تحولات تاریخی در نورشناخت و اهمیت نور

محمدتقی توسلی
استاد دانشکده فیزیک، دانشگاه تهران

چکیده

زندگی تمام جانداران روی زمین به نور (خورشید) وابسته است. به‌علاوه، بشر اغلب اطلاعات خود را درباره جهان پیرامون از طریق حس بینایی دریافت می‌کند که نور ناقل آن است. بنابراین، شناخت هرچه دقیق‌تر رفتار نور همواره دغدغه بشر بوده است. در این نوشته تحولات تاریخی نورشناخت را در سه بخش: ۱. از زمان باستان تا زمان ابن‌هیثم، ۲. از زمان ابن‌هیثم تا قرن بیستم میلادی، ۳. از قرن بیستم تا زمان حاضر، به اختصار مرور می‌کنیم و لزوم فرهنگ‌سازی در مورد نورشناخت را در سطح گسترده یادآور می‌شویم.

کلیدواژه‌ها: نورشناخت، ابن‌هیثم، المناظر، قانون اسنل، لیزر، همدوسی

نورشناخت از زمان باستان تا زمان ابن‌هیثم

طبق آموزه‌های فیلسوفان یونانی دوره باستان زمین مرکز عالم و علم حاصل اندیشه اندیشمندان در مورد جهان اطراف بود. این علم براساس دریافت توسط حواس پنج‌گانه و با ابداع فرض‌هایی به ظاهر معقول شکل می‌گرفت و برای هر پدیده و پرسشی در مورد جهان اطراف توجیه و پاسخی داشت. اختلاف پاسخ‌ها در تفاوت فرض‌های اندیشمندان نهفته بود و معیاری برای تمایز فرض‌های احتمالاً درست و نادرست وجود نداشت. در چنین رویکردی می‌دانستند که نور به خط مستقیم انتشار پیدا می‌کند و از سطوح صاف بازمی‌تابد. اما مشاهدهٔ اشیا توسط انسان را ناشی از خروج نور از چشم و تماس آن با شیء می‌پنداشتند. این نوع دانسته‌ها به نام علم از نسلی به نسل دیگر منتقل می‌شد و معیار اعتبار هر بخشی از آن به اعتبار فیلسوف واضع فرضیات آن برمی‌گشت. در بسیاری از موارد این آموزه‌ها وارد آموزش‌های مذهبی شده بود و هر فردی که با بخشی از این علوم مخالفت می‌کرد مرتد شناخته می‌شد. نمونه مشهور آن مرتد شناخته شدن گالیله است که زمین- مرکزی عالم را قبول نداشت. در طول سلطه چنین نگرشی به علم برای قرن‌ها علوم پیشرفت محسوسی نکرد و زندگی نسل‌های مختلف مشابه به هم بود و خرافات در تمام شئون زندگی بشری به‌طور گسترده رخنه پیدا کرده بود. آثار برخی از این خرافات امروز هم در فرهنگ مردم دیده می‌شود.

نورشناخت از زمان ابن‌هیثم تا قرن بیستم میلادی

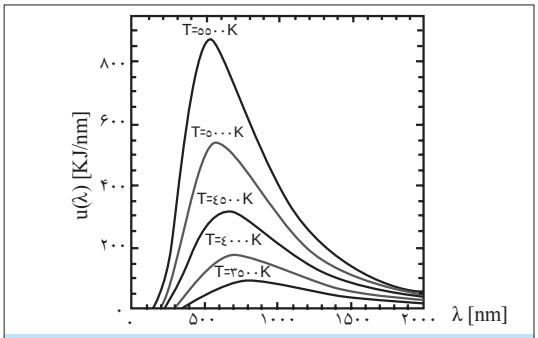
سال ۲۰۱۵، هزارمین سال تألیف کتاب المناظر ابن‌هیثم در هفت مبحث است که نه‌تنها اولین کتاب نورشناخت (اپتیک) در جهان شناخته شده بلکه نقطه عطفی در نگرش علمی به جهان اطراف در مبحث نور است. ابن‌هیثم را پدر نورشناخت، چشم‌پزشکی، فیزیک تجربی و روش‌های شناخت علمی جدید می‌دانند. کارهای ابن‌هیثم در قرون وسطی به زبان‌های لاتین و یونانی ترجمه شد و کتاب او جزء اولین کتاب‌های چاپی در دوره رنسانس است. تا قرن نوزدهم میلادی نوشته‌های وی در توسعه نورشناخت مرجع مهمی بوده است. او اولین فردی است که مشاهده اشیاء توسط چشم را بر ورود نور از شیء به چشم استوار می‌کند و با استفاده از اتاق تاریک و تشکیل تصویر در آن، نظریه خود را به تجربه می‌کشد. او روشنایی ماه را به چشمه‌های ثانویه نسبت می‌دهد که در قرن هفدهم میلادی به شکل فراگیرتر و روشن‌تری در فرضیه هویگنس بازتاب پیدا می‌کند. لازم به یادآوری است که قانون معروف به قانون اسنل در مورد شکست نور، حدود ۶۵۰ سال قبل‌تر توسط ابن‌سهل در کتابی تحت عنوان ابزارهای سوزاندن، شامل آینه و عدسی برای جمع کردن نور خورشید، به‌صورت هندسی ولی دقیق تدوین می‌شود.

