آموزشی

معصومه قاسمی

مدلی فیزیکی برای درک بهتر قانون‌های نیوتون

کلید واژه‌ها:
نمایش‌های چندگانه، قانون‌های نیوتون، نمودار جسم آزاد، مدل، ارزشیابی تکوینی و تلخیصی، طرح دستگاه.

مقدمه: برای نمادگذاری اجسام یا فرایندها یا نشان دادن آن‌ها از مدل یا نمایش استفاده می‌شود. برای مثال کلمات، تصویرها، نمودارها، شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای، معادله‌های ریاضی و... نمونه‌هایی از ابزارهای نمایشی یا مدل‌ها هستند. بسیاری از معلمان بر تأثیر سازنده و مفید این نمایش‌ها در یادگیری دانش‌آموزان تأکید داشته‌اند. به گفته اچ. سیمون۱: «به نمایش‌های آسان‌کننده برای تقریباً هر نوع مسئله‌ای باید به‌عنوان دستاوردی عقلانی نگریسته شود، در حالی که اغلب به‌عنوان بخش مهمی از حل مسئله در علوم و آموزش دست‌کم گرفته می‌شوند» [۱].

این نمایش‌ها در فیزیک شامل، توضیح‌های شفاهی، تصاویر، نمودارها، مدل‌های ریاضی، نمودارهای حرکت، نمودارهای جسم آزاد، نمودارهای میله‌ای انرژی، خط‌های میدان، مدار الکتریکی، نمودار پرتوهای نور، جبهه‌ی موج و نمودار حالت‌های انرژی هستند

برخی نمایش‌ها (مانند طرح‌ها و نمودارهای حرکت و نمودار جسم‌ـ‌آزاد) ابزارهای عینی هستند که برای توصیف مفهوم‌های ذهنی‌تری مانند شتاب و قانون دوم نیوتون به‌کار می‌روند و به دانش‌آموزان در درک بهتر مفاهیم کمک می‌کنند. برای حل مسایل به‌صورت کمی از مدل‌های ریاضی عینی استفاده می‌شود. برای مثال، دانش‌آموزان به عنوان کمک در حل مسئله هنگام استفاده از قانون دوم نیوتون به شکل مؤلفه‌ای می‌توانند نمودار جسم‌ـ‌آزاد را به‌کار برند. درنتیجه، چنین مدل‌ها یا نمایش‌های چندگانه‌ای توسط معلم‌ها به دانش‌آموزان برای یادگیری مؤثرتر توصیه شده است.

پرسش اساسی این است که آیا به کار بردن این مدل‌ها در یادگیری مفاهیم و حل بهتر مسائل به دانش‌آموز کمک می‌کند یا خیر؟ در حل مسئله کدام یک از نمایش‌ها مؤثرتر هستند؟ و دانش‌آموزان چگونه باید از آن‌ها استفاده کنند؟

نمایش‌های چندگانه

مطالعات هنریتش[۲] نشان می‌دهند که استفاده از طرح دستگاه برای یادگیری دینامیک مفید است. او این نمایش را قسمتی از توالی نمایش‌ها (مسئله، طرح کلی، طرح دستگاه، نمودار جسم‌ـ‌آزاد و درنهایت معادله‌ها) در حل مسائل می‌دانست. او در مقایسه‌ی کلاس‌هایی که در آن‌ها از طرح دستگاه استفاده

می‌شـود با کلاس‌های دیگر متوجه شـد که در پاسخ به چهار پرسش از آزمون مفهوم نیرو [۳] با به‌کار بردن طرح دسـتگاه نمره‌های دانش‌آموزان (N=۲۸) از ۱/۰ ± ۱/۱ در پیش‌آزمون به ۰/۸− ± ۳/۷ در پس‌آزمون رسید، در حالی که بدون استفاده از این مدل نمره‌های پیش‌آزمون از ۱/۰ ± ۱/۲ به ۱/۲ ± ۲/۸ می‌رسـید. نتیجه‌ی مهم این بررسی آن است که طرح دستگاه تأثیر مشخصی در یادگیری دارد.

فرانکلشـتاین [۴] از شبیه‌سـازی‌های رایانه‌ای برای کمک به دانش‌آموزان در یادگیری مدارهای DC اسـتفاده کرد. نمایش دیداری شـار جریان و قوانین کیرشهوف در شبیه‌سازی‌ها میسر بود. او دریافت عملکرد دانش‌آموزانی که مفاهیم مرتبط با مدارهای DC را به کمک شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای فرا گرفته‌اند، با این‌که هیچ‌گاه مداری واقعی نبسته بودند، در سه آزمون آشکارا بهتر از دانش‌آموزانی بوده که این مفاهیم را با مدارهای واقعی آموخته بودند. علاوه بر این دانش‌آموزان گروه اول در بستن یک مدار واقعی سریع‌تر (۱۴ دقیقه در مقابل ۱۷ دقیق) عمل می‌کردند.

