



دانشگاه کردستان
دانشکده علوم پایه
گروه فیزیک

عنوان:

حل معادلات ماکسول برای موجبرهای معکوس، متقارن و معمولی و مقایسه‌ی
نتایج تجربی آرایش‌های مختلف میکروسکوپ فلورسنس میدان میرای موجبری

پژوهشگر:

قادر زایر

استاد راهنما:

دکتر عبدالله حسن زاده

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته فیزیک گرایش نظری

مهر ماه ۱۳۹۰

کلیه حقوق مادی و معنوی مترتب بر نتایج مطالعات،
ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع
این پایان‌نامه (رساله) متعلق به دانشگاه کردستان است.

تعهد نامه

اینجانب قادر زایر دانشجوی کارشناسی ارشد رشته فیزیک گرایش نظری دانشگاه کردستان، دانشکده علوم پایه گروه فیزیک تعهد می‌نمایم که محتوای این پایان نامه نتیجه تلاش و تحقیقات خود بوده و از جایی کپی- برداری نشده و به پایان رسانیدن آن نتیجه تلاش و مطالعات مستمر اینجانب و راهنمایی و مشاوره استاد عزیز جناب آقای دکتر عبدالله حسن زاده بوده است.

با تقدیم احترام

قادر زایر

۱۳۹۰/۷/۴



دانشگاه کردستان
دانشکده علوم پایه
گروه فیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته فیزیک گرایش نظری

عنوان:

حل معادلات ماکسول برای موجبرهای معکوس، متقارن و معمولی و مقایسه‌ی
نتایج تجربی آرایش‌های مختلف میکروسکوپ فلورسنس میدان میرای موجبری

پژوهشگر:

قادر زایر

در تاریخ ۱۳۹۰/۷/۴ توسط کمیته تخصصی و هیأت داوران زیر مورد بررسی قرار گرفت و با نمره و درجه به تصویب رسید.

هیأت داوران نام و نام خانوادگی مرتبه علمی امضاء

استادیار	دکتر عبدالله حسن زاده	۱-استاد راهنما
استاد	دکتر رستم مرادیان	۲-استاد داور خارجی
استادیار	دکتر زهرا عالمی پور	۳-استاد داور داخلی

مهر و امضاء معاون آموزشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده

مهر و امضاء گروه

تقدیم به.....

تمام کسانی که علمدار صدیق علم شناخت خالق
و علم خدمت به مخلوق برای رسیدن وی
به خوشبختی می باشند.

تقدیر و تشکر

از خدای مهربان که با وجود خطاهای فراوانم به من پشت نکرد،
از مادر مرحوم و پدر عزیزم که در طول زندگی مرا از لطفشان بی بهره نکردند،
از همسر و فرزندانم خصوصاً در طول این مدت با وجود مشکلات و تنهایی باعث دلگرمی من بودند،
و همچنین از استاد راهنمای ارجمندم، جناب آقای دکتر عبدالله حسن زاده که با گشاده رویی و اخلاق نیکو
زحمت فراوانی را برای راهنمایی من در این رساله تقبل فرمودند، کمال تشکر و قدردانی را دارم
و از آقای ابوالحسن محمدی هم کلاسی و دوست عزیزم که در بسیاری از محاسبات کمک و راهنمایی‌های
زیادی را انجام دادند سپاس گزارم.

چکیده

میکروسکوپ‌های فلورسنس میدان میرا، ابزارهای نوری قدرتمندی هستند که به کمک آن‌ها می‌توان نقاط تماس سلول و موجبر را تصویر برداری کرد و اثرات داروها بر روی سلول‌ها را مطالعه نمود. در این میکروسکوپ‌ها، موجبرها نقش اصلی را برای روشن نمودن سطح سلول که با مولکول‌های فلورسان برچسب زده شده‌اند ایفا می‌کنند. بعد از جذب نور توسط مولکول‌های فلورسان در برگشت نور از آن‌ها، نور با طول موج بزرگ‌تری توسط میکروسکوپ جمع می‌شود. پرتوهای نور تحت زوایای خاصی وارد موجبر می‌شوند. با حل معادلات ماکسول برای ساختار موجبر می‌توان در هر سه محیط (پوشش، فیلم و زیرلایه) توسط میدان الکتریکی برای مدهای متفاوت موجبر را به دست آورد و عمق نفوذ و شدت نور رسیده به سطح سلول که به ضرایب شکست محیط‌های موجبر، طول موج نور تابشی، ضخامت فیلم موجبر و زاویه تابش بستگی دارد را محاسبه کرد.

