پژوهش در آموزش علوم تجربی، دوره ۱۲، شماره ۴۲، بهار ۱۴۰۵، صفحات ۲۶-۱۷

"ویژه‌نامه ششمین همایش ملی آموزش فیزیک"

پژوهش در آموزش علوم تجربی

شاپا الکترونیکی: ۸۸۸۹-۳۱۱۵

Home Page: https://basicscience.cfu.ac.ir

یادگیری ملموس واگرایی و مدولاسیون لیزر در محیط دبیرستان: طراحی و اجرای آزمایش‌های کم‌هزینه

رضا رامش[۱]، حسین امامی[۱]، و محمد یگانه[۲*]

۱. دانشجوی کارشناسی آموزش علوم تجربی، دانشگاه فرهنگیان استان آذربایجان شرقی، تبریز، ایران

۲. گروه آموزشی فیزیک، دانشگاه فرهنگیان، صندوق پستی ۸۸۹-۱۴۶۶۵، تهران، ایران

* نویسنده مسئول: (m.yeghaneh@cfu.ac.ir)

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی،

تاریخچه مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۲/۲۵
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۳/۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۰۴
تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۳/۰۴

کلیدواژه‌ها:
آزمایش کم‌هزینه،
آموزش فیزیک،
لیزر،
مدولاسیون نور،
واگرایی پرتو.

چکیده

لیزرها از مهم‌ترین دستاوردهای فیزیک مدرن به شمار می‌آیند و امروزه در طیف گسترده‌ای از کاربردهای علمی، صنعتی و پزشکی مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ از ارتباطات نوری و فناوری‌های مخابراتی گرفته تا پزشکی، اندازه‌گیری‌های دقیق و سامانه‌های پردازش اطلاعات. با وجود اهمیت روزافزون این فناوری، مفاهیم بنیادین لیزر و فوتونیک در بسیاری از برنامه‌های درسی مدارس به‌صورت محدود و عمدتاً نظری مطرح می‌شوند؛ در نتیجه دانش‌آموزان اغلب با کاربردهای عملی و ویژگی‌های فیزیکی این پدیده‌ها آشنایی عمیقی پیدا نمی‌کنند. یکی از راهکارهای مؤثر برای کاهش این فاصله میان مفاهیم نظری و تجربه عملی، استفاده از فعالیت‌های آزمایشگاهی ساده و قابل اجرا در کلاس درس است که بتوانند اصول فیزیکی لیزر را به‌صورت ملموس برای دانش‌آموزان آشکار سازند.

از جمله ویژگی‌های مهم پرتو لیزر که در بسیاری از کاربردهای فناورانه نقش اساسی دارد، واگرایی پرتو و امکان مدولاسیون شدت نور است. واگرایی لیزر بیانگر گسترش تدریجی پرتو در هنگام انتشار است و شناخت آن برای درک رفتار پرتوهای لیزری در فاصله‌های مختلف اهمیت دارد. از سوی دیگر، مدولاسیون نور لیزر امکان انتقال اطلاعات از طریق تغییر شدت پرتو را فراهم می‌کند و اساس بسیاری از سامانه‌های ارتباطات نوری را تشکیل می‌دهد. آشنایی با این مفاهیم می‌تواند درک دانش‌آموزان از پیوند میان فیزیک نظری و فناوری‌های نوین را تقویت کند.

با این حال، ارائه این مفاهیم در سطح دبیرستان اغلب با چالش‌هایی مانند نیاز به تجهیزات تخصصی یا هزینه‌های بالا همراه است. از این‌رو، در این پژوهش مجموعه‌ای از فعالیت‌های آزمایشگاهی ساده، ایمن و کم‌هزینه برای آموزش واگرایی پرتو لیزر و مدولاسیون نور طراحی و معرفی شده است. هدف اصلی این طرح، فراهم کردن بستری آموزشی برای درک بهتر مفاهیم لیزر و تقویت یادگیری مفهومی دانش‌آموزان از طریق تجربه مستقیم آزمایشگاهی است.

استناد: رامش، رضا؛ امامی، حسین؛ و یگانه، محمد، (۱۴۰۵). یادگیری ملموس واگرایی و مدولاسیون لیزر در محیط دبیرستان: طراحی و اجرای آزمایش‌های کم‌هزینه. پژوهش در آموزش علوم تجربی، ۱۲ (۴۲)، ۲۶-۱۷.

http//doi.org/10.48310/basic.2026.22931.1592

© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه فرهنگیان.

۱. مقدمه

لیزر یکی از مهم‌ترین دستاوردهای فیزیک مدرن است که مبانی نظری آن بر سه پدیدهٔ کوانتومی جذب، گسیل خودبه‌خودی و گسیل القایی استوار است. انیشتین در سال ۱۹۱۷ برای نخستین‌بار مفهوم گسیل القایی را مطرح کرد: فرآیندی که در آن یک فوتون ورودی، الکترون برانگیخته را وادار به بازگشت به تراز پایه می‌کند و فوتونی هم‌فاز، هم‌جهت و هم‌فرکانس گسیل می‌شود (بیلینگس[1]، ۱۹۹۲) این ایده پایه‌ای برای ساخت لیزر شد. در دههٔ ۱۹۵۰، تاونز و همکاران با ساخت میزر (تقویت مایکروویو با گسیل القایی)، گامی کلیدی برداشتند (تیلور[2]، ۲۰۰۰) سرانجام در سال ۱۹۶۰، تئودور مایمن نخستین لیزر عملی (لیزر یاقوت) را ساخت و همان سال علی جوان و همکاران، لیزر هلیوم–نئون پیوسته را ارائه دادند که نقطهٔ عطفی در فناوری اپتیک نوین (تیلور، ۲۰۰۰) گردید.