استفاده از نمایش‌های چندگانه

مطالعه‌ی انجام شده توسـط روزنگرت، اتکینا و ون هیولن [۵] و هم‌چنین توسط دیلون و گیر [۶] نشان می‌دهد که اگر هنگام آموزش فیزیک بر نمایش‌های چندگانه تأکید شـود، دانش‌آموزان در حل مسئله آن ها را به کار خواهند بسـت. آیا استفاده از این مدل‌های مختلف عملکرد آن را بهبود خواهد بخشید؟

دیلـون و گیـر [۶] در مطالعـه‌ی خـود دریافتند آن دانش‌آموزانی که ۳ یا ۵ مسئله‌ی مشخص را درست حل کرده بودند، کاربران مهم این نمایش‌ها بوده‌اند. آن‌ها یک تصویر یا نمودار نیروها را رسم کرده بودند. در تعدادی از مسائل این دانش‌آموزان موفق‌تر از دانش‌آموزانی بودند که تنها به ریاضیات اکتفا کرده بودند. البته باید در نظر داشت که تنها رسم نمودار صحیح می‌تواند در حل مسئله یاری رساند و رسم نکردن نمودار بهتر از نمودار نادرستی است که به پاسخ غلط بینجامد.

در بررسی دیگری پیرامون این موضوع [۷] مشاهده شـده است که اگر صورت مسئله با تصویر همراه باشد، دانش‌آموزان تمایل کمتری به رسـم نمودار جسم- آزاد هنگام حل مسـئله خواهند داشـت. زیرا ممکن است با مشاهده‌ی تصویر درکی از موقعیت مسئله به‌دست آورند و فکر کنند نیازی به رسـم نمودار نیسـت. در صورتی که اگر از آن‌ها خواسـته شـود، نیرویی را مشخص و یا اندازه‌ی آن را محاسـبه کنند، تمایل بیشتری برای رسم این نمودار وجود خواهد داشت، زیرا به کار بردن واژه‌ی نیرو در صورت مسئله برای آن‌ها نشان‌دهنده‌ی «نمودار جسم- آزاد» است. در عین حال اگر در مسئله‌ای با همان مفهوم محاسـبه‌ی شتاب مد نظر باشـد، القاکننده‌ی این نمودار نخواهد بود.

استفاده از نمایش‌های چندگانه برای بیان یک مسئله

اکنون ارتباط میان موفقیت دانش‌آموزان و مدل نمایشی بیان مسئله سـنجیده می‌شـود. اولین پرسش به انتخاب دانش‌آموز در مورد شکل مسئله برمی‌گردد: اگر به آن‌ها حق انتخاب داده شود، چه چیزی را خواهند پسندید؟ کوهل[۲] و فینکلشتاین[۳] دریافتند [۸] که بیشتر دانش‌آموزان ترجیح می‌دهند که مسئله به جای کلمات، نمودارها یا معادله‌های ریاضی با شکل بیان شود، اگرچه این تمایل نشان‌دهنده‌ی موفقیت بیشتر آن‌ها در حل مسائل نخواهد بود.

برای مثال، دانش‌آموزانی که شکل تصویری را انتخاب کرده بودند، در حل مسـئله‌ای در مورد اپتیک موجی بهتر از دانش‌آمـوزان در گروه کنترل عمل کردند، در حالی که در فیزیک اتمی عملکـرد آن‌ها ضعیف‌تر از گروه کنترل بود. الگوی مشخصی برای تشخیص این‌که در کدام حالت مسئله مشکل‌تر خواهد بود، وجود ندارد. البته در مطالعات بعدی معلوم شده است که اگر معلمی از نمایش‌ها زیاد در آموزش استفاده کند، دانش‌آموزان او از شکل نمایشی مسئله کمتر تأثیر می‌پذیرند. بنابراین استفاده از نمایش‌های چندگانه در یادگیری مفاهیم جدید به استدلال بهتر دانش‌آموز کمک می‌کند.

برخی نمایش‌ها (مانند طرح‌ها و نمودارهای حرکت و نمودار جسم آزاد) ابزارهای عینی هستند که برای توصیف مفهوم‌های ذهنی‌تری مانند شتاب و قانون دوم نیوتون به‌کار می‌روند و به دانش‌آموزان در درک بهتر مفاهیم کمک می‌کنند

● مراحل استفاده از نمایش‌های چندگانه

۱. شناخت اجزای کلیدی

هر نمایش (مدل) در درک یک مفهوم اصلی فیزیک دانش‌آموز را یاری می‌دهد.

۲. مفاهیم و نحوه‌ی استفاده از نمایش‌ها را شناسایی کنید

● ایجاد مدل‌های دیگر

با در ذهن داشتن یک مفهوم کلیدی می‌توانید نوع دیگر از نمایش را با تمرکز بر آن مفهوم به‌وجود آورید.

● استفاده در کلاس

۱. ارزشیابی تکوینی[۴]

(الف) نمایشـی را به دانش‌آموز نشـان دهید و از او بخواهید نمایش دیگری را ارائه دهد.

(ب) دو یا چند نمایش را به دانش‌آموز نشان دهید و از او بخواهید سازگاری میان آن‌ها را بررسی کند.

(پ) یک نمایش را به دانش‌آموز نشـان دهید و از او بخواهید نمایش متناسب دیگری را از میان چند گزینه‌ی مناسب انتخاب کنند.

