



دانشگاه زنجان

دانشکده علوم - گروه فیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

مطالعه رشد تیوبهای چندلایه‌ای لیپیدی در مجاورت آب با استفاده از تمام‌نگاری دیجیتالی

نگارش

نرگس فتحی

اساتید راهنما

دکتر علیرضا مرادی

دکتر مهدی حبیبی

مهر ۱۳۹۱

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تقدیم به

همسر عزیزم

که صبورانه و دلسوزانه یار و پشتیبانم بود.

قدردانی

سپاس خداوندی را که از درگاه لطف و عظمتش هر بنده‌ای را نصیبی است و بیش از آنچه لایقش باشیم بر ما می‌بخشد.

قدردان زحمات بی‌دریغ اساتید راهنمای خود، جناب آقای دکتر علی‌رضا مرادی و جناب آقای دکتر مهدی حبیبی هستیم. که قطعاً بدون زحمات و راهنمایی‌های ارزنده‌ی ایشان، این مجموعه به انجام نمی‌رسید.

تشکر می‌کنم از خانواده عزیزم که نبودنهای مرا در لحظات شادی و غم تحمل کردند و پشتیبانم بودند.

همچنین از دوستان عزیزم فرزانه برجی منفرد، شیوا مرادی مهر و رحیم توکلی و دیگر دانشجویان ورودی ۸۹ سپاسگزارم که صمیمانه در کنارم بودند.

نرگس فتحی

مهر ۱۳۹۱

پیش‌گفتار

تمام‌نگاری دیجیتال تکنیکی است که با سازوکاری ساده تصاویر و اطلاعات سه بعدی از نمونه‌های فازی بدست می‌دهد. این روش قادر است با ثبت اطلاعات فازی نمونه بعد سوم آن را در تصاویر آشکار نماید. ثبت و بازسازی نمونه توسط رایانه موجب افزایش سرعت و دقت در این روش گشته است. چنین تکنیکی در تصویربرداری از نمونه‌های زیستی که هم فازی‌اند و هم عموماً دینامیک هستند روش کارآمدی است.

در این پایان‌نامه تکنیک تمام‌نگاری دیجیتال میکروسکوپی را برای مطالعه رشد تیوبهای چند لایه‌ای لپیدی به کار بردیم. لپیدها بخش اصلی غشاء سلولی را تشکیل می‌دهند، در نتیجه بررسی عوامل موثر بر رشد آنها در حفظ و نگهداری سلول و نیز ذخیره انرژی در سلول حائز اهمیت است. غشاهای لپیدی ساختارهای دولایه‌ای دارند که مجاورت آب با آن موجب تشکیل اشکال چربی در آنها می‌گردد. مطالعه این اشکال و نحوه تأثیر عوامل مختلف مانند تغییرات دما، کشش سطحی و رطوبت در رشد آن مورد بررسی قرار گرفته است. این بررسی‌ها هم به طریق میکروسکوپی معمولی و هم با استفاده از چیدمان تمام‌نگاری فرامحور انجام گرفته است.

پایان‌نامه بصورت زیر تنظیم گردیده است: در فصل اول تمام‌نگاری و تمام‌نگاری دیجیتال معرفی گردیده است. در فصل دوم لپید، ساختار و انواع آن مورد بررسی قرار می‌گیرد. فصل‌های سوم، چهارم و پنجم مربوط به بررسی و مطالعه عوامل کشش سطحی، رطوبت و دما بر نحوه‌ی رشد ساختارهای لپیدی، روش انجام هر مرحله از آزمایش به همراه نتایج تجربی ثبت شده و تحلیل آنها است. در آخر بخش نتیجه‌گیری آمده است.

واژه‌های کلیدی: تمام‌نگاری دیجیتال، تمام‌نگاری میکروسکوپی، تیوبهای چند لایه‌ای

لپیدی، کشش سطحی، گرادیان دما

فهرست مطالب

ث	چکیده
پ	لیست تصاویر
۱	۱ تمام‌نگاری و تمام‌نگاری دیجیتالی
۱	۱.۱ تمام‌نگاری
۶	۱.۱.۱ همدوسی امواج
۸	۲.۱.۱ تداخل
۱۱	۳.۱.۱ پراش
۱۳	۴.۱.۱ تمام‌نگاری فرامحور
۱۶	۲.۱ تمام‌نگاری دیجیتالی
۱۸	۱.۲.۱ بازسازی تمام‌نگاشت دیجیتالی توسط تبدیلات فرنل
۲۱	۲.۲.۱ بازسازی تمام‌نگاشت دیجیتالی توسط رهیافت انتشار طیف زاویه‌ای
۲۵	۳.۲.۱ تمام‌نگاری دیجیتالی میکروسکوپی
۲۶	۳.۱ چیدمان تمام‌نگاری دیجیتالی مورد استفاده
۳۳	۲ لپیدها به عنوان ترکیبات حیاتی
۳۶	۱.۲ نقش لپیدها در بدن
۳۸	۲.۲ ساختارهای فسفولیپیدی

