درس‌دادن ما و یادگرفتن دانشجویان- ناسازگاری؟

لیلیان سی. مک‌درمات

ترجمه‌ی امیرمسعود پورموسی

ampbox@gmail.com

در ۱۵ سال اخیر شمار فزاینده‌ای از فیزیکدان‌ها به رشد و توسعه‌ی شاخه‌ی جدیدی از پژوهش‌ها کمک کرده‌اند؛ یعنی آموزش و یادگیریِ فیزیک. هم‌اینک منبع ارزشمندی از اطلاعات مستند در بسیاری از پژوهش‌های منتشر شده در این زمینه وجود دارد. پس منطقی است که بپرسیم که آیا ما از این مجموعه‌ی تجربیات چیزی یاد گرفته‌ایم تا به تلاش‌های فعلی برای ایجاد تحولی خلاقانه در آموزش دروس پایه کمک کند؟ نتیجه‌ی پژوهش‌ها نشان می‌دهد که در همه‌ی سطوح آموزش، تفاوت آن‌چه که آموزش داده می‌شود و آن‌چه که آموخته می‌شود، اغلب بیشتر از آن چیزی است که آموزگاران فکر می‌کنند. این اختلاف یک پرسش را به ذهن می‌آورد: آیا میان شیوه‌ی درس دادنِ ما و شیوه‌ی یادگرفتنِ دانشجویان ناسازگاری وجود دارد؟

۱. رویکرد سنتی به آموزش

آموزش فیزیک پایه به طور سنتی بر پایه‌ی نگاه آموزگار به موضوع درس، و شناخت او از دانشجو شکل گرفته است. بیشتر استادان فیزیک دوست دارند که «دانش» و «اشتیاق» را با هم به دانشجو منتقل کنند. آنها امیدوارند که دانشجویان‌شان نه‌تنها اطلاعات و مهارت‌های خاصی را فرابگیرند، بلکه زیبایی و قدرتی را نیز که فیزیک‌پیشه‌ها در فیزیک می‌بینند، تصدیق کنند. آنها در حالی که پس از روزها، ماه‌ها و یا سال‌ها تلاشِ ذهنی، بینش دقیقی به دست آورده‌اند، می‌خواهند آن را به دانشجویان هم انتقال دهند. استادان برای این‌که دانشجویان‌شان مجبور به تحمل همان زحمات نباشند، همه‌چیز را از بالا به پایین درس می‌دهند؛ یعنی از حالت کلی به موارد خاص. اغلب هنگام معرفی موضوع، حالت کلی و تعمیم‌یافته‌ی آن به طور کامل فرمول‌بندی می‌شود. دانشجویان در فرایند انتزاعی‌ساختن و تعمیم‌دادن مشارکت ندارند. استدلال استقرایی بسیار کم به کار می‌رود و تقریباً همه‌ی استدلال‌ها قیاسی (استنتاجی) هستند. استادان اصول کلی را بیان می‌کنند و کاربرد آنها در چند مثال خاص نشان می‌دهند و با این روش انتظار دارند که دانشجویان یاد بگیرند که چگونه در وضعیت‌های جدید همین کار را انجام دهند.

بسیاری از استادان وقتی به یاد می‌آورند که تجربه‌هایشان در درس‌های فیزیک پایه چقدر الهام‌بخش بود، دوست دارند فکر کنند که دانشجویان هم نسخه‌های جوان‌ترِ خودشان هستند. در واقع این طرز فکر فقط برای تعداد بسیار کمی از دانشجویان صدق می‌کند. برای مثال در امریکا از هر ۳۰ دانشجویی که فیزیک پایه را می‌گذراند، حداکثر یک نفر در این رشته ادامه‌ی‌تحصیل می‌دهد. مشکل رویکرد سنّتی، نادیده‌گرفتن این امکان است که قوّه‌ی درک دانشجویان بسیار متفاوت از استاد باشد. احتمالاً بیشتر دانشجویان آماده نیستند یا نمی‌توانند فیزیک را آن‌گونه که درس داده می‌شود یاد بگیرند.

