

سرعت نور

نور با سرعت بسیار بالایی (در حدود $۱۰^8 \times m_s$) حرکت می کند. اندازه گیری این سرعت با استفاده از کرنومتر و تعیین جابجایی غیر ممکن است. روشهایی از گذشته برای اندازه گیری سرعت نور ارائه شده است. یکی از روشهایی نتیجه، پیشنهاد گالیله بوده است. در این پیشنهاد فردی با یک فانوس و پارچه ای مقابل آن، در فاصله دوری از یک شخص دیگری با یک ساعت می ایستد و بر اساس قرار قبلی در زمان مشخصی پارچه را از فانوس کنار می زند. هنگامیکه مشاهده گر نور را دید، زمان را ثبت می کند و با استفاده از اختلاف زمان می توانند سرعت نور را به دست بیاورند. طبقنتایج این آزمایش گالیله نتیجه گرفت که انتقال نور به صورت آنی صورت می گیرد و یا سرعت آن به حد غیر قابل تصویر زیاد است.

اولین راه مؤثر اندازه گیری سرعت نور در سال ۶۷۶۱ میلادی توسط رومر^۱ ارائه شد. برای این منظور او دوره تناوب داخلی ترین قمر مشتری با نام آیو را هنگامی که مشتری در حال نزدیک شدن به زمین است و هنگامی که در حال دور شدن از زمین است اندازه گیری کرد. خوشبختانه این دوره تناوب ها متفاوت بود و بر این اساس رومر نتیجه گرفت که نور قطر مدار زمین به دور خورشید را در ۲۲ دقیقه طی می کند. کریستیان هویگنس^۲ با استفاده از این اطلاعات و تخمین قطر مدار زمین توانست به عدد $۱۰^8 \times m_s$ دست پیدا کند که در حدود ۶۲ درصد از مقدار واقعی آن کمتر است. نیوتن در کتاب نورشناسی خود محاسبات دقیق تری از رومر انجام داد و زمان رسیدن نور از خورشید به ما را بین ۷ و ۸ دقیقه عنوان کرد (عدد دقیق آن ۸ دقیقه و ۱۹ ثانیه است).

^۱ Romer

^۲ Christiaan Huygens

یکی از روش های مشهور برای فیزائه^۱ و فوکالت^۲ است. در این روش نور از لبه یک چرخ دنده چرخان عبور داده می شود و در ۵ مایلی با یک آینه به سمت چرخ دنده بازتاب می شود. نور در صورتی به منبع باز می گردد که سرعت چرخ دنده مقدار مشخصی داشته باشد. یعنی نور بتواند از لبه آن عبور کند.

در حال حاضر با استفاده از تداخل و یا جعبه تشدید می توان سرعت نور را به راحتی محاسبه کرد.

مدل و نظریه

فرض کنید که یک موج تخت (باریکه نور لیزر) با بسامد ω و عدد موج k در راستای x حرکت می کند. معادله موج مربوط به میدان الکتریکی این نور لیزر به شکل زیر است

$$\vec{E} = \vec{E}_0 e^{i(\omega t - kx)} \quad (1)$$

بر این اساس اگر نور این لیزر مسافت d را پیموده و پس از برخورد به بازتاب گری (آینه یا شب رنگ) بازتاب شود و همین مسیر را باز گردد تا به منبع برسد، میدان بازگشتی به شکل زیر خواهد بود:

$$\vec{E}_r = \vec{E}_0 e^{i(\omega t - \sqrt{k}d)} \quad (2)$$

^۱ Fizeau

^۲ Foucault

میدان بازگشتی برای وقتی که که محل بازتاب گر نسبت به منبع d باشد نیز به شکل زیر می شود:

$$\vec{E}_r = \vec{E}_o e^{i(\omega t - \sqrt{k}d)} \quad (3)$$

پس اختلاف فاز این دو حالت برابر می شود با

$$\Delta\phi = \sqrt{k}(d_2 - d_1) = \sqrt{k}\Delta d \quad (4)$$

با دانستن این اختلاف فاز و Δd می توان عدد موج لیزر را به دست آورد. از روی عدد موج لیزر نیز سرعت نور به راحتی به دست خواهد آمد.

حالا فرض کنید که که میان مسیر این نور لیزر که رفت و برگشت می کند یک ماده با ضریب شکست n قرار دهیم. اگر طول این ماده برابر l باشد، حضور این ماده اختلاف فازی در موج ایجاد می کند. این اختلاف فاز از اختلاف عدد موج نور در هوا و عدد موج نور داخل ماده (Δk) به دست می آید. در واقع نور یک بار هنگام رفت و یک بار هنگام برگشت مسافت l را داخل ماده طی می کند، این منجر به ایجاد اختلاف فازی برابر با $\Delta k(2l)$ می شود. به طور دقیق تر اگر k عدد موج نور در هوا و k_m عدد موج نور در ماده باشد، اختلاف فاز نور رسیده به حس گر هنگام عبور از ماده با حالت بدون ماده بر اساس رابطه زیر به دست می آید.

$$\Delta\phi = \sqrt{k}(k_m - k)l \quad (5)$$

با استفاده از این رابطه می توان سرعت نور را داخل ماده نیز اندازه گیری کرد.

