عنوان آزمایش:

تعیین سرعت نور در مواد مختلف

هدف آزمایش:

۱- تعیین سرعت نور و ضریب‌شکست آب؛

۲- تعیین سرعت نور و ضریب‌شکست مایعات آلی؛

۳- تعیین سرعت نور و ضریب‌شکست گاز.

وسایل موردنیاز آزمایش:

۱- گیرنده و فرستنده نور؛

۲- عدسی f=+۱۵۰ mm؛

۳- پایه زینی؛

۴- اسیلوسکوپ دو کاناله؛

۵- خط‌کش فلزی یک متری؛

سرعت نور در آب

۱- لوله با دو پنجره در دو انتها؛

۲- پایه زینی؛

۳- آب مقطر یا آب سبک (آب بدون املاح معدنی یا آب سبک)؛

سرعت نور در مایعات آلی

۱- اتانول، مصنوعی، یک لیتر؛

۲- گلیسیرین، % ۹۹، ۲۵۰ میلی‌لیتر؛

۳- سلول شیشه‌ای تخت، ۵۰ cm×۵۰ cm×۵۰ cm؛

۴- میز منشور؛

۵- پایه زینی؛

سرعت نور در مایعات شیشه

۱- بلوک شیشه اکلریک؛

۲- میز منشور؛

۳- پایه.

تئوری آزمایش:

سرعت نور C_n در محیط وابسته به ضریب‌شکست آن محیط است. این کمیت وابسته به ماده سنجه‌ای برای چگالی نور محیط بوده و سرعت نور در محیط را به سرعت آن در خلاء مرتبط می‌سازد. رابطه زیر بر سرعت نور در محیط حاکم است:

$$C_n = \frac{C_0}{n} \qquad (۱)$$

سرعت نور در خلاء $C_0 = ۲٫۹۹۸ \times ۱۰^۸ \ \frac{m}{s}$

سرعت‌های مختلف نور متناظر با زمان‌های انتشار متفاوت در امتداد طول مسیر معین d است. زمان انتشار نور در محیط از رابطه (۲) به‌دست می‌آید:

$$t_n = \frac{d}{C_n} \qquad (۲)$$

از آنجاکه زمان انتشار در خلاء

$$t_0 = \frac{d}{C_0} \qquad (۳)$$

است (به شکل (۱) مراجعه کنید). با تعریف

$$\Delta t = t_n - t_0 \qquad (۴)$$

و روابط (۱) و (۲)، سرعت نور در محیط به‌وسیله معادله زیر تعیین می‌شود:

$$C_n = \frac{C_0}{1 + \frac{\Delta t}{d} C_0} \qquad (۵)$$

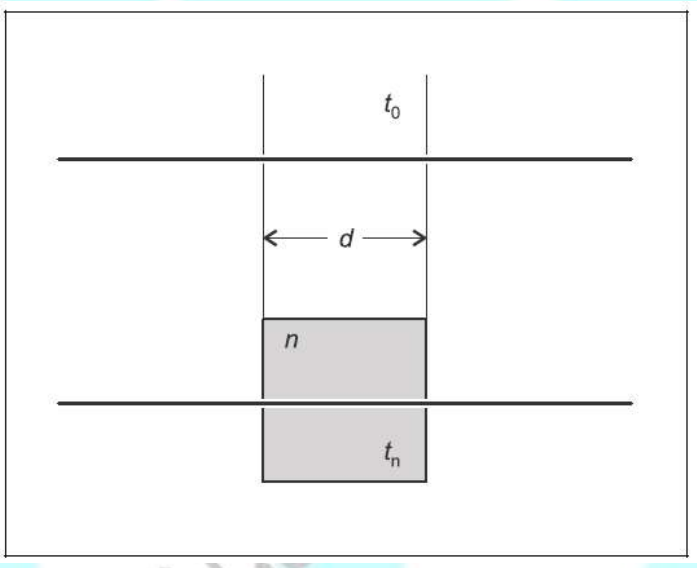
با مقایسه این رابطه با رابطه (۱)، ضریب‌شکست طبق رابطه (۶) به‌دست می‌آید:

