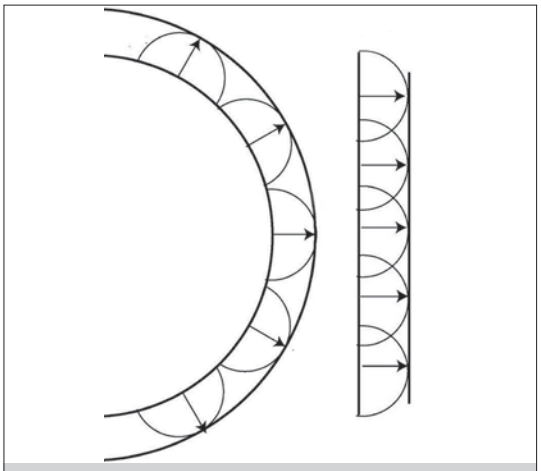
قطبش نور چیست و چه اهمیتی دارد؟

خسرو حسنی
استادیار دانشکده فیزیک دانشگاه تهران

مقدمه

نـــور از پدیده‌های فیزیکی اســـت که از گذشته تاکنون بیشـــتر از هر پدیده دیگر مورد توجه بشـــر بوده است، به گونه‌ای که همواره تلاش کرده ماهیـــت آن را بداند. ایـــن تلاش‌ها تا پیـــش از پیدایش نظریه الکترومغناطیـــس در قرن نوزدهم میلادی بیشـــتر جنبه فلسفی داشـــت تا علمی. به‌گونه‌ای که نور را ارتعاش‌های محیطی به نام اتر می‌دانســـتند که هیچ شاهد علمی برای آن وجود نداشـــت! به دلیل انتشـــار راستخط نور طبیعی بود که آن را جریانی از ذرات ریز می‌دانستند و این همان نظریه‌ای بود که حتی دانشـــمند بزرگی همچـــون نیوتون آن را درست می‌پنداشت و از آن پشتیبانی می‌کرد. این نظریه به نور هندســـی موسوم است. بیشتر پدیده‌های روزمره مانند تشـــکیل تصویر، قانون‌های بازتابش و شکست و غیره را با این نظریه می‌تـــوان توضیح داد. اما حتی در قرن هفدهم دانشمندانی مانند هویگنس (۱۶۹۵ ـ ۱۶۲۹) نور را نوعی موج (مانند امواج روی آب) فرض می‌کردند و بر این اساس پدیده‌هایی مانند انتشار نور از یک روزنه را توضیح می‌دادند. در نظریه هویگنس هنگامی که موج نور به یک روزنه می‌رسد، هر نقطه در روی جبهه موج‌مانند چشـــمه‌ای نقطه‌ای رفتار می‌کند که امواج کروی ثانویه را به تمام فضای پشت روزنه می‌فرستد و در یک لحظه بعدی جبهه موج جدید ســـطحی خواهد بود که بر تمام این موج‌های ثانویه مماس باشد (شکل ۱)



