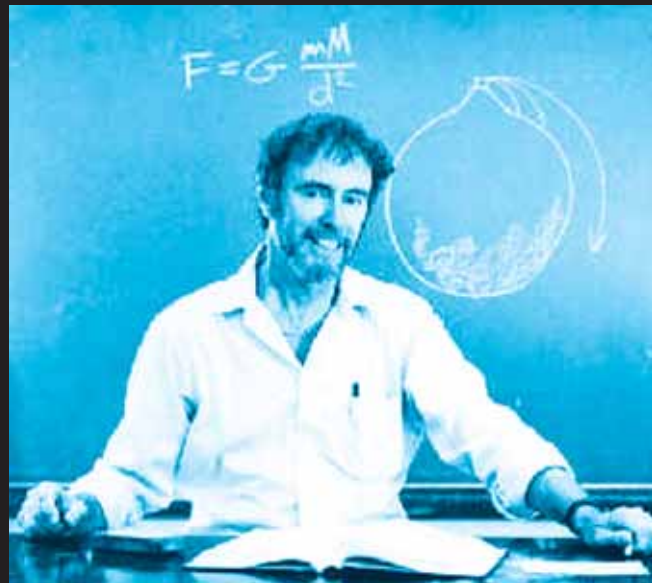


باز می‌شود و این برای تمام علاقه‌مندان به آموزش علوم به ویژه فیزیک در کشورمان می‌تواند بسیار امیدبخش و آموزنده باشد.

کلیدواژه‌ها: فیزیک مفهومی، آموزش به شاگردان غیر علوم، ارتباط فیزیک با زندگی، ویدئوی کلاس فیزیک، انجمن معلمان فیزیک آمریکا

وقتی در سال ۱۹۶۴ تدریس در سیتی کالج سانفرانسیسکو را شروع کردم، شیفته یک کتاب درسی سال ۱۹۶۰ با عنوان فیزیک برای ذهن کنجکاو شدم که فیزیک‌دان بریتانیایی اریک. ام. راجرز^۳ برای شاگردان رشته‌های غیر علوم نوشته بود. او در دانشگاه پرینستون تدریس می‌کرد و در سال ۱۹۶۹ برنده مدال اورستد انجمن معلمان فیزیک آمریکا شد. کتاب او به اندازه شخص خودش الهام‌بخش بود و مورد علاقه من باقی ماند. اما آرت اوستین^۴ رئیس گروه آموزشی‌ام درخواست من برای انتخاب این کتاب برای تدریس در کلاس را با این ادعا رد کرد که کتاب برای کسانی که باید آن را این طرف و آن طرف ببرند بسیار حجیم است. وزن آن بیش از پنج پوند و اندازه‌اش ۸×۱۱ اینچ مربع بود. به علاوه اوستین برای توجیه بیشتر برای رد آن، عناوینی را می‌یافت که در عین مهم بودن در کتاب وجود نداشتند. من دوست داشتم کتاب راجرز را تدریس کنم اما چنین نشد. من علاوه بر تدریس درس‌های مبتنی بر جبر و حسابان، فیزیک ۱۰، کالج فیزیک توصیفی، را هم برای رشته‌های غیرعلمی تدریس می‌کردم که به اسم کتاب درسی‌ای نام‌گذاری شده بود که هاروی وایت^۵ در دانشگاه کالیفرنیا در برکلی نوشته بود. فقط من و آرت این درس را تدریس می‌کردیم. سایر مربیان ترجیح می‌دادند درس‌هایی را برای



لذت نوشتن و تدریس فیزیک مفهومی

پل. جی. هیوئیت
مترجم: رضوانه طالبی پور

اشاره

بخش مهمی از پیشرفت فیزیک به شیوه‌های درست آموزش آن باز می‌گردد. استفاده از تجربه‌های معلمان موفق فیزیک می‌تواند به بهبود روش‌های آموزش بینجامد. در همین راستا به ترجمه مقاله‌ای از پل. جی. هیوئیت^۱ پرداخته‌ام که طرفدار شیوه مفهومی تدریس فیزیک است. او فیزیک‌دان، مؤلف، و کاریکاتورست آمریکایی متولد سال ۱۹۳۱ در ساگاس ماساچوست است و اکنون در سنت پترزبورگ فلوریدا اقامت دارد. روش تدریس او استفاده حداقل از ریاضی در آموزش فیزیک است. «فیزیک مفهومی» (دبیرستانی و دانشگاهی)، «تأمل در فیزیک» (کتابی که با استفاده از تصویرهای کارتونی مفاهیم علمی را بیان می‌کند). «علوم فیزیکی مفهومی» (با همکاری دخترش و سلی هیوئیت و دیگران) از آثار اوست. کتاب «فیزیک مفهومی برای همه» او کتابی است که برای مخاطب عام نوشته شده است. او اکنون ستون‌نگار ثابت مجله فیزیکز تیچرز^۲ است.

پل هیوئیت با لحنی صمیمانه و غیر رسمی، خاطرات و تلاش‌های خود برای آموزش فیزیک در چند دانشگاه آمریکا را شرح می‌دهد. تلاشی که در هر گام آن دری به سوی موفقیت

شاگردان علوم و مهندسی تدریس کنند. تدریس به شاگردان غیرعلوم در همان جهتی بود که آن را وظیفه خود - یعنی لذت بخش ساختن تاحد امکان آموزش فیزیک و کمک به شاگردان در جهت نگرستن به فیزیک به عنوان مطالعه ارزشمند قاعده‌های طبیعت - به حساب می‌آوردم. من با مقایسه اهمیت دانستن قاعده‌ها در ورزش یا حتی بازی‌های سرگرم کننده - که ندانستن آن‌ها باعث می‌شود که نتوانند از بازی لذت ببرند - با این قاعده‌ها آن‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دادم. برای فیزیک هم همین‌طور است - اگر اطلاعاتی درباره قاعده‌های طبیعت نداشته باشیم نمی‌توانیم دنیای اطراف خود را درک کنیم. اما هدف تدریس من بیش از همه این بود که نشان دهم علوم، به‌ویژه فیزیک، می‌تواند ذره‌بینی باشد که شاگردان به کمک آن نه تنها جهان را درک می‌کنند بلکه - برخلاف رواج بسیار فراگیر توصیفات شبه‌علمی و ضدعلمی - از آن سر در می‌آورند. این مربوط به زمانی می‌شد که خرده‌فرهنگ‌های زیادی علوم و فناوری را مسئول بسیاری از مشکلات جهان می‌دانستند. پیام من این بود که تصمیم‌های مبتنی بر علوم و فناوری برای آینده بهتر بشر بسیار ضروری هستند.

