



اندازه‌گیری تغییرات فاز در محیط با استفاده از پراش فرنل از پله‌های فازی

پایان‌نامه دکتري

احد صابر تازه‌کند

استاد راهنما: دکتر محمد تقی توسلی

استاد مشاور: دکتر سید نادر سیدریحانی

بهمن ۱۳۹۱

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تقدیم بہ محترم

شکر و قدردانی

در اینجا بر خود لازم می‌دانم که از استاد گرامی‌ام جناب آقای دکتر محمد تقی توسلی به خاطر راهنمایی‌های ارزنده‌شان در طول ۸ سال دوره کارشناسی ارشد و دکتری سپاسگزاری کنم. بدون شک راهنمایی‌های سودمند ایشان نقش تعیین کننده‌ای در شکل‌گیری این رساله داشته است و رهنمودهای ارزشمندشان سرلوحه بنده برای ادامه کار علمی خواهد بود.

همچنین از استاد مشاورم جناب آقای دکتر سید نادر سید ریحانی به خاطر مساعدت‌های بی دریغشان در انجام و تکمیل این رساله تشکر می‌کنم. از استاد ارجمند جناب آقای دکتر ثبوتی به خاطر فراهم کردن بستر علمی مناسب در دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان سپاسگزاری می‌کنم و امیدوارم راه ایشان برای همیشه در جامعه علمی کشور دنبال شود. از آقای دکتر حمید رضا خالصی فرد به خاطر تجهیز آزمایشگاه‌های تحقیقاتی اپتیک و ایجاد فضای کاری سالم و دلنشین در بخش اپتیک کمال تشکر را دارم.

از جناب آقای دکتر احمد درودی و آقای دکتر سیف‌اله رسولی به خاطر کمک‌های علمی ارزنده‌شان در طول دوران تحصیل کمال تشکر را دارم. همچنین از همه دوستان و عزیزانی که در این سال‌ها به من کمک کرده‌اند و از بردن نام ایشان در این مختصر معذورم، تشکر می‌نمایم. یاد و خاطره ایشان همواره با من خواهد بود.

در پایان از شکیبایی و همراهی همسرم خانم سعیده عظیمی حق که در این مدت رنج‌ها و سختی‌های زندگی دانشجویی را تحمل کردند، خالصانه قدردانی می‌کنم. حقش بر من حلال باد.

چکیده

وقتی قسمتی از یک باریکه تکفام همدوس در اثر بازتاب از یک پله فازی و یا عبور از یک محیط فازی دچار تغییر ناگهانی در فاز شود، پراش فرنل مشاهده می‌شود. در این رساله پراش فرنل از پله‌های فازی متغیر مورد بررسی قرار گرفته و توزیع شدت مربوط به آن استخراج شده است. نمایانی فریزهای پراش در مطالعه خواص اپتیکی محیط، مانند ضریب شکست بکار برده شده است و ضرایب شکست جامدات و مایعات با دقت نسبی 10^{-5} اندازه‌گیری شده است.

همچنین پراش فرنل از پله‌های فازی برای مطالعه تغییرات فاز در محیط، که می‌تواند به دلایل مختلفی مثل حضور گرادیان دما، گرادیان غلظت و تغییرات ضریب شکست در محیط بوجود آید، بکار برده شده است. نتایج بدست آمده به طور تجربی در اندازه‌گیری ضریب پخش مایع در مایع بکار برده شده است. از دو روش برای بدست آوردن تغییرات فاز در محیطی با گرادیان ضریب شکست استفاده شده است. در روش اول یک تیغه فازی و در روش دوم یک گوه فازی جهت ایجاد نقش پراش فرنل بکار برده شده است. تغییرات فاز از روی توزیع شدت در نقش پراش فرنل تعیین شده است، و از روی آن نمایه ضریب شکست در محیط پخش و در نهایت ضریب پخش بدست آمده است.

همچنین بطور نظری نشان داده شده است که پراش فرنل علاوه بر اینکه در تغییرات ناگهانی دامنه و فاز جبهه موج مشاهده می‌شود، در صورت تغییر ناگهانی در مشتق فاز نیز قابل مشاهده است.

