی از ذره‌ها بدون انحراف از صفحه‌های طلا عبور می‌کنند و از این موضوع فهمید که قسمت زیادی از فضای داخل اتم خالی است. از طرفی او مشاهده کرده که تعداد کمی از ذرات انحراف بسیار زیادی دارند و یا به عقب برمی‌گردند. او از این موضوع فهمید که این ذره‌ها باید با هسته‌ای چگال و با بار مثبت در مرکز اتم برخورد کرده باشند.

نمونه امتحان نیم‌سال اول	رشتهٔ علوم تجربی	فیزیک ۳	
ردیف	امتحان شمارهٔ ۱	مدت امتحان: ۱۱۰ دقیقه	khedisabz.com

ردیف		نمره
۱	درستی یا نادرستی عبارت‌های زیر را تعیین کنید. الف) شیب خط مماس بر نمودار سرعت ــ زمان، برابر شتاب لحظه‌ای است. ب) در حرکت با سرعت ثابت، تندی متوسط برابر با اندازهٔ سرعت در هر لحظه است. پ) برایند نیروهای کنش و واکنش، صفر است. ت) نیروی اصطکاک ایستایی واردشده به یک جسم ساکن، بزرگ‌تر یا مساوی نیروی اصطکاک جنبشی واردشده به همان جسم است؛ وقتی که روی همان سطح حرکت می‌کند. ث) در امواج الکترومغناطیسی، میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی بر هم و بر راستای انتشار عمودند.	۱/۲۵
۲	عبارت‌های مناسب را از داخل پرانتز انتخاب کنید. الف) اگر در حرکت روی خط راست، شتاب و سرعت هم‌علامت باشند، حرکت (تندشونده ــ کندشونده) است. ب) در حرکت با شتاب ثابت ، نمودار (مکان ــ سرعت) برحسب زمان به صورت سهمی است. پ) هر چه تندی یک جسم بیشتر شود، (نیروی مقاومت شاره ــ نیروی اصطکاک جنبشی) بیشتر می‌شود. ت) قانون (اول ــ دوم) نیوتون را قانون لختی هم می‌نامیم. ث) سرعت انتشار موج برابر فاصلهٔ یک قله و درهٔ مجاورش تقسیم بر (دوره ــ نصف دوره) است.	۱/۲۵
۳	نمودار مکان ــ زمان متحرکی که بر روی خط راست حرکت می‌کند، مطابق شکل است. اگر از صفر تا t_1، نمودار سهمی و از t_1 تا t_2 نمودار سهمی دیگری باشد:  الف) در کدام لحظه جسم تغییر جهت می‌دهد؟ ب) یک لحظه را مشخص کنید که جسم از مبدأ مکان می‌گذرد. پ) یک بازهٔ زمانی را معین کنید که جسم در جهت محور xها حرکت می‌کند. ت) در کدام بازهٔ زمانی شتاب منفی است؟ ث) در کدام بازهٔ زمانی حرکت کندشونده است؟	۱/۲۵
۴	توضیح دهید کدام‌یک از نمودارهای روبه‌رو می‌تواند نمودار مکان ــ زمان قابل قبولی برای یک متحرک باشد؟  	۰/۵
۵	با ذکر دلیل توضیح دهید در کدام‌یک از حرکت‌های زیر، تندی متوسط و سرعت متوسط برابرند؟ الف) اتومبیلی به طور کامل میدانی را دور می‌زند. ب) اتومبیلی بدون تغییر جهت در جاده‌ای مستقیم حرکت می‌کند.	۰/۵
۶	قانون دوم نیوتون را برحسب تکانه بیان کنید.	۰/۵
۷	به پرسش‌های زیر پاسخ دهید. الف) چرا هنگامی که با پا به دیوار ضربه می‌زنید، پای شما درد می‌گیرد؟ ب) نقش کمربند ایمنی در کاهش آسیب در تصادف‌ها چیست؟	۱
۸	نیروهای وارد بر چتربازی را که در هوای آرام و در امتداد قائم در حال سقوط است، نشان دهید و تعیین کنید واکنش هر یک به چه جسمی وارد می‌شود. (چتر و چترباز را یک جسم در نظر بگیرید.)	۱
۹	تابلویی را با دست به دیوار می‌فشاریم تا به پایین حرکت نکند. اگر نیروی عمودی که دست ما مطابق شکل به تابلو وارد می‌کند، به تدریج زیاد شود، نیروی اصطکاک چگونه تغییر می‌کند؟  	۰/۵