کارهای ابن‌هیثم در کشورهای اسلامی تا قرن هشتم هجری دنبال می‌شود. یکی از نورشناسان معروف قرن هشتم، کمال‌الدین فارسی است که بر کتاب ابن‌هیثم نقد نوشته است (تنقیح المناظر). نکته جالب در مورد کمال‌الدین فارسی نگارش کتاب نورشناخت برای دانشجویان است. از نورشناسان دوره اسلامی بعد از ابن‌هیثم می‌توان از ابوالوفاء مبشربن فاتک دانشمند مشهور مصری، سرخاب (سهراب) سمنانی، جلال‌الدین صاعد ترکستانی، قطب‌الدین شیرازی نام برد که دو نفر آخر استاد کمال‌الدین فارسی بوده‌اند. قرن چهارم تا قرن هشتم دوران شکوفایی علم جدید در کشورهای اسلامی است. به سبب جنگ‌های صلیبی و حمله مغول از قرن هشتم به بعد رشد علم از جمله نورشناخت دچار رکورد می‌شود. در اروپا نیز به‌رغم ارائه فرضیه موجی نور توسط هویگنس در قرن هفدهم میلادی تا قرن نوزدهم میلادی نورشناخت در اپتیک هندسی خلاصه می‌گردد که پایه‌گذاران آن ابن‌هیثم و شاگردانش بودند. به سبب اعتبار و شهرت نیوتون و عدم اعتقاد وی به نورشناخت موجی، یک قرن تمام به نظریه موجی توجه نمی‌شود. در ابتدای

قرن نوزدهم آزمایش دو شکاف یانگ و به‌دنبال آن کارهای ارزشمند فرنل در پراش و تعمیم فرضیه هویگنس، نورشناخت موجی به سرعت پیشرفت می‌کند. با توصیف فرضیه موجی نور به زبان ریاضی توسط کیرشهوف که امروزه به انتگرال فرنل-کیرشهوف معروف است، نظریه موجی کامل می‌گردد. با تکمیل معادله‌های الکترومغناطیس که در آن امواج الکترومغناطیسی پیش‌بینی شد معلوم گردید که نور بخشی کوچک از امواج الکترومغناطیسی است. در پایان قرن نوزدهم بشر به نظریه کامل موجی در نورشناخت دست یافت که بسیاری از پرسش‌ها در مورد رفتار نور را پاسخگو بود. به‌عنوان مثال می‌توان از پراش، تداخل، پاشندگی، پراکندگی، بازتاب، قطبیدگی نور، و دو شکستی نام برد. امروزه نیز پدیده‌های بسیاری با استفاده از نظریه موجی نور توصیف می‌شوند. اغلب دستگاه‌های متداول نوری مانند تلسکوپ‌ها، وسایل تصویربرداری، طیف‌سنج‌ها و نظایر آن‌ها نیز با استفاده از نورشناخت پرتوی و موجی طراحی و ساخته می‌شوند. از این رو در برنامه‌های آموزشی دوره دبیرستان تا دوره تحصیلات تکمیلی فیزیک، مباحث نورشناخت هندسی و موجی گنجانده شده است.

تحولات از قرن بیستم تا زمان حاضر

تا اواخر قرن نوزدهم شاخه‌های دیگر فیزیک نیز رشد قابل توجهی کرده بود، از جمله مطالعات مربوط به تابش گرمایی. تابش گرمایی جسم سیاه (جسمی که تابش با هر طول موجی را جذب می‌کند) مورد مطالعه نظری و تجربی زیادی قرار گرفته بود. نمودارهای تجربی تابش جسم سیاه در دماهای مختلف در شکل ۱ آمده است.