۲. ارزشیابی جمع‌بندی[۵]

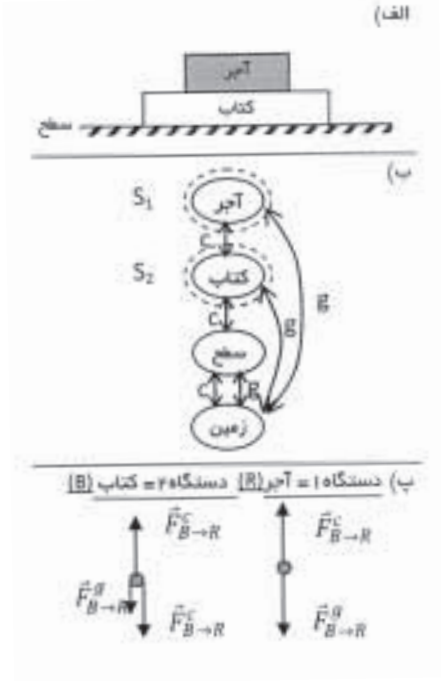
از ایـن نمایش‌ها می‌توان به عنـوان جایگزینی برای آزمون سنتی با توجه به روش‌های شرح داده شده استفاده کرد.

طرح دستگاه

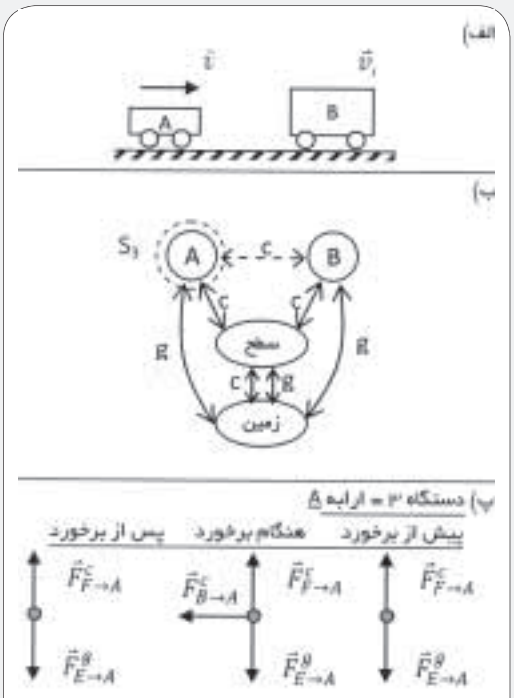
در برنامه‌ی آموزشـی مدل‌سـازی در دانشگاه ایالت آریزونا ابزاری نمایشـی به نام طرح دستگاه آموزش داده می‌شـود. این ابزار به دانش‌آموزان در ایجاد سطح اولیه‌ی مفهوم‌سـازی یک موقعیت فیزیکی واقعی کمک می‌کند. یک طرح دستگاه شامل شناسایی و نمادگذاری تمام اجسام مورد نظر در یک موقعیت فیزیکی و هم‌چنین تمام انواع مختلف برهم‌کنش‌های میان این اجسام است. با مشخص شدن اجسام مناسب و برهم‌کنش‌های آن‌ها، دانش‌آموزان آشـکارا می‌توانند اجسـامی را که جزء دستگاه هستند و آن‌هایی را که جزء آن نیسـتند، شناسایی کنند و سپس به مدل‌سازی برهم‌کنش‌های مؤثر بر انتخاب دستگاه به‌عنوان (الف) ابزاری بـرای انتقال انرژی یا (ب) نیروهای اعمال شده ارائه دهند.[۹]

از ایـن طرح بـرای نمایش یک موقعیـت فیزیکی اسـتفاده می‌شـود و اولین مرحله از مفهوم‌سازی پس از نمایش تصویری است. طرح دستگاه به‌عنوان پلی مفهومی برای نمایش مفهومی‌تری مانند نمودارهای جسم- آزاد و قانون‌های نیوتون برای دانش‌آموزان عمل می‌کند.

در شـکل ۱ و ۲ دو موقعیت فیزیکی، طرح دسـتگاه متناظر با آن‌هـا و نمودارهای جسـم- آزاد مربوط به هر دسـتگاه را مشاهده می‌شوند. در شـکل ۱ و ۲ به‌ترتیب اجسـامی ساکن و سپس اجسامی در حال حرکت نشان داده شده‌اند.



شکل (۱): وضعیت استاتیکی



شکل (۲): وضعیت دینامیکی

طرح دستگاه و نمودار جسم‌ـ آزاد

دانش‌آموزان در رسم طرح دستگاه مشکل زیادی نخواهند داشت. طرح دستگاه برای موقعیت‌های پیچیده بسیار مفید هستند، همچنین برای حل کردن مسائل مشابه نیز، که دانش‌آموزان اغلب تعداد نیروها را به غلط تعیین و یا عوامل نیروها را نادرست شناسایی و یا از قانون سوم نیوتون به اشتباه استفاده می‌کنند، مفید هستند.

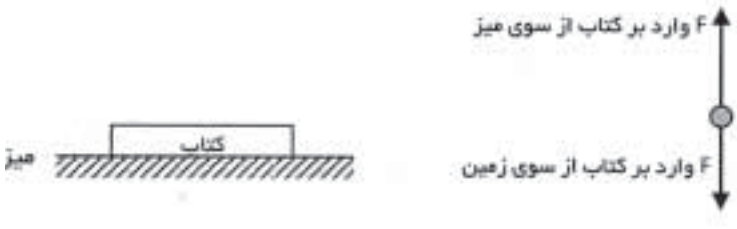
چگونه طرح دستگاه مشکل دانش‌آموزان در رسم صحیح نمودار جسم‌ـ آزاد را کم می‌کند؟

- با شمردن تعداد خطاهای برهم‌کنش که به جسم مورد نظر ختم می‌شود، دانش‌آموز تعداد صحیح نیروهای وارد بر جسم را خواهد فهمید.
- با نگاه کردن به جسمی که در انتهای خط برهم‌کنش است، دانش‌آموز جسم واردکننده‌ی نیرو را شناسایی می‌کند.
- با استفاده از نیروی وارد بر جسم مورد نظر، دانش‌آموز می‌تواند نیروی واکنش میان آن‌ها را در سر دیگر خط برهم‌کنش آن شناسایی کند.
- نیروهای داخلی، خط‌های برهم‌کنشی هستند که از مرز دستگاه عبور نمی‌کنند.
- نیروهای خارجی، خط‌های برهم‌کنشی هستند که از مرز دستگاه عبور می‌کنند.
- شاید مهم‌ترین مورد این باشد که طرح دستگاه فرایند قابل درکی برای رسم دقیق نمودار جسم‌ـ آزاد است.

