فصل دوم

دینامیک

پروفسور نیما ارکانی حامد، فیزیک‌دان ایرانی‌تبار، در سال ۱۳۵۱ در هیوستون آمریکا به دنیا آمد. او استاد سابق دانشگاه هاروارد و در حال حاضر استاد مؤسسهٔ مطالعات پیشرفته (IAS) پرینستون در زمینهٔ فیزیک ذرات بنیادی است. نام نیما ارکانی حامد جزء لیست صد نابغهٔ زندهٔ دنیاست. او در سال ۲۰۱۲ به‌دلیل کار روی هیگز کوچک موفق به دریافت جایزهٔ فیزیک بنیادی شد و در سال ۲۰۱۶ برای اداره کردن مرکز فیزیک انرژی بالا در کشور چین دعوت شد. این مرکز در حال ساخت بزرگ‌ترین شتاب‌دهندهٔ ذرات جهان است.

میانگین سهم این فصل در کنـــــکور

ما در تمام فعالیت‌های روزانهٔ خود با نیرو سروکار داریم و کارهای عادی و روزمرهٔ ما، بدون اعمال نیرو انجام نمی‌شود. در این فصل در دو مرحله کمیت نیرو مورد بررسی قرار می‌گیرد:

مرحلهٔ اول: قوانین حاکم بر نیروها که شامل قوانین نیوتون است.

مرحلهٔ دوم: آشنایی با انواع نیروهایی که در پیرامون خود با آن‌ها سروکار داریم.

اگر می‌خواهید در این فصل موفق باشید، اولاً باید کار با بردارها را خوب یاد بگیرید؛ چراکه نیرو کمیتی برداری است و این فصل سرتاسر در مورد این کمیت برداری گفت‌وگو می‌کند. ثانیاً سعی کنید در مسائل این فصل مهارت تشخیص نیروهای وارد بر یک جسم را به‌خوبی به دست آورید.

در مسائل دینامیک همیشه به یک جسم چند نیرو وارد می‌شود که باید بتوانید به‌خوبی هر نیرو را تشخیص دهید و سپس به کمک قوانین نیرو، مجهولات مسئله را به دست آورید که این مهارت با حل مثال‌های متنوع حاصل می‌شود. پس توصیه می‌شود در این فصل مثال‌های حل‌شدهٔ زیادی را ببینید و سپس خودتان به حل تمرین‌های جدید بپردازید.

قوانین حرکت نیوتون

بخش ۱

درس ۱: قانون اول نیوتون

نیرو

در سال سوم پیش‌دبستانی یاد گرفتیم که وقتی جسمی را می‌کشیم یا آن را هُل می‌دهیم، به آن نیرو وارد می‌کنیم. به‌طور دقیق‌تر، **نیرو حاصل برهم‌کنش یا اثر متقابل دو جسم بر یکدیگر است.**

نیرو یک کمیت **برداری** است؛ یعنی علاوه بر اندازه، دارای جهت نیز است. نیرو را معمولاً به‌صورت $\vec{F}$ و اندازهٔ آن را به‌صورت F نشان می‌دهند. اندازهٔ نیرو را می‌توان به کمک **نیروسنج** اندازه‌گیری کرد.

یادآوری: یکای اندازه‌گیری نیرو در SI، **نیوتون (N)** است.

اثر نیروی وارد بر یک جسم به صورت **تغییر سرعت** و یا **تغییر شکل آن** ظاهر می‌شود.

با توجه به اینکه سرعت کمیتی برداری است، تغییر سرعت به‌شکل‌های زیر صورت می‌گیرد:

۱. جسم ساکن شروع به حرکت می‌کند؛ مانند جعبه‌ای که از حال سکون توسط یک شخص هُل داده می‌شود.

۲. جسم متحرک متوقف می‌شود؛ مانند یک گوی که پس از طی مسافتی روی سطح دارای اصطکاک متوقف می‌شود.

۳. تندی جسم متحرک کم یا زیاد می‌شود؛ مانند گلوله‌ای که از یک ارتفاع معین در حال سقوط است و پیوسته تندی آن افزایش می‌یابد.

۴. جهت سرعت جسم تغییر می‌کند؛ مانند حرکت ماهواره‌ها با تندی ثابت به دور کرهٔ زمین.

گاهی اوقات نیرو باعث تغییر شکل جسم می‌شود؛ مانند فنری که کشیده یا فشرده شده است.

نکته هرگاه برهم‌کنش یا اثر متقابل دو جسم قطع شود، نیروی وارد بر جسم نیز از بین می‌رود.

