۱

خواص نور

خواص شناخته شده نور از روی آزمایش‌هایی که به وسیله آنها کشف شده اند و به کمک نمایش‌هایی عملی که کراراً برای توضیح آنها به کار می‌روند شرح داده می‌شود. هر چند که عده این خواص زیاد است می‌توان آنها را تحت سه عنوان: نور هندسی، نور موجی و نور کوانتیده که هر یک دارای مباحث فرعی زیر هستند طبقه بندی و ارائه نمود:

نور هندسی :

انتشار راست خط

سرعت متناهی

بازتاب

شکست

پاشندگی

نور موجی :

تداخل

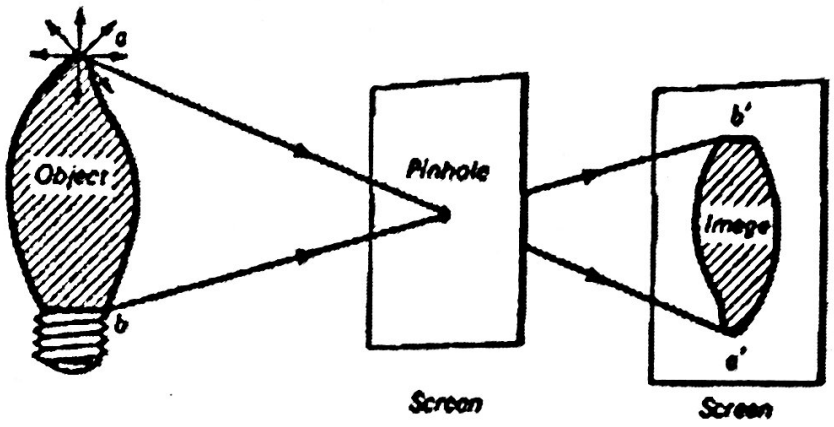
پراش

منش الکترومغناطیسی

پلاریزاسیون

انکسار مضاعف

نور کوانتیک :
مدارهای اتمی
چگالی احتمال
ترازهای انرژی
کوانتا
لیزرها
مبانی دانش نور



شکل (۱-۱): آزمایشی نمایشی و روشنگر این اصل که نور بخط مستقیم سیر می‌کند. انتشار راست خط نور.

پدیده‌های گروه اول که تحت عنوان نور هندسی طبقه بندی شده اند در فصل اول کتاب مورد بحث قرار گرفته اند و به آسان ترین وجهی برحسب خطوط مستقیم و هندسه مسطحه قابل توصیف اند. گروه دوم، نور موجی راجع به طبیعت موجی نوراند و در فصول ۶ تا ۱۳ مورد بحث واقع شده اند. گروه سوم، اپتیک کوانتیک از نوری که از بسته‌های کوچکی از انرژی بنام کوانتا درست شده است صحبت می‌کند و بحث آنها از دیدگاه اپتیکی طی فصول ۱۳ تا ۱۶ آمده است .

۱-۱ : انتشار راست خط نور

انتشار راست خط نور اصطلاحی است فنی و به اصلی اطلاق می‌شود که به موجب آن نور به خط مستقیم سیر می‌کند. نمایش خوبی از این اصل واقعیت انداختن "سایه" واضح توسط اشیای واقع در معرض نور است. مثال دیگری را می‌توان در دوربین "اطاقک تارکی" یافت. در این وسیله ساده و ارزان آنطور که در شکل (۱-۱) ترسیم شده است تصویر جسم ساکنی با عبور نور از سوراخ کوچکی روی فیلم یا شیشه عکاسی تشکیل می‌شود. در این شکل جسم چراغی زینتی است که نور سفید تابش می‌کند. برای درک چگونگی تشکیل تصویر شعاع‌های نوری را که از نقطه a بالای لامپ تابش می‌شوند درنظر بگیرید . از شعاع‌های زیادی که در جهات مختلف می‌تابند شعاعی که دقیقا در جهت سوراخ سیر می‌کند در داخل آن به نقطه a' پایین پرده تصویر می‌رسد. به طریق مشابه شعاعی که از b پایین لامپ خارج می‌شود و از درون سوراخ می‌گذرد به b' در بالای پرده تصویر می‌رسد. بر این اساس است که می‌توان چگونگی تشکیل تصویر کامل و معکوس لامپ را درک نمود.

چنانچه پرده تصویر به طرف به طرف پرده سوراخ آورده شود تصویر به تناسب کوچکتر و اگر از آن دور شود تصویر به تناسب بزرگتر می‌گردد. با چنین وسیله‌ای می‌توان عکس‌های دقیق و عالی از اجسام ساکن تهیه نمود. با تعبیه سوراخ کوچکی در کی رخ جعبه‌ای و قرار دادن فیلم یا صفحه عکاسی در رخ مقابل و انتخاب چند زمان عکسبرداری آزمایشی می‌توان تصویرهای خوبی بدست آورد. برای عکس‌های دقیق و خوب سوراخ باید خیلی کوچک باشد زیرا اندازه سوراخ تعیین کننده میزان مهمی تصویر است. سوراخ مربع شکل کوچکی کاملا رضایت بخش است. ورقه‌ای از آلومینیم مصرفی خانه را دوبار تا شده و گوشه آنرا با تیغ تیزی می‌برند. لبه‌های سوراخ حاصل خوب و صاف خواهد بود. با ساختن چند سوراخ آزمایشی و به کمک ذره بینی می‌توان سوراخ مربعی مطلوب را انتخاب نمود. عکس شکل (۱-۲) با چنین دروبین گرفته شده است به راست ماندن خطوط نما و عمق منظره توجه شود.

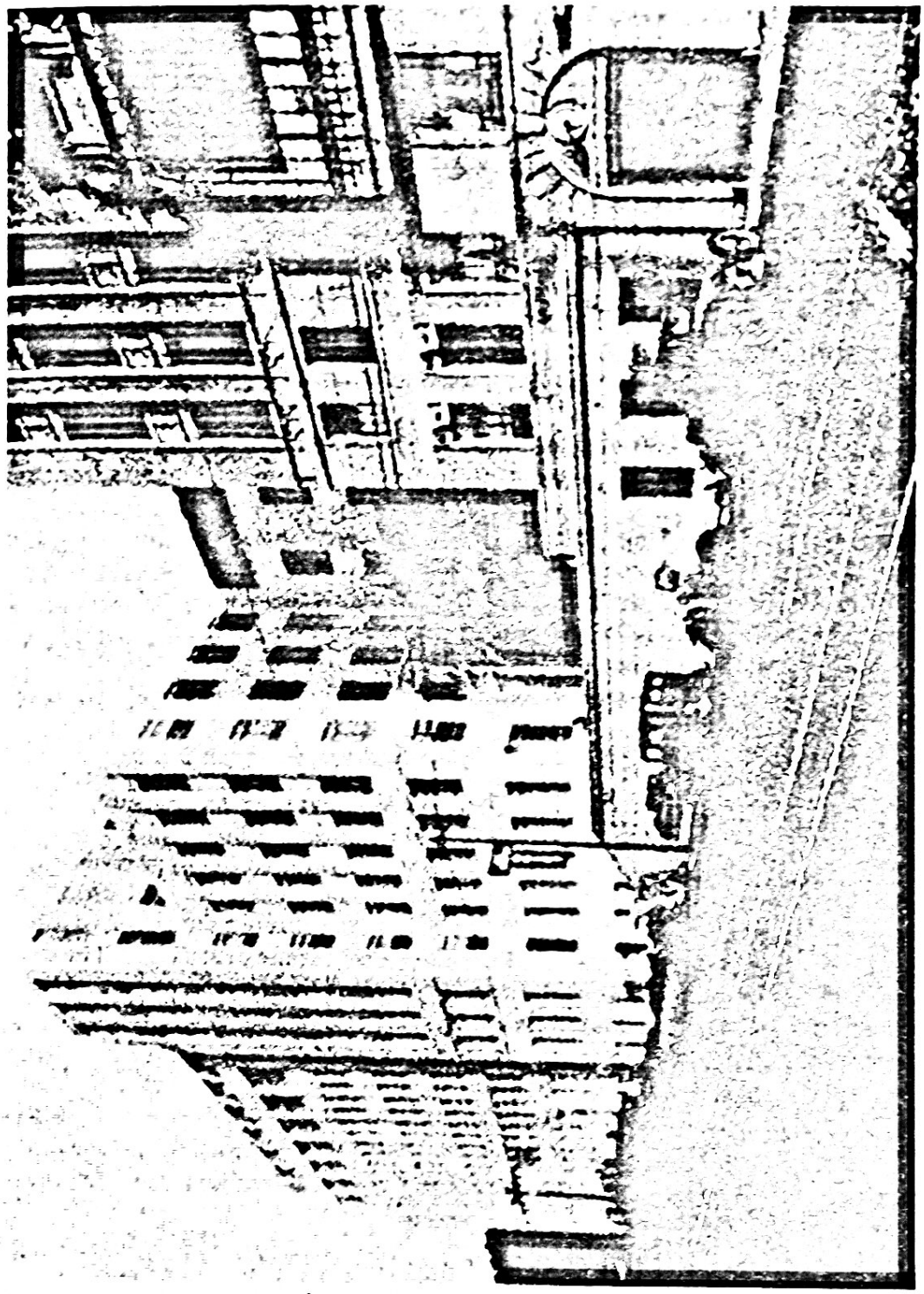
۱-۲ : سرعت نور

ستاره شناسان باستان باور داشتند که نور با سرعت بینهایت سیر می‌کند. عقیده بر این بود که هر حادثه مهمی که بین ستارگان دور اتفاق می‌افتد بلافاصله در سایر نقاط کیهان قابل ملاحظه است.

