امواج گرانشی در کلاس فیزیک متوسطه ۲

محمدرضا خسروی‌پور

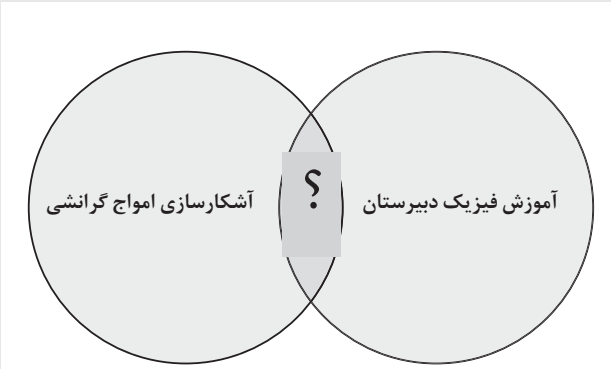
چکیده

آشکارسازی امواج گرانشی در ماه‌های اخیر خبر اول مراکز علمی بود. نیروی بنیادی گرانش در مثال آموزشی حرکت آسانسور و کاربرد تداخل‌سنجی در آزمایش دو شکاف یانگ از جمله موضوع‌های درسی متوسطه۲ هستند که می‌توانند نقش پل ارتباطی کلاس فیزیک متوسطه۲ با این رویداد بزرگ علمی را بازی کنند. رابطه گرانش با هندسه با بررسی مفهومی حرکت شتابدار آسانسور به خوبی تبیین می‌شود. همچنین تداخل با مقایسه کمیتی فیزیکی با یک فاصله هندسی روشی برای نتیجه‌گیری در مورد منشأ امواج با استفاده از آزمایش یانگ است.

کلیدواژه‌ها: امواج گرانشی، نسبیت عام، نسبیت خاص، آسانسور شتابدار.

مقدمه

جذابیت و پویایی شرط لازم برای آموزش موفق علوم محسوب می‌شوند. دستیابی به این اهداف ابزارهای متفاوتی را می‌طلبد. ایجاد ارتباط بین مطالب درسی و وقایع علمی روز با استفاده از آزمایش و کاربرد هوشمندانه ریاضیات، جذابیت برای کلاس درس، مقبولیت علمی برای معلم و البته پویایی برای دانش‌آموز را به ارمغان می‌آورد. در این میان با توجه به فاصله علمی بین محتوای دبیرستانی و رویدادهای علمی، ایجاد یک پل ارتباطی مناسب از اهمیت بالایی برخوردار است. پلی که ضمن ایجاد ارتباط علمی و منطقی، از رفتن کلاس به سمت مطالب سخت و سنگین دانشگاهی جلوگیری کند و دانش‌آموز را به ورطه توهم و خیال‌پردازی‌های بیهوده نیز سوق ندهد. به منظور دستیابی به این هدف بایستی به دنبال مطالبی از کتاب‌های درسی بود که بسط منطقی آن‌ها مبتنی بر دانش ریاضی دانش‌آموزان در کنار انجام آزمایش‌ها و شبیه‌سازی‌های ساده، فرصت تفکر، تعمیم و نتیجه‌گیری را برای دانش‌آموز فراهم کنند. پرواضح است که درس و معلم فیزیک در این موضوع از جایگاه ویژه‌ای در بین دانش‌آموزان دبیرستان برخوردار است. در این گفتار بر آنیم تا به بهانه آشکارسازی امواج گرانشی، فرصت‌های آموزشی از متن کتاب‌های فیزیک دبیرستان را بیابیم که دانش‌آموزان دبیرستان را با موضوع‌های نسبیت عام، امواج گرانشی و روش تجربی آشکارسازی این امواج آشنا کند. هدف این مقاله را می‌توان در طرح‌واره‌ی زیر جست‌وجو کرد.



