اندازه‌گیری ضریب شکست مایعات

سیدمهدی میرفتحی
دانشجوی دکترای فیزیک دانشگاه مازندران

مقدمه

تقریباً نیمی از نخستین تجربهٔ شاگردان از فیزیک دورهٔ دبیرستان، به مبحث نـور برمی‌گردد، به‌طوری که شـاگردان بارها با مفهوم ضریب شکست مواد شفاف اعم از مایعات و تیغه‌های شفاف روبه‌رو می‌شـوند. در این مقاله گزارش سه آزمایش ساده و در عین حال آموزنده برای اندازه‌گیری ضریب شکسـت آب ارائه شده است. این آزمایش‌ها در ابتدای سال تحصیلی ۹۴-۹۳ به همراه دانش‌آموزان نام بردهٔ بالا به انجام رسید. این دانش‌آموزان تازه با دقت اندازه‌گیری آشـنا شـده بودند، البته در سال تحصیلی گذشـته هم با مفهوم ضریب شکست آشنا شده بودند. در این آزمایش‌ها استفاده از ابزار اندازه‌گیـری دقیقی همچون کولیس درک آن‌ها را از مفهوم دقت اندازه‌گیری ضریب شکست افزایش داد.

کلیدواژه‌ها: شکست نور، بازتاب نور، ضریب شکست، عمق ظاهری

آزمایش ۱. اندازه‌گیری ضریب شکست آب به‌وسیلهٔ لیزر

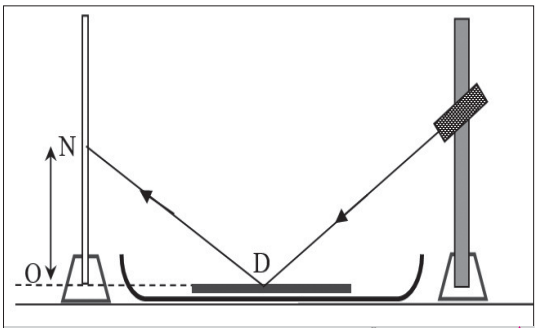
وسایل لازم

- لیزر
- آویز (جهت ثابت نگاه داشتن لیزر)
- آینهٔ تخت
- ظرف کوچک
- صفحهٔ سفید (به‌عنوان پرده)
- خط‌کـش (در این آزمایش ما از خط‌کـش با دقت ۰/۱ cm استفاده کرده‌ایم)

در این آزمایش با استفاده از مفهوم شکست نور، چه در هنگام ورود بـه داخل مایع و چه در بازتابش نور از سـطح آینهٔ تخت، ضریب شکست مایع (در اینجا آب) اندازه‌گیری می‌شود.

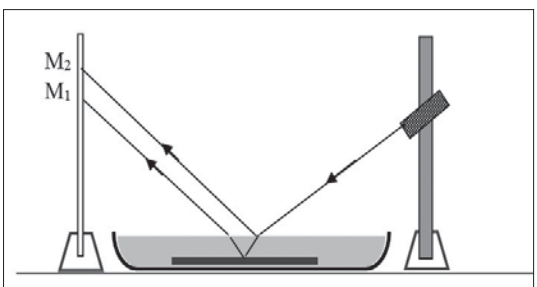
روش اندازه‌گیری

در ابتـدا، مطابـق تصویر ۱، آینهٔ تخت کوچکـی را درون ظرف به‌صورت افقی قرار می‌دهیم. سـپس لیزر دستی را در بازوی آویز قـرار داده و با تغییر جهت، آن را با زاویه‌ای دلخواه به سـطح آینهٔ درون ظرف می‌تابانیم، تا شـاهد نقطه‌ای نورانـی بر روی پرده‌ای باشیم که به موازات آویز لیزر در سمت مقابل ظرف به‌صورت قائم قـرار داده‌ایم. این نقطهٔ نورانی، که آن را با N مشـخص می‌کنیم، ناشی از بازتاب پرتو برخوردی از لیزر به سطح آینه است.



