تداخل تک شکافی با استفاده از یک تار مو و نشانگر لیزری

ربکا هسر
ترجمهٔ احمد توحیدی

اشاره

شـــاگردان می‌توانند به آســـانی قطر موی خود را با استفاده از یک چشمهٔ نور تکفام مانند لیزر اندازه‌گیری کنند. این فعالیت کم‌هزینه آن‌ها را با کاربرد تک شکاف پراش با استفاده از اصل بابینه[1] درگیر خواهد کرد.

اطلاعات زمینه

ویژگی موجی نور را می‌توان با طرح تداخل تولید شـــده در تاباندن نور یک نشـــانگر لیزری بر یک شکاف نمایش داد. بنا به اصل بابینه اشـــیأ مکمل، طرح‌های پراش یکسانی تشکیل می‌دهند. اگر به جای شکاف، جسمی با همان قطر قرار دهیم، طرح تداخل یکسانی تشکیل می‌شود.

یک نشـــانگر لیزری و یک تک شـــکاف را می‌توان مطابق شکل ۱ قرار داد و طرح و تداخلی را روی پرده تولید کرد.

طرح تداخل تک شـــکاف در شکل ۲ نشان داده شده است. طرح تداخل یک بیشـــینهٔ مرکزی پهن دارد، نوار درخشانی که یک رشـــته از نوارهای باریک تاریک و روشن متناوب در طرف‌های چپ و راست آن قرار گرفته‌اند.

فاصله نوارها از یکدیگر به طول موج نور (λ) فاصله شکاف تا پرده (L) و پهنای شکاف (W) بستگی دارد. **تداخل ویرانگر** وقتـــی رخ می‌دهد که اختلاف راه بین طـــول موج‌های **نور پراشیده شده** از لبـــهٔ شکاف مساوی **مضرب صحیحی** از طول موج‌ها ($n\lambda$) باشد.

$$n\lambda = w\sin\theta \qquad (۱)$$

روش آزمایش

ســـوراخی را روی یک کارت مقوایی نزدیک وسط آن ایجاد کنید. یک تار مو را مطابق شکل (۳) در امتداد عمودی روی آن بچسبانید.

نشـــانگر لیزری را طـــوری قرار دهید که نـــور آن به تار مو برخورد کند. طرح تداخل را می‌توان روی پرده‌ای که دست‌کم در فاصله یک متری قرار دارد مشـــاهده کرد. فاصله کارت تا پرده را یادداشت کنید. یک قطعه کاغذ را روی پرده بچسبانید. در وسط بیشینه مرکزی و وسط پنج یا شش نوار تاریک که در طرفین آن قرار دارند علامت بگذارید (شکل ۵). اکنون می‌توان برای تحلیلِ کمّی کاغذ را از روی پرده برداشت. فاصله (S) بین اولین کمینه‌ها ($n=1$) (خط‌های ســـیاه) که دوطرف بیشـــینه مرکزی قرار دارند را اندازه‌گیری کنید. با تقســـیم کردن این فاصلـــه برعدد دو، فاصله خطی y برای محاســـبه زاویه θ به دســـت خواهد آمـــد. مطابق شـــکل ۶ اندازه‌گیری‌ها را برای فاصله‌های بین دومین و ســـومین کمینه از بیشینه مرکزی تکرار کنید. با استفاده از اندازه‌گیری‌ها و طول موج نور لیزر، می‌توان ضخامت مو را تعیین کرد.

چـــون فاصلـــه (L) بین کارت و پـــرده بســـیار بزرگ‌تر از فاصله مرکز بیشـــینه مرکزی و مرکز نوارهای تاریک y است (شـــکل ۷)، می‌توان از تقریب زاویه کوچـــک $\sin\theta = \tan\theta$ استفاده کرد. بنابراین

$$\tan\theta = \frac{y}{L} \qquad (۲)$$

اگر رابطه (۲) را در معادلـــه (۱) قرار دهیم، ضخامت مو از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$n\lambda = w\left(\frac{y_n}{L}\right) \qquad (۳)$$

نتایج با توجه به داده‌های نشان داده شده در جدول زیر و استفاده از نشانگر لیزری نور قرمز Ne – He با طول موج ۶۳۲/۸ nm و فاصله تار مو تا پرده L – ۱/۲۸۵ m به دست آمده است.

