آموزشی

بررسی جهت نیروی اصطکاک به کمک بُرس

اس ـ پراسیتپونگ، آر ـ کیتاری و اس ـ راکاپا
انجمن نوآوری یادگیری، دانشگاه ماهیدال، بخش فیزیک، دانشگاه علوم دانشگاه ماهیدال، تایلند
ترجمهٔ لیلا تاجفر و آزیتا سیدفدایی

مقدمه

ابزارهای ساده‌ای را معرفی می‌کنیم، که به دانش‌آموزان دبیرستانی کمک می‌کند جهت نیروی اصطکاک را مطالعه کنند. بُرس، مسواک، قلم‌موی نقاشی و جارو برای توصیف نیروهای اصطکاک در حالت‌های مختلف به‌کار می‌روند. این توضیحات وقتی با بحث بردارهای نیروی وارد بر جسم همراه شوند در آموزش جهت نیروی اصطکاک مفید واقع می‌شوند.

دوچرخه‌ای به جلو رانده می‌شود، جهت نیروی اصطکاک وارد از طرف زمین بر چرخ جلویی و چرخ عقبی دوچرخه چیست؟

پاسخ درست این است که نیروی اصطکاک وارد از زمین بر چرخ جلویی دوچرخه به سمت عقب، و بر چرخ عقبی دوچرخه به سمت جلو است. در تحقیقی متوجه شدیم پاسخ بسیاری از دانش‌آموزان این بود که جهت نیروی اصطکاک از طرف زمین بر هر دو چرخ دوچرخه به سوی عقب است. این دانش‌آموزان می‌دانستند که نیروی اصطکاک عموماً با حرکت یک جسم متحرک مخالفت می‌کند. این برداشت غلط توسط محققان دیگر نیز گزارش شده است [۱، ۲].

چگونه معلمان فیزیک می‌توانند این بدفهمی را اصلاح کنند؟ ما برای این چالش آموزشی راه‌حل پیشنهاد می‌کنیم.

کلیدواژه‌ها: نیروی اصطکاک، نیروی خارجی، سطح شیب‌دار

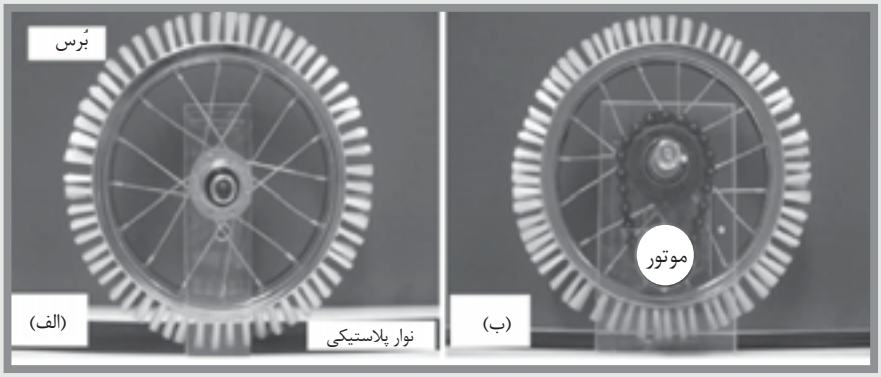
ابزاری برای مشاهده و بررسی نیروی اصطکاک در حالت چرخش

ابتدا از دانش‌آموزی می‌خواهیم که در کلاس دوچرخه‌سواری کند. سپس از دانش‌آموزان می‌خواهیم جهت‌های نیروی اصطکاکی را که زمین بر چرخ جلویی و عقبی دوچرخه وارد می‌کنند را پیش‌بینی کنند. بیشتر آن‌ها می‌گویند که چون دوچرخه به سمت جلو حرکت می‌کند، نیروی اصطکاک وارد بر هر دو چرخ به سمت عقب است. این پیش‌بینی را روی تخته سیاه می‌نویسیم.

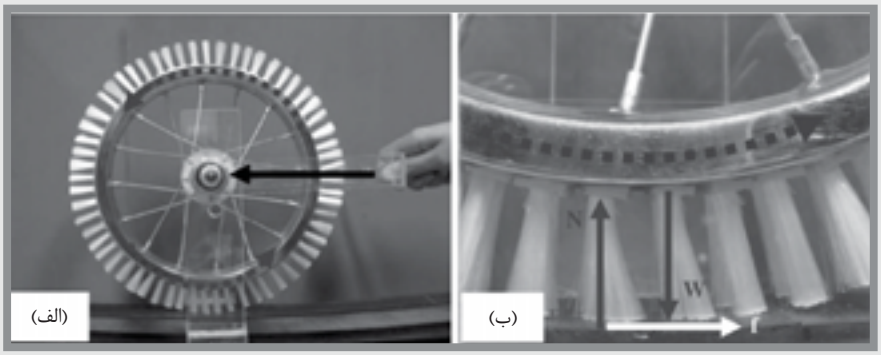
شکل ۱. دانش‌آموز در حال دوچرخه‌سواری در کلاس است، تا دیگران را به پیش‌بینی جهت‌های نیروی اصطکاکی که زمین بر چرخ جلویی و چرخ عقبی دوچرخه وارد می‌کند ترغیب کند.