روش آزمایش

دستگاه لیزر و گیرنده نوری (همه در یک جعبه هستند) را در انتهای ریل سوار کنید. شبرنگ (بازتاب گر) را روی پایهمتصل کرده و پایه را روی ریل قرار دهید.

جعبه لیزر و گیرنده دارای دو دکمه Mode و Calibration است. دکمه Mode حالت دستگاه را عوض می کند. باهر بار فشار دادن این دکمه، حالت دستگاه به یک مرحله بعد می رود. این وسیله دارای ۴ حالت است. در حالت اول لیزر روشن می شود و بسامد نور آن نوشته می شود. در حالت بعدی دستگاه اختلاف فاز نور را اندازه گیری می کند. برای این کار ابتدا دکمه Calibration را بزنید. با این کار دستگاه عدد ^۱ یعنی اختلاف فاز نور رسیده با همین حالت را نشان می دهد. حالا اگر بازتاب گر را جابجا کنید اختلاف فاز با حالت قبلی نشان داده خواهد شد. دو حالت بعدی مربوط به محاسبات است، دستگاه مقدار جابجایی مربوط به این اختلاف فاز و یا اختلاف زمان ایجاد این اختلاف فاز را نیز می تواند در این دو حالت نشان بدهد. فقط به واحدهای دستگاه توجه نمایید.

برای شروع از اولین حالت دستگاه که بسامد لیزر را می نویسد استفاده کنید. دقت کنید نور منبع دقیق روی شبرنگیافتد. ممکن است لازم باشد ارتفاع شبرنگ و یا زاویه تابش نور به شبرنگ را عوض کنید تا نور دقیقاً روی شبرنگیافتد. برای مطمئن شدن دست خود را در مقال شبرنگ گرفته تا محل برخورد لیزر واضح تر دیده شود. علاوه بر اینمی توانید برای تنظیم دست خود را نزدیک

^۱ ممکن است به جای عدد ۰ اعداد ۱ یا ۳۵۹ درجه نیز نشان داده شود.

منبع گرفته و به تدریج از آن دور کنید تا ببینید که زاویه لیزر درست است و یابه اصلاح نیاز دارد. با قرار دادن شبرنگ در دورترین نقطه از منبع مطمئن شوید که نور لیزر موازی با ریل تابانده می شود و جابجایی شبرنگ باعث عدم بازگشت نور به منبع نمی شود. خوشبختانه شبرنگ این خاصیت را دارا است که برای باز گرداندن نور به منبع نیازی نیست که زاویه آن درست باشد. پس نیازی به تغییر زاویه شبرنگ ندارید.