هر لیزر از چهار مؤلفهٔ اصلی تشکیل می‌شود:

- **محیط فعال** (جامد، گاز، مایع یا نیمه‌هادی) که امکان گسیل القایی را فراهم می‌کند (مازومدر[3] و استین، ۲۰۱۰).
- **سیستم دمش** (الکتریکی، نوری یا شیمیایی) برای ایجاد وارونگی جمعیت، یعنی بیشتر بودن اتم‌های برانگیخته نسبت به اتم‌های غیربرانگیخته (اسولتو[4]، ۲۰۱۰)
- **مشدد نوری** (دو آینهٔ موازی) که فوتون‌ها را تقویت و جهت‌دهی می‌کند (هانش[5] و والتر، ۲۰۰۵)
- **آینهٔ خروجی** که یک آینهٔ نیمه‌بازتابنده است که پرتو لیزر از آن خارج می‌شود.

لیزر به‌دلیل چهار ویژگی منحصربه‌فردش شامل: تک‌فامی، همدوسی، جهت‌مندی و درخشندگی[6] بالا در حوزه‌های گسترده‌ای مانند پزشکی، صنعت، ارتباطات و پژوهش‌های علوم پایه کاربرد یافته است (هیتز[7] و اوینگ و هکت، ۲۰۱۲)؛ (هاجسان[8] و وبر، ۲۰۰۵). با این حال، بررسی برنامهٔ درسی دورهٔ متوسطهٔ دوم نشان می‌دهد که این مفاهیم یا اصلاً مطرح نشده‌اند یا تنها به‌صورت سطحی بیان شده‌اند.

واگرایی ویژگی ذاتی پرتوهای نوری است که نشان می‌دهد حتی پرتوهای لیزر نیز به دلیل پدیدهٔ پراش کاملاً موازی نیستند و با افزایش فاصله از منبع، قطر آن‌ها افزایش می‌یابد. این رفتار ناشی از پراش و ماهیت موجی نور است و برای درک محدودیت‌های عملی لیزر (مثل ارتباطات نوری) ضروری است (صالح[9] و تیچ، ۲۰۱۹). از سوی دیگر، مدولاسیون شدت نور به معنای تغییر کنترل‌شدهٔ شدت پرتو برای انتقال اطلاعات است، که این اصل در فیبر نوری و مخابرات مدرن به‌کار می‌رود (آگراوال[10]، ۲۰۱۲).

پژوهش‌های آموزش فیزیک تأکید می‌کنند که ارائهٔ چنین مفاهیمی با رویکرد مفهومی–آزمایشگاهی می‌تواند یادگیری را عمیق‌تر و جذاب‌تر کند (اسولتو، ۲۰۱۰). در این راستا، پژوهش حاضر با هدف آموزش ملموس دو مفهوم واگرایی و مدولاسیون لیزر در محیط دبیرستان طراحی شده است. بر این اساس، دو آزمایش ساده و کم‌هزینه پیشنهاد می‌شود:

۱- اندازه‌گیری واگرایی لیزر با خط‌کش و کاغذ در فواصل ۱، ۲ و ۳ متری،

۲- ساخت فرستندهٔ نوری ساده (لیزر صوتی) برای انتقال سیگنال صوتی با مدولاسیون شدت نور.

1- Billings
2- Taylor
3- Mazumder
4- Svelto
5- Hänsch
6- brightness
7- Hitz
8- Hodgson
9- Saleh
10- Agrawal

۲. روش پژوهش

این پژوهش یک مطالعه طراحی آموزشی[1] است که با هدف ارائه فعالیت‌های آزمایشگاهی ساده برای آموزش مفاهیم لیزر طراحی شده است. در این مطالعه، دو مفهوم کلیدی واگرایی پرتو لیزر و مدولاسیون نور به‌گونه‌ای طراحی شده‌اند که به‌صورت ملموس و قابل اجرا در محیط دبیرستان ارائه شوند. روش کار شامل طراحی بسته آموزشی، تدوین مراحل اجرای آزمایش‌ها، ساخت نمونهٔ اولیه سامانهٔ انتقال صوت با لیزر و تحلیل قابلیت اجرای فعالیت‌ها در محیط آموزشی دبیرستان است.

۲.۱. طراحی بستهٔ آموزشی

بر اساس اصول یادگیری فعال و با تمرکز بر دو مفهوم محوری واگرایی پرتو لیزر و مدولاسیون نور، دو فعالیت آزمایشگاهی ساده، کم‌هزینه و ایمن طراحی شد که بدون نیاز به تجهیزات پیچیده و قابل اجرا در هر کلاس فیزیک دبیرستان باشند.