نمونه امتحان نیم‌سال دوم	رشتهٔ علوم تجربی	فیزیک ۳	
امتحان شمارهٔ ۳	مدت امتحان: ۱۱۰ دقیقه	khedisabz.com	نمره

ردیف ۱ — نمره: ۱/۵

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

الف) در یک حرکت رفت و برگشت (تندی ــ سرعت) متوسط متحرک صفر است.

ب) اندازهٔ نیروی اصطکاک (ایستایی ــ جنبشی) به اندازهٔ نیروی محرک بستگی دارد.

پ) اگر محیط دو طرف یک (منشور ــ تیغهٔ متوازی‌السطوح) یکسان باشد، زاویهٔ تابش ورودی و زاویهٔ شکست خروجی همواره برابرند.

ت) در پدیدهٔ فتوالکتریک (بسامد ــ شدت) نور فرودی برای جداکردن الکترون‌ها اهمیت اساسی دارد.

ث) پرتوهای (α ــ β) کم‌ترین قدرت نفوذ را دارند.

ج) در واپاشی β^- به تعداد (پروتون‌های ــ نوترون‌های) هسته اضافه می‌شود.

ردیف ۲ — نمره: ۱

درستی یا نادرستی هر یک از عبارات زیر را تعیین کنید.

الف) ممکن نیست شتاب جسمی کاهش یابد اما سرعت آن زیاد شود.

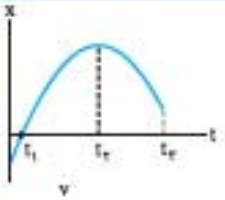
ب) قانون بازتاب فقط برای امواج الکترومغناطیسی درست است.

پ) مدل اتمی رادرفورد نمی‌توانست پایداری اتم را توضیح دهد.

ت) جرم نوترون از پروتون بیشتر است.

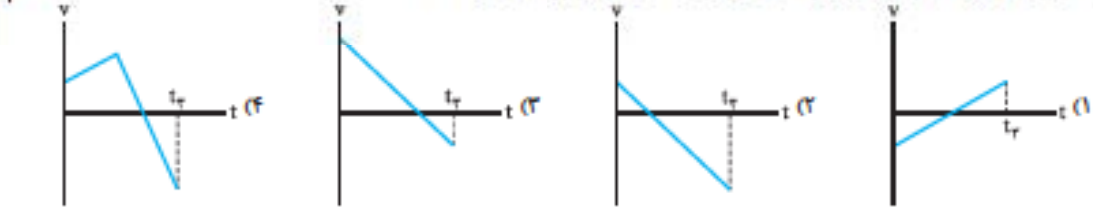
ردیف ۳ — نمره: ۰/۲۵ + ۰/۲۵

نمودار مکان ــ زمان متحرکی که در راستای محور x حرکت می‌کند، مطابق شکل بخشی از یک سهمی است:



الف) در کدام بازهٔ زمانی حرکت جسم تندشونده است؟

ب) کدام‌یک از گزینه‌های زیر می‌تواند نمودار سرعت ــ زمان این متحرک باشد؟



ردیف ۴ — نمره: ۱

اتومبیلی ۳۰ دقیقه با تندی ثابت $80\ km/h$ حرکت می‌کند. سپس در ۶۰ کیلومتری مقصد، ۱۵ دقیقه برای سوخت‌گیری توقف می‌کند. بقیهٔ مسیر را چه مدت زمانی طی کند تا تندی متوسط اتومبیل $60\ km/h$ باشد؟

ردیف ۵ — نمره: ۰/۵ + ۰/۷۵

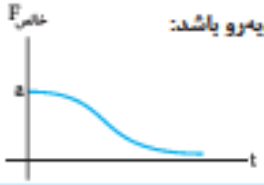
سرعت یک متحرک $+8\ m/s$ است اگر پس از جابه‌جایی $+7\ m$ سرعتش به $-6\ m/s$ برسد:

الف) شتاب متحرک را به دست آورید.