$$n = 1 + \frac{\Delta t}{d} C_0 \qquad (۶)$$

تغییر سرعت نور در محیط در آزمایش، با سیگنال نوری متفاوت با فرکانس مدولاسیون $\upsilon = ۶۰$ MHz اندازه‌گیری می‌شود. اختلاف زمان انتشار Δt به‌صورت اختلاف فاز سیگنال (رابطه (۷)) مشاهده می‌شود:

$$\Delta\varphi = 2\pi \cdot \upsilon \cdot \Delta t = 2\pi \cdot \frac{\Delta t}{T} \qquad (۷)$$

تناوب=T



شکل (۱): در یک محیط با ضریب‌شکست n، نور با سرعتی کمتر از سرعت آن در خلاء منتشر می‌شود. این موضوع منجر به تغییر در زمان انتشار نور در امتداد طول مسیر d می‌شود.

شیفت فازی به‌وسیله گیرنده‌ای اندازه‌گیری می‌شود که سیگنال نوری را به ولتاژ متناوب با رفتار زمانی کسینوسی تبدیل می‌کند (رابطه (۸)).

$$U = a_0 \cdot \cos\left(2\pi \cdot \upsilon \cdot \Delta t - \Delta\varphi\right) \qquad (۸)$$

یک سیگنال مرجع که به‌طور همزمان با شدت نور فرستنده نوسان می‌کند با سیگنال گیرنده به‌وسیله شیفت الکترونیکی هم‌گام می‌شود درحالی‌که فرستنده و گیرنده در فاصله s از یکدیگر در هوا قرار دارند (ضریب‌شکست هوا تحت شرایط استاندارد، n=۱/۰۰۳ است). سپس اگر محیط با چگالی نوری کافی در مسیر نور قرار بگیرد، به‌صورتی‌که مسیر نور جزئی d را پوشش دهد، این موضوع سبب تغییر Δt در زمان انتشار سیگنال نوری می‌شود. این تغییر را می‌توان با شیفت فازی $\Delta\varphi$ بین سیگنال فرستنده و گیرنده اندازه‌گیری کرد.

اگر اسیلوسکوپ ساده برای تعیین شیفت فازی استفاده می‌شود، دو سیگنال به‌صورت الکترونیکی با سیگنال با فرکانس $\upsilon' = ۵۹/۹$ MHz آمیخته شده (ضرب‌شده)و بخش فرکانس بالای سیگنال آمیخته فرونشانده می‌شود. پس، سیگنال گیرنده شکل زیر را دارد:

$$U_1 = \frac{1}{2} a \cdot \cos\left(2\pi \cdot \upsilon_1 \cdot t - \Delta\varphi\right) \qquad (۹)$$

$$\upsilon_1 = \upsilon - \upsilon'$$

این سیگنال می‌تواند با یک اسیلوسکوپ ساده درحالی‌که با فرکانس υ_1 که فقط ۱۰۰ kHz است، نمایش داده می‌شود. شیفت فازی $\Delta\varphi$ با آمیختگی تغییر نمی‌کند، ولی، تغییر آشکار Δt در زمان انتشار مشاهده می‌شود. تناوب T_1 سیگنال آمیخته از روی اسیلوسکوپ خوانده می‌شود، سپس:

$$\Delta\varphi = 2\pi \frac{\Delta t_1}{T_1} \qquad (۱۰الف)$$

یا

$$\Delta t = \Delta t_1 \cdot \frac{T}{T_1} = \frac{\Delta t_1}{T_1 \cdot \upsilon} \qquad (۱۰ب)$$

حاصل می‌شود.