ما در این پایان نامه ابتدا موجبرهای معمولی، معکوس و متقارن را با تعداد مد دلخواه طراحی نموده و پارامترهای مهم در میکروسکوپی میدان میرای موجبری را برای سه موجبر معمولی، معکوس و متقارن را با حل معادلات ماکسول برای هر سه موجبر در سه طول موج 488nm ، 543nm و 633nm را با در نظر گرفتن ضرایب شکست متفاوت در موجبرها $n_s=1/5$ و $n_f=1/77$ ، $n_c=1/33$ ، $n_s=1/58$ ، $n_c=1/33$ ، $n_f=1/58$ و $n_c=1/33$ برای موجبر معمولی، $n_s=1/2$ و $n_f=1/49$ ، $n_c=1/34$ برای موجبر معکوس و $n_s=1/34$ و $n_f=1/49$ ، $n_c=1/34$ برای موجبر متقارن و همچنین ضرایب شکست یکسان در فیلم و پوشش و متفاوت در زیرلایه (موجبر معمولی $n_s=1/5$ و $n_f=1/77$ ، $n_c=1/33$ ؛ موجبر معکوس $n_s=1/2$ و $n_f=1/77$ ، $n_c=1/33$ ؛ و در موجبر متقارن $n_s=1/33$ و $n_f=1/77$ ، $n_c=1/33$) باشد را محاسبه کرده‌ایم. هنگام طراحی موجبرها ضرایب شکست و طول موج را می‌توانیم به طور دلخواه انتخاب کرده و برای موجبر با تعداد مد مشخص ضخامت‌های لازم را محاسبه کرده‌ایم.

کلمات کلیدی: موجبر، میدان میرا، معادلات ماکسول، ضریب شکست، عمق نفوذ، شدت میدان

الکتریکی، موجبر معمولی، موجبر معکوس، موجبر متقارن، میکروسکوپ فلورسنس میدان میرای موجبری

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۱ فصل اول (رفتار نور در محیط و عوامل مؤثر بر انتشار آن).....	۱
۱-۱ مقدمه.....	۱
۲-۱ طبیعت نور.....	۱
۳-۱ معادله موج ماکسول و امواج واگرا.....	۴
۴-۱ ضریب شکست.....	۶
۵-۱ نفوذپذیری نسبی و ضریب شکست.....	۷
۶-۱ سرعت گروه و شاخص گروه.....	۸
۷-۱ میدان مغناطیسی، چگالی شار تابشی و بردار پوئین تینگ.....	۹
۸-۱ قانون اسنل و بازتاب درونی کامل.....	۱۰
۹-۱ معادلات فرنل.....	۱۲
۱۰-۱ زاویه ی بروستر.....	۱۴
۱۱-۱ شدت نور در پرتوهای بازتاب و عبوری (شکست).....	۱۵
۱۲-۱ موجبر دی الکتریک و فیبرهای نوری.....	۱۶
۱۳-۱ شکل هندسی انتشار موجبر.....	۱۹
۱۴-۱ پراکندگی میان مدی.....	۱۹
۱۵-۱ ضریب شکست پله ای.....	۲۰
۱۶-۱ روزه عددی یا گشودگی عددی.....	۲۴
۱۷-۱ پاشیدگی در فیبرهای تک مد.....	۲۵
۱۸-۱ فیبر نوری با ضریب شکست غیر ثابت.....	۲۶
۱۹-۱ جذب نور و پراکندگی.....	۲۷
۱-۱۹-۱ جذب.....	۲۸
۲-۱۹-۱ پراکندگی.....	۲۸
۳-۱۹-۱ خمیدگی.....	۲۸
۲۰-۱ نتیجه گیری.....	۲۹

۳۰	..... فصل دوم (حل معادلات ماکسول)
۳۰	..... ۱-۲ مقدمه
۳۱	..... ۲-۲ موجرهایی با ضرایب شکست متفاوت
۳۷	..... ۳-۲ معادلات ماکسول
۴۰	..... ۴-۲ رسم مد در موجر
۴۲	..... ۵-۲ حالت مد نشتی
۴۳	..... ۶-۲ محاسبات و تجزیه و تحلیل مقادیر عمق نفوذ و شدت میدان الکتریکی در موجرها
۴۴	..... ۱-۶-۲ بررسی موجرها با ضرایب شکست متفاوت
۴۴	..... ۱-۱-۶-۲ عمق نفوذ
۵۱	..... ۲-۱-۶-۲ شدت میدان الکتریکی در محیط‌های موجر
۵۸	..... ۳-۱-۶-۲ شدت میدان الکتریکی کل در موجر
۶۴	..... ۴-۱-۶-۲ نسبت شدت میدان الکتریکی در محیط پوشش به شدت میدان الکتریکی کل $(\frac{I_C}{I_T})$
۸۵	..... ۲-۶-۲ موجرها با ضرایب شکست یکسان در فیلم و ضرایب شکست یکسان در محیط پوشش
۸۵	..... ۱-۲-۶-۲ عمق نفوذ
۸۹	..... ۲-۲-۶-۲ شدت در محیط پوشش
۹۳	..... ۳-۲-۶-۲ شدت کل
۹۷	..... ۴-۲-۶-۲ نسبت شدت در محیط پوشش به شدت کل $(\frac{I_C}{I_T})$
۱۰۶	..... ۷-۲ نحوه استفاده از موجر
۱۰۸	..... ۸-۲ خلاصه و نتیجه‌گیری
۱۱۰	..... منابع
۱۱۱	..... پیوست

