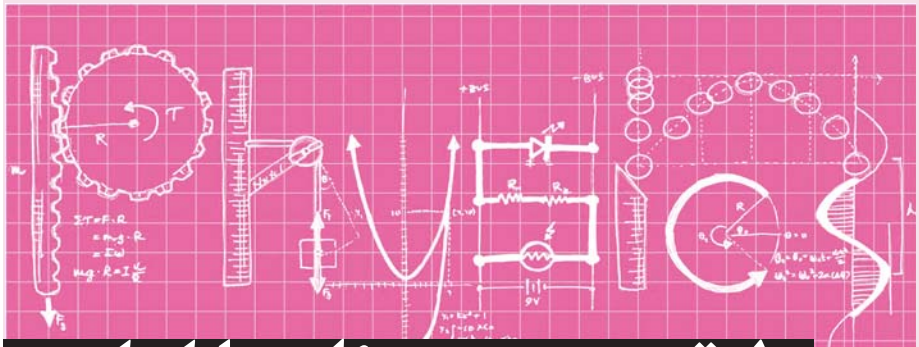


طبقه‌بندی مسئله‌ها ابزاری آموزشی برای یادگیری فیزیک

اندرو میسون[1]، چاندرالکا سینگ[2]
ترجمهٔ رضوان حاجی‌هاشمی

چکیده

توانایی طبقه‌بندی مسئله‌ها بر پایهٔ اصول بنیادی، به جای محتوا، یکی از ویژگی‌های بارز مهارت در حل مسئله فیزیک درنظر گرفته می‌شود. ما با الهام از یک مطالعهٔ کلاسیک که توسط چی، فلتویچ گلاسر انجام شده است، طبقه‌بندی ۲۵ مسئله مکانیک مقدماتی براساس شباهت در روش حل توسط شاگردان دوره‌های مقدماتی مبتنی بر حسابان، را با استادان دانشکده فیزیک و دانشجویان دکتری مقایسه کرده‌ایم. در اینجا ما خلاصه مطالعه را ارائه داده‌ایم که نشان می‌دهد کار طبقه‌بندی، به‌ویژه هنگامی که توسط شاگردانی انجام شود که در گروه‌های کوچک با همتایان خود کار می‌کنند، می‌تواند یک ابزار آموزشی مناسب برای کمک به آن‌ها در دوره‌های مقدماتی آموزش فیزیک باشد که تا شباهت اساسی مسئله‌های متنوع با اصول فیزیکی مشابه را تشخیص دهند.