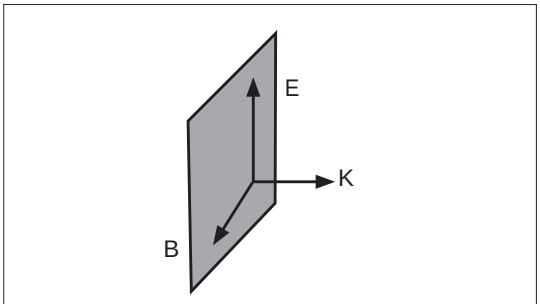
▲ شکل ۱. اصل هویگنس

کلیدواژه‌ها: قطبش، نظریهٔ الکترومغناطیس، تابش جسم سیاه، اثر فوتوالکتریک

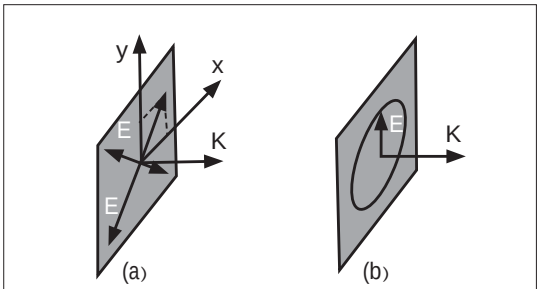
با تکمیل نظریه الکترومغناطیس توسط ماکسول (۱۸۳۱ ـ ۱۸۷۹) امواج الکترومغناطیسی به‌صورت میدان‌های الکتریکی E و مغناطیســـی B عمود بر یکدیگر در نظر گرفته شدند که در یک صفحه با بسامد (تعداد نوسان‌ها در ثانیه یا یکای هرتز) زیاد نوسان می‌کنند و در راستای عمود بر آن صفحه (راستای K) در فضا منتشـــر می‌شوند (شکل ۲)، سپس معلوم شد که نور مرئی تنها بازه کوچکی (با بسامد حدود 10^{14} تا 10^{15} هرتز) از این امواج را تشکیل می‌دهد و گستره وسیعی از تابش‌های به ظاهر متفـــاوت، از امواج رادیویی گرفته تا ریزموج‌ها، امواج فروســـرخ یا IR، نور مرئی، امـــواج فرابنفش یا UV، پرتوهای X و حتـــی تابـــش گاما همه و همه در اصـــل از جنس امواج الکترومغناطیسی هستند و تنها تفاوتشان بسامد آن‌هاست، به طوری که امواج رادیویی کمترین بســـامد (در حد 10^{5} هرتز) و تابش گاما بیشـــترین بســـامد (در حد 10^{21} هرتـــز) را دارا هستند. بنابراین، نور نه‌تنها یک موج، بلکه نوع بسیار ویژه‌ای از آن یعنی یک موج الکترومغناطیســـی است که میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی نوســـانی عمود بر هم آن در راستای عمود بر صفحه ارتعاش در فضا منتشر می‌شوند. چنین موجی را یـــک موج عرضی می‌نامیم. برخـــلاف آن‌ها در امواج طولی مانند صوت، کمیت موجی (ارتعاش‌های مکانیکی محیط) در همان راستایی که منتشر می‌شوند نوسان نیز می‌کنند. امواج الکترومغناطیســـی، از جمله نور، برای انتشار خود به محیط مادی (چیزی که اتر نامیده می‌شد) نیاز ندارند و اصولاً وجود چنین ماده‌ای در پی آزمایش‌های مایکلسون و مورلی (۱۸۸۱) رد شد. البته در قرن بیســـتم پدیده‌های دیگری دیده شدند

که نه‌تنها با نظریه نور هندسی، بلکه با نظریه موجی نور نیز قابل توضیح نبودند! معروف‌ترین آن‌ها تابش جسم سیاه و اثر فوتوالکتریک بودند که اولی توسط پلانک (۱۹۰۰) و دومی توسط اینشتین (۱۹۰۵) با یک مدل کوانتومی برای نور توضیح داده شدند و نظریه اپتیک کوانتومی و مفهوم فوتون به‌عنوان بسته انرژی نور متولد شد. بعدها در سال ۱۹۲۱ این کشف برای اینشتین جایزه نوبل فیزیک را به ارمغان آورد.

در این نوشته به یک ویژگی نور می‌پردازیم که در مشاهده‌های روزمره کمتر به آن توجه می‌شود و تنها با مدل الکترومغناطیسی نور قابل توصیف است. این پدیده قطبش نور نامیده می‌شود و نوری را که داری چنین ویژگی باشد نور قطبیده می‌نامند.



▲ شکل ۲. امواج الکترومغناطیسی



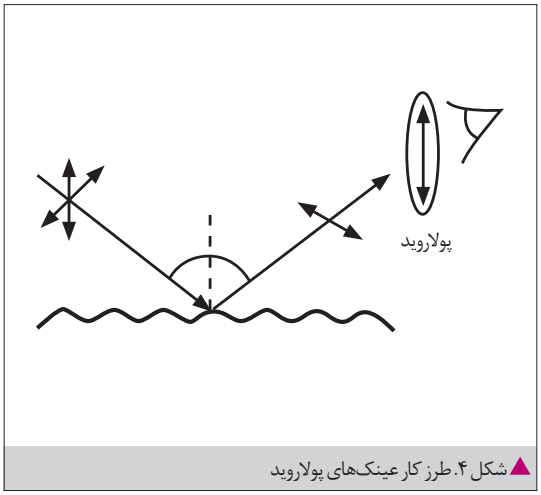
▲ شکل ۳. (a) نور ناقطبیده، (b) نور قطبیده بیضوی

نور قطبیده گرچه از دید انسان با نور ناقطبیده تفاوتی ندارد، اما به دلیل ماهیت برهم‌کنش آن با ماده، دارای کاربردهای زیاد، از عینک آفتابی گرفته تا خواندن و نوشتن روی دیسک‌های نوری است

نور قطبیده گرچه از دید انسان با نور ناقطبیده تفاوتی ندارد، اما به دلیل ماهیت متفاوت برهم‌کنش آن با ماده، دارای کاربردهای بسیار زیاد، از عینک‌های آفتابی گرفته تا خواندن و نوشتن اطلاعات روی دیسک‌های نوری است. متأسفانه در برنامه درسی در سطح پیش از دانشگاه به این ویژگی نور پرداخته نمی‌شود و حتی در سطح دانشگاهی نیز تنها در اندک رشته‌هایی مانند فیزیک و برخی رشته‌های فنی و مهندسی دانشجویان فرصت آشنایی با این پدیده مهم را دارا هستند.