جدول ۱. تجهیزات مورد استفاده در آزمایش‌های پیشنهادی

نام وسیله	مشخصات تقریبی	کاربرد
لیزر دیودی	کلاس II یا IIIa، طول موج حدود ۶۵۰nm	منبع نور
خط‌کش یا متر	دقت میلی‌متری	اندازه‌گیری فاصله و قطر پرتو
دیوار یا پرده سفید	-	مشاهدهٔ لکهٔ لیزر
ماژول تقویت‌کننده صوت	PAM8403 یا مشابه	تقویت سیگنال دریافتی
پنل خورشیدی کوچک	۳ تا ۶ ولت	آشکارسازی نور مدوله‌شده
بلندگو	۸ اهم	پخش صوت بازیابی‌شده
تلفن همراه یا پخش‌کننده صوت	-	تولید سیگنال صوتی

آزمایش اول: اندازه‌گیری واگرایی لیزر

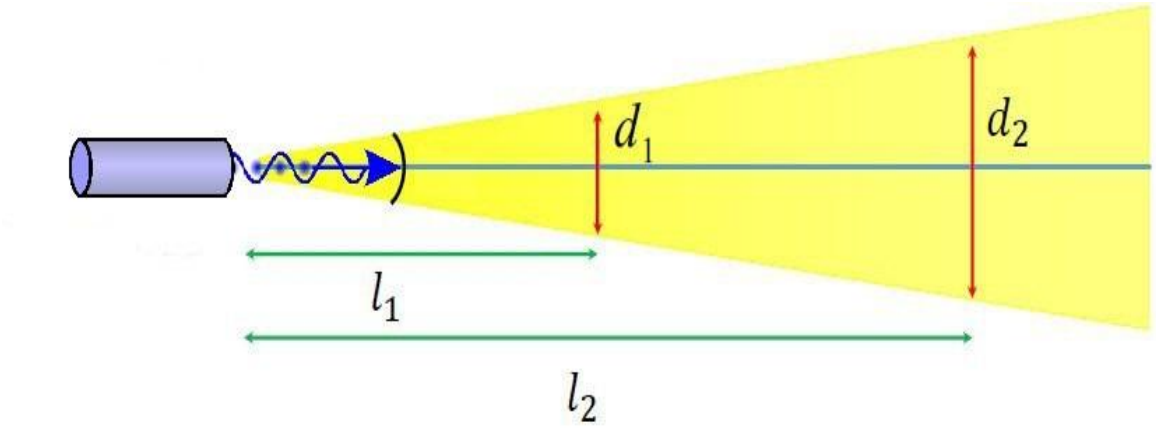
در این فعالیت، دانش‌آموزان با استفاده از یک لیزر کم‌توان، یک خط‌کش یا متر، کاغذ سفید، چسب و مداد، قطر پرتو لیزر را در فواصل ۱، ۲ و ۳ متری از منبع اندازه‌گیری می‌کنند (شکل ۱). روش کار بدین‌صورت است که لیزر روی یک سطح صاف ثابت می‌شود، کاغذ سفید در هر فاصله قرار می‌گیرد، دور لکهٔ نوری خط کشیده می‌شود و قطر آن با خط‌کش اندازه‌گیری و یادداشت می‌شود. این آزمایش به‌صورت ملموس نشان می‌دهد که پرتو لیزر، علی‌رغم جهت‌مندی، با افزایش فاصله، پهن‌تر می‌شود؛ پدیده‌ای که «واگرایی» نامیده می‌شود. واگرایی پرتو لیزر عمدتاً ناشی از پراش در دهانهٔ خروجی لیزر و محدودیت‌های کیفیت پرتو است و حتی برای لیزرهای ایده‌آل نیز صفر نیست.

برای گسترش آزمایش، می‌توان از دو صفحه در فواصل ۵۰ سانتی‌متر و ۲ متر، یا از عدسی‌های محدب و مقعر برای مشاهدهٔ تأثیر آن‌ها بر واگرایی استفاده کرد. از رابطهٔ زیر می‌توان زاویهٔ واگرایی را حساب کرد:

$$\theta \approx \frac{d_2 - d_1}{L_2 - L_1} \quad (۱)$$

که در آن d_1 و d_2 قطر لکه‌ها به‌ترتیب در فواصل L_1 و L_2 از منبع لیزر است. زاویهٔ واگرایی در این رابطه بر حسب رادیان بیان می‌شود. این رابطه برای زاویه‌های کوچک و در تقریب پرتوهای نزدیک به محور (تقریب پیرامحوری[2]) معتبر است.

1- educational design study
2- paraxial approximation



شکل ۱. طرح شماتیکی از آزمایش اندازه‌گیری واگرایی پرتو لیزر در فواصل مختلف.

از دیدگاه آموزشی، این فعالیت می‌تواند یکی از برداشت‌های نادرست رایج دانش‌آموزان مبنی بر کاملاً موازی بودن پرتو لیزر را اصلاح کند. مشاهده افزایش تدریجی قطر پرتو با فاصله، درک عینی‌تری از مفهوم واگرایی و رفتار انتشار نور فراهم می‌کند. همچنین اندازه‌گیری مستقیم قطر لکه لیزر و مقایسه آن در فواصل مختلف، دانش‌آموزان را با فرایند مشاهده، اندازه‌گیری و تحلیل تجربی داده‌ها آشنا می‌سازد.

اجرای میدانی این فعالیت‌ها و ارزیابی تجربی تأثیر آن‌ها بر یادگیری دانش‌آموزان می‌تواند موضوع پژوهش‌های آینده در حوزه آموزش فیزیک باشد.

