

بازسازی یک رویکرد آموزشی-تفکری برای یادگیری مفهومی نظریه نسبیت خاص

احمد کمالیان فر^۱، مطهره دشتی^۲، زهرا کاشفی^۳، سارا فلاح زده^۴

پذیرش: ۱۴۰۲/۵/۲۶

دریافت: ۱۴۰۲/۳/۱۷

چکیده

اخیرا نشانه هایی از علاقه دبیران فیزیک و مولفان کتب درسی برای گنجاندن موضوعات مختلف فیزیک مدرن به ویژه نظریه نسبیت خاص اینشتین در کتب دبیرستان همراه با علاقه روزافزون دانش آموزان متوسطه و تعدد سوالات آنها در این زمینه بدلیل مواجه شدن با فیلم ها و بازی هایی که موضوعاتی مانند سفر به زمان و یا منقبض شدن اجسام از دید ناظر سفینه فضایی در بازیها را به چالش می کشند، دیده می شود. در نتیجه فرصت ها و چالش های پیش رو برای یافتن رویکردهای آموزشی مناسب برای غلبه بر مشکلات یاددهی-یادگیری مفاهیم نظریه نسبیت خاص احساس می شود. رویکردی که به تقویت درک مفهومی و به دست آوردن انگیزه و اعتماد به نفس و نگرش نسبت به این مفاهیم بیانجامد. آنچه از اظهار نظر دبیران فیزیک مقطع دبیرستان و حتی اساتید دانشگاه در مورد دانشجویان رشته فیزیک متوجه می شویم این است که همه آنها در سطوح مختلف آموزشی، مشکلات یادگیری و بکارگیری چارچوب مرجع را تجربه می کنند که این موضوع، بنیاد درک نسبیت خاص می باشد. در تحقیق حاضر ضمن مرور بدمفهومش های شناخته شده در فراگیری این نظریه، یک رویکرد آموزشی-تفکری برای آموزش نظریه نسبیت خاص به دانشجویان دوره کارشناسی، دوره ضمن خدمت معلمان و همچنین دانش آموزان علاقه مند دوره متوسطه پیشنهاد شده است. انتظار می رود که این رویکرد بتواند به دانش آموزان متوسطه و دانشجویان رشته آموزش فیزیک در تقویت درک مفهومی و فلسفه علمی نظریه نسبیت خاص و بطور کلی فیزیک کمک کند.

واژگان کلیدی: آموزش فیزیک، بدمفهومش های نسبیت، نظریه نسبیت خاص، فیزیک مدرن.

۱. گروه آموزش فیزیک، دانشگاه فرهنگیان، صندوق پستی ۸۸۹-۱۴۶۶۵ تهران. ایران. نویسنده مسؤول، a.kamalianfar@cfu.ac.ir.
۲. دانشجوی کارشناسی، رشته آموزش فیزیک، دانشگاه فرهنگیان، تهران، ایران.
۳. دانشجوی کارشناسی، رشته آموزش فیزیک، دانشگاه فرهنگیان، تهران، ایران.
۴. دانشجوی کارشناسی، رشته آموزش فیزیک، دانشگاه فرهنگیان، تهران، ایران.

مقدمه

امروزه، فاصله بین آنچه از علوم که در مدارس آموزش داده می‌شود و آنچه نیاز دانش‌آموزان است، در حال افزایش است. بخصوص که با دسترسی گسترده دانش‌آموزان با فضای مجازی و فیلم‌های علمی، آن‌ها با مفاهیمی برخورد می‌کنند که با آنها آشنایی ندارند. از طرفی، اساس کتاب‌های درسی ساختار یافته است؛ در حالی که در یک جامعه مدرن، تحقیقات و مطالعات نیازمند دید بازتر در مباحث میان رشته‌ای است. در نتیجه، دانش‌آموزان می‌توانند ارتباطات معنی‌داری ایجاد کنند که به آن‌ها این امکان را می‌دهد تا با درک مفاهیم بین‌رشته‌ای، دانش مورد نظر را کسب کنند. این جنبه از آن جهت حائز اهمیت است که اگر معلمان در طول آموزش خود (دوره کارشناسی و یا حتی آموزش ضمن خدمت) فرصت تجزیه و تحلیل عمیق مفاهیم را نداشته باشند، یادگیری آن‌ها از مراجعی که معمولاً به آن‌ها مراجعه می‌کنند، گاهی سطحی و یا همراه با اشتباه می‌باشد. بعنوان مثال، دانش‌آموزان زیاد درباره مسأله سفر در زمان از معلم خود می‌پرسند که در حیطه مبحث نسبیت است.