حکایت است که گالیله حوالی سال ۱۶۰۰ کوشش کرد سرعت نور را اندازه بگیرد ولی توفیقی بدست نیاورد. او خود با چراغی بالای یک تپه ایستاد و دستیارش را با چراغ دیگری به بالای تپه دوردستی فرستاد. نقشه این بود که گالیله طبق قرار قبلی در لحظه دادن علامتی پوشش چراغ خود را بردارد و نوری را به طرف دستیارش بفرستد. دستایر هم با دیدن نور پوشش چراغ خود را بردارد و نوری به طرف گالیله بفرستد و او زمان کل بین این دو عمل را اندازه بگیرد. تکرار این آزمایش به دفعات زیاد و بین فواصل بزرگتر و بزرگتری گالیه را متقاعد کرد که نور با یک سرعت سیر بینهایت باشد.

ما اکنون می‌دانیم که سرعت نور محدود و دارای مقدار تقریبی زیر است.

$$v = ۳۰۰,۰۰۰\ km/s = ۱۸۶۴۰۰\ mi/s$$

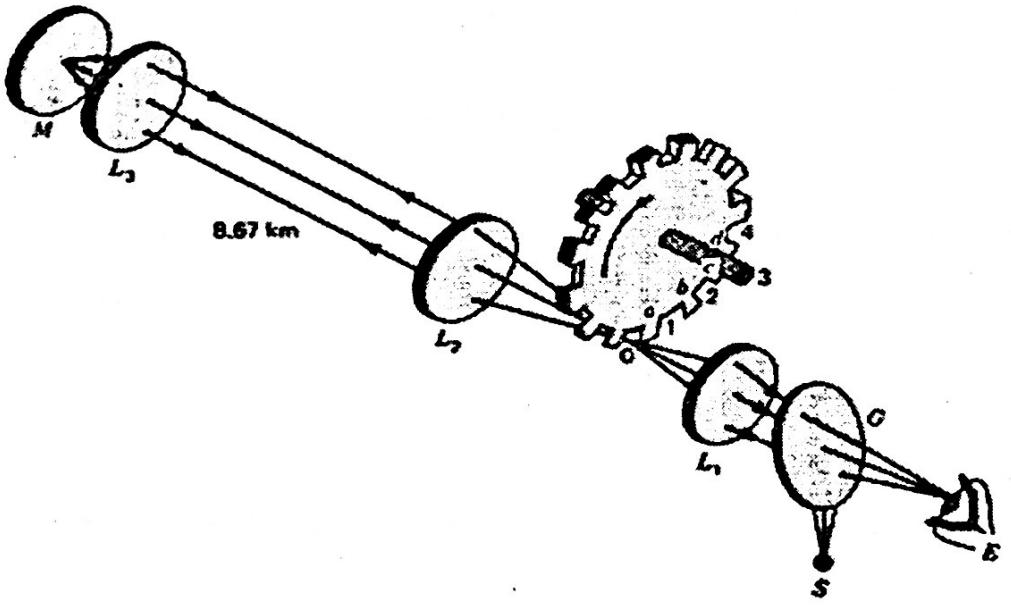


شکل (۱-۲) : عکس بیمارستان دانشگاه کالیفرنیا در سانفرانسیسکو که با دوربین "اطاقک تاریک" گرفته شده است فاصله فیلم تا سوراخ ۹/۵ سانتیمتر نوعی فیلم Panchromatic، مدت باز بودن سوراخ ۳ دقیقه و سوراخ مربعی به ضلع ۰/۳۳ میلیمتر.

فیزیو[1] فیزیکدان فرانسوی اولین کسی بود که در ۱۸۴۹ سرعت نور را روی زمین اندازه گرفت. عقیده بر این است که دستگاه او چیزی شبیه شکل (۱-۳) بوده است. شرحی که او از آزمایش خود داده است بسیار مفصل است ولی در یادداشت‌های خود ترسیمی از دستگاهش بدست نداده است.

۱- (۱۸۹۶-۱۸۱۹) Armand H.L.Fizeau فیزیکدان فرانسوی در خانواده ای ثروتمند بدنیا آمد و توانست از نظر مالی مستقل باشد. باری، به جای روگردانی از کار فیزو زندگی خود را وقف کار پردقت علمی کرد. مهمترین دست آورد او اندازه گیری سرعت نور در ۱۸۴۹ بود که در پاریس و در فاسله مونمارتر suresnes انجام شده همچنین اصل دوپلر را در مورد نور ستارگان بدستی توضیح و نشان داد که چگونه می‌توان از این پدیده برای اندازه گیری سرعت حرکت ستارگان استفاده کرد. او در ۱۸۵۱ آزمایش هایی درباره سرعت نور در ماده در حال حرکت انجام ونشان داد که نور همراه جریان آب کشیده می‌شود.

دسته شعاع بر شدتی ابتدا از منبع S روی آینه نیمه نقره اندود G منعکس و بعد توسط عدسی L در نقطه O به کانون آورده می‌شود. دسته شعاع واگرا از O به کمک عدسی $L_۲$ به دسته شعاعی موازی تبدیل می‌گردد. نور بعد از طی مسافتی برابر با ۸/۶۷ کیلومتر و عبور از عدسی $L_۲$ و انعکاس روی آینه M به طرف منبع برگردانیده می‌شود. در برگشت دسته شعاع منطبق بر مسیر اولیه از $L_۲$،O،$L_۱$ گذشته و نیمه‌ای از آن با عبور از G در E به چشم ناظر می‌رسد. نقش چرخ دندانه دار این است که نور را قطع و به صورت ضربان‌های کوتاه درآورده و زمان لازم را برای رفت و برگشت آنها تا آینه M اندازه بگیرد. موقعی که چرخ در حال سکون است نور می‌تواند از یکی از فواصل بین دودندانه در O عبور کند. در این وضعیت عدسی‌ها و آینه دور به یک خط آورده می‌شوند تا تصویر منبع S توسط ناظر در E دیده شود.



شکل (۱-۳) : آزمایشی که فیزو فیزیکدان فرانسوی شرح آن را داده و در سال ۱۸۴۹ به وسیله آن سرعت نور را در هوا اندازه گرفته است.

آنگاه چرخ با سرعتی که به آرامی در حال ازدیاد است به حرکت درآورده می‌شود. به ازای سرعتی نوری که از بریدگی O می‌گذرد در بگرشت به وسیله دندانه a جلویش را بگیرد. به ازای همین سرعت نوری که از شکاف ۱ می‌گذرد در برگشت به وسیله دندانه b متوقف می‌گردد. تحت این شرایط منبع S به طور کامل از دید بیننده محو می‌شود. به ازای دو برابر این سرعت نور دوباره با شدت ماکزیمم پدیدار می‌شود. این وضع از آن رو رخ میدهد که ضربان‌های نوری که از شکاف‌های ۴،۳،۲،۱ می‌گذرند درست هنگامی بر می‌گردند که به ترتیب می‌توانند از شکاف‌های ۳،۲،۵،۴ بگذرند.

چرخ دارای ۷۲۰ دندانه بود و فیزو دریافت که شدت ماکزیمم به ازای سرعت ۲۵ دور در ثانیه رخ می‌دهد. زمان لازم برای رفت و برگشت هر ضربان از $\frac{۱}{۷۲۰}\times\frac{۱}{۲۵}=\frac{۱}{۱۸۰۰۰}$ ثانیه قابل محاسبه بود.

با استفاده از مسافت رفت و برگشت ۱۷/۳۴ کیلومتر سرعت نور بدست آمد:

$$v=\frac{d}{t}=\frac{۱۷/۳۴\ km}{\frac{۱}{۱۸۰۰۰}\ s}=۳۱۲۰۰۰\ km/s$$

در سال‌های بعد از اولین آزمایش فیزو عده‌ای از آزمایش کنندگان دستگاه او را بهبود بخشیدند و مقادیر دقیق تری برای این ثابت کیهانی بدست آوردند. باری حدود سه ربع قرن بعد مایکلسن و به دنبال او افراد دیگری روش‌های جدیدتر و بهتری در مور نور مرئی، امواج رادیویی و میکروویو به کار بردند و سرعت نور را با دقت تا ۶ رقم مهم بدست آوردند.

عقیده بر این است که امواج الکترومغناطیس با هر طول موجی از اشعه X واقع در یک انتهای طیف گرفته تا امواج رادیویی بلند در انتهای دیگر، همه در خلاء با یک سرعت سیر می‌کنند. آزمایش‌های جدید را در فصل ۱۹ به تفصیل مورد بحث قرار خواهیم داد.

در اینجا فقط آن مقدار این ثابت کیهانی را که بیش از همه مورد قبول است بدست می‌دهیم:

$$C=۲۹۹,۷۹۲/۵\ km/s=۲/۹۹۷۹۲۵\times۱۰^{۸}\ m/s \qquad (۱-۱)$$

به خاطر مقاصد عملی و در جاهایی که محاسبه تا ۴ رقم مهم انجام می‌شود سرعت نور در خلاء یا در هوا را می‌توان گرفت.

$$C=۳\times۱۰^{۸}\ m/s \qquad (۱-۲)$$

به کار بردن این مقدار گرد شده قابل توجیه است زیرا اختلاف آن با مقدار دقیق تر (۱-۱) کمتر از ۰/۱ درصد است.