فهرست جدول‌ها

عنوان

صفحه

جدول (۱-۲) ضخامت‌های مینیمم، ماکزیمم و میانگین فیلم موجبرهای معمولی، معکوس و متقارن با ضرایب شکست متغیر در سه طول موج	۳۵
جدول (۲-۲) ضخامت فیلم موجبرهای معمولی، معکوس و متقارن با ضرایب شکست برابر در سه طول موج.....	۳۶
جدول (۳-۲) موجبر معمولی $n_f=1/77$ و $n_s=1/5$ و $n_c=1/33$ و $\lambda=488\text{ nm}$ و $d(\text{max})=2/596\text{ }\mu\text{m}$	۷۱
جدول (۴-۲) موجبر معمولی $n_f=1/77$ و $n_s=1/5$ و $n_c=1/33$ و $\lambda=488\text{ nm}$ و $d(\text{med})=2/470\text{ }\mu\text{m}$	۷۱
جدول (۵-۲) موجبر معمولی $n_f=1/77$ و $n_s=1/5$ و $n_c=1/33$ و $\lambda=488\text{ nm}$ و $d(\text{min})=2/338\text{ }\mu\text{m}$	۷۲
جدول (۶-۲) موجبر معکوس $n_f=1/58$ و $n_s=1/2$ و $n_c=1/33$ و $\lambda=488\text{ nm}$ و $d(\text{max})=2/860\text{ }\mu\text{m}$	۷۲
جدول (۷-۲) موجبر معکوس $n_f=1/58$ و $n_s=1/2$ و $n_c=1/33$ و $\lambda=488\text{ nm}$ و $d(\text{med})=2/720\text{ }\mu\text{m}$	۷۳
جدول (۸-۲) موجبر معکوس $n_f=1/58$ و $n_s=1/2$ و $n_c=1/33$ و $\lambda=488\text{ nm}$ و $d(\text{min})=2/575\text{ }\mu\text{m}$	۷۳
جدول (۹-۲) موجبر متقارن $n_f=1/49$ و $n_s=1/34$ و $n_c=1/34$ و $\lambda=488\text{ nm}$ و $d(\text{max})=3/744\text{ }\mu\text{m}$	۷۴
جدول (۱۰-۲) موجبر متقارن $n_f=1/49$ و $n_s=1/34$ و $n_c=1/34$ و $\lambda=488\text{ nm}$ و $d(\text{med})=3/56\text{ }\mu\text{m}$	۷۴
جدول (۱۱-۲) موجبر متقارن $n_f=1/49$ و $n_s=1/34$ و $n_c=1/34$ و $\lambda=488\text{ nm}$ و $d(\text{min})=3/371\text{ }\mu\text{m}$	۷۵
جدول (۱۲-۲) موجبر معمولی $n_f=1/77$ و $n_s=1/5$ و $n_c=1/33$ و $\lambda=543\text{ nm}$ و $d(\text{max})=2/889\text{ }\mu\text{m}$	۷۵
جدول (۱۳-۲) موجبر معمولی $n_f=1/77$ و $n_s=1/5$ و $n_c=1/33$ و $\lambda=543\text{ nm}$ و $d(\text{med})=2/740\text{ }\mu\text{m}$	۷۶
جدول (۱۴-۲) موجبر معمولی $n_f=1/77$ و $n_s=1/5$ و $n_c=1/33$ و $\lambda=543\text{ nm}$ و $d(\text{min})=2/601\text{ }\mu\text{m}$	۷۶
جدول (۱۵-۲) موجبر معکوس $n_f=1/58$ و $n_s=1/2$ و $n_c=1/33$ و $\lambda=543\text{ nm}$ و $d(\text{max})=3/183\text{ }\mu\text{m}$	۷۷
جدول (۱۶-۲) موجبر معکوس $n_f=1/58$ و $n_s=1/2$ و $n_c=1/33$ و $\lambda=543\text{ nm}$ و $d(\text{med})=3/030\text{ }\mu\text{m}$	۷۷
جدول (۱۷-۲) موجبر معکوس $n_f=1/58$ و $n_s=1/2$ و $n_c=1/33$ و $\lambda=543\text{ nm}$ و $d(\text{min})=2/865\text{ }\mu\text{m}$	۷۸
جدول (۱۸-۲) موجبر متقارن $n_f=1/49$ و $n_s=1/34$ و $n_c=1/34$ و $\lambda=543\text{ nm}$ و $d(\text{max})=4/167\text{ }\mu\text{m}$	۷۸
جدول (۱۹-۲) موجبر متقارن $n_f=1/49$ و $n_s=1/34$ و $n_c=1/34$ و $\lambda=543\text{ nm}$ و $d(\text{med})=3/960\text{ }\mu\text{m}$	۷۹
جدول (۲۰-۲) موجبر متقارن $n_f=1/49$ و $n_s=1/34$ و $n_c=1/34$ و $\lambda=543\text{ nm}$ و $d(\text{min})=3/751\text{ }\mu\text{m}$	۷۹
جدول (۲۱-۲) موجبر معمولی $n_f=1/77$ و $n_s=1/5$ و $n_c=1/33$ و $\lambda=633\text{ nm}$ و $d(\text{max})=3/368\text{ }\mu\text{m}$	۸۰
جدول (۲۲-۲) موجبر معمولی $n_f=1/77$ و $n_s=1/5$ و $n_c=1/33$ و $\lambda=633\text{ nm}$ و $d(\text{med})=3/200\text{ }\mu\text{m}$	۸۰
جدول (۲۳-۲) موجبر معمولی $n_f=1/77$ و $n_s=1/5$ و $n_c=1/33$ و $\lambda=633\text{ nm}$ و $d(\text{min})=3/032\text{ }\mu\text{m}$	۸۱

