

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

فتونیک

جلد اول

تألیف:

پروفسور حسن کاتوزیان

عضو هیأت علمی دانشکده مهندسی برق
دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)

پاییز ۱۳۹۹

سرشناسه	: کاتوزیان، حسن، ۱۳۴۰-
عنوان و نام پدیدآور	: فتونیک / تألیف حسن کاتوزیان.
وضعیت ویراست	: [ویراست ۳].
مشخصات نشر	: تهران: دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، ۱۳۹۰.
مشخصات ظاهری	: ۲ ج.: مصور، جدول، نمودار.
شابک	: ۹۷۸-۹۶۴-۴۶۳-۲۷۳-۰
وضعیت فهرست‌نویسی	: فیپا.
یادداشت	: صفحه عنوان به انگلیسی: Hassan Kaatuzian, Photonics
یادداشت	: نمایه.
موضوع	: فتونیک.
شناسه افزوده	: دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران). مرکز نشر.
شناسه افزوده	: Amirkabir University of Technology (Tehran Polytechnic). Publishing Center.
رده‌بندی کنگره	: TA ۱۵۲۰/۴۱۳۹۰
رده‌بندی دیویی	: ۶۲۱/۳۶
شماره کتابشناسی ملی	: ۲۵۷۲۲۶۴

این کتاب در جلسه مورخ ۱۳۸۴/۰۴/۲۱ شورای چاپ و نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر به تصویب رسیده است.



انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

عنوان کتاب	: فتونیک (جلد اول)
تألیف	: حسن کاتوزیان
ناشر	: انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
لیتوگرافی، چاپ و صحافی	: انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
چاپ ششم	: پاییز ۱۳۹۹
قیمت	: ۶۴۰۰۰ تومان
تیراژ	: ۲۰۰
شابک	: ۹۷۸-۹۶۴-۴۶۳-۲۷۳-۰
	ISBN : 978-964-463-273-0

آدرس مرکز پخش: خیابان ولیعصر، روبروی خیابان بزرگمهر، فروشگاه کتاب مرکز نشر

دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران) - تلفن: ۶۶۴۹۸۸۶۸

وبسایت: <http://publication.aut.ac.ir>

حق چاپ برای ناشر محفوظ است.

به یاد مرحوم پدرم

و تقدیم به

مادر و خواهرم

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

پیشگفتار

فصل اول - معرفی نظریه‌های کاربردی در فتونیک

- ۱-۱- مقدمات: نگرشی تاریخی بر علم نورشناخت (optics) ۱
- ۲-۱- معرفی تئوریهای موجود نورشناخت ۲
- ۳-۱- فرضیات پرتو نوری (تئوری اول) ۳
- ۱-۳-۱- بیان ماتریسی پرتو نوری ۵
- ۲-۳-۱- سامانه نوری متناوب ۱۰
- ۴-۱- فرضیات موج اسکالر نوری (تئوری دوم) ۱۲
- ۵-۱- فرضیات نور الکترومغناطیس (الکترودینامیک کلاسیک یا تئوری سوم) ... ۱۳
- ۱-۵-۱- میدانهای متغیر با زمان و معادلات ماکسول ۱۴
- ۲-۵-۱- بدست آوردن فرم انتگرالی معادلات ماکسول ۱۴
- ۳-۵-۱- معادله پیوستگی ۱۵
- ۴-۵-۱- روابط اساسی و ضرایب اساسی ۱۶
- ۵-۵-۱- طبقه‌بندی مواد و ضرایب اساسی ۱۶
- ۶-۵-۱- بدست آوردن شرایط مرزی مابین دو ماده مختلف ۱۷
- ۷-۵-۱- معادلات موج در مواد دی‌الکتریک ۲۱
- ۸-۵-۱- اثبات رابطه انکسار با استفاده از نور الکترومغناطیس ۲۲
- ۹-۵-۱- اثبات معادلات فرنل با استفاده از نور الکترومغناطیس ۲۴
- ۱-۵-۱- محاسبه شدتهای نور بازتابیده و عبوری از سطح مشترک ۲۸
- ۶-۱- پدیده پاشندگی ۳۱
- ۱-۶-۱- تاریخچه‌ای از شناخت پدیده پاشندگی ۳۱
- ۲-۶-۱- تئوری پاشندگی طبق مدل اتمی بوهر ۳۶