۱-۳ : سرعت نور در ماده ساکن

در ۱۸۵۰ فوکو[۱] فیزیکدان فرانسوی نتایج آزمایش را که به وسیله آن سرعت نور را در آب اندازه گرفته بود تکمیل و منتشر کرد. آزمایش فوکو اهمیت زیادی داشت زیرا به جنجالی طولانی بر سر ماهیت نور خاتمه داد. نیوتن و پیروان او در انگلیس و قاره اروپا عقیده داشتند که نور از ذرات کوچکی که از هر منبع نور صادر می‌شود درست شده است. از طرف دیگر هویگنس فیزیکدان هلندی عقیده داشت

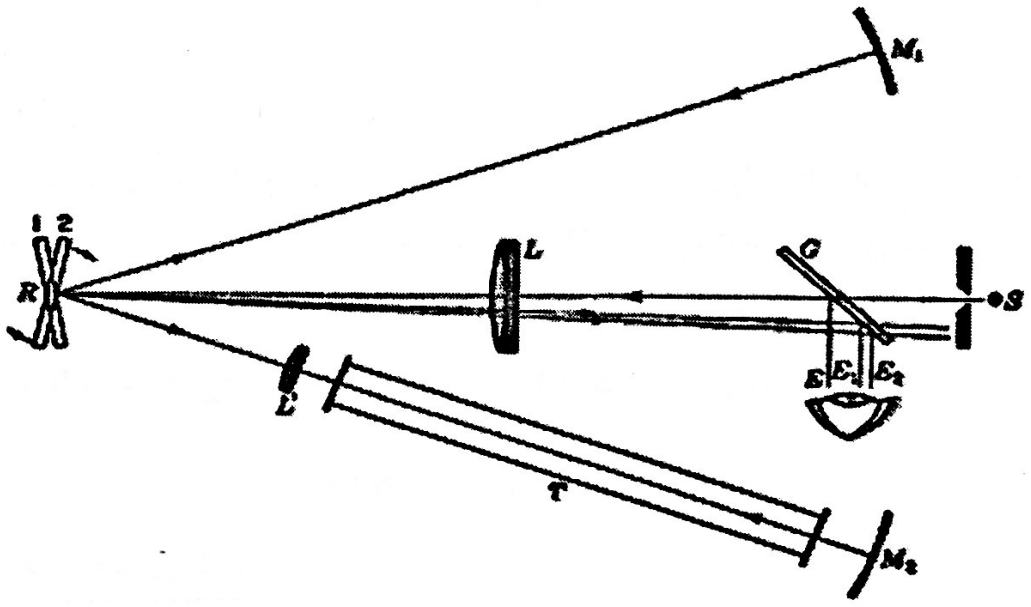
۱- ژان برنارد فوکو (۱۸۶۸-۱۸۱۹) فیزیکدان فرانسوی که پس از پایان تحصیلات در پزشکی فیزیک تجربی را انتخاب کرده فیزو آزمایش هایی از زمینه اندازه گیری سرعت نور انجام داد. بین او دو دانشمند پس از مدتی بر سر روش مناسب برای برش باریکه نور اختلاف پیش آمد و هر یک به طور جداگانه شروع به کار کردند. فیزو این کار را با چرخ دنده دار انجام داد و فوکو از آینه دوار استفاده کرد. هر یک با تکمیل کار هر یک آزمایش های قابل تهسینی انجام دادند. در سال ۱۸۵۰ فوکو به کمک آینه دوار سرعت نور را در محیط های متفاوت اندازه گرفت. در سال ۱۸۵۱ به کنک آونگ مشهود فوکو حرکت وضعی زمین را ثابت کرد و در سال ۱۸۵۵ مدال انجمن سلطنتی انگلیس را دریافت کرد و همچنین جریان های القایی در قرص مسی را که در میدان مغناطیسی قوی می‌چرخد کشف کرد. فوکو همچنین قطبشگر اپتیکی را اختراع کرد که به نام او است.

که نور از امواجی مشابه امواج سطح آب یا امواج صوتی تشکیل یافته است. بر مبنای تئوری ذره‌ای نیوتن نور باید در محیطی مثل آب که از نظر نوری غلیظ تر از محیطی مثل هوا است سریع تر حرکت کند. تئوری موجی در هویگنس ایجاب می‌گردد که نور در محیط‌های غلیظ تر آهسته تر حرکت نماید. فوکو با فرستادن دسته شعاع نوری به درون لوله پر از آب بلندی و برگردانیدن آن نشان داد که سرعت نور در آب کمتر از سرعت آن در هوا است. عده زیادی این نتیجه را موید تئوری موجی نور دانستند.

تصویر مورد مشاهده متعلق به سیم نازکی بود که به موازات عرض شکاف و به حالت کشیده نگه داشته شده بود. در E_1 و E_2 تصاویر دقیقی مورد نیاز بودند و عدسی کمکی L' برای جلوگیری از تابش مایل نور در دو انتهای لوله لازم بود.

حدود ۴۰ سال بعد مایکلسن فیزیکدان آمریکایی هم (اولین آمریکایی برنده جایزه نوبل، ۱۹۰۷) سرعت نور را در آب و در هوا اندازه گرفت. در مورد آب او مقدار ۲۲۵۰۰۰ کیلومتر بر ثانیه را بدست آورد که درست ۳/۴ سرعت نور در خلاء است. در شیشه اپتیکی معمولی دما و فشار سرعت نور هنوز هم کمتر و حدود ۲/۳ سرعت نور در خلاء بود.

در شرایط معمولی دما و فشار سرعت نور در هوا حدود ۸۷ کیلومتر بر ثانیه از سرعت آن در خلاء کمتر و به عبارت دیگر $v = ۲۹۹,۷۰۶\ km/s$ است. به خاطر بسیاری از مقاصد عملی می‌توان از این اختلاف چشم پوشی کرد و سرعت نور در هوا را همان سرعت نور در خلاء یعنی $v = ۳\times۱۰^۸\ m/s$ گرفت.



شکل (۱-۴) : ابزار فوکو برای تعین سرعت نور در آب

۱-۴ : ضریب شکست

تعریف ضریب شکست هر محیط اپتیکی نسبت سرعت نور در خلاء به سرعت نور در آن محیط است :

$$\text{ضریب شکست} = \frac{\text{سرعت نور در خلاء}}{\text{سرعت نور در محیط}} \qquad (۱-۳)$$

به صورت علائم جبری

$$n = \frac{c}{v} \qquad (۴-۱)$$

معمولا برای نمایش این نسبت از حرف n استفاده می‌شود. با بکار بردن سرعت‌های ذکر شده در بند ۱-۳ برای ضرایب شکست مقادیر زیر را بدست می‌آوریم:

$n = ۱/۵۲۰$ برای شیشه (۵-۱)

$n = ۱/۳۳۳$ برای آب (۶-۱)

$n = ۱/۰۰۰$ برای هوا (۷-۱)

اندازه گیری دقیق ضریب شکست هوا در شرایط متعارفی دما (صفر درجه سانتیگراد) و فشار (۷۶۰ میلیمتر جیوه) مقدار زیر را بدست می‌دهد.

$$n = ۱/۰۰۰۲۹۲ \qquad (۸-۱)$$

انواع مختلف شیشه و پلاستیک ضرایب شکست مختلف دارند. ضرایب شکست متداول ترین شیشه‌های مورد استفاده در دوربین ۱/۵۲ تا ۱/۷۲ است (جدول ۱-۱ را ببینید). چگالی نوری هر محیط شفافی بستگی به ضریب شکست آن دارد. محیطی که ضریب شکست آن نسبتاً زیاد باشد چگالی نوری آن زیاد و محیطی که ضریب شکست آن کم باشد چگالی نوری اش کم است.

۱-۵ : راه نوری

برای اثبات اساسی ترین اصول نور هندسی مناسبت دارد کمیتی را به نام راه نوری تعریف کنیم. d راه طی شده توسط شعاع نور در یک محیط برابر با حاصلضرب سرعت نور در زمان است:

$$d = vt$$

از آنجایی که طبق تعریف $n = \frac{c}{v}$ و بنابر این $v = \frac{c}{n}$ است می‌توانیم بنویسیم:

$$d = \frac{c}{n}t \qquad \text{یا} \qquad nd = ct$$

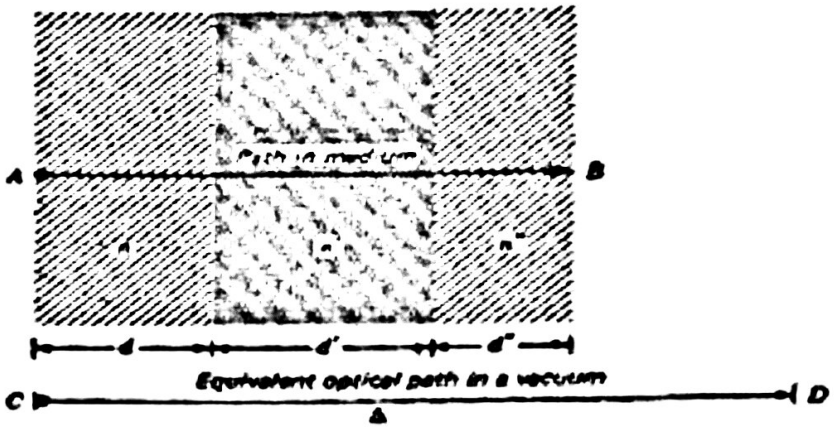
حاصلضرب nd راه نوری Δ نام دارد:

$$\Delta = nd$$

راه نوری معرف مسافتی است که نور در خلاء در همان زمانی که نور مسافت d را در محیط طی کرده است، می‌پیماید. چنانچه نور از داخل یک سری محیط‌های نوری به ضخامت‌های d, d', d'' و ... و با ضرایب شکست n, n', n'' و ... عبور کند راه نوری کل برابر جمع راه‌های نوری فرعی است:

$$\Delta = nd + n'd' + n''d'' + \ldots \qquad (۹-۱)$$

ترسیمی که نمایشگر مفهوم راه نوری است در شکل (۱-۵) ارائه شده است. سه محیط به طول‌های d'', d', d که ضرایب شکست آنها به ترتیب n'', n', n است در تماس هستند.
AB نشان دهنده طول مسیر واقعی نور در این محیطها است در حالی که CD مسافت Δ است که نور در همان مدت t در خلاء طی می‌کند.