کلیدواژه‌ها: طبقه‌بندی مسئله‌ها، شباهت مسئله‌ها، اصول مهم

مقدمه

فیزیک، موضوعی سرشار از دانستنی‌هاست، و قانون‌های فیزیک در چارچوب‌های دقیق ریاضی ارائه شده‌اند. شاگردان در بسیاری از دوره‌های مقدماتی فیزیک باید بیاموزند که قانون‌های فیزیکی را که در فرمول‌های ریاضی ارائه شده‌اند بسط دهند و در شرایط مختلف اعمال کنند تا پدیده‌های فیزیکی را پیش‌بینی کرده و شرح دهند. [۴-۱]. به عبارت دیگر، برای دستیابی به مهارت، شاگردان باید بیاموزند که اصول انتزاعی فیزیکی را تفسیر کنند و شناخت بهتری از آن‌ها به‌دست آورند و تلاشی آگاهانه برای کسب دانشی منسجم داشته باشند[۹-۵]. طبقه‌بندی مسئله‌های فیزیک بر پایهٔ شباهت راه‌حل، به جای محتوا یا ویژگی‌های ظاهری مسائل، یکی از نشانه‌های بارز مهارت درنظر گرفته می‌شود [۱۴-۱۰]. یک متخصص فیزیک می‌تواند بسیاری از مسئله‌های مربوط به پایستگی انرژی را در یک طبقه و مسئله‌هایی را که مربوط به پایستگی تکانه هستند در طبقه دیگر قرار دهد. حتی اگر برخی از مسئله‌های مربوط به قانون‌های پایستگی مختلف محتوای مشابهی داشته باشند و با دیگر مسئله‌هایی که فقط مربوط به پایستگی انرژی هستند محتوای بسیار متفاوتی داشته باشند. به هر حال یادگیری، محتوامحور است و بسیاری از شاگردان دوره‌های مقدماتی فیزیک تلاش می‌کنند تا شباهت‌های اساسی مسئله‌های فیزیک با مشخصات ظاهری متفاوت را تشخیص دهند. برای مثال یک استاد فیزیک مسئله‌ای مربوط به یافتن سرعت چرخش یک بالرین که بازوهایش را نزدیک بدنش قرار داده و مسئلهٔ مربوط به چرخش یک ستاره نوترونی را که بر اثر نیروی جاذبه خودش فرومی‌پاشد به‌عنوان مسائل مشابه طبقه‌بندی خواهد کرد. زیرا در هر دو مسئله هیچ گشتاور خارجی بر دستگاه وارد نمی‌شود و پایستگی تکانهٔ زاویه‌ای هر دستگاه بیانگر افزایش سرعت زاویه‌ای آن است. با وجود این شاگردان بر مشخصات ظاهری مسئله تمرکز می‌کنند و مسئله‌های بالرین و ستاره نوترونی را بسیار متفاوت می‌پندارند. در مطالعه انجام شده توسط چی و همکاران [۱۰] (در اینجا با نام مطالعه

چی از آن یاد می‌شود)، از هشت شاگرد فیزیک مقدماتی در دوره‌های مبتنی بر حسابان درخواست شد که مسئله‌های مکانیک مقدماتی را براساس شباهت در راه حل، طبقه‌بندی کنند. برخلاف متخصصان که مسئله‌ها را براساس قانون‌های فیزیک به کار رفته در حل آن‌ها طبقه‌بندی می‌کنند، شاگردان مقدماتی به مشخصات ظاهری آن‌ها حساس بودند. برای مثال مسئله‌های مربوط به سطح شیب‌دار را در یک طبقه و مسئله‌های مربوط به قرقره را در یک طبقه جداگانه قرار دادند [۱۰]. با الهام از مطالعه چی [۱۰]، ما طبقه‌بندی مسئله‌های مکانیک مقدماتی را به‌وسیلهٔ دانشجویان دوره‌های پیشرفته مبتنی بر حسابان، با اعضای هیئت علمی فیزیک و دانشجویان دوره‌های دکتری مقایسه کردیم. ما نسبت به آنچه از تحلیل داده‌های مربوط به تنها ۸ دانشجوی مقدماتی که در مطالعه چی [۱۰] داوطلب شده بودند به‌دست آمده بود، طیف بسیار وسیع‌تری از مهارت شاگردان را در یک کلاس مقدماتی بزرگ یافتیم. در بخش‌های بعدی به شرح مطالعه می‌پردازیم و نشان می‌دهیم که تکلیف طبقه‌بندی به‌ویژه هنگامی که توسط دانشجویانی که در گروه‌های کوچک با همسالان خود هستند انجام شود می‌تواند یک ابزار آموزشی مؤثر برای کمک به شاگردان دوره‌های فیزیک مقدماتی باشد، تا بیاموزند که شباهت اساسی بین مسئله‌های با محتوای متفاوت اما اصول فیزیکی اساسی مشابه را تشخیص دهند.