واژه‌های کلیدی: پراش فرنل، جسم فازی، تغییر فاز، شکست سنجی، ضریب پخش

فهرست

پنج	چکیده	.....
۱	پراش فرنل از پله‌های فازی	۱
۱	۱.۱ مقدمه	.....
۲	۲.۱ تاریخچه	.....
۳	۳.۱ نظریه پراش	.....
۵	۱.۳.۱ اصل هویگنس-فرنل	.....
۷	۲.۳.۱ نظریه پراش کیرشهف	.....
۱۲	۳.۳.۱ پراش فرنل و فرانهورفر	.....
۱۷	۴.۳.۱ پراش فرنل از لبه	.....
۱۸	۴.۱ پراش از پله‌های فازی	.....
۱۹	۱.۴.۱ پراش از پله فازی یک بعدی در بازتاب	.....
۲۲	۵.۱ کاربردهای پراش فرنل از پله‌های فازی	.....
۲۳	۱.۵.۱ اندازه‌گیری ضخامت لایه‌های نازک	.....
۲۴	۲.۵.۱ تحقیق تجربی اصل بابینه	.....
۲۵	۳.۵.۱ تقویت و تضعیف میدان‌های پراشیده	.....

۲۷	اندازه‌گیری گرادیان دما در اطراف یک سیم داغ	۴.۵.۱
۲۹	اندازه‌گیری جابجایی‌های نانومتری	۵.۵.۱
۳۱	۲ شکست سنجی اپتیکی	
۳۱	تعریف ضریب شکست	۱.۲
۳۲	روش‌های اندازه‌گیری ضریب شکست	۲.۲
۳۳	روش‌های مبتنی بر اپتیک هندسی	۱.۲.۲
۳۹	روش‌های مبتنی بر تداخل سنجی	۲.۲.۲
۴۳	روش‌های مبتنی بر پراش	۳.۲.۲
۴۵	۳ پدیده پخش و روش‌های اندازه‌گیری ضریب پخش	
۴۵	مقدمه	۱.۳
۴۶	معادله پخش	۲.۳
۵۰	روش‌های اندازه‌گیری ضریب پخش	۳.۳
۵۱	روش‌های تداخل سنجی متعارف	۱.۳.۳
۵۲	روش‌های تداخل سنجی تمام‌نگاری	۲.۳.۳
۵۴	تداخل سنجی پیسه‌ای	۳.۳.۳
۵۴	تکنیک ماره	۴.۳.۳
۵۷	۴ کاربرد پراش فرنل در اندازه‌گیری ضریب شکست و ضریب پخش	
۵۷	پراش از پله فازی یک بعدی در بازتاب	۱.۴
۶۴	پراش از پله فازی یک بعدی برای امواج تخت	۱.۱.۴
۶۴	پراش از پله فازی در عبور	۲.۱.۴
۶۵	پراش فرنل از پله فازی با ارتفاع متغیر	۲.۴

۷۰	پراش از پله فازی دو بعدی در بازتاب	۳.۴
۷۳	شکست سنجی بر اساس پراش فرنل از گوه فازی	۴.۴
۷۴	پراش فرنل از مرز جانبی لبه گوه	۱.۴.۴
۷۷	چیدمان آزمایش و نتایج بدست آمده	۲.۴.۴
۸۱	اندازه گیری ضریب پخش با استفاده از پراش فرنل از تیغه فازی	۵.۴
۸۱	پراش فرنل از لبه تیغه‌ای واقع در محیطی با گرادیان ضریب شکست	۱.۵.۴
۸۳	روش تبدیل فوریه برای اندازه گیری فاز از روی شدت	۲.۵.۴
۸۴	چیدمان آزمایش و نتایج بدست آمده	۳.۵.۴
۸۸	اندازه گیری ضریب پخش با استفاده از پراش فرنل از یک گوه فازی	۶.۴
۸۸	پراش فرنل از مرز جانبی گوه واقع در محیطی با گرادیان ضریب شکست	۱.۶.۴
۹۰	چیدمان آزمایش و نتایج بدست آمده	۲.۶.۴
۹۵	جمع بندی و کارهای پیش رو	۷.۴
۹۷	مراجع	
۱۰۵	واژه نامه فارسی به انگلیسی	
۱۱۲	واژه نامه فارسی به انگلیسی	