در ابتدای کار تدریس خود عهد کردم معلمی نباشم که در کلاس «بدبهبه‌سرای» کنم. ساعت‌های بسیاری را صرف آماده‌سازی یادداشت‌های مربوط به درس می‌کردم تا حتی الامکان به اوج فیزیک خوبی که می‌توانستم به آن دست یابم نزدیک باشد. من خجالتی بودم و برایم اهمیت داشت که آنچه در درس‌هایم بیان می‌کنم برای شاگردانم ارزشمند باشد. همچنین به «اضافه‌بار اطلاعات» که در دوره کارشناسی بر من تحمیل شده بود توجه داشتم، بنابراین هر درس را طوری تهیه می‌کردم که فقط بر چند و گاهی تنها بر یک موضوع، همراه با مثال‌های مربوط به زندگی واقعی تمرکز داشته باشد. من هم مثل تمام معلمان تازه‌کار اشتباه‌های زیادی کردم، اما با گذشت زمان یاد گرفتم. در سال اول، در توصیف حرکت در خلاف جهت باد، با درهم آمیختن بردارهای سرعت و نیرو مرتکب اشتباه‌های بدی شدم و در یک کلاس دیگر نقش سرعت در مقاومت هوا را نادیده گرفتم. خطاهای بیشتری هم داشتم، اما شما می‌دانید که یک جنبه بسیار خوب تدریس که در حرفه‌های دیگر وجود ندارد آن است که هر قدر که اشتباه کنیم شاگردان در ترم‌های بعد متوجه آن نمی‌شوند. اگر خطاهای خود را تصحیح کنیم انباشته نخواهند شد.

کار مهمی که برای بهبود کیفیت درس‌هایم کردم ضبط صحبت‌های خودم بر روی ضبطصوت کوچک و قابل حملی بود که در یک انتهای میز می‌گذاشتم. این موضوع بازخوردی از عملکردم در کلاس درس به دست می‌داد. گرچه گوش کردن به درس‌ها در خانه وقت گیر بود، اما می‌توانستم خطاهایم را تصحیح کنم و کیفیت درس را بهبود بخشیم. متوجه شدم که اغلب می‌گویم «خیلی خب». اما آنچه به نظر من خیلی خوب بود اغلب برای بیشتر شاگردان کلاس چنین

نبود. کشف مهم دیگر کشف عادت شروع یک موضوع، پرسش از کلاس بدون بازگشت به موضوع پس از پاسخ بود. (سال‌ها بعد وقتی ضبط تلویزیونی باب شد، بخش سمعی - بصری سیتی کالج پیشنهاد حیرت‌انگیزی به مربیان کرد: یک شاگرد تکنیسین نوار ویدئویی کلاس درس را تهیه می‌کند و آن را به مربی می‌دهد. لازم نیست کسی جز مربی این نوار را مشاهده کند. شگفت این‌که فقط یکی دو نفر نوار را دریافت کردند من و شاید یک نفر دیگر.)

برای معلمانی که بیشتر از چگونگی یادگیری محتوای درس، بر موضوع آن تمرکز می‌کنند، تدریس مکرر یک موضوع طاق‌فرسا می‌شود. من در فکر دیو ال^۱ دوست و همکارم و شعبده‌باز آماتور هستم که وقتی از او پرسیدند آیا از بیرون کشیدن سکه از گوش بچه‌های کوچک خسته نشده است و آیا این شگرد برایش کهنه نمی‌شود، پاسخ داد «به هیچ وجه»، زیرا هر بار این ترفند را با بچه جدیدی انجام می‌دهد. همین‌طور، تدریس مکرر قانون‌های نیوتون خسته‌کننده نیست، زیرا هر ترم کلاس و شاگردان تازه‌ای داریم. گرچه مفاهیم موضوع تدریس خیلی قبل فرا گرفته شده‌اند، اما یک معلم از انتقال معلومات خود به شاگردان در هر ترم لذت می‌برد. بسیاری از معلمان فاقد این نوع نگرش به زودی از تدریس خسته می‌شوند و این حرفه را کنار می‌گذارند.

چون فیزیک ۱۰ در یک ترم تدریس می‌شد پس برای ارتقای عشق خود به فیزیک، شانزده هفته فرصت داشتم. به سرعت یاد گرفتم که از لحن کمی کتاب درسی وایت اجتناب کنم و کتاب سطح پایین‌تر «فیزیک سرزنده» الکساندر تافل^۲ را به آن اضافه کنم. همچنین به سرعت فهمیدم که تلاش در جهت خوشایند ساختن جبر ساده برای شاگردانی که از آن می‌ترسیدند بی‌حاصل است. من در برابر وسوسه تدریس ریاضی با مثال‌های فیزیکی، که همه ما می‌دانیم در کلاس‌های فیزیک نسبتاً راحت است، مقاومت کردم. تدریس ریاضی و فرو کاستن نگرانی‌های مربوط به آن به قیمت فرا گرفتن درس فیزیک تمام می‌شود. من می‌خواستم درسم به «رنجین کمان‌ها و فراتر از آن» برسد که با فرو رفتن در باتلاق معماهای دلپذیر سینماتیک هرگز رخ نمی‌داد. بنابراین توجه اندکی به یکه‌های اندازه‌گیری کردم و رسم نمودار و ارقام با معنی را نادیده گرفتم.

من در پیش‌گفتار کتاب درسی فیزیک که برای درس مبتنی بر جبر برنامه‌ریزی شده متوجه این گزاره نویسنده شدم: «در یک درس فیزیک جدی جایی برای فیزیک بی‌انگیز تحسین و تعجب وجود ندارد». می‌خواستم تمام درس‌هایم با این نوع عبارات‌های «تحسین و تعجب» همراه باشد و به این نوع نتیجه‌گیری بینجامد. همان‌طور که مثال‌هایی مانند این‌که: اراتستن در سال ۳۲۰ پیش از میلاد اندازه محیط زمین را با دقت شگفت‌انگیز اندازه گرفت! «گلوله‌ای که به‌صورت افقی پرتاب شده باشد هم‌زمان با گلوله پرتاب شده از همان ارتفاع به زمین می‌رسد!». «یک قایق بادی با زاویه

پل هیوئیت با
لحنی صمیمانه
و غیر رسمی،
خاطرات
تلاش‌های خود
برای آموزش
فیزیک در چند
دانشگاه آمریکا
را شرح می‌دهد.
تلاش‌هایی که هر
گام آن دری به
سوی موفقیت
باز می‌شود؛ و
این برای تمام
علاقه‌مندان
به آموزش به
ویژه فیزیک در
کشورمان می‌تواند
بسیار امیدبخش و
آموزنده باشد

**یک پرسش
چندگزینه‌ای
خوب پرسشی
است که تمام
گزینه‌های
آن پذیرفتنی
باشد. انتخاب
این گزینه‌ها
باید وابسته
به شناخت
فیزیک باشد**