نمونهٔ ۱ فرض کنید سنگی در دست ماست و می‌خواهیم آن را پرتاب کنیم. در مدتی که سنگ در دست ما قرار دارد و حرکت می‌کند، دست ما به آن نیرو وارد می‌کند اما از لحظه‌ای که سنگ از دست ما جدا می‌شود، دیگر از طرف دست ما به آن نیرو وارد نمی‌شود.

نمونهٔ ۲ هنگامی که یک فوتبالیست به توپی ضربه می‌زند، در مدت بسیار کوتاهی که پا و توپ با هم در تماس هستند، پا به توپ نیرو وارد می‌کند اما از لحظه‌ای که توپ از پا جدا می‌شود، دیگر نیرویی از طرف پای فوتبالیست به توپ وارد نمی‌شود.

دسته‌بندی نیروها

همان‌طور که دانستیم، نیرو حاصل برهم‌کنش بین دو جسم است. این برهم‌کنش گاهی در اثر تماس دو جسم حاصل می‌شود، مثل مواردی که ما جسمی را هل می‌دهیم یا می‌کشیم؛ اما گاهی این برهم‌کنش به‌واسطهٔ میدان (به‌صورت غیرتماسی) انجام می‌شود، مثل **نیروی الکتریکی** که دو جسم باردار به هم وارد می‌کنند یا **نیروی مغناطیسی** که دو آهنربا به هم وارد می‌کنند و یا **نیروی گرانشی** که دو جسم بر یکدیگر وارد می‌کند.

طبق نظریهٔ میدان، نیروی میدانی (غیرتماسی) که دو جسم به هم وارد می‌کنند، این‌گونه توصیف می‌شود که یک جسم در اطراف خود میدان (الکتریکی، مغناطیسی یا گرانشی) تولید می‌کند و این میدان به جسم دوم نیرو وارد می‌کند.

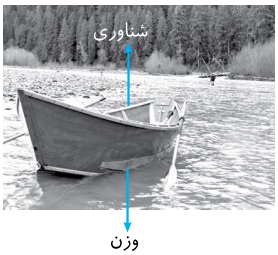
نیروهای متوازن: هرگاه برایند نیروهای وارد بر جسم صفر شود، یعنی نیروهایی که به جسم وارد می‌شود اثر همدیگر را خنثی کنند، می‌گوییم نیروهای وارد بر جسم **متوازن** هستند.

قانون اول نیوتون

قانون اول نیوتون به‌صورت زیر بیان می‌شود:

«**یک جسم، حالت سکون یا حرکت با سرعت ثابت خود را حفظ می‌کند مگر آنکه نیروی خالصی (غیرصفر) به آن وارد شود.**»

به عبارت دیگر وقتی نیروهای وارد بر جسم متوازن باشند، اگر جسم ساکن باشد، همچنان ساکن باقی می‌ماند و اگر در حال حرکت باشد، **سرعت جسم تغییر نمی‌کند** یعنی هم، اندازهٔ سرعت و هم، جهت آن ثابت می‌ماند.



هشدار: ساکن بودن یک جسم به این معنی نیست که نیرویی بر آن وارد نمی‌شود؛ بلکه به این معناست که **نیروی خالص (برایند نیروهای) وارد بر آن صفر است.** به‌طور مثال بر قایق ساکنی که روی سطح دریاچه قرار دارد، دو نیروی هم‌اندازه ولی در خلاف جهت همدیگر (نیروی وزن و نیروی شناوری) وارد می‌شود که اثر یکدیگر را خنثی می‌کنند.

نکته در فصل حرکت‌شناسی خواندیم که هرگاه سرعت یک جسم ثابت بماند، شتاب حرکت جسم **صفر** است؛ بنابراین هرگاه نیروهای وارد بر یک جسم متوازن باشند (نیروی خالص وارد بر جسم صفر باشد)، شتاب جسم نیز **صفر** است.

تست و پاسخ

تست: سه نیروی $\vec{F}_1 = (10\ N)\vec{i} + (3\ N)\vec{j}$، $\vec{F}_2$ و $\vec{F}_3 = (6\ N)\vec{i} - (2\ N)\vec{j}$ بر یک جسم اثر کرده‌اند و جسم با سرعت ثابت $\vec{v} = (1/5\ m/s)\vec{i} - (2\ m/s)\vec{j}$ در حال حرکت است. نیروی $\vec{F}_2$ در SI کدام است؟

۱) $16\vec{i} + \vec{j}$ ۲) $16\vec{i} - \vec{j}$ ۳) $-16\vec{i} - \vec{j}$ ۴) $-16\vec{i} + \vec{j}$