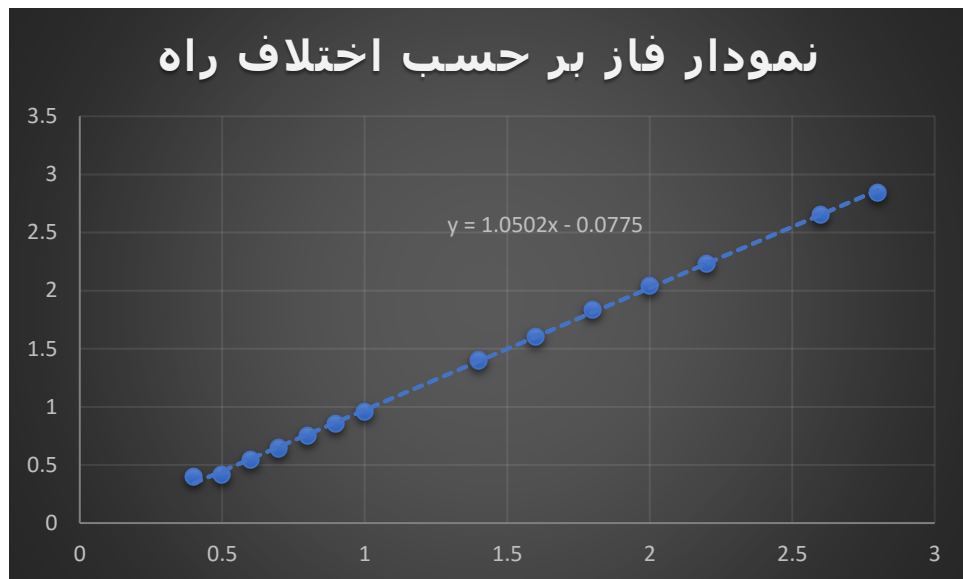
سرعت نور در هوا

بر اساس قسمت قبل دستگاه را تنظیم کرده و شبرنگ را روی صفر خط کش ریل قرار دهید. برای این کار از خط روی پای شبرنگ می توانید استفاده کنید. حالت دستگاه را عوض کنید تا اختلاف فاز را نشان دهد. دکمه Calibration را زده تادستگاه کالیبره شود. حالا شبرنگ را در ۲۰ سانتی متر خط کش قرار دهید و اختلاف فاز را یادداشت کنید. این کار را برای فواصل دیگر انجام داده و نتایج خود را در جدول ۱ یادداشت نمایید. سعی کنید از کل ریل برای جابجا کردن شبرنگ استفاده کنید تا نتایج دقیق تری داشته باشید.

d(m)	Phase(rad)	Phase(Degree)
0.4	0.401	23
0.5	0.419	24
0.6	0.541	31
0.7	0.645	37
0.8	0.75	43
0.9	0.855	49
1	0.96	55
1.4	1.4	80
1.6	1.606	92
1.8	1.833	105
2	2.042	117
2.2	2.234	128
2.6	2.653	152
2.8	2.845	163

جدول ۱: محل یادداشت اختلاف فاصله و اختلاف فاز

پس از اندازه گیری نمودار اختلاف فاز (به رادیان) بر حسب جابجایی شبرنگ رسم نمایید. از شیب این نمودار می توانید مقدار k ۲ و طبیعتاً k را به دست آورید. در نهایت با تقسیم بسامد نور ω بر k می توانید سرعت نور لیزر داخل هوا را پیدا کنید.



با اصلاح اختلاف راه ها، مقدار k دقیقاً برابر شیب خط می شود که

$$K = 1.0502 \text{ rad/m}$$

$$c = \frac{2\pi f}{k} = \frac{2\pi * 50 * 10^6}{1.0502} = 299142320 \text{ m/s}$$

و خطای این محاسبه بدست می آید:

$$\text{خطا درصد} = \frac{299792458 - 299142320}{299792458} * 100 = 0.217\%$$

همانطور که شما هم اشاره کردید، خطای بدست آوردن طول موج هم همین مقدار است.

سرعت نور داخل ماده

شبرنگ را در انتهای ریل قرار دهید. دو پایۀ نگه دارنده استوانه را روی ریل سوار نمایید. دستگاه را در حالت اختلاف فاز گذاشته و آن را کالیبره نمایید. ماده ای را در بین مسیر رفت و برگشت لیزر

قرار دهید (شیشه یا استوانه آب). با این کار باید در نور بازگشتی اختلاف فازی ایجاد شود. این اختلاف فاز را یادداشت کرده و با استفاده از رابطه ۵ سرعت نور داخل ماده را اندازه گیری کنید. در این آزمایش شما باید سرعت نور را برای استوانه شیشه ای و آب به دست بیاورید. در نهایت ضریب شکست آب

نسبت به هوا و شیشه نسبت به هوا را محاسبه نموده و آن را گزارش کنید.

	استوانه شیشه ای	استوانه حاوی آب
زاویه بر حسب درجه	۳۲	۲۵
طول قطعه به متر	۰,۴۹	۰,۵

برای استوانه شیشه ای :

$$\Delta\phi_g = 2(k_g - k.)l_g$$

$$\frac{32 * 2\pi}{360} = 2(k_g - 1.0502) * 0.49$$

$$k_g = 1.621 \text{ rad/m}$$

و برای سرعت نور هم بدست می آوریم:

$$v_g = \frac{2\pi f}{k_g} = \frac{2\pi * 50 * 10^6}{1.621} = 1938.5839 \text{ m/s}$$

ضریب شکست هم طبق تعریف حاصل می شود:

$$n_g = \frac{c}{v_g} = \frac{299792458}{1938.5839} = 1.547$$

برای استوانه ی حاوی آب :

$$\Delta\phi_w = 2(k_w - k.)l_w$$

$$\frac{25 * 2\pi}{360} = 2(k_g - 1.0502) * 0.5$$

$$k_g = 1.486 \text{ rad/m}$$

و برای سرعت نور هم بدست می آوریم:

$$v_w = \frac{2\pi f}{k_w} = \frac{2\pi * 50 * 10^6}{1.486} = 211412695 \text{ m/s}$$

ضریب شکست هم طبق تعریف حاصل می شود:

$$n_w = \frac{c}{v_w} = \frac{299792458}{211412695} = 1.418$$