

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



پژوهشکده فیزیک کاربردی و ستاره شناسی
گروه فوتونیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته فوتونیک - گرایش آلی

عنوان

مطالعه اثر درجه همدوسی نور نویسنده بر الگوهای خودسامان ده ایجاد شده بر روی فیلم پلیمری آزو

استاد راهنما

دکتر سهراب احمدی کندجانی

استاد مشاور

دکتر حبیب خوش سیما

پژوهشگر

رامین اباذری

شهریور ماه ۱۳۹۰

با کمال احترام؛ تقدیم به:

پدر، مادر و خواهر عزیزم

نام و نام خانوادگی دانشجو: رامین اباذری

عنوان پایان نامه: مطالعه اثر درجه همدوسی نور نویسنده بر الگوهای خودسامان ده ایجاد شده بر روی فیلم پلیمری آزو

استاد راهنما: دکتر سهراب احمدی

استاد مشاور: دکتر حبیب خوش سیما

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد رشته: فوتونیک گرایش: آلی دانشگاه: تبریز

دانشکده: پژوهشکده فیزیک کاربردی و ستاره شناسی تاریخ فارغ التحصیلی: شهریور ماه ۹۰ تعداد صفحه: ۸۵

کلیدواژه ها: همدوسی جزئی، شیشه مات چرخان، طرح اسپکل، توری برجسته سطحی خود سامان ده، فیلم پلیمر آزو

چکیده:

مطالعات فراوانی بر روی مواد پلیمری حاوی رنگینه های آزو برای ساخت توری های تمام نگاری جهت بکارگیری در زمینه های ذخیره سازی اطلاعات، کوپل کردن نور به موجرها و الکترونیک نوری غیرخطی صورت گرفته است. در این زمینه توری های ضریب شکست دوبعدی و سه بعدی را می توان ایجاد نمود و خواص پلیمری را بگونه ای سازماندهی نمود تا توری های خودسامان ده ایجاد شده آثار دلخواهی را از خود بروز دهند. در تمامی موارد این توری ها از طریق طرح تداخلی حاصل از لیزر با طول موجی که توسط ماده مورد نظر جذب می شود، ایجاد میگردد. مطالعات نشان داده اند که همدوسی نور نویسنده نقش اساسی در ایجاد توری های برجسته سطحی خود سامان ده دارند. نور همدوس لیزر میتواند یک توری برجسته سطحی خودسامان ده با پیوند و دامنه تقریباً یکنواخت در ناحیه تحت تابش ایجاد کند در حالیکه نور ناهمدوس قادر به ایجاد الگو بر روی سطح فیلم پلیمر آزو نیست. کارهای انجام یافته اخیر نشان داده اند که یک نور ناهمدوس زمینه میتواند آهنگ رشد توریهای تحت تابش همزمان با یک نور همدوس را افزایش دهد که مارا قادر میسازد با توانهای کم نور همدوس بتوانیم توری خودسامان ده ایجاد کنیم. در این کار تجربی با تغییر درجه همدوسی نور لیزر نویسنده، تغییرات توری های ایجاد شده مورد مطالعه قرار گرفت. برای تغییر درجه همدوسی، نور لیزر نویسنده از میان یک صفحه شیشه ای مات چرخان عبور میکند. درجه همدوسی این نور به عنوان تابعی از اندازه طرح اسپکل ایجاد شده می باشد.

فهرست:

مقدمه	۱
(۱) فصل اول: بررسی منابع و پیشینه تحقیق	
۱-۱) همدوسی	۵
۱-۱-۱) سیر تاریخی همدوسی	۵
۲-۱-۱) اصل برهم نهی و تداخل	۷
۳-۱-۱) همدوسی فضائی و زمانی	۹
۱-۳-۱-۱) همدوسی زمانی	۹
۲-۳-۱-۱) همدوسی فضائی	۱۱
۲-۱) گروه آزوبنزن	۱۹
۱-۲-۱) معرفی گروه آزوبنزن	۱۹
۲-۲-۱) ایزومرهای گروه آزو	۲۰
۱-۲-۲-۱) مدل های تفسیر کننده پدیده ایزومریزاسیون ترانس-سیس-ترانس	۲۲
۳-۲-۱) قرار گیری رنگینه های آزو در پلیمرها	۲۳
۴-۲-۱) باز جهت گیری نور القا در رنگینه های آزو	۲۳
۱-۴-۲-۱) حرکات نور القاء در پلیمر های حاوی آزو بنزن	۲۴
۳-۱) توری های برجسته سطحی	۲۷
۱-۳-۱) مرور تاریخی ثبت توری های برجسته سطحی	۲۷
۲-۳-۱) ثبت توری های برجسته سطحی ناشی از دو باریکه	۲۷
۳-۳-۱) مدل های تفسیر کننده توری برجسته سطحی دو باریکه ای	۳۰
۱-۳-۳-۱) مدل گرادیان فشار	۳۰
۲-۳-۳-۱) مدل گرادیان دمایی	۳۱
۳-۳-۳-۱) مدل گرادیان میدان الکتریکی	۳۱
۴-۳-۳-۱) مدل مهاجرت	۳۱
۴-۳-۱) تاثیر همدوسی نور در ایجاد توری های برجسته سطحی	۳۲
۴-۱) توری های برجسته سطحی خود سامان ده	۳۳
۱-۴-۱) الگو های خود سامان ده در اپتیک	۳۳
۲-۴-۱) ثبت توری برجسته سطحی خود سامان ده	۳۴
۳-۴-۱) مکانیسم تولید توری های برجسته سطحی خود سامان ده	۳۵
۴-۴-۱) مدلی برای تفسیر توری برجسته سطحی خود سامان ده	۳۶
۵-۴-۱) کاربرد های توری برجسته سطحی	۳۹

- ۳۹-۱-۴-۵) ذخیره سازی نوری اطلاعات.....
- ۴۰-۱-۴-۵) کوپلاژ نور به موجبر.....
- ۴۰-۱-۴-۵) استفاده برای جهت گیری بلور های مایع.....

۲) فصل دوم: مواد و روشها

- ۱-۲) اندازه گیری و کنترل همدوسی فضائی.....
- ۱-۱-۲) قضیه ی ون سیتزر-زرنیکه.....
- ۲-۱-۲) روشهای اندازه گیری همدوسی فضائی.....
- ۱-۲-۱-۲) اندازه گیری همدوسی فضائی با استفاده از یک ماسک با چند روزنه.....
- ۲-۲-۱-۲) چیدمان تجربی اندازه گیری همدوسی فضائی.....
- ۳-۱-۲) تغییر درجه همدوسی.....
- ۱-۳-۱-۲) منبع نور شبه حرارتی.....
- ۲-۳-۱-۲) تغییر درجه همدوسی با تغییر در پارامترهای نور شبه حرارتی.....
- ۲-۲) نمونه و آماده سازی آن.....
- ۱-۲-۲) مواد مورد استفاده.....
- ۲-۲-۲) آماده سازی نمونه و طیف جذبی نمونه آماده شده.....
- ۳-۲) ایجاد توری برجسته سطحی خود سامان ده با نور جزئی همدوس.....
- ۱-۳-۲) تحلیل فرآیند ایجاد توری برجسته سطحی خود سامان ده.....
- ۲-۳-۲) بررسی خودبخودی بودن پدیده ایجاد توری برجسته سطحی خود سامان ده.....
- ۳-۳-۲) ترتیبات تجربی برای ثبت توری برجسته سطحی خود سامانده با تغییر همدوسی.....