گرفتن نسبت به باد سریع‌تر از زمانی حرکت می‌کند که در جهت باد است!» «قطارها از آن جهت می‌چرخند که طوقه چرخ‌هایشان به تدریج باریک می‌شود، و نه به علت بال‌های لبه‌هایشان!» «ماه به‌طور غیرقابل کنترل به طرف زمین فرو می‌افتد.» «اتم‌هایی که اکنون بدن شما را تشکیل می‌دهند زمانی در بدن کسانی بوده‌اند که پیش از شما زندگی می‌کردند!» «اتم‌های بدن شما در بدن افرادی که پس از شما می‌آیند خواهند زیست!» «بدن شما به اندازه یک لامپ ۱۰۰ وات انرژی گرمایی گسیل می‌کند!» «ارتباط الکتروسیسته و مغناطیس نور به وجود می‌آورد!» «طیف‌های اتمی اثر انگشت‌هایی هستند که به ما می‌گویند ستارگان از چه ساخته شده‌اند!» «هرگز نمی‌توانید به انتهای رنگین‌کمان برسید!» «پرتوزایی درون زمین را گرم نگه می‌دارد!» «گرچه شکافت هسته‌ای و همجوشی هسته‌ای فرایندهای متضاد هستند، اما هر دوی آن‌ها انرژی آزاد می‌کنند اما نه همواره!» فضانوردی که به فضا رفته است کمتر از دوقلوی خود در روی زمین پیر می‌شود!» «کتاب خود را جلو و عقب ببرید تا موج گرانشی تولید شود!» ... این مثال‌ها همه نشان می‌دهند که زیر لب گفتن این گزاره‌ها تأثیرشان را از بین می‌برد، بلکه بر زبان آوردن آن‌ها با شور و اشتیاق است که می‌تواند نتیجه‌گیری هیجان‌انگیزی برای یک درس باشد.

به‌زودی متوجه شدم که جذاب کردن فیزیک برای شاگردان غیرعلوم با مثال‌های محاسبه‌ای کتاب درسی در تضاد است. بسیاری از شاگردانم از/علاوه نرفت داشتند. بنابراین بر تدریس مفاهیم، نه با اعداد بلکه به زبان معمولی و استفاده از معادله‌های فیزیک به‌صورت کیفی، تمرکز کردم. نسبت‌ها و معادله‌ها را اغلب به‌صورت عبارات‌های انگلیسی می‌نوشتیم. پس از آشنا شدن شاگردان با مفاهیم به نمادها روی می‌آوردیم. برای نشان دادن اندازه‌های نسبی، نمادهای با اندازه‌های متفاوت رسم می‌کردم. به عنوان مثال، برای نشان دادن اینکه تکانه گلوله شلیک شده از توپ برابر تکانه توپ پس‌زن است، نماد v را برای گلوله بزرگ و V را برای توپ پس‌زن کوچک رسم می‌کردم. این به معنی بسیار کوچک و بسیار بزرگ ساختن نمادهای جرم متناظر بود. شاگردان فیزیک را به‌صورت مفهومی یاد می‌گرفتند.

گرچه هیچ وقتی را صرف محاسبه نمی‌کردم، اما به معادله‌ها توجه خاصی داشتیم. به عنوان مثال، در درس مربوط به گرانی، کار را با این پرسش آغاز می‌کردم که: طرح مربوط به نیروی حاکم بر ستارگان در آسمان شب و تمام کیهان چگونه به نظر می‌رسد؟ و طرح مربوط به یک متن موسیقی چگونه است؟ می‌دانید که هم فیزیک و هم موسیقی دارای طرح خاص خود هستند. من با گفتن اینکه با گرفتن ۵۰ سنت از هرکس طرح حاکم بر عالم را به او نشان خواهم داد توجه دانش‌آموزان را جلب می‌کردم و پس از علاقه‌مند شدن آن‌ها، قانون گرانی نیوتون را با علامت تناسب « \propto » به جای علامت مساوی « $=$ » روی تخته نوشتیم. با قانون نیوتون

به‌صورت تناسبی روی تخته، بقیه زمان صرف بحث درباره پرسش‌های «چه می‌شود اگر» می‌شد؛ از جمله: اگر جرم یکی از دو سیاره دوبرابر شود نیروی گرانشی بین آن‌ها چه تغییری می‌کند؟ اگر جرم هر دو دوبرابر شود چه؟ اگر سرعت یکی از سیارات زیاد شود چه اتفاقی می‌افتد؟ همچون نت‌ها در دستگاه‌های موسیقایی، نمادهای موجود در معادله‌ها نیز بیان می‌کنند که چه اتفاقی می‌افتد، و چه اتفاقی نمی‌افتد. با یک قانون به عنوان راهنمای تفکر، گرانی اجسام متحرک تغییر نمی‌کند مگر اینکه جرم یا فاصله تغییر کند. توجه زیادی به قانون عکس مجذور می‌ذول شد که با فعالیت «همسایه‌تان را واریسی کنید» زیادی همراه بود. اگر فاصله دو سیاره دوبرابر شود نیروی بین آن‌ها چه تغییری می‌کند؟ اگر نصف شود چه؟ صدای ناشی از مکالمه شاگردان فیزیک ۱۰، کلاس ما را یکی از پر سروصداترین کلاس‌های فضای دانشگاه می‌کرد و همه این گفت‌وگوها در جهت پرسش‌های من بود. نزدیک پایان کلاس نیرو را بر کسر شامل M, d^2 ، m تقسیم می‌کردم و نشان می‌دادم که چگونه ثابت G وارد این گونه تصویر می‌شود. زنگ تدریس این معادله را با این پیام به پایان می‌رساندم که وقتی پای معادله‌های مربوط به گرانی در میان باشد، فقط جرم‌ها و فاصله‌ها نقش دارند. نماد اندازه سرعت، رنگ، یا دما به معنی آن بود که آن‌ها بخشی از این تصویر نیستند. معادله‌ها راهنماهای خوبی برای تفکرند. می‌خواهید اعدادی را وارد کنید؟ نه در این درس، زیرا بهتر بود وقت خود را صرف جلو رفتن کنیم. کلاس را با پرسشی برای جلسه بعد به پایان می‌رساندم، «چون زمین و ماه به‌صورت گرانشی جذب یکدیگر می‌شوند، چرا ماه روی زمین نمی‌افتد؟» پاسخ این پرسش صحنه را برای کلاس بعدی - درباره حرکت ماهواره - مهیا می‌ساخت. در ترم‌های بعد چند بخش فیزیک ۱۰ را تدریس می‌کردم که به معنی آن بود که می‌توانستم تجربه چند سال تدریس را یک‌باره به دست آورم. این درس محبوب‌تر می‌شد. استادان مشاور چیزهای خوبی درباره فیزیک ۱۰ شنیدند و آن را به شاگردان توصیه کردند. در درجه اول، این یک «درس کشنده» وحشتناک بسیاری از کالج‌ها نبود، بلکه مهم‌تر از همه الهام‌بخش شاگردان در درک تجربه‌ای بود که در کالج به دست می‌آوردند. در شروع درس نام و شماره تلفن خود را روی تخته نوشتیم. به ندرت شاگردی به من تلفن می‌کرد. اما ایده اجازه تلفن کردن بیرون از مدرسه شاگردان را تحت تأثیر قرار می‌داد. فراتر از آن، در تلاش جهت «منت گذاشتن به آن‌ها» نسخه‌هایی از امتحان نهایی را در اختیارشان می‌گذاشتم. درست است، یک نسخه از امتحانی که در انتهای درس خواهند داد. این کار را با لحن اینکه «من طرفدار شما هستم» با علامت دست «قسم پیشانگی» به آن‌ها گفتم که صداقت دارم. توضیح دادم که قسم پیشانگی الزاماً به معنی آن نیست که حقیقت را می‌گوییم، زیرا شاید بعداً معلوم شود که حقیقت امروز نادرست است.