آزمایش دوم: لیزر صوتی (فرستندهٔ نوری ساده)

در این فعالیت، دانش‌آموزان یک سیستم انتقال سیگنال صوتی با نور می‌سازند. وسایل مورد نیاز شامل یک لیزر کم‌توان، یک جک ۳.۵ میلی‌متری، دو ماژول آمپلی‌فایر مدل Pam8403، یک پنل خورشیدی کوچک (مانند آنچه در ماشین‌حساب‌ها به‌کار می‌رود)، یک بلندگوی کوچک و دو باتری ۵ ولتی است. در بخش فرستنده، سیگنال صوتی از یک گوشی هوشمند از طریق جک وارد آمپلی‌فایر اول شده، شدت لیزر را مدوله می‌کند. در بخش گیرنده، پنل خورشیدی در نقش یک آشکارساز نوری عمل کرده و تغییرات شدت نور را به سیگنال الکتریکی تبدیل می‌کند که پس از تقویت توسط آمپلی‌فایر دوم، صدا از بلندگو پخش می‌شود. دانش‌آموزان با این آزمایش به‌طور تجربی مشاهده می‌کنند که:

- اگر مسیر نور قطع شود، صدا قطع می‌شود،
- اگر لیزر دقیقاً به مرکز پنل نتابد، صدا ضعیف یا نامفهوم می‌شود،

و هر تکان‌خوردن در مسیر، سیگنال را مختل می‌کند.

این رفتارها به‌سادگی مفهوم ارتباط نوری و مدولاسیون شدت نور را آشکار می‌سازد که این اصول در فیبر نوری و سیستم‌های مخابراتی مدرن به‌کار می‌روند.

در طراحی این بسته، تلاش شده است تا هم مفاهیم نظری به‌صورت دقیق انتقال یابند و هم اجرای آزمایش‌ها با وسایل در دسترس، ایمن و قابل تکرار باشد. همچنین، ایده‌های گسترش‌پذیری، مانند اندازه‌گیری طول‌موج با CD، ساخت فرستندهٔ کد مورس ساده، یا مقایسهٔ لیزر با منابع نوری دیگر، به‌عنوان پروژه‌های اختیاری دانش‌آموزی پیشنهاد شده است.

این فعالیت آموزشی می‌تواند ارتباط میان نور، صوت و سیگنال‌های الکتریکی را به‌صورت ملموس برای دانش‌آموزان آشکار سازد. تبدیل تغییرات صوتی به تغییرات شدت نور و سپس بازسازی مجدد صوت، درک مقدماتی از مفهوم مدولاسیون و انتقال اطلاعات در سامانه‌های مخابرات نوری را فراهم می‌کند. علاوه بر این، سادگی و کم‌هزینه بودن تجهیزات مورد استفاده، امکان اجرای این آزمایش را در محیط مدارس افزایش می‌دهد.

۲.۲. پیشنهاد طرح آموزشی قابل اجرا در محیط دبیرستان

آزمایش‌های طراحی‌شده، یعنی اندازه‌گیری واگرایی لیزر و ساخت فرستندهٔ نوری ساده (لیزر صوتی)، بر اساس اصول ایمنی و در دسترس‌بودن وسایل، با هدف اجرای عملی در محیط دبیرستان طراحی شده‌اند. هر دو فعالیت با استفاده از ابزارهای کم‌هزینه (مانند لیزر کلاس II، خط‌کش، کاغذ سفید، ماژول Pam8403، پنل خورشیدی و بلندگو) قابل اجرا هستند و نیازی به آزمایشگاه تخصصی ندارند. اگرچه ارزیابی میدانی فعالیت‌ها در کلاس درس و بر روی دانش‌آموزان انجام نشده است، سامانهٔ انتقال صوت با لیزر به‌صورت آزمایشگاهی ساخته و عملکرد آن در انتقال سیگنال صوتی بررسی شد. برد تقریبی سامانهٔ ساخته‌شده با لیزر دیودی قرمز ۵ میلی‌واتی، در آزمایش انجام‌شده، در شرایط روشنایی روز بین ۱۰ تا ۵۰ متر و در شب تا ۵۰۰ متر اندازه‌گیری شد.

طرح آموزشی به‌گونه‌ای تنظیم شده که:

- مراحل آزمایش به‌صورت گام‌به‌گام و با جزئیات کامل توصیف شده‌اند،
- راهنمای ایمنی و نکات اجرایی برای معلمان در نظر گرفته شده‌اند،
- و امکان ارزیابی یادگیری از طریق پرسش‌های مفهومی پیشنهادی و فعالیت‌های گروهی فراهم شده است.

۲.۳. پیشنهاد روش ارزیابی یادگیری

با توجه به اینکه این پژوهش طرحی آموزشی–کاربردی است و هنوز در محیط کلاسی مورد آزمون قرار نگرفته، روش ارزیابی یادگیری به‌صورت پیشنهادی ارائه می‌شود. برای سنجش درک مفاهیم واگرایی و مدولاسیون، می‌توان از ابزارهای زیر استفاده کرد:

- پرسش‌های مفهومی شفاهی: مثلاً «چرا پرتو لیزر در فاصلهٔ دور ضعیف‌تر می‌شود؟»، «چه اتفاقی می‌افتد اگر مسیر نور را قطع کنیم؟»
- یادداشت‌های گروهی پس از انجام آزمایش،
- طرح نمودارهای ساده (مثل رابطهٔ قطر پرتو با فاصله)
- و طرح پروژه‌های گسترشی مثل ساخت فرستندهٔ کد مورس ساده با لیزر.