n	s(mm)	y(m)	w(m)
۱	۲۴/۵	۱/۲۰×۱۰$^{-۲}$	۶/۶۴×۱۰$^{-۵}$
۲	۴۵/۰	۲/۳۰×۱۰$^{-۲}$	۷/۲۳×۱۰$^{-۵}$
۳	۷۳/۰	۳/۷۰×۱۰$^{-۲}$	۶/۶۸×۱۰$^{-۵}$
۴	۹۸/۰	۴/۹۰×۱۰$^{-۲}$	۶/۶۴×۱۰$^{-۵}$
۵	۱۲۳/۰	۶/۲۰×۱۰$^{-۲}$	۶/۶۱×۱۰$^{-۵}$

جدول ۱. جدول نمونه داده‌ها برای محاسبه ضخامت تار مو.

پس از آن که دانش‌آموزان مقدار میانگین ضخامت تار مو را تعیین کردند، می‌توانید از آن‌ها بپرسید آیا مقدار قطر به دست آمده برای یک تار مو را احساس می‌کنید.

وقتی که دانش‌آموزان گفتند: «بلی، قابل تشخیص است»، از آن‌ها بپرسید چگونه فهمیدید. دانش‌آموزان معمولاً پاسخ می‌دهند «قابل تشخیص است زیرا واقعاً عدد کوچکی است.» این پاسخ به حد کافی قانع‌کننده نیست، زیرا منطقی از احساس عددی، به‌درستی در پشت آن قرار ندارد. بهتر است که دانش‌آموزان میانگین ضخامت تار مو را به عددی تبدیل کنند که با چیز شناخته شده‌تری مطابقت داشته باشد.

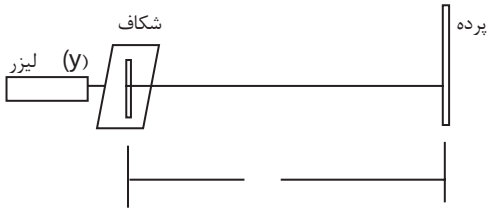
استفاده از یک برگه کاغذ بسیار مناسب است، زیرا بیشتر دانش‌آموزان می‌دانند که ضخامت یک بند (دسته) کاغذ ۵۰۰ برگی سه سانتی‌متر است. بنابراین ضخامت یک تک برگ کاغذ در حدود $\frac{۳}{۵۰۰}$ cm یا ۶*۱۰$^{-۵}$ cm است. این مثال به دانش‌آموزان به‌طور آشکارتری توضیح می‌دهد که چگونه اندازه یک عدد واقعاً قابل تشخیص است.

نتایج و پرسش‌های فعالیت

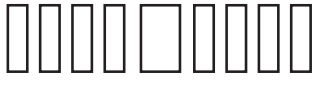
براساس داده‌های دانش‌آموزان، مقدار میانگین ضخامت یک تار مو از مرتبه ۷×۱۰$^{-۵}$ m است. با این مقدار ضخامت تقریباً ۱۵ تار مو در هر میلی‌متر جای می‌گیرند. نتایج را می‌توان با یک ریزسنج یا میکروسکوپ بررسی کرد.

در اینجا چندین ایده برای گسترش فعالیت انجام شده ارائه می‌شود.

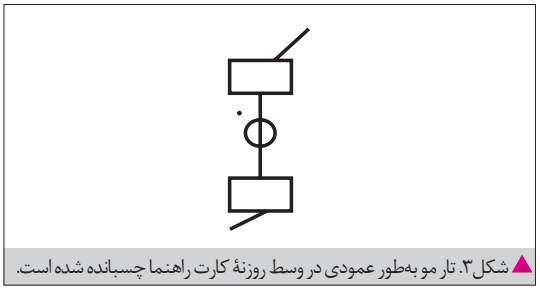
- قطر یک تار موی صاف را با تار موی مجعد (فردار) مقایسه کنید.
- نشانگر لیزر قرمز را با لیزر سبز جایگزین کنید.
- به جای تار مو از شیء دیگری مانند یک قطعه نخ یا سیم نازک استفاده کنید.
- طرح پراش لیزری را در تولید صنعتی انواع سیم‌ها بررسی کنید.
- نوع دیگری از این آزمایش را می‌توان با تا کردن (دولا کردن) یک تار مو برای ساخت «شکاف دو گانه» طرح تداخل انجام داد. در این حالت برای بزرگ‌تر شدن طرح باید فاصله میان تار مو و پرده را افزایش داد.
- چگونه روزالیند فرانکلین[۲] زاویه شیب مدل DNA را تعیین کرد.



