

درباره فوتونیک

در طی قرن بیستم، صنعت الکترونیک نحوه کار و تفریح ما را دگرگون کرد. امروزه، در اوایل قرن بیست و یکم، انقلاب دیگری در جریان است. در این انقلاب جدید، دیگر الکترون‌های صنعت بالغ الکترونیک نیستند که به کار گرفته می‌شوند، بلکه فوتون‌های صنعت فوتونیک در کارند [۱]. واژه فوتونیک، که در قیاس با الکترونیک ابداع شد، رشد توأم اپتیک و الکترونیک را در مواد و قطعات نیم‌رسانا در سامانه‌های اپتیکی بازتاب می‌کند. الکترونیک شامل کنترل شار بار الکتریکی (در خلأ یا ماده) است، اپتیک علم تولید، انتشار و آشکارسازی نور و فوتونیک دربرگیرنده کنترل فوتون‌ها (در فضای آزاد یا ماده) [۲، ۳]. فوتونیک و الکترونیک به وضوح هم‌پوشانی دارند، زیرا الکترون‌ها اغلب جریان فوتون را کنترل می‌کنند و در مقابل، فوتون‌ها جریان الکترون‌ها را کنترل می‌کنند. همچنین، واژه فوتونیک اهمیت طبیعت فوتونی نور را در توصیف عملکرد قطعات اپتیکی بسیاری منعکس می‌کند [۲]. واژه «فوتونیک» به پدیده‌ها و کاربردهایی اطلاق می‌شود که از نور (متشکل از فوتون‌ها) برای انتقال، پردازش اطلاعات یا اصلاح فیزیکی مواد بهره می‌برد [۱].

از زمان پیدایش، اصطلاح فوتونیک را برای حوزه‌های فزاینده‌ای از کاربردها استفاده کرده‌اند، که به‌طور ضمنی آن را از «اپتیک» یا «علم نور» متمایز کند. نگاهی گذرا به موضوعات این کاربردها، به وضوح نشان می‌دهد که کاربرد این اصطلاح حاکی از پدیده‌ها یا توصیف‌های مکانیکی دربرگیرنده فوتون‌هاست. کسانی که نخست این واژه را ابداع کردند تا حدودی بر آن بودند که روزی زمینه‌های جدید علم و فناوری را، براساس قطعات اپتیکی میکرونی، تا اندازه‌ای به کاربردهای وسیع تجاری تبدیل کنند که مانند الکترونیک آشنا و متمایز از آن باشد [۳]. سه پیشرفت اصلی، که در چند دهه گذشته به دست آمده، عامل ارتقا اپتیک و اهمیت روزافزون آن در فناوری جدید است: اختراع لیزر، ساخت تارهای نوری کم‌اتلاف و معرفی ادوات نوری نیم‌رسانا. در نتیجه این پیشرفت‌ها، رشته‌های جدیدی ظهور کرده‌اند و اصطلاحاتی جدید، که این رشته‌ها را توصیف می‌کند، به کار گرفته شده‌اند: آکوستواپتیک، الکترواپتیک، اپتوالکترونیک، الکترونیک کوانتومی، اپتیک کوانتومی، فناوری امواج نوری، اپتیک بلورهای فوتونی، اپتیک فوق‌سریع، اپتیک غیرخطی، سوئیچینگ نوری، پردازش تصویر نوری، حسگرهای نوری (مانند دما، فشار، کرنش، مواد شیمیایی)، ذخیره‌سازی اپتیکی داده‌ها و در نهایت محاسبات اپتیکی [۱، ۲، ۴، ۵].

بیشتر متخصصان بر این باورند که ظهور اولین لیزر در سال ۱۹۶۰، آغاز عصر جدیدی از اپتیک را نشان داد که آن را با عنوان فوتونیک می‌شناسند. در طی این عصر جدید، فناوری‌های فوتونی در طیف گسترده‌ای از کاربردها، شامل انتقال سریع، ذخیره‌سازی داده و تصویر، پایش فرایند و بازرسی، لیتوگرافی، ریزبینی (میکروسکوپی)، روندهای درمانی، کالیبراسیون، اسپکتروسکوپی، فناوری‌های مراقبتی، جنگ‌افزار لیزری، نمایش تصویر و نورپردازی به کار رفته است. صناعی که از فناوری‌های فوتونیک بهره برده‌اند تقریباً هر صنعت مهمی را شامل می‌شود: مخابرات، نیم‌رسانا و کامپیوتر، ساخت و تولید، پزشکی، سرگرمی و دفاعی [۵].