شکل (۱-۵) : راه نوری در چند محیط نوری دنبال هم

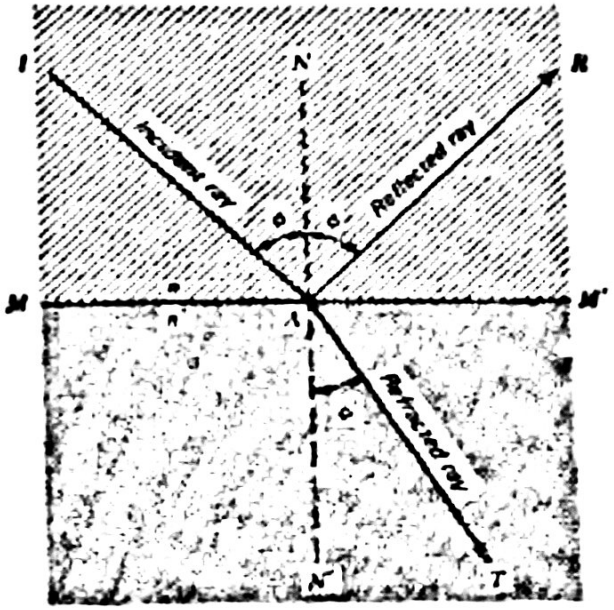
۱-۶ : قوانین بازتاب و شکست

موقعی که شعاع نوری به مرز بین دو محیط مختلف می‌تابد قسمتی از آن به محیط اول بازتاب یافته و قسمت دیگر ضمن ورود به محیط دوم شکست می‌یابد (راه خود را کج می‌کند) (شکل (۱-۶) را ببینید). راستاهای این دو شعاع را می‌توان به بهترین وجهی به وسیله دو قانون کاملا شناخته شده در طبیعت تعیین کرد.
بر اساس ساده ترین این قوانین زاویه‌ای که شعاع تابش با فصل مشترک MM' می‌سازد دقیقاً با زاویه‌ای که شعاع بازتاب با آن می‌سازد برابر است. معمول چنین است که زاویه تابش و بازتاب را به جای اندازه گیری نسبت به فصل مشترک MM' نسبت به خط عمود بر آن اندازه گیری کنند. این خط که در شکل NN' است نرمال (عمود) نامیده می‌شود. به تدریج که ϕ زاویه تابش افزایش یابد زاویه بازتاب هم دقیقاً به همان نسبت افزایش می‌یابد به قسمی که برای تمام زوایای تابش

زاویه بازتاب = زاویه تابش (۱-۱۰)

قسمت دوم و به همان اندازه مهمی از این قانون می‌گوید که شعاع بازتاب در صفحه تابش و در سوی دیگر خط عمود واقع است. صفحه تابش صفحه‌ای است که شعاع تابش و خط عمود در آن واقع اند. به بیان دیگر شعاع تابش، خط عمود و شعاع بازتاب همه در صفحه واحدی قرار دارند که بر فصل مشترک دو محیط عمود است.
قانون دوم مربوط به شعاع تابش و شعاع شکست است و می‌گوید نسبت سینوس زاویه تابش سینوس زاویه شکست مقداری ثابت است یا برای تمام زوایای تابش:

$$\frac{Sin\varphi}{Sin\varphi'} = const \qquad (۱-۱۱)$$



شکل (۱-۶) : بازتاب و شکست نور در فصل مشترک دو محیط که ضرایب شکست آنها به ترتیب n و n' است.

به علاوه شعاع شکست نیز در صفحه تابش و در طرف دیگر خط عمود قرار دارد. این رابطه که درستی آن را Snell [۱] به طور تجربی ثابت کرده است به قانون Snell معروف است. علاوه بر این ثابت می‌شود که ثابت نسبت عیناً برابر نسبت ضرایب شکست n و n' دو محیط است.

پس می‌توانیم بنویسیم :

$$\frac{Sin\varphi}{Sin\varphi'} = \frac{n'}{n} \qquad (۱-۱۲)$$

که می‌توان آن را به صورت متقارن نیز نوشت.

$$nSin\varphi = n'Sin\varphi' \qquad (۱-۱۳)$$

بنابر معادلات (۱-۳) و (۱-۴) تعریف ضریب شکست محیط‌های توری مختلف می‌شود:

$$n = \frac{c}{v} \quad , \quad n' = \frac{c}{v'} \qquad (۱-۱۴)$$

۱- Willebrord Snell (۱۵۹۱-۱۶۲۹) منجم و ریاضیدان هلندی در Leyden بدنیا آمد او ۲۱ ساله بود که در دانشگاه لیدن به جای پدرش استاد ریاضیات شد. در ۱۶۱۷ اندازه زمین را با سنجش انحنا آن در فاصله بین Alkmaar و Bergen-OP-Zoom تعیین نمود. Snell در ۱۶۲۱ در مقاله ای که به چاپ نرسیده آنچه را که اساساً قانون شکست نور است اعلام کرد. ترسیم هندسی او ایجاب می‌کرد که نسبت Cosecantهای φ و φ' ثابت باشد. دکارت اولین کسی بود که سنت سینوس ها را به کار برد و به این دلیل قانون هم فرانسه به قانون دکارت معروف است.

که در آنها c سرعت سیر نور در خلاء $\left(c = ۲/۹۹۷۹۲۵ \times ۱۰^{۸}\ m/s\right)$ و v و v' سرعت نور در دو محیط اند با قرار دادن معادلات (۱-۳) در (۱-۱۲) بدست می‌آوریم:

$$\frac{Sin\varphi}{Sin\phi'} = \frac{v}{v'} \qquad (۱۵-۱)$$

غالباً چنانچه یک یا هر دوی ضرایب شکست غیرواحد باشند نسبت $\frac{n'}{n}$ را ضریب شکست نسبی می‌نامند و قانون اسنل را به صورت زیر می‌نویسند:

$$\frac{Sin\varphi}{Sin\phi'} = n' \qquad (۱۶-۱)$$

چنانچه محیط اول خلاء باشد $(n = ۱)$ مقدار ضریب شکست نسبی همان مقدار ضریب شکست محیط دوم است و رابطه (۱-۱۶) هنوز هم معتبر است.
اگر ضریب شکست اول متعلق به هوا در شرایط متعارفی دما و فشار $(n = ۱/۰۰۰۲۹۲)$ و تا سه رقم دقت کافی باشد باز هم از رابطه (۱-۱۶) استفاده می‌شود.
در هر جا عملی باشد علائم بدون پریم را برای محیط اول پریم دار را برای محیط دوم و زگونددار را برای محیط سوم به کار می‌بریم. هر جا که زوایای تابش و شکست خیلی کوچک باشند می‌توان با تقریب خوبی به جای $\sin$ سینوس زوایا خود آنها را قرار داده و نوشت:

$$\frac{\varphi}{\phi'} = \frac{n'}{n} \qquad (۱۷-۱)$$

۱-۷: روش ترسیمی تعیین شعاع شکست

در شکل (۱-۷) روش ساده‌ای برای ردیابی شعاع شکست در مرز دو محیط نوری شفاف ارائه شده است.
از آنجایی که میتوان اصول این ترسیم را به راحتی تا دستگاه‌های نوری پیچیده
بسط داده روش می‌تواند در طراحی مقدماتی انواع مختلف وسایل نوری مفید واقع شود.
بعد ترسیم خط GH که نماینده مرز دو محیط به ضرایب شکست n و n' است، زاویه تابش φ مربوط به شعاع تابش JA انتخاب و ترسیم به شرح زیر پیش می‌رود:
در یک طرف ترسیم و تا آنجا که بشود نزدیک به آن خط OR به موازات JA کشیده می‌شود.
با انتخاب مرکز O دو قوس به شعاع‌هایی به ترتیب متناسب با ضرایب شکست n و n' رسم می‌گردند.
از R نقطه برخورد خطی به موازات خط عمود بر فصل مشترک رسم می‌شود تا قوس نظیر n' را در P

قطع نماید. بعد خط OP و به موازات آن از A شعاع شکست AB رسم می‌شود. زاویه β که بین شعاع‌های تابش و شکست واقعی است و زاویه انحراف نام دارد از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$\beta = \phi - \phi' \qquad (۱-۱۸)$$