وظیفه خود
در آموزش را
لذت بخش
ساختن آن
تا حد ممکن
و کمک به
شاگردان در
جهت نگرستن
به فیزیک به
عنوان مطالعه
ارزشمند
قاعده‌های
طبیعت
می دانستم

هفته امتحان را تکرار کند و ۱۸ بگیرد، میانگین نمره‌اش ۱۹، یعنی C می‌شود. پس نمره می‌توانست علاوه بر زیاد شدن، کم هم شود! ایده کم شدن نمره کافی بود که سه چهارم شاگردان کلاس امتحان مجدد ندهند. این شانس را داشتم که بخش فیزیک دستیاران کافی و اتاق لازم برای امتحان در موارد گوناگون را در اختیارم می‌گذاشت. تعداد شاگردانی که تصمیم به امتحان مجدد می‌گرفتند کار را قابل کنترل می‌کرد. اما مهم‌تر از هم آن بود که این هشدار بی‌چون و چرا را می‌داد که درس آقای هیوئیت معقول است.

انصاف در نمره دادن، بیش از هر چیز دیگر، مسئله اصلی شاگردان است، یک ویژگی امتحان معقول آن است که شامل مفاهیم اصلی درس باشد. به عنوان مثال، مطالعه «اثر دوپلر» بدون اینکه پرسشی از آن در امتحان بیاید ناامیدکننده است. نشانه دیگر منصفانه بودن امتحان آن است که برخی از شاگردان نمره کامل یا نزدیک به آن را بگیرند. اگر همه شاگردان، از جمله شاگردان ممتاز نمره کم بگیرند، به احتمال زیاد امتحان بالاتر از سطح آن‌ها و بسیار دشوار بوده است. منحنی‌های زنگی شکل کامل نمره‌های من، که به سرعت همراه با نمره‌های امتحانی اعلام می‌شد، همواره نشان می‌داد که تعدادی از شاگردان نمره ۲۹ یا ۳۰ گرفته‌اند و دلیل معقول بودن امتحان بود. شاگردان می‌توانند یک مربی کسل‌کننده یا بسیار سختگیر را تحمل کنند، اما تحمل مربی بی‌انصاف برایشان دشوار است. استادان مشاور می‌دانستند که نمره دادن من معقول است و با فرستادن شاگردان به این درس ظرفیت کلاس را تکمیل می‌کردند. جالب است بدانید نمره متوسط برای درس فیزیک ۱۰ من در طی سال‌های بسیار C بود. گرچه این نمره بسیار خوبی نیست، اما بیشتر شاگردان از اینکه در درس فیزیک، که ابتدا از آن می‌ترسیدند، C گرفته‌اند خوشحال بودند. سال‌های بعد در یک حسابرسی از کالج، نمره C من به تعداد زیادی شاگرد باعث شد که بخش فیزیک، در شرایطی که بسیاری از بخش‌ها متهم به نمره زیاد دادن بودند، نمره خوبی بگیرد. در ترم زمستان سال ۱۹۶۷ اعلام کردم که همه امتحان‌ها را می‌توان با کتاب باز داد. پرسش‌های امتحانی من معیاری از فراخوان اطلاعات نبودند، بلکه به مفهوم توجه داشتن بود. به عنوان مثال، این پرسش که: فاصله توقف اتومبیلی که با چرخ‌های قفل شده با سه برابر سرعت حرکت می‌کند (بیش از زمان اعمال ترمز ضدقفل) چقدر زیاد می‌شود؟ در کتاب داده نشده است. رابطه کار - انرژی در کتاب بیان شده است، اما پاسخ به پرسش باید با ذکر دلیل باشد. شاید شاگردان درس‌هایی داشته باشند که چیزی را که به یاد دارند بیازمایند، اما درس من یک گام فراتر می‌رفت و آن‌ها را به تفکر وامی‌داشت. معمولاً شاگردان در پایان درس من می‌گفتند، «این درس به من یاد داد که فکر کنم!». همه ما به استفاده بهینه از مغزهایمان ارج می‌نهیم. مسئله همیشگی شاگردانی که در امتحان تقلب می‌کنند هم وجود داشت. من

حقیقت نسبی است. قسم پیشاهنگی به معنی آن است که صادقانه باور دارم که راست می‌گویم. امتحان نهایی که آن را به خانه می‌بردند شامل ۱۵ پرسش کیفی بود. با گفتن اینکه انتظار ندارم که به همه ۱۵ پرسش نهایی پاسخ دهند حالت ناباورانه آن‌ها را شدیدتر کردم. من چهار پرسش را انتخاب می‌کنم. کدام چهار پرسش؟ این را روز امتحان تصمیم می‌گیرم! فرار بود پاسخ‌ها را با دست در «کتاب‌های آبی» بنویسند که در آن زمان رایج بود. امتحان نهایی ۲۵ درصد از نمره نهایی را تشکیل می‌داد.

یک جایزه غیرمنتظره امتحان‌های کتاب آبی، به دست آوردن گنجینه‌ای از «پاسخ‌های نادرست» برای امتحان‌های چندگزینه‌ای بود. پرسش امتحان دارای گزینه‌های به روشنی نادرست، پرسش بدی است. شاید این پرسش معیاری برای عقل سلیم باشد، اما معیار درک فیزیک نیست. یک پرسش چندگزینه‌ای خوب پرسشی است که تمام گزینه‌های آن پذیرفتنی باشد. انتخاب این گزینه‌ها باید وابسته به شناخت فیزیک باشد. یک پرسش امتحانی خوب آن است که به درک مفهوم امتیاز دهد و معلومات را اندازه بگیرد، نه زیرکی را. تهیه پرسش‌های چندگزینه‌ای هنری است که مجموعه برداشت‌های غلط کتاب‌های آبی شاگردانم به آن کمک بسیار کرد. وقتی اندازه کلاس‌های درس من بزرگ و بزرگ‌تر شد، ذخیره پرسش‌های چندگزینه‌ای برایم ضروری بود.