مطالعات و تحقیقات نشان داده است که اگرچه دانش‌آموزان و دانشجویان به ایده‌های مرتبط با نظریه نسبیت خاص و عام انگیزه و علاقه دارند، اما در درک مفاهیم اصلی این نظریه‌ها، مشکلات زیادی دارند (Kaur, 2017; Choudhary, 2019). ما در اینجا به دنبال یک رویکرد آموزشی برای آموزش مفاهیم نسبیت خاص اینشتین هستیم که بتواند به سوالات زیر پاسخ دهد: کدام مشکلات یادگیری (بدمفهومش) در آموزش نسبیت خاص در مقطع متوسطه و مقطع کارشناسی گزارش شده است؟ کدام رویکردهای آموزشی برای آموزش نسبیت در مقطع متوسطه و مقطع کارشناسی بنا نهاده شده است؟ کدام ابزار تحقیقاتی برای بررسی درک مفهومی دانش‌آموزان از نسبیت خاص در مقطع متوسطه و مقطع کارشناسی استفاده شده است؟

در ادامه پس از بررسی بدمفهومش‌هایی که در یادگیری عمیق مفاهیم نظریه نسبیت خاص اینشتین (شامل اصل نسبیت، چارچوب مرجع-اتساع زمان، انقباض طول و مفهوم همزمانی) گزارش شده است، یک رویکرد آموزشی-تفکری ارائه خواهیم داد که بتواند به پرسش‌های بالا پاسخ گوید.

روش‌شناسی پژوهش

برای یافتن پاسخ پرسش‌های این تحقیق، از مقالات جدید منتشر شده در کتابخانه‌های مهم مانند Scopus و Web of Science و همچنین تجارب برخی اساتید دانشگاه فرهنگیان در زمینه رویکرد تفکری دانش‌آموزان نسل حاضر استفاده شده است. در انتخاب مقالات سعی شد آن‌هایی مورد بررسی قرار گیرد که ۱- به درک مفهومی از موضوع می‌پردازند ۲- در سطح دانش‌آموزان متوسطه و یا دانشجویان کارشناسی هستند ۳- جدید باشند و مشکلات یادگیری و روش‌های آموزش موضوع تحقیق را در نظر می‌گیرند. به این مقالات در قسمت مراجع آدرس داده شده است.

بیان ساده نسبیت خاص اینشتین

نسبیت خاص نظریه‌ای درباره ساختار فضا-زمان است که در مقاله اینشتین در سال ۱۹۰۵ معرفی شد. نسبیت خاص بر دو فرض استوار است که در مکانیک کلاسیک نقض می‌شوند: ۱- قوانین فیزیک برای همه ناظران در هر چارچوب مرجع لخت نسبیت به یکدیگر یکسان است (اصل نسبیت). ۲- سرعت نور در خلاء برای همه ناظران بدون توجه به حرکت نسبی آن‌ها یا حرکت منبع نور یکسان است (احمدی، ۱۳۹۹).

مشکلات یادگیری مبحث نسبیت خاص اینشتین

با یک تجربه آموزشی شروع می‌کنیم. فرض کنیم دانشجویانی که با نظریه نسبیت آشنا هستند، بخواهند یک پدیده فیزیکی که تغییر سرعت در آن نقش دارد (مثلاً یک آونگ پیچشی) را بررسی کنند. به ندرت آن‌ها از اصل نسبیت به عنوان یک ابزار اکتشافی استفاده می‌کنند و یا اگر اصل نسبیت نقض شد، آن را مشکل ساز نمی‌دانند! در واقع مشکل اساسی دانشجویان از درک و بکارگیری

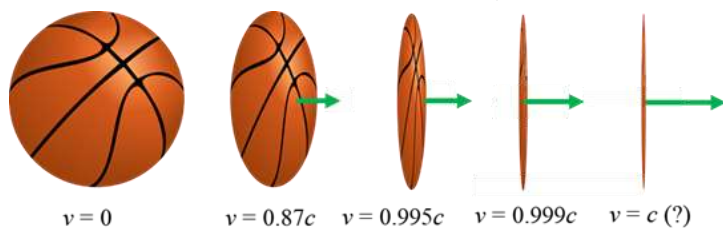
نظریه نسبیت خاص به ماهیت حرکت بر می‌گردد. بدمفهومش‌هایی که دانشجویان در هنگام یادگیری نسبیت خاص مرتکب می‌شوند را می‌توان چنین گروه بندی کرد:

۱-چارچوب مرجع لخت ۲-مفاهیم ناظر، رویداد و همزمانی ۳-اتساع زمان و انقباض طول
در ادامه هر یک از این موارد را بررسی می‌کنیم (خلاصه آن در جدول ۱ آمده است).