سپس ابزار لازم برای بررسی نیروی اصطکاک در حال چرخش را توضیح می‌دهیم (شکل ۲). این ابزار از دو چرخ دوچرخه که یک بُرس زبر را به دور لبه‌های آن‌ها چسبانده‌ایم تشکیل شده است. محور هر چرخ بر روی یک پایه قرار دارد و چرخ بر روی یک نوار پلاستیکی گذاشته می‌شود. شکل ۲ (الف) چرخی را نشان می‌دهد که بدون اعمال نیروی مستقیم دوچرخه‌سوار می‌چرخد (به اختصار آن را چرخ بی‌دیسک می‌نامیم). شکل ۲ (ب) چرخی را نشان می‌دهد که به وسیلهٔ یک موتور یا نیروی خارجی مثل نیروی دوچرخه‌سوار می‌چرخد (به اختصار آن را چرخ با دیسک می‌نامیم). در ابتدا چرخ بی‌دیسک را با دستهٔ متصل به محور چرخ می‌چرخانیم (شکل ۳).

وقتی دسته را به سمت چپ هل می‌دهیم، چرخ در خلاف عقربه‌های ساعت می‌چرخد. (شکل ۳ (الف)). نیروی اصطکاک بین سطح بالایی نوار پلاستیکی و سر بُرس‌ها سبب خمیدگی موهای آن شده و مشاهده می‌شود که این نیرو به سمت راست است. بدون این نیروی اصطکاک، این چرخ دوچرخه می‌چرخد اما به جلو نمی‌رود. دانش‌آموزان را به مشاهدهٔ دقیق ناحیهٔ تماس برس‌ها با لاستیک تشویق می‌کنیم (شکل ۳ (ب)).



شکل ۲. برُس‌های زبری به دور لبه‌های دوچرخ دوچرخه چسبانده شده است. محور چرخ بر روی یک پایه قرار دارد و چرخ بر روی نوار پلاستیکی گذاشته شده است. (الف) دستگاهی متشکل از چرخ گردان به وسیلهٔ نیروی اصطکاک (چرخ بدون دیسک ـ مشابه چرخ جلوی دوچرخه است.) (ب) دستگاهی متشکل از چرخ گردان به وسیلهٔ موتور (چرخ با دیسک ـ مشابه چرخ عقب دوچرخه است).



شکل ۳. (الف) ساختار یک دستگاه از چرخ بدون دیسک را نشان می‌دهد. دسته به محور چرخ متصل است. چرخ بر روی نوار لاستیکی گذاشته شده است. وقتی دسته را به سمت چپ هل دهیم، چرخ در خلاف عقربه‌های ساعت می‌چرخد. (ب)

در مرحلهٔ بعد به سراغ چرخ با دیسک می‌رویم و آن را مانند شکل ٤ (الف) با یک نیروی خارجی مثل موتور به‌کار می‌اندازیم. وقتی موتور روشن می‌شود، چرخ در خلاف عقربه‌های ساعت می‌چرخد. از انحراف سر موها متوجه می‌شویم که نیروی اصطکاک وارده از سطح بالایی نوار پلاستیکی به سر موها به سمت چپ است.

اگر این نیروی اصطکاک نبود چرخ آزادانه می‌چرخید (شبیه چرخ‌های خودرویی که در گل‌ولای و یا برف گیر کرده است) و خودرو به جلو نمی‌رفت. مجدداً دانش‌آموزان را به مشاهدهٔ سر موها با نوار پلاستیکی تشویق می‌کنیم (شکل ٤ (ب)). که سر موها به سمت چپ متمایل شده‌اند. در نهایت ما هر دو چرخ را دوباره نشان می‌دهیم، و تذکر می‌دهیم با این‌که هر دوی آن‌ها در یک جهت می‌چرخند، نیروی اصطکاک وارد بر چرخ‌ها در جهت خلاف یکدیگرند. این آزمایش نشان می‌دهد که همیشه نیروهای اصطکاک در خلاف جهت حرکت اجسام متحرک نیست.