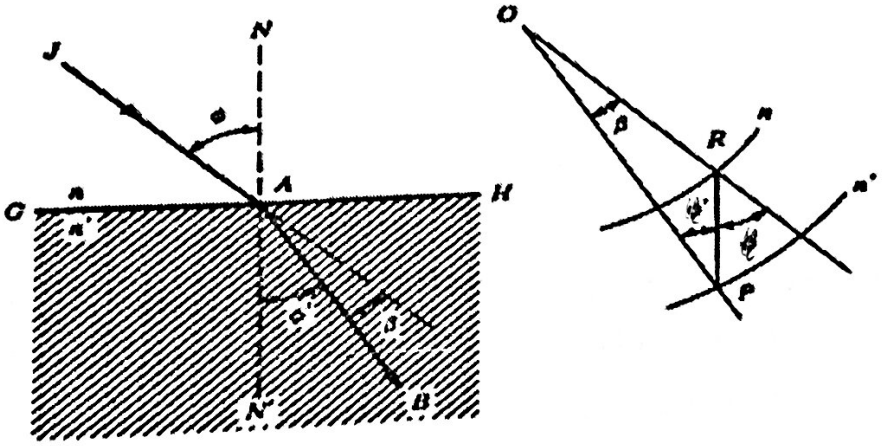
برای اثبات اینکه ترسیم دقیقاً مطابق قانون اسنل است قانون سینوس‌ها را در مثلث ORP به کار می‌بندیم

$$\frac{OR}{Sin\phi'} = \frac{OP}{Sin(\pi - \phi)}$$

از آنجایی که $Sin(\pi - \phi) = Sin\phi$، $OR = n$ و $OP = n'$ است جاگذاری مقادیر مستقیماً رابطه

$$\frac{n}{Sin\phi'} = \frac{n'}{Sin\phi} \qquad (۱-۱۹)$$

را که قانون اسنل [معادله (۱-۱۲)] است بدست می‌دهد.



شکل (۱-۷) : روش ترسیمی تعیین شعاع شکست در مورد سطح صافی که دو محیط به ضرایب شکست n و n' را از یکدیگر جدا می‌سازد.

۱-۸ : اصل بازگشت پذیری نور

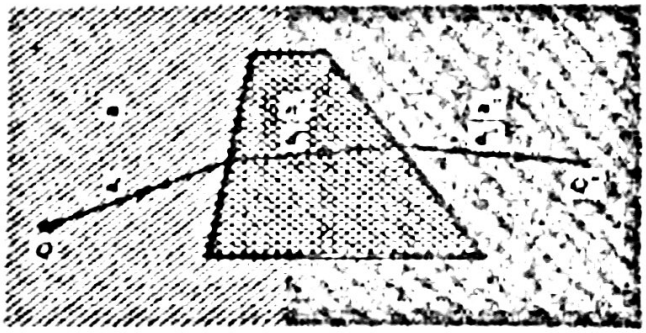
تقارن معادله (۱-۱۰) و (۱-۱۳) از نظر سبک‌های برده شده نشان می‌دهد که اگر جهت شعاع تابشی و شعاع شکستی معکوس شود آن شعاع مسیر اولیه خود را درجهت معکوس دوباره طی می‌نماید. در هر زوج محیط مفروض به ضرایب شکست n و n' هر مقدار ϕ به طور دوجانبه با مقدار متناظری ϕ' متناظر است. این موضوع به هنگام معکوس کردن جهت شعاع نور و تبدیل ϕ' به زاویه تابش در محیط n نیز صحت دارد و در این صورت ϕ زاویه زاویه شکست خواهد شد. چون اصل بازگشت نور در هر سطح بازتاب یا شکست صادق است در موردپیچیده ترین مسیرهای نوری نیز صادق خواهد بود. این اصل مفید از پایه‌ای صرفاً هندسی فراتر می‌رود و بعد خواهیم دید که اصل از کاربرد حرکت موجی در مورد یکی از اصول مکانیک نتیجه می‌شود.

۱-۹ : اصل فرما

در بند ۱-۵ اصطلاح راه نوری را معرفی و آن را مسافتی تعریف کردیم که نور در خلاء در همان مدتی که مسیر معینی را در یک یا چند محیط نوری طی می‌کند، می‌پیماید. راه واقعی نور از طریق منشور که وجوه طرفین آن را محیط‌های مختلفی فرا گرفته است در شکل (۱-۸) نشان داده شده است. راه نوری از نقطه Q واقع در محیط n و از طریق محیط n' تا نقطه Q'' در محیط n'' از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$\Delta = nd + n'd' + n''d'' \qquad (۱-۲۰)$$

همچنین می‌توان راه نوری در محیطی که ضریب شکست به طور پیوسته تغییر می‌کند عمل جمع را با انتگرال جانشین کرد. و در چنین حالتی مسیر اشعه منحنی است و قانون اسنل معنی خود را از دست می‌دهد.



شکل (۱-۸) : شکست نور در منشور و مفهوم راه نوری Δ

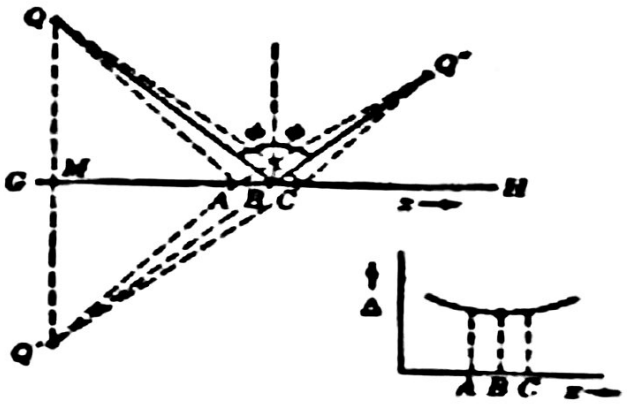
اکنون اصل فرما[1] را که در مورد هر نوع تغییرات n قابل اعمال و بنابر این قوانین انعکاس و شکست را شامل است از نظر می‌گذرانیم:

مسیر یک شعاع نور در رفتن از یک نقطه به نقطه دیگر و از میان یک سری محیط‌های شفاف طوری است که راه نوری نظیر آن در تقریب اول با راه‌های نوری مسیرهای خیلی‌مجاور برابر است.

راه‌های دیگر باید راه‌های ممکن باشند بدین معنی که اشعه فقط در جاهایی که سطوح بازتاب یا شکست وجود دارند دستخوش انحراف واقع شوند. اصل فرما برای شعاعی که راه نوری اش در مقایسه با راه‌های فرضی مجاور مینیمم است صادق است.

خود فرما چنین اظهار کرد که زمان لازم برای پیمودن راه توسط نور می‌نیمم و راه نوری تابع این زمان است ولی موارد زیادی وجود دارد که راه پیموده شده در مسیر شعاع حقیقی ماکزیمم و یا اینکه متوقف (Stationary) است.

موردی را در نظر می‌گیرید که در آن شعاع نوری پس از گذشتن از نقطه Q و بازتاب از یک سطح تخت باید از نقطه‌ای مثل Q' بگذرد (شکل ۱-۹). برای یافتن مسیر واقعی نخست از Q عمودی بر GH فرشود می‌آوریم و آن را به اندازه خود امتداد می‌دهیم تا نقطه Q' بدست آید. خط راست $Q'Q'$ را رسم و B محل تلاقی آن با GH را به Q وصل می‌کنیم. بر این اساس مسیر واقعی نور QBQ' است و بنابر روابط متقارن موجود در شکل این مسیر از قانون انعکاس متابعت می‌نماید. اکنون مسیرهای مجاور به این مسیر اصلی را که از نقطه A و C آینه و واقع در مجاورت B می‌گذرند در نظر می‌گیریم.



شکل (۱-۹) : اصل فرما در مورد بازتاب در یک سطح تخت

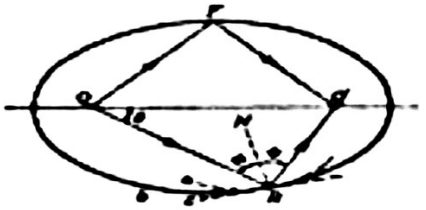
از آنجایی که خط مستقیم واصل بین دو نقطه کوتاه ترین راه است هر دوی راه‌های $Q'AQ'$ و $Q'CQ'$ از $Q'BQ'$ بلندترند. مطابق ترسیم فوق و با استفاده از مثلث‌های معادله داریم:

$$QA = Q'A$$

۱ـ (۱۶۰۱-۱۶۶۵) Pierre de Fermat ریاضیدان فرانسوی متولد Beaumont-de-Lomagne در جوابی به اتفاق پاسکال درباره خواص اعداد به عمل آورد و بعدها مدتها خود را درباره محاسبه احتمالات بر آنها بنا نمود. تحقیقات درخشان او در زمینه نظریه اعداد او را در ردیف بنیانگذاران تئوری بیان نمود. توجیهی که برای این اصل داشت این بود که طبیعت صرفه جوست ولی از شرایطی که آنها عینا عکس این مطلب صحیح است بی اطلاع بود. فرما مستشار پارلمان تولوز و از نظر معلومات حقوقی و نیز از نظر جدیت و جامعیت رفتار ممتاز بود.