- جدول (٢-٢٤) موجبر معكوس $n_f = 1/58$ و $n_s = 1/2$ و $n_c = 1/33$ و $\lambda = 633 \text{ nm}$ و $d(\text{max}) = 3/710 \mu\text{m}$ و $d(\text{min}) = 3/340 \mu\text{m}$ و $d(\text{med}) = 3/530 \mu\text{m}$
- جدول (٢-٢٥) موجبر معكوس $n_f = 1/58$ و $n_s = 1/2$ و $n_c = 1/33$ و $\lambda = 633 \text{ nm}$ و $d(\text{max}) = 3/710 \mu\text{m}$ و $d(\text{min}) = 3/340 \mu\text{m}$ و $d(\text{med}) = 3/530 \mu\text{m}$
- جدول (٢-٢٦) موجبر معكوس $n_f = 1/58$ و $n_s = 1/2$ و $n_c = 1/33$ و $\lambda = 633 \text{ nm}$ و $d(\text{max}) = 3/710 \mu\text{m}$ و $d(\text{min}) = 3/340 \mu\text{m}$ و $d(\text{med}) = 3/530 \mu\text{m}$
- جدول (٢-٢٧) موجبر متقارن $n_f = 1/49$ و $n_s = 1/34$ و $n_c = 1/34$ و $\lambda = 633 \text{ nm}$ و $d(\text{max}) = 4/857 \mu\text{m}$ و $d(\text{min}) = 4/372 \mu\text{m}$ و $d(\text{med}) = 4/620 \mu\text{m}$
- جدول (٢-٢٨) موجبر متقارن $n_f = 1/49$ و $n_s = 1/34$ و $n_c = 1/34$ و $\lambda = 633 \text{ nm}$ و $d(\text{max}) = 4/857 \mu\text{m}$ و $d(\text{min}) = 4/372 \mu\text{m}$ و $d(\text{med}) = 4/620 \mu\text{m}$
- جدول (٢-٢٩) موجبر متقارن $n_f = 1/49$ و $n_s = 1/34$ و $n_c = 1/34$ و $\lambda = 633 \text{ nm}$ و $d(\text{max}) = 4/857 \mu\text{m}$ و $d(\text{min}) = 4/372 \mu\text{m}$ و $d(\text{med}) = 4/620 \mu\text{m}$
- جدول (٢-٣٠) موجبر معمولی $n_f = 1/77$ و $n_s = 1/5$ و $n_c = 1/33$ و $\lambda = 488 \text{ nm}$ و $d(\text{med}) = 2/467 \mu\text{m}$
- جدول (٢-٣١) موجبر معكوس $n_f = 1/77$ و $n_s = 1/2$ و $n_c = 1/33$ و $\lambda = 488 \text{ nm}$ و $d(\text{med}) = 1/985 \mu\text{m}$
- جدول (٢-٣٢) موجبر متقارن $n_f = 1/77$ و $n_s = 1/33$ و $n_c = 1/33$ و $\lambda = 488 \text{ nm}$ و $d(\text{med}) = 1/985 \mu\text{m}$
- جدول (٢-٣٣) موجبر معمولی $n_f = 1/77$ و $n_s = 1/5$ و $n_c = 1/33$ و $\lambda = 543 \text{ nm}$ و $d(\text{med}) = 2/745 \mu\text{m}$
- جدول (٢-٣٤) موجبر معكوس $n_f = 1/77$ و $n_s = 1/2$ و $n_c = 1/33$ و $\lambda = 543 \text{ nm}$ و $d(\text{med}) = 2/2085 \mu\text{m}$
- جدول (٢-٣٥) موجبر متقارن $n_f = 1/77$ و $n_s = 1/33$ و $n_c = 1/33$ و $\lambda = 543 \text{ nm}$ و $d(\text{med}) = 2/2085 \mu\text{m}$
- جدول (٢-٣٦) موجبر معمولی $n_f = 1/77$ و $n_s = 1/5$ و $n_c = 1/33$ و $\lambda = 633 \text{ nm}$ و $d(\text{med}) = 3/200 \mu\text{m}$
- جدول (٢-٣٧) موجبر معكوس $n_f = 1/77$ و $n_s = 1/2$ و $n_c = 1/33$ و $\lambda = 633 \text{ nm}$ و $d(\text{med}) = 2/574 \mu\text{m}$
- جدول (٢-٣٨) موجبر متقارن $n_f = 1/77$ و $n_s = 1/33$ و $n_c = 1/33$ و $\lambda = 633 \text{ nm}$ و $d(\text{med}) = 2/574 \mu\text{m}$