شکل ۱. نمودارهای تجربی تابش جسم سیاه در دماهای مختلف

تلاش‌های بسیاری برای فرمول‌بندی نظری تابش جسم سیاه با استفاده از قوانین فیزیک کلاسیک و الکترومغناطیس به‌عمل آمد ولی با تجربه سازگاری نداشت. پلانک دانشمند برجسته آلمانی در سال ۱۹۰۰ میلادی به این نتیجه رسید که اگر تابش جسم سیاه در هر طول موج گسسته و انرژی در هر طول موج متناسب با بسامد متناظر آن طول موج فرض شود،

$$\varepsilon_\lambda = h\upsilon \qquad (1)$$

می‌توان رابطه نظری زیر را برای تابش جسم سیاه بیان کرد:

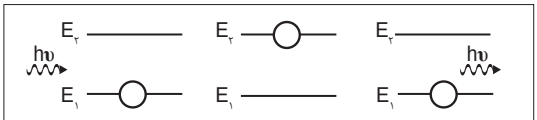
$$\varepsilon_\lambda(T) = \frac{2\pi h\upsilon^3 / c^2}{e^{hD/kT} - 1}$$

در روابط بالا $h=6/62\times10^{-34}Js$ ثابت پلانک و υ بسامد نور است. همچنین T دمای جسم سیاه، c سرعت نور و $k=1/38\times10^{-23}JK^{-1}$ ثابت بولتزمن است.

این ادعا که انرژی از جسم سیاه به‌صورت گسسته تابش می‌شود، در فیزیک کلاسیک و به‌ویژه نظریه الکترومغناطیس به آسانی مورد قبول واقع نشد. در همین زمان مسئله دیگری در فیزیک کلاسیک موسوم به اثر فوتوالکتریک بی‌پاسخ مانده بود. در این پدیده وقتی بین کاتد و آند واقع در محفظه خلأ اختلاف پتانسیلی برقرار گردد و بر کاتد نوری تابانده شود، برای طول موج‌های کوتاه جریان مشاهده می‌شود و با زیاد کردن شدت نور، شدت جریان هم زیاد می‌شود. اما برای طول‌موج‌های بلند هرچه شدت نور زیاد شود، جریانی مشاهده نمی‌گردد. وابستگی کنده شدن الکترون از کاتد به طول موج و نه به شدت نور، معمایی برای فیزیک کلاسیک بود. اینشتین با فرض اینکه جذب همچون تابش پلانک به‌صورت گسسته انجام می‌گیرد، این معما را حل کرد. وی فرض کرد که به هر طول‌موج می‌توان یک کوانتوم انرژی نسبت داد که مقدار آن همان $h\nu$ در رابطه پلانک است. در برهم‌کنش نور با کاتد این انرژی به الکترون منتقل می‌شود. اگر مقدار این انرژی از انرژی بستگی الکترون به کاتد بیشتر باشد، الکترون کنده می‌شود و در اختلاف پتانسیل میان کاتد و آند شتاب می‌گیرد و جریان برقرار می‌شود. در واقع تابعی به‌صورت زیر توسط اینشتین پیشنهاد شد:

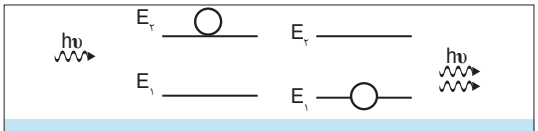
$$eV=h\upsilon-\varphi$$

که در آن V, e و ϕ به ترتیب بار الکترون، اختلاف پتانسیل بین کاتد-آند و تابع کار فلز کاتد است. در واقع، انرژی کوانتوم نور باید از تابع کار بیشتر باشد تا الکترون بتواند کاتد را ترک کند. کوانتوم نور بعداً نام فوتون را به خود گرفت. کارهای پلانک و اینشتین زمینه را برای شکل‌گیری مکانیک کوانتومی آماده کرد. دوبروی ویژگی موجی ذراتی چون الکترون را پیش‌بینی کرد که صحت آن با آزمایش تأیید شد. امروزه میکروسکوپ‌های الکترونی داریم که اصول کارشان را می‌توان براساس رفتار موجی، مشابه رفتار موجی نور توصیف کرد. به‌دنبال کارهای پلانک، اینشتین و دوبروی، شرودینگر معادله بنیادی مکانیک کوانتومی را ارائه کرد که شناخت بشر از برهم‌کنش‌ها در مقیاس میکروسکوپی را متحول ساخت. همچنین اینشتین در سال ۱۹۱۶ جذب و تابش نور توسط اتم‌ها را مورد بازنگری قرار داد. طبق نظریه وی وقتی نوری بر اتمی فرود می‌آید که انرژی فوتون‌آن $h\nu$، برابر اختلاف انرژی دو تراز اتم است، جذب القایی صورت می‌گیرد. یعنی اتم از تراز انرژی پایین‌تر E_1 به تراز بالاتر انرژی E_2، که در رابطه $E_2-E_1=h\upsilon$ صدق می‌کند، برانگیخته می‌شود، شکل ۲.