نور قطبیده چیست؟

مفهوم قطبش نور و نور قطبیده در اصل بسیار ساده است و درک آن پیچیده نیست. همان‌طور که در شکل ۲ دیده می‌شود، بردارهای میدان الکتریکی E و میدان مغناطیسی B در یک صفحه (صفحه ارتعاش) قرار دارند و همواره بر هم عمود هستند. اما راستای این دو بردار می‌تواند در صفحه ارتعاش ثابت نباشد، یعنی مانند آنچه در شکل ۳ الف دیده می‌شود، در حالت کلی میدان الکتریکی می‌تواند در هر لحظه هر راستای دلخواهی داشته باشد و زمانی بعد در راستای دلخواه دیگری قرار بگیرد. اما همواره راستای میدان مغناطیسی عمود بر میدان الکتریکی قرار خواهد گرفت. از این‌رو در بحث پیرامون پدیده قطبش نیازی به بحث در مورد میدان مغناطیسی نور نیست، زیرا می‌دانیم همواره عمود بر میدان الکتریکی قرار دارد. چنین نوری که در آن زوج‌میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی عمود بر هم راستای مشخصی ندارند و به‌طور کاتوره‌ای در صفحه ارتعاش جهت‌گیری می‌کنند نور ناقطبیده می‌نامند.



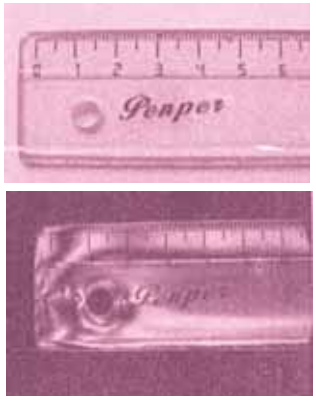
▲ شکل ۴. طرز کار عینک‌های پولاروید

در حالت کلی دلیلی ندارد که این‌طور نباشد و از این‌رو نور ناقطبیده را نور طبیعی نیز می‌نامند، زیرا نوری که در طبیعت وجود دارد و از چشمه‌های نوری مانند خورشید و ستارگان دیگر گسیل می‌شود این‌گونه است. البته نور خورشید پس از پراکنده شدن در جو زمین تا حدی این ویژگی طبیعی خود را از دست می‌دهد. برعکس، اگر راستای میدان الکتریکی نور رفتار منظمی داشته باشد، یعنی راستای آن به‌طور دانسته شده‌ای در صفحه ارتعاش تغییر کند، آن را نور قطبیده و این پدیده را قطبش می‌گویند. در فیزیک نشان داده می‌شود که کلی‌ترین حالت قطبش آن است که مانند شکل ۳ (ط) نوک بردار میدان الکتریکی نور در صفحه ارتعاش روی محیط یک بیضی بچرخد. این چرخش با همان بسامد نوسان نور، یعنی از مرتبه 10^{14} بار در ثانیه رخ می‌دهد و چیزی نیست که بتوان حرکت آن را به سادگی مشاهده یا ثبت کرد! از دید ناظری که نور به سمت او می‌آید نوک بردار میدان الکتریکی ممکن

است در جهت ساعتگرد یا پادساعتگرد روی محیط یک بیضی بچرخد که به اولی نور قطبیده بیضوی راستگرد و به دومی نور قطبیده بیضوی چپگرد گفته می‌شود. فرایند تبدیل نور ناقطبیده به دلیل برهم‌کنش نور با ماده و در پدیده‌هایی مانند جذب گزینشی، ناهمسانگردی (ویژگی‌های متفاوت ماده در راستاهای مختلف)، بازتاب نور از یک سطح، پراکندگی و غیره ممکن است رخ دهد که در این نوشته مجال پرداختن به آن‌ها نیست. نکته مهم آن است که حتی بردار میدان الکتریکی نور ناقطبیده را نیز می‌توان در صفحه ارتعاش به دو مؤلفه عمود بر هم در دو راستای مشخص، مانند x و y در شکل ۳ تجزیه کرد (با راستاهای عمود بر هم میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی اشتباه نشود!) یک تیغه که از ماده ویژه‌ای ساخته شده باشد می‌تواند یکی از این دو مؤلفه (مثلاً مؤلفه y) را جذب و دیگری را از خود رد کند. در نتیجه نور خروجی دارای میدان الکتریکی خواهد بود که همواره در راستای محور x نوسان می‌کند و آن را نور قطبیده خطی می‌نامند، زیرا راستای قطبش دیگر بیضی نیست بلکه در راستای یک خط قرار دارد. به چنین تیغه‌ای نیز قطبشگر[1] گفته می‌شود. در بازتاب نور ناقطبیده خورشید از سطح دریا یا سایر سطوح صاف نیز ممکن است در زوایای فرود نزدیک به یک زاویه مشخص موسوم به زاویه بروستر[2] یکی از مؤلفه‌های میدان الکتریکی در نور بازتابیده تا حد زیادی از بین برود. در آن صورت نور بازتابیده تا حد زیادی خطی قطبیده (در راستایی که از بین نرفته) خواهد شد. هنگامی که نور ناقطبیده خورشید از مولکول‌های هوا پراکنده می‌شود، نور پراکنده شده تا حدی خطی قطبیده است. این‌ها سازوکارهای تولید نور قطبیده هستند. یک حالت ویژه نور قطبیده بیضوی زمانی است که محورهای کوچک و بزرگ بیضی قطبش با هم برابر باشند. در این صورت بیضی قطبش به دایره‌ای تبدیل می‌شود و آن را نور دایره‌ای قطبیده (راستگرد یا چپگرد) می‌نامند.