۳) فصل سوم: نتایج و بحث

- ۱-۳) نتایج مربوط به کنترل و اندازه گیری همدوسی فضائی نور لیزر.....
- ۱-۱-۳) نتایج مربوط به تولید طرح اسپکل.....
- ۲-۱-۳) نتایج مربوط به کنترل همدوسی فضائی نور لیزر.....
- ۲-۳) نتایج مربوط به فیلم پلیمری آزو.....
- ۱-۲-۳) نتایج مربوط به اندازه گیری طیف جذبی فیلم پلیمری آزو.....
- ۳-۳) نتایج مربوط به ثبت توری برجسته سطحی خودسامان ده.....
- ۱-۳-۳) ثبت توری برجسته سطحی خودسامان ده با همدوسی کامل لیزر نویسنده.....
- ۲-۳-۳) ثبت توری برجسته سطحی خودسامان ده با همدوسی جزئی لیزر نویسنده.....

۸۰) نتیجه گیری

۸۱) پیشنهادات

۸۲) مراجع

فهرست شکل ها

(۱) فصل اول:

- شکل (۱-۱): طرح واره ای از آزمایش یانگ ۸
- شکل (۲-۱): نموداری برای نمایش همدوسی فضائی و زمانی ۹
- شکل (۳-۱): طرح واره ی آزمایش تداخل سنج مایکلسون ۱۰
- شکل (۴-۱): طرح واره ی تداخل سنج یانگ، هنگامی که توسط یک منبع گسترده روشن می شود. ۱۱
- شکل (۵-۱): تغییرات شدت بر روی پرده مشاهده برحسب اختلاف فاز ناشی از اختلاف راه نوری برای حالت‌های الف) همدوس کامل ب) ناهمدوس کامل ج) همدوسی جزئی. ۱۶
- شکل (۶-۱): ایزو مرهای مولکولی گروه آزو بنزن و نحوه تبدیل آنها به یکدیگر ۲۰
- شکل (۷-۱): فرآیند ایزومریزاسیون ترانس به سیس از دید انرژی. ۲۱
- شکل (۸-۱): مدل چرخشی و وارونی ۲۲
- شکل (۹-۱): باز جهت گیری مولکولهای آزو ۲۴
- شکل (۱۰-۱): انواع حرکات مولکولی گروه آزو در فیلم پلیمری ۲۵
- شکل (۱۱-۱): چیدمان نوعی برای ثبت توری برجسته سطحی دو باریکه ای و آشکارسازی پراش مرتبه اول ۲۸
- شکل (۱۲-۱): تصویر سه بعدی میکروسکوپ نیروی اتمی نوعی از توری برجسته سطحی ۲۹
- شکل (۱۳-۱): مدل گرادیان فشار ۳۰
- شکل (۱۴-۱): نمایش شماتیکی از مدل مهاجرت ۳۲
- شکل (۱۵-۱): تصویر نوعی توسط میکروسکوپ نیروی اتمی (دو بعدی) از ساختار توری برجسته سطحی ایجاد شده بر روی فیلم پلیمری آزو توسط تابش لیزر پیوسته کار یون آرگون با طول موج 514nm و قطبش خطی ۳۴
- شکل (۱۶-۱): وابستگی زمان ثبت توری برجسته سطحی خود سامان ده به شدت باریکه لیزر نویسنده ۳۵
- شکل (۱۷-۱): چیدمان اپتیکی مربوط به ایجاد هولوگرام از جسم توسط توری برجسته سطح ۳۹

شکل (۱-۱۸): نمایش شماتیکی از کوپلاژ نور توسط توری های برجسته سطحی ۴۰

شکل (۱-۱۹): جهت گیری مولکول های کریستال مایع توسط توری برجسته سطح ۴۰

(۲) فصل دوم:

شکل (۲-۱): تصویری برای توضیح تئوری ون سیتز-زرنیکه ۴۲

شکل (۲-۲): طرح واره ی ماسک با چهار روزنه مورد استفاده در آزمایشگاه ۴۸

شکل (۲-۳): چپش آزمایشگاهی برای تغییر و اندازه گیری درجه ی مختلط همدوسی فضائی ۵۰

شکل (۲-۴): طرح واره ی عبور نور لیزر از شیشه ی مات ۵۱

شکل (۲-۵): ساختار آزو پلیمر مورد استفاده برای ثبت توری برجسته سطحی خود سامان ده ۵۳