لیست تصاویر

- ۱.۱ روشی برای بدست آوردن انتگرال هویگنس-فرنل ۶
- ۲.۱ بدست آوردن قضیه انتگرالی کیرشهف: انتگرال گیری در v ، حجم بین سطوح S و S' انجام می گیرد. ۹
- ۳.۱ بدست آوردن فرمول پراش فرنل-کیرشهف ۱۱
- ۴.۱ پراش از روزنه Σ واقع در صفحه ای تخت. ابعاد روزنه در مقایسه با طول موج بزرگ و در مقایسه با فواصل نقاط P_0 و P از صفحه کوچک هستند. ۱۳
- ۵.۱ رفتار پارامترهای C و S بر حسب α و مارپیچ کورنو ۱۶
- ۶.۱ نقش پراش فرنل از لبه پرده و نمایه توزیع شدت بهنجار شده آن ۱۸
- ۷.۱ نمایش هندسی پراش فرنل از پله فازی یک بعدی در بازتاب ۲۰
- ۸.۱ شمایی از چیدمان آزمایش مربوط به اندازه گیری ضخامت لایه های نازک؛ NF ، L ، L_1 ، L_2 ، TF ، CCD و PC به ترتیب نشان دهنده لیزر، فیلتر، عدسی اول، عدسی دوم، لایه نازک، آشکارساز شدت و کامپیوتر هستند. [۱۱] ۲۳
- ۹.۱ نقش پراش فرنل و نمایه توزیع شدت حاصل از یک سیم (a) ، یک شکاف (b) و ترکیب آنها (c) و نقش پراش فرنل از دو نیم صفحه و نمایه توزیع شدت حاصل $(d - e)$ و ترکیب آنها (f) ۲۵

۱۰.۱	میدان پراشیده از یک تک شکاف (a) و برهم نهی سازنده (b) و ویرانگر (c)
۲۶	میدان‌های پراشیده از دو شکاف واقع در دو بازوی تداخل سنج ماخ-زنر
۲۷	۱۱.۱ چیدمان آزمایشی مربوط به اندازه‌گیری گرادیان دما در اطراف یک سیم داغ
۳۰	۱۲.۱ چیدمان آزمایشی مربوط به اندازه‌گیری جابجایی‌های نانومتری
۳۲	۱.۲ نمایش عبور یک موج تخت از سطح جداکننده دو محیط شفاف
۳۴	۲.۲ نحوه استفاده از زاویه حد برای اندازه‌گیری ضریب شکست جامدات و مایعات
۳۶	۳.۲ نمای شماتیک از شکست سنج آبه
۳۷	۴.۲ شکست سنج پلفریش
۳۸	۵.۲ شکست سنج V شکل
۳۹	۶.۲ اندازه‌گیری ضریب شکست با استفاده از زاویه انحراف مینیمم توسط منشور
۴۱	۷.۲ بکارگیری تداخل سنج فیزو برای اندازه‌گیری ضریب شکست
۴۲	۸.۲ چیدمان آزمایشی شکست سنجی با استفاده از تداخل سنجی تالبوت [۳۳]
۴۴	۹.۲ استفاده از پراش سنجی غوطه‌وری برای اندازه‌گیری ضریب شکست مایعات
۴۹	۱.۳ نمودار ضریب شکست در دو زمان مختلف و تفاضل آنها
۵۳	۲.۳ چیدمان آزمایشی تمام‌نگاری دیجیتالی جهت اندازه‌گیری ضریب پخش
۵۶	۳.۳ چیدمان آزمایشی مربوط به اندازه‌گیری ضریب پخش به روش انحراف سنجی ماره [۳۹]
۵۸	۱.۴ نمایش هندسی پراش فرنل از یک پله فازی یک بعدی به ارتفاع h
۶۱	۲.۴ نقش پراش فرنل و نمایه شدت آن از پله فازی به ارتفاع صفر و ضرایب بازتاب $r_r = 0/8$ و $r_l = 1$
۶۲	۳.۴ نقش پراش فرنل و نمایه توزیع شدت آنها برای پله‌های فازی یک بعدی با ضرایب بازتاب یکسان و ارتفاع‌های مختلف