پاسخ گزینهٔ «۳». جسم با سرعت ثابت حرکت می‌کند، درنتیجه برایند نیروهای وارد بر جسم صفر است:

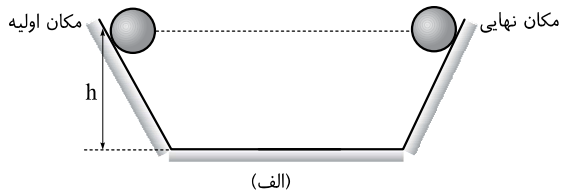
$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = 0 \Rightarrow (10\vec{i} + 3\vec{j}) + \vec{F}_2 + (6\vec{i} - 2\vec{j}) = 0 \Rightarrow \vec{F}_2 = (-10\vec{i} - 6\vec{i}) + (-3\vec{j} + 2\vec{j}) = (-16\ N)\vec{i} - (1\ N)\vec{j}$$

درسنامه

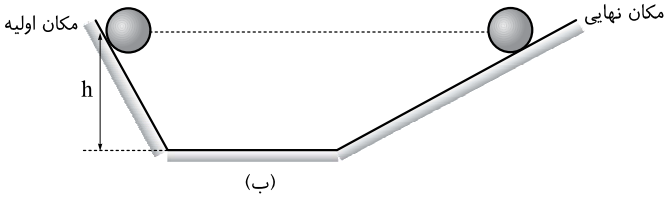
آزمایش گالیله و دیدگاه رایج نادرست قبل از نیوتون

قبل از سال ۱۶۰۰ میلادی، دیدگاه رایج نادرست این بود که هر جسم در حال حرکتی برای ادامهٔ حرکت، حتماً نیاز به نیرو دارد که این تصور از برداشت‌های نادرستی بود که در زندگی روزمره مشاهده می‌کردند. مثلاً به تجربه دیده بودند اگر از هل دادن صندوقی که روی سطح افقی با سرعت ثابت حرکت می‌کند دست بردارند و به آن نیرو وارد نشود، صندوق از حرکت باز می‌ایستد؛ ولی گالیله با انجام چند آزمایش و طراحی آزمایش‌های ذهنی نتیجه گرفت که در نبود نیرو، حرکت جسم متحرک ادامه می‌یابد.

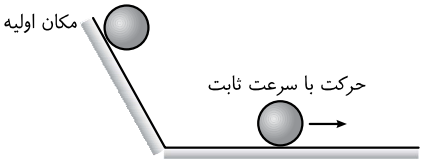
گالیله طبق شکل‌های «الف» و «ب»، گوی‌های مشابه را در ارتفاع معینی روی سطح شیب‌دار صافی قرار داد و آن‌ها را رها کرد تا به پایین بلغزند و از سطح شیب‌دار روبه‌رویی بالا بروند. او تا حد امکان سطوح تماس را صاف و صیقلی کرد. وی دریافت که گوی تا نزدیکی همان ارتفاع اولیه، روی سطح شیب‌دار زیر بالا می‌آید. گالیله شیب‌های مختلفی را برای سطح شیب‌دار دوم اختیار کرد و همان نتیجه را به دست آورد. بدیهی است که هرچه شیب سطح دوم کمتر باشد، جسم برای رسیدن به همان ارتفاع، مسافت بیشتری را روی سطح شیب‌دار می‌پیماید.



(الف)



(ب)



(پ)

وی استدلال کرد که اگر بتوان از اصطکاک صرف‌نظر کرد، جسم روی سطح شیب‌دار دوم تا همان ارتفاع اولیه بالا می‌رود. حال اگر شیب سطح دوم صفر شود یعنی سطح دوم کاملاً افقی شود (شکل «پ»)، جسم باید برای همیشه روی آن با سرعت ثابت حرکت کند؛ پس برای حرکت یکنواخت جسم روی خط راست نیازی به وارد کردن نیرو به جسم نیست.

لختی

گفتیم که براساس قانون اول نیوتون، اگر بر جسم نیروی خالصی وارد نشود جسمی که ساکن است، ساکن می‌ماند و جسمی که در حال حرکت است، با سرعت ثابت به حرکت خود ادامه می‌دهد. به این خاصیت اجسام که میل دارند وضعیت حرکت خود را هنگامی که نیروی خالص وارد بر آن صفر است حفظ کنند، **لختی**[1] **(اینرسی)** می‌گویند.

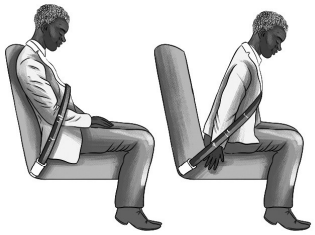
توجه به قانون اول نیوتون، قانون لختی نیز می‌گویند.