با قرار دادن رابطه (۱۰) در رابطه (۵) و (۶)، سرعت نور در محیط و ضریب‌شکست محیط به ترتیب طبق رابطه (۱۱) و رابطه (۱۲) به‌دست می‌آید.

$$C_n = \frac{C_0}{1 + \frac{C_0}{d \cdot \upsilon} \cdot \frac{\Delta t_1}{T_1}} \qquad (۱۱)$$

و

$$n = 1 + \frac{C_0}{d \cdot \upsilon} \cdot \frac{\Delta t_1}{T_1} \qquad (۱۲)$$

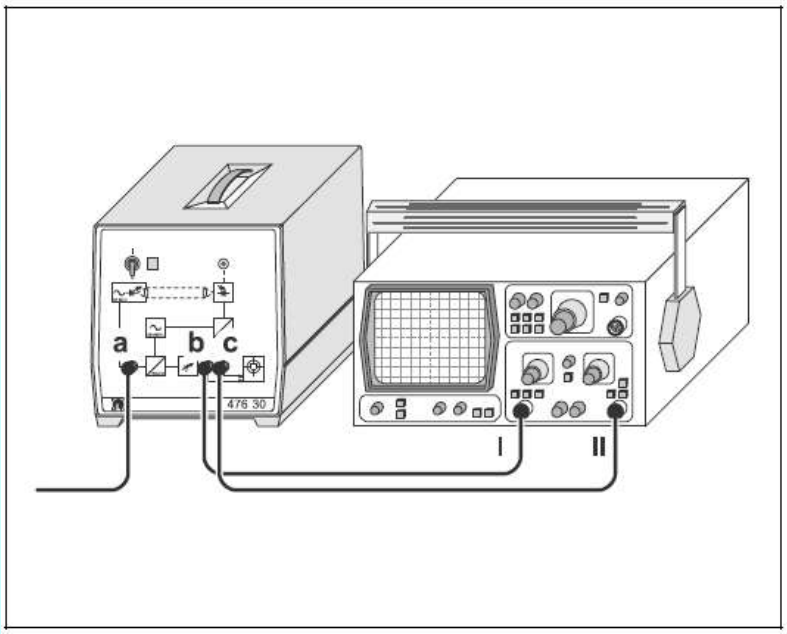
روش انجام آزمایش

چیدمان آزمایش

چیدمان آزمایش در شکل (۲) و (۳) نمایش داده شده‌است.

دکتر فاطمه دباغ کاشانی
دانشگاه علم و صنعت ایران

شکل (۲): چیدمان اپتیکی تعیین سرعت نور



شکل (۳): اتصال اسیلوسکوپ برای اندازه‌گیری شیفت فازی سیگنال نوری متفاوت

۱- فرستنده نور را در فاصله حدود ۱٫۵ متر از گیرنده تنظیم کرده و آن را به خروجی (a) گیرنده متصل کرده و گیرنده را روشن کنید.

۲- بخش نور قرمز فرستنده نور را روی صفحه جلویی گیرنده تصویر کرده و بخش (e) را نسبت به متمرکزکننده (d) به‌گونه‌ای جابه‌جا کنید که در بخش نور قرمز تا حد امکان به‌صورت مساوی روشن شود.

۳- عدسی را در مسیر پرتو قرار دهید.

۴- فرستنده نور و عدسی را به‌گونه‌ای تنظیم کنید که بخش نور قرمز روی دهانه ورودی گیرنده تنظیم شود.

اگر ضرورت دارد، تنظیم فرستنده نور را با پیچ‌های تنظیم پشت (f) بهینه کنید.

۵- خروجی (c) گیرنده را به کانال (۲) اسیلوسکوپ متصل کنید.

تنظیمات اسیلوسکوپ

جفت‌شدگی کانال[1] (۲): AC

تریگر[2]: کانال ۲

پایه زمانی[3]: ۲ $\mu s/DIV$

۶- سیگنال گیرنده روی اسیلوسکوپ را مشاهده کرده و تنظیمات فرستنده نور و عدسی را کمی بیشتر بهینه کنید.