در این مرحله پاسخ دانش‌آموزان به پرسش، «جهت نیروهای اصطکاک از طرف زمین بر چرخ جلویی و عقبی دوچرخه‌ای که به سمت جلو در حرکت است کدام است؟» را مرور می‌کنیم. معمولاً چرخ عقبی دوچرخه به وسیله دوچرخه‌سوار چرخانده می‌شود و دوچرخه‌سوار پدال‌هایی که به وسیلهٔ زنجیری به چرخ عقبی وصل است را می‌چرخاند. حرکت چرخ عقب شبیه به چرخش چرخ موتورسیکلت یا چرخ اتومبیل بر روی جاده است، که هر دو به وسیلهٔ موتور چرخانده می‌شوند. واضح است که چرخ جلویی دوچرخه به هیچ موتور یا ماشینی وصل نیست و چرخش آزاد دارد. حرکت انتقالی چرخ جلویی به وسیلهٔ نیرویی که چارچوب دوچرخه بر محور چرخ وارد می‌کند ایجاد می‌شود. به علت این‌که این نیرو بر مرکز جرم چرخ جلو وارد می‌شود نمی‌تواند چرخ جلو را بچرخاند.

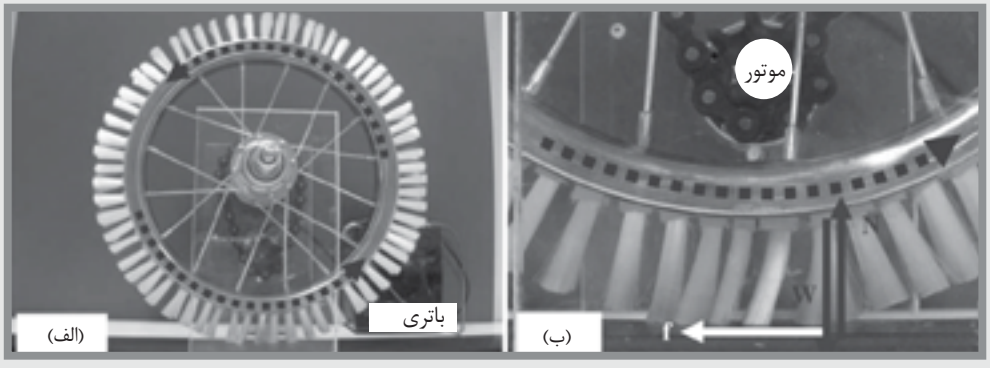
چرخ جلو بر اثر نیروی اصطکاک بین چرخ و زمین می‌چرخد. به بیانِ دیگر اگر چرخ جلویی با زمین تماس نداشته باشد اصلاً نمی‌چرخد. شکل ٥ همه نیروهایی که بر چرخ جلو و عقب دوچرخه‌ای که دوچرخه‌سوار آن را به سمت چپ می‌راند نشان می‌دهد [٢]. بردارهای رسم شده به روشنی جهت نیروهای اصطکاک را نشان می‌دهد.

f_F و f_R از زمین بر چرخ‌های جلویی و عقبی دوچرخه در جهت‌های مخالف وارد می‌شوند باید توجه داشت که جهت نیروهای اصطکاک، مطابق جهت سر بُرس‌ها در شکل‌های ٣ و ٤ به ترتیب برای چرخ‌های جلویی و عقبی دوچرخه است.

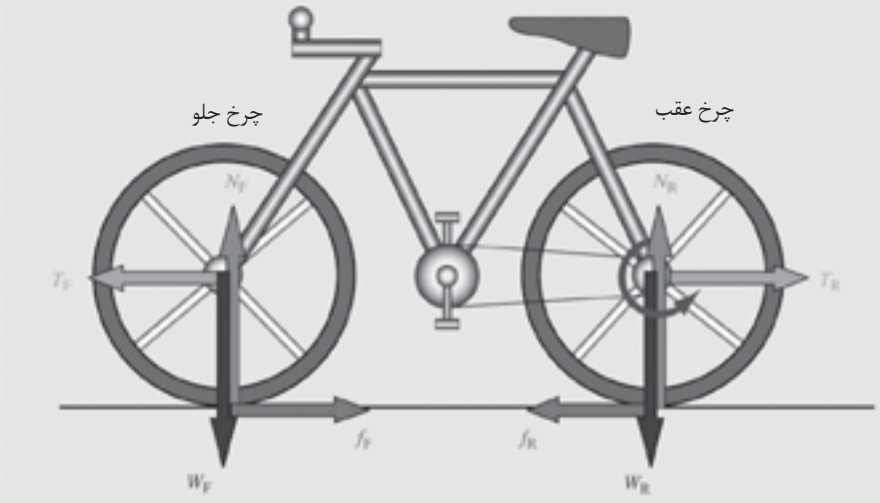
مثال دیگری از چرخ‌های بدون دیسک، چرخش چرخ‌های گاری بر روی زمین در هنگامی است که دستهٔ آن کشیده یا هل داده می‌شود. بنابراین در شکل ١ وقتی دانش‌آموز به سمت چپ دوچرخه‌سواری می‌کند، نیروی اصطکاک بر چرخ جلویی به سمت راست و نیروی اصطکاک بر چرخ عقبی به سمت چپ وارد می‌شود. این مبحث را با طرح پرسش‌هایی از دانش‌آموزان برای سازمان‌دهی تصوراتشان و تهیه یک گزارش از مفاهیم، به پایان می‌رسانیم.