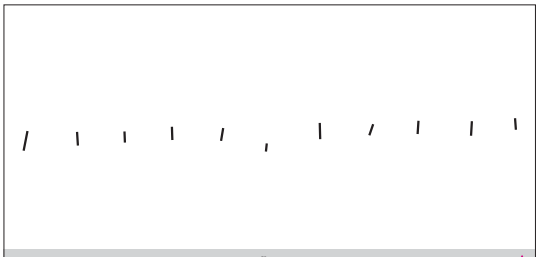
شکل ۱. ترتیب وسایل آزمایش



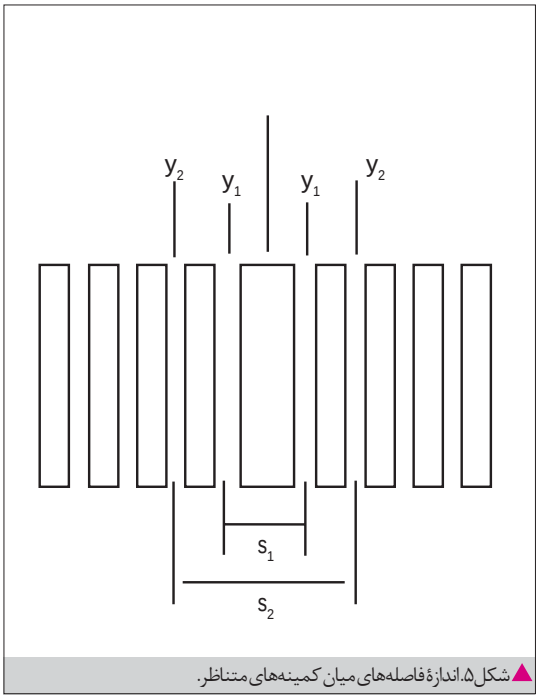
شکل ۲. طرح تداخل



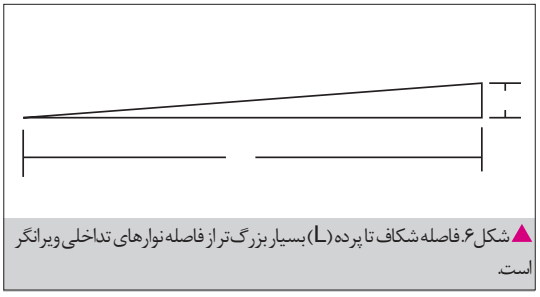
شکل۳. تار مو به‌طور عمودی در وسط روزنهٔ کارت راهنما چسبانده شده است.



شکل ۴. داده‌های پردازش نشده دانش‌آموزان



شکل۵. اندازهٔ فاصله‌های میان کمینه‌های متناظر.



شکل۶. فاصله شکاف تا پرده (L) بسیار بزرگ‌تر از فاصله نوارهای تداخلی ویرانگر است.

* روزنهٔ تک شکاف یک طرح پراش تولید می‌کند، با یک بیشینهٔ مرکزی و درخشان و نوارهای تاریک و روشن که در دو طرف بیشینه مرکزی قرار می‌گیرند.
زاویه‌ای که تحت آن کمینه‌های پراش ظاهر می‌شوند عبارت است از:

$$\theta_m \approx \sin\theta_m = \frac{m\lambda}{d} \quad \text{و} \quad m = 1, 2, 3, \ldots$$

فیزیک پایه ـ جلد چهارم ـ تألیف فرانک. ج. بلت ـ صفحه ۹۴۷ انتشارات فاطمی

* روزالیند السی فرانکلین (۱۹۲۰ ـ ۱۹۵۸) دانشمند انگلیسی در سال ۱۹۵۱ پژوهش‌هایش را در کینگز کالج لندن آغاز کرد. جایی که در آن تا مرز پراش پرتو X در برخورد با مولکول DNA پیش رفت. جیمز واتسون و فرانسیس کریک از یک نسخه قبل از چاپ پژوهش فرانکلین در مورد DNA استفاده کردند تا به چگونگی ساختار DNA برسند. آن دو، مقاله معروف خود را در سال ۱۹۵۲، به چاپ رساندند. چهار سال بعد کریک و واتسون به دریافت جایزه نوبل نائل شدند.

پی‌نوشت‌ها

1. babinet
2. Rosalind Franklin

منابع

Single slit inteference made easy with a strand of hair and a laser, Rebeca Hesser, The Physics Teacher vol56, Janoary 2018