۴۱	لیپید مورد استفاده، POPC	۳.۲
۴۵	بررسی اثر عوامل محیطی بر رشد تیوبهای چندلایه‌ای لیپیدی	۳
۴۹	تحلیل میکروسکوپی	۱.۳
۵۴	بررسی اثر بخار آب بر رشد تیوبهای چندلایه‌ای لیپیدی	۴
۵۴	آماده سازی نمونه	۱.۴
۵۶	مطالعه میکروسکوپی اثر بخار آب بر رشد تیوبهای لیپیدی	۲.۴
۵۹	تمام‌نگاری دیجیتالی بر بررسی اثر بخار آب در رشد لیپید	۳.۴
۶۰	بازسازی با الگوریتم انتشار طیف زاویه‌ای	۱.۳.۴
۶۵	بررسی اثر دما بر رشد تیوبهای چندلایه‌ای لیپیدی	۵
۶۵	آماده سازی نمونه	۱.۵
۶۶	آماده سازی سیستم گرادیان دمایی	۲.۵
۶۸	مرحله اول: میکروسکوپی با گرادیان دمایی ثابت	۳.۵
۶۸	انجام آزمایش	۱.۳.۵
۷۱	نتایج میکروسکوپی اثر دما	۲.۳.۵
۷۵	مرحله دوم: تمام‌نگاری با گرادیان دمایی ثابت	۴.۵
۷۸	مرحله سوم: تمام‌نگاری در گرادیان‌های دمایی متفاوت	۵.۵
۸۰	نتیجه‌گیری	۶
۸۲	مراجع	
۸۵	واژه‌نامه فارسی به انگلیسی	
۸۷	واژه‌نامه انگلیسی به فارسی	

لیست تصاویر

- ۱.۱ چیدمان ثبت تمام‌نگاشت گابور ۲
- ۲.۱ طرحواره بازسازی تمام‌نگاشت گابور ۳
- ۳.۱ طرحواره ثبت تمام‌نگاشت محوری یک جسم نقطه‌ای ۴
- ۴.۱ طرحواره بازسازی تصویر در تمام‌نگاشت یک جسم نقطه‌ای ۵
- ۵.۱ ارزیابی درجه همدوسی ۶
- ۶.۱ ثبت تمام‌نگاشت فرا محور؛ طرح تداخلی نور مرجع و نور شیء در صفحه تمام‌نگاشت
ثبت می‌شود [۳۲]. ۱۴
- ۷.۱ بازسازی تمام‌نگاشت فرا محور؛ با تاباندن نور در امتداد نور مرجع بر تمام‌نگاشت
تصاویر حقیقی و مجازی ایجاد می‌شوند [۳۲]. ۱۴
- ۸.۱ سیستم مختصات در تمام‌نگاری دیجیتالی [۲۲] ۱۷
- ۹.۱ بازسازی تمام‌نگاشت توسط رهیافت انتشار طیف زاویه‌ای [۱]. ۲۱
- ۱۰.۱ الگوریتم فرایند بازسازی با استفاده از رهیافت انتشار طیف زاویه‌ای [۱]. ۲۴
- ۱۱.۱ چیدمان تمام‌نگاری دیجیتالی میکروسکوپی [۲۸]. ۲۶
- ۱۲.۱ چیدمان تمام‌نگاری دیجیتالی میکروسکوپی مورد استفاده در آزمایشگاه تله‌اندازی
نوری دانشگاه زنجان ۲۷
- ۱۳.۱ بخش ۱ از چیدمان تمام‌نگاری دیجیتالی میکروسکوپی مورد استفاده، موازی‌سازی
لیزر، خطوط قرمز امتداد باریکه لیزر را نشان می‌دهد. ۲۹