در ادامه ابزارهایی را شرح می‌دهیم که برای توصیف جهت نیروی اصطکاک در حرکت‌های افقی، شیب‌دار و عمودی به‌کار می‌روند.

اگر این نیروی اصطکاک نبود چرخ آزادانه می‌چرخید (شبیه چرخ‌های خودرویی که در گل‌ولای و یا برف گیر کرده است) و خودرو به جلو نمی‌رفت



شکل ۴. (الف) ساختار چرخ دیسک. چرخ به وسیلهٔ یک موتور رانده می‌شود. وقتی موتور روشن می‌شود، چرخ در خلاف عقربه‌های ساعت می‌چرخد. (ب) در نقطهٔ تماس، سر موها برای مدتی به نوارگیر می‌کند (آزادانه نمی‌توانند به راست حرکت کنند)، زیرا نیروی اصطکاک از طرف نوار لاستیکی بر سر موها به سمت چپ وارد می‌شود. جهت نیروی اصطکاک وارده از طرف نوار لاستیکی بر موها به سمت چپ است. این مطلب با جهت انحراف سر موها مشخص می‌شود. وزن = w، نیروی عمودی= N، نیروی اصطکاک= f



شکل ۵. رسم بردارهای نیروی وارد بر چرخ‌های دوچرخه، هنگامی که دوچرخه سوار آن را به سمت چپ می‌راند. T_F نیروی واکنش، N_F نیروی عمودی، W_F وزن، f_F نیروی اصطکاک چرخ جلویی، T_R نیروی واکنش، W_R نیروی وزن و f_R نیروی اصطکاک وارد بر چرخ عقب است.

مشاهده و بررسی نیروی اصطکاک افقی

وضعیت: یک سطل روی میز قرار دارد.

پرسش ۱. آیا بین سطح میز و زیر سطل نیروی اصطکاک وجود دارد؟

پرسش ۲. اگر پاسخ مثبت است، جهت نیروی اصطکاک وارد شده از سطح میز به زیر سطل چیست؟

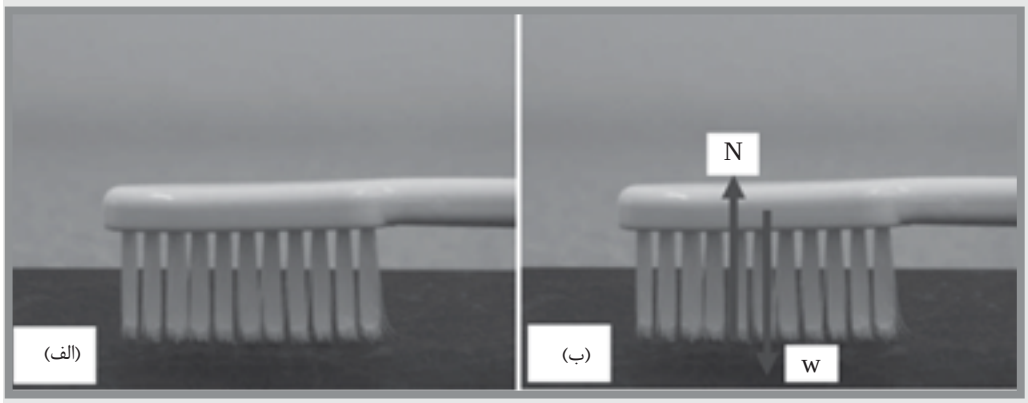
وضعیت: اکنون پسری مستقیماً به دیوارهٔ سطل فشار می‌آورد.