نسبیت عام و مفهوم هندسی گرانش

اجازه دهید تا در ابتدا مقایسه‌ای داشته باشیم بین دو نیروی بنیادی الکترومغناطیس و گرانش. نیروهایی که دانش‌آموزان آن‌ها را در دبیرستان با قانون‌های کولن و گرانش عمومی نیوتون توصیف می‌کنند. واضح است که بین این دو برهم‌کنش بنیادی طبیعت تفاوت‌های مختلفی موجود است که از جمله آن‌ها می‌توان به منشأ آن‌ها، رفتار جاذبه و دافعه آن‌ها اشاره کرد. اما تفاوت مهم دیگری وجود دارد که قابل تأمل است. از الکتریسیته به یاد داریم که در حالت ایستا

بنا بر نظریه نسبیت عام فضا زمان به یک موجود پویا و دینامیک قبل انعطاف و تغییرپذیر است که الگوی خمیدگی خود را از حضور جرم فرمان می‌گیرد. در این دیدگاه گرانش ترجمانی است از خمیدگی فضا زمان

بارهای الکتریکی روی سطح خارجی یک جسم رسانا توزیع می‌شوند. به بیان دیگر میدان الکتریکی داخل یک سطح بسته رسانا صفر می‌شود (آزمایش فیزیک الکتریسیته). بنابراین جسمی که داخل یک سطح رسانای ساکن محبوس شود، میدان الکتریکی ایستای محیط را احساس نمی‌کند. حال این پرسش مطرح می‌شود که آیا چنین تجربه‌ای برای میدان گرانشی هم ممکن است؟ آیا می‌توان سپری ساخت که مانع نفوذ خطوط میدان گرانشی برای ناظر ساکن شود؟ هر گونه تجربه‌ای در این زمینه با شکست مواجه می‌شود. (به این منظور آزمایشی ساده انجام می‌دهیم). میدان گرانشی در همه جای فضا موجود و همیشه حاضر است. به نظر می‌رسد که میدان گرانشی به فضا متصل و در آن ادغام شده باشد!!!.

یک مسئله ساده و دبیرستانی در این مورد به درک بهتر آن کمک می‌کند. شخص داخل آسانسور را به یاد بیاورید. اگر آسانسور سقوط آزاد داشته باشد، شخص داخل آن بی‌وزنی را تجربه می‌کند. از آنجا که وزن نتیجهٔ حضور در میدان گرانشی است، به نظر می‌رسد که شتاب آسانسور باعث حذف این میدان شده است. از طرفی اگر آسانسور مذکور در فضای بین ستاره‌ای و به دور از هر گونه جرمی با شتاب مناسب حرکت کند، شخص داخل آسانسور از آزمایش‌های خود نتایج مشابه حالتی را خواهد گرفت که در حضور میدان گرانشی انتظار آن را داشت. اما شتاب یک مفهوم هندسی است که در فضا - زمان قابل تعریف است.

این موضوع‌های ساده ولی مهم ما را به این نتیجه نزدیک می‌کند که گرانش یک اثر هندسی است و ماده به عنوان منشأ گرانش، تأثیر هندسی بر فضا زمان دارد. این مطلب شالوده اصلی نظریه نسبیت عام است که در سال ۱۹۱۵ توسط آلبرت اینشتین بیان شد. به یاد داشته باشیم که ۱۰ سال پیش از آن اینشتین با تکیه بر نتایج حاصل از نظریه الکترومغناطیس ماکسول و به منظور حل مشکل سرعت نور به یگانه‌سازی فضا و زمان پرداخت و نظریه نسبیت خاص را خلق کرده بود. بنابراین صحبت از فضا به تنهایی ناقص است. بنا بر نظریه نسبیت عام فضا زمان به یک موجود پویا و دینامیک قبل انعطاف و تغییرپذیر است که الگوی خمیدگی خود را از حضور جرم فرمان می‌گیرد. در این دیدگاه گرانش ترجمانی است از خمیدگی فضا زمان.