۲. چند اصل کلّی در یاددادن و یادگرفتن

اصل‌هایی که در زیر می‌آیند برپایه‌ی نتایج پژوهش‌هایی هستند که در زمینه‌ی آموزش فیزیک به دست آمده‌اند [۱]. مدارکی که برای این اصل‌ها ذکر می‌شوند از مقاله‌هایی گرفته شده‌اند که درپژوهش‌های «گروه آموزش فیزیک» در دانشگاه واشنگتن به آنها ارجاع داده شده‌است. با این حال، یافته‌های سایر پژوهشگران نیز نتایج مشابهی را به‌دست می‌دهد [۲]. همچنین استادانِ باتجربه‌ای که میزان فهم دانشجویان را با روش‌های غیررسمی بررسی کرده‌اند، به همین نتایج رسیده‌اند [۳].

آ) مهارت در حل مسئله‌های کمّی، لزوماً نشانه‌ی فهم کاربردی نیست. (پرسش‌هایی که مستلزم استدلال کیفی و توضیحات شفاهی‌اند، ضروری هستند.)

در فرایند آموزش فیزیک، ملاکی که معمولاً برای اندازه‌گیری میزان تسلط بر موضوع از آن استفاده می‌شود، حل کردن مسئله‌های کمّیِ متعارف است. همان‌طور که نمره‌های

دوره‌های آموزشی نیز نشان می‌دهند، دانشجویانی که یک درس پایه‌ی عادی را می‌گذرانند، به نحو رضایت‌بخشی می‌توانند این‌گونه مسائل را حل کنند. ولی آنها معمولاً به فرمول‌هایی که حفظ کرده‌اند وابسته هستند و درک عملی از فیزیک به‌دست نمی‌آورند؛ یعنی نمی‌توانند برای به‌کار بردن مفهوم‌های مناسب و اصل‌های فیزیکی در موقعیت‌های جدید، به‌خوبی استدلال کنند. این موضوع را با دو مثال از دینامیک و الکتریسیته نشان می‌دهیم.

۱. مثالی از دینامیک: قضیه‌های ضربه-تکانه* و کار- انرژی

در یک بررسی که سال‌ها پیش انجام دادیم، می‌خواستیم بدانیم که آیا دانشجویان می‌توانند قضیه‌های ضربه-تکانه و کار-انرژی را در مورد یک حرکت ساده - که برایشان نمایش داده می‌شد- بکار ببرند یا خیر. حرکت به وسیله‌ی واردکردن یک نیروی ثابت به دو جسم با جرم‌های متفاوت، در یک مسافت یکسان ایجاد می‌شد. از دانشجویان خواسته شده بود که تکانه و انرژی جنبشی نهایی دو جسم را با هم مقایسه کنند. بدون هیچ محاسبه‌ای می‌شد گفت که جسم سنگین‌تر تکانه‌ی بیشتری کسب خواهد کرد و هر دو جسم انرژی جنبشی یکسانی خواهند داشت. تنها چیز لازم، فهمیدن رابطه‌ی بین ضربه و تکانه و همچنین رابطه‌ی کار و انرژی بود. به عنوان پاسخ درست، هم یک مقایسه‌ی صحیح و هم یک استدلال مناسب خواسته شده بود.

داده‌ها از راه مصاحبه‌های شفاهی انفرادی جمع‌آوری شد. ۲۸ دانشجویی که در این بررسی شرکت کردند، دو گروه بودند: یک گروه از دانشجویان ممتاز یک کلاس فیزیک که مبتنی بر حسابان** بود؛ و یک گروه ازدانشجویان عادی از یک کلاس فیزیک که بر پایه ی جبر*** بود. پاسخ‌ها از جستجوی بی هدف فرمول‌ها تا تلاش‌های آگاهانه برای به‌کار بردن قضیه‌ها متغیر بود. تنها عده‌ی کمی از دانشجویان گروه اول توانستند در همان آغاز پاسخ‌های راضی‌کننده‌ای ارائه بدهند و بیشتر دانشجویان این گروه با راهنمایی‌های قدم به قدم، سرانجام موفق شدند. اما حتی با وجود راهنمایی، تقریباً هیچ یک از دانشجویان کلاس مبتنی بر جبر نتوانستند از مفهوم‌های ضربه و کار برای یک مقایسه‌ی درست استفاده کنند. وقتی نسخه‌ی کتبیِ همین کار در مورد دانشجویان عادی یک کلاس مبتنی بر حسابان انجام گرفت، همین مقدار عدم موفقیت مشاهده شد. از میان همه‌ی اشتباهات، بیشتر دانشجویان در درک روابط علت و معلولی نهفته در قضیه‌ها ضعف داشتند. به نظر می‌رسید که بعضی از آنها با نماد "=" به شکل یک رابطه‌ی صرفاً ریاضی برخورد می‌کردند که در آن متغیرها هر مقداری می‌توانند داشته باشند، با این شرط که تساوی برقرار بماند.