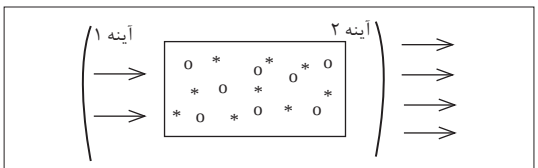
شکل ۲. وقتی فوتونی با انرژی برابر اختلاف انرژی دو تراز انرژی اتم بر اتم فرود می‌آید، اتم را از تراز E_1 به تراز E_2 با انرژی $h\upsilon$ برانگیخته می‌کند که $E_2=E_1+h\upsilon$ جذب القایی نامیده می‌شود.

اتم مدتی در این حالت برانگیخته می‌ماند و بعد به حالت اول برمی‌گردد و فوتونی گسیل می‌دارد. پدیده اول را جذب القایی و پدیده دوم را گسیل خودبه‌خودی می‌نامند. اینشتین ملاحظه کرد برای آنکه روابط تابش سازگار باشد باید نوعی گسیل القایی هم وجود داشته باشد که در آن هنگام برخورد فوتون با اتم برانگیخته، فوتونی هم‌جهت و کاملاً مشابه فوتون فرودی آزاد گردد، شکل ۳.



▲ شکل ۳. هرگاه فوتونی با انرژی $E_2-hv=E_1$، با اتمی برانگیخته در تراز E_2 برخورد کند، باعث می‌شود که اتم یک فوتون مشابه با فوتون برخوردکننده و هم‌جهت با آن را گسیل دارد. به این پدیده گسیل القایی می‌گویند.

گسیل القایی بعد از حدود چهل سال مبنای اختراع لیزر شد. اساس کار اغلب لیزرها به این صورت است که در محیطی موسوم به محیط فعال که می‌تواند جامد، مایع و یا گاز باشد با پمپ کردن انرژی زیاد، کاری می‌کنند که N_2 تعداد اتم‌ها یا مولکول‌ها در تراز برانگیخته E_2، بیشتر از N_1 تعداد آن‌ها در تراز انرژی پایین‌تر E_1 شود. در حالت‌های عادی تابش، طبق قانون توزیع بولتزمن همیشه تعداد اتم‌ها در تراز انرژی پایین‌تر، بیشتر است. ولی سازندگان لیزر با شناختی که در مورد ترازهای انرژی اتم‌ها و مولکول‌ها دارند می‌دانند در چه شرایطی و با پمپ کردن چه میزان انرژی، می‌توان کاری کرد که $N_2 > N_1$ شود. وقوع چنین رویدادی را وارونی جمعیت می‌گویند. اگر در ماده فعالی جمعیت وارون برقرار باشد، با قرار دادن دو آینه مناسب در دو طرف ماده فعال که کاواک تشدید نامیده می‌شود، فوتون‌هایی که در امتداد محور دو آینه حرکت می‌کنند تعداد زیادی رفت و برگشت خواهند داشت. چون احتمال برخورد آن‌ها با ذرات در تراز انرژی برانگیخته بیشتر است، تعداد فوتون‌ها زیاد می‌شود، شکل ٤.



▲ شکل ٤. در ماده فعالی که تعداد ذرات برانگیخته آن × از تعداد ذرات در تراز پایین‌تر O بیشتر باشد، فوتون‌هایی که انرژی آن‌ها برابر اختلاف انرژی برانگیختگی است، $E_2-hv=E_1$، در رفت و برگشت در درون کاواک تشدید لیزر، تعدادشان زیاد می‌شود. در واقع نور تقویت می‌شود و این فرایند اساس کار لیزرها است.

این نوع تکثیر فوتون را تقویت نور از طریق گسیل القایی تابش[1] می‌نامند. از حروف اول واژه‌های انگلیسی عبارت قبل کلمه LASER درست می‌شود. اولین لیزر حالت جامد را می‌من[2] در سال ۱۹٦۰ با استفاده از بلور یاقوت برای محیط فعال ساخت. اولین لیزر گازی با نور پیوسته که در آن مخلوطی از گازهای هلیم و نئون محیط فعال است، توسط علی جوان در سال ۱۹٦۱ ساخته شد که بسیار پرکاربرد است. پس از آن لیزرهای بسیاری با محیط‌های فعال جامد، مایع و گاز ساخته شد. امروزه طول‌موج لیزرها ناحیه گسترده‌ای از طیف- از پرتوهای X گرفته تا ناحیه فروسرخ دور- را پوشش می‌دهند. لیزرها کاربردهای گسترده‌ای در تحقیقات، صنایع، پزشکی و خدمات پیدا کرده‌اند. به‌علاوه، ویژگی‌های نور لیزر مطالعات نورشناخت و فناوری‌های آن را عمیقاً متحول و کاربردهای آن اقتصاد مبتنی بر فناوری فوتونیک را به شکل تأثیرگذاری ارتقا بخشیده است. این تحولات ناشی از ویژگی‌های باریکه‌های نور لیزر است که به اختصار توصیف می‌شوند.