عنوان

صفحه

۳-۶-۱- مفهوم دی الکتریکها، قطبش یا پلاریزاسیون و نفوذپذیری الکتریکی مواد	۳۷
۴-۶-۱- انواع قطبشهای الکتریکی در مواد	۳۸
۵-۶-۱- هادیها در مقابل عایقهای دی الکتریک	۴۱
۶-۶-۱- تعریف ضریب سیالیت در هادیها و نیمه هادیها	۴۲
۷-۶-۱- تحلیل پاشندگی با مدل مکانیکی جرم و فنر	۴۳
۸-۶-۱- محاسبه ضریب پذیرفتاری	۴۷
۹-۶-۱- انتشار پالس نوری در یک محیط پاشنده	۵۰
۷-۱- اثر فتوالکتریک و تأکید بر جنبه های کوانتمی نور	۵۳
۱-۷-۱- مقدمه	۵۳
۲-۷-۱- آرایش تجربی مشاهده اثر فتوالکتریک	۵۴
۳-۷-۱- نتایج تجربی آزمایشات اثر فتوالکتریک	۵۵
۴-۷-۱- تعبیر کوانتمی اثر فتوالکتریک	۵۷
۵-۷-۱- فتونها و قوانین بازتابش و شکست	۵۹
۸-۱- فرضیات نور فتونی (تئوری چهارم)	۶۰
۱-۸-۱- مقدمه	۶۰
۲-۸-۱- تفسیر نور فتونی از مودهای داخل یک کاواک	۶۱
۳-۸-۱- موضع فتون	۶۳
۴-۸-۱- عبور تک فتون از میان یک شکافنده نور (Beam - splitter)	۶۴
۵-۸-۱- اندازه حرکت فتون	۶۴
۶-۸-۱- قطبش فتون	۶۵
۷-۸-۱- فتونهای با قطبش دایروی	۶۷
۸-۸-۱- اسپین فتون	۶۸
۹-۸-۱- تداخل فتون در آزمایش دو شکاف یانگ	۶۸
۱-۸-۱- زمان آشکارسازی فتون	۶۹

عنوان

صفحه

۱-۸-۱	عدم قطعیت در الکترودینامیک کوانتومی	۷۰
۱-۸-۲	جریان فتونها	۷۱
۱-۸-۱۳	تقسیم تصادفی جریان فتونها	۸۰
۱-۸-۱۴	حالات کوانتومی نور	۸۳
۹-۱	بیان ریاضی تئوری چهارم	۸۹
۹-۱-۱	محاسبه سطوح مجاز انرژی الکترونها در مدارات اتمی	۸۹
۹-۱-۲	فرمالیزم ریاضی مکانیک کوانتومی (تئوری چهارم)	۹۱
۹-۱-۳	بدست آوردن معادله مستقل از زمان شرودینگر	۹۲
۹-۱-۴	بدست آوردن معادله مستقل از زمان شرودینگر	۹۳
	از روی معادلات ماکسول	
۹-۱-۵	چند مثال ساده کاربردی از مکانیک کوانتومی	۹۴
۹-۱-۶	مقدمه‌ای بر تئوری باند انرژی Energy Band Theory	۹۹
۹-۱-۷	تئوری بلوخ Bloch-Theorem	۱۰۲
۹-۱-۸	مدل کرونیگ - پنی (Kronig - Penney)	۱۰۳
۹-۱-۹	مفهوم جرم مؤثر effective mass	۱۰۷
۹-۱-۱۰	تعمیم ایده جرم مؤثر در سه بُعد	۱۰۹
۹-۱-۱۱	نتیجه‌گیری از دیاگرامهای E-K عناصر نیمه‌هادی Si ، Ge و GaAs	۱۱۲
۹-۱-۱۲	مفهوم هدایت الکتریکی از نقطه‌نظر تئوری باند	۱۱۳
۹-۱-۱۳	نیمه‌هادی خالص از دیدگاه تئوری باند	۱۱۵
۹-۱-۱۴	نیمه‌هادی آلایش یافته از نگاه تئوری باند	۱۱۶
۹-۱-۱۵	اگزیتونها excitons	۱۱۸
۹-۱-۱۶	محاسبه تمرکز حاملها در نیمه‌هادیها از نقطه‌نظر تئوری باند	۱۲۰
۹-۱-۱۷	چگونگی محاسبه چگالی حالت‌های مجاز برای سطوح انرژی Z(E)	۱۲۱
۹-۱-۱۸	چگونگی شمارش حالات مجاز	۱۲۲