مزایای دیگری نیز برای استفاده از طرح دستگاه وجود دارد. طرح دستگاه نشان می‌دهد که نیروهای وارد بر یک جسم همیشه ناشی از بعضی اجسام دیگر است. همچنین طرح دستگاه یادآوری دیداری است که نشان می‌دهد تمام اجسام نیز نیروی گرانشی به کل زمین وارد می‌کنند. با استفاده از طرح دستگاه به جای این‌که رسم این طرح با استفاده از حافظه یا حدس و گمان باشد، به تمرین در تجزیه و تحلیل تبدیل می‌شود. هنگامی که اشتباهی رخ می‌دهد مباحثه‌ی مفیدی میان دانش‌آموز و معلم رخ می‌دهد زیرا آن‌ها می‌توانند فرایند یافتن منبع خطا را بررسی کنند و سرانجام این طرح به دانش‌آموز اجازه می‌دهد تا دستگاه مناسب را برگزینند.

رسم طرح دستگاه

گاهی معلم فیزیک در کلاس مکانیک از دانش‌آموزان می‌خواهد تا برای موقعیت‌های ساده مانند کتابی که روی میز ساکن است، نمودار جسم آزاد رسم کنند. تقریباً تمام دانش‌آموزان نمودار جسم آزاد را مانند شکل (۳) رسم کرده و اجسام واردکننده‌ی نیرو را به درستی شناسایی می‌کنند.



شکل (۳)

هنگامی که از دانش‌آموزان خواسته می‌شود تا نیروی واکنش نیرویی که زمین به کتاب وارد می‌کند را تعیین کنند، تقریباً تمام آن‌ها به غلط خواهند گفت که نیرویی که میز به کتاب وارد می‌کند نیروی واکنش ذکر شده در قانون سوم نیوتون است. آن‌ها برای استدلال تنها خواهند گفت که این نیرو اندازه‌ای برابر با نیروی زمین دارد و در جهت مخالف آن است.

ابزاری که برای کمک به دانش‌آموزان در یافتن نیروی واکنش صحیح در این موقعیت و حل مسائل دیگر در موقعیت‌های پیچیده‌تر ارائه شده است، طرح دستگاه نام دارد.

برای به‌کار بردن قانون سوم نیوتون، دانش‌آموزان باید قادر به رسم نمودارهای جسم آزاد صحیح باشند. دانش‌آموزانی که به دقت از طرح دستگاه استفاده می‌کنند از توصیف و تحلیل ساختار یک دستگاه فیزیکی برحسب اجسام موجود در آن و برهم‌کنش‌های میان آن‌ها و اجسام خارجی دیگر به درستی استفاده می‌کنند.

یک معلم فیزیک می‌گوید:

«احتمالاً یک طرح دستگاه قدرتمندترین ابزار یادگیری است که من به دانش‌آموزانم داده‌ام. پیش از طرح دستگاه، هیچ‌گاه به آن‌ها نیاموخته بودم که چگونه در مورد رسم یک نمودار جسم آزاد فکر کنند. با بررسی متقابل طرح و نمودار جسم آزاد آن‌ها مطمئن می‌شوند که تمام نیروها را یافته‌اند.»[۱۰]

پیش از رسم طرح دستگاه برای یک موقعیت فیزیکی داده‌شده‌ی دانش‌آموزان باید موارد زیر را مدنظر قرار دهد:

۱) مفهوم برهم‌کنش میان دو جسم و این که در یک برهم‌کنش هر جسم به جسم دیگر نیرویی وارد می‌کند.

۲) بحث در مورد نیروهای بنیادی که احتمالاً دانش‌آموزان در طول دوره با آن‌ها برخورد خواهند داشت. (حتی بهتر است از آن‌ها خواسته شود تا فهرستی از نیروها را تهیه کنند.)

۳) اغلب برهم‌کنش‌ها تنها هنگامی رخ می‌دهد که دو جسم با یکدیگر در تماس باشند. برای چنین برهم‌کنش‌هایی عدم تماس به معنی عدم وجود نیرو است. تعدادی از برهم‌کنش‌ها هنگامی رخ می‌دهند که تماس نیز وجود ندارد. برهم‌کنش‌های گرانشی و الکتریکی مثال‌هایی از این دست هستند.