۱۴.۱	بخش ۲ از چیدمان تمام‌نگاری دیجیتال میکروسکوپی مورد استفاده، باریکه مرجع،
۲۹	خطوط قرمز امتداد باریکه لیزر را نشان می‌دهد.
۱۵.۱	بخش ۳ از چیدمان تمام‌نگاری دیجیتال میکروسکوپی مورد استفاده، باریکه شیء،
۳۰	خطوط قرمز امتداد باریکه لیزر را نشان می‌دهد.
۱۶.۱	بخش ۴ از چیدمان تمام‌نگاری دیجیتال میکروسکوپی مورد استفاده، دوربین . . .
۱۷.۱	چیدمان میکروسکوپی ترکیبی در چیدمان تمام‌نگاری دیجیتال، خط سفید امتداد
۳۲	باریکه منبع روشنایی را نشان می‌دهد.
۱.۲	انواع ساختارهای لیپیدی
۳۸	۲.۲ ساختار حجمی POPC، گوی‌های سبز، سفید، قرمز، آبی و بنفش به ترتیب مولکولهای
۴۲	کرین، هیدروژن، اکسیژن، نیتروژن و فسفر هستند.
۳.۲	شکل ۱ ساختار مولکول گلیسرول و شکل ۲ ساختار مولکول فسفات را نشان می‌دهد. ۴۲
۴.۲	جایگاه فسفولیپیدها در غشاء سلولی [۳۶]. ۴۳
۵.۲	ساختار مولکول POPC ۴۳
۶.۲	ساختار متفاوتی از مولکول POPC ۴۴
۱.۳	محفظه‌های نگهدارنده نمونه با ضخامت و عرض متفاوت، در تصاویر ستونی،
۴۷	عرض؛ و در تصاویر سطری، ضخامت تغییر می‌کند.
۲.۳	شکل‌های ۱ روند رشد اشکال چربی است، مقیاس در آن ۲۰ میکرومتر است. شکل
	۲ بخش انتخابی شکل ۱ است و شکل ۳ سیاه و سفید شده آن، مقیاس ۵ میکرومتر
۵۰	است.
۳.۳	نرخ رشد اشکال در محفظه‌هایی با ضخامت $t = 0/3$ میلی‌متر ۵۱
۴.۳	نرخ رشد اشکال در محفظه‌هایی با ضخامت t و عرض d متفاوت ۵۱
۵.۳	تصاویر بدست آمده از یک فیلم با تغییرات زمان ۵۲

- ۶.۳ تصاویر شکل قبل در فرآیند برنامه ۵۳
- ۱.۴ اسلاید متناسب با آزمایش، بخش ۱ محفظه مورد نیاز، بخش ۲ قرارگیری قطره‌ای
از محلول لیپیدی، بخش ۳ محفظه آماده. ۵۵
- ۲.۴ مراحل قرارگرفتن نمونه در جو بخار آب: ۱- قرار دادن اسفنج مرطوب، ۲- ایجاد
خلأ، ۳- قرار گرفتن در حمام آب گرم، ۴- تشکیل قطرات آب ناشی از بخار. ۵۶
- ۳.۴ نمودار تأثیر بخار آب بر رشد لیپید؛ نمودار خطی آبی مربوط به اثر رطوبت و نمودار
خط‌چین سبز رشد معمولی لیپید است. ۵۷
- ۴.۴ نمودار تأثیر بخار آب بر رشد لیپید؛ نمودار خطی ستاره‌ای آبی مربوط به اثر رطوبت
و نمودار خط‌چین دایره‌ای سبز رشد معمولی لیپید است. ۵۷
- ۵.۴ نمودار مدت زمان تأثیر بخار آب بر رشد لیپید؛ نمودار خطی آبی مربوط به اثر رطوبت
در سه ساعت، نمودار نقطه‌چین فیروزه‌ای مربوط به اثر رطوبت در شش ساعت و
نمودار خط‌چین سبز رشد معمولی لیپید است. ۵۸
- ۶.۴ نمودار مدت زمان تأثیر بخار آب بر رشد لیپید؛ نمودار خطی ستاره‌ای آبی مربوط به
اثر رطوبت در سه ساعت، نمودار نقطه‌چین لوزی فیروزه‌ای مربوط به اثر رطوبت
در شش ساعت و نمودار خط‌چین دایره‌ای سبز رشد معمولی لیپید است. ۵۸
- ۷.۴ نمودار مدت زمان تأثیر بخار آب بر طول لیپید؛ نمودار دایروی سبز طول در شرایط
معمولی، نمودار مربعی آبی مربوط به سه ساعت حضور در بخار آب و نمودار لوزی
فیروزه‌ای اثر شش ساعت حضور در بخار آب را نشان می‌دهند. ۵۹
- ۸.۴ ۱- تمام‌گاشت جسم و ۲- تمام‌نگاشت مرجع ۶۰
- ۹.۴ (۱) طیف زاویه‌ای، (۲) بخش انتخابی طیف، (۳) توزیع فاز جسم، (۴) طرح شدتی
جسم. ۶۱