می‌توان گفت اصطلاح فوتونیک در سال ۱۹۸۲ واقعاً برجسته شد؛ زمانی که مجله تجاری Optical Spectra نام خود را به Photonics Spectra تغییر داد. در آن زمان این اصطلاح همچنان عجیب و جنجالی بود تا آنکه با انتشار کتاب توصیفی بهاء صالح و مالوین تایک، اصول فوتونیک، در سال ۱۹۹۱ احترام جدید و پذیرش گسترده یافت [۳].

فوتونیک با کنترل نور، یا فوتونها، برای کاربردهای سودمند مرتبط است. نور، تابشی الکترومغناطیس است که بسامد آن از ۱ THz تا ۱۰ PHz، نظیر طول‌موج‌های $300 \mu\text{m}$ تا 300 nm در فضای آزاد متغیر است. این گستره طیفی نور را عموماً به نواحی فرسرخ، مرئی و فرابنفش تقسیم می‌کنند. محدوده طول‌موجی مورد توجه در فوتونیک معمولاً در ناحیه $10 \mu\text{m}$ تا 100 nm قرار دارد. علاقه اولیه به کاربردهای قطعات فوتونی، حتی ناحیه باریک‌تری از مرئی و فرسرخ را در بر می‌گیرد. این بازه طیفی کاربردها را عمدتاً خواص مواد مورد استفاده برای ادوات فوتونی معین می‌کند [۴].

ماهیت موجی نور در عملکرد ادوات فوتونی نقش بسیار مهمی دارد. به‌طور خاص، انتشار نور در ادوات فوتونی کاملاً با طبیعت موجی آن توصیف می‌شود. هرچند، در بازه طیفی مورد نظر در ادوات فوتونی، انرژی کوانتومی فوتونها در ناحیه‌ای است که ماهیت کوانتومی نور نیز مهم است. مثلاً، فوتونها در مرئی انرژی‌ای بین $1/7$ تا $3/1 \text{ eV}$ دارند، که در محدوده گاف انرژی بیشتر نیم‌رساناهاست. انرژی فوتون عامل مهمی در تعیین رفتار موج نوری در قطعات فوتونی نیم‌رساناست. یکتایی قطعات فوتونی به آن است که باید هم مشخصات موجی و هم کوانتومی نور را برای عملکرد و کاربرد این قطعات در نظر گرفت. به‌طور کلی، ماهیت فوتونی نور در عملکرد ادوات فوتونی تولیدکننده، تقویت‌کننده، تبدیل‌کننده بسامد یا آشکارسازی نور مهم است، در حالی که طبیعت موجی نور در همه ادوات فوتونی و به‌ویژه ادواتی که در انتقال، مدولاسیون و سوئیچینگ نور به‌کار می‌روند اهمیت دارد [۴].

فوتونیک، هر روز بیشتر و بیشتر، در حال شکل‌دهی جهان ماست و اکنون آماده است تا شانه‌به‌شانه الکترونیک، جامعه جدید را به‌گونه‌ای بازآفرینی کند که هرگز چنان نبوده است [۳].

منابع

- [1] R. S. Quimby, *Photonics and Lasers: An Introduction*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons Inc., 2006.
- [2] B. E. A. S. M. C. Teich, *Fundamentals of Photonics*, 2nd ed. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons Inc., 2007.
- [3] D. L. Andrews, Ed. *Photonics: Scientific Foundations, Technology and Applications*, 1st ed. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons Inc., 2015.
- [4] J. M. Liu, *Photonic Devices*. New York: Cambridge University Press, 2005.
- [5] M. C. Gupta and J. Ballato, Eds. *The Handbook of Photonics*, 2nd ed. New York: CRC Press, 2006.