روش

ما نتوانستیم پرسش‌های مطرح شده در مطالعه چی و همکاران [۱۰] را به‌دست آوریم. بنابراین خودمان پرسش‌های مکانیک و تعداد زیادی پرسش اقتباس شده از مطالعات قبلی [۱۳-۱۱] را انتخاب کردیم. بافت ۲۵ مسئله مکانیک، متفاوت و شامل «سینماتیک یک‌بعدی و دو بعدی»، «دینامیک»، «کار و انرژی» و «ضربه و تکانه»[۳] بود. در ابتدای مجموعه پرسش‌ها، به همه شرکت‌کنندگانی که تکلیف طبقه‌بندی را انجام می‌دادند دستورالعمل زیر ارائه شد:

وظیفهٔ شما این است که ۲۵ مسئلهٔ زیر را بر پایهٔ شباهت در راه‌حل در ورقه کاغذی که در اختیارتان قرار داده شده در گروه‌های مختلف طبقه‌بندی کنید. مسئله‌هایی که به نظر شما مشابه‌اند را در یک گروه قرار دهید. می‌توانید هر تعداد گروه که بخواهید داشته باشید. گروه‌بندی مسئله‌ها **نباید** بر حسب «آسان»، «متوسط» و «سخت» باشد بلکه باید براساس ویژگی‌ها و مشخصاتی باشد که آن‌ها را مشابه می‌سازد. یک مسئله می‌تواند در بیش از یکی از گروه‌ها قرار گیرد. لطفاً توضیح مختصری دربارهٔ اینکه چرا یک مجموعه مسئله را در گروه خاصی قرار داده‌اید، ارائه دهید. لازم نیست هیچ مسئله‌ای را حل کنید.

ورقه‌ای که از شرکت‌کنندگان درخواست شده بود که در آن مسئله‌ها را طبقه‌بندی کنند، دارای سه ستون بود. از ایشان درخواست شده بود که در ستون اول نام دلخواه گروه را برای هر یک از گروه‌ها بنویسند. در ستون دوم از آن‌ها درخواست شده بود توضیح دهند چرا مسئله‌هایی که در آن گروه قرار دارند با هم طبقه‌بندی شده‌اند، و در ستون سوم خواسته شده بود که فهرست شمارهٔ مسئله‌هایی را بنویسند که باید در آن گروه قرار گیرند. غیراز این نه به شاگردان و نه به اعضای هیئت علمی هیچ نکته‌ای دربارهٔ اینکه چه نامی برای گروه‌ها انتخاب کنند، داده نشد. اگر چه ما ایده‌ای دربارهٔ اینکه گروه‌های ساخته شده توسط افراد باید «خوب» در نظر گرفته شوند یا «بد» داشتیم، اما فرض‌هایمان را با استادان اعتبارسنجی کردیم. ما به‌طور تصادفی طبقه‌بندی‌های ایجاد شده توسط ۲۰ شاگرد فیزیک مقدماتی را انتخاب و آن‌ها را به سه استاد که اخیراً فیزیک مقدماتی تدریس کرده بودند دادیم و از ایشان خواستیم درباره اینکه هر یک از گروه‌های ساخته شده توسط تک‌تک شاگردان باید «خوب»، «متوسط» یا «ضعیف» در نظر گرفته شوند، تصمیم بگیرند. از آن‌ها درخواست شد که به هر ردیف دارای نام گروه که توسط شاگرد ساخته شده بود و به توضیح اینکه چرا این گروه برای قرارگیری مسائلی که در آن قرار داده است مناسب است، امتیاز دهند. از استادان خواستیم که اگر گروه ایجاد شده توسط شاگرد مقدماتی را «خوب» ارزیابی کردند، پرسش‌هایی را که متعلق به این گروه نیستند خط بزنند. سازگاری امتیازات استادان مختلف بیش از ۹۵ درصد بود. ما از آرای ایشان به‌عنوان راهنما برای امتیاز دادن به گروه‌های ساخته شده توسط هر شاگرد به‌عنوان «خوب»، «متوسط» و «ضعیف» استفاده کردیم. هرگروه فقط در صورتی که براساس اصول اساسی فیزیک بود، «خوب» در نظر گرفته می‌شد. طبق روال معمول هر دو گروه «پایستگی انرژی» و «پایستگی انرژی مکانیکی» را به‌عنوان گروه‌های «خوب» در نظر گرفتیم. «انرژی جنبشی» به‌عنوان نام گروه، در صورتی که شاگرد توضیحی نداده بود که پرسش‌های آن گروه می‌تواند با استفاده از پایستگی انرژی مکانیکی یا قضیهٔ کار و انرژی حل شود، یک طبقه‌بندی «متوسط» در نظر گرفته شد. به گروهی مانند «انرژی» هم در صورتی که شاگردان برای قرار دادن مسئله‌ای در آن گروه دلیل منطقی ارائه کرده بودند، امتیاز «خوب» داده شد. اگر یک دستهٔ ثانویه مانند «اصطکاک» یا «تنش» تنها گروهی بود که مسئله‌ای در آن قرار داشت و توضیح گروه، اصول فیزیکی اولیهٔ مربوط به آن را بیان نکرده بود، یک گروه «متوسط» در نظر گرفته شد. دسته‌هایی مانند «سطح شیب‌دار» و «قرقره» نیز «ضعیف» در نظر گرفته شدند.