مفهوم چارچوب مرجع لخت: اساس هر توصیفی از حرکت نسبی، در مفهوم سازی چارچوب‌های مرجع نهفته است. هر توصیفی از حرکت نسبی مبتنی بر مفهوم چارچوب مرجعی است که در آن ناظراندازه‌گیری‌هایی را برای تعیین مختصات مکانی و زمانی رویدادها انجام می‌دهند. پس، اولین نیاز دانشجویان برای درک مفاهیم نسبیت این است که بتوانند بین چارچوب مرجع‌های مختلف حرکت کنند تا این امکان برای آن‌ها فراهم باشد تا عمق اصل نسبیت خاص را تشخیص دهند. بدمفهومش رایج دانشجویان در مورد چارچوب مرجع این است که آن‌ها رویدادهای خاص را متعلق به یک چارچوب مرجع خاص در نظر می‌گیرند و درک نمی‌کنند که رویدادها بدون توجه به چارچوب مرجع انتخابی قابل مشاهده هستند (Z. Tanel, F. Kamphorst). به بیان ساده‌تر، آن‌ها تصور می‌کنند که یک چارچوب مرجع می‌بایست به یک دیواره بتنی ثابت شده باشد. یا به چارچوب مرجع خاصی (طبیعاً زمین) ارجعیت خاصی ببخشند (K. Dimitriadi). عموماً آن‌ها در شناخت ماهیت ذاتی چارچوب مراجع لخت به مشکل بر می‌خورند. به عنوان مثال یک چارچوب مرجع لخت را یک چارچوب ایستا در نظر می‌گیرند. یا مثلاً یک موشک که دارای یک حرکت شتاب‌دار است را چارچوب مرجع لخت در نظر می‌گیرند به دلیل آن‌که ناظر درون آن نسبت به موشک ساکن است. این مشکل از آن‌جا پدیدار می‌شود که ماهیت ذاتی چارچوب‌های مرجع لخت با در نظر گرفتن آن به عنوان یک ویژگی نسبی بین دو چارچوب مرجع نادیده گرفته می‌شود و این بدمفهومش را ایجاد می‌کند که همه چارچوب‌های مرجع چه لخت باشند چه نالخت، معادل هستند.

مفهوم همزمانی: از نتایج نظریه نسبیت خاص یکی این است که دو رویدادی که به طور همزمان در چارچوب مرجعی رخ می‌دهند، در چارچوب مرجع دیگری که نسبیت به اولی در حال حرکت است، همزمان نیستند. این را نسبیت همزمانی می‌گویند. بدمفهومش این اندازه‌گیری زمان آن‌جاست که دانشجویان زمان یک رویداد را با زمانی که در آن سیگنال نوری از رویداد توسط ناظر دریافت می‌شود، مرتبط کنند و این منجر به این تصور نادرست می‌شود که اگر ناظری سیگنال‌هایی را از دو رویداد به طور همزمان دریافت کند، پس رویدادها همزمان هستند. این تصورات نمایانگر دیدگاهی است که در آن هر ناظر چارچوب مرجع مجزایی را تشکیل می‌دهد، که در آن نتایج اندازه‌گیری‌ها به موقعیت ناظر در هر زمان معین وابسته است.

اتساع زمان، انقباض طول: در بحث نسبیت، فاصله دو جسم یا طول یک جسم که در یک چارچوب مرجع لخت اندازه‌گیری می‌شود با مقدار اندازه‌گیری شده در یک چارچوب مرجع لخت دیگری که نسبت به اولی در حال حرکت است، یکسان نیست. همچنین، فاصله زمانی بین دو رویداد در چارچوب مرجعی که در آن دو رویداد در همان موقعیت اتفاق می‌افتند، کوچک‌ترین است. بدمفهومش‌های دانشجویان نسبت به این دو مفهوم بسیار مهم نسبیت چنین بیان شده است. تصور دانشجویان این است که این پدیده‌ها فقط در چارچوب مرجع متحرک رخ می‌دهند. همچنین، برخی دانشجویان معتقدند کوتاه شدن طول باید در همه ابعاد اتفاق بیفتد، در حالی که در واقع محدود به جهت حرکت است. شکل ۱ نشان می‌دهد که در راستای حرکت، اندازه توپ کوچکتر شده است در حالی که در راستای عمود بر حرکت اندازه توپ تغییر نکرده است



شکل ۱. (VisualPhysics)

جدول ۱. بدمفهوم‌های دانشجویان در فراگیری مفاهیم نسبیت خاص (Alstein, ۲۰۲۱).