و $QC = Q'C$ و بنابراین QAQ' و QBQ' و QCQ' و QBQ' پس راه واقعی QBQ' مینیمم است. منحنی راه‌های فرضی نزدیک به راه واقعی QBQ' آنطور که در گوشه راست و پایین شکل اصلی دیده می‌شود مفهوم را بیان می‌کند. مستقیم بودن تقریبی منحنی در قسمت بین A و C نشان می‌دهد که در تقریب اول راه‌های مجاور مسیر واقعی با راه واقعی برابرند.

بالاخره خواص نوری یک بیضوی صیقلی مانند بیضوی شکل (۱-۱۰) را در نظر بگیرید که اگر در یک از دو کانون آن مانند Q منبعی نقطه‌ای قرار دهیم تمام اشعه‌ای که از آنجا سرچشمه می‌گیرند به موجب قانون انعکاس بعد از بازتاب از Q' کانون دیگر می‌گذرند و طول تمام راه‌ها با هم برابر است. به یاد بیاورید که بیضی را می‌توان به کمک نخی با طول ثابت که در دو انتها یعنی کانون‌ها مقید باشد رسم کرد. در این حالت به علت تساوی راه‌ها می‌گوییم راه نوری متوقف (Stationary) است. در شکل (۱-۱۱(b)) راه‌های نوری مساوی با خط افقی مستقیمی روی منحنی نشان داده شده اند.



شکل (۱-۱۰) : اصل فرما در مورد یک منعکس کننده بیضوی

در اینجا ممکن است اشاره‌ای هم به سطح نقطه چین a و c در شکل (۱-۱۰) بکنیم. چنانچه این دو سطح در نقطه B بر بیضوی مماس باشند NB بر هر سه سطح عمود و QBQ' برای همه آنها یک راه واقعی است. باری این راه واقعی در مقایسه با راه‌های مجاور در سطح منعکس کننده c مینیمم و در سطح منعکس کننده a ماکزیمم است. (شکل ۱-۱۱ را ببینید).

می توان به کمک ریاضی به آسانی نشان داد که قوانین انعکاس و شکست از اصل فرما نتیجه می‌شوند. برای اثبات قانون شکست [معادله (۱-۱۳)] می‌توان از شکل (۱-۱۲) که نمایانگر شکست شعاع نوری در سطحی تخت است استفاده نمود. طول راه نوری بین نقطه Q واقع در محیط بالایی به ضریب شکست n و Q' واقع در محیط پایینی به ضریب شکست n' از طریق نقطه دلخواهی مثل A واقع در روی سطح عبارتست از:

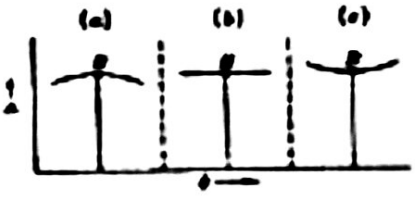
$$\Delta = nd + n'd' \qquad (۱-۲۱)$$

و در آن d و d' به ترتیب معرف مسافت‌های QA و AQ' هستند. حال اگر مسافت عمودی تا سطح شکست را h و h' و فاصله بین دو پای عمود را روی محور xها P بگیریم می‌توانیم با استفاده از قضیه فیثاغورث در مثلث‌های قائم الزاویه بنویسیم:

$$d^2 = h^2 + x^2 \qquad d'^2 = h'^2 + (p-x)^2$$

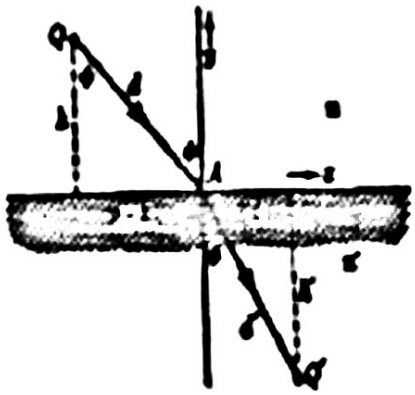
چنانچه مقادیر d و d' را در معادله (۱-۲۱) قرار دهیم بدست می‌آوریم :

$$\Delta = n\left[h^2 + (p-x)^2\right]^{\frac{1}{2}} + n'\left(h'^2 + x^2\right)^{\frac{1}{2}} \qquad (۱-۲۲)$$



شکل (۱-۱۱) : منحنی راه های نوری مربوط به انعکاس و نمایانگر شرایط (a) ماکزیمم (b) متوقف و (c) مینیمم بودن راه نوری اصل فرما

بنابر اصل فرما Δ باید در مسیر واقعی مینیمم یا ماکزیمم (و یا به طور کلی متوقف) باشد.
یک راه پیدا کردن ماکزیمم یا مینیمم راه نوری ترسیم منحنی تغییرات Δ برحسب x و پیدا کردن x نقطه‌ای است که مماس بر منحنی در آن نقطه موازی با محور xها باشد (شکل ۱-۱۱ را ببینید). راه ریاضی انجام کار بالا این است که ابتدا برای پیدا کردن معادله شیب منحنی از رابطه (۱-۲۲) نسبت به متغیر x مشتق بگیریم و بعداً رابطه بدست آمده را مساوی صفر قرار داده و آن مقدار x را که به ازای آن شیب منحنی صفر می‌شود بدست آوریم.



شکل (۱-۱۲) : ترتیب هندسی به کار رفته برای نمایش اصل فرما در شکست نور

با مشتق گیری از رابطه (۱-۲۲) و صفر گرفتن نتیجه بدست می‌آوریم

$$\frac{d\Delta}{dx} = \frac{\frac{1}{2}n}{\left[h^2 + (p-x)^2\right]^{\frac{1}{2}}}(-2p + 2x) + \frac{\frac{1}{2}n'}{\left(h'^2 + x^2\right)^{\frac{1}{2}}}2x = 0$$

یا :

$$n\frac{p - x}{\left[h^2 + (p-x)^2\right]^{\frac{1}{2}}} = n'\frac{x}{\left(h'^2 + x^2\right)^{\frac{1}{2}}}$$

و یا به طور ساده:

$$n\frac{p - x}{d} = n'\frac{x}{d'}$$

با مراجعه به شکل (۱-۱۲) دیده می‌شود که ضرایب n و n' سینوس زوایای نظیر آنها هستند و بنابر این ما رابطه (۱-۱۳) یعنی

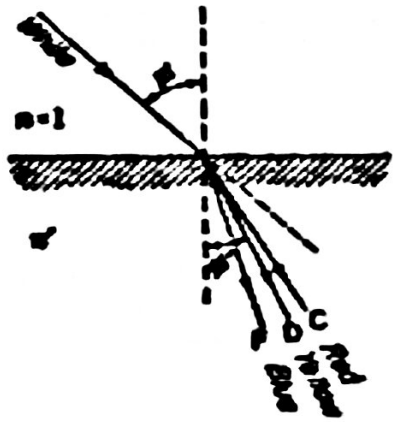
$$nSin\phi = n'Sin\phi' \qquad (۱-۲۳)$$

را ثابت کرده ایم.

می توان با رسم شکلی نظیر شکل (۱-۱۲) برای بازتاب روش ریاضی فوق را برای اثبات قانون انعکاس نیز به کار برد.

۱-۱۰ : تجزیه رنگی (پاشندگی)

برای آنها که فیزیک مقدماتی را خوانده اند تجزیه نور سفید به رنگ‌های تشکیل دهنده آن در اثر شکست پدیده به خوبی آشنایی است. آنطور که در شکل (۱-۱۳) نشان داده شده است. نور سفید تابشی باعث پیدایش اشعه شکستی (در واقع طیف پیوسته ای) به رنگ‌های مختلف می‌گردد. هر یک از این رنگ‌ها ϕ' زاویه شکست جداگانه‌ای دارد. در تعیین دقیق ضرایب شکست مرسوم است که از رنگ‌های مخصوص متناظر با خطوط سیاه معینی در طیف خورشید استفاده شود. این خطوط فرانهوفر[۱] که با شروع از انتهای قرمز طیف با A,B,C,... نمایش داده می‌شوند در جدول ۱-۱ به دست داده شده اند. آنهایی که بیش از همه مورد استفاده اند خطوط شکل (۱-۱۳) هستند.



شکل (۱-۱۳) : نور سفید به دنبال شکست به صورت طیفی پخش می‌شود. این پدیده پاشندگی (دیسپرسیون) نام دارد.

۱- Joseph Von Fraunhofer (۱۷۸۷-۱۸۲۶) فرزند یک شیشه گر پاولریایی بود. او صیقل دادن شیشه را از پدرش یاد گرفت و از نظر عملی وارد حوزه اپتیک گردید. فرانهوفر مهارت زیادی در ساختن عدسی های آکروماتیک (فاقد عیب تجزیه رنگی) و وسایل نوری بدست آورد. ضمن اندازه گیری ضریب شکست شیشه های مختلف متوجه تغییرات این ضریب برحسب رنگ شد و برای منظور خود از خط طیف سدیم استفاده کرد. او یکی از اولین کسانی بود که توری پراش را (Diffraction grating) ساخت و مهارت بی نظیر او در کار با این وسایل او را قادر ساخت از پیشینیانش طیف های بهتری بدست آورد. گرچه خطوط سیاه طیف نور خورشید اولین بار به وسیله W.H.Wollaston مشاهده شدند. آزمایش های فرانهوفر درباره آنها با قدرت پاشندگی و قدرت تفکیک و دقت بیشتری انجام گرفت و طول موج غالب خطوط مهم توسط او به دقت اندازه گیری شد. فرانهوفر خصوصیات ۵۷۶ عدد از این خطوط را ثبت کرد. عده اصلی که با حروف A تا K مشخص می‌شوند به نام خود او معروف اند.