این روش‌ها می‌توانند به معلمان کمک کنند تا درگیری شناختی و توانایی استدلال مفهومی دانش‌آموزان را ارزیابی کنند.

جدول ۲. اهداف آموزشی و مفاهیم قابل آموزش در فعالیت‌های پیشنهادی.

مهارت آموزشی هدف	مفهوم فیزیکی اصلی	فعالیت آموزشی
مشاهده، اندازه‌گیری و تحلیل داده	انتشار و واگرایی نور	اندازه‌گیری واگرایی لیزر
درک ارتباط نور و مخابرات	مدولاسیون و انتقال اطلاعات	انتقال صوت با لیزر
استدلال مفهومی	هندسه انتشار پرتو	مقایسه قطر پرتو در فواصل مختلف
تحلیل سامانه‌های فیزیکی	تبدیل انرژی و آشکارسازی نوری	آشکارسازی نور با پنل خورشیدی

۳. نتایج و بحث

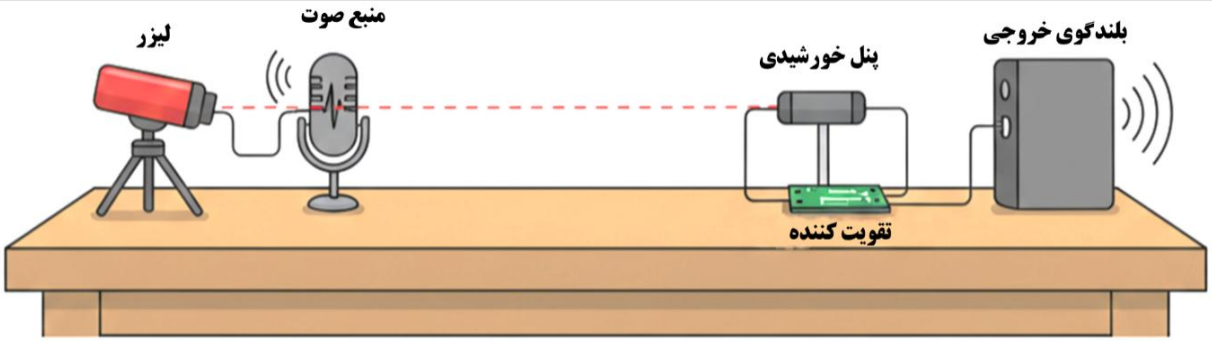
۳.۱. ساخت و آزمون سامانهٔ انتقال صوت با لیزر

در این پژوهش، به‌منظور بررسی قابلیت عملی اجرای فعالیت پیشنهادی، سامانهٔ ساده انتقال صوت با لیزر ساخته و آزمایش شد. در این سامانه، سیگنال صوتی خروجی تلفن همراه پس از تقویت اولیه، برای مدولاسیون شدت نور لیزر استفاده شد. در

بخش گیرنده نیز یک پنل خورشیدی کوچک به‌عنوان آشکارساز نوری به‌کار رفت و سیگنال دریافت‌شده پس از تقویت، توسط بلندگو پخش شد.

نتایج آزمایش نشان داد که سیگنال صوتی با کیفیت قابل قبول و بدون نیاز به تجهیزات تخصصی قابل انتقال است. همچنین مشاهده شد که قطع مسیر نور یا کاهش هم‌ترازی میان لیزر و پنل خورشیدی موجب افت محسوس کیفیت صدا می‌شود. این رفتار، به‌صورت تجربی وابستگی انتقال اطلاعات به شدت نور و هم‌ترازی سامانهٔ نوری را نشان می‌دهد.

شکل ۲، شکل شماتیکی از سامانهٔ ساخته‌شده برای انتقال صوت با لیزر را نشان می‌دهد. صدای دریافت‌شده از سامانه نیز ثبت شد که نشان‌دهندهٔ امکان انتقال عملی سیگنال صوتی با استفاده از تجهیزات کم‌هزینه و در دسترس است.



شکل ۲. سامانهٔ آزمایشگاهی انتقال صوت با لیزر: بخش فرستنده شامل منبع صوت و لیزر دیودی (برای مدولاسیون شدت نور) و بخش گیرنده شامل پنل خورشیدی به‌عنوان آشکارساز نوری، تقویت‌کننده و بلندگوی خروجی است.

۳.۲. بحث آموزشی و پتانسیل اجرایی فعالیت‌ها

طرح آموزشی ارائه‌شده در این پژوهش، بر پایهٔ دو فعالیت آزمایشگاهی ساده، اندازه‌گیری واگرایی لیزر و ساخت فرستندهٔ نوری ساده (لیزر صوتی)، استوار است. هر دو فعالیت با استفاده از وسایلی طراحی شده‌اند که:

- در دسترس مدارس هستند،
- از نظر ایمنی کاملاً قابل‌کنترل‌اند (فقط لیزرهای کلاس II مجازند)،
- و بدون نیاز به آزمایشگاه تخصصی قابل اجرا هستند.