فهرست شکل‌ها

صفحه

عنوان

۱ فصل اول

- شکل (۱-۱) نحوه‌ی قرار گرفتن میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی هنگام انتشار امواج ۲
- شکل (۲-۱) قسمتی از یک موج میدان الکتریکی در یک طول موج ۳
- شکل (۳-۱) جبهه‌های موج همراه با بردار انتشار \vec{k} ۴
- شکل (۴-۱) میدان الکتریکی و جهت انتشار موج و همچنین جبهه‌های موج یک موج کروی ۵
- شکل (۵-۱) پرتوهای نور مثل لیزر که در فاصله‌های دور حالت واگرایی می‌گیرند ۶
- شکل (۶-۱) واگرایی یک باریکه نور لیزر ۶
- شکل (۷-۱) وابستگی n و N_g به طول موج در SiO_2 (سیلیکا) خالص ۸
- شکل (۸-۱) امواج نور که از محیطی با ضریب شکست بزرگ‌تر وارد محیطی با ضریب شکست ۱۱
- شکل (۹-۱) پدیده شکست و پدیده زاویه حد و پدیده بازتاب کلی ۱۱
- شکل (۱۰-۱) نحوه قرار گرفتن مؤلفه‌های میدان الکتریکی در صفحه تابش ۱۲
- شکل (۱۱-۱) مؤلفه‌های موازی (E_{\parallel}) و عمود (E_{\perp}) ۱۲
- شکل (۱۲-۱) یک موجبر دی الکتریک با ضرایب شکست n_1, n_2, n_3 ۱۷
- شکل (۱۳-۱) تعدادی از حالت‌ها که با توجه به مقادیر m ۱۸
- شکل (۱۴-۱) مقدار نفوذ میدان الکتریکی در پوشش برای دو طول موج ۲۰
- شکل (۱۵-۱) فیبر نوری با ضریب شکست پله‌ای ۲۱
- شکل (۱۶-۱) نحوه حرکت پرتوها در فیبر ۲۲
- شکل (۱۷-۱) توزیع میدان الکتریکی در فیبر با ضریب شکست پله‌ای ۲۳
- شکل (۱۸-۱) نشان می‌دهد که فقط با زاویه‌های کوچک‌تر از α_{max} می‌توان پرتو تابانید تا در موجبر انتشار یابد ۲۴
- شکل (۱۹-۱) الف) فیبری با ضریب شکست پله‌ای. ب) فیبری با ضریب شکست متغیر ۲۶
- شکل (۲۰-۱) نحوه‌ی حرکت یک پرتو نور در داخل فیبر نوری با ضریب شکست تدریجی ۲۷
- شکل (۲۱-۱) پرتوهای ورودی (سمت چپ) و خروجی (سمت راست) که برابر نیستند ۲۸

۲ فصل دوم

- شکل (۱-۲) موجبر تخت سه لایه که از لایه‌های پوشش، فیلم و شیشه تشکیل شده است ۳۱
- شکل (۲-۲) نمودار ضریب شکست سه موجبر معمولی، متقارن و معکوس ۳۲

- شکل (۳-۲) نحوه حرکت پرتوهای نور در داخل موجبر..... ۳۲
- شکل (۴-۲) تعداد مدهای تشکیل شده از میدان الکتریکی در داخل موجبر ۳۳
- شکل (۵-۲) رسم دو تابع f_p با f_1 (یا f_p با f_p) ۳۴
- شکل (۶-۲) تابش یک پرتو نور تحت زاویه θ به سطح مشترک فیلم موجبر و پوشش..... ۳۸
- شکل (۷-۲) تعداد مدها را از $m=0$ تا $m=9$ ۴۰
- شکل (۸-۲) تفاوت یک مد یکسان $m=1$ در سه موجبر معمولی، معکوس و مقارن..... ۴۲
- شکل (۹-۲) مد نشتی..... ۴۳
- شکل (۱۰-۲) میدان الکتریکی را در محیطهای پوشش، فیل و زیرلایه..... ۴۴
- شکل (۱۱-۲) شیوه قرار گرفتن مجموعه‌ای از ابزارها برای تصویر برداری..... ۱۰۶
- شکل (۱۲-۲) تصاویری که توسط موجبرها گرفته شده است..... ۱۰۷
- شکل (۱۳-۲) تصاویر یک سلول سرطان در حالت‌های مختلف..... ۱۰۸