۱۰-۱- خواص اصلی و پایه نیمه‌هادیها	۱۲۸
۱۰-۱-۱- مقدمه	۱۲۸
۱۰-۱-۲- طبقه‌بندی ترکیبات نیمه‌هادی	۱۲۸
۱۰-۱-۳- وضعیت قرارگیری اتمها در مواد جامد در سه بعد فضایی	۱۳۰
۱۰-۱-۴- شبکه کریستالی براوه Bravais	۱۳۱
۱۰-۱-۵- خواص تقارن در شبکه‌های کریستالی	۱۳۵
۱۰-۱-۶- روش نشانه‌گذاری (اندیس) میلر	۱۳۶
۱۰-۱-۷- بردارهای شبکه معکوس (Reciprocal lattice)	۱۳۸
۱۰-۱-۸- تئوری تابش جسم سیاه Black Body Radiation	۱۴۰
۱۱-۱- فرضیات کوانتم فتونیک (پیشنهادهای تئوری پنجم)	۱۴۶

فصل دوم - «مبانی فتونیک»

۱-۲- تولید و تقویت نور (لیزر - LASER)	۱۵۱
۱-۲-۱- مقدمه	۱۵۱
۱-۲-۲- انواع تعامل نور با ماده	۱۵۱
۱-۲-۳- معادلات اینشتین	۱۵۳
۱-۲-۴- انواع روشهای پمپ کردن	۱۵۶
۱-۲-۵- معادلات نرخ برای لیزرهای ۳ و ۴ لایه‌ای	۱۵۹
۱-۲-۶- تخمین نرخ پمپینگ (W_p) و یا نرخ انتقال اتمی	۱۶۱
۱-۲-۷- نحوه محاسبه ضریب جذب (α) در مواد	۱۶۷
۱-۲-۸- شرط آستانه نوسان در محیط فعال و پمپ شده	۱۶۹
۱-۲-۹- عوامل مؤثر در پهن شدگی فرکانسی نور تکرنگ لیزری	۱۷۰
۱-۲-۱۰- انواع مودها یا حالات خروجی لیزر	۱۷۲
۱-۲-۱۱- راههای کاهش تعداد مودهای لیزری	۱۷۵
۱-۲-۱۲- تشدیدگرهای نوری فبری - پرواتالون	۱۷۵

۱۳-۱-۲- کاربرد فبری - پرو به عنوان تحلیلگر طیف	۱۷۹
۱۴-۱-۲- لیزر فبری - پرو	۱۸۱
۱۵-۱-۲- تقویت نوری در فیلتر فعال فبری - پرو	۱۸۴
۱۶-۱-۲- دیودهای لیزری نیمه هادی	۱۸۴
۱۷-۱-۲- توجیه پدیده تابش القایی در لیزرهای نیمه هادی	۱۸۹
۱۸-۱-۲- ساختار دیودی متجانس و نامتجانس	۱۹۳
۱۹-۱-۲- ویژگیهای مواد بکاررفته در ساخت ادوات نوری دیودی	۱۹۶
۲۰-۱-۲- ضرایب بازدهی تولید نور در لیزرهای نیمه هادی	۱۹۷
۲۱-۱-۲- لیزرهای با فیدبک توزیع شده (Distributed Feedback - DFB)	۱۹۹
۲۲-۱-۲- لیزرهای با طول موج قابل تنظیم	۲۰۱
۲۳-۱-۲- لیزرهای حالت جامد و عایق و آرایش یافته	۲۰۵
۲۴-۱-۲- لیزرهای گازی	۲۰۷
۲-۲- مدولاسیون نوری	۲۱۲
۱-۲-۲- مقدمه	۲۱۲
۲-۲-۲- مفهوم قطبش نور	۲۱۲
۳-۲-۲- نمایش ماتریسی قطبش	۲۱۴
۴-۲-۲- نمایش ماتریسی ادوات پلاریزاسیون	۲۱۶
۵-۲-۲- مفهوم دو شکستی در کریستالها	۲۱۹
۶-۲-۲- تعریف محور نوری	۲۲۰
۷-۲-۲- صفحه ربع طول موج	۲۲۲
۸-۲-۲- مفهوم فعالیت نوری و اثر الکترواپتیک	۲۲۳
۹-۲-۲- مدولاسیون الکترواپتیک به صورت تغییرات شدت نور	۲۲۷
۱۰-۲-۲- مدولاسیون فاز الکترواپتیک	۲۳۰
۱۱-۲-۲- مدولاسیون عرضی الکترواپتیک	۲۳۲
۱۲-۲-۲- مدولاتورهای الکترواپتیک کیر (Kerr)	۲۳۴