ب) مسافت طی‌شده را در این مدت محاسبه کنید.

ردیف ۶ — نمره: ۰/۲۵ + ۰/۲۵ + ۰/۵

چتربازی در هوای آرام در حال سقوط است. اگر نمودار نیروی خالص وارد بر چترباز مطابق شکل روبه‌رو باشد:



اولاً: مساحت زیر این نمودار چه کمیتی را نشان می‌دهد؟

ثانیاً: عرض از مبدأ این نمودار (نقطهٔ a) چه کمیتی را نشان می‌دهد؟

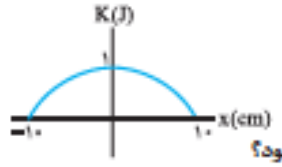
ثالثاً: چرا با گذشت زمان نیروی خالص وارد بر چترباز به صفر نزدیک می‌شود؟

ردیف ۷ — نمره: ۱

اگر به یک فنر که در راستای قائم به تکیه‌گاهی متصل است، وزنهٔ ۴۰۰ گرمی آویزان کنیم، طول فنر به $20\ cm$ می‌رسد و اگر به آن وزنهٔ ۶۰۰ گرمی آویزان کنیم، طول فنر $21\ cm$ می‌شود. طول اولیه و ثابت فنر را محاسبه کنید. $(g = 10\ N/kg)$

ردیف ۸ — نمره: ۰/۵ + ۰/۵ + ۰/۵

نمودار تغییرات انرژی جنبشی دستگاه نوسانگر جرم ــ فنر مطابق شکل است:



الف) ثابت فنر را به دست آورید.

ب) اگر جرم نوسانگر $80\ g$ باشد دورهٔ تناوب این دستگاه چند ثانیه است؟ $(\pi = 3)$

پ) با فرض $(x_0 = +A)$ در چه لحظاتی از یک دورهٔ تناوب انرژی جنبشی نوسانگر بیشینه می‌شود؟

پاسخ‌نامهٔ امتحانات

پاسخ‌نامهٔ امتحان شمارهٔ ۱ (دیم سال اول)

۱- الف) درست ب) درست

پ) نادرست ـ برایندگیری بر روی نیروهایی که به یک جسم وارد می‌شوند، انجام می‌گیرد؛ در حالی که نیروهای کنش و واکنش به دو جسم متفاوت وارد می‌شوند.

ت) نادرست ـ بزرگی نیروی اصطکاک ایستایی متغیر است و می‌تواند از صفر تا مقدار بیشینه‌ای ($f_{s,max}$) افزایش یابد. در حالتی که نیروی اصطکاک ایستایی بیشینه است، از نیروی اصطکاک جنبشی بیشتر است اما در بقیهٔ موارد ممکن است که اصطکاک جنبشی بزرگ‌تر باشد.

ث) درست

۲- الف) تندشونده ب) مکان

پ) نیروی مقاومت شاره ت) اول

ث) نصف دوره ـ فاصلهٔ یک قله با درهٔ مجاورش نصف طول موج است و موج مسافت نصف طول موج را در مدت‌زمان نصف دوره طی می‌کند؛ بنابراین:

$$v = \frac{\lambda}{T} = \frac{\frac{1}{2}\lambda}{\frac{1}{2}T}$$

۳- الف) t_2 ب) t_1 یا t_2

پ) (t_2, t_3) ت) $(0, t_1)$

ث) (t_1, t_2)

۴- هیچ جسمی نمی‌تواند در یک زمان مشخص در دو مکان (x) متفاوت باشد اما در نمودار (۲) این اتفاق افتاده است؛ پس این نمودار غیر قابل قبول است.

۵- الف) برابربودن تندی متوسط و سرعت متوسط به این معنا است که جابه‌جایی و مسافت طی‌شده توسط متحرک برابر باشند. در حرکت در یک میدان پس از یک دور کامل، جابه‌جایی متحرک صفر است ولی مسافتی را به اندازهٔ محیط دایره طی می‌کند؛ پس سرعت متوسط آن صفر است ولی تندی متوسط آن صفر نیست.