۲ فصل دوم

۴۶.....	نمودار (۱-۲) عمق نفوذ در موجبر معمولی برای سه طول موج ۴۸۸nm، ۵۴۳nm و ۶۳۳nm
۴۶.....	نمودار (۲-۲) عمق نفوذ در موجبر معکوس برای سه طول موج ۴۸۸nm، ۵۴۳nm و ۶۳۳nm
۴۷.....	نمودار (۳-۲) عمق نفوذ در موجبر متقارن برای سه طول موج ۴۸۸nm، ۵۴۳nm و ۶۳۳nm
۴۸.....	نمودار (۴-۲) عمق نفوذ در طول موج ۴۸۸nm برای موجبرهای معمولی، معکوس و متقارن
۴۸.....	نمودار (۵-۲) عمق نفوذ در طول موج ۵۴۳nm برای موجبرهای معمولی، معکوس و متقارن
۴۹.....	نمودار (۶-۲) عمق نفوذ در طول موج ۶۳۳nm برای موجبرهای معمولی، معکوس و متقارن
۵۰.....	نمودار (۷-۲) عمق نفوذ در موجبر معمولی در طول موج ۴۸۸nm برای ضخامت‌های ماکزیمم، میانگین و مینیمم
۵۰.....	نمودار (۸-۲) عمق نفوذ در موجبر معکوس در طول موج ۵۴۳nm برای ضخامت‌های ماکزیمم، میانگین و مینیمم
۵۱.....	نمودار (۹-۲) عمق نفوذ در موجبر متقارن در طول موج ۶۳۳nm برای ضخامت‌های ماکزیمم، میانگین و مینیمم
۵۳.....	نمودار (۱۰-۲) شدت در محیط پوشش، در موجبر معمولی برای سه طول موج ۴۸۸nm، ۵۴۳nm و ۶۳۳nm
۵۳.....	نمودار (۱۱-۲) شدت در محیط پوشش، در موجبر معکوس برای سه طول موج ۴۸۸nm، ۵۴۳nm و ۶۳۳nm
۵۴.....	نمودار (۱۲-۲) شدت در محیط پوشش، در موجبر متقارن برای سه طول موج ۴۸۸nm، ۵۴۳nm و ۶۳۳nm
۵۵.....	نمودار (۱۳-۲) شدت در محیط پوشش در طول موج ۴۸۸nm برای موجبرهای معمولی، معکوس و متقارن
۵۵.....	نمودار (۱۴-۲) شدت در محیط پوشش در طول موج ۵۴۳nm برای موجبرهای معمولی، معکوس و متقارن
۵۶.....	نمودار (۱۵-۲) شدت در محیط پوشش در طول موج ۶۳۳nm برای موجبرهای معمولی، معکوس و متقارن
۵۷.....	نمودار (۱۶-۲) شدت در محیط پوشش در موجبر معمولی در طول موج ۶۳۳nm برای ضخامت‌های ماکزیمم، میانگین و مینیمم
۵۷.....	نمودار (۱۷-۲) شدت در محیط پوشش در موجبر معکوس در طول موج ۴۸۸nm برای ضخامت‌های ماکزیمم، میانگین و مینیمم
۵۸.....	نمودار (۱۸-۲) شدت در محیط پوشش در موجبر متقارن در طول موج ۵۴۳nm برای ضخامت‌های ماکزیمم، میانگین و مینیمم

- نمودار (۲-۱۹) شدت کل، در موجبر معمولی برای سه طول موج ۴۸۸nm، ۵۴۳nm و ۶۳۳nm..... ۵۹
- نمودار (۲-۲۰) شدت کل، در موجبر معکوس برای سه طول موج ۴۸۸nm، ۵۴۳nm و ۶۳۳nm..... ۵۹
- نمودار (۲-۲۱) شدت کل، در موجبر متقارن برای سه طول موج ۴۸۸nm، ۵۴۳nm و ۶۳۳nm..... ۶۰
- نمودار (۲-۲۲) شدت کل در طول موج ۴۸۸nm برای موجبرهای معمولی، معکوس و متقارن..... ۶۱
- نمودار (۲-۲۳) شدت کل در طول موج ۵۴۳nm برای موجبرهای معمولی، معکوس و متقارن..... ۶۱
- نمودار (۲-۲۴) شدت کل در طول موج ۶۳۳nm برای موجبرهای معمولی، معکوس و متقارن..... ۶۲
- نمودار (۲-۲۵) شدت کل در موجبر معمولی در طول موج ۴۸۸nm برای ضخامت‌های ماکزیمم، میانگین و مینیمم..... ۶۳
- نمودار (۲-۲۶) شدت کل در موجبر معکوس در طول موج ۵۴۳nm برای ضخامت‌های ماکزیمم، میانگین و مینیمم..... ۶۳
- نمودار (۲-۲۷) شدت کل در موجبر متقارن در طول موج ۶۳۳nm برای ضخامت‌های ماکزیمم، میانگین و مینیمم..... ۶۴
- نمودار (۲-۲۸) نسبت شدت در محیط پوشش به شدت کل ($\frac{I_c}{I_T}$)، در موجبر معمولی برای سه طول موج ۴۸۸nm، ۵۴۳nm و ۶۳۳nm..... ۶۵
- نمودار (۲-۲۹) نسبت شدت در محیط پوشش به شدت کل ($\frac{I_c}{I_T}$)، در موجبر معکوس برای سه طول موج ۴۸۸nm، ۵۴۳nm و ۶۳۳nm..... ۶۶
- نمودار (۲-۳۰) نسبت شدت در محیط پوشش به شدت کل ($\frac{I_c}{I_T}$)، در موجبر متقارن برای سه طول موج ۴۸۸nm، ۵۴۳nm و ۶۳۳nm..... ۶۶
- نمودار (۲-۳۱) نسبت شدت در محیط پوشش به شدت کل ($\frac{I_c}{I_T}$)، در طول موج ۴۸۸nm برای موجبرهای معمولی، معکوس و متقارن..... ۶۷
- نمودار (۲-۳۲) نسبت شدت در محیط پوشش به شدت کل ($\frac{I_c}{I_T}$)، در طول موج ۵۴۳nm برای موجبرهای معمولی، معکوس و متقارن..... ۶۷
- نمودار (۲-۳۳) نسبت شدت در محیط پوشش به شدت کل ($\frac{I_c}{I_T}$)، در طول موج ۶۳۳nm برای موجبرهای معمولی، معکوس و متقارن..... ۶۸
- نمودار (۲-۳۴) نسبت شدت در محیط پوشش به شدت کل برای موجبر معمولی در طول موج ۴۸۸nm برای ضخامت‌های ماکزیمم، میانگین و مینیمم..... ۶۹
- نمودار (۲-۳۵) نسبت شدت در محیط پوشش به شدت کل برای موجبر معکوس در طول موج ۵۴۳nm برای ضخامت‌های ماکزیمم، میانگین و مینیمم..... ۶۹