۲. مثالی از الکتریسیته: مدارهای الکتریکی

ما در مدت چندین سال درک دانشجویان را از مدارهای الکتریکی بررسی می‌کردیم. یک مسئله که ثابت شده است می‌تواند اشکالات رایج دانشجویان را نمایان کند به قرار زیراست: سه مدار را که شامل لامپ‌های یکسان و باتری‌های ایده‌آل هستند در نظر بگیرید؛ مدار اول یک لامپ دارد؛ مدار دوم دو لامپ متوالی و مدار سوم دو لامپ موازی. از دانشجویان خواسته می‌شود که این پنج لامپ را برحسب شدت روشنایی رده‌بندی کنند و استدلال خود را توضیح دهند. این مقایسه به هیچ محاسبه‌ای نیاز ندارد. یک مدل کیفی ساده که درآن شدت روشنایی به جریان یا اختلاف پتانسیل مربوط باشد، کافی است.

ما این کار را بر روی بیش از ۵۰۰ دانشجو انجام دادیم. تقریباً هر ترتیبی برای روشنایی لامپ‌ها به‌دست آمد. چه پیش از تدریس و چه پس از آن، فقط حدود ۱۵٪ از دانشجویان یک کلاس نوعیِ مبتنی بر حسابان توانستند ترتیب صحیح را بیان کنند. همین بررسی بر روی دبیران دبیرستان و بر روی استادانی از دانشگاه که ریاضیات یا علوم دیگری درس می‌دادند نیز انجام گرفت و نتایج مشابهی به‌دست آمد. بسیاری از کسانی که قادر نبودند لامپ‌ها را به درستی رده‌بندی کنند، می‌توانستند برای حل مسئله‌های پیچیده‌تر، قوانین اهم و کیرشهف را به کار ببرند. از قرار معلوم، توانایی در حل‌کردن مسئله‌های متعارف شاخص معتبری برای درک کاربردی نیست.

---

* قضیه ای که بیان می کند انتگرال زمانی نیرو (ضربه) برابر تغییر تکانه است.

** Calculus-based physics

*** Algebra based physics

ب) یک چارچوب ذهنی منسجم معمولاً نتیجه‌ی آموزش سنتی نیست. (دانشجویان باید در فرآیند ساختن مدل‌های کیفی شرکت کنند تا بتوانند رابطه‌ها و تفاوت‌های مفاهیم را بفهمند.)

شاید جدی‌ترین مشکلی که ما تشخیص داده‌ایم، ناتوانی دانشجویان در ادغام کردن مفاهیم مربوط به هم در یک چارچوب منسجم است. معمولاً فرمول‌ها به شکل طوطی‌وار به‌کار می‌روند و مسئله‌های متعارف را گاهی می‌شود با عملیات ریاضیِ صرف حل کرد. اما برای به‌کاربردن یک مفهوم در شرایط گوناگون، دانشجویان نه تنها باید بتوانند آن مفهوم را تعریف کنند، بلکه بایدآن را به دیگر مفاهیم نیز مربوط سازند. به علاوه آنها باید بتوانند یک مفهوم را از مفاهیم مرتبط تمیز دهند.

مسئله‌ی رده‌بندی کردن روشنایی لامپ‌ها نخستین بار سال‌ها پیش در یک امتحان درسی در یک کلاس مبتنی بر حسابان اجرا شد. نداشتن یک مدل مفهومی که پیش‌بینی‌ها بر اساس آن صورت بگیرد، باعث شد که بیشتر دانشجویان به شهود یا به فرمول‌ها تکیه کنند. حدود ۴۰٪ از دانشجویان مقاومت معادل مدارهای متوالی و موازی را با محاسبه‌ی جبری به‌دست آوردند و با قراردادن در فرمول توان مصرفیِ یک مقاومت، نتایج را به روشنایی هر لامپ جداگانه در شبکه‌ی متوالی یا موازی نسبت دادند. اشتباهاتی از این دست نشان‌دهنده‌ی ناتوانی در فرق‌گذاشتن بین دو مفهوم مرتبط است: مقاومت یک عنصر و مقاومت معادل شبکه‌ای که آن عنصر را در خود دارد.

