

به نام خداوند جان و خرد



دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

هدف آزمایش :

ضریب شکست تیغه ی شیشه ای

تهیه و تنظیم گزارش :

امیررضا حکیمی ۴۰۳۱۱۴۰۲

تئوری آزمایش :

نور یک موج الکترومغناطیس است که در محیط‌های مختلف با تندی‌های متفاوت حرکت می‌کند. ضریب شکست یک محیط (n) از رابطه $n = \frac{c}{v}$ به دست می‌آید که در آن (c) سرعت نور در خلاء و (v) سرعت نور در محیط مورد نظر است. طبق قانون اسنل، وقتی نور با زاویه تابش θ_1 از محیط غلیظ وارد محیط رقیق (هوا) می‌شود، طبق رابطه زیر منحرف می‌شود:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

اثبات هندسی (مطابق ترسیمات تخته)

فرض کنید جسمی در نقطه (B) در کف تیغه قرار دارد. پرتوهای نور از جسم خارج شده و پس از عبور از سطح تیغه (نقطه O) وارد هوا می‌شوند. به دلیل شکست، این پرتوها از خط عمود دور می‌شوند. ناظر (چشم یا عدسی میکروسکوپ) امتداد این پرتوها را دنبال کرده و تصویر جسم را در نقطه (B') (بالاتر از محل واقعی) مشاهده می‌کند.

در مثلث‌های قائم‌الزاویه (AOB) و (AOB') داریم:

$$\tan i = \frac{AO}{AB}$$

$$\tan r = \frac{AO}{AB'}$$

چون در میکروسکوپ فقط پرتوهای نزدیک به محور نوری (Paraxial Rays) مشاهده می‌شوند، زوایا بسیار کوچک هستند.

$$\sin \theta \approx \tan \theta \approx \theta$$

بنابراین: n

$$\frac{n_{\text{glass}}}{n_{\text{air}}} = \frac{\sin r}{\sin i} \approx \frac{\tan r}{\tan i} = \frac{AO/AB'}{AO/AB} = \frac{AB}{AB'}$$

با فرض $n_{\text{air}} = 1$

$$n = \frac{AB \text{ (عمق واقعی)}}{AB' \text{ (عمق ظاهری)}}$$

روش‌های محاسبه :

در این آزمایش از دو روش برای بیان فرمول استفاده می‌کنیم :

روش اول (محاسبه مستقیم با نقاط قرائت شده) :

اگر نقاط قرائت شده توسط میکروسکوپ را به صورت زیر تعریف کنیم:

$$\left. \begin{aligned} a &= \text{موقعیت واقعی علامت (گف)} \\ b &= \text{موقعیت تصویر ظاهری علامت (از پشت تیغه)} \\ c &= \text{موقعیت سطح بالایی تیغه} \end{aligned} \right\}$$

فرمول نهایی برابر است با :

$$n = \frac{c - a}{c - b}$$

روش دوم (استفاده از جابه‌جایی ظاهری (δ)) :

میزان جابه‌جایی تصویر (فاصله بین عمق واقعی و ظاهری) را با (δ) و ضخامت تیغه را با (W) نشان می‌دهیم :

$$\delta = W \left(1 - \frac{n_2}{n_1} \right)$$

با فرض $n_2 = 1$ داریم :

$$\delta = W \left(1 - \frac{1}{n_1} \right)$$

نحوه ی انجام آزمایش :

مرحله اول : کالیبراسیون و تعیین مرجع (نقطه A)

ابتدا یک برگه کاغذ حاوی یک علامت بسیار ظریف (مثلاً یک (+) یا یک تار مو) را روی صفحه پایه میکروسکوپ قرار می‌دهیم. بدون قرار دادن تیغه، پیچ تنظیم میکروسکوپ را می‌چرخانیم تا لوله به پایین‌ترین حد خود نزدیک شود. سپس به آرامی لوله را بالا می‌آوریم تا علامت در چشمی کاملاً واضح شود. در این لحظه، عدد روی خط‌کش و میکرومتر را یادداشت می‌کنیم. این مقدار (a) (موقعیت سطح مرجع) است.

مرحله دوم: مشاهده تصویر ظاهری (نقطه B)

تیغه شیشه‌ای را به آرامی روی کاغذ قرار می‌دهیم. با نگاه کردن در چشمی متوجه می‌شویم که تصویر کاملاً تار شده است (به دلیل جابه‌جایی کانون نور در اثر شکست). بدون اینکه موقعیت کاغذ یا تیغه را تغییر دهیم، پیچ میکرومتر را می‌چرخانیم و لوله میکروسکوپ را به سمت بالا حرکت می‌دهیم تا دوباره تصویر علامت (+) کاملاً واضح شود. عددی که اکنون می‌خوانیم (b) است. فاصله (b-a) نشان‌دهنده میزان "بالا آمدگی ظاهری" جسم است.

مرحله سوم: تعیین سطح بالایی تیغه (نقطه C)

برای به دست آوردن ضخامت واقعی تیغه، باید موقعیت سطح بالایی آن را بدانیم. میکروسکوپ را باز هم بالاتر می‌بریم. از آنجا که سطح شیشه کاملاً شفاف است، پیدا کردن کانون آن دشوار است؛ بنابراین به دنبال خراش‌های میکروسکوپی، ذرات غبار یا لکه‌های بسیار ریز روی سطح خارجی شیشه می‌گردیم. وقتی این ذرات واضح شدند، یعنی میکروسکوپ روی سطح بالایی شیشه تنظیم شده است. این عدد را (c) ثبت می‌کنیم.