شاید برای حل مسئله‌ای بیش از یک اصل یا مفهوم قابل

توانایی طبقه‌بندی مسئله‌ها بر پایه اصول بنیادی به جای محتوا یکی از ویژگی‌های بارز مهارت در حل مسئله فیزیک در نظر گرفته می‌شود

استفاده بود. راهنمای طبقه‌بندی، به شاگرد گوشزد می‌کرد که می‌تواند یک مسئله را در بیش از یک دسته قرار دهد. با توجه به اینکه مسئلهٔ داده شده می‌توانست با استفاده از بیش از یک رویکرد حل شود، دسته‌بندی براساس روش‌های مختلفی که برای حل مناسب هستند، «خوب» در نظر گرفته شد. دربارهٔ مسئله‌هایی که برای حل نیاز به دو اصل مهم داشتند، افرادی که آن‌ها را به خوبی دسته‌بندی کرده بودند یا گروهی ساخته بودند که شامل هر دو اصل مانند «پایستگی انرژی مکانیکی» و «پایستگی تکانه» می‌شد و مسئله‌ها را در دو دسته ساخته شده یکی مربوط به پایستگی انرژی مکانیکی و دیگری مربوط به پایستگی تکانه قرار داده بودند «خوب» در نظر گرفته شد. برای برخی مسئله‌ها، پایستگی انرژی مکانیکی می‌توانست کارامدتر باشد، اما مسئله‌های مذکور می‌توانستند با استفاده از سینماتیک یک‌بعدی و دوبعدی شتاب ثابت نیز حل شوند. در اینجا بحث ما منحصر به طبقه‌بندی‌هایی است که از استادان امتیاز خوب دریافت کردند. در بخش نتایج، اینکه گروه خاصی (شاگرد مقدماتی، دانشجویان دکتری یا اعضای هیئت علمی) ۶۰ درصد از مسئله‌ها را در دستهٔ خوبی قرار داده بودند نشان می‌دهد که ۴۰ درصد دیگر مسئله‌ها در دسته‌های متوسط یا ضعیف قرار داده شده‌اند.

شاگردان برای دستیابی به مهارت باید بیاموزند که اصول انتزاعی فیزیک را تفسیر کنند و شناخت بهتری از آن‌ها به‌دست آورند و تلاشی آگاهانه برای کسب دانشی منسجم داشته باشند