ب) در حرکت بدون تغییر جهت بر روی خط راست جابه‌جایی و مسافت طی‌شده مقدارهای برابری دارند؛ بنابراین در این نوع حرکت، سرعت متوسط و تندی متوسط متحرک برابر است.

۶- نیروی خالص وارد بر جسم، برابر با تغییر تکانهٔ جسم تقسیم بر زمان تغییر آن است. ($\vec{F}_{net} = \frac{\Delta \vec{P}}{\Delta t}$)

۷- الف) طبق قانون سوم نیوتون، وقتی با پا به دیوار نیرو وارد می‌کنیم، واکنش این نیرو از طرف دیوار بر پای ما وارد می‌شود و این موضوع باعث می‌شود تا پای ما درد بگیرد.

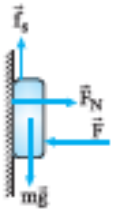
ب) هنگام ترمز، اتومبیل می‌ایستد اما طبق قانون اول نیوتون سرنشینان به حرکت رو به جلوی خود ادامه می‌دهند. اگر سرنشینان کمربند ایمنی خود را بسته باشند، نیرویی رو به جلو به کمربند وارد می‌کنند و طبق قانون سوم نیوتون، کمربند هم نیرویی رو به عقب به آن‌ها وارد می‌کند که این نیرو مانع از پرت‌شدن آن‌ها به جلو می‌شود.

۸-

واکنش مقاومت هوا به هوا و واکنش وزن به زمین وارد می‌شود.

۹- با توجه به این‌که جسم ساکن است، با نوشتن قانون دوم نیوتون و رسم نیروهای وارد بر جسم می‌توانیم نیروی اصطکاک را محاسبه کنیم. با توجه به این‌که جسم ساکن است، برای راستای y داریم:

$$F_{net,y} = 0 \Rightarrow f_s - mg = 0 \Rightarrow f_s = mg$$



با توجه به رابطهٔ بالا می‌بینیم که نیروی اصطکاک در این حالت برابر نیروی وزن است و به نیرویی که توسط دست ما وارد می‌شود وابسته نیست؛ بنابراین افزایش نیروی F تأثیری بر نیروی اصطکاک ندارد.

۱۰- دو فنر با ثابت‌های متفاوت و دو جسم با جرم‌های متفاوت را انتخاب می‌کنیم. از یک زمان‌سنج هم برای تعیین دورهٔ تناوب استفاده می‌کنیم. با انتخاب یکی از فنرها، ابتدا جرم سبک‌تر را متصل می‌کنیم. جسم را با دامنهٔ مشخصی به نوسان درمی‌آوریم و دورهٔ تناوب آن را اندازه می‌گیریم. سپس جسم سنگین‌تر را به فنر وصل می‌کنیم و آزمایش را تکرار می‌کنیم. با مقایسهٔ این دو می‌فهمیم که وقتی جرم جسم کم‌تر است، دورهٔ تناوب دستگاه نیز کم‌تر است.

حالا یکی از جسم‌ها را یک بار به فنر (۱) و یک بار به فنر (۲) وصل می‌کنیم و آزمایش را برای جرم ثابت و فنرهای مختلف تکرار می‌کنیم. می‌بینیم که با افزایش ثابت فنر، دوره کم می‌شود.

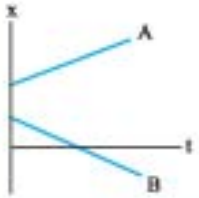
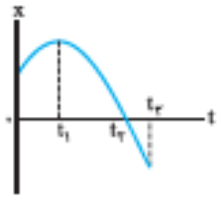
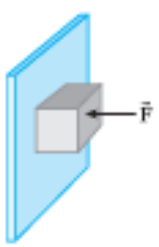
۱۱- الف) ثابت می‌ماند. ب) نقطهٔ تعادل