- ۱۰.۴ (۱) فاز بازسازی شده جسم پس از تغییرات، (۲) فاز بازسازی شده جسم پیش از تغییر، (۳) اختلاف فاز، (۴) اختلاف فاز فیلتر شده. ۶۲
- ۱۱.۴ (۱) فاز پیوسته شده، (۲) تصویر دو بعدی، (۳) بخش انتخابی برای تصویر یک بعدی، (۴) تصویر یک بعدی. در شکل‌های ۱ و ۲ و ۳ واحد پیکسل است. ۶۲
- ۱۲.۴ (۱) می‌توان بخشی از تصویر را انتخاب کرد، (۲) تصویر اختلاف فاز، (۳) تصویر اختلاف فاز فیلتر شده، (۴) تصویر فاز پیوسته. واحدها بر حسب پیکسل است. ۶۳
- ۱۳.۴ (۱) تصویر سه بعدی، (۲) تصویر دو بعدی، (۳) بخش انتخابی برای تصویر یک بعدی، (۴) تصویر یک بعدی. در شکل‌های ۲ و ۳ واحد پیکسل است. ۶۳
- ۱۴.۴ روند محاسبه حجم. شکل ۱ تمام‌نگاشت در لحظه t ، شکل ۲ تصویر دوبعدی بدست آمده از بازسازی (واحد بر حسب پیکسل)، شکل ۳ تغییر حالت از jet به gray و شکل ۴ تک شکل چربی مورد نظر. ۶۴
- ۱۵.۴ نمودار تغییرات حجم بدست آمده از بازسازی تمام‌نگاشت‌ها؛ نمودار دایروی سبز حجم در شرایط معمولی، نمودار مربعی آبی مربوط به اثر سه ساعت حضور در بخار آب و نمودار لوزی فیروزه‌ای اثر شش ساعت حضور در بخار آب را نشان می‌دهند. ۶۴
- ۱.۵ محفظه نگهدارنده نمونه در مرحله اول آزمایش‌های تأثیر دما ۶۶
- ۲.۵ نمودار گرادیان دمای ایجاد شده در طول محفظه نگهدارنده نمونه. ۶۷
- ۳.۵ پایه نمونه در چهار صورت: (۱) طرحواره، (۲) تصویر اصلی، (۳) همراه با نمونه و (۴) زیر میکروسکوپ. ۶۷
- ۴.۵ گذشتن آب از کنار لکه لیپیدی در مواردی که پس از تبخیر کلروفرم آب به لیپید نمی‌رسد. ۶۹
- ۵.۵ رشد آهسته لیپید در کنار آب و بدون برخورد آب. ۷۰
- ۶.۵ تصاویر بخش‌های سرد و گرم در لحظات یکسان ۷۱

- ۷.۵ نمودار تعداد اشکال در دو حالت سرد و گرم، نمودار قرمز مربعی حالت گرم و
 ۷۲ نمودار آبی مثلثی حالت سرد را نشان می‌دهند.
- ۸.۵ نمودار خطی تعداد اشکال در دو حالت سرد و گرم، نمودار خطی قرمز و مربع‌ها
 ۷۲ حالت گرم و نمودار خطچین آبی و مثلث‌ها حالت سرد را نشان می‌دهند.
- ۹.۵ نمودار ضخامت اشکال در دو حالت سرد و گرم، نمودار قرمز مربعی حالت گرم و
 ۷۳ نمودار آبی مثلثی حالت سرد را نشان می‌دهند.
- ۱۰.۵ نمودار خطی ضخامت اشکال، نمودار خطی قرمز و مربع‌ها حالت گرم و نمودار
 ۷۳ خطچین آبی و مثلث‌ها حالت سرد را نشان می‌دهند.
- ۱۱.۵ نمودار طول اشکال در دو حالت سرد و گرم، نمودار قرمز مربعی حالت گرم و نمودار
 ۷۴ آبی مثلثی حالت سرد را نشان می‌دهند.
- ۱۲.۵ نمودار برازش نزدیکترین خط بر طول اشکال، نمودار خطی قرمز و مربع‌ها حالت
 ۷۴ گرم و نمودار خطچین آبی و مثلث‌ها حالت سرد را نشان می‌دهند.
- ۱۳.۵ نمودار نرخ رشد اشکال در دو حالت سرد و گرم، نمودار قرمز مربعی حالت گرم و
 ۷۵ نمودار آبی مثلثی حالت سرد را نشان می‌دهند.
- ۱۴.۵ اسلاید متناسب با آزمایش
- ۱۵.۵ نمودار حجم بدست آمده از تمام‌نگاری دیجیتالی تحت تأثیر گرادیان دما. خط قرمز
 ۷۶ مربعی در اثر گرادیان دما و خطچین سبز رشد در حالت معمول لیپید است.
- ۱۶.۵ نمودار ضخامت بدست آمده از تمام‌نگاری دیجیتالی تحت تأثیر گرادیان دما. نقاط
 قرمز مربعی در اثر گرادیان دما و نقاط سبز دایروی ضخامت در حالت معمول لیپید
 ۷۷ است.
- ۱۷.۵ نمودار طول بدست آمده از تمام‌نگاری دیجیتالی تحت تأثیر گرادیان دما. نقاط قرمز
 مربعی در اثر گرادیان دما و نقاط سبز دایروی طول در حالت معمول لیپید است.
 ۷۷ خطوط برازش بر حسب $t^{1/2}$ است.

۱۸.۵ نمودار گرادیان دما. خط آبی مثلثی گرادیان بین ۱۰۰ و ۱۷ درجه، خط چین لوزی

سبز بین ۷۰ و ۱۵ درجه و خط چین نقطه مربعی قرمز گرادیان بین ۴۵ و ۱۲ درجه

است. ۷۹

۱۹.۵ نمودار تغییرات حجم بر زمان بدست آمده از تمام‌نگاری در گرادیان دمایی متفاوت.