واگرایی زاویه‌ای شعاع‌های F و C نمودار میزان تجزیه یا پاشندگی (Dispersion) حاصل است. در شکل دو مقدار این کمیت نسبت به انحراف متوسط طیف که از روی زاویه انحراف شعاع D تعیین می‌شود تا حد زیادی مبالغه شده است. به عنوان نمونه در شیشه کراون (crown) طبق جدول ۱-۱ ضرایب شکست عبارتند از:

$$n_F = ۱/۵۲۹۳۳ \qquad n_D = ۱/۵۲۳۰۰ \qquad n_C = ۱/۵۲۰۴۲$$

به آسانی می‌توان به کمک معادله (۱-۱۷) نشان داد که به ازای زاویه تابش کوچک و مفروض ϕ پاشندگی شعاع‌های C و F یعنی $(\phi'_F - \phi'_C)$ متناسب با $n_F - n_C = ۰/۰۰۸۹۱$ بوده و انحراف شعاع D یعنی $(\phi - \phi'_D)$ برابر با $(۱ - n_D)$ یا ۰/۵۲۳ است که حدود ۶۰ برابر مقدار قبلی است. نسبت این دو مقدار در شیشه‌های مختلف تغییرات زیادی دارد و از مشخصات مهم هر ماده اپتیکی محسوب می‌شود. این نسبت توان پاشندگی نام دارد و تعریف آن چنین است:

$$V = \frac{n_F - n_C}{n_D - ۱} \qquad \text{توان پاشندگی} \qquad (۱-۲۴)$$

ضریب پاشندگی v معکوس توان پاشندگی است:

$$v = \frac{n_D - ۱}{n_F - n_C} \qquad \text{ضریب پاشندگی} \qquad (۱-۲۵)$$

مقدار v در غالب شیشه‌های اپتیکی بین ۲۰ و ۶۰ است (جدول ۱-۲ و ضمیمه ۳ را ببینید).

جدول ۱-۱ : علائم فرانهوفر، عنصر منبع نور، طول موج و ضریب شکست ۴ نوع شیشه اپتیکی[۱]

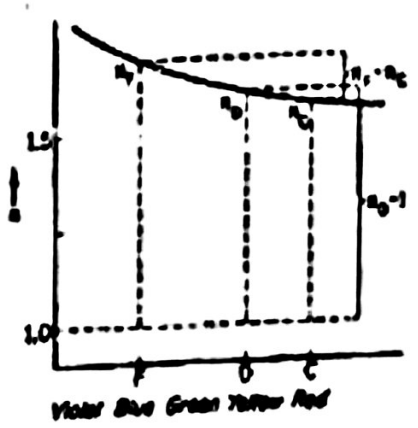
علامت	عنصر شیمیایی	طول موج A° †	کراون عینک	فلینت سبک	فلینت متراکم	فلینت زیاد متراکم
C	H	۶۵۶۳	۱٫۵۲۰۴۲	۱٫۵۷۲۰۸	۱٫۶۶۶۵۰	۱٫۷۱۳۰۳
D	Na	۵۸۹۳	۱٫۵۲۳۰۰	۱٫۵۷۶۰۰	۱٫۶۷۰۵۰	۱٫۷۲۰۰۰
F	H	۴۸۶۱	۱٫۵۲۹۳۳	۱٫۵۸۶۰۶	۱٫۶۸۰۵۹	۱٫۷۳۷۸۰
G′	H	۴۳۴۰	۱٫۵۳۴۳۵	۱٫۵۹۴۴۱	۱٫۶۸۸۸۲	۱٫۷۵۳۲۴

شکل (۱-۱۴) نمایشگر نمونه تغییرات n برحسب رنگ است که معمولا در مواد اپتیکی دیده می‌شود.

۱- برای شناختن شیشه ها و بلورهای دیگر ضمائم ۳ و۴ را ببینید.

†- برای تبدیل طول موج از انگستروم (A°) به نانومتر (nm) ممیز را یک رقم به طرف چپ ببرید (ضمیمه ۶ را ببینید).

مخرج معادله (۱-۲۵) که نمودار میزان پاشندگی است از اختلاف بین ضرایب شکست مربوط به دو انتهای تقریبی طیف بدست می‌آید.



شکل (۱-۱۴) : تغییرات ضریب شکست برحسب رنگ

صورت کسر که انحراف میانگین را بدست می‌دهد معرف مازاد بر واحد یک ضریب شکست میانه است. در بیشتر بحث‌های که راجع به نور هندسی می‌شود مرسوم است که آثار رنگی را نادیده می‌گیرند و به طریقی که ما در هفت فصل آینده عمل می‌کنیم ضریب شکست هر جزء خاص دستگاه نوری را آن ضریبی می‌گیرند که برای نور زرد D سدیم تعیین شده است.

جدول ۱-۲ : ضریب پاشندگی چهار نوع شیشه ابتیکی[۱]

شیشه	کراون عینک	فلینت سبک	فلینت متراکم	فلینت زیاد متراکم
۷	۵۸.۷	۴۱.۲	۴۷.۶	۲۹.۰۸

۱- جدول ۱-۱ را ببینید.

مسائل

۱-۱ : پسری از جعبه‌ای مقوایی به ابعاد ۱۶×۱۰×۱۰ سانتیمتر اطاقک تاریکی ساخته در یک انتهای آن سوراخی و در انتهای دیگرش فیلمی به ابعاد ۸×۸ سانتیمتر جا می‌دهد. دستگاه خود را به چه فاصله‌ای از درختی به ارتفاع ۲۵ متر قرار دهد تا تصویری به بلندی ۶ سانتیمتر از آن روی فیلم بدست آورد.
جواب : ۶۶/۷ متر

۱-۲ : دانشجوی فیزیکی قصد دارد آزمایش فیزو را برای اندازه گیری سرعت نور تکرار کند. چنانچه از چرخ دندانه داری با ۱۴۴۰ دندانه استفاده کند و آینه مسافت دور را در پنجره آزمایشگاهی واقع در آنسوی محوطه دانشکده و به فاصله ۴۱۲/۶ متر قرار دهد سرعت دوران چرخ چقدر باید باشد تا نور برگشتی یک امین ماکزیمم شدت را نشان دهد.

۱-۳ : هرگاه سرعت چرخش آینه R در آزمایش فوکو ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه باشد الف) سرعت چرخش R را برحسب دور در ثانیه ب) سرعت چرخش شعاع نور RM_1 را برحسب رادیان در ثانیه بدست آورید.پ) و ت) زمان سیر نور را در مسیرهای RM_1R و RM_2R حساب کنید. ث) و ج) EE_2 و EE_1 جابجایی تصویر چقدر است؟
مسافات $RM_1 = RM_2$ و $RS = RE$ را ۶ متر، طول لوله آب را $T = 0$ متر، ضریب شکست آب را ۱/۳۲۳ و سرعت نور در هوا را 3×10^8 متر بر ثانیه بگیرید.

۱-۴ : اگر ضریب شکست قطعه شیشه‌ای ۱/۵۲۵ باشد سرعت نور در آن چقدر است.
جواب : $1/9659\times10^8$ متر بر ثانیه

۱-۵ : اختلاف سرعت نور در خلاء و در هوا به ضریب شکست ۱/۰۰۰۲۳۴۰ را برحسب کیلومتر بر ثانیه حساب کنید. مقادیر سرعت را تا هفت رقم مهم در نظر بگیرید.

۱-۶ : اگر فاصله زمین تا ماه $3/840\times10^5$ کیلومتر باشد رفت و برگشت امواج میکروویو تا ماه چه مدت طول می‌کشد.

۱-۷ : چه مدت طول می‌کشد تا نور خورشید بر زمین برسد؟ فاصله زمین تا خورشید را $1/5\times10^8$ کیلومتر بگیرید.
جواب : ۵۰۰ ثانیه یا ۸ دقیقه و ۲۰ ثانیه

۱-۸ : شعاع نوری ابتدا از قطعه شیشه‌ای به ضخامت ۵ سانتیمتر و بعد از درون آب مسافت ۲۰/۵

سانتیمتر و بالاخره از قطعه ۵ سانتیمتری دیگری از شیشه عبور می‌کند. هرگاه ضریب شکست هر دو شیشه ۱/۵۲۵۰ و از آن آب ۱/۳۳۳۰ باشد راه نوری کل را حساب کنید.

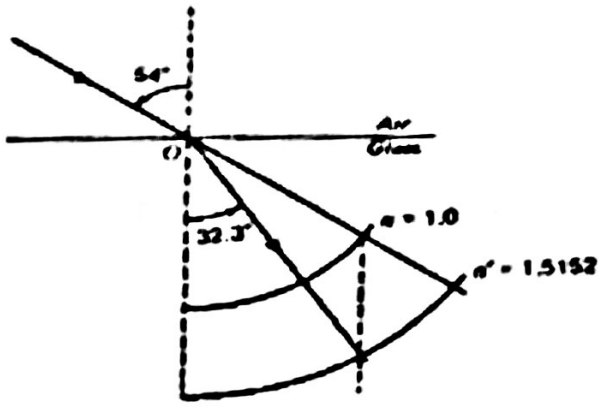
۱-۹ : طول داخلی ظرف آبی ۶۲ سانتیمتر و ضخامت هر یک از دو انتهای شیشه‌ای آن ۲/۵۰ سانتیمتر است. هرگاه ضریب شکست آب ۱/۳۳۳۰ و شیشه ۱/۶۲۴۰ باشد راه نوری کل را حساب کنید.