یافته‌ها

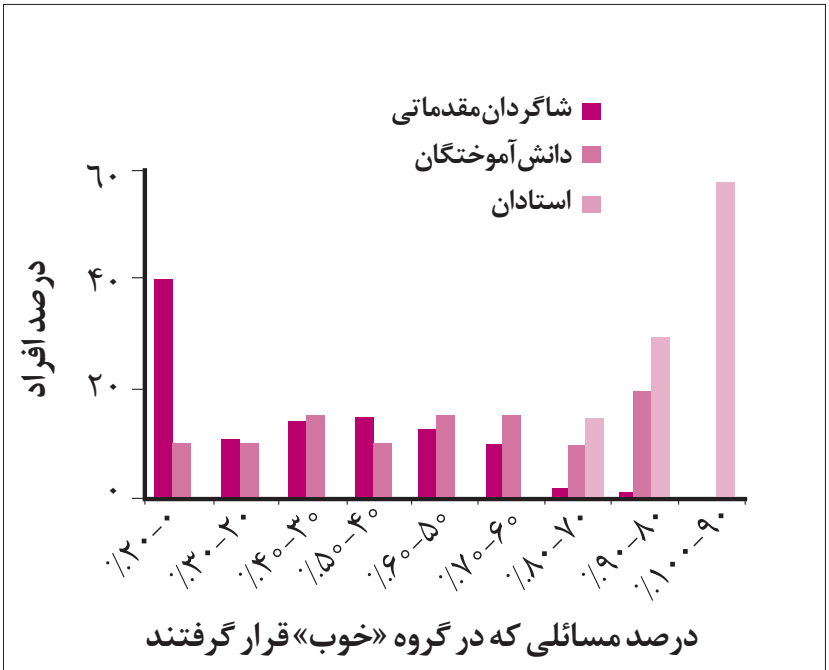
کلاس مبتنی بر حسابان با ۱۸۰ شاگرد، کار طبقه‌بندی را در کلاس‌های شفاهی پس از آموزش‌های مربوط انجام دادند. شکل (۱) نمودار میله‌ای درصد پرسش‌هایی را که در دسته‌های «خوب» (نه متوسط یا ضعیف) قرار گرفتند نشان می‌دهد و میانگین عملکرد ۱۸۰ شاگرد مقدماتی را با ۲۱ دانشجوی دکتری و ۷ عضو هیئت علمی در کار طبقه‌بندی مقایسه می‌کند. اگرچه عملکرد شاگردان مقدماتی مبتنی بر حسابان در کار طبقه‌بندی، هم‌سطح دانشجویان دکتری نیست، همپوشانی زیادی بین دو گروه وجود دارد که نشان می‌دهد بسیاری از شاگردان مقدماتی هنگام طبقه‌بندی مسئله‌ها از «تازه‌کار» بودن فاصله گرفته‌اند [۱۰]. همچنین شکل (۱) نشان می‌دهد تفاوت در طبقه‌بندی «خوب» میان اعضای هیئت علمی فیزیک و دانشجویان دکتری بسیار بیشتر از این تفاوت بین دانشجویان دکتری و شاگردان فیزیک مقدماتی مبتنی بر حسابان است. اعضای هیئت علمی فیزیک اغلب به روش‌های متعدد حل مسئله اشاره کرده بودند و برای یک مسئلهٔ خاص دسته‌های مختلفی، اغلب بیش از دانشجویان دکتری و شاگردان مقدماتی، مشخص کرده بودند.

شاگردان فیزیک مقدماتی و حتی برخی از دانشجویان دکتری، نسبت به اعضای هیئت علمی، مسئله‌های بسیار بیشتری را در دسته‌های نامناسب قرار داده بودند. مثلاً مسئله‌ای را که مبتنی بر قضیهٔ ضربه و تکانه یا پایستگی تکانه است در دستهٔ پایستگی انرژی قرار داده بودند.