در ادامه نمونه‌هایی از قانون اول نیوتون (قانون لختی) را بررسی می‌کنیم:

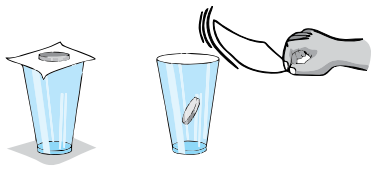
نمونهٔ ۱ در برخی فیلم‌های علمی - تخیلی یا کارتون‌ها، موتور یک کشتی فضایی که در فضای تهی خارج از جو زمین و دور از هر سیاره و خورشید در حرکت است، از کار می‌افتد؛ درنتیجه حرکت کشتی فضایی کند می‌شود و می‌ایستد. اما امکان چنین رویدادی وجود ندارد؛ زیرا در فضای تهی خارج از جو نیروی مقاومت هوایی که بخواهد خلاف جهت حرکت بر سفینه وارد شود وجود ندارد. همچنین دور بودن از هر سیاره و خورشید معادل (تقریبی) صفر بودن نیروی گرانشی وارد بر سفینه است، پس این سفینه با همان سرعت هنگام خاموش شدن موتور به راه خودش ادامه می‌دهد؛ زیرا بر سفینه نیرویی وارد نمی‌شود.

1. Inertia

نمونهٔ ۲ وقتی در اتوبوس نشسته‌ایم و راننده ترمز می‌کند، اگر کمربند خود را نبسته باشیم به جلو پرتاب می‌شویم (متمایل می‌شویم)، زیرا وقتی اتوبوس حرکت می‌کند، ما هم با آن حرکت می‌کنیم و با توقف اتوبوس، ما تمایل داریم که به حرکت خود ادامه دهیم، به همین دلیل به‌سمت جلو متمایل می‌شویم و برعکس، وقتی اتوبوس ساکن باشد و ناگهان شروع به حرکت کند، به دلیل مشابه، به صندلی فشرده می‌شویم.



نمونهٔ ۳ در شکل مقابل، یک سکه را روی مقوا گذاشته و مقوا را روی دهانهٔ لیوان قرار می‌دهیم. وقتی مقوا را سریع می‌کشیم، سکه در لیوان می‌افتد، زیرا سکه تمایل دارد حالت سکون خود را براساس لختی حفظ کند؛ بنابراین وقتی مقوا سریع کشیده می‌شود، سکه در لیوان می‌افتد.



نمونهٔ ۴ گوی سنگینی را مطابق شکل از سقف آویزان می‌کنیم. اگر مطابق شکل، به‌آرامی نیروی وارد بر گوی سنگین را زیاد کنیم، نخ بالای گوی پاره می‌شود اما اگر ناگهان نخ را بکشیم، نخ پایین آن پاره می‌شود؛ زیرا کشش نخ در بالای گوی (T_2)، هم‌اندازه با مجموع وزن گوی و نیرویی است که از پایین (F) وارد می‌شود اما کشش نخ در پایین گوی (T_1)، هم‌اندازه با نیروی F است:

$$T_1 = F$$

$$T_2 = F + mg$$

پس در حالت معمولی، کشش در بالای گوی (T_2)، بیشتر از کشش پایین گوی (T_1) است؛ پس اگر F به‌آرامی اضافه شود، نخ بالایی زودتر پاره می‌شود اما اگر ناگهان نخ را با نیروی زیاد بکشیم، قبل از آنکه تأثیر نیروی دست به‌علت وجود گوی، به نخ بالای گوی برسد، قسمت پایین نخ این کشش را پیدا می‌کند و نخ پایینی زودتر پاره می‌شود.

نمونهٔ ۵ *این نمونه مخصوص فست‌فودفوره‌هاست!* اگر ظرف حاوی سُس را که مقدار آن بسیار کم شده است، با سرعت زیاد به‌طرف پایین حرکت داده و ناگهان آن را متوقف کنیم، محتویات داخل ظرف به‌علت لختی به حرکت خود به‌طرف دهانهٔ ظرف سُس ادامه می‌دهند و سس از دهانهٔ ظرف بیرون می‌ریزد.