۲۳۴	۱۳-۲-۲- اثر مگنتواپتیک یا مغناطیسی نوری و چرخش فارادی
۲۳۶	۱۴-۲-۲- تعامل نور و صوت - اثر اکوستواپتیک
۲۳۹	۱۵-۲-۲- تحلیل شرط پراش براگ با استفاده از تئوری سوم (نور الکترومغناطیسی)
۲۴۲	۱۶-۲-۲- تحلیل شرط پراش براگ با استفاده از تئوری چهارم (نور فتونی)
۲۴۵	۱۷-۲-۲- انحراف اشعه برحسب تغییر فرکانس اکوستیکی
۲۴۶	۳-۲- فیبرهای نوری
۲۴۶	۱-۳-۲- مقدمه
۲۴۷	۲-۳-۲- مزایای سیستمهای مخابرات فیبر نوری
۲۴۸	۳-۳-۲- ساختمان کلی فیبرهای نوری
۲۴۸	۴-۳-۲- تحلیل انتشار نور درون فیبر با استفاده از تئوری اول (پرتو نوری)
۲۵۰	۵-۳-۲- انواع فیبرهای نوری
۲۵۲	۶-۳-۲- تحلیل انتشار موج نوری درون فیبر نوری با استفاده از تئوری سوم (نور الکترومغناطیسی)
۲۶۵	۷-۳-۲- مودهای با قطبش خطی
۲۷۰	۸-۳-۲- تقویت کننده های فیبر نوری
۲۷۲	۹-۳-۲- شبکه های مخابراتی تمام نوری (فتونیک)
۲۷۳	۱۰-۳-۲- دستاوردهای فنی
۲۷۴	۴-۲- آشکارسازهای نوری
۲۷۴	۱-۴-۲- مقدمه
۲۷۵	۲-۴-۲- انواع فتودیودها
۲۷۷	۳-۴-۲- فتودیودهای نیمه هادی بدون بهره داخلی (نوع pn)
۲۷۹	۴-۴-۲- فتودیودهای نیمه هادی بدون بهره داخلی (نوع pin)
۲۸۰	۵-۴-۲- فتودیودهای نیمه هادی با بهره داخلی (نوع Avalanche Photo Diode APD)