امتحان‌های میان‌ترم سه بار، هر بار با ۳۰ پرسش چندگزینه‌ای، صورت می‌گرفت و هر یک ۲۵ درصد نمره نهایی را تشکیل می‌داد. به تکالیف و پروژه‌های کلاسی هم نمره داده می‌شد. نمونه امتحان میان‌ترم پیش از روز امتحان بین شاگردان توزیع می‌شد. ارزیابی این امتحان‌ها با حروف انجام می‌شد، نمره ۲۵ یا بیشتر A، نمره ۲۰ یا بیشتر B، نمره ۱۴ یا بیشتر C، نمره کمتر از ۱۴ D بود. نمره F به کسانی داده می‌شد که درس را ناتمام رها می‌کردند. هیچ شاگرد شرکت‌کننده در درس فیزیک ۱۰ من هرگز نمره F نگرفت. اما کار من به همین جا ختم نمی‌شد. به آن‌ها گفتم که اگر برحسب اتفاق در امتحان یک «روز بد» نمره‌ای کمتر از آنچه فکر می‌کنند حق آن‌هاست گرفتند می‌توانستند «امتحان مجدد» بدهند که یک آزمون چندگزینه‌ای مشابه با پرسش‌های متفاوت بود. اگر از نمره متوسط خود راضی نبودند می‌توانستند به قدری امتحان را تکرار کنند تا به نتیجه رضایت‌بخش برسند. بنابراین پیشنهاد من تکرار امتحان تا رسیدن به نمره A بود که اگر در امتحان نهایی نمره C می‌گرفتند، نمره نهایی آن‌ها B می‌شد. و B برای فیزیک نمره بدی نیست! بنابراین هر کسی از شاگردان حاضر که نمره B نمی‌گرفت باید به نمره کمتر راضی باشد. اما چطور می‌شد امتحان مجدد را برای تعداد زیادی شاگرد انجام نداد؟ من با نشان دادن اینکه کار میانگین‌گیری چگونه انجام می‌شود این تعداد را کم می‌کردم. روی تخته توضیح می‌دادم که اگر شاگردی نمره ۲۰، بگیرد و با کار در آخر

نشانه دیگر منصفانه بودن امتحان آن است که برخی از شاگردان نمره کامل یا نزدیک به آن را بگیرند

با اختصاص یک «گوشه متقلبان» در بالای یک طرف کلاس با آن برخورد کردم. توضیح دادم که تقلب را تأیید نمی‌کنم و سیاست نمره دادن من آن را سزاوار نمی‌داند. اذعان کردم درست همان‌طور که افرادی نمی‌توانند در برابر مشروبات و سایر مواد مقاومت کنند، شاگردانی هم هستند که نمی‌توانند در برابر تقلب ایستادگی کنند. ایراد اصلی من به این موضوع آن بود که هنگام امتحان، همسایگان متقلب نباید حواس شاگردان صادق را پرت کنند. فرستادن این نوع شاگردان به گوشه بالای کلاس مؤثر بود. بیشتر کلاس ساکت بود و همگی این مسئله را تحسین می‌کردند. بعدها این کار را کنار گذاشتم زیرا بعضی‌ها فکر می‌کردند که تقلب را تأیید می‌کنم.

پس از بازنشسته شدن رئیس، تدریس تمام بخش‌های فیزیک ۱۰ به من محول شد. ظرفیت کلاس‌های فیزیک ۱۰ کاملاً تکمیل می‌شد. پنج بخش کامل فیزیک ۱۰ در یک سالن ۳۲۰ نفری در ساختمان جدید هنرهای تجسمی و دیگری در یک سالن ۲۱۰ نفری تدریس می‌شد. هر ترم بیش از ۱۰۰۰ نفر در درس فیزیک ۱۰ ثبت‌نام می‌کردند. ۱۴ مربی بخش فیزیک، از جمله مربیان نیمه‌وقت، در هر ترم به ۲۰۰۰ شاگرد درس می‌دادند. نیمی از این بار بر دوش من بود. هم شاگردان و هم مسئولان به کار من اهمیت می‌دادند و شورای شاگردان سیتی کالج در پائیز سال ۱۹۶۷ لوح معلم ممتاز را به من اهدا کرد.

در سال‌های ۱۹۶۷ و ۱۹۶۸ نوشته‌های خود را به کتاب‌های درسی مورد استفاده‌ام اضافه کردم. این‌ها نوشته‌های مربوط به غرش صوتی و طرز کار ترانسفورماتورها و قانون اهم در کتاب درسی وایت نبود ولی با آن هماهنگ بود. متوجه شدم که برخورد وایت با حرکت ماهواره که بیان می‌کرد ماهواره‌ها به واسطه نیروهای گرانشی و گریز از مرکز مساوی و در جهت مخالف در مدارهای دایره‌ای حرکت می‌کنند خیلی معمولی و غیر قابل قبول است. پس ترجیح دادم با تأثیرپذیری از برخورد فاینمن^۱ با حرکت ماهواره این ایده را مطرح کنم که ماهواره‌ها چیزی بیش از پرتابه‌های با سرعت زیاد نیستند که پیوسته دور زمین فرو می‌افتند؛ اگر فرو نیفتند، طبق قانون لختی در خط راست حرکت می‌کنند. یک ماهواره در زیر این خط راست فرو می‌افتد. مسیر دایره‌ای وقتی حاصل می‌شود که این مسیر خمیده با خمیدگی سطح زمین هماهنگ شود. شاگردان این را بهتر از توضیح نیروی گریز از مرکز می‌فهمیدند. نوشتن این پیوست‌ها لذت‌بخش بود و تصمیم گرفتم بیشتر بنویسم.

در ترم بهار سال ۱۹۶۹ تصمیم مهمی گرفتم و به مدیر فروشگاه کتاب دانشگاه گفتم که برای ترم پائیز کتاب‌های وایت و تافل را سفارش ندهد - به جای آن کامل‌ترین نوشته‌هایم درباره درس را در اختیار گذاشتم. این کاری بلندپروازانه بود، اما متوجه شدم می‌توانم قانون‌های نیوتون و سایر قانون‌ها را با نوشتن آن‌ها در بالای صفحه‌های تقریباً سفید تدریس کنم. شاگردان می‌توانستند آن‌ها را در کلاس

با یادداشت‌های کلاسی پر کنند. متوجه شدم که به احتمال زیاد نمی‌توانم تمام مطالب را با نوشتن در یک تابستان تمام کنم - یا شاید می‌توانستم؟ به هر حال، مدیر را قانع کردم که دست‌نوشته‌های را برای ترم پائیز ۱۹۶۹ در اختیار خواهم گذاشت. این دست‌نوشته در دانشگاه چاپ می‌شود و هزینه آن قیمت کتاب خواهد بود.