لیزرها کاربردهای گسترده‌ای در تحقیقات، صنایع، پزشکی و خدمات پیدا کرده‌اند. به‌علاوه، ویژگی‌های نور لیزر مطالعات نورشناخت و فناوری‌های آن را عمیقاً متحول و کاربردهای آن اقتصاد مبتنی بر فناوری فوتونیک را به شکل تأثیرگذاری ارتقا بخشیده است

شدت زیاد باریکه لیزر:

برای باریکه‌های لیزر توان نور بر واحد سطح بسیار زیاد است. شدت یک لیزر هلیم- نئون میلی واتی به مراتب از شدت نور خورشید بیشتر است. به‌همین دلیل نگاه مستقیم به باریکه هر لیزری برای چشم شدیداً زیان‌بخش است. لیزرهایی با توان 10^{12} وات بر متر مربع کم نیستند. میدان این نوع لیزرها از مرتبه میدان هسته اتم است. تابش آن بر اتم می‌تواند به واکنش هسته‌ای بینجامد. شدت‌های زیاد لیزرها امکان برش و جوش‌کاری در صنعت را داده است. در پزشکی نیز از لیزرها برای جراحی استفاده فراوان می‌شود. وقتی نور به ماده دی‌الکتریک مثل شیشه فرود می‌آید بار مثبت و منفی اتم‌ها را تا حدی از هم دور می‌کند که به آن قطبی‌شدن می‌گویند. این قطبیدگی که منشأ ضریب شکست است برای نورهای معمولی با میدان متناسب است. اما در برهم‌کنش لیزرهای پرتوان قطبیدگی خطی نیست و ضریب‌شکست به شدت نور بستگی پیدا می‌کند و مقدار آن به توان‌های دوم، سوم و بالاتر میدان بستگی دارد. این پدیده سبب پیدایش رشته‌ای مهم در نورشناخت موسوم به نورشناخت غیرخطی شده است. در محیط‌های غیرخطی می‌توان از بسامدهای ω_1 و ω_2 نورهایی با بسامدهای $2\omega_1$، $2\omega_2$، $\omega_1+\omega_2$ و $\omega_1-\omega_2$ ایجاد کرد و به این روش رنگ باریکه نور را تغییر داد. از پدیده غیرخطی برای تولید کلیدهای نوری بسیار سریع نیز استفاده می‌شود که در مخابرات نوری با تبادل حجم زیاد اطلاعات کاربرد دارد. امروزه لیزرهای تپی با پهنای کمتر از فمتو ثانیه (10^{-15} s) ساخته می‌شود. زمان برهم‌کنش با این نوع لیزرها کمتر از 10^{-15} s است. این زمان به قدری کوتاه است که میان فرایند کنش و واکنش جدایی زمانی رخ می‌دهد و این امر مطالعات برهم‌کنش‌های بسیار سریع را آسان کرده است. برای مثال، به‌کارگیری این نوع لیزر در جراحی به کاهش چشمگیر خون‌ریزی می‌انجامد.

واگرایی کم باریکه نور لیزر:

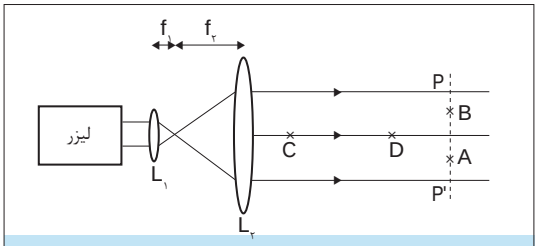
واگرایی باریکه نور در اغلب لیزرها بسیار کم است، به‌طوری که در فاصله‌های نسبتاً کوتاه می‌توان آن را موازی در نظر گرفت. توزیع شدت در مقطع باریکه ثابت نیست و اغلب دارای توزیع گاوسی است. یعنی شدت از مرکز باریکه به سمت کنار به‌صورت نمایی افت می‌کند. از این‌رو، لیزرها برای اندازه‌گیری فاصله‌های زیاد بسیار مناسب‌اند. برای مثال بر روی کره ماه منشورهایی به شکل گوشه‌های مکعب نصب کرده‌اند. این منشورها این ویژگی

را دارند که نور خروجی را به موازات نور فرودی برمی‌گردانند. از روی کره زمین نور لیزر با واگرایی کم را به طرف این منشورها می‌فرستند و بازتاب آن را در محل گسیل دریافت می‌کنند و با اندازه‌گیری زمان رفت و برگشت، فاصله دقیق ماه و زمین را در زمان‌های مختلف به‌دست می‌آورند. از این ویژگی نور لیزر در نقشه‌برداری، راه‌سازی و اندازه‌گیری زاویه بسیار کوچک استفاده می‌شود.