عنوان

صفحه

۲-۴-۶- ترانزیستورهای نوری	۲۸۲
۲-۴-۷- ملاحظات نویز در گیرنده‌های نوری	۲۸۴
۲-۴-۸- نویز کوانتومی در علائم دیجیتال	۲۸۷
۲-۴-۹- نویز کوانتومی در انتقال و مخابره علائم آنالوگ	۲۸۹
۲-۴-۱۰- گیرنده‌های با فتودیود (p-n) و (p-i-n)	۲۹۰
۲-۴-۱۱- محاسبه نسبت سیگنال به نویز در گیرنده‌های نوری	۲۹۴
با فتودیود بهمنی APD	
۲-۴-۱۲- ساختمان گیرنده‌های نوری	۲۹۶
۵-۲- دیودهای نوری (L.E.D)	۲۹۷
۲-۵-۱- مقدمه	۲۹۷
۲-۵-۲- مقایسه بین دیودهای نوری و دیودهای لیزری	۲۹۷
۲-۵-۳- شیوه ساخت دیودهای نوری	۳۰۱
۲-۵-۴- پهنای باند مدولاسیون	۳۰۲
۲-۵-۵- طول عمر مفید برای دیودهای نوری	۳۰۵
۲-۵-۶- چند مدار ساده الکترونیک برای تحریک دیودهای نوری	۳۰۶
۲-۶- سایر ادوات نمایش نوری اطلاعات	۳۰۷
۲-۶-۱- مقدمه	۳۰۷
۲-۶-۲- پدیده لومینسانس (Luminescence)	۳۰۷
۲-۶-۳- صفحات نمایش پلاسما	۳۱۵
۲-۶-۴- صفحات نمایش ک رستال مایع دیودی (LCD)	۳۱۶
تمرینات درس فتونیک (I)	۳۲۳
فهرست منابع و مراجع	۳۳۳
عبارات و واژه‌های کلیدی	۳۳۷
نامنامه	۳۴۳

پیش‌گفتار

در تألیف این کتاب، پیش از هر چیز، خداوند بزرگ را سپاس می‌گویم که در طول سالیان متمادی که به امر تحقیق و تفحص در امور علمی مشغول بوده‌ام، همواره راهنمای من بوده تا بتوانم به این مرتبه علمی برسم که ناچیز بودن خود را در برابر عظمت آفرینش به دیده بصیرت بنگرم.

آنگاه مایلیم به اندرز هزار و دویست ساله محمد بن موسی خوارزمی در مقدمه کتاب جبر و مقاله ترجمه حسین خدیو جم اشاراتی داشته باشم. خوارزمی در تقسیم دانشوران چنین می‌گوید:

«... دانشمندان روزگاران گذشته و خردمندان ملتهای پیشین، پیوسته سرگرم نگارش و تصنیف بوده‌اند. آنان به اندازه توانایی و بینش، برای مردم پس از خود، در انواع دانش و گزیده‌های حکمت و فلسفه، کتابها تألیف و تصنیف کرده‌اند، بدان امید که در دیگر سرای پاداشی یابند و در این جهان از آنان نام نیک بر جای بماند. نام نیکی که همه ثروتها و پیرایه‌های مادی که با رنج بسیار بدست می‌آید، در برابرش ناچیز است و به شوق رسیدن به آن، رنج کشف رازهای دانش و زحمت حل مشکلات علمی آسان می‌نماید. دانشمند سه گونه است: یا مردی است که برای نخستین بار دانشی ناشناخته را می‌شناسد و می‌شناساند و آیندگان را میراث خوار علمی خود می‌سازد. یا مردی است که آثار بر جای مانده پیشینیان را شرح و تفسیر می‌کند و مطالب مبهم و پیچیده کتابها را روشن می‌سازد، برای بیان مطالب راه ساده‌تری نشان می‌دهد و نتیجه‌گیری را آسان می‌کند. یا مردی است که در برخی از کتابها به نادرستی و آشفتگی بر می‌خورد، پس نادرستیها را اصلاح می‌کند و آشفتگیها را سامان می‌بخشد، با خوشبینی به کار مولف می‌نگرد، بر او خرده نمی‌گیرد و از اینکه متوجه خطا و اشتباه دیگران شده به خوشتن نمی‌بالد...»

تجربه بیش از پانزده سال تحقیق و تدریس در مباحث الکترونیک نوری و فتونیک، برای دانشجویان مخصوصاً در مقاطع تحصیلات تکمیلی اعم از کارشناسی ارشد و دکتری، مرا بر آن داشت تا پس از آموختن مطالب از پیشینیان، تصمیم به تألیف کتابی بگیرم که بتوان ضمن آن، فن آوری نوین فتونیک را که موضوعی نسبتاً نو و ناشناخته برای نسل جدید است، به صورت پایه‌ای به ایشان آموخت. مبنای شناخت در فن آوری فتونیک، آشنایی با مباحث مربوط به علم نور شناخت یا اپتیک می‌باشد. منتهی با هدف کاربردی و مهندسی نور شناخت.