مفهوم	بدمفومش	مرجع
چارچوب مرجع لخت	رویدادهای خاص را متعلق به یک چارچوب مرجع خاص در نظر می‌گیرند و درک نمی‌کنند که رویدادها بدون توجه به چارچوب مرجع انتخابی قابل مشاهده هستند. آن‌ها تصور می‌کنند که یک چارچوب مرجع می‌بایست به یک دیواره بتنی ثابت شده باشد. یا به چارچوب مرجع خاصی (طبیعتاً زمین) ارجعیت خاصی ببخشند	(Tanel, ۲۰۱۴) (Kamphorst, ۲۰۱۹)
همزمانی	دانشجویان زمان یک رویداد را با زمانی که در آن سیگنال نوری از رویداد توسط ناظر دریافت می‌شود، مرتبط کنند و این منجر به این تصور نادرست می‌شود که اگر ناظری سیگنال‌هایی را از دو رویداد به طور همزمان دریافت کند، پس رویدادها همزمان هستند.	(Dimitriadi, ۲۰۱۲)
اتساع زمان، انقباض طول	تصور دانشجویان این است که این پدیده‌ها فقط در چارچوب مرجع متحرک رخ می‌دهند. همچنین، برخی دانشجویان معتقدند کوتاه شدن طول باید در همه ابعاد اتفاق بیفتد، در حالی که در واقع محدود در جهت حرکت است. شکل ۱ نشان می‌دهد که در راستای حرکت، اندازه توپ کوچکتر شده است در حالی که در راستای عمود بر حرکت اندازه توپ تغییر نکرده است.	(Otero, ۲۰۱۵)

رویکرد آموزشی پیشنهادی جهت آموزش مبحث نسبیت:

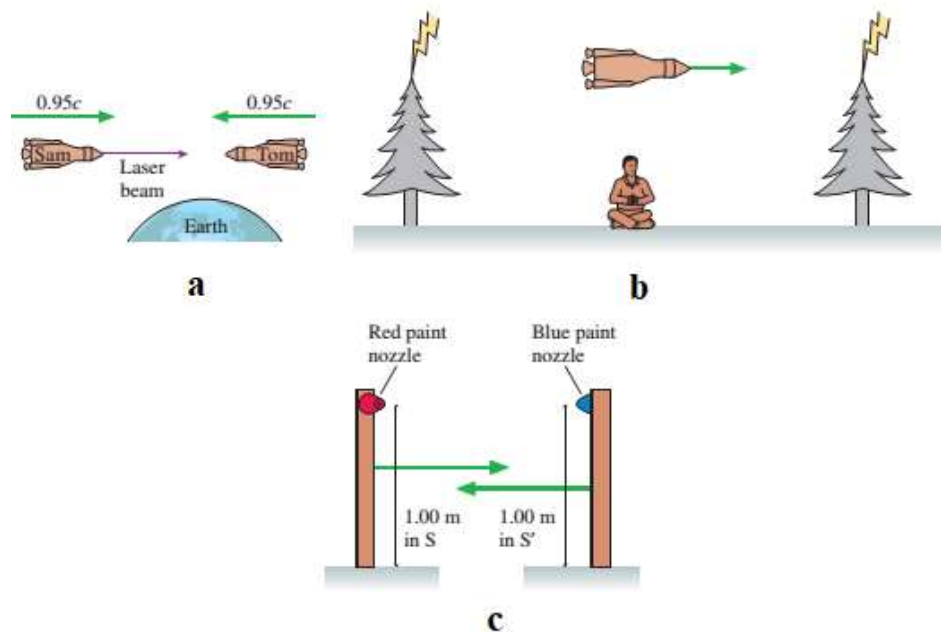
این رویکرد آموزشی بر اساس آزمایش‌های فکری (Thought experiments) طراحی می‌شود. این رویکرد برای بیان یک مفهوم خاص یا مجموعه‌ای از مفاهیم در زمینه‌ای که برای فراگیر آشنا است، طراحی شده اند (Aguinis, ۲۰۲۳). با هدف درک مفهومی فرضیات نظریه نسبیت خاص اینشتین و اثرات نسبیتی آن، می‌توان یک رویکرد آموزشی شامل چند مرحله پیشنهاد کرد:

در مرحله اول زمینه سازی تاریخی و فلسفی نظریه نسبیت خاص در کلاس مطرح می‌شود. اساتیدی که درس ماهیت علم را تدریس کرده‌اند، متوجه جلب نظر دانشجویان به فواید معرفی فیزیکی از دیدگاه تاریخی و فلسفی شده‌اند. ارجاع صریح به بحث‌های تاریخ و فلسفه علم باعث درک بهتر ماهیت علم به عنوان یک دستاورد انسانی و فرهنگی می‌شود و همچنین ارتباط بین توسعه تفکر فردی و توسعه تفکر علمی را تسهیل می‌کند. معرفی آزمایش مایکلسون مورلی و کارهای آقای لورنتس در توسعه نسبیت پایه ساز درک بهتر این موضوع می‌شود.

در طول سه دهه گذشته، برنامه‌های چند رسانه‌ای مانند ابزارهای شبیه‌سازی تعاملی و محیط‌های مجازی نقش مهمی در انگیزه و نگرش دانش آموزان نسبت به علم بازی می‌کنند. پس بعنوان دومین مرحله رویکرد آموزشی پیشنهادی و به منظور پر کردن شکاف بین مفاهیم انتزاعی نسبیت و تجربه روزمره، از محیط مجازی نسبیتی (مانند بازی Real Time Relativity) طراحی شده که در آن دانش آموزان می‌توانند اثرات سفر با سرعت‌های نزدیک به سرعت نور را تجربه کنند، استفاده می‌شود. بعنوان مثال در این محیط - های مجازی، اشخاص سوار بر سفینه فضایی با حرکت در فضا و شلیک موشک به سیاره‌ها و از بین بردن آن‌ها امتیاز کسب می‌کنند! و البته در سرعت‌های نسبیتی اجسام متحرک منقبض می‌شوند و رنگ‌ها مطابق با تغییر اثر دوپلر تغییر می‌کنند. یک بازی معروف در این مورد، بازی A slower speed of light است که در آن با تغییر سرعت، محیط بازی تغییر می‌کند (مطابق با اثرات نسبیتی دوپلر و انقباض طول) و با جمع آوری گوی‌ها، چالش برانگیزتر می‌شود. استفاده از انیمیشن‌های جالب در این زمینه بسیار مؤثر خواهد بود (Kortemeyer, ۲۰۱۹).

مرحله سوم رویکرد آموزشی پیشنهادی، به فعالیت‌های دانشجویان اختصاص می‌یابد. انگیزه اصلی طراحی فعالیت‌های دانش - آموزی این است که دانش آموزان را قادر می‌سازد تا به مفاهیم انتزاعی معنا دهند. بعنوان مثال، از آن‌ها خواسته می‌شود که در بحث نسبیت و مطالبی که فرا گرفته‌اند، بنویسند. این فعالیت نوشتاری دانش آموزان را قادر می‌سازد تا تفکرات علمی را با کلمات خود سازماندهی کنند و آن‌ها را راحت تر به خاطر بسپارند. در این مرحله روابط نسبیتی اتساع زمان و انقباض طول، همزمانی، تبدیلات

گالیله و لورنتس به آن‌ها آموزش داده می‌شود تا بتواند مسائل نسبیتی را حل کنند. این مرحله را می‌توان برای دانش‌آموزان دوره متوسطه ساده و یا حتی حذف کرد. بعنوان مثال، در شکل ۲ برخی از این فعالیت‌ها که دانش‌آموزان می‌توانند متنی یا سؤالی درباره هر یک بنویسند و یا مسأله‌ای از هر یک حل کنند، آمده است.