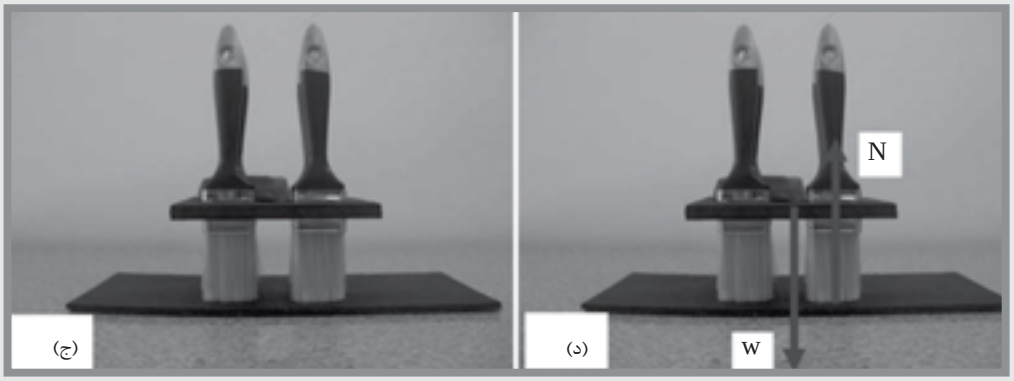
پرسش ۳. آیا نیروی اصطکاکی بین سطح میز و زیر سطل در شرایط زیر وجود دارد. (الف) وقتی سطل هنوز ساکن است (ب) وقتی سطل با سرعت ثابتی حرکت می‌کند؟

پرسش ٤. اگر پاسخ مثبت است، جهت نیروی اصطکاک وارده از سطح میز بر زیر سطل چیست؟

این پرسش‌ها ذهن دانش‌آموزان را به پیش‌بینی جهت نیروی اصطکاک مشغول می‌کند. پاسخ‌های دانش‌آموزان خلاصه‌نویسی و دسته‌بندی می‌شود. پس از آن ابزاری برای نشان دادن جهت نیروی اصطکاک افقی توضیح داده می‌شود.

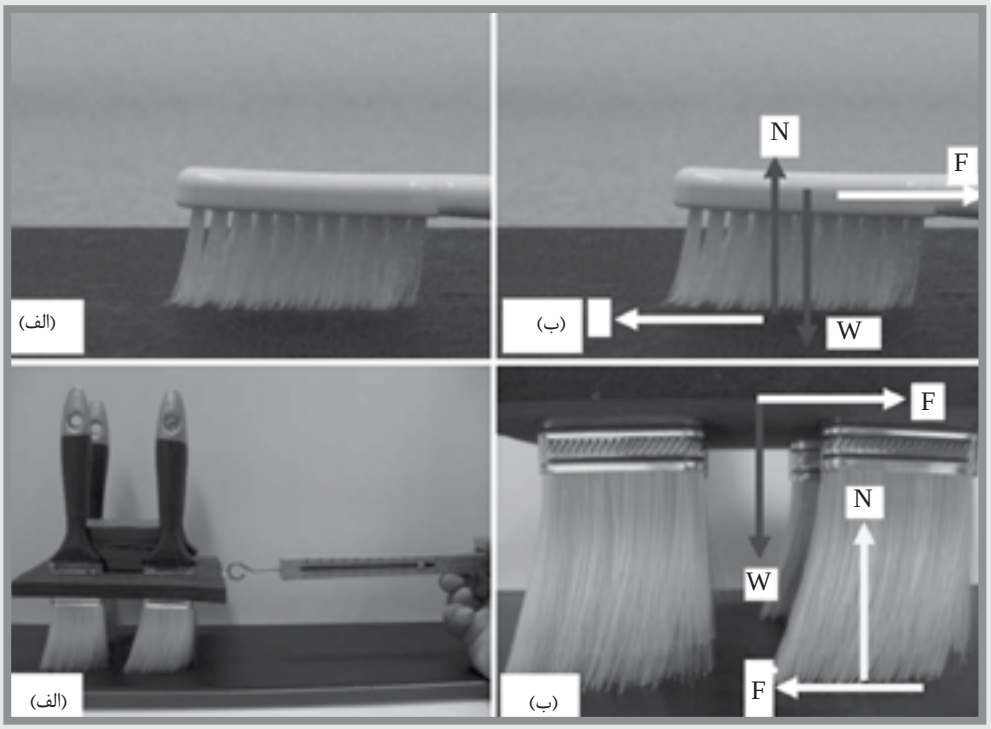
در ابتدا توجه دانش‌آموزان را به وجود نیروی اصطکاک جنبشی در هنگام مسواک زدن دندان‌ها جلب می‌کنیم. سپس یک مسواک را روی صفحهٔ پلاستیکی قرار می‌دهیم و دانش‌آموزان را به مشاهدهٔ موهای آن در ناحیهٔ تماس تشویق می‌کنیم (شکل ٦). موها آزادانه بر سطح صفحهٔ پلاستیکی قرار دارند. این نشان می‌دهد که هیچ نیروی خارجی در راستای افقی بر موها وارد نمی‌شود، و هیچ نیروی اصطکاکی بین سطح پلاستیکی و موها وجود ندارد.