تصویر ۱. پارامترهای آزمایش شمارهٔ ۱

سـپس بدون اینکه در چیدمان وسایل تغییری دهیم، به آرامی کمی آب درون ظرف می‌ریزیم. میزان این آب باید به حدی باشد که سطح آن فقط چند میلی‌متر از سطح آینه بالاتر قرار بگیرد. در این حالت مجدداً لیزر را روشن می‌کنیم. این بار شاهد دو نقطهٔ روشن کاملاً واضح بر روی سطح پرده خواهیم بود (تصویر ۲)، که باید آن‌ها را نیز همچون نقطهٔ N نام‌گذاری و نشانه‌گذاری کنیم. نقطهٔ روشن بالاتر را M_2 نام‌گذاری می‌کنیم. این نقطهٔ روشـن ناشی از بازتابش پرتو نور لیزر از سطح آب است. نقطهٔ نورانی پایین‌تر را M_1 می‌نامیم، که ناشی از پرتو نور لیزری است که پس از شکسته شدن در عبور از سطح آب، به آینه برخورد کرده و مجدداً بازتابیده می‌شود.



تصویر ۲. چیدمان آزمایش شمارهٔ ۱ پس از ریختن آب در ظرف

برای به‌دسـت آوردن ضریب شکست آب، علاوه بر اینکه نیاز به اندازه‌گیـری فواصل لکه‌های نورانی از یکدیگر (M_2M_1 و NM_2) داریـم، باید فاصلهٔ پای پرده از نقطهٔ برخـورد لیزر با آینه (OD) و همچنین فاصلهٔ عمودی نقطهٔ N از سـطح آینـه (ON) را نیز به‌دست آوریم.

بـا قرار دادن مقادیر پارامترهای مذکـور در رابطهٔ زیر می‌توانیم ضریب شکست آب را به‌دست آوریم [۱]:

اشاره

این آزمایش‌ها باهمـــــکاری دانش‌آموزان زیر از دبیرستان شهید میرباقری رامسر در پژوهش‌سرای دانش آموزشی فرید این شهرستان به انجام رسیده است: فرزان پلاسعیدی، نیما رستگار، رامتین مقدس، محمدکاظم ناصح، امیرمحمد نراقی و فرحان نیاستی

$$n = \frac{\sin(\tan^{-1}(\frac{OD}{ON}))}{\sin(\tan^{-1}(\frac{M_2M_1}{M_2M_1}\frac{OD}{ON}))}$$

متوسط مقادیر اندازه‌گیری شده توسط دانش‌آموزان (تصویر ۳) در این آزمایش، پس از سه بار تکرار، جهت کاهش خطاهای ناشی از آزمایشگر به شرح جدول زیر است:

جدول ۱. مقادیر آزمایش ۱

OD	۲۹/۰ cm	M_2M_1	۱/۲ cm
ON	۱۶/۵ cm	NM_1	۲/۴ cm
$n = ۱/۳۱۷ \approx ۱/۳۲$			

تصویر ۳. شاگردان در حال انجام آزمایش شمارهٔ ۱

آزمایش ۲. اندازه‌گیری ضریب شکست آب به‌وسیلهٔ لیوان، مداد و خط‌کش!

وسایل لازم

- بشر یا هر لیوان شیشه‌ای نازک دیگری
- کمی مقوا برای درست کردن درپوش ظرف
- تیغ یا قیچی برای برش مقوا
- مداد
- چسب نواری
- خط‌کش

در این آزمایش می‌خواهیم به اندازه‌گیری ضریب شکســت آب بپردازیم. شاگردان در مشاهدات خود بارها، شکسته شدن ظاهری مداد فرورفته در آب را تجربه کرده‌اند. اما در اینجا با دانستن تعریف ضریب شکست نور آن را در آب اندازه‌گیری خواهند کرد.

روش اندازه‌گیری

ابتدا، مطابق تصویر ٤، بشر را تقریباً به میزان دوسوم حجم آن از آب پر می‌کنیم. ســپس مقوا را به میزانی که پوشش‌دهندهٔ سطح بالایی بشر باشد برش می‌دهیم، به‌گونه‌ای که همچون یک درپوش برای آن عمل کند.