داده های ضریب شکست تیغه ی شیشه ای با استفاده از میکروسکوپ

	مقدار (a)	مقدار (b)	مقدار (c)
سری (۱)	31.95	26.95	12.45
سری (۲)	38	30.65	20
سری (۳)	37.82	31.45	20.25

	ضریب شکست تیغه ی شیشه ای (۱) (میکروسکوپ)	ضریب شکست تیغه ی شیشه ای (۲) (میکروسکوپ)	ضریب شکست تیغه ی شیشه ای (۳) (میکروسکوپ)	ضریب شکست تیغه ی شیشه ای	خطای مطلق	درصد خطای نسبی
روش اول	1.344	1.690	1.568	1.520	0.014	0.92 %
روش دوم	1.349	1.615	1.492	1.520	0.034	2.28 %

دلیل شکست نور در محیط دیگر چیست؟

دلیل اصلی شکست نور (Refraction)، تغییر سرعت نور هنگام عبور از یک محیط شفاف به محیط شفاف دیگر است. وقتی جبهه‌های موج نور به مرز دو محیط با چگالی نوری متفاوت می‌رسند (مثلاً از هوا وارد آب می‌شوند)، بخشی از موج که زودتر وارد محیط دوم شده، سرعتش تغییر می‌کند در حالی که بخش دیگر هنوز در محیط اول است. این اختلاف در زمان رسیدن و تغییر سرعت باعث می‌شود جهت حرکت پرتو نور تغییر کند (بشکند).

- اگر نور از محیط رقیق (سرعت بیشتر) وارد محیط غلیظ (سرعت کمتر) شود، پرتو به خط عمود نزدیک می‌شود.
- اگر نور از محیط غلیظ وارد محیط رقیق شود، از خط عمود دور می‌شود.

دلیل افزایش یا کاهش سرعت نور هنگام تغییر محیط چیست؟

تغییر سرعت نور به دلیل برهم‌کنش موج الکترومغناطیسی (نور) با اتم‌ها و مولکول‌های تشکیل‌دهنده آن محیط است.

در خلأ، نور با حداکثر سرعت خود یعنی $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ حرکت می‌کند. اما در محیط‌های مادی :

- ضریب شکست (n) : هر محیط دارای یک ویژگی به نام ضریب شکست است که با فرمول $n = \frac{c}{v}$ تعریف می‌شود (که در آن v سرعت نور در محیط است).
- برهم‌کنش الکترومغناطیسی : وقتی نور وارد ماده می‌شود، میدان الکتریکی آن باعث نوسان الکترون‌های اتم‌های ماده می‌شود. این نوسان، امواج ثانویه‌ای تولید می‌کند که با موج اصلی تداخل کرده و باعث می‌شود سرعت برآیند انتشار موج در آن محیط نسبت به خلأ کاهش یابد. هرچه محیط از نظر نوری "غلیظ‌تر" باشد (مانند شیشه نسبت به آب)، این برهم‌کنش‌ها بیشتر بوده و سرعت نور بیشتر کاهش می‌یابد.

طراحی آزمایش برای تشخیص لیوان آب شیرین

فرض کنید دو لیوان داریم که یکی حاوی آب شیرین و دیگری حاوی آب نمک (یا آب با غلظت قند بالا) است. از آنجا که افزودن مواد حلال به آب باعث افزایش غلظت و در نتیجه افزایش ضریب شکست (n) می‌شود، می‌توانیم از آزمایش زیر استفاده کنیم:

عنوان آزمایش: تشخیص غلظت از طریق زاویه انحراف نور

وسایل مورد نیاز:

یک لیزر مدادی (Laser Pointer)، دو لیوان مشابه، کاغذ سفید و خط‌کش.

مراحل آزمایش:

- 1 - هر دو لیوان را به مقدار کاملاً مساوی پر کنید.
- 2 - لیوان‌ها را روی یک سطح صاف قرار داده و یک کاغذ سفید در پشت آن‌ها به عنوان پرده بگذارید.
- 3 - پرتو لیزر را با یک زاویه مشخص (مثلاً 45° درجه نسبت به خط عمود بر سطح آب) به سطح آب هر دو لیوان بتابانید.
- 4 - محل برخورد پرتو نور به ته لیوان یا نقطه‌ای که نور پس از خروج از لیوان روی کاغذ پشت آن ایجاد می‌کند را علامت بزنید.

نتیجه می‌گیریم:

در لیوانی که آب نمک (یا محلول غلیظ) دارد، به دلیل بالاتر بودن ضریب شکست، نور بیشتر منکسر می‌شود (بیشتر به سمت خط عمود خم می‌شود). بنابراین نقطه نورانی روی کف لیوان یا پرده، جابجایی بیشتری نسبت به مسیر اولیه نشان می‌دهد.

لیوانی که نور در آن کمتر منحرف شده است، همان لیوان آب شیرین است.