الف- چیدمان آزمایش اندازه‌گیری سرعت نور در آب

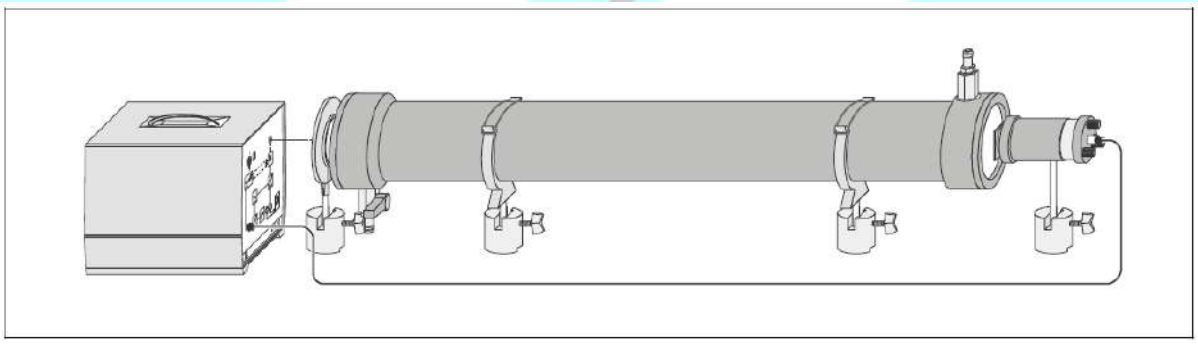
۱- نگهدارنده را روی پایه زینی ببندید، لوله با دو پنجره در دو انتها را روی نگهدارنده قرار داده و لوله را با دو باند کشسان، همانگونه‌که در شکل (۴) نشان داده شده‌است، ثابت کنید.

۲- یک قطعه لوله با یک قیف را روی اتصال بدنه روی پایین لوله قرار داده . دو شیر آب را باز کنید.

۳- قیف را روی لوله قرار داده و لوله را با آب مقطر و تا حدد امکان عاری از حباب پر کنید.

نکته:

شیر آب بالا باید باز بماند تا از تغییرات در فشار لوله در حالت نوسانات دما جلوگیری شود.



شکل (۴): تعیین سرعت نور در آب

ب- چیدمان آزمایش اندازه‌گیری نور در مایعات آلی

۱- میز منشور را روی پایه زینی قرار داده و سلول شیشه‌ای تخت را با نگهدارنده فلزی روی میز منشور ببندید.

۲- سلول شیشه‌ای تخت را مستقیماً در جلوی فرستنده نور قرار دهید.

ج- چیدمان آزمایش اندازه‌گیری سرعت نور در شیشه

۱- میز منشور را روی پایه زینی قرار داده و بلوک شیشه‌ای اکلریک را روی میز منشور با نگهدارنده فلزی قرار دهید.

1 - Coupling Channel
2 - Trigger
3 - Base time

انجام آزمایش

نکته: درستی راضی‌کننده نتایج فقط در زمانی حاصل می‌شود که گیرنده و فرستنده نوری پایداری گرمایی داشته باشند. آزمایش را فقط نیم ساعت پس از روشن کردن گیرنده و فرستنده نور شروع کنید.

ازآنجاکه فرکانس مدولاسیون $\upsilon = ۶۰$ MHz به‌وسیله کوارتز زمان‌بندی می‌شود، نیاز به اندازه‌گیری آن نیست.

الف- همگام‌سازی (همزمان‌سازی) فازهای مرجع و سیگنال گیرنده

۱- خروجی () گیرنده را به کانال (۱) اسیلوسکوپ متصل کرده و به کانال (۱) (سیگنال مرجع) و کانال (۲) (سیگنال گیرنده) به‌صورت همزمان نگاه کنید (دقت کنید).