همدوسی طولی و عرضی زیاد:

در یک چشمه نور معمولی رابطه‌ای میان ارتعاش اتم‌های مختلف چشمه که به تابش نور می‌انجامد وجود ندارد. بنابراین اگر صفحه‌ای عمودبر انتشار نور و در فاصله نسبتاً نزدیک به چشمه قرار دهیم، میان موج‌ها در نقاط مختلف صفحه رابطه‌ای برقرار نخواهد بود. باریکه نور با این ویژگی را باریکه ناهمدوس عرضی می‌گوییم. اگر چشمه نقطه‌ای باشد و یا در فاصله بسیار دور از محل مشاهده قرار داشته باشد (مانند ستارگان)، موج‌های مختلف در نقاط صفحه عمود بر انتشار ارتباط فازی خواهند داشت که در این حالت گفته می‌شود همدوسی عرضی و یا فضایی در صفحه عمود بر انتشار وجود دارد. این ویژگی به شکل بسیار بارزتری در باریکه لیزرها وجود دارد. چون نور آن‌ها تقریباً موازی است مثل این است که از نقطه‌ای بسیار دور منتشر می‌شوند. به‌علاوه در گسیل القایی، نور از همدوسی عرضی برخوردار است.

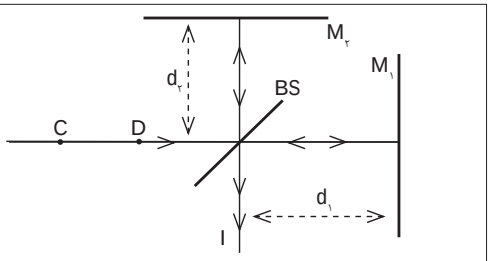
باریکه لیزری را در نظر بگیرید که پهنای باریکهٔ آن با استفاده از یک باریکه‌گستر شامل دو عدسی با فاصله‌های کانونی f_1 و f_2 منطبق بر هم (شکل ۵) گسترش یافته باشد.



شکل ۵. باریکه نور لیزر که توسط باریکه‌گستر پهن شده است.

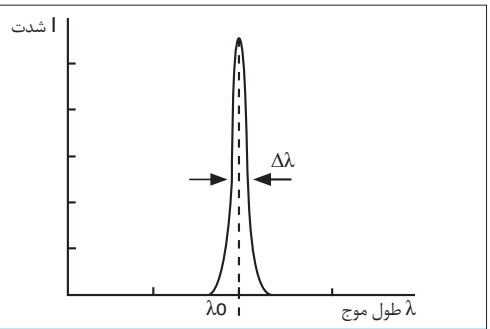
صفحهٔ PP' بر امتداد انتشار عمود است. موج‌ها یا میدان‌ها در نقاط A و B با هم همدوسی فضایی دارند. برای تحقیق وجود همدوسی در هر دو نقطه‌ای واقع بر امتداد عمود بر انتشار، کافی است در آن دو نقطه دو روزنه یانگ قرار دهیم. اگر فریزهای تداخلی مشاهده شود همدوسی فضایی میان دو نقطه برقرار است و اگر فریزهای تداخلی تشکیل نشوند، همدوسی وجود ندارد. درجه همدوسی هم به تباین میان فریزها بستگی دارد که میان صفر و یک تغییر می‌کند.

اگر بین میدان‌های نور در نقاط C و D که در امتداد انتشار منظور شده‌اند رابطه فازی برقرار باشد، می‌گوییم بین میدان‌ها در نقاط C و D همدوسی طولی و یا زمانی برقرار است. از این جهت زمانی می‌گوییم که مدت زمان $\Delta t = \frac{CD}{c}$ طول می‌کشد تا نور از نقطه C به نقطه D برسد. در واقع ارتعاش نور در لحظه t در نقطه C با ارتعاش نور در نقطه D در لحظه $t+\Delta t$ رابطه فازی دارد. با استفاده از تداخل‌سنج مایکلسون همدوسی طولی را اندازه می‌گیرند، شکل ٦.



شکل ٦. تداخل‌سنج مایکلسون برای اندازه‌گیری همدوسی طولی میان میدان‌ها در دو نقطه دلخواه C و D به‌کار می‌رود.

اگر فاصله دو بازوی تداخل‌سنج که d_1 و d_2 است در رابطه $CD=2\times(d_2-d_1)$ صدق کند و در ناحیه‌ای که باریکه‌ها بر روی هم می‌افتند فریزهای تداخلی دیده شود می‌گوییم میان ارتعاش‌ها در نقاط C و D همدوسی طولی یا زمانی وجود دارد و درجه همدوسی طولی هم به تباین فریزهای تداخلی بستگی دارد. می‌توان نشان داد که همدوسی طولی به پهنای طیفی نور لیزر بستگی دارد. در واقع نوری که از هر اتم خارج می‌شود دقیقاً طول‌موج معینی ندارد بلکه طول موج آن حول یک طول موج میانگین توزیع شده است، شکل ۷.