۳.۳. ارزش مفهومی فعالیت‌ها

آزمایش اندازه‌گیری واگرایی، یکی از مفاهیم لیزر در کتاب درسی را به‌صورت کمّی و ملموس آشکار می‌کند. دانش‌آموزان با اندازه‌گیری قطر پرتو در فواصل ۱، ۲ و ۳ متری، به‌طور مستقیم درک می‌کنند که حتی لیزر، با وجود جهت‌مندی، پرتوی کاملاً موازی ندارد و تحت تأثیر پدیدهٔ پراش، پهن می‌شود. این فعالیت می‌تواند به‌راحتی با مباحث ریاضی پایهٔ دوازدهم (مثل توابع خطی و مثلثات) پیوند بخورد.

آزمایش لیزر صوتی نیز، مفهوم مدولاسیون نور را به‌صورت عملی و جذاب نمایش می‌دهد. ساختار سادهٔ آن که تنها شامل یک فرستندهٔ لیزری متصل به گوشی و یک گیرندهٔ پنل خورشیدی با آمپلی‌فایر است، به دانش‌آموزان نشان می‌دهد که اطلاعات (مثل صدا) را می‌توان با نور منتقل کرد. این اصل، همان پایهٔ فناوری فیبر نوری و ارتباطات نوری است. همچنین، مشاهداتی مانند:

- قطع شدن صدا با قرار دادن دست در مسیر نور،
- ضعیف شدن سیگنال با انحراف لیزر از مرکز پنل،
- و تغییر کیفیت صدا با تکان‌خوردن دستگاه،

به‌طور زنده مفاهیمی چون هم‌ترازی فرستنده و گیرنده، وابستگی سیگنال به شدت نور و تأثیر واگرایی بر کارایی سیستم را در معرض دید قرار می‌دهد.

۳.۴. پتانسیل آموزشی و تعمیم‌پذیری

این دو فعالیت تنها یک «آزمایش» نیستند، بلکه الگوهایی آموزشی هستند که قابل گسترش‌اند، مثل آزمایش‌های زیر:

- با **استفاده از CD** به‌عنوان شبکهٔ پراش، می‌توان طول‌موج لیزر را اندازه‌گیری کرد،
- با **عدسی‌های هم‌گرا یا واگرا**، می‌توان تأثیر لنزها بر واگرایی را بررسی کرد،
- با **تغییر منبع صوتی**، می‌توان انتقال کد مورس یا سیگنال‌های دیجیتال ساده را پیاده‌سازی کرد.

این انعطاف‌پذیری، فضایی برای پروژه‌های تحقیقی دانش‌آموزی فراهم می‌کند و از یادگیری تک‌بعدی خارج می‌شود.

۳.۵. همسویی با اصول آموزش فیزیک مدرن

طرح حاضر با سه اصل مهم آموزش فیزیک همسو است:

۱) **یادگیری مبتنی بر پرسش و کشف:** دانش‌آموزان با دست‌به‌کار شدن، مفاهیم را کشف می‌کنند، نه حفظ می‌کنند.

۲) **ارتباط بین نظریه و واقعیت:** ارتباط مستقیم میان مفاهیمی چون همدوسی، واگرایی و کاربردهای روزمرهٔ لیزر برقرار می‌شود.

۳) **فناوری‌آموزی‌محور:** دانش‌آموز با فناوری‌های رایج، (مثل Pam8403 و پنل خورشیدی) آشنا می‌شود و با نگاه مهندسی به فناوری پرورش می‌یابد.

۳.۶. چالش‌ها و راهکارهای اجرایی

اگرچه این فعالیت‌ها ساده به‌نظر می‌رسند، اما برای اجرای موفق در کلاس نیازمند:

- **آمادگی قبلی معلم**: اجرای آزمایش حداقل یک‌بار قبل از کلاس،
- **راهنمای تصویری**: برای مراحل ساخت،
- **لیست دقیق وسایل** (با مشخصات فنی، مانند ولتاژ لیزر یا نوع پنل خورشیدی)

هستند. در صورت وجود محدودیت در تجهیزات، می‌توان از ویدیوی آموزشی یا شبیه‌سازی دیجیتال به‌عنوان جایگزین استفاده کرد.

۴. پیشنهادات

با توجه به یافته‌های این پژوهش و اهمیت روزافزون فناوری‌های نوری در جهان مدرن، پیشنهاد می‌شود سیاست‌گذاران آموزشی و کارگروه‌های تألیف کتاب درسی، گام‌های عملی برای گنجاندن مفاهیم لیزر به‌صورت نظام‌مند و کاربردی در برنامهٔ درسی دورهٔ متوسطه بردارند. در این راستا، پیشنهادات زیر ارائه می‌شود:

۴.۱. گنجاندن مفاهیم پایهٔ لیزر در کتاب درسی فیزیک

در فصل‌های مربوط به نور و اپتیک (به‌ویژه پایهٔ دوازدهم)، به‌جای اشارهٔ گذرا به لیزر، بخشی مستقل با عناوینی مانند «ویژگی‌های نور لیزر»، «واگرایی پرتو» و «کاربردهای لیزر در زندگی» تعریف شود.

مفاهیم همدوسی، تک‌فامی، جهت‌مندی و واگرایی با زبانی ساده و همراه با نمونه‌های تصویری و کاربردی (مثل اسکنر بارکدخوان، لیزر در جراحی چشم، فیبر نوری) تبیین شوند.

۴.۲. طراحی فعالیت‌های آزمایشگاهی ساده و ایمن

یک فصل اختیاری یا ضمیمهٔ آزمایشگاهی با عنوان «آشنایی با لیزر و فوتونیک» در کتاب آزمایشگاه فیزیک دوازدهم گنجانده شود.