امواج گرانشی

با وحدت فضا و زمان و تولد فضا زمان، اینک دانش‌آموز دبیرستان دومین تجربه خود از یگانه‌سازی در فیزیک را پشت سر می‌گذارد. تجربه‌ای که قبلاً با مطالعه قانون کولن، آزمایش اورستد و قانون فاراده به وحدت در الکتریسیته و مغناطیس و تولد الکترومغناطیس انجامیده بود. نتیجه شگفت‌انگیز این یگانگی تولید امواج الکترومغناطیسی است. امواجی که به واسطه حرکت شتابدار بار الکتریکی به‌صورت نوسان‌هایی در میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی به سرعت نور در فضای تهی منتشر می‌شوند. با مقایسه گرانش و الکترومغناطیس انتظار می‌رود که حرکت شتابدار اجرام سنگین نیز اغتشاشاتی را در بافت فضا زمان ایجاد کنند. این پیش‌بینی پس از ارائهٔ نسبیت عام توسط اینشتین در سال ۱۹۱۵ انجام شد. امواجی که در کلاس درس اگرچه با مقایسه با امواج الکترومغناطیسی به دانش‌آموزان معرفی می‌شوند اما باید به تفاوت‌های بنیادی آن‌ها نیز اشاره شود. در کنار تفاوت‌های متعدد از جمله دامنه به این موضوع مهم نیز باید اشاره کرد که امواج الکترومغناطیسی نوسان‌های وابسته به زمان میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی در فضا هستند، در حالی‌که امواج گرانشی نوسان در خود بافت فضا زمان هستند. (آزمایش مربوط به آونگ دوگانه انجام شود).

تداخل‌سنجی و آشکارسازی امواج گرانشی

برای ورود به بحث آشکارسازی امواج گرانشی بایستی نگاهی ویژه به روش معروف، متداول و مهم تداخل‌سنجی در فیزیک داشت. امواج مستقل از چشمه تولید و ماهیت، می‌توانند باعث ایجاد پدیده‌ای شوند که در فیزیک به آن تداخل می‌گوییم. این ویژگی سبب می‌شود که در مبحث ویژه امواج به معادله‌هایی برخورد کنیم که از ترکیب کمیت‌های فیزیکی و هندسی به‌وجود می‌آیند. به گونه‌ای که با اندازه‌گیری‌های هندسی می‌توان خواص فیزیکی و یا با داشتن خواص فیزیکی به مقادیر هندسی دست یافت. این موضوع اصل حاکم بر روش تداخل‌سنجی را تشکیل می‌دهد، برای تبیین دقیق‌تر و کمّی این موضوع سراغ یکی از مباحث مهم فیزیک دبیرستان می‌رویم که با موضوع تداخل‌سنجی درگیر است. آزمایش دو شکاف یانگ اگرچه رابطه مستقیم با روش به‌کار رفته در آشکارسازی امواج گرانشی توسط تیم لایگو ندارد، ولی برای استخراج و روشن کردن وجوه هندسی و فیزیکی روش تداخل‌سنجی بسیار مفید است.

نگاهی به روابط مورد استفاده در آزمایش دو شکاف یانگ مؤید این مطلب است که تداخل‌سنجی عبارت است از مقایسه روابط هندسی با شرایط فیزیکی

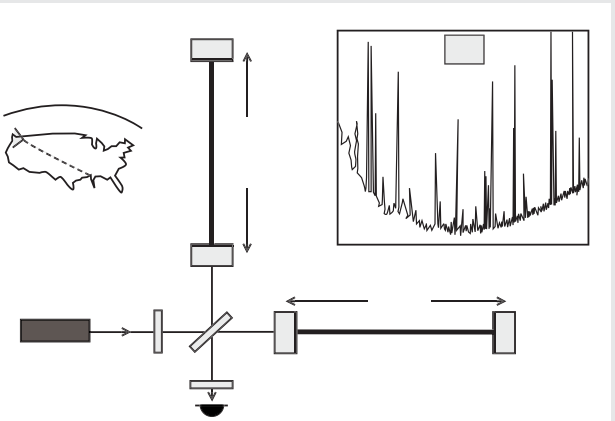
رابطه هندسی $\delta = \frac{xa}{D}$

شرایط فیزیکی $\delta = 2n\frac{\lambda}{2}$ یا $\delta = (2m-1)\frac{\lambda}{2}$