خط آبی مثلثی گرادیان بین ۱۰۰ و ۱۷ درجه، خط لوزی سبز بین ۷۰ و ۱۵ درجه و

خط مربعی قرمز گرادیان بین ۴۵ و ۱۲ درجه و خط دایروی قهوه‌ای بدون گرادیان

دمایی است. ۷۹

فصل ۱

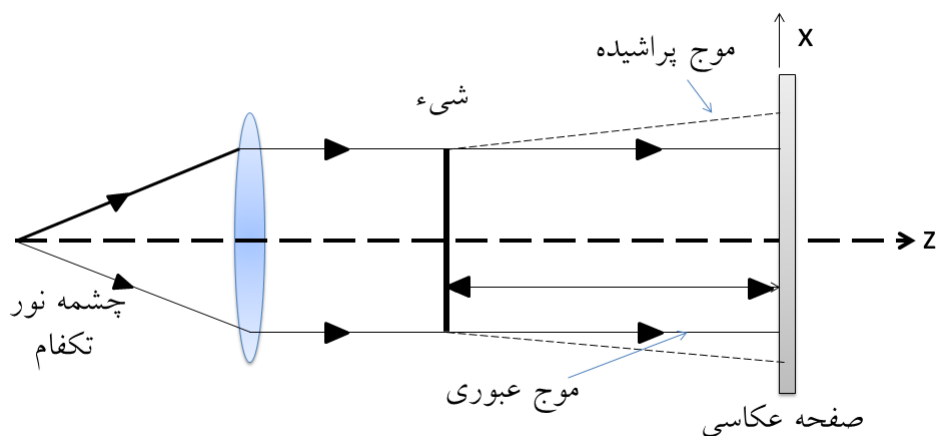
تمام‌نگاری و تمام‌نگاری دیجیتالی

۱.۱ تمام‌نگاری

عکس‌برداری معمولی به صورت ثبت توزیع شدت بر روی فیلم‌های حساس به نور انجام می‌گیرد. در نتیجه اطلاعات مربوط به بعد سوم که وابسته به فاز جسم است از بین می‌رود.

ایده تبدیل اطلاعات فازی به صورت تغییرات شدت توسط دنیس گابور^۱ در سال ۱۹۴۸ مطرح شد [۴]. او در پی تلاش برای ارتقاء کیفیت تصاویر میکروسکوپ‌های الکترونی این ایده را مطرح نمود که از طرح تداخلی دو موج، که حاوی اطلاعات فازی از جسم است، می‌توان اطلاعات بعد سوم را استخراج کرد. او به این شیوه عمل کرد: برگه‌ای شفاف شامل خطوط کدر که به عنوان شیء انتخاب نموده بود را توسط باریکه موازی شده لامپ تخلیه جیوه روشن کرد و نقش تداخلی حاصل از نور عبوری و نور پراشیده از خطوط برگه شفاف را بر روی فیلم حساس به نور عکاسی ثبت نمود. زمانیکه طرح تداخلی ثبت شده را با همان باریکه موازی شده لامپ جیوه روشن کرد دو موج پراشیده شکل گرفت. اولین تصویر، تصویری از شیء در محل اصلی شیء بود و تصویر دوم با همان دامنه ولی با فاز مخالف به عنوان تصویر دوم تشکیل شده بود. این دو تصویر و نور پراشیده شده مستقیم حاصل از عبور نور، همگی در یک امتداد قرار گرفته و تصویری فاقد کیفیت ایجاد کرده بودند. طول همدوسی

^۱Dennis Gabor.



شکل ۱.۱: چیدمان ثبت تمام‌نگاشت گابور

^۲ کوتاه لامپ جیوه نیز دلیل دیگری بر نبود کیفیت تصویر بود. این روش به اقتباس از دو واژه یونانی Holo به معنای تمام و کامل ^۳ و Gram به معنای ثبت و نگارش ^۴ تمام‌نگاری ^۵ نام گرفت. همچنین وی به زبان ریاضی طرح خود را به صورت زیر بیان کرد: چیدمان شکل (۱.۱) را به عنوان طرح‌واره آزمایشی گابور در نظر بگیرید. نور فرودی بر صفحه عکاسی شامل دو مؤلفه است: یکی موج فرودی به شیء که مستقیم از شیء عبور می‌کند و یک موج تخت است و دامنه و فاز آن هنگام عبور از صفحه عکاسی تغییر نمی‌کند؛ و دومی موج ضعیف پراشیده از شیء. اگر بتوان دامنه مختلط موج اولیه را بر حسب یک ثابت حقیقی r و دامنه موج پراشیده را به صورت $o(x, y)$ بیان کرد، شدت ثبت شده روی صفحه حساس به نور عکاسی در هر نقطه برابر خواهد شد با:

$$I(x, y) = |r + o(x, y)|^2 = |r|^2 + |o(x, y)|^2 + r o(x, y) + r o^*(x, y), \quad (1.1)$$