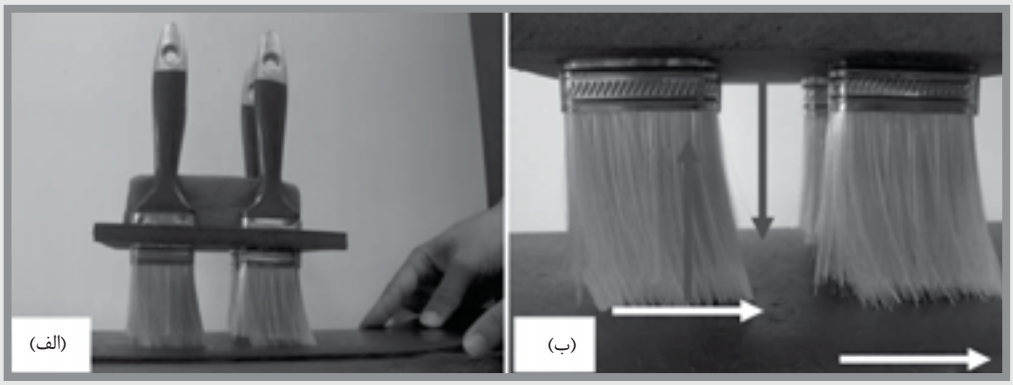


شکل ۶. (الف) موهای مسواکی که آزادانه بر روی یک سطح لاستیکی قرار دارد و شکل (ج) این وضعیت را برای قلم‌موهای نقاشی نشان می‌دهد. بردارهای نیروی وارد بر فرچه‌ها در شکل‌های (ب) و (د) نشان داده شده است، که در آن وزن= W، نیروی عمودی= N است. نیروی اصطکاک در هیچ یک از وضعیت‌ها وجود ندارد.

سپس مسواک را روی سطح پلاستیکی به عقب می‌کشیم (شکل ۷ (الف) و (ب)). دانش‌آموزان متوجه کج‌شدن موها در ناحیهٔ تماس می‌شوند، و با توصیف بردارهای نیروی وارد بر آن موضوع را پی‌گیری می‌کنند. برای بررسی دقیق‌تر، توضیح‌ها را با استفاده از قلم‌موهای نقاشی با موهای بلندتر و نرم‌تر تکرار می‌کنیم. و یا از مجموعه‌ای از قلم‌موها (چهار قلم‌مو که در یک وضعیت ایستاده به هم وصل شده‌اند) (شکل ۷ (ج)) استفاده می‌کنیم. از دانش‌آموزان می‌خواهیم تا با این دستگاه بازی کنند. آن‌ها با یک نیروسنج، قلم‌موها را با یک نیروی ثابت به سمت راست می‌کشند و هم‌زمان مشاهده می‌کنند که برای موها چه اتفاقی می‌افتد. هنگامی که قلم‌موها هنوز به حالت سکون قرار دارند، باید یک نیروی مقاوم وجود داشته باشد. این نیرو، اصطکاک بین سطح پلاستیکی و قلم‌موها است. اندازهٔ نیروی اصطکاک با اندازهٔ نیروی کششی برابر است. جهت نیروی اصطکاک مؤثر بر سر برس‌ها به سمت چپ است (شکل ۷ (د)).



شکل ۷. دانش‌آموزی مسواک را روی سطح پلاستیکی به سمت راست می‌کشد (الف). دانش‌آموزی قلم‌موی نقاشی را به وسیلهٔ نیروسنج با نیروی ثابت روی سطح پلاستیکی می‌کشد. (ج) سر بُرس‌ها در مسواک و همچنین در قلم‌مو برای مدتی به صفحهٔ پلاستیکی گیر می‌کند، زیرا اصطکاکی که از طرف صفحهٔ پلاستیکی به سر موها وارد می‌شود به سمت چپ است. این مطلب با انحراف سر موها به سمت چپ اثبات می‌شود. بردارهای نیروی وارد بر موها در شکل‌های (ب) و (ج) نشان داده شده‌اند، که در آن وزن= W، نیروی عمودی= N، نیروی کشنده= F و نیروی اصطکاک= f



شکل ۸. دانش‌آموزی صفحهٔ پلاستیکی را به سمت راست می‌کشد. (الف) در ناحیهٔ تماس، سرهای بُرس با حرکت صفحه، تحت تأثیر نیروی اصطکاک به سمت راست حرکت می‌کنند. نیروی اصطکاک وارد از صفحهٔ پلاستیکی به نوک بُرس‌ها به طرف راست است. این را نوک بُرس‌ها نشان می‌دهند. نمودار جسم آزاد بُرس‌ها در شکل (ب) نشان داده شده است، که در آن وزن = W، نیروی قائم = N، نیرویی که صفحه پلاستیکی را می‌کشد = F، نیروی اصطکاک = f

در پایان، دانش‌آموزان را به مقایسهٔ نیروهای اصطکاک وارد به سر موها، وقتی موها کشیده می‌شوند (فعالیت قبلی) با وضعیتی که صفحهٔ پلاستیکی با یک نیروی ثابت به سمت راست کشیده می‌شود ترغیب می‌کنیم. وقتی صفحهٔ پلاستیکی به سمت راست کشیده می‌شود، سر موها هم به سمت راست منحرف می‌شوند (شکل ۸ (الف)). این نشان می‌دهد که نیروی اصطکاک وارد به سر موها به سمت راست است (شکل ۸ (ب)).