فعالیت‌هایی مانند:

- اندازه‌گیری واگرایی لیزر با خط‌کش و کاغذ،
- مشاهدهٔ پراش با CD برای اندازه‌گیری تقریبی طول‌موج،
- شکست نور در منشور،
- و آزمایش لیزر صوتی (مدولاسیون نور)

به‌عنوان پروژه‌های گروهی یا کار تحقیقی دانش‌آموزی پیشنهاد شوند.

۴.۳. تقویت ارتباط بین‌رشته‌ای

- مفاهیم لیزر را با ریاضیات دوازدهم پیوند داد:
  - محاسبهٔ زاویهٔ واگرایی با روابط مثلثاتی ساده،
  - رسم نمودار قطر پرتو بر حسب فاصله و تحلیل خطی بودن آن.
- همچنین، در حوزهٔ فناوری، دانش‌آموزان بتوانند مدار سادهٔ آمپلی‌فایر و سنسور نوری (مثل پنل خورشیدی) را بسازند.

۴.۴. آموزش معلمان و تولید راهنمای اجرایی

- **کارگاه‌های آموزشی** برای دبیران فیزیک با هدف آشنایی با نحوهٔ اجرای ایمن و موثر این آزمایش‌ها برگزار شود.
- یک راهنمای تصویری معلم شامل:
  - لیست وسایل با مشخصات دقیق (مثل لیزر کلاس II، ماژول Pam8403)،
  - نمودار اتصالات،
  - راهکارهای ایمنی،
  - و سؤالات مفهومی برای ارزیابی

تدوین و در اختیار مدارس قرار گیرد.

۴.۵. استفاده از رسانه‌های دیجیتال برای مفاهیم پیچیده

برای مفاهیمی که به‌دلیل محدودیت‌های ایمنی یا تجهیزات (مثل لیزرهای پرتوان، کاواک لیزر) قابل اجرا در کلاس نیستند، از ویدیوهای آموزشی کوتاه با کیفیت بالا استفاده شود.

۴.۶. ترویج نگاه ملی–فناورانه

با توجه به پختگی پژوهشگران ایرانی در حوزهٔ لیزر و فوتونیک، از شاهکارهای داخلی (مثل کاربردهای لیزر در صنعت دفاع یا پزشکی ایران) به‌عنوان مثال‌های آموزشی استفاده شود تا علاوه بر آموزش علمی، احساس غرور ملی و مسئولیت‌پذیری در حوزهٔ فناوری در دانش‌آموزان نیز تقویت گردد.

۵. بحث و نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف طراحی و ارائه فعالیت‌های آزمایشگاهی ساده برای آموزش دو مفهوم بنیادین لیزر، یعنی واگرایی پرتو و مدولاسیون نور، در سطح دبیرستان انجام شد. نتایج نشان می‌دهد که می‌توان این مفاهیم نسبتاً پیشرفته در فیزیک نور را با استفاده از آزمایش‌های کم‌هزینه، ایمن و قابل اجرا در کلاس درس به شکلی ملموس و قابل فهم برای دانش‌آموزان ارائه کرد. ساخت و آزمون اولیه سامانهٔ انتقال صوت با لیزر نشان داد که می‌توان مفاهیم مدولاسیون و ارتباطات نوری را با تجهیزات ساده و کم‌هزینه به‌صورت عملی در محیط آموزشی نمایش داد.

این رویکرد آموزشی، با تکیه بر یادگیری مفهومی و تجربه مستقیم آزمایشگاهی، ظرفیت آن را دارد که انگیزه، مشارکت فعال و توانایی استدلال علمی دانش‌آموزان را افزایش دهد و زمینه‌ای مناسب برای آشنایی آنان با اصول پایه فوتونیک فراهم سازد. اگرچه طرح ارائه‌شده در این پژوهش هنوز به‌صورت میدانی در کلاس درس اجرا نشده است، اما ساختار ساده، ایمن و در دسترس آن نشان می‌دهد که می‌تواند به‌عنوان الگویی عملی برای گنجاندن مباحث مقدماتی لیزر و فوتونیک در آموزش متوسطه مورد استفاده قرار گیرد.

در مجموع، چنین فعالیت‌هایی می‌توانند پلی میان آموزش سنتی نورشناسی و فناوری‌های نوین نوری ایجاد کنند و به ارتقای آموزش فیزیک مدرن در مدارس کمک نمایند. تحقق کامل این هدف مستلزم همکاری مؤثر میان معلمان، برنامه‌ریزان درسی و پژوهشگران آموزش فیزیک در طراحی و اجرای فعالیت‌های آموزشی مبتنی بر آزمایش و تجربه است.

۶. منابع

Agrawal, G. (2012). *Fiber-Optic Communication Systems* (4th ed.). Hoboken, NJ: Wiley.

Billings, C. (1992). *Lasers: The New Technology of Light*. New York: Facts On File.

Demtröder, W. (2003). *Laser Spectroscopy: Basic Concepts and Instrumentation* (3rd ed.). Berlin: Springer.

Hariharan, P. (2002). *Optical Holography* (2nd ed.). Cambridge: Cambridge University Press.

Hänsch, T. W., & Walther, H. (2005). *Laser Physics at the Limits*. Berlin: Springer.