ضمن این کتاب که جلد نخست آن تحت عنوان فتونیک - I، اینک از نظر خوانندگان می‌گذرد، مطالب در دو فصل عمده تقسیم بندی گردیده است. در فصل اول کتاب، به معرفی نظریه‌های کاربردی در فتونیک می‌پردازیم. از جمله فرضیات مربوط به خواص موجی و ذره‌ای بودن نور، خواص پاشندگی نور، اثر فتوالکتریک، مکانیک کوانتمی و تئوری باند و تئوری تابش جسم سیاه مخصوصاً در جامدات نیمه هادی که پرکاربردترین نوع مواد در ساخت ادوات فتونیک محسوب می‌گردند. در فصل دوم کتاب، به معرفی شالوده و زیربنای فن آوری فتونیک خواهیم پرداخت و ضمن آن به طور مشروح به چگونگی تولید و تقویت نور همدوس و تکرنگ، نحوه مدولاسیون نور با هدف مخابره اطلاعات، ماهیت محیط انتقال اطلاعات و از جمله فیبرهای نوری، شیوه آشکارسازی اطلاعات و تبدیل از شکل نوری به الکتریکی و نمایش آنها خواهیم پرداخت.

جلد دوم کتاب تحت عنوان فتونیک - II را هم اینک در دست نگارش دارم که در برگیرنده مباحث پیشرفته در شاخه فتونیک است که اگر خداوند متعال توفیق دهد، در آینده نزدیک آن را نیز تقدیم علاقمندان خواهم نمود.

کلام را کوتاه نموده و به اصل کتاب می‌پردازیم.

با آرزوی توفیق الهی
حسن کاتوزیان
تهران - تابستان ۱۳۸۴

زمان چاپ نخست این کتاب به عنوان اولین اثر تألیفی در این رشته به زبان فارسی به سال ۱۳۸۴ برمی‌گردد. اینک پس از دوازده سال از آن تاریخ، چاپ پنجم کتاب فتونیک جلد اول، که دربرگیرنده مفاهیم مقدماتی و پایه در زمینه مهندسی فتونیک می‌باشد، تقدیم علاقمندان، بخصوص دانشجویان مقاطع کارشناسی و یا تحصیلات تکمیلی در رشته‌های مهندسی برق، کامپیوتر و فیزیک می‌گردد.

با آرزوی توفیق الهی
حسن کاتوزیان
تهران - بهار ۱۳۹۶

فصل اول

معرفی نظریه‌های کاربردی در فتونیک

۱-۱- مقدمات: نگرشی تاریخی بر علم نورشناخت (optics)

در تاریخ علم می‌خوانیم که یونانیان باستان به «اشعه بصری» معتقد بودند که از چشم ساطع می‌گردد و در نهایت بینایی را موجب می‌شود. مهمل بودن این دیدگاه، اول‌بار توسط «ابن هیثم» فیزیکدان برجسته ایرانی در قرون ۴ و ۵ هجری (قرون ۱۰ و ۱۱ میلادی) نشان داده شد. علاوه‌براین، وی در کتاب خود به نام «المناظر»، انتشار کروی نور را در همه جهات مطرح کرده و برای نخستین‌بار به «صدور اولیه» و «صدور ثانویه» از منابع عرضی نور اشاره نموده است. دیدگاهی که امروزه تحت عنوان اصل هویگنس یا انتشار امواج ثانویه از آن نام برده می‌شود. میزان اهمیت کارهای ابن‌هیثم را نه‌تنها از نقل قولهای پیوسته عالمان غربی قرون وسطی از او می‌توان فهمید، بلکه همچنین از اینجا دریافت که نتیجه‌گیری وی مبنی بر شکست نور ناشی از اختلاف سرعت پرتوهای نور در مواد مختلف است و نیز قوانین او برای شکست نور، در قرن هفدهم مورد استفاده کپلر و دکارت قرار گرفت. وی را می‌توان سرفصل فیزیکدانان جدید دانست و کار او را مرتفع‌ترین قله فیزیک و علم نور شناخت عصر خود به حساب آورد. [۱ و ۲]