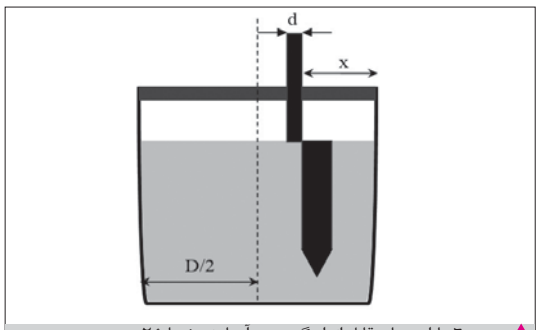
تصویر ٤. چیدمان آزمایش شمارهٔ ۱

در ادامــه برای اینکه بتوانیم مداد را درون آب بشــر فرو ببریم و عمودی نگه داریم، به اندازهٔ ضخامت مداد، از کنارهٔ درپوش تا میانهٔ آن را بــا قیچی یا تیغ برش می‌دهیم و خالی می‌کنیم (به‌صورتی که گویی یک ریل برای عبور مداد بر روی مقوا ساخته‌ایم) در این هنگام درپوش را با چسب نواری بر روی بشر محکم می‌کنیم. سپس بشــر را بر روی سطحی افقی قرار می‌دهیم و مداد را نیز به‌صورت عمودی در میانهٔ ظرف نگه می‌داریم. در این حالت قسمت غوطه‌ور مداد اندکی ضخیم‌تر از قسمت بیرون از آب مشاهده می‌شود. حالا به آرامی و بادقت مداد را به همان صورت قائم به‌سمت کناره بشر جابه‌جا می‌کنیم. این کار را تا جایی ادامه می‌دهیم که بخش بیرون از آب و بخش داخل آب مداد کاملاً از یکدیگر جدا شوند. این لحظه را ناظری تشخیص می‌دهد که به‌صورت افقی در راستای سطح آب بدان می‌نگرد.

تصویر ٥. شاگردان در حال انجام آزمایش شمارهٔ ۲

در ایــن حالت با توجه به تصویر ٦، فاصلهٔ افقی بخشــی از مداد را، که خارج از ســطح آب قرار دارد، از دیوارهٔ بشر (X) اندازه‌گیری می‌کنیم.

در این روش برای به‌دســت آوردن ضریب شکست آب باید قطر بشر (D) و ضخامت مداد (d) را نیز اندازه‌گیری کنیم. برای این کار در این آزمایش از کولیس با دقت ۰/۰۲ mm استفاده شده است.



تصویر ٦. پارامترهای قابل اندازه‌گیری در آزمایش شمارهٔ ۲

با قرار دادن مقادیر فوق در رابطهٔ زیر می‌توانیم ضریب شکســت آب را به‌دست آوریم [۲].

$$n = \frac{\frac{D}{2} - X}{\frac{D}{2} - X - d}$$

متوسط مقادیر اندازه‌گیری شده توسط شاگردان من در این آزمایش پس از سه بار تکرار اندازه‌گیری (جهت کاهش خطاهای شاگردان) به شرح جدول زیر است:

جدول ۲. مقادیر آزمایش ۲

X	۱۳/۰۰ mm	$n = ۱/۳۰۶ \approx ۱/۳۱$
D	۱۲۰/۰۲ mm	
d	۱۱/۰۴ mm	

آزمایش ۳. اندازه‌گیری ضریب شکست آب به‌وسیلهٔ خط‌کش!

وسایل لازم

- ظرف شیشه‌ای (ظرفی بزرگ مانند آکواریوم بهترین انتخاب است)
- یک برگ مقوای ضخیم
- خط‌کش

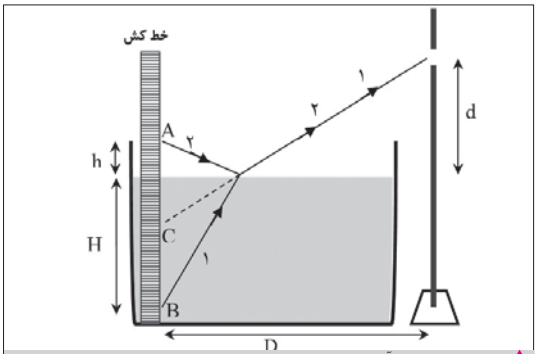
در این آزمایش با یاری گرفتن از مفهوم شکست نور و عمق ظاهری می‌خواهیم به اندازه‌گیری ضریب شکست آب بپردازیم.