تنظیمات اسیلوسکوپ

جفت‌شدگی کانال[1] (۱) و (۲): AC

تریگر[2]: کانال ۱

پایه زمانی[3]: ۲ $\mu s/DIV$

۲- موقعیت‌های عمودی کانال‌های (۱) و (۲) را به‌گونه‌ای تنظیم کنید که نسبت به خط مرکزی افقی پرده تا حد امکان متقارن باشد.

۳- به‌خاطر کنترل، انحرافات عمودی را با کنترل تنظیمات زیر به‌گونه‌ای تنظیم کنید که بیشینه هر دو سیگنال روی خط افقیِ یکسان باشد.

۴- دو سیگنال را به‌وسیله شیفت‌دهنده فاز φ به‌گونه‌ای تنظیم کنید که تا حد امکان دقیقاً هم‌فاز باشند.

۵- موقعیت افقی مناسب سیگنال‌ها را انتخاب کرده و تناوب T_1 را تعیین کنید.

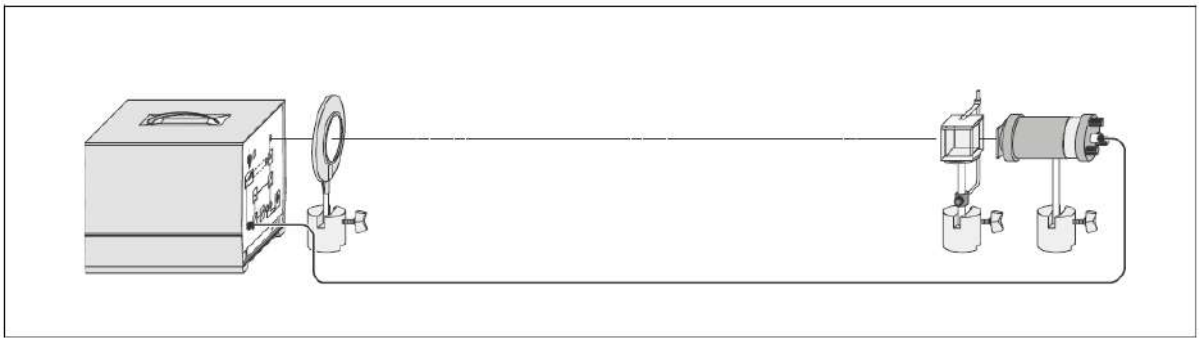
ب-۱- انجام آزمایش سرعت نور در آب

۱- لوله پرشده با آب را در مسیر پرتو مستقیماً در جلوی فرستنده نور قرار دهید.

۲- پایه زمانی را روی $\mu s/DIV$ ۱ قرار داده و فاصله بین عبور صفر[4] را بخوانید و تغییر آشکار در زمان انتشار، Δt_1، را بخوانید.

۳- آزمایش را ۱۰ بار تکرار کرده و جدول (۱) را تکمیل کنید.

1 - Coupling Channel
2 - Trigger
3 - Base time
4 - Zero passage



شکل (۵): تعیین سرعت نور در مایعات آلی

جدول (۱): مقادیر اندازه‌گیری و محاسبه‌شده آزمایش سرعت نور در آب $d=(۱۰۰\pm۱)\ cm$

n	Δt_1	$\overline{\Delta t_1}$	T_1	C_1	n_1
۱					
۲					
۳					
۴					
۵					
۶					
۷					
۸					
۹					
۱۰					

ب- ۲- انجام آزمایش سرعت نور در مایعات آلی

۱- به‌منظور دستیابی به یک نمایش بهبودیافته شیفت فاز، بخش[1] را برای هر دوسیگنال بزرگ کنید.

تنظیمات اسیلوسکوپ

جفت‌شدگی کانال (۱) و (۲): AC

تریگر: کانال ۱

پایه زمانی: $۰/۱\ \mu s/DIV$

دامنه: $۰/۱\ mV/DIV$

۲- موقعیت افقی مناسب برای سیگنال‌ها انتخاب کنید (به‌طور مثال، عبور صفر را به مرکز پرده شیفت دهید).