یک راهکار آموزشی کلی که به دانشجویان در مرتبط ساختن مفاهیم الکتریکی و تمیز دادن آنها از یکدیگر کمک می‌کند این است که آنها را فعالانه در فرآیند ذهنیِ ساختن یک مدل کیفی برای مدارهای الکتریکی درگیر کنیم. این مدل بر پایه‌ی مشاهده‌های دانشجو از رفتار لامپ‌ها و باتری‌ها، و ترجیحاً در خلال آزمایش‌هایی که خودش انجام می‌دهد، شکل می‌گیرد.

تجربه نشان داده است که تأکید بر شکل‌گیری مفاهیم و مدل‌سازی، لطمه‌ای به انجام مسئله‌های کمّی وارد نمی‌کند. یک استاد برای این که به دانشجویان یاد بدهد که چگونه مسئله حل کنند باید این موضوع را صریحاً به آنها درس بدهد. اما یک بار که این کار را کرد، اغلب دانشجویان از فکر کردن به «فیزیک»ی که در مسئله‌ها وجود دارد اجتناب می‌کنند. یک روش مؤثر این است که استفاده از فرمول‌های جبری را تا وقتی که یک مدل کیفی مناسب شکل نگرفته است، به تعویق بیندازیم. هرچند که با این روش زمان کمتری صرف حل کردن مسئله‌های عددی می‌شود، نتیجه‌ی امتحان‌ها نشان می‌دهند که دانشجویانی که ازاین راه یادگرفته‌اند، بهتر از دیگران مسئله‌های کمّی را حل می‌کنند و بسیار بهتر از دیگران به پرسش‌های کیفی پاسخ می‌دهند.

پ) بعضی از مشکلات مفهومی با آموزش سنتی قابل حل نیستند. (مشکلات مفهومی عمیق با طرح کردن مسئله‌های چالش‌برانگیز - در زمینه‌های مختلف- به دقت برطرف شوند.)

بعضی از مشکلات دانشجویان درخلال آموزش معمولی خودبه‌خود حل می‌شوند. اما برخی دیگر به سختی از بین می‌روند. این مشکلات اگر جدی باشند، ممکن است در فرآیند یادگیری مانع ایجاد کنند. هر چند که شاید روی انجام مسئله‌های محاسباتی تأثیر نگذارند. یکی از این مشکلات رایج که به تحقیقات نشان داده که به سختی از بین می‌رود، این باور شهودی است که جریان در مدار «مصرف می‌شود.»

مشکلات خیلی اساسی با تصریح استاد حل نمی‌شوند. برای این که نگرش مفهومی دانشجو به درستی تغییر کند آموزش فعال ضروری است. یک راهکار آموزشی که برای ایجاد مشارکت فکری در دانشجو مؤثر یافته‌ایم این است که یک تناقض مفهومی ایجاد کنیم و از او بخواهیم که آن را برطرف کند. معمولاً قدم اول این کار نمایان کردن یک مشکل احتمالی از طریق ایجاد وضعیتی است که گمان می‌کنیم دانشجو در آن مرتکب اشتباه می‌شود. پس از این که مشکل شناسایی شد، استاد باید مصرانه از دانشجو بخواهد که با مشکل مواجه شود و آن را برطرف کند. دانشجویان بر خلاف فیزیکدان‌ها ممکن است بخواهند با تناقض‌ها مدارا کنند.

یک بار بحث کردن برای غلبه بر یک مشکل جدی به ندرت کفایت می‌کند. دانشجویان در همه‌ی وضعیت‌ها یک جور اشتباه نمی‌کنند؛ محتوا ممکن است خیلی تأثیرگذار باشد. اگر آن‌ها در حالت‌های مختلفی که در آن امکان اشتباه خاصی وجود دارد، درگیر نشده باشند، ممکن است فقط جواب را در یک حالت خاص حفظ کنند. برای جمع‌کردن عقاید خلاف شهود در یک چارچوب منسجم، آن‌ها به زمان نیاز دارند تا مفهوم‌های مشابه و استدلال‌ها را در وضعیت‌های مختلف به‌کار ببرند، از این تجربه‌ها تأثیر بپذیرند و آن‌ها را تعمیم دهند.