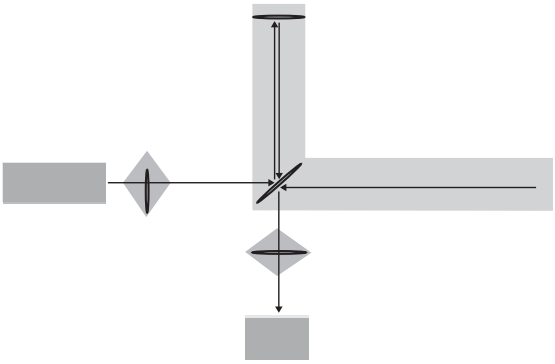
به عبارتی دیگر، امواج خط‌کش‌های غیرقابل تقسیم (نیم

طول مـــوج) در اختیار ما قرار می‌دهند تـــا با آن فاصله‌های هندسی را بســـنجیم. نتیجه این سنجش به نتیجه‌گیری در مورد ماهیت و منبع امواج می‌انجامد. لازم به ذکر اســـت که روند مشابهی در بحث امواج ایستاده به‌کار می‌رود که می‌تواند فرصتـــی برای ورود به مبحث کوانتش باشـــد. به این ترتیب تداخل‌سنجی کاربردی از پیوند هندسه و فیزیک می‌شود.

در بررسی تاریخچه اســـتفاده از تداخل‌سنجی به آزمایش معروف مایکلسون - مورلی برخورد می‌کنیم. این آزمایش در قرن بیستم با تعیین سرعت نور توانست ناوردایی معادله‌های لورنتس را نشـــان دهد. موضوعی که اصول حاکم بر نسبیت خاص را اثبات می‌کند. آشکارسازی امواج گرانشی با استفاده از تحلیل تداخل پرتوهای لیزر نیز براســـاس تداخل‌ســـنجی مایکلســـون - مورلی استوار اســـت. گویا پس از حدود ۱۰۰ سال بار دیگر اینشتین بایستی اثبات حقانیت خود را مدیون تلاش‌های تجربی مایکلسون و مورلی باشد.



آزمایش لایگو



تداخل‌سنج مایکلسون مورلی

پر واضح است که سخن گفتن از ویژگی‌های فیزیکی امواج گرانشـــی و بحث در مورد روش به‌کار رفته برای آشکارسازی امواج گرانشـــی وقت و جلســـات متعددی را طلبیده و خارج از اهـــداف این گفتار اســـت. (آزمایش‌های ســـاده مربوط به تداخل‌ســـنجی در حین ارائه و آزمایش‌های مکمل به موازات قابل ارائه است.)

جمع‌بندی

رویدادهـــای دنیای علـــم، فرصت‌های بی‌نظیـــری را خلق می‌کننـــد تا یک معلم فیزیک با نـــگاه عمیق‌تر و دقیق‌تر به مباحث کتاب، شادابی و تازگی را به کلاس فیزیک بیاورد. این فرصت در شرایطی که متأسفانه فضای بی‌میلی و حافظه‌مدار بر نظام آموزشـــی کشور حاکم شده اســـت، بایستی مغتنم شمرده شود. در این گفتار ســـعی شد به بهانهٔ رویداد علمی آشکارسازی امواج گرانشی، روزنه‌های ورود به این موضوع از متن مطالب کتاب‌های درسی استخراج و معرفی شوند. بدیهی است که ساختن گذرگاهی جذاب و علمی، هنر معلم فیزیک را می‌طلبد. شـــاید به این وسیله بتوان به مرجع علمی معتبر در نزد دانش‌آموزان بدل شد.