نمونهٔ ۶ کشاورزان و کارگران با ضربه زدن به انتهای دستهٔ بیل یا کلنگ به زمین، سبب سفت شدن بیل به دسته یا کلنگ می‌شوند. با کوبیدن دستهٔ بیل یا کلنگ به زمین، دستهٔ بیل یا کلنگ که در حال حرکت به‌سمت پایین بوده، ناگهان متوقف می‌شود ولی خود بیل یا کلنگ به‌علت خاصیت لختی، تمایل دارد حرکت اولیهٔ خود یعنی حرکت به‌سمت پایین را ادامه دهد؛ درنتیجه بیل یا کلنگ درون دستهٔ خود بیشتر فرو می‌رود و سفت می‌شود.

نکته هرچه **جرم یک جسم بیشتر باشد**، تغییر وضعیت حرکت آن دشوارتر است؛ یعنی **لختی جسم بیشتر است.**

تست و پاسخ

تست: اگر نیروهای وارد بر یک جسم در حال حرکت متوازن باشند (برایندشان صفر باشد)، ..... *(ریاضی خارج از کشور ۹۸)*

۱) سرعت جسم ثابت می‌ماند.
۲) حرکت جسم با شتاب ثابت تندشونده خواهد بود.
۳) مسیر حرکت جسم ممکن است دایره‌ای باشد.
۴) سرعت جسم در مسیر مستقیم کاهش می‌یابد تا متوقف شود.

پاسخ **گزینهٔ «۱»**. طبق قانون اول نیوتون، با توجه به اینکه نیروها متوازن هستند، پس **سرعت جسم ثابت می‌ماند** و چون تغییر سرعت نداریم، شتاب نیز نخواهیم داشت، پس گزینهٔ «۲» نادرست است.

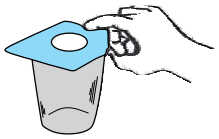
ثابت بودن سرعت به این معناست که **اولاً** جهت سرعت ثابت است، یعنی مسیر حرکت خط مستقیم است و نمی‌تواند دایره‌ای باشد (گزینهٔ «۳» نادرست است) و **ثانیاً** اندازهٔ سرعت نیز ثابت است، پس گزینهٔ «۴» نیز نادرست است.

پرسش‌های چهارگزینه‌ای درس اول

۳۴۳. **کدام گزینه نادرست است؟**

۱) اثر نیروی وارد بر یک جسم به‌صورت تغییر سرعت یا تغییر شکل جسم ظاهر می‌شود.
۲) هرگاه اثر متقابل دو جسم قطع شود، نیروی وارد بر جسم نیز از بین می‌رود.
۳) هرگاه برایند نیروهای وارد بر یک جسم صفر باشد، آن جسم در حالت سکون قرار می‌گیرد.
۴) اثر متقابل دو بار الکتریکی به‌واسطهٔ میدان الکتریکی صورت می‌پذیرد.

۳۴۴. در کدام‌یک از پدیده‌های زیر، قانون اول نیوتون نقشی ندارد؟ (برگرفته از کتاب درسی)



۱) با حرکت سریع مقوا در شکل مقابل، سکه درون لیوان می‌افتد.
۲) یک کشتی فضایی در فضای میان‌ستاره‌ای، به‌دور از سیارات و ستاره‌ها، با سرعت ثابت حرکت می‌کند.
۳) یک نردبان که به دیوار تکیه دارد، در آستانهٔ سُر خوردن است.
۴) یک موتورسوار از حال سکون شروع به حرکت می‌کند.

۳۴۵. چه تعداد از گزاره‌های زیر، بیانگر نتیجهٔ قانون اول نیوتون نیست؟

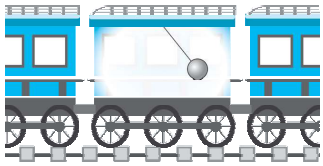
الف) وقتی رانندهٔ اتومبیل ناگهان سرعت اتومبیل را با گاز دادن افزایش می‌دهد، مسافران به‌سمت عقب و صندلی خود، فشرده می‌شوند.
ب) هنگام تلاش برای هُل دادن یک ماشین، در ابتدا این کار بسیار دشوار است اما به‌محض به حرکت درآمدن ماشین، تلاشی که باید انجام شود کمتر است.
پ) وقتی یک ورزشکار که در حال دویدن است، سعی می‌کند دویدن خود را متوقف کند، چند متر طول می‌کشد تا متوقف شود.