بسیاری از دسته‌های ساخته شده توسط اعضای هیئت علمی، دانشجویان دکتری و شاگردان مقدماتی، مشابه بودند ولی بخشی از مسئله‌هایی که توسط هر گروه در دسته‌بندی خوبی قرار گرفته بودند، متفاوت بود. تعدادی دسته‌بندی ضعیف مانند سطح شیب‌دار و قرقره به چشم می‌خورد که توسط شاگردان مقدماتی، نه توسط استادان فیزیک یا دانشجویان دکتری به وجود آمده بودند. افزون بر این برخی از شاگردان فیزیک مقدماتی برای مسئله‌هایی که به صراحت محاسبهٔ سرعت و انرژی جنبشی را خواسته بود، دسته‌بندی‌هایی را با نام این کمیت‌های فیزیکی ساخته بودند. توضیح‌های ارائه شده توسط شاگردان به‌عنوان اینکه چرا نام آن دستهٔ خاص، برای مثال «سرعت»، مناسب‌ترین نام برای یک مسئله است، کافی نبود. شاگردان مقدماتی نوشته بودند که این گروه را به این دلیل ساخته‌اند که درخواست مسئله، محاسبهٔ سرعت است. همان‌گونه که انتظار می‌رفت، احتمال ساختن چنین دسته‌هایی توسط دانشجویان دکتری بسیار کمتر از شاگردان مقدماتی بود و دانشجویان دکتری با احتمال بیشتری مسئله‌ها را براساس اصول فیزیکی و مفاهیم، مثلاً «پایستگی انرژی مکانیکی» یا «سینماتیک یک بعدی»، دسته‌بندی کرده بودند. در پرسش‌هایی که مربوط به کاربرد دو اصل فیزیکی مهم بودند، مثلاً مسئلهٔ آونگ بالیستیک، بیشتر استادان مسئله را در هر دو دستهٔ «پایستگی انرژی مکانیکی» و «پایستگی تکانه» قرار داده بودند. در عوض بیشتر شاگردان مقدماتی و حتی برخی از دانشجویان دکتری آن را به‌عنوان مسئله‌ای از «انرژی» یا مسئله‌ای از «تکانه»، نه هر دو دسته، دسته‌بندی کرده بودند.

کاربرد در آموزش

آموزش فیزیک مقدماتی با استفاده از مفاهیم مختلف، ابزاری مناسب برای کمک به شاگردان در یادگیری فیزیک است. شاگردان باید بیاموزند که اصول فیزیکی را در شرایط گوناگون به کار برند تا به پیش‌بینی و شرح پدیده‌های فیزیکی بپردازند. مفاهیم عینی می‌تواند به شاگردان کمک کند که اصول فیزیکی خلاصه شده را بهتر بیاموزند. همچنین مفاهیم می‌توانند کمک کنند که مشارکت فعال شاگرد در فرایند یادگیری حفظ شود و نیز به آن‌ها کمک می‌کند که آنچه را آموخته‌اند با دانش قبلی و تجربیات خود پیوند دهند. با وجود این شاگردان باید بیاموزند اصول فیزیکی مهم را فراتر از مفاهیم خاص درک کنند، چرا آن اصول در مورد



▲ نمودار ۱. نمودار میله‌ای شاگردان فیزیک مقدماتی بر پایه حسابان، دانشجویان دکتری و استادان فیزیک که از ایشان درخواست شد ۲۵ مسئله را براساس روش حل دسته‌بندی کنند و درصدهای مختلفی از آن‌ها را در دستهٔ «خوب» طبقه‌بندی کردند. اعضای هیئت علمی بهترین عملکرد را در طبقه‌بندی داشتند. همپوشانی وسیعی بین دانشجویان دکتری و شاگردان فیزیک مقدماتی مشاهده می‌شود

چنین مفاهیمی کاربری دارند و اینکه چگونه بفهمند یک اصل خاص در شرایط جدیدی که با آن روبه‌رو می‌شوند قابل استفاده است یا نه. دسته‌بندی مسئله‌های مختلف براساس شباهت در روش حل می‌تواند ابزار مفیدی برای کمک به شاگردان در یادگیری فیزیک باشد زیرا این کار، آن‌ها را هدایت می‌کند که تمرکزشان به جای مفاهیم خاص، بر شباهت مسئله‌ها براساس اصول مهم باشد. مثلاً شاگردان فیزیک با سطوح متفاوتی از مهارت می‌توانند در گروه‌های کوچکی قرار گیرند و از آن‌ها درخواست شود که مسئله‌ها را طبقه‌بندی کنند و دربارهٔ اینکه چرا مسئله‌های متفاوت باید در یک گروه قرار گیرند بحث کنند، بدون اینکه از آن‌ها بخواهیم مسئله‌ها را به‌طور کامل حل کنند. چون طبق نمودار (۱) در عملکرد افراد برای طبقه‌بندی مسئله‌ها تنوع وجود دارد، شاگردان مقدماتی در گروه‌های کوچک می‌توانند بحث معناداری هنگام طبقه‌بندی کردن آن‌ها داشته باشند.