کاربردهای نور قطبیده

از آنجا که چشم انسان تنها شدت نور دریافتی را حس می‌کند، نور ناقطبیده با نور قطبیده از نظر بینایی تفاوتی برای انسان ندارند. گرچه برخی موجودات دیگر، مانند حشرات و برخی از پرندگان به‌طور طبیعی قادر به درک حالت قطبش نور هستند و از آن به‌طور مثال، برای جهت‌یابی استفاده می‌کنند. اما همواره می‌توان با استفاده از ابزارهای نوری حساس به قطبش نور (مانند تیغه قطبشگر که در بخش پیش گفته شد) تغییرات قطبش را به تغییرات شدت تبدیل کرد که چشم بتواند آن‌ها را تشخیص دهد. تصور کنید که یک تیغه قطبشگر را در حالی‌که محور قطبنده (راستای عبور) آن در حالت عمودی است در مقابل نور بازتابیده از سطح دریا که قطبش خطی آن، به دلیل بازتابش از سطح ساحل، در صفحه افق قرار دارد در مقابل چشم خود بگیریم (شکل ۴). بخش زیادی از شدت نور بازتابیده که به تیغه می‌رسد از آن رد نخواهد شد. و این تیغه، با آنکه در نور طبیعی جذب چندانی ندارد و تیره به نظر نمی‌رسد، می‌تواند به خوبی نور بازتابیده از سطوح افقی را حذف کند. عینک‌های آفتابی پولاروید بر همین اساس استوار هستند. یک جسم شفاف که در ساختار آن تنش‌های مکانیکی وجود دارد (مانند جلد یک CD، یا خط‌کش پلاستیکی شفاف) در مقابل نور ناقطبیده شفاف است و تفاوتی از نظر جذب نور در نواحی دارای شدت کم و زیاد در آن دیده نمی‌شود. اما اگر همین جسم را بین دو قطبشگر که راستاهای عبور آن‌ها عمود بر هم قرار داده شده قرار دهیم، نقش‌های زیبای رنگی دوبعدی در سطح جسم مشاهده خواهیم کرد (شکل ۵) که در آن نواحی هم‌رنگ نشان‌دهنده مکان نقاطی است که از نظر میزان تنش مشابه هستند. به این پدیده اثر نور کشسانی[3] می‌گویند که روش بسیار ساده‌ای برای دیدن نقشه دوبعدی تنش مکانیکی در اجسام شفاف فراهم می‌کند. یک کاربرد بسیار مهم دیگر استفاده از تغییر قطبش نور در بازتاب از سطحی است که دارای ویژگی مغناطیسی شده (اثر فاراده) در دیسک‌های نوری با استفاده از یک لیزر با توان مناسب که می‌تواند روی ناحیه بسیار کوچکی کانونی شود، اطلاعات به‌صورت نواحی با گشتاور مغناطیسی مختلف (مثلاً به سمت بالا یا پایین) روی سطح حساس دیسک ثبت می‌شود.



▲ شکل ۵. اثر نور کشسانی (a) نور طبیعی، (b) نور قطبیده

سپس، در هنگام خواندن اطلاعات باریکه لیزر به این نواحی تابانده می‌شود و بسته به نوع گشتاور مغناطیسی آن‌ها، نور بازتابیده از هر ناحیه دارای حالت قطبش متفاوت می‌شود. به این روش می‌توان اطلاعات ثبت شده را بازخوانی کرد.

از نور قطبیده در ابزارهای مخابرات نوری همچون سوئیچ‌های نوری، مدولاتورها، جداسازهای نوری و بسیاری وسیله‌های دیگر نیز فراوان استفاده می‌شود.

از نور قطبیده در ابزارهای نوری همچون سوئیچ‌های نوری، مدولاتورها، جداسازی‌های نوری و بسیاری وسیله‌های دیگر نیز فراوان استفاده می‌شود

پی‌نوشت‌ها
1. Polarizer
2. Brewster angle
3. Photo elasticity