آخرین مرحله که مهم‌ترین مرحله است، به معلم این اجازه را می‌دهد تا اصول، ساختار و مفروضات اساسی را در موقعیت‌هایی که به تجربه روزمره مربوط می‌شوند، بیان کنند. در مورد آموزش نظریه نسبیت، بعد از انجام مراحل قبلی، یک پیش‌آزمون طراحی شده برای استخراج مفاهیم ذهنی دانشجویان از نسبیت انجام می‌شود و سپس دانشجویان به تشخیص مغایرت بین دانسته‌های خود و مفاهیم مطابق با نظریه جدید هدایت می‌شوند و در نهایت آن‌ها از طریق استدلال لازم برای برطرف کردن هر گونه بدمفهومش راهنمایی می‌شوند.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، ابتدا مروری داشتیم بر شایع‌ترین بدمفهومش‌ها و مشکلات یادگیری مبحث نسبیت خاص اینشتین که در جدیدترین تحقیقات آمده است. بر اساس این بدمفهومش‌ها و مشکلات یادگیری این مبحث، یک رویکرد آموزشی-تفکری پیشنهاد گردید. این رویکرد آموزشی مبتنی بر چند مرحله است. ابتدا، زمینه‌سازی تاریخی و فلسفی این نظریه مطرح می‌شود. سپس، به منظور پر کردن شکاف بین مفاهیم انتزاعی نسبیت و تجربه روزمره، از محیط مجازی نسبیتی استفاده می‌شود. در سومین مرحله، به منظور معنا دادن به مفاهیم انتزاعی نسبیت خاص، فعالیت‌هایی برای دانش‌آموزان طراحی و اجرا می‌گردد. و سرانجام این معلم است که با شناختی که از مشکلات یادگیری دانش‌آموزان پیدا کرده است، متناسب با سطح کلاس، مفاهیم را برای آن‌ها توضیح و اشکالات یادگیری آن‌ها را رفع می‌کند. این رویکرد مناسب دانش‌آموزان علاقه‌مند، دانشجویان فیزیک بخصوص رشته آموزش فیزیک و همچنین دوره‌های ضمن خدمت دبیران فیزیک و بین رشته‌ای می‌باشد.

منابع:

- Kaur, T., et al. (۲۰۱۵). Determining the Intelligibility of Einsteinian Concepts with Middle School Students, *Research in Science Education*, ۵۰, ۲۵۰۵-۲۵۳۲.
- Choudhary, R., et al. (۲۰۱۹). Einsteinian Physics in the Classroom: Integrating Physical and Digital Learning Resources in the Context of an International Research Collaboration, *The Physics Educator*, ۰۱, ۱۹۵۰۰۱۶.
- Alstein, P., et al. (۲۰۲۱). Teaching and learning special relativity theory in secondary and lower undergraduate education: A literature review, *Phys. Rev. Phys. Educ. Res.* ۱۷, ۰۲۳۱۰۱.
- Tanel, Z., et al. (۲۰۱۴) Student difficulties in solving problems concerning special relativity and possible reasons for these difficulties, *Journal of Baltic Science Education*, ۱۳, ۵۷۳-۵۸۲.
- Kamphorst, F., et al. (۲۰۱۹). Students' preinstructional reasoning with the speed of light in relativistic situations, *Phys. Rev. Phys. Educ. Res.* ۱۵, ۰۲۰۱۲۳.
- Dimitriadi, K., et al. (۲۰۱۲). Students' Understanding of Basic Ideas of Special Relativity, *International Journal of Science Education*, ۳۴, ۲۵۶۵-۲۵۸۲.
- Aguinis, H., et al. (۲۰۲۳). Thought experiments: Review and recommendations. *Journal of Organizational Behavior*, ۴۴(۳), ۵۴۴-۵۶۰.
- Otero, M. R., et al. (۲۰۱۵). Teaching the basic concepts of the Special Relativity in the secondary school in the framework of the Theory of Conceptual Fields of Vergnaud, *Nuovo Cimento dell Societa Italiana di Fisica C* ۳۸, ۱۰۸.
- امیرآبادی, یلا, فاطمه احمدی و یوسف فرزانه. (۱۳۹۹). آموزش نسبیت خاص برای دانش آموزان دوره دوم متوسطه, پنجمین همایش ملی ارتقای کیفیت آموزش با رویکرد آموزش ترکیبی.
- ابراهیمی تیرتاش, فهیمه. ۱۳۸۸. آیا آزمایش‌های فکری استدلال هستند؟, روش شناسی علوم انسانی. دوره ۱۵, شماره ۶۰ -
- G. Kortemeyer, Game Development for Teaching Physics, *Journal of Physics: Conference Series*, ۱۲۸۶ (۲۰۱۹) ۰۱۲۰۴۸. <https://d-arora.github.io/VisualPhysics/>