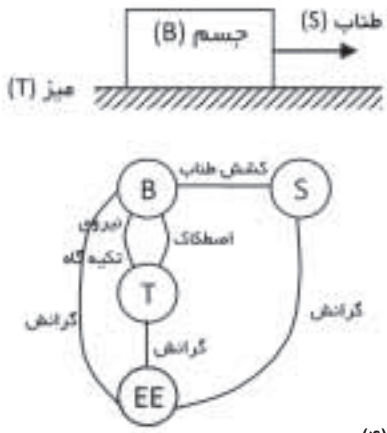
۴) هنگامی که جسمی روی سطحی قرار دارد، سطح حداکثر می‌تواند دو نیرو به جسم وارد کند: یکی نیروی تکیه‌گاه که در جهت عمود به سطح وارد می‌شود و دیگری نیروی اصطکاک که مماس بر سطح وارد می‌شود.

۵) قانون اول نیوتون باید مورد بحث قرار گیرد. دانش‌آموزان باید بدانند برای جسم با سرعت ثابت باید برایند نیروهای وارد بر آن صفر باشد ($\Delta F_y = 0$ و $\Delta F_x = 0$).

۶) در دینامیک، جسم یا اجسامی وجود دارند که حرکت آن‌ها باید تحلیل شود.

رسم طرح دستگاه با کشیدن یک دایره برای نمایش اجسامی که دانش‌آموزان می‌خواهند حرکت آن‌ها را بررسی کنند، آغاز می‌شود. برای نمایش دیگر اجسامی که با اجسام مورد نظر برهم‌کنش دارند، از دایره‌های اضافی استفاده می‌شود. دانش‌آموز باید هر جسم درون طرح را نام‌گذاری کند و نماد مناسبی درون هر دایره برای شناسایی جسم (ی که نمایش می‌دهد) قرار دهد. برای مثال، در شکل(۴) جسمی را مشاهده می‌کنید که توسط طنابی با سرعت ثابت به سمت راست کشیده می‌شود. طرح دستگاه متناظر با آن در سمت چپ نمایش داده شده است. خطوط رسم شده میان دو دایره نشان‌دهنده‌ی برهم‌کنش میان آن‌هاست. هر خط برهم‌کنش که به دایره‌ای ختم شود، به این معنی است که به جسم نمایش داده شده با دایره از طرف جسمی که در طرف دیگر خط است، نیرویی وارد می‌شود. برای مثال، خط برهم‌کنش میان جسم (B) و طناب (S) به این معنی است که طناب به جسم نیرو وارد می‌کند. چون این خط دایره‌ای که طناب را نمایش می‌دهد نیز قطع می‌کند، پس می‌توان نتیجه گرفت که جسم نیز به طناب نیرو وارد می‌کند. پس طرح دستگاه به طور گرافیکی نشان می‌دهد که در برهم‌کنش میان دو جسم، همیشه دو نیرو وجود دارد. علاوه بر این، دو نیروی مرتبط با یک خط برهم‌کنش زوج نیروهای کنش-واکنش هستند.

توجه داشته باشید که هیچ خط برهم‌کنشی میان دایره‌های نمایش‌دهنده‌ی طناب و میز وجود ندارد. زیرا طناب هیچ نیرویی به میز وارد نمی‌کند. به همین دلیل طناب و میز با هم برهم‌کنشی ندارند. (نیروی گرانشی میان تمام اجسام با اندازه‌ی آزمایشگاهی معمولاً نادیده گرفته می‌شوند، زیرا جرم این اجسام در مقایسه با جرم زمین بسیار کوچک است). همان‌گونه که در شکل نشان داده شده می‌توان از دانش‌آموزان خواست تا نوع نیرویی که هر خط نمایش می‌دهد را نیز شناسایی کنند. می‌توان برای نشان دادن این‌که نیرو کمیتی برداری است در محل برخورد هر خط به دایره، علامت سر پیکان را نیز رسم کرد.



شکل (۴)

چون جسم با سرعت ثابت حرکت می‌کند، علاوه بر نیروی عمودی تکیه‌گاه اعمال‌شده توسط وزن جسم، دانش‌آموزان باید با استفاده از قانون اول نیوتون تشخیص دهند که نیروی اصطکاک نیز باید بر جسم وارد شود تا با نیروی اعمال شده بر جسم از طرف طناب برابر باشد.

کل زمین (EE) با جسم در تماس نیست، اما نیروی کنشی از راه دور به آن وارد می‌کند. واژه‌ی «کل» در این‌جا به کار برده می‌شود تا تفاوت میان نیروی گرانشی وارد شده از طرف زمین و نیروی تماس مستقیم وارد شده از طرف زمین بر هر جسمی که با آن در تماس است، مشخص شود. اگر از دانش‌آموزان خواسته شود تفاوت میان نیروهای تماس مستقیم و نیروهای کنش از دور را

پرسش اساسی این است که آیا به کار بردن مدل‌ها در یادگیری مفاهیم و حل بهتر مسائل به دانش‌آموزان کمک می‌کند و اگر چنین است چگونه باید از آن استفاده کرد؟

به صورت دیداری نشان دهند، آن‌ها می‌توانند از خط‌چین برای نمایش برهم‌کنش‌های گرانشی در طرح دستگاه استفاده‌کنند.

از آن‌جا که در این طرح دستگاه چهار خط به جسم متصل شده‌اند، دانش‌آموزان می‌فهمند که چهار نیرو به جسم وارد می‌شود: سه نیروی تماسی و یک نیروی کنش از دور. به آسانی می‌توان گفت که یکی از نیروها توسط طناب به جسم وارد می‌شود، میز دو نیرو و کل زمین یک نیرو به آن وارد می‌کنند.