ت) رشد قدرت استدلال، معمولاً با آموزش سنتی حاصل نمی‌شود. (مهارت‌های استدلال علمی باید به دقت پرورش داده شوند.)

یک عامل مهم در مشکلاتی که دانشجویان با بعضی از مفاهیم دارند، ناتوانی در انجام استدلال‌های کیفی است که ممکن است برای به‌کار بردن مفاهیم لازم باشد. مشکلات مفهومی و مشکلاتی که به استدلال مربوطند، معمولاً جدایی ناپذیرند. یک اشتباه، ممکن است نشانه یک مشکل مفهومی یا استدلالی و یا ترکیبی از هر دو باشد.

ناتوانی در تفکر کل‌نگر در بررسی سیستم‌های مرکب، یکی از انواع مشکلات استدلالی است که به سختی می‌توان آن را از اشتباه مفهومی جدا کرد. برای مثال، در پیش‌بینی روشنایی لامپ‌ها در سه مدار - که قبلاً گفته شد- دانشجویان اغلب فقط ترتیب لامپ‌ها را در یک ردیف در نظر می‌گرفتند. بسیاری گفتند که اولین لامپ در مدار متوالی از همه روشن‌تر است. این اشتباه ناشی از تصور غلط «مصرف‌شدن» جریان در مدار و نیز استفاده‌ی نادرست از استدلال ترکیبی است. در سیستم‌هایی که بین اجزایشان برهم‌کنش وجود دارد، مثل عناصر یک مدار الکتریکی، غیر ممکن است که بتوانیم رفتار یک عنصر را بدون در نظر گرفتن اثر عنصرهای دیگر پیش‌بینی کنیم. با این حال بسیاری از دانشجویان به جای در نظر گرفتن کل مدار، در هر لحظه فقط به یک لامپ خاص توجه می‌کردند. آنها شاید می‌توانستند برای پایستگی جریان یک معادله بنویسند، ولی نمی‌توانستند از آن در یک مسئله‌ی کیفی استفاده کنند.

پیش‌بینی اثر یک تغییر بر یک مدار به استدلال کل‌نگر هوشیارانه‌تری نیاز دارد. در یک مسئله، مداری به دانشجویان نشان داده شد که در آن یک شبکه با دو شاخه‌ی موازی، به طور متوالی به لامپ‌های دیگری متصل شده بود [۵]. از دانشجویان خواسته شده بود که بگویند در صورت حذف کردن یکی از دو شاخه‌ی موازی، روشنایی لامپ در شاخه‌ی دیگر چه تغییری خواهد کرد. یک پاسخ رایج این بود که روشنایی تغییری نمی‌کند. توضیحی که داده می‌شد اغلب این بود که لامپ جزئی از یک شبکه موازی است. دانشجویان هنگام بررسی جداگانه‌ی شاخه‌های موازی، تفاوت میان شبکه‌ی موازی‌ای که به باتری وصل شده است و شبکه‌ای که به جاهای دیگری متصل است را تشخیص نمی‌دادند. آنها به جای این که با استدلال کیفی، سازگاری پیش‌بینی‌هایشان را با دانسته‌هایشان از جریان و ولتاژ بیازمایند، به قانونی تکیه کردند که آن را به نادرستی حفظ کرده بودند.

آموزش سنتی به جای ازبین بردن، تقویت‌کننده‌ی این تصور است که فیزیک مجموعه ای از حقایق و فرمول‌هاست. دانشجویان معمولاً متوجه نقش حساس استدلال در فیزیک نمی‌شوند و نمی‌دانند که ساختار یک توضیح چگونه است. آن‌ها به تمرینِ حل مسئله‌های کیفی و بیان دلیل‌ها نیاز دارند. اما بعید است که به تلاش در رشد استدلال علمی ادامه دهند، مگر اینکه ساختار دوره‌ی آموزشی، از جمله آزمون‌ها، بر اهمیت این موضوع تأکید کنند.