- ۴.۴ نمودار نمایانی فریزهای پراش فرنل از یک پله فازی یک بعدی با ضرایب بازتاب
یکسان بر حسب ارتفاع پله و نمودار برازش شده بر آن ۶۳
- ۵.۴ پله فازی به ارتفاع h در معرض برخورد جبهه موج تخت با زاویه فرود θ قرار گرفته
است. ۶۴
- ۶.۴ پله فازی یک بعدی در عبور ۶۵
- ۷.۴ پله فازی متغیر یک بعدی در عبور ۶۶
- ۸.۴ تشکیل نقش پراش در اثر تغییر ناگهانی در مشتق اول فاز ۶۹
- ۹.۴ نقش پراش و نمایه توزیع شدت آن برای دو صفحه متقاطع با ضرایب بازتاب یکسان
که نسبت به هم زاویه 179° می‌سازند. ۶۹
- ۱۰.۴ نمایش هندسی پراش فرنل از یک پله فازی دو بعدی به ارتفاع h ، طول a و عرض b ۷۰
- ۱۱.۴ نقش پراش فرنل از یک پله فازی دو بعدی به ارتفاع $h = \frac{\lambda}{\lambda}$ ، طول $a = 10\text{mm}$ و
عرض $b = 10\text{mm}$ ۷۳
- ۱۲.۴ وقتی یک گوه فازی با زاویه راس کوچک در معرض تابش باریکه تکفام قرار می‌گیرد،
نور عبوری از دو سمت سطح هاشور خورده باعث تشکیل نقش پراش فرنل روی
پرده می‌شود. ۷۴
- ۱۳.۴ وقتی یک گوه فازی با زاویه راس کوچک در معرض تابش باریکه تکفام قرار می‌گیرد،
نور عبوری از دو سمت سطح هاشور خورده باعث تشکیل نقش پراش فرنل روی
پرده می‌شود. ۷۵
- ۱۴.۴ چیدمان آزمایشی برای اندازه‌گیری ضریب شکست بوسیله پراش فرنل از گوه فازی ۷۷
- ۱۵.۴ نقش پراش نور موازی شده لیزر هلیوم-نئون از گوه‌ای از جنس BK7 و به زاویه
راس $\alpha = 198^\circ$ وقتی که در (a) هوا (b) آب، (c) استون، (d) محلول ۳٪
اتانول در آب و (e) محلول ۸٪ اتانول در آب قرار گرفته است. ۷۸