پ) نقاط بازگشت

ت) انرژی مکانیکی با مجذور بسامد، رابطهٔ مستقیم دارد؛ پس با مجذور دورهٔ تناوب رابطهٔ عکس دارد و داریم:

$$\frac{E'}{E} = (\frac{T}{T'})^2 = (\frac{T}{2T})^2 = (\frac{1}{2})^2 = \frac{1}{4}$$

امتحان نهایی خردادماه ۱۴۰۱	رشتهٔ تجربی	فیزیک ۳
ردیف	مدت امتحان: ۱۲۰ دقیقه	kheilisabz.com

ردیف		نمره
۱	با توجه به واژه‌های دادهشده، گزاره‌های زیر را کامل کنید. (یک واژه اضافه است.) تکانه ــ نردهای ــ جابه‌جایی ــ شتاب ــ هم‌نوع الف) مسافت، کمیتی ــــــ است. ب) مساحت سطح بین نمودار سرعت ــ زمان و محور زمان در هر بازهٔ زمانی، برابر با اندازهٔ ــــــ در آن بازه است. پ) نیروهای کنش و واکنش همواره به دو جسم وارد می‌شوند و ــــــ هستند. ت) حاصل‌ضرب جرم جسم در سرعت آن ــــــ جسم است.	۱
۲	نمودار مکان ــ زمان دو متحرک A و B که با سرعت ثابت در راستای محور x حرکت می‌کنند به صورت شکل روبه‌رو است:  الف) جهت حرکت هر متحرک را مشخص کنید. ب) آیا ممکن است این دو متحرک به هم برسند؟	۰/۵ ۰/۲۵
۳	معادلهٔ سرعت ــ زمان متحرکی که در راستای محور x حرکت می‌کند در SI به صورت $v=-2t+2$ است. اگر متحرک در لحظهٔ $t_0=0\,s$ در مکان $x_0=1\,m$ باشد: الف) معادلهٔ مکان ــ زمان این متحرک را بنویسید. ب) سرعت متوسط متحرک در بازهٔ زمانی $t_0=0$ تا $t=3\,s$ چند متر بر ثانیه است؟	۰/۷۵ ۰/۷۵
۴	شکل زیر نمودار مکان ــ زمان جسمی را که روی محور x با شتاب ثابت حرکت می‌کند نشان می‌دهد.  الف) در کدام لحظه متحرک بیشترین فاصله را از مبدأ محور دارد؟ ب) جهت حرکت متحرک چند بار تغییر کرده است؟ پ) در بازهٔ زمانی $0\,s$ تا t_1، حرکت تندشونده است یا کندشونده؟ ت) در کدام بازهٔ زمانی، متحرک به مبدأ محور نزدیک می‌شود؟ ث) شتاب متحرک در جهت محور x است یا خلاف جهت محور x؟	۱/۲۵
۵	واژهٔ مناسب را از داخل پرانتز انتخاب کنید و در پاسخ‌نامه بنویسید. الف) اگر جسمی با سرعت ثابت حرکت کند، نیروهای وارد بر جسم متوازن (هستند ــ نیستند). ب) هنگام حرکت جسم در راستای قائم به طرف بالا، جهت نیروی مقاومت هوا به طرف (بالا ــ پایین) است. پ) اگر بر ماه نیرویی وارد نشود، ماه باید به صورت (مستقیم ــ دایره‌ای) حرکت کند.	۰/۷۵
۶	فنری با ثابت $20\,N/cm$ از سقف یک آسانسور آویزان است. اگر جسمی به جرم $2\,kg$ از انتهای فنر آویزان شده و آسانسور با شتاب ثابت $2\,m/s^2$ از حال سکون رو به بالا شروع به حرکت کند، تغییر طول فنر چند سانتی‌متر است؟ $(g=10\,N/kg)$	۱
۷	مانند شکل روبه‌رو، جسمی را با نیروی عمودی $\vec{F}$ به دیوار قائمی فشرده و ثابت نگه داشته‌ایم.  توضیح دهید: تأثیر افزایش نیروی $\vec{F}$ بر هر یک از کمیت‌های زیر چگونه است؟ الف) اندازهٔ نیروی اصطکاک ایستایی وارد بر جسم ب) اندازهٔ نیروی عمودی سطح	۰/۵ ۰/۵