نمودار (۳۶-۲) نسبت شدت در محیط پوشش به شدت کل برای موجبر متقارن در طول موج ۶۳۳nm برای ضخامت‌های ماکزیمم، میانگین و مینیمم..... ۷۰

نمودار (۳۷-۲) عمق نفوذ موجبر معمولی در طول موج ۴۸۸nm برای ضخامت‌های ماکزیمم، میانگین و مینیمم..... ۸۶

نمودار (۳۸-۲) عمق نفوذ در محیط پوشش برای موجبر معکوس در طول موج‌های ۴۸۸nm، ۵۴۳nm و ۶۳۳nm..... ۸۶

نمودار (۳۹-۲) عمق نفوذ در محیط پوشش برای موجبر متقارن در طول موج‌های ۴۸۸nm، ۵۴۳nm و ۶۳۳nm..... ۸۷

نمودار (۴۰-۲) عمق نفوذ در محیط پوشش برای طول موج ۴۸۸nm در موجبرهای معمولی، معکوس و متقارن..... ۸۸

نمودار (۴۱-۲) عمق نفوذ در محیط پوشش برای طول موج ۵۴۳nm در موجبرهای معمولی، معکوس و متقارن..... ۸۸

نمودار (۴۲-۲) عمق نفوذ در محیط پوشش برای طول موج ۶۳۳nm در موجبرهای معمولی، معکوس و متقارن..... ۸۹

نمودار (۴۳-۲) شدت در محیط پوشش برای موجبر معمولی در طول موج‌های ۴۸۸nm، ۵۴۳nm و ۶۳۳nm..... ۹۰

نمودار (۴۴-۲) شدت در محیط پوشش برای موجبر معکوس در طول موج‌های ۴۸۸nm، ۵۴۳nm و ۶۳۳nm..... ۹۰

نمودار (۴۵-۲) شدت در محیط پوشش برای موجبر متقارن در طول موج‌های ۴۸۸nm، ۵۴۳nm و ۶۳۳nm..... ۹۱

نمودار (۴۶-۲) شدت در محیط پوشش برای طول موج ۴۸۸nm در موجبرهای معمولی، معکوس و متقارن..... ۹۲

نمودار (۴۷-۲) شدت در محیط پوشش برای طول موج ۵۴۳nm در موجبرهای معمولی، معکوس و متقارن..... ۹۲

نمودار (۴۸-۲) شدت در محیط پوشش برای طول موج ۶۳۳nm در موجبرهای معمولی، معکوس و متقارن..... ۹۳

نمودار (۴۹-۲) شدت کل را برای موجبر معمولی در طول موج‌های ۴۸۸nm، ۵۴۳nm و ۶۳۳nm..... ۹۴

نمودار (۵۰-۲) شدت کل را برای موجبر معکوس در طول موج‌های ۴۸۸nm، ۵۴۳nm و ۶۳۳nm..... ۹۴

نمودار (۵۱-۲) شدت کل را برای موجبر متقارن در طول موج‌های ۴۸۸nm، ۵۴۳nm و ۶۳۳nm..... ۹۵

نمودار (۵۲-۲) شدت کل برای طول موج ۴۸۸nm در موجبرهای معمولی، معکوس و متقارن..... ۹۵

نمودار (۵۳-۲) شدت کل برای طول موج ۵۴۳nm در موجبرهای معمولی، معکوس و متقارن..... ۹۶

نمودار (۵۴-۲) شدت کل برای طول موج ۶۳۳nm در موجبرهای معمولی، معکوس و متقارن..... ۹۶

- نمودار (۲-۵۵) نسبت شدت در محیط پوشش به شدت کل را برای موجبر معمولی در طول موج‌های ۴۸۸nm، ۵۴۳nm و ۶۳۳nm..... ۹۷
- نمودار (۲-۵۶) نسبت شدت در محیط پوشش به شدت کل را برای موجبر معکوس در طول موج‌های ۴۸۸nm، ۵۴۳nm و ۶۳۳nm..... ۹۸
- نمودار (۲-۵۷) نسبت شدت در محیط پوشش به شدت کل را برای موجبر متقارن در طول موج‌های ۴۸۸nm، ۵۴۳nm و ۶۳۳nm..... ۹۸
- نمودار (۲-۵۸) نسبت شدت در محیط پوشش به شدت کل برای طول موج ۶۳۳nm در موجبرهای معمولی، معکوس و متقارن..... ۹۹
- نمودار (۲-۵۹) نسبت شدت در محیط پوشش به شدت کل برای طول موج ۵۴۳nm در موجبرهای معمولی، معکوس و متقارن..... ۹۹
- نمودار (۲-۶۰) نسبت شدت در محیط پوشش به شدت کل برای طول موج ۶۳۳nm در موجبرهای معمولی، معکوس و متقارن..... ۱۰۰