- ۱۶.۴ نمودار ضریب شکست محلول آب و اتانول بر حسب غلظت اتانول که به روش
 ۷۹ ضریب شکست سنجی از طریق پراش فرنل از لبه گوه بدست آمده است.
- ۱۷.۴ تیغه شفاف به ضخامت h واقع در محیطی با گرادیان ضریب شکست $n(y)$ در
 معرض تابش باریکه تکفام موازی، باریکه‌های عبوری از تیغه و محیط اطراف نقش
 ۸۲ پراش فرنل ایجاد می‌کنند.
- ۱۸.۴ نقش پراش فرنل از لبه تیغه‌ای واقع در محیط پخش در زمان‌های مختلف ۸۲
- ۱۹.۴ نقش پراش فرنل از لبه تیغه‌ای واقع در محیط پخش در زمان‌های مختلف ۸۵
- ۲۰.۴ توزیع شدت $(a - b)$ و نمایه فاز $(c - d)$ در مرکز نقش پراش (خط $x = 0$) از لبه
 تیغه‌ای واقع در محیط پخش در زمان‌های $t = 3^{\circ}min$ و $t = 1^{\circ}min$ و $(d$
 ۸۶ و $b)$
- ۲۱.۴ نمایه ضریب شکست داخل مخزن پخش در زمان‌های $t_1 = 3^{\circ}min$ و $t_2 =$
 ۸۷ $1^{\circ}min$ و تفاضل آنها (b)
- ۲۲.۴ نمایش هندسی پراش فرنل از لبه گوه‌ای با زاویه راس کوچک α واقع در محیطی با
 ۸۹ گرادیان ضریب شکست $n(y, t)$
- ۲۳.۴ نقش پراش فرنل از لبه تیغه‌ای واقع در محیط پخش در زمان‌های مختلف ۹۰
- ۲۴.۴ نقش پراش فرنل از لبه گوه‌ای با زاویه راس $\alpha = 58.6^{\circ}$ واقع در محیط پخش در
 ۹۱ زمان‌های مختلف پس از شروع پخش
- ۲۵.۴ توزیع شدت در مرکز نقش پراش فرنل از لبه گوه‌ای با زاویه راس $\alpha = 58.6^{\circ}$
 ۹۲ واقع در محیط پخش $(a) t_1 = 3^{\circ}min$ و $(b) t_2 = 12^{\circ}min$
- ۲۶.۴ نمایه فاز مربوط به توزیع شدت در مرکز نقش پراش فرنل از لبه گوه‌ای با زاویه راس
 ۹۳ $\alpha = 58.6^{\circ}$ واقع در محیط پخش $(a) t_1 = 3^{\circ}min$ و $(b) t_2 = 12^{\circ}min$

۲۷.۴ نمایه ضریب شکست در داخل مخزن پخش در زمان‌های $t_1 = 30\text{min}$ و $t_2 =$

۹۴ (a) 120min و تفاضل آنها (b)

لیست جداول

- ۱.۴ ضریب شکست سه مایع متفاوت ۷۹
- ۲.۴ ضریب پخش در بازه‌های زمانی مختلف در پخش آب و محلول ۲٪ ساکاروز-آب
که با استفاده از پراش فرنل از لبه یک تیغه فازی واقع در داخل مخزن پخش بدست
آمده است. ۸۷
- ۳.۴ ضریب پخش در بازه‌های زمانی مختلف در پخش آب و محلول ۲٪ ساکاروز-آب
که با استفاده از نقش پراش فرنل از لبه یک گوه فازی به زاویه راس $\alpha = 58.6^\circ$ ،
واقع در داخل مخزن پخش اندازه‌گیری شده است. ۹۴

فصل اول

پراش فرنل از پله‌های فازی

۱.۱ مقدمه

بیشتر پدیده‌هایی که انسان در زندگی روزمره مشاهده می‌کند، دلالت بر انتشار راستخط نور دارد. باریکه‌ای از نور خورشید، باریکه نور چراغ قوه و باریکه‌ای از نور لیزر همگی انتشار راستخط نور را در ذهن انسان تداعی می‌کنند. بدون شک این خاصیت نور است که منجر به تفکر ذره‌ای بودن نور شده است. به هر حال آزمایش‌ها و پدیده‌های مختلف اپتیکی هم وجود دارند، که انتشار راستخط نور را زیر سوال می‌برند. آزمایش دو شکاف یانگ^۱ و لکه پواسون^۲، لکه نوری که در مرکز سایه هندسی قرص کوچکی که در مسیر نور قرار می‌گیرد، تشکیل می‌شود، از جمله این آزمایش‌ها هستند. تداخل و پراش نور شواهد تاریخی موجی بودن نور هستند. پراش نور به عنوان مثال وقتی اتفاق می‌افتد که مانعی کدر در مسیر نور قرار گیرد و قسمتی از مسیر باریکه نور را مسدود کند، در این صورت اثرات پیچیده‌ای در

^۱ Young's experiment

^۲ Poisson's spot

لبه ناحیه مسدود شده مشاهده می‌شود. حتی اگر مانع کدر نباشد و تغییرات تندی در دامنه یا فاز جبهه موج نور عبوری ایجاد شود، این اثرات مشاهده می‌شوند. به عنوان مثال خراش‌های کوچک ایجاد شده روی یک تیغه شیشه‌ای می‌توانند نقش‌های پراش روی نور عبور کرده ایجاد کنند. پراش نور اهمیت زیادی به جهت تایید سرشت موجی نور دارد. همچنین به خاطر محدود کردن توان تفکیک در قطعات اپتیکی، تاثیر در شکل‌گیری تصاویر اپتیکی و کاربردهایی که شکل‌های مختلف آن در اندازه‌گیری‌های اپتیکی دارند، حایز اهمیت زیادی است.