که در آن $o^*(x, y)$ مزدوج مختلط $o(x, y)$ است. دامنه تراکسیلندگی ^۶ فیلم، که حالا یک

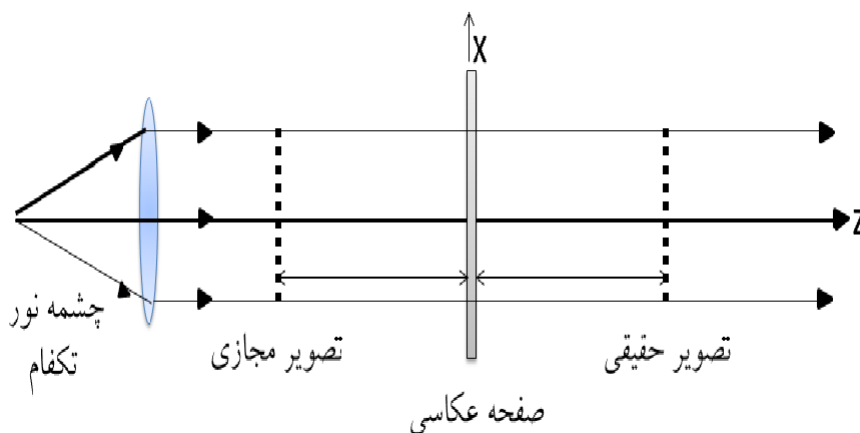
^۲ Coherence length.

^۳ Complete.

^۴ Recording.

^۵ Holography.

^۶ Transmittance.



شکل ۲.۱: طرحواره بازسازی تمام‌نگاشت گابور

تمام‌نگاشت^۷ محسوب می‌شود، با $I(x, y)$ به صورت زیر متناسب است:

$$h(x, y) = h_0 + \beta \tau I(x, y), \quad (2.1)$$

که h_0 دامنه تراگسیلندگی صفحه و مقداری ثابت است. τ زمان نوردهی^۸ و β پارامتر ثابتی است که نوع ماده حساس فیلم و چگونگی پردازش آن را تعیین می‌کند. در بازسازی^۹ تمام‌نگاشت، زمانی که تمام‌نگاشت با باریکه موازی تکفام اولیه روشن شود، دامنه تراگسیلندگی باید در دامنه موج مرجع ضرب شود:

$$u(x, y) = r h(x, y) = r[h_0 + \beta \tau (r^* + o^*)] + \beta \tau r^*(x, y) o(x, y) + \beta \tau r^*(x, y) o^*(x, y). \quad (3.1)$$

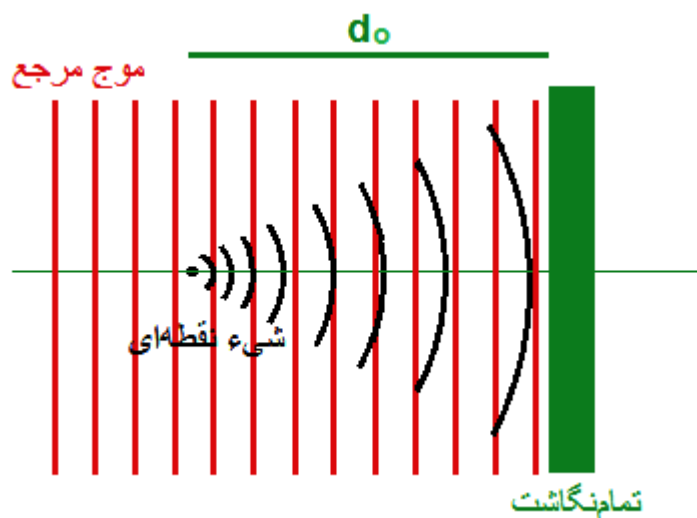
اگر تمام عبارات داخل کروشه را یک جمله حساب کنیم، این جمله نشان‌دهنده موج تخت تضعیف شده یکنواخت مرجع است که بدون پراش از میان تمام‌نگاشت عبور کرده و تغییرات فضایی چندانی ندارد.

جمله دوم موج شیء بازسازی شده است که تصویری مجازی در محل اولیه شیء تشکیل می‌دهد.

^۷Hologram.

^۸Exposure time.

^۹Reconstruction.



