

سرعت نور

نور با سرعت بسیار بالایی (در حدود $3 \times 10^8 \frac{m}{s}$) حرکت می‌کند. اندازه‌گیری این سرعت با استفاده از کرنومتر و تعیین جابجایی غیر ممکن است. روشهایی از گذشته برای اندازه‌گیری سرعت نور ارائه شده است. یکی از روشهای بی‌نتیجه، پیشنهاد گالیله بوده است. در این پیشنهاد فردی با یک فانوس و پارچه‌ای مقابل آن، در فاصله دوری از یک شخص دیگری با یک ساعت می‌ایستد و بر اساس قرار قبلی در زمان مشخصی پارچه را از فانوس کنار می‌زند. هنگامی که مشاهده‌گر نور را دید، زمان را ثبت می‌کند و با استفاده از اختلاف زمان می‌تواند سرعت نور را به دست بیاورد. طبق نتایج این آزمایش گالیله نتیجه گرفت که انتقال نور به صورت آنی صورت می‌گیرد و یا سرعت آن به حد غیر قابل تصویری زیاد است.

اولین راه مؤثر اندازه‌گیری سرعت نور در سال ۱۶۷۶ میلادی توسط رومر^۱ ارائه شد. برای این منظور او دوره تناوب داخلی‌ترین 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 اندازه‌گیری کرد. خوشبختانه این دوره تناوبها متفاوت بود و بر این اساس رومر نتیجه گرفت که نور قطر مدار زمین به دور خورشید را در ۲۲ دقیقه طی می‌کند. کریستیان هویگنس^۲ با استفاده از این اطلاعات و تخمین قطر مدار زمین توانست به عدد $2/2 \times 10^8 \frac{m}{s}$ دست پیدا کند که در حدود ۲۶ درصد از مقدار واقعی آن کمتر است. نیوتن در کتاب نورشناسی خود محاسبات دقیق‌تری 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).

یکی از روش‌های مشهور برای فیزائه^۳ و فوکالت^۴ است. در این روش نور از لبه یک چرخ‌دنده چرخان عبور داده می‌شود و در ۵ مایلی با یک آینه به سمت چرخ‌دنده بازتاب می‌شود. نور در صورتی به منبع باز می‌گردد که سرعت چرخ‌دنده مقدار مشخصی داشته باشد. یعنی نور بتواند از لبه آن عبور کند.

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

^۱Romer

^۲Christiaan Huygens

^۳Fizeau

^۴Foucault

مدل و نظریه

فرض کنید که یک موج تخت (باریکه نور لیزر) با بسامد ω و عدد موج k در راستای x حرکت می‌کند. 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_1 را پیموده و پس از برخورد به بازتاب‌گری (آینه یا شبرنگ) بازتاب شود و همین مسیر را بازگردد تا به منبع برسد، میدان بازگشتی به شکل زیر خواهد بود:

$$\vec{E}_r = \vec{E}_0 e^{i(\omega t - 2kd_1)} \quad (2)$$

میدان بازگشتی برای وقتی که که محل بازتابگر نسبت به منبع d_2 باشد نیز به شکل زیر می‌شود:

$$\vec{E}_r = \vec{E}_0 e^{i(\omega t - 2kd_2)} \quad (3)$$

پس اختلاف فاز این دو حالت برابر می‌شود با

$$\Delta\phi = 2k(d_2 - d_1) = 2k\Delta d \quad (4)$$

با دانستن این اختلاف فاز و Δd ، می‌توان 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 می‌کند یک ماده با ضریب شکست n قرار دهیم. اگر طول این ماده برابر l باشد، حضور این ماده اختلاف فازی در موج ایجاد می‌کند. این اختلاف فاز از اختلاف عدد موج نور در هوا و عدد موج نور داخل ماده (Δk) به دست می‌آید. در واقع نور یک بار هنگام رفت و یک بار هنگام برگشت مسافت l را داخل ماده طی می‌کند، این منجر به ایجاد اختلاف فازی برابر با $2l\Delta k$ می‌شود. به طور دقیق‌تر اگر k_0

عدد موج نور در هوا و k_m عدد موج نور در ماده باشد، اختلاف فاز نور رسیده به حسگر هنگام عبور از ماده با حالت بدون ماده بر اساس رابطه زیر به دست می‌آید.

$$\Delta\phi = 2(k_m - k_0)l \quad (5)$$

با استفاده از این رابطه می‌توان سرعت نور را داخل ماده نیز اندازه‌گیری کرد.