شکل ۷. هر خط طیفی با طول‌موج متوسط λ۰ پهنای خط Δλ دارد.

هرچه پهنای خط کمتر باشد نور تک‌فام‌تر است. نور کاملاً تک‌فام وجود ندارد. برخی از لیزرها پهنای خط بسیار باریکی دارند. طول همدوسی طولی با رابطه

$$L = \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda}$$

داده می‌شود. در لیزر هلیم- نئون این طول از مرتبه چند ده سانتی‌متر است و لیزرهایی وجود دارند که طول همدوسی آن‌ها به ده‌ها متر و بیشتر می‌رسد. طول همدوسی طولی در اغلب چشمه معمولی از میلی‌متر کمتر است.

طول همدوسی عرضی و طولی زیاد لیزرها این امکان را

فراهم آورده است که تصویر سه‌بعدی اشیاء بدون استفاده از دوربین عکاسی ثبت شود. به این نوع ثبت تصویر تمام‌نگاری[3] گفته می‌شود که قبل از اختراع لیزر در سال ۱۹۴۸ توسط گابور ابداع شد ولی چون به نور با همدوسی عرضی و طولی زیاد نیاز داشت بعد از سال ۱۹۶۲ به آن و کاربردهایش توجه شد. گابور در سال ۱۹۷۴ جایزه نوبل دریافت کرد. در عکس‌های معمولی که با دوربین گرفته می‌شوند، تنها دو بعد به اضافه شدت ثبت می‌شود. بعد سوم همان پستی و بلندی‌های شیء است. در تمام‌نگاری شیء را با نوری که همدوسی زمانی و عرضی کافی دارد روشن می‌کنند. نور پراکنده شده از شیء هم اطلاعات مربوط به دو بعد مقابل صفحه حساس (فیلم) را دارد و هم اطلاعات مربوط به پستی و بلندی‌های شیء که خود را به‌صورت تغییر فاز نشان می‌دهد. حال اگر این موج پراکنده شده از شیء را با موج تخت یا کروی تداخل دهیم، تمام آن اطلاعات مربوط به پستی و بلندی‌های شیء به‌صورت فریزهای تداخلی با شکل‌هایی که متناسب با تغییرات فاز است، تشکیل می‌شوند. ثبت شدن چنین نقشی، تمام‌نگاشت نامیده می‌شود. اگر تمام‌نگاشت را زیر میکروسکوپ مشاهده کنیم نوارهای تاریک و روشن بسیار پیچیده‌ای مشاهده می‌شوند. با تاباندن نور همدوس در امتداد موج تخت هنگام ثبت، که موج مرجع نامیده می‌شود، نور پراشیده شده از تمام‌نگاشت در جهتی که موج شیء انتشار می‌یافت، موج شیء را ایجاد می‌کند و برای ناظر در جهت انتشار موج شیء به‌نظر می‌رسد که شیء در جای خود قرار دارد. تمام‌نگاری کاربردهای هنری، صنعتی و اندازه‌گیری مهمی پیدا کرده و مطالعه موضوع آن یکی از شاخه‌های مهم نورشناخت است.

از رویدادهای مهم دیگری که در نورشناخت نیمه دوم قرن بیستم رخ داده ابداع تارهای نوری برای انتقال اطلاعات است. چون پهنای خطوط طیف نوری نسبت به پهنای طیف میکروموجی بسیار زیاد است و برای انتقال اطلاعات در حجم زیاد پهنای خط اهمیت فراوان دارد. انتقال اطلاعات از طریق تارهای نوری با اتلاف کم انرژی انقلاب عظیمی در مخابرات ایجاد کرده است. علاوه بر قاره‌ها و کشورها، اغلب شهرهای دنیا با تارهای مخابرات نوری به هم مرتبط‌اند. بسیاری از خانه‌ها در کشورهای پیشرفته نظیر ژاپن نیز از طریق تار نوری اطلاعات را دریافت می‌کنند. سرعت بالای اینترنت و انتقال اطلاعات صوتی و تصویری در حجم زیاد ثمره به‌کارگیری نور و تارهای نوری است. مخابرات نوری رشته‌ای پراهمیت و در حال گسترش روزافزون است. البته لازم به یادآوری است که با شکل‌گیری فناوری نورشناخت کوانتومی (که در آن برای ارسال اطلاعات از حالت‌های کوانتومی استفاده می‌شود)، فناوری ارسال داده‌ها و محاسبات کوانتومی[4] دگرگون خواهد شد. لازم به یادآوری است که کاربردهای تارهای نور در بخش‌های دیگر نظیر ساخت حسگرهای نوری و ساخت مدارهای نوری مجتمع نیز حائز اهمیت فراوان است. از اتفاقات مهم نیمه قرن بیستم ساخت چشمه‌های نوری LED با رنگ‌های مختلف است که استفاده از آن‌ها در تأمین روشنایی، اتلاف انرژی الکتریکی در سطح جهان را ۳۰ درصد کاهش می‌دهد. بنابراین اهمیت آن در کاهش آلایندگی محیط‌زیست بسیار چشمگیر است.