۳- سلول شیشه تخت را با اتانول پر کرده و جابه‌جایی سیگنال‌ها را مشاهده کنید.

۴- فاصله بین عبور صفر را بخوانید و زمان انتشار Δt_1 را تعیین کنید.

1 - Section

۵- آزمایش را ۱۰ بار تکرار کرده و جدول (۲) را تکمیل کنید.

جدول (۲): مقادیر اندازه‌گیری و محاسبه‌شده آزمایش سرعت نور در مواد آلی (اتانول) $d=(۵/۰\pm۰/۱)$ cm

n	Δt_1	$\overline{\Delta t_1}$	T_1	C_1	n_1
۱					
۲					
۳					
۴					
۵					
۶					
۷					
۸					
۹					
۱۰					

۶- سلول شیشه‌ای تخت را خالی کرده و سیگنال‌ها را با شیفت‌دهنده فاز φ به‌گونه‌ای تنظیم کنید که مجدداً هم‌فاز شوند.

۷- سلول شیشه‌ای تخت را با گلیسرین پر کرده و اندازه‌گیری را تکرار کنید.

۸- جدول (۳) را تکمیل کنید.

جدول (۳): مقادیر اندازه‌گیری و محاسبه‌شده آزمایش سرعت نور در مواد آلی(گلیسیرین) $d=(۵/۰\pm۰/۱)$ cm

n	Δt_1	$\overline{\Delta t_1}$	T_1	C_1	n_1
۱					
۲					
۳					
۴					
۵					
۶					
۷					
۸					
۹					
۱۰					

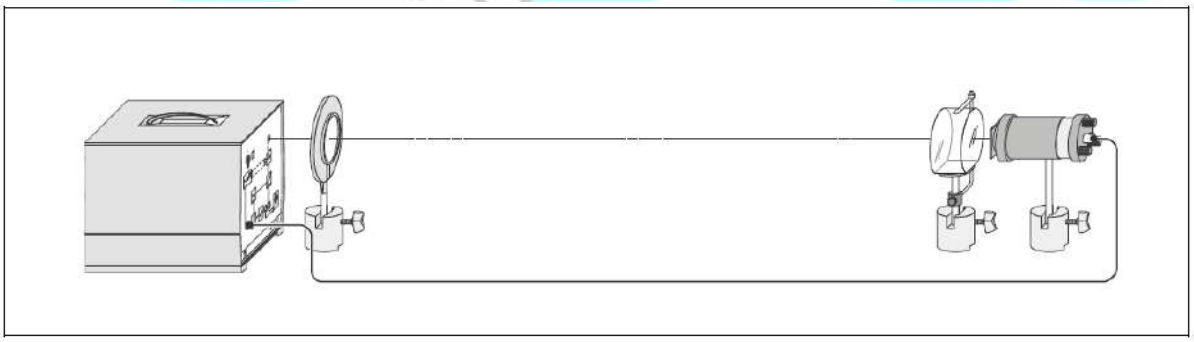
دکتر فاطمه دباغ کاشانی
دانشگاه علم و صنعت ایران

ب-۳- انجام آزمایش اندازه‌گیری سرعت نور در شیشه اکلریک

۱- اندازه‌گیری را مانند آن‌چه در بخش (ب-۲) توضیح داده شده با استفاده از بلوک شیشه‌ای اکلریک به‌جای سلول شیشه‌ای تخت (شکل (۶) انجام داده و جدول (۴) را تکمیل کنید.

جدول (۴): مقادیر اندازه‌گیری و محاسبه‌شده آزمایش سرعت نور در بلوک شیشه‌ای اکلریک $d=(۵/۰\pm۰/۱)\ cm$

n	Δt_1	$\overline{\Delta t_1}$	T_1	C_1	n_1
۱					
۲					
۳					
۴					
۵					
۶					
۷					
۸					
۹					
۱۰					



شکل (۶): تعیین سرعت نور در شیشه اکلریک

دکتر فاطمه دران
دانشگاه علم و صنعت ایران