شکل ۳.۱: طرحواره ثبت تمام‌نگاشت محوری یک جسم نقطه‌ای

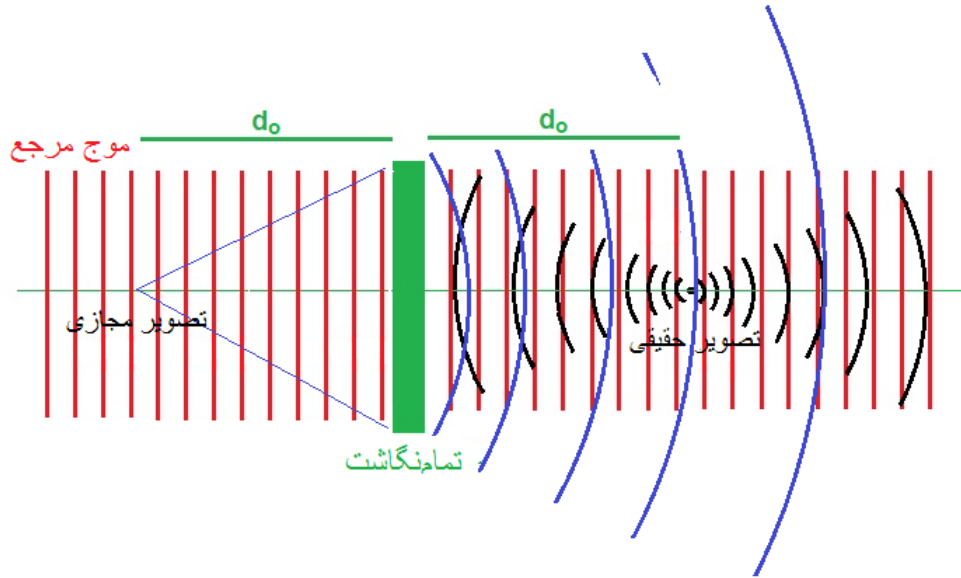
ضریب $\beta T r^2$ تاثیر روشنایی تصویر است. جمله سوم همسان موج شیء با انحنای مخالف است که تصویری حقیقی از شیء در طرف دیگر تمام‌نگاشت می‌دهد. شکل (۲.۱) طرحی از بازسازی تمام‌نگاری گابور را می‌دهد. گابور بدلیل تلاش‌های نتیجه‌بخش خود جایزه فیزیکی نوبل سال ۱۹۶۲ را دریافت کرد.

برای توضیح بیشتر مثال ساده زیر را در نظر بگیرید. یک جسم نقطه‌ای را به عنوان شیء انتخاب کنید، و موج مرجع را یک موج تخت در نظر بگیرید. (شکل (۳.۱)). توابع موج آنها به ترتیب خواهد شد:

$$o(x, y) = \frac{A}{i\lambda} \frac{e^{ikd}}{d} \quad (4.1)$$

$$d = \sqrt{d_0^2 + x^2 + y^2} \quad (5.1)$$

$$r = R_0 e^{ikz} \quad (6.1)$$



شکل ۴.۱: طرحواره بازسازی تصویر در تمام‌نگاشت یک جسم نقطه‌ای

λ طول موج شیء و بصورت $\frac{\sqrt{\pi}}{k}$ است. x, y موقعیت مکانی نقاط در صفحه تمام‌نگاشت و d فاصله این نقاط از شیء است. با فرض $x, y \ll d_0$ دو جمله تشکیل دهنده تصاویر مجازی و حقیقی صرف نظر از ضریب ثابت روشنایی خواهند شد:

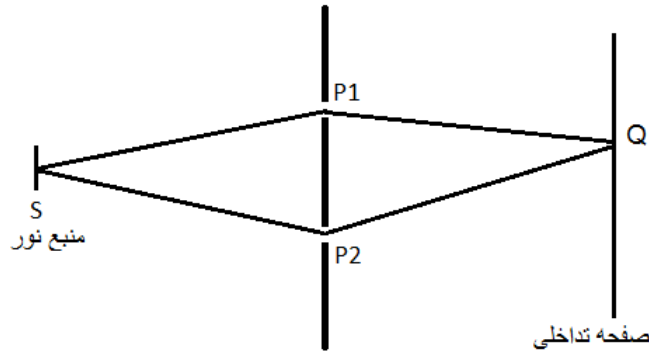
$$r^*(x, y)o(x, y) = AR_0^* \frac{\exp[ik(z + d_0)]}{i\lambda(z + d_0)} \exp[ik \frac{x^2 + y^2}{2(z + d_0)}], \quad (7.1)$$

$$r^*(x, y)o^*(x, y) = AR_0^* \frac{\exp[ik(z - d_0)]}{i\lambda(z - d_0)} \exp[ik \frac{x^2 + y^2}{2(z - d_0)}]. \quad (8.1)$$

عبارت اول موج کروی رونده است و عبارت دوم موجی کروی است که در $z < d_0$ همگراست و پس از آن واگرا خواهد شد. در شکل (۴.۱) موج‌های مورد بحث نشان داده شده است.

تمام‌نگاری ارائه شده توسط گابور و مثالی که بحث شد، به دلیل امتداد مشترک جسم، نور مرجع و تصاویر تمام‌نگاری محوری^{۱۰} گفته می‌شود.