در تابستان ۱۹۶۹، خانواده‌ام به دیدن بستگان خود در کلرادو رفتند مرا برای نوشتن تمام‌وقت آزاد گذاشتند. یکی از شاگردان را برای تایپ کردن استخدام کردم. در آن زمان رایانه‌ها وجود نداشتند. چند صفحه تایپ شده ویرایش می‌شد تا یک صفحه نهایی به وجود آید که روی آن طرح‌های مدادی را در فرایندی لیتوگرافی (گامی بالاتر از ماشین‌های پلی‌کپی) رسم می‌کردم و سرانجام به صورت یک کتاب جلدسیمی در می‌آمد. فصل‌ها را پشت سرهم شروع کردم، نه فصل درباره مکانیک (از جمله نوشته‌هایم درباره حرکت ماهواره)، پنج فصل درباره ویژگی‌های ماده (که یکی از آن‌ها برداشت مستقیم نوشته فاینمن درباره اتم‌ها از کتاب سه جلدی *درس‌های فیزیک فاینمن* بود)، سه فصل درباره گرما، چهار فصل درباره صوت (از جمله برخورد با غرش صوتی)، پنج فصل درباره الکتروسیسته و مغناطیس (شامل نوشته‌هایم درباره ترانسفورماتورها)، هشت فصل درباره نور، شامل یک فصل درباره نسبیت خاص (که دوست داشتم درس بدهم)، و دو فصل درباره فیزیک هسته‌ای که روی هم رفته ۳۶ فصل می‌شد. این همان تابستانی بود که سفینه ناسا بر ماه فرود آمد. من به قدری مشغول کار نوشتن بودم که حتی تمام پوشش تلویزیونی آن را تماشا نکردم. در عوض، از دوستانی که در قسمت اصلی خانه‌ام زندگی می‌کردند خواستم که هنگام فرود آمدن سفینه مرا خبر کنند. این کار را کردند و من مانند میلیون‌ها نفر دیگر شاهد اوج این رویداد حیرت‌انگیز بودم. سپس با اشتیاق بیشتر و هدف تأیید شده به اتاقم برگشتم و نوشتن را از سر گرفتم.

چون بیشتر آنچه نوشته بودم همان‌هایی بود که در کلاس گفته بودم، کار نوشتن سریع‌تر از آنچه انتظار داشتم به پیش رفت. به نوشته‌هایم ایده‌هایی را از کتاب *فیزیک برای ذهن کنجکاو* اضافه کردم، و نیز بسیاری مطالب از کتاب محبوب دیگر *فیزیک مقدماتی کن‌فورد*^۲ که تمام آن را تابستان قبل با لذت خوانده بودم. سایر منابع من عبارت بودند از *اتم‌ها به ستارگان* تئودور اشفورد^۱، *کالج فیزیک نوین آلبرت بائر*^{۱۱}، *ریاضیات مارپیچی کوپر*^{۱۲}، و *مبانی فیزیک اسمیت*^{۱۳}، ایده‌های سرگرم‌کننده‌ای را هم از *۷۰۰ آزمایش فیزیک برای همگان* یونسکو گرفتم. و البته ایده‌هایی از کتاب‌های درسی وایت و تافل مورد استفاده‌ام گردآوری شده بود. با پشت سر گذاشتن تابستان، بیشتر مطالب را همان‌طور که در کلاس درس داده بودم پوشش دادم. در نهایت تعجب، هیچ صفحه سفیدی در کتاب ۴۶۴ صفحه‌ای وجود نداشت. کتابی در اختیار داشتم که می‌توانستم واقعاً از روی آن درس بدهم.

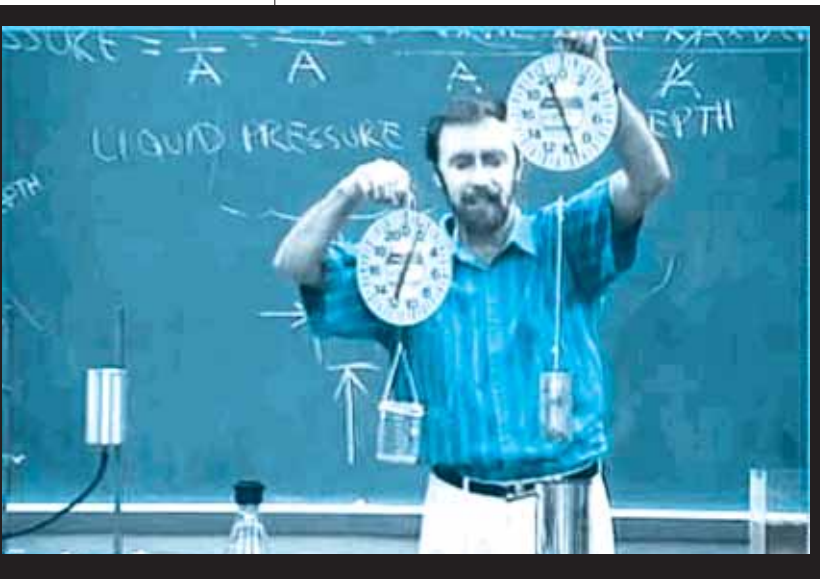
از روزهایی که قبل از شروع ترم پائیز و پیش از جلد سیمی شدن آن در اختیارم بود یک روز را صرف چاپ سیلک جلد آن کردم. این کار راحت بود زیرا چاپ سیلک حرفه‌قبلی من بود و در سال‌های کالج زندگی‌ام را تأمین می‌کرد. روی جلد نوشته‌م به فیزیک مفهومی روی آورد - کلیدی برای شناخت جهان مادی شما. همگام با حروف روان‌گردان پوستره‌های دست‌افشانی عصر هایت - اشبری^{۱۴}، حروف فیزیک مفهومی به سبک روان‌گردان بود. قیمت این کتاب، که بعضی آن را «کتاب هیپی» درباره فیزیک نامیدند ۴/۲۰ دلار بود. هزار نسخه از این کتاب در فروشگاه دانشگاه آماده بود که برای چهار بخش روزانه فیزیک ۱۰ و یک بخش شبانه کفایت می‌کرد. چون تعداد شاگردان بیش از این شد، پیشنهاد کردم کتاب را شریکی بخوانند، بنابراین هزینه آن برای هر شاگرد ۴/۲۰ دلار نمی‌شد. این کار را به‌خاطر دلم کرده بودم و عواید آن نصیب فروشگاه کتاب دانشگاه شد. تدریس کتاب خودم در پائیز سال ۱۹۶۹ شادی‌آفرین بود. بیشتر وقتم صرف بازنویسی صفحاتی شد که با عجله در طول تابستان نوشته بودم. تجدید چاپ هزار کتاب دیگر در ترم بهار صورت گرفت. یک هزار جلد کتاب کلفت جلد سیمی جای زیادی را در فروشگاه کتاب می‌گرفت، این باعث شد که نمایندگان ناشران بسیاری چاپ کردن آن را مطرح کنند. من به مدیر فروشگاه گفتم که به آن‌ها بگویند احتمال چاپ خارج از دانشگاه آن بسیار کم است زیرا به روش تدریس مفهومی من بستگی دارد؛ که کاملاً موضعی است، و برای معلمان طرفدار روش حل مسئله جذابیت ندارد. در کتاب من هیچ مسئله‌ای وجود نداشت. پایان هر فصل حاوی «تمرین‌های» با سرشت کیفی بود که باز هم از چگونگی تدریس متداول فیزیک انحراف داشت. نبود مسئله‌های جبری به معنی غیر ریاضی بودن کتاب من نبود، بلکه کتاب غیر محاسباتی بود - که تفاوتی بزرگ محسوب می‌شود. گرچه چاپ خارج از دانشگاه کتاب را پیش‌بینی نکرده بودم، برخی ناشران فکر کردند که حتی اگر کالج‌های اندکی از این کتاب استفاده کنند، حتی یک هزار نسخه در هر ترم سیتی کالج چاپ آن را توجیه می‌کند. به زودی مشغول مذاکره با نمایندگان ناشران شدم. چند نفر از آن‌ها نسخه‌هایی از این کتاب را خریدند و آن را برای بررسی افراد بالاتر فرستادند. تا آنجا که می‌دانم همه این بررسی‌ها درخشان بود. یکی از ویراستاران تام سیرز^{۱۵}، از لیتل، براون و شرکا^{۱۶} در بوستون بسیار علاقه‌مند به چاپ کتاب بود. آن‌ها کتابی درباره فیزیک نداشتند و در چاپ کتاب‌های علوم تازه کار بودند. کتاب‌های کالج آن‌ها اندک بود و نمایندگان فروش کمی داشتند. چون یک فصل کامل را از درس‌های فیزیک فاینمن گرفته بودم که ادیسون و سلی^{۱۷} چاپ کرده بود، فکر می‌کردم که بهترین کار این است که آن‌ها کتاب را چاپ کنند. اما ادیسون و سلی در صورتی علاقه‌مند بود که کشیدن کارت‌ها را به افراد شرکت آن‌ها واگذار کنم. (بعدها فهمیدم که استفاده از فصل فاینمن