Hitz, C., Ewing, J., & Hecht, J. (2012). *Introduction to Laser Technology* (4th ed.). Hoboken, NJ: Wiley.

Hodgson, N., & Weber, H. (2005). *Laser Resonators and Beam Propagation* (2nd ed.). New York: Springer.

Mazumder, J., & Steen, W. M. (2010). *Laser Material Processing* (4th ed.). London: Springer.

Milonni, P. W., & Eberly, J. H. (2010). *Laser Physics*. Hoboken, NJ: Wiley.

Rank, R. (1990). *Applied Optics and Lasers*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.

Ready, J. F. (1997). *Effects of High-Power Laser Radiation*. San Diego, CA: Academic Press.

Rohlfing, E. A. (1990). *Laser Applications in Spectroscopy*. San Diego, CA: Academic Press.

Rosencwaig, A. (1980). *Photoacoustics and Photoacoustic Spectroscopy*. New York: Wiley.

Saleh, B. E. A., & Teich, M. C. (2019). *Fundamentals of Photonics* (3rd ed.). Hoboken, NJ: Wiley.

Shan, J., & Toth, C. K. (2018). *Topographic Laser Ranging and Scanning: Principles and Processing* (2nd ed.). Boca Raton, FL: CRC Press.

Siegman, A. E. (1986). *Lasers*. Sausalito, CA: University Science Books.

Silfvast, W. T. (2004). *Laser Fundamentals* (2nd ed.). Cambridge: Cambridge University Press.

Svelto, O. (2010). *Principles of Lasers* (5th ed.). New York: Springer.

Research in Empirical Science Education, Vol. 12, No. 42, PP. 17-26.

Special Issue of the 6th National Conference on Physics Education

Research in Empirical Science Education

Online ISSN: 3115-8889

Home Page: https://basicscience.cfu.ac.ir

Farhangian University

Hands-on Learning of Laser Divergence and Modulation in High School: Design and Implementation of Low-Cost Experiments

Reza Ramesh [1], Hossein Emami [1], Mohammad Yeganeh [2*]

1. B.Sc. Student in Science Education, Farhangian University of East Azerbaijan Province, Tabriz, Iran.

2. Department of Physics Education, Farhangian University, P.O. Box 14665-889, Tehran, Iran.

* Corresponding author: (*m.yeghaneh@cfu.ac.ir*)

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received:
2026/05/15
Received in revised form:
2026/05/25
Accepted:
2026/05/25
Available online:
2026/05/25

Keywords:
Beam Divergence,
Laser,
Light Modulation,
Low-Cost Experiment,
Physics Education.

ABSTRACT

Lasers are considered among the most important achievements of modern physics and are now widely used in a broad range of scientific, industrial, and medical applications, including optical communications, telecommunication technologies, medicine, precision measurements, and information-processing systems. Despite the growing importance of laser technology in modern life and advanced technologies, the fundamental concepts of lasers and photonics are often presented in school curricula in a limited and mainly theoretical manner. Consequently, many students do not develop a deep understanding of the physical properties, operational principles, and practical applications of laser systems. One effective approach for reducing the gap between theoretical instruction and practical understanding is the use of simple and accessible laboratory activities that can demonstrate laser principles in a direct and tangible way within the classroom environment.

Among the most important characteristics of laser beams that play essential roles in technological applications are beam divergence and light intensity modulation. Laser beam divergence refers to the gradual spreading of a laser beam during propagation, and understanding this phenomenon is important for interpreting the behavior of laser light over different distances and in various optical systems. In addition, modulation of laser intensity enables the transmission of information through controlled variations in light intensity and forms the basis of many optical communication systems and photonic technologies. Familiarity with these concepts can help students better understand the relationship between theoretical physics and modern technological applications while also increasing their interest in experimental physics and applied science.

However, teaching these concepts at the high-school level is often associated with challenges such as the need for specialized laboratory equipment, limited educational resources, and relatively high experimental costs. Therefore, designing simple, safe, and low-cost experiments that can be implemented in ordinary school laboratories is of considerable educational importance. In this study, a set of hands-on laboratory activities was designed and introduced to teach the concepts of laser beam divergence and light modulation in a high-school environment using accessible and inexpensive equipment.

The proposed activities include experiments for observing and measuring laser beam divergence as well as constructing and testing a simple laser-based audio transmission system. In the divergence experiment, students investigate the gradual expansion of a laser beam over distance and estimate the divergence angle using straightforward geometric measurements. In the modulation activity, sound signals are transmitted by modulating the intensity of a low-power laser beam and detecting the signal using a solar panel, amplifier, and speaker system. The experiments were designed with particular attention to safety, simplicity, and compatibility with typical school laboratory conditions.

The main objective of this work is to provide an educational framework that facilitates conceptual understanding of laser physics through direct experimental experience. These activities can help students connect abstract physical concepts with real technological applications and promote inquiry-based and experiential learning in physics education. The proposed experiments also demonstrate that meaningful instruction in photonics and laser technology can be achieved using low-cost and easily available materials in secondary-school settings.

Cite this article: Ramesh, Reza., Emami, Hossein. (2026). Hands-on Learning of Laser Divergence and Modulation in High School: Design and Implementation of Low-Cost Experiments. *Research in Empirical Science Education*, 12 (42), 17-26.

DOI: http//doi.org/10.48310/basic.2026.22931.1592

© Author(s) retain the copyright and full publishing rights.

Publisher: Farhangian University.