۲.۱ تاریخچه

اولین مرجع تاریخی برای پدیده پراش در کارهای لئوناردو داوینچی^۱ مشاهده می‌شود. گریمالدی^۲ (۱۶۶۳-۱۶۱۸) اولین شخصی است که به پدیده پراش نور در یک کتاب به شکل دقیق اشاره می‌کند. گزارش او در سال ۱۶۹۵ مدت کوتاهی پس از مرگش به چاپ رسید [۱]. نظریه ذره‌ای نور که در آن زمان مورد قبول بود و انتشار پرتو نور را به شکل دقیق توصیف می‌کرد، در توصیف پدیده پراش ناتوان ماند. به نظر می‌رسد، کریستین هویگنس^۳ (۱۶۹۵-۱۶۲۹) اولین مدافع نظریه موجی نور، از گزارش گریمالدی اطلاع نداشت؛ در غیر این صورت جهت تایید نظرات خود به آن اشاره می‌کرد. هویگنس نظریه موجی خود را که بعداً به عنوان *اصل هویگنس* شناخته شد، به این صورت ارایه کرد: هر نقطه روی یک جبهه موج را می‌توان یک چشمه ثانویه امواج کروی در نظر گرفت که اینها نیز با سرعت نور در محیط پیش می‌روند و پوش مماس بر این موجک‌ها، جبهه موج جدید را در زمان بعدی تشکیل می‌دهد. به خاطر تسلط نظریه ذره‌ای نور که توسط ایزاک نیوتن^۴ (۱۷۲۷-۱۶۴۲) ارایه شده

^۱ Leonardo da vinci

^۲ Grimaldi

^۳ Christian Huygens

^۴ Isaac Newton

بود، توصیف پدیده پراش توسط نظریه موجی نور تا اوایل قرن نوزدهم به تعویق افتاد. در شروع قرن نوزدهم آزمایش معروف توماس یانگ^۱ (۱۷۷۳-۱۸۲۹) نظریه موجی نور را تقویت کرد. در سال ۱۸۱۸ آگوستین فرنل^۲ (۱۷۸۸-۱۸۲۷) با تلفیق نظریه هویگنس و یانگ، و ارتقا اصل هویگنس، قادر به توصیف پدیده پراش از لبه‌های مستقیم و روزنه‌های کوچک شد. ماکسول^۳ (۱۸۳۱-۱۸۷۹) در سال ۱۸۶۰ در یک گام مهم نشان داد که نور یک موج الکترومغناطیسی است. در سال ۱۸۸۲ کیرشهف^۴ (۱۸۲۴-۱۸۸۷) برای نظرات هویگنس و فرنل مبنای ریاضی محکمی پیدا کرد. او موفق شد نشان دهد که دامنه و فازهای توصیف شده توسط فرنل در واقع نتیجه‌ای منطقی از طبیعت موجی نور است. همچنین او توانست ضریب میل را که در نظریه هویگنس-فرنل نامعلوم مانده بود، در معادلات خود بدست آورد [۱].

۳.۱ نظریه پراش

در کتاب‌ها و مقالات علمی، لغت پراش جهت بیان مفاهیم مختلفی بکار می‌رود که در زیر به آنها اشاره می‌کنیم [۲]:

پراش: انحراف کوچک از انتشار راستخط معنی اولیه لغت پراش، انحراف کوچک از انتشار راستخط نور است که به خاطر بازتاب یا شکست نباشد. این انحراف وقتی اتفاق می‌افتد که مانعی قسمتی از مسیر باریکه نور را مسدود کند. نظریه مناسب برای توصیف آن، نظریه هویگنس-فرنل است. این مفهوم از پراش هم شامل نقش پراش فرنل و هم نقش پراش فرانهورفر است و نکات زیر در مورد آن برقرار است.