ث) معمولاً پس از آموزش سنتی، ارتباط بین مفاهیم، نمایش رسمی مفاهیم و دنیای واقعی به وجود نمی‌آید. (دانشجویان برای تفسیر فرمول‌بندی فیزیک و ربط دادن آن به دنیای واقعی، به تمرین‌های پی درپی نیاز دارند.)

دانشجویان معمولاً در ربط دادن مفاهیم و نمایش رسمی فیزیک به یکدیگر و به دنیای واقعی ناتوان هستند. ناتوانی در تفسیر معادلات، شکل‌ها و نمودارها نمایانگر بسیاری از مشکلات مفهومی و استدلالی است.

۱. مشکل با نمایش جبری مفاهیم: مثالی از دینامیک

عملکرد دانشجویان در مقایسه با استفاده از قضیه‌های کار-انرژی و ضربه-تکانه، نمایانگر مشکلاتی بود که آن‌ها اغلب در ربط دادن فرمول‌بندی جبری با مفاهیم فیزیک و با دنیای واقعی دارند [۱ و ۴]. در این آزمایش یک شرایط ساده‌ی فیزیکی ساخته می‌شود که درآن می‌توان قضیه‌های مربوطه را بکار برد. اما تعداد انگشت‌شماری از دانشجویان توانسته‌اند عبارات ریاضی موجود در قضیه‌ها را به حرکت ربط دهند.

۲. مشکل با نمایش تصویری مفاهیم: مثالی از اپتیک

در یک بررسی دیگر به دانشجویانی که اپتیک هندسی را گذرانده بودند، آزمایشی نشان داده شد که در آن یک جسم، یک عدسی همگرای نازک و یک تصویر وارونه روی پرده وجود داشت [۶]. یکی از سؤال‌ها این بود که با پوشاندن نیمی از عدسی چه اتفاقی خواهد افتاد. بیشتر دانشجویان گفتند که با این کار نیمی از تصویر محو خواهد شد. شکل‌هایی که آنها از

پرتوها می‌کشیدند، گاهی باعث تقویت این شهود نادرست می‌شد. دو تا از پرتوهای ویژه معمولاً مسدود نشان داده می‌شدند. دانشجویان در تفسیر شکل‌هایشان می‌گفتند که این پرتوها برای تشکیل تصویر ضروری‌اند؛ نه این که فقط برای مشخص شدن جای تصویر مفیدند.

۳. مشکل با نمایش نموداری مفاهیم: مثالی از سینماتیک

درک دانشجویان از نمودارهای حرکت یکی از موضوعات پژوهشی درازمدت در گروه ما بوده است [۷ و ۸]. در یک مسئله از این مطالعه‌ای که هنوز ادامه دارد، یک توپ به دانشجویان نشان داده می‌شود که روی شیاری می‌غلتد؛ به همراه توضیحی به این مضمون: توپ روی قسمت افقی اول مسیر با سرعت ثابت حرکت می‌کند، با پایین‌آمدن از قسمت شیب‌دار سرعتش زیاد می‌شود و سپس با سرعت ثابت بیشتری روی قسمت دیگر به حرکتش ادامه می‌دهد. به دانشجویان می‌گوییم که مکان در امتداد شیار اندازه گیری می‌شود و از آن‌ها می‌خواهیم که حرکت را با کشیدن نمودارهای مکان، سرعت و شتاب بر حسب زمان توصیف کنند. این مسئله به صدها دانشجو که سینماتیک خوانده بودند داده شد. تعداد بسیار کمی از دانشجویان کلاس عادی مبتنی بر حسابان نمودارهای درستی کشیدند.

ما مشکلات دانشجویان را در فرآیند معکوس نیز بررسی کردیم، یعنی تجسم حرکت با استفاده از نمودارهایش. یادگرفتن مهارت‌های نموداری ساده، مثل نشان‌دادن نقطه‌ها روی نمودار، خواندن مختصات و محاسبه‌ی شیب نمی‌توانند خودبه‌خود توانایی ربط دادن حرکت‌های واقعی و نمودارهایشان را ایجاد کنند. دانشجویان برای تبدیل کردن هردو به یکدیگر به تمرین نیاز دارند: هم از حرکت به نمودار و هم از نمودار به حرکت.

ج) برای بیشتر دانشجویان، درس دادن به وسیله حرف زدن روش تدریس بی حاصلی است. (دانشجویان برای بدست آوردن درک کاربردی باید فعالیت ذهنی داشته باشند.)