۱) صفر ۲) ۱ ۳) ۲ ۴) ۳

۳۴۶. در شکل زیر، بار اول نخ را به‌آرامی به پایین می‌کشیم و به‌تدریج این نیرو را افزایش می‌دهیم تا یکی از نخ‌ها پاره شود. بار دوم همین آزمایش را به این ترتیب تکرار می‌کنیم که نخ را به‌صورت ضربه‌ای در یک لحظه به پایین می‌کشیم تا یکی از نخ‌های دو طرف وزنه پاره شود. در مورد این آزمایش کدام گزینه درست است؟ (ریاضی ۹۱)

۱) در هر دو آزمایش، نخ از قسمت پایین وزنه پاره می‌شود.
۲) در هر دو آزمایش، نخ از قسمت بالای وزنه پاره می‌شود.
۳) در آزمایش اول، نخ از بالای وزنه پاره می‌شود و در آزمایش دوم از پایین وزنه پاره می‌شود.
۴) در آزمایش اول، نخ از پایین وزنه پاره می‌شود و در آزمایش دوم از بالای وزنه پاره می‌شود.

۳۴۷. با توجه به شکل زیر، درون کوپهٔ قطاری، یک وزنه را که به انتهای نخی با جرم ناچیز بسته‌ایم، از سقف آویزان می‌کنیم. اگر وزنه در حالتی که نشان داده شده است، نسبت به کوپهٔ قطار ساکن بماند، کدام‌یک از گزینه‌های زیر می‌تواند در مورد این شرایط درست باشد؟



۱) واگن به‌صورت کندشونده با شتاب ثابت به‌سمت راست در حال حرکت است.
۲) واگن به‌صورت کندشونده با شتاب ثابت به‌سمت چپ در حال حرکت است.
۳) واگن با سرعت ثابت به‌طرف راست در حال حرکت است.
۴) واگن با سرعت ثابت به‌طرف چپ در حال حرکت است.

۳۴۸. فقط دو نیروی $\vec{F}_1 = 2\vec{i} - 6\vec{j}$ و $\vec{F}_2$ بر ذره‌ای وارد می‌شوند و این ذره با سرعت ثابت $\vec{v} = 3\vec{i} + 4\vec{j}$ حرکت می‌کند. در این حالت نیروی $\vec{F}_2$ کدام است؟ (یکاها در SI است.) (دههٔ ۸۰)

۱) $\vec{i} + 2\vec{j}$ ۲) $-\vec{i} - 2\vec{j}$ ۳) $2\vec{i} + 6\vec{j}$ ۴) $-2\vec{i} + 6\vec{j}$

۳۴۹. جسمی به جرم ۱/۷۵ کیلوگرم تحت اثر سه نیروی $\vec{F}_1$، $\vec{F}_2 = -14\vec{i} + 20\vec{j}$ و $\vec{F}_3 = 22\vec{i} - 12\vec{j}$ برحسب نیوتون قرار دارد و با سرعت ثابت $\vec{v} = (51\ m/s)\vec{i} + (-47\ m/s)\vec{j}$ در حال حرکت است. بزرگی نیروی $\vec{F}_1$ چند نیوتون است؟

۱) $8\sqrt{2}$ ۲) $16\sqrt{2}$ ۳) $4\sqrt{2}$ ۴) $2\sqrt{8}$

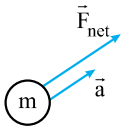
۳۵۰. سه نیروی $\vec{F}_1 = (5\ N)\vec{i} - (2\ N)\vec{j}$، $\vec{F}_2 = (-9\ N)\vec{i} - (7\ N)\vec{j}$ و $\vec{F}_3 = (\alpha - 1)\vec{i} + \beta^2\vec{j}$ به‌صورت متوازن بر جسمی به جرم ۲ kg اثر می‌کنند. حاصل $\alpha + |\beta|$ کدام است؟

۱) ۶ ۲) ۸ ۳) ۱۰ ۴) ۱۲

درس ۲
قانون دوم نیوتون

تعریف قانون دوم نیوتون

قانون دوم نیوتون به‌صورت زیر بیان می‌شود:
«هرگاه بر جسم نیروی خالصی وارد شود، جسم تحت تأثیر آن نیرو شتاب می‌گیرد که این شتاب با **نیروی خالص** وارد بر جسم **نسبت مستقیم** دارد و در همان جهت نیروی خالص است و با **جرم جسم** نسبت **وارون** دارد.»
قانون دوم نیوتون را به‌صورت زیر می‌توان نشان داد:



$$\vec{a} = \frac{\vec{F}_{net}}{m} \quad \text{یا} \quad \vec{F}_{net} = m\vec{a}$$

$$\Delta x_{۵\,s\,تا\,۰}=\frac{-۱}{۲}at^۲+\cancel{v_۰}t\Rightarrow x_۵-۲۴=\frac{-۲۵}{۲}a$$

$$\Delta x_{۱۲\,s\,تا\,۵\,s}=\frac{۱}{۲}at^۲+\cancel{v_۰}t\Rightarrow ۰-x_۵=\frac{۴۹}{۲}a$$