^۱ Thomas Young

^۲ Augustin Jean Fresnel

^۳ James Clerk Maxwell

^۴ Gustav Kirchhoff

الف- قوانین پراش برای امواج اسکالر (مانند صوت) و نور یکسان هستند.

ب- اثرات پراش مستقل از قطبش هستند و قطبش نور فرودی پایسته می ماند.

ج- پراش به جنس جسم بستگی ندارد و فقط به شکل هندسی آن بستگی دارد.

پراش: حرکت موج در حضور یک مانع با اندازه، شکل و ترکیب مشخص واژه پراش به ندرت برای بیان این مفهوم از پراش، که کامل ترین توصیف از آن است، بکار می رود. در مواجهه با مسائل پراش در این مورد باید معادلات ماکسول را با در نظر گرفتن شرایط مرزی بطور کامل حل کرد. با این روش فقط شکل های هندسی خیلی ساده را می توان بطور دقیق حل کرد. معمولا این مفهوم از پراش را با واژه پراکنندگی جایگزین می کنند و واژه پراش را برای بیان مفهوم محدودتر قسمت اول که فقط برای ذرات با اندازه های خیلی بزرگ و زاویه پراکنندگی خیلی کوچک صادق است، استفاده می کنند.

فرمول پراش: یک رابطه انتگرالی که طبق آن میدان در یک نقطه بر حسب میدان ها و مشتق آنها روی سطح بسته ای که آن نقطه را احاطه کرده است، بدست می آید. این فرمول را انتگرال هلمهولتز- کیرشهف نیز می نامند و در مورد آن باید به چند نکته دقت کرد:

اول اینکه این فرمول ابتدا برای امواج اسکالر بدست آمده است و سپس فرمولبندی مشابهی برای امواج الکترومغناطیسی ارائه شده است. در مورد امواج الکترومغناطیس باید قطبش نور را هم در نظر گرفت، چون میدان های الکتریکی (E) و مغناطیسی (H) بطور مشابهی در رابطه وارد نمی شوند و در نتیجه جواب های متفاوتی برای قطبش های متفاوت بدست می آید.

دوم اینکه گرچه این رابطه دقیق است، ولی هیچ جواب دقیقی برای مسائل کلی مطرح شده در قسمت دوم ارائه نمی دهد. چون برای چنین مسائلی میدان در تمام فضا نامعلوم است و نمی توان سطحی را پیدا کرد که میدان روی همه نقاط آن معلوم باشد. کیرشهف سطح مذکور را صفحات کدر و روزنه های موجود در آنها بعلاوه سطح دیگری حول نقطه مورد نظر و در فاصله خیلی دور از آن در نظر گرفت و فرض کرد که میدان در سمت تاریک صفحات کدر صفر و در روزنه ها برابر با میدان فرودی است. این فرض جز در مورد طول موج های خیلی کوچک درست نیست و در آن صورت هم رابطه کیرشهف به

رابطه فرنل ساده می‌شود [۲].

سوم اینکه فرمول کیرشهف یک معمای مهم را حل کرد و آن این بود که چرا نمی‌توان جبهه موج در خلاف جهت انتشار را بطور مشابه بازسازی کرد.

پراش: پراکندگی توسط یک ذره تخت شامل پراکندگی از صفحات تخت حاوی روزنه‌ها، نیم صفحه‌ها و مانند آن می‌شود. در برخی مواقع نظریه مربوط به مسائلی از این نوع، نظریه پراش سطحی^۱ نامیده می‌شود. از لحاظ تاریخی علاقه‌مندی به مسائل پراش از سطوح تخت به شرایط آزمایشی برمی‌گردد. در واقع طبق نظریه پراش ذکر شده در قسمت اول، یک جسم نازک و یک جسم ضخیم با شکل هندسی یکسان، نقش پراش یکسانی ایجاد می‌کنند. در نتیجه انتخاب یک مساله که از لحاظ ریاضی تخت باشد، منطقی به نظر می‌رسد [۲].