تمام مشکلات دانشجویان که درباره‌ی آنها بحث شد یک ویژگی مشترک دارند: موضوع درسی مورد نظر سخت نیست. بسیاری از استادان از دانشجویانی که مبحث مربوطه را گذرانده‌اند انتظار دارند که به سؤالاتی شبیه آن چه که شرح داده شد، پاسخ دهند. اما در هر مورد، دیدیم که درصد زیادی از دانشجویان نمی‌توانند استدلال ساده‌ای را که لازم است، انجام دهند. برای هر مسئله، نتیجه‌ی کار از یک کلاس سنتی به کلاس دیگر فرقی نداشت؛ و نیز فرقی نمی‌کرد که مسئله در چه مرحله‌ای از دوره‌ی آموزشی مطرح شود. همچنین به‌نظر نمی‌رسید که شرکت در کلاس آزمایشگاه مربوط به درس، تأثیری بر کیفیت کار دانشجویان بگذارد. از این گذشته، هیچ ارتباطی بین موفقیت دانشجویان و شهرت استاد درس به عنوان یک سخنران خوب وجود نداشت.

مشکلات دانشجویان در فیزیک معمولاً به خاطر این نیست که استاد نمی‌تواند مطلب را درست و واضح بیان کند. فرقی نمی‌کند که درس چقدر قابل فهم باشد یا استاد چقدر ماهر؛ در هر حال یادگیری واقعی فقط وقتی اتفاق می‌افتد که ذهن دانشجو فعال باشد. فقط کسانی از کلاس‌ها، کتاب‌های درسی و مسئله حل کردن خوب بهره می‌برند که دائماً درک خود را مورد تردید قرار می‌دهند، با مشکلات خود مواجه می‌شوند و در برطرف کردن آن‌ها پافشاری می‌کنند. بیشتر دانشجویانی که فیزیک پایه را می‌گذرانند، تا این حد در مطالعه‌ی موضوع به ذهن خودشان متکی نیستند. هر چند که شکل سنتی کلاس و آزمایشگاه معایبی دارد ولی وقتی تعداد دانشجویان زیاد است، شاید این تنها گزینه‌ی ممکن باشد. با این حال این روش تدریس نیز لزوماً به معنی یادگیری انفعالی نیست؛ روش‌های زیادی وجود دارد که استادان کلاس‌های پرتعداد می‌توانند به‌کارگیرند تا دانشجویان را به مشارکت فعال در یادگیری تشویق کنند.

۳. بهبود سازگاری بین یاددادن و یادگرفتن

اصل‌هایی که درباره‌ی آموزش و یادگیری ذکر شد از مطالعه بر روی میزان فهم دانشجویان از موضوعات فیزیک کلاسیک بدست آمده‌اند. با این حال ما معتقدیم که دامنه‌ی کاربرد آن‌ها گسترده است و باید در تلاش‌های فعلی در وارد کردن مباحث جدید و فن‌آوری روز به دوره‌ی پایه به آن‌ها توجه کرد.

فیزیکدان‌ها معمولاً فکر می‌کنند که مباحث فیزیک معاصر برای دانشجویان الهام‌بخش است. ولی تجربه‌ی ما این است که تعداد کمی از دانشجویان با مواجه‌شدن با مطالبی که نمی‌فهمند به شوق می‌آیند. در عوض این کار ممکن است موجب تقویت این باور شود که فیزیک برای بیشتر افراد بسیار سخت است. اشتیاق زیادی نیز به استفاده از کامپیوتر برای بهبود یادگیری دانشجویان در فیزیک - به‌ویژه فیزیک جدید-

وجود دارد. هرچند که بعضی‌ها به این موضوع خوشبین هستند، ولی به نظر ما احتیاط لازم است. موفقیت در انجام یک تکلیف کامپیوتری لزوماً به معنی مهارتی نیست که قابل انتقال به محیط‌های دیگر باشد. حتی یک برنامه‌ی بسیار تعاملی نیز نمی‌تواند در دانشجو تعهد ذهنی ایجاد کند که مفاهیم به خوبی پرورش بیابند.