روش اندازه‌گیری

ابتدا مطابق تصویر ۷ ظرف را از آب پر می‌کنیم، سپس خط‌کشی را به‌صورت عمودی در یک سوی آن داخل ظرف و در کنار دیوارهٔ آن ثابت نگاه می‌داریم. در سمت مقابل آن مقوایی را که درون آن حفره‌ای با قطر حدوداً ۲ میلی‌متر ایجاد کرده‌ایم به‌صورت قائم نگاه می‌داریم، طوری که از حفرهٔ ایجاد شده بتوانیم شاهد مقادیر درج شده بر روی خط‌کش باشیم.

تصویر ۷. شاگردان در حال آزمایش شمارهٔ ۳

در ادامه، مطابق تصویر ۸، از درون حفره می‌توانید در زیر سطح آب درون ظرف، دو ردیف خط‌کش ببینید که یکی ناشی از شکست نور و دیگری ناشی از بازتابش نور از سطح آب درون ظرف است. تصویر شکستی با پرتو شمارهٔ ۱ و تصویر بازتابشی با پرتو شمارهٔ ۲ در شکل مشخص شده است. نکتهٔ مهم در اینجا این است که تصویر ناشی از شکست نور به مراتب از تصویر ناشی از بازتابش نور واضح‌تر است. برای واضح‌تر کردن تصویر بازتابشی از خط‌کش می‌توانید به آرامی فاصلهٔ مقوا از خط‌کش را زیاد کنید. با تغییر فاصلهٔ مقوا از خط‌کش به اندازهٔ کافی، تصویر بازتابشی و شکستی تقریباً بر هم منطبق خواهند شد. در این حالت تصویر یک نقطهٔ نشانه‌گذاری شده بروی خط‌کش (مثل نقطهٔ B) را کمی بالاتر از مکان اصلی خود در موقعیت C خواهید دید. (برای داشتن تصویر بهتر می‌توانید فاصلهٔ مقوای دارای حفره را از ظرف به دلخواه تغییر دهید.)



تصویر ۸. چیدمان آزمایش شمارهٔ ۳

حالا با جابه‌جا کردن مدادی در کنارهٔ قسمت بیرون از آب خط‌کش، مشخص کنید که در چه موقعیتی تصویر نوک مداد با تصویر نقطهٔ B که با C نشان داده شده است منطبق می‌شوند. این موقعیت را A می‌نامیم.

با اندازه‌گیری فاصلهٔ A و B از سطح آب (OA و OB)، ارتفاع عمودی روزنهٔ دید از سطح آب (d) و همچنین فاصلهٔ افقی روزنهٔ دید از خط‌کش (D) و سپس با قرار دادن در رابطهٔ زیر ضریب شکست آب را به‌دست آوردیم [۳].

$$n = \frac{\sqrt{OB^{۲}(AO+d)^{۲} + (AO \times d)^{۲}}}{۲ \times \sqrt{(AO+d)^{۲} + D^{۲}}}$$

برای کاهش خطاهای ناشی از اندازه‌گیری توسط شاگردان، روند آزمایش را سه بار تکرار می‌کنیم. متوسط مقادیر اندازه‌گیری‌شده توسط دانش‌آموزان من به شرح جدول ۳ است:

جدول ۳. مقادیر آزمایش ۳

OA	۰/۵ cm	D	۳۳/۵ cm
OB	۸/۱ cm	d	۱۰/۵ cm
$n = ۱/۲۸۶ \approx ۱/۲۹$			

* پیشنهاد می‌کنم صبورترین شاگردانتان را برای انجام این آزمایش به‌کار بگیرید.
* سعی کنید از مقوای تک‌لایه (نازک) تیره استفاده کنید و در عین حال حفره را به‌دقت درون مقوا ایجاد کنید تا شاهد تصویر واضحی از خط‌کش باشید.
* در تصویر شمارهٔ ۷ فقط برای مشاهدهٔ بهتر جزئیات از ظرف شفاف استفاده شده است، برای دستیابی به نتیجهٔ مناسب باید، خط‌کش و ظرف شما هر دو کدر باشند.

منابع برای اطلاعات بیشتر

1. Phys. Educ. 37, 152 (2002)
1. Phys. Educ. 46, 253 (2011)
1. Phys. Teach. 25, 166 (1987)