۱-۱۰ : شعاع نوری ابتدا از ۲۸۵/۶۰ سانتیمتر آب به ضریب شکست ۱/۳۳۳۰ بعد از ۱۵/۴۰ سانتیمتر شیشه به ضریب شکست ۱/۶۳۶۰ و بالاخره از ۱۷۴/۲۰ سانتی متر روغن به ضریب شکست ۱/۳۸۷۰ می‌گذرد. تا سه رقم مهم الف) هر یک از راه‌های نوری را به طور جداگانه ب) راه نوری کل را پیدا کنید.
جواب : الف) ۳۸۰/۷، ۲۵/۱۹، ۲۴۱/۶ و ب) ۶۴۷ سانتیمتر

۱-۱۱ : شعاع نوری در هوا تحت زاویه ۱۰ درجه به سطح صیقلی قطعه شیشه‌ای می‌تابد الف) هر گاه ضریب شکست شیشه ۱/۵۲۵۸ باشد زاویه شکست را تا ۴ رقم مهم بدست آورید. ب) اگر در قانون اسنل (در این مساله) سینوس زوایا را با خود آنها برابر بگیریم مقدار زاویه شکست چقدر می‌شود. پ) در این صورت خطای درصد چقدر است.

۱-۱۲ : مساله ۱-۱۱ را برای حالتی که زاویه تابش ۴۵ درجه و ضریب شکست ۱/۴۲۶۵ است حل کنید.

۱-۱۳ : شعاع نوری از هوا تحت زاویه ۵۴ درجه به سطح صاف شیشه‌ای می‌تابد. الف) هرگاه ضریب شکست ۱/۵۱۵۲ باشد زاویه شکست را تا چهار رقم مهم بدست آورید. ب) زاویه شکست را با ترسیم هندسی پیدا نمایید. (شکل ۱-۱۳م را ببینید).
جواب : الف) ۳۲/۲۷۲ درجه ب) ۳۲/۳ درجه



شکل ۱-۱۳م : ترسیم قسمت (ب) از مساله ۱-۱۳

۱-۱۴ : لوله مستقیمی را که درست ۱/۲۵۰ متر طول دارد و دو انتهای آن با قطعات شیشه به ضخامت ۸/۵۰ میلیمتر بسته شده است از هوا خالی کرده ایم. الف) اگر ضریب شکست قطعات شیشه ۱/۵۲۵۰ باشد راه نوری کل بین سطوح خارجی شیشه‌ها را حساب کنید. ب) اگر لوله از آب به ضریب شکست ۱/۳۳۳۰۰ پر شود چه مقدار بر راه نوری اضافه می‌شود.
جواب‌ها را تا پنج رقم مهم بدست آورید.

۱-۱۵ : در شکل (۱-۱۲) مسافت $h=۱۲, x=۶$ و $h'=۱۵$ سانتیمتر و $n=۱/۳۳۳۰$ و $n'=۱/۵۲۵۰$ است. $\Delta, p, d', d, \varphi, \varphi'$ را تا سه رقم مهم محاسبه کنید.

جواب : $\phi=۲۵/۱۴^\circ, \phi'=۲۱/۸^\circ$ ، $d=۱۳/۲۶cm, d'=۱۶/۱۶cm$ ، $p=۱۱/۶۳cm$ و $\Delta=۴۲/۳cm$

۱-۱۶ : مساله ۱-۱۵ را به طور ترسیمی حل کنید.

۱-۱۷ : در بررسی شکست نور کپلر به فرمول شکست $\phi=\frac{\varphi'}{۱-k\,Sec\phi'}$ که در آن $k=\frac{n'-۱}{n'}$ و n' ضریب شکست نسبی است رسید. زاویه تابش φ را در شیشه‌ای که در آن $n'=۱/۷۳۲۰$ و زاویه شکست ۳۲ درجه است. الف) برحسب فرمول کپلر ب) با استفاده از قانون اسنل بدست آورید.

توجه داشته باشید که $Sec\phi'=\frac{۱}{Cos\phi'}$ است.

۱-۱۸ : نور سفید تحت زاویه ۵۵ درجه به سطح صیقلی یک قطعه شیشه می‌تابد. چنانچه ضرایب شکست تظیر نور سرخ C و نور آبی F به ترتیب $n_C=۱/۵۳۸۲۸۵$ و $n_F=۱/۵۴۷۳۵$ باشد پاشندگی زاویه‌ای بین این دو رنگ چقدر است.

(اول دو زاویه را تا پنج رقم و بعد پاشندگی را تا سه رقم مهم بدست آورید.)

جواب : الف) $\phi'_C=۳۲/۱۷۵^\circ$ ، $\phi'_F=۳۱/۹۶۴۳^\circ$ ب) $۰/۲۱۱۰^\circ$

۱-۱۹ : بناست از شیشه فلینت متراکمی منشوری بسازند. چنانچه ضرایب شکست تظیر نورهای قرمز، زرد و آبی $n_C=۱/۶۴۳۵۷$، $n_D=۱/۶۴۹۰۰$ و $n_F=۱/۶۶۲۷۰$ تعیین شده باشند پیدا کنید الف) توان پاشندگی ب) ثابت پاشندگی این شیشه را.

۱-۲۰ : بناست از قطعه‌ای شیشه کرون عینک عدسی بسازند ضرایب شکست را سازنده $n_C=۱/۵۲۰۴۲$، $n_D=۱/۵۲۳۰۰$ و $n_F=۱/۵۲۹۳۳$ داده است الف) ثابت پاشندگی ب) توان پاشندگی عدسی را پیدا کنید.

۱-۲۱ : بناست از قطعه‌ای شیشه فلینت زیاد متراکم منشوری بسازند. ضرایب شکست را سازنده مانند ضرایب جدول ۱-۱ داده است، پیدا کنید الف) توان پاشندگی ب) ثابت پاشندگی را.

جواب : الف) ۰/۰۳۴۴۰۳ ب)۲۹/۰۶۷

۱-۲۳ : طول محورهای اطول و اقصر یک آینه بیضوی ۱۰ و ۸ سانتیمتر و فاصله دو کانون آن ۶ سانتیمتر است. چنانچه منبع نوری نقطه‌ای در Q یکی از دو کانون آینه قرار داده شود آنطور که از

شکل ضمیمه پیدا است فقط دو شعاع وجود دارند که از نقطه C وسط B و Q' می‌گذرند. بیضی را رسم و به طور ترسیم مشخص کنید که آیا این دو مسیر QBC و QDC ماکزیمم، مینیمم و یا اینکه متوقف هستند.

۱-۲۴ : شعاع نوری از وسط یک وجه منشوری تحت زاویه ۵۵ درجه نسبت به عمود وارد آن می‌شود. پس از سیر در شیشه شعاع به داخل هوای پشت آن شکست پیدا می‌نماید. زاویه بین دو درجه منشور را ۶۰ درجه و ضریب شکست شیشه آن را ۱/۶۵۰ بگیرید. زاویه انحراف را الف) در شکست اول ب) در شکست دوم پیدا کنید. همچنین انحراف کل را پ) با محاسبه و ت) با ترسیم بدست آورید.

۱-۲۵ : یک انتهای میله شیشه‌ای را تراش داده و به صورت نیمکره‌ای صیقلی به قطر ۱۰ سانتیمتر درآورده ایم. پنج شعاع موازی نور که فاصله بین هر دوتای متوالی آنها ۲ سانتیمتر است و همگی دریک صفحه واقعند به انتهای گرد میله طوی می‌تابد که یکی از آنها از مرکز نیمکره و موزای محور میله می‌گذرد. چنانچه ضریب شکست ۱/۵۳۶۰ باشد فاصله نقطه برخورد شعاع‌های شکست با محور را تا سطح جلو محاسبه نمایید.

۱-۲۶ : بلورهای شفاف تیتانات استرونسیوم را به سورت جواهرات نیمه قیمتی درآورده اند. ضرایب شکست مربوط به رنگ‌های مختلف نور به شرح زیر است:

	بنفش	آبی	زرد	قرمز
λ, A°	٤٣٤٠	٤٨٦١	٥٨٩٢	٦٥٦٣
n	٢,٥٧١٦٨	٢,٤٩٢٤٢	٢,٤١١٠٨	٢,٣٧٢٨٧

حساب کنید مقدار الف) ثابت پاشندگی ب) توان پاشندگی.
با استفاده از ضرایب شکست مربوط به آبی، زرد و قرمز منحنی تغییرات λ طول موج را برحسب n ضریب شکست رسم نمایید.

۱-۲۷ : زاویه دو آینه تخت با یکدیگر a است. با استفاده از قانون انعکاس نشان دهید ه هر شعاع که صفحه تابش آن عمود بر فصل مشترک دو آینه باشد پس از دو انعکاس به اندازه زاویه δ که مقدار آن مستقل از زاویه تابش است انحراف پیدا می‌نماید. این انحراف را برحسب a بیان نمایید.