سپس بحثی کلاسی دربارهٔ اینکه چرا بعضی دسته‌بندی‌ها بهتر از بقیه هستند انجام دهیم و شاگردان می‌توانند تکالیف طبقه‌بندی ادامه‌داری را تا اطمینان از یادگیری فردی در این فعالیت دریافت کنند. تکالیف طبقه‌بندی به شاگردان کمک می‌کند به مهارت‌های رشد نیافتهٔ خود بپردازند. آن‌ها فقط تجزیه و تحلیل مفهومی انجام می‌دهند و نقشهٔ حل را در فرایند حل کردن مسئله طراحی می‌کنند که با به کاربردن نقشه مخالف است و مانع رویکرد الگوریتمی برای حل مسئله است. همچنین مربیان می‌توانند در این فرایند دانش خود را دربارهٔ محتوای آموزشی برحسب اشتباه‌های رایج شاگردان در طبقه‌بندی مسئله‌ها توسعه دهند. این کار با دسته‌بندی مسئله‌ها از دیدگاه شاگردان و سپس مقایسهٔ پاسخ‌های آن‌ها با داده‌های منتشر شده، دربارهٔ اینکه شاگردان مقدماتی وقتی واقعاً تنها هستند چگونه آن‌ها را دسته‌بندی می‌کنند، امکان‌پذیر است.

پی‌نوشت‌ها

1. Andrew Mason
2. Chandralekha Singh

۳. مسائل را می‌توان با ارسال پست الکترونیکی به نشانی ajmason@uca.edu دریافت کرد.

منابع

1. Mashood K and Singh V 2013 Large scale studies on the transferability of general-problem solving skills and the pedagogical potential of physics Phys. Educ. 48 629
2. Yap K and Wong C 2007 Assessing conceptual learning from quantitative problem solving of a plane mirror problem Phys. Educ. 42 50
3. Reif F 1986 Scientific approaches to science education Phys. Today 39 48
4. Reif F 1995 Millikan lecture 1994: understanding and teaching important scientific thought processes Am. J. Phys. 63 17
5. Reif F 1981 Teaching problem solving—a scientific approach Phys. Teach. 19 310
6. Larkin J and Reif F 1979 Understanding and teaching problem solving in physics' Eur. J. Sci. Educ. 1 191
7. Larkin J 1981 Cognition of learning physics Am. J. Phys. 49 534
8. Larkin J, McDermott J, Simon D and Simon H 1980 Expert and novice performance in solving physics problems Science 208 1335
9. Maloney D 1994 Research in problem solving: physics Handbook of Research on Science Teaching and Learning ed D Gabel (New York: MacMillan) pp 327–54
10. Chi M, Feltovich P and Glaser R 1981 Categorization and representation of physics problems by experts and novices Cogn. Sci. 5 121
11. Singh C 2009 Categorization of problems to assess and improve proficiency as teachers and learners Am. J. Phys. 77 73
12. Lin S and Singh C 2010 Categorization of quantum mechanics problems by professors and students Eur. J. Phys. 31 57
13. Mason A and Singh C 2011 Assessing expertise in introductory physics using categorization task Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res. 7 020110
14. Wolf S, Dougherty D and Kortemeyer G 2012 Empirical approach to interpreting cardsorting data Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res. 8 010124