مسئله‌ای به وجود نمی‌آورد زیرا در آن زمان مرسوم بود که برای هر صفحه ۱۰ دلار مجوز چاپ پرداخت کنند. چون هفت صفحه از کتاب فاینمن گرفته شده بود، ۷۰ دلار از حق تألیف من کم می‌شد - که تغییر چندانی نبود. به زودی چند ناشر علاقه‌مند به چاپ همه کتاب از جمله کارت‌ها شدند. همه این‌ها زمانی صورت گرفت که شاگردان سراسر کشور، به‌ویژه در کالیفرنیا، تظاهراتی در مورد مرتبط بودن درس‌ها با زندگی واقعی انجام می‌دادند. سوتیتر کتاب من، *آشنایی نوین با محیط اطرافتان* هماهنگ با شاگردان و مربیانی بود که در پی ارتباط بودند. زمان برای فیزیک مفهومی بسیار مناسب بود.

تصمیم در مورد ناشر را وقتی گرفتم که آگهی یک صفحه‌ای در روزنامه *سانفرانسیسکو کرونیکل*^{۱۸} را دیدم که تظاهرات در مورد جنگ ویتنام را نشان می‌داد و یکی از امضاکنندگان لیتل، براون و شرکا بود. چون خودم در تربیون آزاد سیتی کالج و راه‌پیمایی‌ها در سانفرانسیسکو در مورد جنگ تظاهرات کرده بودم، به تام سیرز تلفن کردم و تصمیم خود را گفتم. سپس تام به سانفرانسیسکو پرواز و قراردادی را در هتل مورد علاقه خود در سانفرانسیسکو یعنی میاکو در جاپان تاون^{۱۹} امضا کرد. در آن شب اولین سوشی خود را با تام در رستوران هتل خوردم این شروع تجربه‌ای خوشمزه بود.

در تابستان ۱۹۷۰ برای تدریس فیزیک ۱۰ به دانشگاه کالیفرنیا در برکلی دعوت شدم. اکنون چاپ دیگری از این کتاب ضروری بود: چون این بار می‌دانستم که این دست‌نوشته مربوط به کتاب چاپی است، زمان بیشتری را صرف کارهای هنری و کسب اجازه از نویسندگان و ناشران منابع خود کردم. به اریک راجرز نامه نوشتم و اجازه استفاده از ایده‌ها و شکل‌های کتاب خردمندانه‌اش را خواستم. در پاسخ نامه تبریکی برای نوشتن کتاب برای شاگردان غیر علوم نوشت

شاگردان می‌توانند یک مربی کسل‌کننده را بسیار سختگیر اما تحمل‌مربی بی‌انصاف‌برایشان دشوار است



و گفت می‌توانم از هر چیزی در کتابش که بخواهم استفاده کنم، و هر کاری که بخواهم بکنم تا کسانی که رشته‌شان فیزیک نیست متوجه اهمیت آن بشوند. (خوب بود که ناشرم یک نسخه از آن را نگه داشت، زیرا سال‌ها بعد یک شرکت حقوقی تحقیقاتی را درباره شباهت‌های کار من با راجرز انجام داد. در آن موقع راجرز در گذشته بود. وقتی ناشرم یک نسخه از این نامه را در اختیارش گذاشت، نقطه پایان بر چیزی گذاشته شد که می‌توانست گاو شیردهی برای آن شرکت حقوقی باشد و درآمد مداومی را برایش تأمین کند). کسب اجازه‌های دیگر بسیار راحت‌تر از چیزی بود که انتظار داشتیم، یکی از آن‌ها تام فورد بود که پس از آن دوست نزدیک من شد. او درستی آنچه را که می‌نویسم بررسی می‌کند که باعث موفقیت مداوم فیزیک مفهومی شده است.

کتاب با یک دست‌نویس بهتر بیرون از دانشگاه در ریپ آف پرس^{۲۰} چاپ شد که یک ناشر مطالب بحث‌برانگیز سیاسی از جمله کتاب‌های خنده‌دار رابرت کرامب^{۲۱} در سانفرانسیسکو بود. این بار کتاب دارای جلد سیمی نبود بلکه با جلد مقوای سبک صحافی شده و قیمت آن به ۶/۲۵ دلار افزایش یافته بود. از قضای روزگار، اندازه کتاب تقریباً برابر فیزیک برای نهن کنجکاو راجرز بود. جالب اینکه، اگر در آن سال که گفتیم، به من اجازه داده بودند کتاب راجرز را تدریس کنم، شاید فیزیک مفهومی هرگز نوشته نمی‌شد.