حالت شامل دو جسم

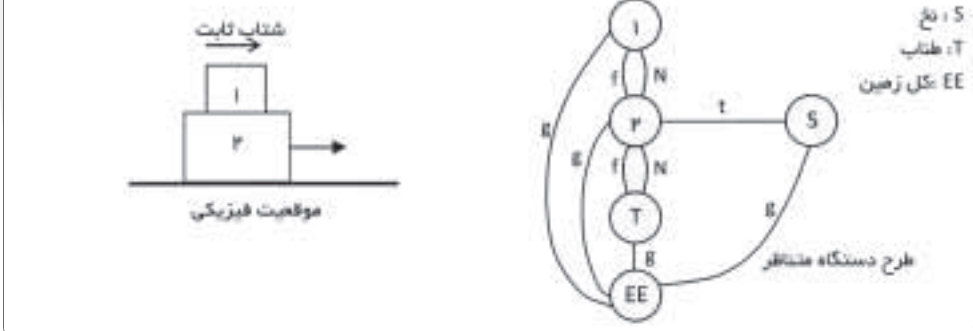
مثال بعدی ارزش طرح دستگاه را بهتر نشان می‌دهد. دو جسم روی میز قرار دارند و جسم ۱ مطابق شکل روی جسم ۲ قرار گرفته است. نخی به جسم زیرین متصل است و نیرویی اعمال می‌شود تا دو جسم با شتاب ثابت حرکت کنند. جسم بالایی روی جسم پایینی نمی‌لغزد و روی آن ساکن است. طرح دستگاه متناظر برای این وضعیت در شکل (۵) زیر رسم شده است.

اگر جسم بالایی در حرکت باشد، باید دانش‌آموزان مشخص کنند که جسم پایینی باید نیروی اصطکاک به جسم بالایی وارد کند. طرح دستگاه آشکارا نشان می‌دهد که به جسم بالایی سه نیرو وارد می‌شود: دو نیرو از طرف میز و یک نیرو از طرف کل زمین. بدون طرح دستگاه دانش‌آموزان سخت‌تر درک می‌کنند که جسم بالایی دو نیرو به جسم پایین وارد می‌کند.

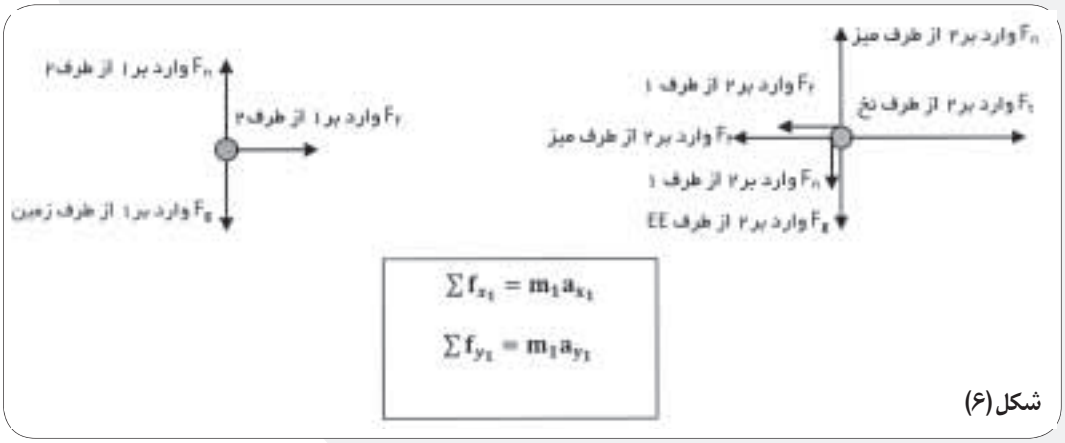
با استفاده از طرح دستگاه دانش‌آموزان باید بتوانند نمودار جسم‌ـ آزاد نشان داده شده در شکل (۶) را رسم کنند. سپس با استفاده از نمودار جسم‌ـ آزاد می‌توانند قانون دوم نیوتون را برای هر جسم بنویسند.

توجه داشته باشید که هر مرحله‌ای در این فرایند دانش‌آموزان را به سطح بالاتری از تجرید می‌رساند که برای کاهش خطاها طراحی شده است. طرح دستگاه پلی برای مرتبط کردن موقعیت عینی فیزیکی و نمودار جسم‌ـ آزاد مفهومی است.

تعیین جهت نیروی اصطکاکی که وارد بر جسم (۱) از طرف جسم (۲) ممکن است برای اکثر دانش‌آموزان



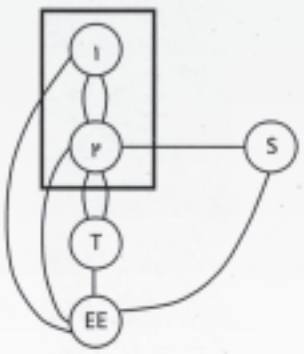
شکل (۵)



شکل (۶)

مشـــکل باشـــد زیرا آن‌ها معمولاً تنها به خاطـــر دارند که نیروی اصطکاک با حرکت جســـم مخالفت می‌کند. آن‌ها فرامـــوش می‌کنند که نیروی اصطکاک با حرکت جســـم نسبت به سطحی که روی آن قرار دارد، مخالفت می‌کند. اگر دانش‌آموزان این مشکل را داشتند از آن‌ها بخواهید تا در صـــورت نبودن اصطکاک میان جســـم ۱ و ۲، حرکت جسم ۱ را توضیح دهند.