روش آزمایش

دستگاه لیزر و گیرنده نوری (همه در یک جعبه هستند) را در انتهای ریل سوار کنید. شبرنگ (بازتاب‌گر) را روی پایه متصل 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 می‌کند. با هر بار فشار دادن این دکمه، حالت دستگاه به یک مرحله بعد می‌رود. این وسیله دارای ۴ حالت است. در حالت اول لیزر روشن می‌شود و بسامد نور آن نوشته می‌شود. در حالت بعدی دستگاه اختلاف فاز نور را اندازه‌گیری می‌کند. برای این کار ابتدا دکمه Calibration را بزنید. با این کار دستگاه عدد θ یعنی اختلاف فاز نور رسیده با همین حالت را نشان می‌دهد. حالا اگر بازتاب‌گر 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 می‌تواند در این دو حالت نشان بدهد. فقط به واحدهای دستگاه توجه نمایید.

برای شروع از اولین حالت دستگاه که بسامد لیزر را می‌نویسد استفاده کنید. دقت کنید نور منبع دقیق روی شبرنگ بیافتد. ممکن است لازم باشد ارتفاع شبرنگ و یا زاویه تابش نور به شبرنگ را عوض کنید تا نور دقیقاً روی شبرنگ بیافتد. برای مطمئن شدن دست خود را در مقابل شبرنگ گرفته تا محل برخورد لیزر واضح‌تر دیده شود. علاوه بر این می‌توانید برای تنظیم دست خود را نزدیک منبع گرفته و به تدریج از آن دور کنید تا ببینید که زاویه لیزر درست است و یا به اصلاح نیاز دارد. با قرار دادن شبرنگ در دورترین نقطه از منبع مطمئن شوید که نور لیزر موازی با ریل تابانده می‌شود و جابجایی شبرنگ باعث عدم بازگشت نور به منبع نمی‌شود.

خوشبختانه شبرنگ این خاصیت را دارا است که برای بازگرداندن نور به منبع نیازی نیست که زاویه آن درست باشد.

پس نیازی به تغییر زاویه شبرنگ ندارید.

^۵ ممکن است به جای عدد θ اعداد ۱ یا ۳۵۹ درجه نیز نشان داده شود.

سرعت نور در هوا

بر اساس قسمت قبل دستگاه را تنظیم کرده و شبرنگ را روی صفر خطکش ریل قرار دهید. برای این کار از خط روی پایه شبرنگ می‌توانید استفاده کنید. حالت دستگاه را عوض کنید تا اختلاف فاز را نشان دهد. دکمه Calibration را زده تا دستگاه کالیبره شود. حالا شبرنگ را در 20° سانتی‌متر خطکش 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 دقیق‌تری داشته باشید.

$\Delta d/m$	$\Delta\phi$ بر حسب درجه	$\Delta\phi$ بر حسب رادیان

جدول ۱: محل یادداشت اختلاف فاصله و اختلاف فاز

پس از اندازه‌گیری نمودار اختلاف فاز (به رادیان) بر حسب جابجایی شبرنگ رسم نمایید. از شیب این نمودار می‌توانید مقدار $2k$ و طبیعتاً k را به دست آورید. در نهایت با تقسیم بسامد نور ω بر k می‌توانید سرعت نور لیزر داخل هوا را پیدا کنید.

سرعت نور داخل ماده

شبرنگ را در انتهای ریل قرار دهید. دو پایه نگه‌دارنده استوانه را روی ریل سوار نمایید. دستگاه را در حالت اختلاف فاز گذاشته و آن را کالیبره نمایید. ماده‌ای 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 اندازه‌گیری کنید.

در این آزمایش شما باید سرعت نور را برای استوانه شیشه‌ای 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.