^{۱۰}In-line holography.



شکل ۵.۱: ارزیابی درجه هم‌دوسی

چند ویژگی و پدیده فیزیکی خاص در تمام‌نگاری حائز اهمیت است. تداخل^{۱۱}، پراش^{۱۲}، و هم‌دوسی^{۱۳} امواج. تداخل پدیده ایست که در ثبت تمام‌نگاشت‌ها رخ می‌دهد، زمانیکه دو باریکه بر روی صفحه تمام‌نگاشت به هم می‌رسند، و پراش در بازسازی تصویر، زمانیکه نور بر صفحه تمام‌نگاشت می‌تابد و تصویر تشکیل می‌شود. اما در ایجاد هر دو پدیده، هم‌دوسی نور لازم است.

۱.۱.۱ هم‌دوسی امواج

هم‌دوسی خاصیت مهم چشمه‌های نور در ایجاد پدیده‌های موجی نور است که از پهنای محدود خط طیفی^{۱۴} ناشی می‌شود. می‌توان وابستگی میدان الکتریکی یک نور قطبیده خطی غیر تک‌رنگ حاصل از یک چشمه با اندازه محدود را بطور تحلیلی با رابطه زیر نشان داد:

$$V(t) = \int_0^{\infty} a(\nu) \exp[-i\varphi(\nu) \exp(i2\pi\nu t)] d\nu, \quad (9.1)$$

که $a(\nu)$ دامنه و $\varphi(\nu)$ فاز هر مؤلفه با بسامد ν است. برای دستیابی به میانگین درجه هم‌دوسی چیدمان شکل (۵.۱) را در نظر بگیرید. در این چیدمان اگر $V_1(t)$ و $V_2(t)$ نماینده اغتشاش‌های نوری در نقاط P_1 و P_2 باشد، درجه هم‌دوسی مختلط میدانها در فاصله زمانی τ با $\gamma_{12}(\tau)$ نشان داده می‌شود

^{۱۱} Interference.

^{۱۲} Diffraction.

^{۱۳} Coherence.

^{۱۴} Spectral band width.

(τ اختلاف زمان عبوری نور از P_1 تا P_2 است.) که به صورت زیر تعریف می‌گردد [۳۰]:

$$\gamma_{12} = \frac{\langle V_1(t + \tau)V_2^*(t) \rangle}{[\langle V_1(t)V_1^*(t) \rangle \langle V_2(t)V_2^*(t) \rangle]^{1/2}}. \quad (10.1)$$

اهمیت فیزیکی این رابطه‌ی زمانی در تداخل و دوشکافی یانگ بیشتر مشخص می‌شود.

هر خط طیفی دارای پهنای محدود $\Delta\nu$ است زیرا اگر قرار بود کاملاً تکفام باشد طبق رابطه

$$\Delta\nu = \frac{1}{\Delta t}. \quad (11.1)$$

Δt نامتناهی می‌شد که این نیز امکان‌پذیر نیست. در واقع از همدوسی برای توصیف همبستگی بین فازهای نور تکفام استفاده می‌شود، به طوری که باریکه‌های با رابطه فاز کاتوره‌ای را باریکه‌های ناهمدوس می‌دانند و باریکه‌های با رابطه فاز ثابت باریکه‌های همدوس‌اند. چشمه‌های تکفام، نوری را به صورت دنباله‌ای از قطارهای موج هماهنگ با طول متناهی تولید می‌کنند که هر یک از آنها با تغییر ناپیوسته فاز از دیگری جدا شده‌اند. این تغییرات ناشی از فرایند نامنظم گذار اتم‌های برانگیخته چشمه نور بین ترازهای انرژی است که قطار موج کاتوره‌ای کوتاه تولید می‌کند. موج باید در زمانهای متناهی شروع و ختم شود، تا طبق معادله (۱۱.۱) قطار موج دارای طول متناهی شود. بنابراین امواج هماهنگ تولیدکننده نور ناشی از گذارهای اتمی باید طوری انتخاب شوند که در یک بازه زمانی قطار موج را دقیقاً ایجاد کنند و در خارج از این بازه یکدیگر را کاملاً حذف کنند. روش ریاضی برای ایجاد این امواج استفاده از انتگرال‌های تبدیل فوریه است [۳۰].

طول عمر متوسط قطار موج توسط زمان همدوسی^{۱۵} مشخص می‌شود. زمان همدوسی Δt بازه زمانی‌ای است که در آن می‌توان فاز موج نور را در نقطه معینی از فضا پیشگویی کرد. پهنای طبیعی خط طیفی طبق رابطه (۱۱.۱) معکوس زمان همدوسی می‌باشد یعنی هرچه زمان همدوسی بیشتر باشد چشمه تکفام‌تر است. طول همدوسی ct است.

^{۱۵}Coherence time.