ترجمه آثار ابن‌هیثم در اروپای عصر رنسانس، عامل اصلی رشد و شکوفایی علم نورشناخت در آن قاره گردید. بطوریکه در قرون هفده و هیجده میلادی منجر به آغاز مباحثات طولانی و بدون پایان در رابطه با ماهیت نور شد. در جایی که دکارت، هوک و هویگنس نظریه موجی‌بودن نور را مطرح می‌کردند، نیوتن دیدگاه ذره‌بودن نور را بیان کرد که در قرن ۱۸ میلادی، مورد قبول عامه دانشمندان واقع شد.

در قرن نوزدهم وضعیت معکوس گردید. هرچند افرادی نظیر لاپلاس و مالوس به روی جنبه‌های ذره‌ای نور تأکید داشتند، یانگ و فرنل با آزمایشهای تداخل و پراش،

انتشار موجی نور را اثبات نمودند و دیدگاه موجی، برنده مباحثات شد. اما بنظر می‌رسید این بحثها پایانی ندارد. چنانکه در اوان قرن بیستم با ارائه نظریه کوانتم توسط ماکس پلانک و اثبات اثر فتوالکتریک از دیدگاه ذره‌ای توسط آلبرت اینشتین، مباحثات موج - ذره، رنگ تازه‌ای به خود گرفت. امروزه در کتابهای فیزیک مدرن از دوگانگی رفتار موج - ذره‌ای در باب ماهیت نور سخن به میان می‌آید و اینکه برخی پدیده‌های نوری را از دیدگاه ذره‌ای و برخی دیگر را از نقطه نظر موجی می‌توان مورد بررسی قرار داد.

اما همچنان بحثها بی‌پایان به نظر می‌رسد و طرفداران نظریه کوانتم، خود نیز به دو شاخه حامیان مکتب کپنهاکی نظیر بوهر و هایزنبرگ و مخالفان این مکتب همچون اینشتین و شرودینگر تقسیم‌بندی شده‌اند.

۲-۱- معرفی تئوریهای موجود نورشناخت

برطبق ماهیت ذره‌ای یا موجی نور تاکنون ۴ تئوری در رابطه با نورشناخت مورد استفاده قرار گرفته‌اند که عبارتند از [۳]:

- | | |
|------------------------|------------------------------------|
| Ray Optics | ۱- تئوری پرتو نوری |
| Scalar Wave Optics | ۲- تئوری موج اسکالر نوری |
| Electromagnetic Optics | ۳- تئوری نور الکترومغناطیسی |
| Quantum E.M. Optics | ۴- تئوری نور الکترودینامیک کوانتمی |
| (Photon Optics) | (نورفتونی) |

ساده‌ترین تئوری که مورد استفاده طی قرون متمادی بوده، پرتو نوری است و زمانی بکار برده می‌شود که نور از میان اشیایی با ابعاد بسیار بزرگتر از طول موج نور (λ) عبور کند که ضمن آن نیازی به استفاده از دیدگاه موجی نیست. بلکه بررسی خط سیر مستقیم پرتو و هندسه مربوطه تکافوی نیاز را می‌کند. در پرتو نوری موضع و سمت تابش مورد توجه می‌باشد. تئوری موج اسکالر که فراگیرتر از تئوری پرتو نوری است، نور را به صورت یک تابع موج اسکالر (و نه برداری) در نظر می‌گیرد و رفتارهای موجی نور را حین انتشار مدنظر قرار می‌دهد. در تئوری سوم یعنی نور الکترومغناطیسی که

دربگیرنده دو تئوری پیشین می باشد و امروزه از ابزارهای بسیار مهم در مهندسی نورشناخت محسوب می گردد، نور در زمره امواج برداری الکترومغناطیسی طبقه بندی می شود. تابش این امواج به صورت دو موج برداری کوپل شده بهم رخ می دهد. یک موج میدان الکتریکی (E) و یک موج میدان مغناطیسی (H).