هنگام بحث در مورد نیروهـــای داخلی و خارجی و قانون سوم نیوتون طرح دستگاه‌ها به شفافیت موضوع کمک می‌کند. در مثال قبلی این موضوع به خوبی مشاهده شد. در شکل (۷) طرح دستگاه موقعیت فیزیکی مثال بالا را مشاهده می‌کنید. مستطیلی به شکل اضافه شده است تا مجموعه‌ی ویژه‌ای از اجسام را که به بررسی حرکت آن‌ها علاقه‌مندیم، مشـــخص سازد. این مستطیل اجسام درون مجموعه را از اجسام خارج و از آن جدا ساخته است. (این ایده‌ی خوبی است که می‌توان از دانش‌آموزان خواست تا همیشه برای تأکید بر نیروهای وارد شـــده بر جسمی که حرکت آن مد نظر است، مجموعه را با مستطیل یا دایره مشخص کنند). استفاده از طرح دستگاه به این طریق مشخص می‌کند که نیروهای داخلی، نیروهای اعمال شده بر یک جسم توسط جسم دیگری در مجموعه هستند. آن‌ها خط‌هایی هستند که از مرز دســـتگاه عبور نمی‌کنند. طرح دستگاه همراه با مســـتطیل اضافه شـــده به آن نشـــان می‌دهد که نیروهای خارجی از طرف اجسامی که خارج از دستگاه هستند، به اجسام درون آن وارد می‌شود. آن‌ها خط‌هایی هستند که از مرز مســـتطیل عبور می‌کنند و به اجسام خارج از دستگاه وصل می‌شوند. چون هر خط نشان‌دهنده‌ی جفت نیروی مســـاوی اما در خلاف جهت است. طرح دستگاه نمایش واقعی و دیداری را ارائه می‌دهد که نشان می‌دهد نیروهای



شکل (۷): شناسایی نیروهای داخلی و خارجی

داخلی دو به دو همدیگر را خنثی می‌کنند و نیروی خالص وارد بر دستگاه محصور یا مستطیل جمع نیروهای خارجی وارد بر مجموعه است. این طرح دستگاه نشان می‌دهد که دو نیروی داخلی به جسم ۱ و ۲ وارد می‌شوند. هم‌چنین این طرح نشان می‌دهد که به جسم ۱، یک نیروی خارجی و به جسم ۲، چهار نیروی خارجی وارد می‌شود.

استفاده از طرح دستگاه

اکنون به چند قانون اساســـی برای رسم طرح دستگاه توجه کنید:

۱) تمـــام اجســـام بدون هیـــچ جزئیاتی از شـــکل یا ساختارشان نمایش داده می‌شوند.

۲) اگر دو جســـم تأثیری بر یکدیگر داشته باشند، با همدیگر برهم‌کنش دارند. برای مثال در شکل (۱) کتاب بر آجر تأثیر می‌گذارد (آن را بالا نگه می‌دارد) و آجر نیز بر کتاب تأثیر دارد (کمی کتاب را می‌فشارد).

۳) برهم‌کنش‌های میان دو جسم با پیکان‌های دوسویه نمایش داده می‌شوند که نوع برهم‌کنش روی آن‌ها نوشته می‌شود. اگر جسم X بر جسم Y اثر بگذارد، جسم Y نیز بر جسم X اثر می‌گذارد. این سازوکار بعدها در توصیف «قانون سوم نیوتون» به دانش‌آموزان کمک می‌کند.

۴) در دوره‌های فیزیک مقدماتی تنها چهار برهم‌کنش مورد نظر هستند، سه نوع برهم‌کنش غیرتماسی (گرانشی «g»، الکتریکی «e» و مغناطیســـی «m») و یک برهم‌کنش تماســـی (c). تمام برهم‌کنش‌های تماســـی (مانند نیروی عمودی تکیه‌گاه، اصطکاک و غیره) به یک نوع فرو کاسته می‌شوند. یک نوع تماس ترجیح داده می‌شود زیرا این‌کار باعث ساده‌سازی فرایند رسم طرح دستگاه و مدل فیزیکی یک برهم‌کنش می‌شود.

۵) اگر برهم‌کنشـــی در بازه‌ی زمانی مورد نظر تداوم داشته باشد، برای خط‌های برهم‌کنش (پیکان‌های دوسویه‌ی برهم‌کنش) به‌صورت خط پر رسم می‌شوند. در غیر این صورت آن‌ها را باید به‌صورت خط‌چین رسم کرد (شکل ۲- ب).

۶) برهم‌کنش گرانشی تنها میان جسمی بزرگ مانند زمین یا ماه و اجسام دیگر رخ دهد.

۷) مرز دستگاه با رسم خط‌چینی بسته‌ی اطراف یک یا دو جسم مشخص می‌شود.

اگر مطالعه‌ی نیروها مد نظر باشـــد، چند قانون برای

رسم نمودارهایی جسم-آزاد از یک طرح دستگاه کامل شده وجود دارد:

۸) هر جسم یا مجموعه اجسامی که برای آن‌ها می‌خواهیم قانون سوم نیوتون را بنویسیم، باید به‌عنوان دستگاهی جداگانه در نظر گرفته شوند.

۹) نیروها را به‌عنوان شرح برهم‌کنش میان دو جسم مشخص کنید.

۱۰) برای هر خط برهم‌کنشی که از مرز یک دستگاه عبور می‌کند، در نمودار جسم-آزاد متناظر آن دستگاه، تنها و تنها یک نیرو باید وجود داشته باشد. فهمیدن این مورد برای دانش‌آموزان به‌ویژه در دستگاه‌های پیچیده شامل چندین جسم با چندین برهم‌کنش بسیار مفید است.