شاید مهمترین کمکی که پژوهش در آموزش فیزیک به بهبود تدریس می‌کند، معطوف کردن توجه بیشتر به دانشجو است. موفقیت در افزودن مباحث فیزیک معاصر و فن‌آوری‌های پیشرفته به دوره‌های پایه، همان‌قدر که به چگونگی تدریس بستگی دارد، به آن‌چه که درس می‌دهیم نیز بستگی دارد. اگر می‌خواهیم بدانیم که دوره‌ی آموزشی‌ای که طراحی کرده‌ایم برای دانشجویان مناسب است یا نه، باید پژوهش انجام دهیم، هم در آموزش و یادگیری موضوعات قدیمی و جدید و هم با استفاده و بدون استفاده از کامپیوتر.

یادگیری واقعی، یعنی داشتن توانایی تفسیر و استفاده از آموخته‌ها در شرایطی متفاوت از آنچه در آغاز بدست آمده است، مستلزم فعال بودن ذهن دانشجویان است. فقط وقتی درک کاربردی شکل می‌گیرد که دانشجویان خودشان در استدلال‌هایی که برای به‌وجود آمدن و به‌کار بردن مفهوم‌ها لازم است، وارد شوند. به‌علاوه آن‌ها برای این که بتوانند مهارت استدلال کردن را که در یک موضوع به‌دست آورده‌اند، به موضوعات دیگر نیز منتقل کنند به فرصت‌های گوناگونی برای استفاده از آن مهارت نیاز دارند. کل این فرآیند به زمان نیاز دارد. پافشاری روی این مسئله به ناچار دو محدودیت ایجاد می‌کند: هم درگستردگی مباحثی که پوشانده می‌شود و هم در سرعت جلوبردن درس. مباحث جدید نمی‌توانند بدون حذف کردن مباحث دیگر اضافه شوند، انتخاب‌هایی باید انجام شود. اگر ما آموزشی را که منطبق بر نیازها و توانایی‌های دانشجویان باشد طراحی نکنیم، روزآمد کردن آموزش فیزیک پایه در بالا بردن توانایی ذهنی دانشجویان و ایجاد انگیزه در آن‌ها اثر کمی خواهد داشت.

منبع

"Guest Comment: How we teach and how students learn_A mismatch?," Lillian C. McDermott, Am. J. Phys. **61**(4), April 1993.

مراجع

۱. این اصل‌ها در یک سخنرانی کامل در همایش نیز ارائه شد:

"Teaching Modern Physics: Statistical Physics", Badajoz, Spain, July, 18-25, 1992

بحث مفصل‌تری در مقاله‌نامه‌ی همایش نیز آمده است.

۲. در همایشی که به تازگی فیزیکدان‌های فعال در امر آموزش و یادگیری درآن شرکت کردند، درباره‌ی درستی اصل‌ها توافق نظر کلی وجود داشت. همایش زیر که در دانشگاه تافت برگزار شد، کوچک ولی پایه‌ای بود:

"New Mechanics Conferences" Tufts University, Med ford, MA (August 6-8, 1992)

۳. مثلاً کتاب زیر را ببینید:

A. B. Arons, "A Guide of Introductory Physics Teaching", Willey, New York, 1990.

4. R. A. Lawson and L. C. McDermott, "Student understanding of the work-energy and impulse momentum theorems," Am. J. Phys. **55,** 811-817 (1987).

5. L. C. McDermott and P. S. Shaffer, "Research as a guide for curriclulum development: an example from introductory electricity, Part I: Investigation of student understanding," Am. J. Phys. **60,** 994-1003 (1992); P. S. Shaffer and L. C. McDermott, "Research as a guide for curriclulum development: an example from introductory electricity, Part II: Design of instructional strategies," Am. J. Phys. **60,** 1003-1013 (1992).

6. F. M. Goldbergand L. C. McDermott, "An investigation of student understanding of the real image formed by by a conveging lenz or concave mirror," Am. J. Phys. **55,** 108-119 (1887).

7. L. C. McDermott, M. L. Rosenquiist, and E. H. van Zee, "Student difficulties in connecting graphs and physics: Examples from kinematics," Am. J. Phys. **55,** 503-513 (1987).

8. L. C. McDermott, "What we teach and what is learned_Closing the gap," Am. J. Phys. **59,** 301-315 (1991).

Do not worry about your problems with mathematics; I assure you mine are far greater.

Albert Einstein