بالاخره تئوری چهارم که نور فتونی نامیده می شود و براساس تئوری الکترودینامیک کوانتومی به تحلیل پدیده ها می پردازد. ضمن این تحلیل نور به ذرات با انرژیهای منفصل قابل تفکیک است که بدانها فتون گفته می شود. این فتونها حین تبادل انرژی با ماده رفتار ذره ای طبق رابطه معروف پلانک از خود بروز می دهند و انتشار آنها را می توان در فضا موج گونه در نظر گرفت.

۱-۳- فرضیات پرتو نوری (تئوری اول)

الف) نور به صورت یک پرتو و شعاع است که از منبع نوری خارج می شود و هنگامی که به آشکارساز نوری می رسد قابل مشاهده است.

ب) برای محیط شفاف و همگن ضریب انکسار ($n \geq 1$) در نظر گرفته می شود که ضریب کندکننده سرعت نور در آن محیط است. اگر به عنوان مثال طول ماده (d) باشد، طول نوری را در محیط با ضریب انکسار n، معادل حاصلضرب (n.d) تعریف می کنیم و زمان سیر نور از ماده عبارتست از:

$$t = \frac{n.d}{C_0} \quad (1-3-1)$$

هرگاه C_0 را معادل سرعت سیر نور در خلاء بدانیم.

ج) در محیط شفاف و ناهمگن، ضریب n تابعی از مختصات (x,y,z) در فضا خواهد بود و طول نوری به صورت تعمیم یافته زیر قابل تعریف است:

$$\text{طول نوری} = \int_A^B n(r) ds \quad (2-3-1)$$

که (ds) در آن المان طول در امتداد حرکت از نقطه A تا B می باشد.

د) اصل فرما (Fermat Principle)

طبق این اصل، نور حین حرکت بین دو نقطه A و B مسیری را دنبال می کند که طی آن،

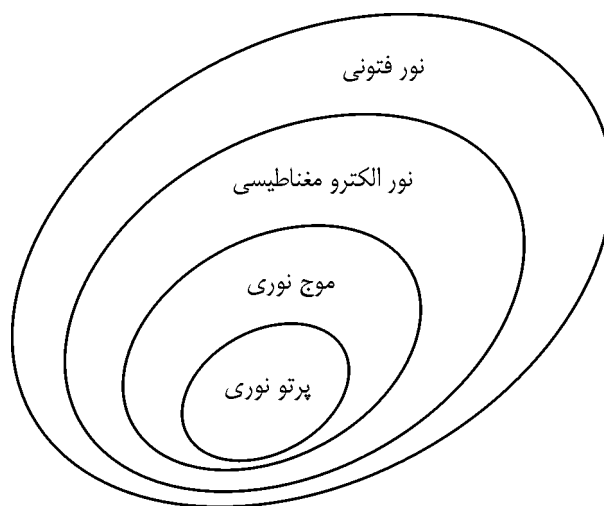
کمترین زمان عبور را نیاز داشته باشد. به عبارت دیگر داشته باشیم:

$$\delta \int_A^B n(r) ds = 0 \quad (۳-۳-۱)$$

به همین دلیل نور در فضای آزاد خط سیر مستقیم را طی می‌کند. طبق فرضیات فوق‌الذکر به این نتیجه می‌رسیم که نور بازتابیده در حدفاصل دو محیط اولاً در همان صفحه نور تابیده واقع است و ثانیاً زاویه انعکاس یا بازتابش مساوی زاویه تابش می‌باشد.

بعلاوه زاویه انکسار نور حین عبور از محیط (n_1) به (n_2) برحسب زوایای (θ_1) و (θ_2) در دو محیط به صورت رابطه اسنل - دکارت قابل بیان می‌باشد:

$$n_1 \cdot \sin(\theta_1) = n_2 \cdot \sin(\theta_2)$$



شکل (۱-۱) دامنه و حوزه کاربرد تئوریهای چهارگانه نورشناخت

حوزه کاربرد تئوری پرتو نوری که به آن نور هندسی نیز گفته می‌شود ازجمله در سامانه‌های تصویربرداری، عبور نور درون موجبرهای نوری و تشدیدکننده‌های نوری است به شرطی که شرط بزرگ بودن ابعاد فیزیکی ادوات نسبت به طول موج برقرار