$$x_۵-۲۴=\frac{-۲۵}{۲}a\xrightarrow{x_۵=-\frac{۴۹}{۲}a}-۲۴=\frac{۲۴}{۲}a$$

$$\Rightarrow a=-۲\,m/s^۲\ ,\ x_۵=۴۹\,m$$

گام دوم رابطهٔ سرعت - زمان را برای ۵ ثانیهٔ اول حرکت می‌نویسیم تا سرعت اولیه به دست آید:

$$v=at+v_۰\xrightarrow{t=۵\,s}۰=-۲\times۵+v_۰\Rightarrow v_۰=۱۰\,m/s$$

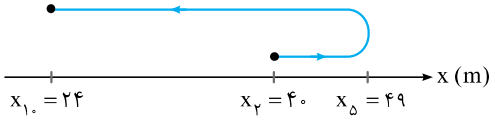
گام سوم معادلهٔ مکان - زمان را می‌نویسیم و مکان متحرک را در لحظات $t=۲\,s$ و $t=۱۰\,s$ حساب می‌کنیم:

$$x=\frac{۱}{۲}at^۲+v_۰t+x_۰\Rightarrow x=\frac{۱}{۲}(-۲)t^۲+۱۰t+۲۴$$

$$\Rightarrow x=-t^۲+۱۰t+۲۴\xrightarrow{t=۲\,s}x_۲=-۴+۲۰+۲۴=۴۰\,m$$

$$\xrightarrow{t=۱۰\,s}x_{۱۰}=-۱۰۰+۱۰۰+۲۴=۲۴\,m$$

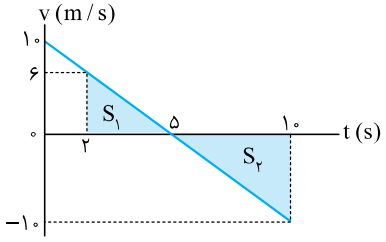
گام چهارم مسیر حرکت متحرک را از لحظهٔ $t=۲\,s$ تا $t=۱۰\,s$ روی محور x رسم می‌کنیم و پس از به دست آوردن مسافت، تندی متوسط را می‌یابیم:



$$\ell=|۴۹-۴۰|+|۲۴-۴۹|=۳۴\,m$$

$$s_{av}=\frac{\ell}{\Delta t}=\frac{۳۴}{۸}=\frac{۱۷}{۴}\,m/s$$

توجه می‌توانستیم پس از به دست آوردن سرعت اولیه در گام دوم، معادلهٔ سرعت - زمان را نوشته، سرعت را در لحظات $t=۲\,s$ و $t=۱۰\,s$ به دست آورده، نمودار سرعت - زمان را رسم کرده و به این صورت مسافت و تندی متوسط را بیابیم:



$$v=at+v_۰\Rightarrow v=-۲t+۱۰\Rightarrow\begin{cases}\xrightarrow{t=۲\,s}v_۲=۶\,m/s\\ \xrightarrow{t=۱۰\,s}v_{۱۰}=-۱۰\,m/s\end{cases}$$

$$\ell=S_۱+S_۲=\frac{۳\times۶}{۲}+\frac{۵\times۱۰}{۲}=۹+۲۵=۳۴\,m$$

$$s_{av}=\frac{\ell}{\Delta t}=\frac{۳۴}{۸}=\frac{۱۷}{۴}\,m/s$$

۳۴۳. گزینهٔ ۳ هرگاه برایند نیروهای وارد بر یک جسم صفر باشد، جسم وضعیت حرکت اولیهٔ خود را حفظ می‌کند، یعنی اگر ساکن باشد، ساکن می‌ماند و اگر با سرعت ثابت در حرکت باشد با همان سرعت ادامه می‌دهد. این توضیح اساس قانون اول نیوتون (لختی) است.

۳۴۴. گزینهٔ ۴ براساس قانون اول نیوتون، یک جسم، حالت سکون یا حرکت با سرعت ثابت خود را حفظ می‌کند مگر آنکه **نیروی خالص غیرصفر** به آن وارد شود.

۳۴۵. گزینهٔ ۱ در تمامی گزاره‌ها، قانون اول نیوتون یعنی قانون لختی (که اینرسی نیز نامیده می‌شود)، اتفاق می‌افتد و این بدان معناست که نیروی خالص غیرصفری به آن‌ها وارد نمی‌گردد و همگی در ابتدا تمایل به حفظ وضعیت حرکت خود دارند.