به‌خاطر دارم که هنگام تحویل جعبه‌های این کتاب در بخش فیزیک دانشگاه برکلی، وقتی وارد بخش شدم تعدادی از استادان کتاب را ورق می‌زدند و شنیدم که می‌گفتند «این نوع کتاب‌ها صد تا یک غانند» که فکر کردم چندان دلگرم‌کننده نیست. اما شاگردان برکلی آن را دوست داشتند و تدریس آن لذت‌بخش بود. شاگردان برکلی به‌طور متوسط کمی متفاوت از شاگردان سیتی کالج بودند. به‌خاطر دارم که شاگردی در دفترم درباره فشاری صحبت می‌کرد که به او وارد می‌شد. او در دبیرستان شاگرد اول بود. اما در کلاس برکلی همه شاگردان اول دبیرستان‌های آمریکا و کشورهای دیگر بودند. رقابت شدید بود. برای این شاگردان سطح بالا برای به‌دست آوردن منحنی زنگی شکل با قله C از معادله‌های سخت‌تری در امتحان استفاده می‌کردم.

با گذشت سال‌ها باز هم در برکلی و دانشگاه کالیفرنیا در سانتاکروز^{۲۲}، و دانشگاه هاوایی هم در مانوا^{۲۳} و هم در هیلو^{۲۴} تدریس کردم. برای مدت ۱۰ سال بزرگ‌ترین لذت من تدریس فیزیک ۱۰ در شب‌های چهارشنبه در اکسپلوراتوریم^{۲۵} سانفرانسیسکو بود. بسیار خوشحال بودم که فرانک اوپنهایمر^{۲۶} در کلاس‌های من شرکت می‌کرد. خوشحالی من وقتی بیشتر شد که وقتی نوبت به صداهای موسیقایی رسید تدریس آن را قبول کرد. همچنین اینکه دوستم آلبرت بائر تدریس موضوع تداخل نور را به عهده گرفت باعث خوشوقتی من از این موضوع شد که بخشی از این حرفه جالب هستم. معلمان فیزیک دوستان بسیار

← پی‌نوشت‌ها

1. Paul G.Hewitt
2. Physics Teacher
3. Eric M.Rogers
4. Art Austin
5. Harvey White
6. Dave Wall
7. Alexander Taffel
8. F-eynman
9. Ken Ford
10. Theodore Ashford
11. Albert Baez
12. Cooper
13. Smith
14. Haight - Ashbury
15. Tom Sears
16. Little' Brown and Co
17. Addison - Wesley
18. San Francisco chronicle
19. Japan town
20. Rip - off press
21. Robert Crumb
22. Santa Cruz
23. Manoa
24. Hilo
25. Exploratorium
26. Frank Oppenheimer
27. Dave Vasquez

← منبع

The physics Teacher, Vol 90, October 2011 pp 412 - 416

خوبی هستند. با بیشتر دوستانم در این مؤسسه‌ها و در گردهمایی‌های انجمن معلمان فیزیک آمریکا آشنا شدم.

جالب اینکه، فیزیک مفهومی ابتدا پیش از اختراع ماشین حساب‌های دستی منتشر شد. اولین آگهی مربوط به آن یک صفحه کامل شامل خط‌کش محاسبه با این توضیح بود که «شاگردان شما با این کتاب نیازی به خط‌کش محاسبه ندارند» ویراست دوم کتاب یک ماشین حساب با این نوشته را نشان می‌داد که «با این کتاب شاگردان شما ماشین حساب لازم ندارند». متأسفانه، این نوشته‌ها این برداشت را به وجود آورد که محاسبه نداشتن به معنی فقدان ساختار ریاضی است. مبارزه با این پندار نادرست تلاشی به مدت چند دهه بوده است.

تابستان‌های بعد صرف مسافرت در جهان و ارتقای سطح کتاب شد. این سفرها از اتیوپی آغاز شد. وقتی دیو واسکوئز^{۲۷} شاگرد و دوستم در اوایل دهه ۸۰ از من خواست که آیا می‌تواند نوار ویدئویی کلاس را برای پایان‌نامه کارشناسی ارشدش تهیه کند نمی‌دانستم که این کار تدریس کلاسی مرا به فراتر از سیتی کالج گسترش خواهد داد. دیو و دوست او کریگ دوسون^{۲۸} یک دو جین ویدئو تهیه کردند که ادیسون و سلی آن‌ها را به عنوان مکمل نسخه دبیرستانی فیزیک مفهومی منتشر کرد. در دیدار با مارشال النشتاین^{۲۹} در گردهمایی انجمن معلمان فیزیک آمریکا در شیکاگو نمی‌دانستم که ویدئوهایی که چند سال بعد در دانشگاه هاوایی تهیه شده بود به دیگران نشان داده است که چگونه تدریس مفهومی فیزیک جدی می‌تواند تجربه‌ای لذت‌بخش برای شاگردان باشد (که با گرفتن درس دیگر به احتمال زیاد از جدیت حل مسئله استقبال می‌کنند).

در مهمانی بازنشستگی من در سال ۲۰۰۰، دیو وال درباره پرسروصدا بودن کلاس‌های من در سیتی کالج صحبت کرد و اینکه اغلب صدای شاگردان را می‌شد تا انتهای راهرو شنید. او گفت که این صدای شادی در واکنش به جوک‌های من نبود، بلکه صرفاً در پاسخ به لذت بردن از فیزیک بود. زیرا آنچه بیش از هر چیز باعث خوشحالی افراد می‌شود این است که دریابند چیزی را می‌فهمند که درک آن را ناممکن می‌پنداشتند. به عنوان مثال، اگر در کنار دریاچه سنگ‌های صافی را به آب بیندازید و کسی به شما بگوید که دوستی می‌تواند سنگ را طوری به آب بیندازد که هشت بار و ابجهد، و شما آن را با نه بار و ابجهد انجام دهید، خوشحال خواهید شد. مهم‌تر از همه، دست یافتن به چیزی که انتظارش را ندارید باعث اعتمادبه‌نفس شما می‌شود. برای من هم استفاده از فیزیک برای شادمان کردن شاگردان و استفاده بهینه از مغزهایشان لذت‌بخش بود. چه شغل جذابی - چه زندگی فرح‌بخشی!

یادداشت ویراستار

سال ۲۰۱۱ چهلمین سالگرد انتشار فیزیک مفهومی و تولد ۸۰ سالگی پل هیونیت بود.