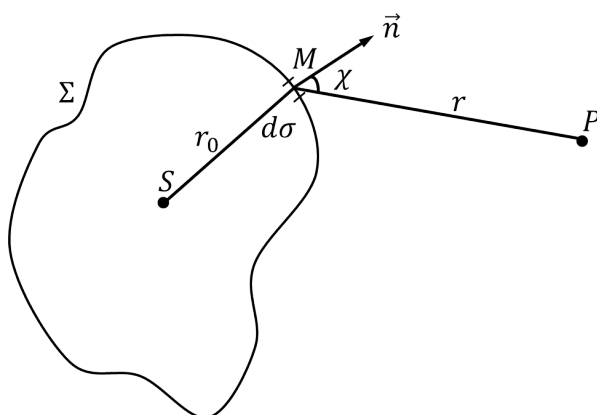
مسائل پراش جزء مشکل‌ترین مسائلی است که در اپتیک با آنها مواجه می‌شویم. جواب‌های دقیق برای مسائل پراش به ندرت پیدا می‌شوند. اولین جواب دقیق در سال ۱۸۹۶ توسط سامرفیلد^۲ برای یک نیم صفحه فلزی بی‌نهایت با استفاده از حل معادلات ماکسول با در نظر گرفتن شرایط مرزی بدست آمد [۱]. بعد از آن تعداد اندکی مساله به شکل دقیق حل شده است. در بیشتر موارد عملی از روش‌های تقریبی جهت غلبه بر مشکلات ریاضی استفاده شده است. به جرات می‌توان گفت که در میان این روش‌ها، قویترین و مناسب‌ترین روش برای حل بیشتر مسائلی که در اپتیک با آنها مواجه می‌شویم، نظریه هویگنس-فرنل است.

۱.۳.۱ اصل هویگنس-فرنل

فرنل اصل هویگنس را با اضافه کردن این فرضیه که موجک‌های ثانویه می‌توانند با هم تداخل کنند، تکمیل کرد. این تعبیر که به **اصل هویگنس-فرنل** معروف است، پیش نیاز لازم برای بررسی مقدماتی

^۱ planar diffraction theory

^۲ Sommerfeld



شکل ۱.۱: روشی برای بدست آوردن انتگرال هویگنس-فرنل

پراش نور را فراهم می‌سازد. فرض کنید S یک چشمه نقطه‌ای نور باشد و ما بخواهیم میدان را در نقطه P تحت شرایطی که بین این نقطه و چشمه نور صفحه‌ای شامل روزنه‌ها، مانع‌های کدر و یا نیم صفحه‌ها قرار داشته باشند، حساب کنیم. برای حل مساله، سطح بسته Σ را حول چشمه نقطه‌ای نور در نظر می‌گیریم (شکل ۱.۱). طبق اصل هویگنس-فرنل هر المان $d\sigma$ از این سطح یک چشمه نقطه‌ای نور برای موجک‌های کروی ثانویه است. نقطه M را روی سطح Σ در نظر می‌گیریم. فاصله چشمه نقطه‌ای S تا این نقطه را با r_0 و فاصله این نقطه تا P را با r نشان می‌دهیم. همچنین زاویه بین عمود بر سطح Σ ، \hat{n} و MP را با χ نشان می‌دهیم. برای سادگی فرض کنید چشمه نور، موج اپتیکی تکفام گسیل می‌کند، در نتیجه میدان در نقاط دیگر فضا نیز تکفام خواهد بود و می‌توان آن را به شکل زیر بیان کرد.

$$V(\mathbf{r}, t) = U(\mathbf{r})e^{i\omega t} \quad (1.1)$$

که ω فرکانس و $U(\mathbf{r})$ دامنه مختلط نوسانها است. طبق اصل هویگنس-فرنل میدان در نقطه P حاصل ترکیب موجک‌های منتشر شده از المان‌های سطح Σ است:

$$U(P) = \int_{\Sigma} U(M) \frac{\exp(-ikr)}{r} K(\chi) d\sigma \quad (2.1)$$

که $U(P)$ و $U(M)$ ، دامنه‌های مختلط میدان در نقاط P و M هستند و

$$k = \frac{\omega}{c} = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (3.1)$$