۱ فصل اول

رفتار نور در محیط و عوامل مؤثر بر انتشار آن [۱]

۱-۱ مقدمه

ما در این فصل حالت موجی بودن نور از حالت‌های دوگانگی نور (که حالت دیگر آن ذره‌ای بودن می‌باشد)، را بر اساس امواج الکترومغناطیسی (EM)، میدان‌های الکتریکی (E) و مغناطیسی (B) موجود در آن را بررسی کرده و نحوه جهت‌گیری این میدان‌ها نسبت به همدیگر و نسبت به راستای انتشار را به دست می‌آوریم. با محاسبه یکی می‌توان به آسانی و با همان دقت میدان دیگری را به دست آورد. عوامل مؤثر در مسیر حرکت، سرعت و شدت انتشار امواج الکترومغناطیسی هنگام عبور از سطح مشترک بین دو محیط را محاسبه می‌کنیم و با استفاده از رابطه‌ها و معادلاتی مثل اسنل و فرنل می‌توان عمق نفوذ، شدت در محیط‌های پوشش، فیلم و زیرلایه و شدت کل را محاسبه کرد. در پایان موجبر را تعریف کرده و ساختمان آن را توضیح داده و تأثیرات دی‌الکتریک را در انتقال انرژی بدون افت و یا با افت بسیار ناچیز و عوامل مؤثر در این افت را نیز توضیح می‌دهیم.

۲-۱ طبیعت نور

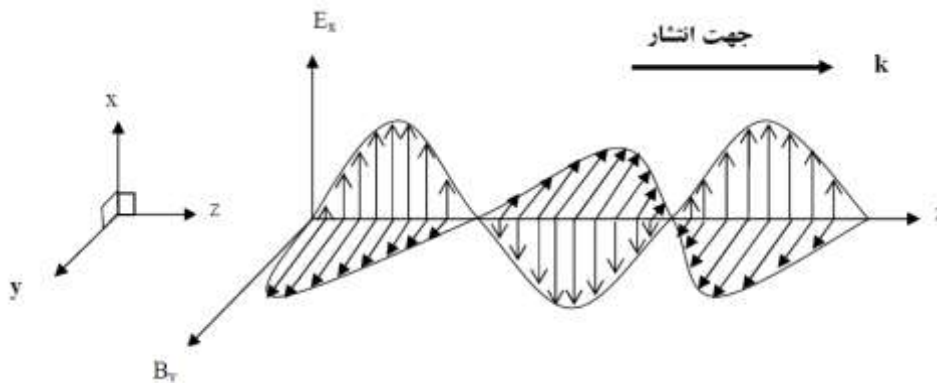
هنگامی که نور از مکانی به مکان دیگر حرکت کند با خود انرژی حمل می‌کند که حمل انرژی به دو طریق صورت می‌گیرد: الف) هنگام انتقال انرژی ماده نیز همراه آن منتقل می‌شود این عمل ذره‌ای بودن نور را

توضیح می‌دهد که این حالت پدیده‌های شکست نور و بازتاب نور را مورد بررسی قرار می‌دهد. ب- هنگام انتقال انرژی ماده منتقل نمی‌شود بلکه فقط انرژی انتقال پیدا کرده و این شیوه نیز پدیده‌های پراش و تداخل را توصیف می‌کند و این عمل، موجی بودن نور را توضیح می‌دهد. پس به طور خلاصه برای بررسی رفتار نور در یک محیط از یکی از دو خاصیت آن استفاده می‌کنند:

الف - ذره‌ای

ب - موجی

در این پایان نامه خاصیت موجی نور مورد بررسی قرار می‌گیرد، که جوابگوی رفتارهایی مثل تداخل و پراش می‌باشد. امواج الکترومغناطیسی شامل دو میدان الکتریکی و مغناطیسی می‌باشد و در حرکت امواج الکترومغناطیسی این دو میدان همیشه برهم عمودند حال اگر راستای انتشار را محور z بگیریم و میدان الکتریکی در راستای x ، E_x باشد میدان مغناطیسی در راستای y ، B_y خواهد بود.



شکل (۱-۱) نحوه‌ی قرار گرفتن میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی هنگام انتشار امواج در راستای محور z با بردار انتشار k

ساده‌ترین شکل موج، موج سینوسی است که با توجه به اینکه راستای انتشار z می‌باشد شکل ریاضی آن به قرار زیر است:

$$E_x = E_0 \cos(\omega t - kz + \varphi_0) \quad (1-1)$$

E_x میدان الکتریکی در لحظه‌ی t در مکان z می‌باشد، k بردار موج که به وسیله $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ معین می‌شود و λ طول موج می‌باشد. ω سرعت زاویه‌ای، E_0 دامنه موج و φ_0 فاز اولیه که ثابت است و با کمک میدان E_x در مکان صفر و در لحظه‌ی صفر (یعنی در مبدأ مکان و مبدأ زمان) محاسبه می‌شود که امکان دارد صفر یا غیر صفر باشد. عبارت $\omega t - kz + \varphi_0$ فاز نامیده می‌شود که با φ نشان داده می‌شود. معادله (۱-۱) معادله موج تکفامی است