۳۴۶. گزینهٔ ۳ حالت اول: نیروی کشش نخ پایینی با نیروی دست ما برابر است، اما نیروی کششی نخ بالایی برابر با مجموع نیروی وزن و نیروی دست ما است، پس با کشیدن آرام نخ، نخ بالایی پاره می‌شود.

حالت دوم: لختی جسم در مقابل حرکت سریع وزنه مقاومت می‌کند و این باعث پاره شدن نخ پایینی می‌شود.

۳۴۷. گزینهٔ ۱ **گام اول** به بیان قانون اول نیوتون، می‌دانیم هر جسمی تمایل دارد حالت سکون یا حرکت با سرعت ثابت روی خط راست خود را حفظ کند. به این ویژگی، **لختی** یا **اینرسی** گفته می‌شود.

گام دوم باتوجه به قانون اول نیوتون، بدیهی است که ویژگی لختی سبب شده است که وزنه به‌سمت راست متمایل شود. این اتفاق در دو صورت رخ می‌دهد:

۱. حرکت تندشونده به‌سمت چپ ۲. حرکت کندشونده به‌طرف راست

۳۴۸. گزینهٔ ۴ از ثابت بودن سرعت جسم می‌توان نتیجه گرفت که شتاب حرکت جسم صفر است، بنابراین داریم:

$$F_{net}=۰\Rightarrow\vec{F}_۱+\vec{F}_۲=۰$$

$$\xrightarrow{\vec{F}_۱=۲\vec{i}-۶\vec{j}}\vec{F}_۲=(-۲\,N)\vec{i}+(۶\,N)\vec{j}$$

۳۴۹. گزینهٔ ۱ **گام اول** در صورت سؤال گفته شده است که جسم با سرعت ثابت در حال حرکت است، بنابراین شتاب حرکت جسم برابر صفر است.

گام دوم با توجه به صفر بودن شتاب حرکت جسم، بدیهی است برایند نیروهای وارد بر جسم باید برابر صفر باشد، پس داریم:

$$\vec{F}_۱+\vec{F}_۲+\vec{F}_۳=۰\Rightarrow\vec{F}_۱+(-۱۴\vec{i}+۲۰\vec{j})+(۲۲\vec{i}-۱۲\vec{j})=۰$$

$$\Rightarrow\vec{F}_۱+(۸\vec{i}+۸\vec{j})=۰\Rightarrow\vec{F}_۱=-۸\vec{i}-۸\vec{j}$$

گام سوم بزرگی نیرو از ما خواسته شده است، بنابراین داریم:

$$\Rightarrow F_۱=\sqrt{(-۸)^۲+(-۸)^۲}=\sqrt{۶۴+۶۴}=۸\sqrt{۲}\,N$$

۳۵۰. گزینهٔ ۲ نیروهای وارد بر جسم متوازن‌اند، درنتیجه جمع برداری این نیروها صفر است:

$$\vec{F}_۱+\vec{F}_۲+\vec{F}_۳=۰\Rightarrow(۵\vec{i}-۲\vec{j})+(-۹\vec{i}-۷\vec{j})+((\alpha-۱)\vec{i}+\beta^۲\vec{j})=۰$$

$$\Rightarrow(\alpha-۱)\vec{i}+\beta^۲\vec{j}=۴\vec{i}+۹\vec{j}$$

$$\begin{cases}\alpha-۱=۴\Rightarrow\alpha=۵\\ \beta^۲=۹\Rightarrow|\beta|=۳\end{cases}\Rightarrow\alpha+|\beta|=۵+۳=۸$$

۳۵۱. گزینهٔ ۲ بررسی گزاره‌های نادرست: الف: تغییرات سرعت جسم در واحد زمان، بیانگر شتاب است، طبق قانون دوم نیوتون ($F_{net}=ma$)، بزرگی نیروی خالص وارد بر جسم با بزرگی شتاب رابطهٔ مستقیم دارد. / ب: شتاب حرکت جسم با توجه به قانون دوم نیوتون، در جهت نیروی خالص وارد بر آن است ولی جهت حرکت می‌تواند متفاوت از جهت نیروی خالص باشد؛ مثل پرتاب یک گلوله به‌سمت هوا (جهت سرعت رو به بالاست، ولی شتاب و نیروی خالص رو به پایین هستند.) / پ: چون با سرعت ثابت در حال غرق شدن (حرکت به‌سمت پایین) است، پس برایند نیروهای وارد بر کشتی در راستای قائم صفر است و تنها دو نیروی وزن و شناوری در این راستا حضور دارند، پس این دو نیرو متوازن (برابر) هستند.