یکی دیگر از اتفاقات مهم در نورشناخت قرن بیست‌ویکم رویکرد بشر به نورشناخت فروسرخ است که به تغییر دما حساس است. این شاخه از علم و فناوری نورشناخت توسعه قابل توجهی پیدا کرده و به‌طور گسترده برای دیدن در شب در انواع تجهیزات نظامی و غیرنظامی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در اغلب موارد در این نوع فناوری از قطعات غیرکروی مانند سهمی، هذلولی و یا ترکیب‌هایی از آن‌ها استفاده می‌شود. توسعه و رشد نورشناخت فروسرخ باعث تحول در طراحی و ساخت دستگاه‌های نوری شده است.

در اینجا مجالی نیست که به کاربردهای نورشناخت در نانوفناوری، میدان نزدیک، اندازه‌گیری‌های بسیار دقیق نیروهای بسیار کوچک با انبرک نوری اشاره کنیم. همین مطالب اهمیت نورشناخت را نمایش می‌دهد و بی‌جهت نیست که قرن بیست‌ویکم را قرن علوم و فناوری نورشناخت نام‌گذاری کرده‌اند. تمام کشورهای صنعتی بخشی قابل ملاحظه از اقتصاد خود را بر توسعه فناوری نورشناخت متکی کرده‌اند. برنامه‌های کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت برای توسعه آن در زمینه‌های مختلف صنعت، تحقیقات، پزشکی و علوم زیستی تهیه نموده‌اند. در اغلب کشورهای در حال توسعه نیز برنامه‌های مشابهی تدارک دیده‌اند تا اینکه سهمی در اقتصاد فناوری نورشناخت داشته باشند. در کشور ما نیز تعداد پژوهشگران در حوزه نورشناخت قابل ملاحظه است و خوشبختانه جوانان زیادی به فراگیری در شاخه‌های لیزر و نورشناخت روی می‌آورند. ولی متأسفانه برای توسعه جهت‌دار و با توجه به نیازهای داخل، منطقه و اهمیت موضوع‌ها برنامه‌ریزی لازم نشده است. سال ۲۰۱۵ میلادی از طرف یونسکو سال جهانی نور اعلام شده است. هدف اصلی آن جلب توجه مسئولان، متخصصان و آحاد مردم به اهمیت نور و تأثیر آن در زندگی بشر در زمان حال و آینده است. در این سال لازم است علاوه بر تشکیل ستادی برای برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت توسط خبرگان شاخه‌های مختلف نورشناخت باید تمهیدات مناسبی اندیشیده شود تا آحاد مردم به‌خصوص دانش‌آموزان از سنین نوجوانی با مبانی نورشناخت آشنا شوند تا در جوانی در رشته مناسبی با استعداد و علاقه خود به تولید و توسعه علوم و فناوری در این شاخه‌ها روی بیاورند. آشنا کردن جوانان با اهمیت انرژی خورشیدی، علم و فناوری سلول‌های خورشیدی و استفاده‌های مستقیم و غیرمستقیم از انرژی خورشیدی در سطح گسترده می‌تواند در راستای فرهنگ‌سازی مناسب برای آماده ساختن کشور برای ورود جدی در علوم و فناوری نورشناخت شود.

سپاس‌گزاری: در اینجا لازم است از زحمات آقای مرتضی جعفری دانشجوی دوره دکتری نورشناخت برای رسم شکل‌های مقاله و تایپ مقاله صمیمانه تشکر کنم.

پی‌نوشت‌ها

1. Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
2. Miaman
3. Holography
4. Quantum computation

منابع

۱. مریم فرحمند، رساله کارشناسی ارشد، البصائر فی علم المناظر، کمال‌الدین فارسی. دانشگاه تهران، ۱۳۸۸.
۲. کالین ا. رونان، تاریخ علم کمبریج، ترجمه حسن افشار، چاپ ۱۳۸٤.
3. Frank L. Pedrotti and Leno S. Pedrotti, Introduction to Optics, PHI Inc, 1987.
4. Florian Cajori, A history of physics, Dover publications, New York, 1962.