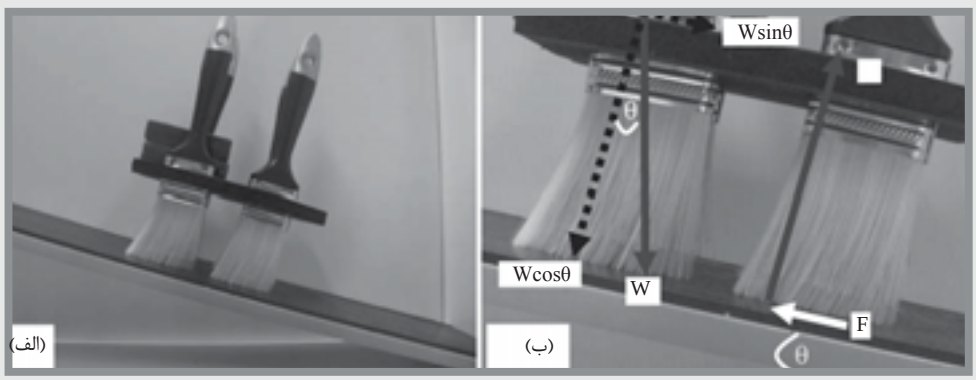
مشاهده و بررسی نیروی اصطکاک روی یک سطح شیب‌دار

وضعیت: پسری روی الاکلنگ نشسته است.

پرسش ۱: وقتی الاکلنگ پسر را بالا می‌برد، آیا نیروی اصطکاک از سطح الاکلنگ بر او وارد می‌شود؟

پرسش ۲: اگر پاسخ مثبت است، نیروی اصطکاک در چه جهتی بر پسر وارد می‌شود؟

برای کمک به مشاهدهٔ جهت نیروی اصطکاک برای دانش‌آموزان در این نمونه و وضعیت‌های مشابه در زندگی واقعی، یک انتهای صفحهٔ پلاستیکی را به آرامی بالا می‌بریم تا سطح شیب‌داری تشکیل شود البته زاویه شیب باید به اندازه‌ای باشد که قلم‌موها در همان موقعیت بمانند و سر نخورند (شکل ۹ (الف)). همان‌طور که در شکل (۹ (ب)) نشان داده شده است، جهت نیروی اصطکاک وارد بر سر موها به سمت بالاست.



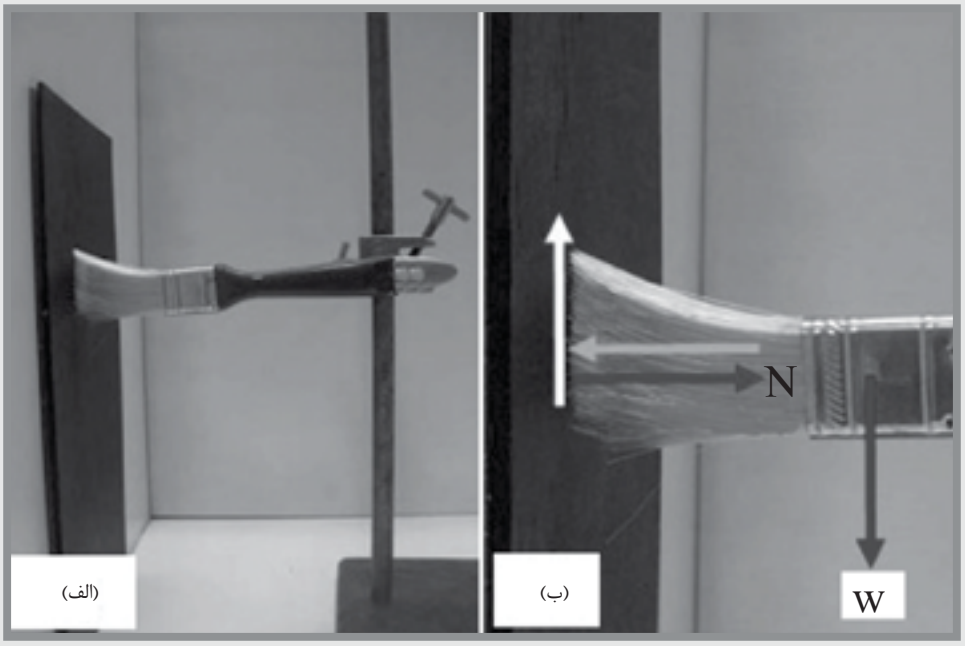
شکل ۹. یک دانش‌آموز برای تشکیل سطح شیب‌دار انتهای چپ صفحهٔ پلاستیکی را به آرامی بالا می‌برد. (الف) موها به علت تعادل بین مؤلفهٔ موازی با سطح نیروی وزن و نیروی اصطکاک، در همان مکان می‌مانند. انحراف سر موها نشان می‌دهد، جهت نیروی اصطکاک، ناشی از سطح بالایی صفحهٔ پلاستیکی که بر سر قلم‌موها اثر می‌کند، به موازات سطح شیب‌دار و بالاسو است. بردارهای نیروی وارد بر موها در شکل (ب) نشان داده شده است که در آن وزن= W، نیروی عمودی= N، نیروی اصطکاک= f، زاویهٔ شیب= θ