۱۱) با استفاده از نمادگذاری طرح دستگاه، نماد یک بردار نیرو در نمودار جسم-آزاد (برای مثال $F_{B\to R}$) مشخص می‌شود.[۹]

طرح دستگاه به درک قانون سوم نیوتون و این که زوج نیروهای قانون سوم به دلیل این‌که «از یک برهم‌کنش هستند» اندازه‌ی یکسانی دارند، کمک می‌کند. به کمک طرح دستگاه نتایج تجربی قانع‌کننده‌تر به‌نظر می‌رسند، شاید به این دلیل که سازوکاری «منطقی» برای «توصیف» آن‌ها وجود دارد.

معمولاً طرح دستگاه پیش از تدریس مفهوم به دانش‌آموزان معرفی می‌شود. به این طریق هنگام آموزش مفهوم نیرو از آن‌ها به‌راحتی در مورد اجسام و برهم‌کنش‌ها استفاده می‌شود.

منابع

1. H. A. Simon, Models of discovery and other topics in the methods of science, Dordrecht: Reidel (1977).
2. B. Hinrichs, In edited by J. Marx, P. Heron, and S. Franklin, 2004 Physics Education Research Conference Proceedings, Sacramento, CA, 2004, 117-120.

۳. منظور از آزمون مفهوم نیرو (FCI)، آزمونی پنج گزینه‌ای شامل ۳۰ سؤال است که براساس مفاهیم مکانیک نیوتونی طراحی شده است. این آزمون در سال ۱۹۹۲ به‌وسیله‌ی دیوید هستنز از دانشگاه ایالتی آریزونا و همکارانش منتشر شده است (نسخه‌ی اولیه‌ی آن دارای ۲۹ سؤال بوده است) و از آن موقع در دبیرستان‌ها و دانشگاه‌های آمریکا توسط معلمان مختلف برای اهداف ویژه همانند اثربخشی آموزش به‌کار می‌رود. ترجمه‌ی فارسی این توسط نویسنده‌ی این مقاله از لینک: http://modeling.asu.edu/R&E/FCI-Persian95.pdf قابل دسترسی است.

4. N. Finkelstein, W. Adams, C. Keller, P. Kohl, K. Perkins, N. Podolefsky, S. Reid, and R. LeMaster, *Phys. Rev. St Phys. Edic. Res*. 1, 01010s, (2005).
5. E. Etkina and A. Van Heuvelen, 2001 Physics Education Research Conference Proceedings, Rochester, NY, 2001, pp 17-21.
6. C. DeLeone and E. Gire, edited by P. Heron, L. McCullough and J. Marx, 2005 Physics Education Research Conference Proceedings, Salt Lake City, UT, 2005, 45-48.
7. David Rosengrant, Uugenia Etkina, Alan Van Heuvelen/ An overview of recent research on multiple representation/ The state university of New Jeresy.
8. P. Kohl and N. Finkelstein "edited by J. Marx, P. Heron, and S. Franklin, 2004 Physics Education Research Conference Proceedings, Sacramento, CA, Publisher! 2004, 121-124.
9. Brant E. Hinrichs/ Using the system schema representational tool to promote student understanding of newton's third law/ Department of physics. Drury University.
10. System schemas/ Louis Turner/ The physics teacher/ Oct 2003.

پی‌نوشت

1. H. Simo
2. Kohl
3. Finkelstein
4. Formative evaluation
5. Summative evaluation

برگ اشتراک مجله‌های رشد

شرایط:

۱. پرداخت مبلغ ۷۰/۰۰۰ ریال به ازای یک دوره یک ساله مجله‌ی درخواستی، به صورت علی‌الحساب به حساب شماره‌ی ۳۹۶۶۲۰۰۰ بانک تجارت شعبه‌ی سه‌راه آرمایش (سرخه‌حصار) کد ۳۹۵ در وجه شرکت افست.

۲. ارسال اصل فیش بانکی به همراه برگ تکمیل شده‌ی اشتراک با پست سفارشی. (کپی فیش را نزد خود نگه دارید.)

◆ نام مجله‌های درخواستی:

◆ نام و نام خانوادگی:

◆ تاریخ تولد:

◆ میزان تحصیلات:

◆ تلفن:

◆ نشانی کامل پستی:

استان: شهرستان:

خیابان:

پلاک: شماره‌ی پستی:

◆ در صورتی که قبلاً مشترک مجله بوده‌اید، شماره‌ی اشتراک خود را بنویسید:

کد اشتراک:

امضا:

صندوق پستی مرکز بررسی آثار: ۱۵۸۷۵/۶۵۶۷
صندوق پستی امور مشترکین: ۱۶۵۹۵/۱۱۱
نشانی اینترنتی: www.roshdmag.ir
امور مشترکین: ۰۲۱-۷۷۳۳۶۶۵۶ - ۷۷۳۳۵۱۱۰
پیام‌گیر مجله های رشد: ۰۲۱-۸۸۳۰۱۴۸۲

یادآوری:

◆ هزینه‌ی برگشت مجله در صورت خوانا و کامل نبودن نشانی و عدم حضور گیرنده، برعهده‌ی مشترک است.

◆ مبنای شروع اشتراک مجله از زمان دریافت برگ اشتراک خواهد بود.