وضعیت: فردی یک لیوان شیشه‌ای را بدون آن‌که از دستش لیز بخورد با سرعت ثابت بالا می‌برد.

پرسش ۱: آیا نیروی اصطکاک بین سطح لیوان و انگشت شست وجود دارد؟

پرسش ۲: اگر پاسخ مثبت است، جهت نیروی اصطکاک وارد از انگشت شست بر سطح لیوان چیست؟

ابزار ما برای این فعالیت یک قلم‌مو است که به کمک یک چوب غذاخوری چینی روی پایه‌ای به صورت افقی معلق است. قلم‌مو می‌تواند آزادانه بر یک سطح عمودی تاب بخورد و حرکت کند. سر قلم‌مو را به آرامی با یک صفحهٔ پلاستیکی عمودی تماس می‌دهیم (شکل ۱۰ (الف)).



شکل ۱۰. یک قلم‌موی نقاشی به کمک یک چوب غذاخوری چینی که به صورت افقی در یک پایه گیر کرده معلق نگه داشته شده است. چوب غذاخوری به قلم‌مو امکان می‌دهد تا دور یک محور افقی بچرخد. قلم‌مو را به آرامی با صفحهٔ پلاستیکی تماس می‌دهیم (الف). سر فرچه به دلیل اصطکاک نمی‌تواند به سمت پایین حرکت کند. نیروی اصطکاکی که از سوی سطح صفحهٔ پلاستیکی بر سر قلم‌مو اثر می‌کند بالاسو است. این موضوع توسط جهت سر قلم‌مو نشان داده شده است. بردارهای نیروی وارد بر قلم‌مو در شکل (ب) نشان داده شده است، که در آن وزن= W، نیروی عمودی= N، نیروی فشارنده= F و نیروی اصطکاک= f

دور محور صفر است، زیرا گشتاور ناشی از وزن موها (W) با اندازهٔ گشتاور نیروی اصطکاک (f) وارد از سطح پلاستیکی به سر قلم‌موی نقاشی برابر است. دو گشتاور اثر یکدیگر را خنثی می‌کنند.

سپس دانش‌آموزان را به مسئلهٔ بالا بردن لیوان باز می‌گردانیم، آن‌ها می‌توانند مشاهده کنند که نیروی اصطکاک بالاسو از انگشت شست بر سطح لیوان وارد می‌شود.

علت استفاده از بُرس این است که سر موها به وضوح جهت نیروهای اصطکاک را نشان می‌دهند. خیلی مهم است که هر آزمایش با رسم بردارهای نیروی وارد بر جسم

دانش‌آموزان به انحراف موها در ناحیهٔ تماس توجه می‌کنند. سر موها بر اثر سنگینی و وزنش به سمت پایین کج نمی‌شود، زیرا نیروی اصطکاک بین سر موها و صفحهٔ پلاستیکی با حرکت آن مخالفت می‌کند. جهت این نیروی اصطکاک بالاسو است.

از رسم نمودار نیروها در این روش می‌توان برای رفع اشکال مفهومی دانش‌آموزان در درک این‌که اندازهٔ نیروی اصطکاک برابر است با حاصل‌ضرب نیروی عمودی در ضریب اصطکاک استفاده کرد. در این وضعیت گشتاور خالص به همراه باشد. این ابزارها به دانش‌آموزان کمک می‌کند تا نیروی اصطکاک را قابل مشاهده سازند. و جالب اینجاست که برخی از دانش‌آموزان از بُرس‌ها برای پیداکردن جهت نیروی اصطکاک در دیگر موارد استفاده کرده‌اند.

یافته‌ها نشان می‌دهند که این ابزار جدید و با ارزش، به معلمانی که کوشش می‌کنند تا دانش‌آموزان جهت نیروی اصطکاک را درک کنند، کمک مهمی می‌کند.

مرجع

PHYSICS EDUCATION, November 2010