شکل (۲-۶): تابش نور به سطح فیلم پلیمری و کوپلاژ آن به داخل فیلم ۵۵

شکل (۲-۷): چیدمان مربوط به ثبت توری برجسته سطحی خود سامان ده با کنترل همدوسی فضائی نور لیزر نویسنده و

آشکارسازی شدت پراش باریکه ۶۳

شکل (۲-۸): تغییرات زمانی شدت نور پراشی از توری برجسته سطحی خود سامان ده ۶۴

(۳) فصل سوم:

شکل (۳-۱): شیشه مات آماده شده برای استفاده در آزمایش ۶۶

شکل (۳-۲): تصویر طرح های اسپکل تشکیل شده در آزمایشگاه درالف ($l = 0.00mm$ و ب) ($l = 10.00mm$) ۶۷

شکل (۳-۳): تصویر طرحهای تداخلی تشکیل شده در دوربین CCD به ازاء فواصل مختلف l در چیدمان شکل (۲-۳) ۶۹

شکل (۳-۴): پروفایل طرح تداخلی در راستای محور افقی (x) برای $l = 0.0 mm$ ۷۰

شکل (۳-۵): سمت راست دامنه ی طیف فوریه ی نرمالیزه شده نسبت به ارتفاع پیک مرکزی، برای ۶ کلاس جفت روزنه

ماسک شکل ۱ در $l = 0.0 mm$ ۷۰

شکل (۳-۶): اندازه ی درجه ی مختلط همدوسی فضائی به ازاء اندازه ی ناحیه ی همدوس برای $l = 0.0 mm$ ۷۱

شکل (۳-۷): نمودار تغییرات قطر ناحیه همدوس بر حسب l برای سرعتهای متفاوت شیشه ی مات چرخان ۷۲

شکل (۳-۸): تصویری از فیلم پلیمر آزو MB31 ۷۴

شکل (۹-۳): طیف جذبی پلیمر آزو MB31..... ۷۴

شکل (۱۰-۳): شدت نور پراشی لیزر نویسنده (با همدوسی کامل) از توری برجسته سطحی خود سامان ده
بر حسب زمان..... ۷۵

شکل (۱۱-۳): شدت نور پراشی لیزر نویسنده بر حسب زمان برای l های مختلف ۷۷

شکل (۱۲-۳): T برای منحنی های پراش تحت برازش $Y = Y_0 + Ae^{\frac{t}{T}}$ برای l های مختلف ۷۸

مقدمه:

نظریه همدوسی، همبستگی میدانهای الکترومغناطیسی در دو نقطه ی فضا- زمان را مورد مطالعه قرار می دهد. برای این منظور میدانهای دو نقطه را باهم تداخل می دهند. در فرایند تداخل، حاصل ضرب میدان یک نقطه در مزدوج میدان نقطه ی دیگر ظاهر می شود. اگر متوسط زمانی بهنجار شده ی این حاصلضرب صفر شود، میدان ها در دو نقطه را کاملاً ناهمدوس می نامند و اگر برابر یک شود، میدان ها در دو نقطه را کاملاً همدوس می نامند. برای چشمه های نور واقعی کمیت مذکور بین صفر و یک است و میدان ها در دو نقطه را نسبی همدوس می نامند. بنابراین مشاهده و عدم مشاهده ی نقش تداخلی به ترتیب وجود و عدم وجود همبستگی میان میدانها را بیان می کند. بر اساس توجیه ریاضی آزمایش یانگ، وقتی شدت نور دو روزنه باهم برابر باشد، نمایانی فریزها برابر درجه همدوسی است. پس با تهیه نقش تداخلی و بدست آوردن نمایانی، درجه همدوسی حاصل میشود. لذا خصوصیت همدوسی جزئی نور در پدیده تداخل مورد مطالعه قرار میگیرد و تداخل به عنوان عامل وجود همبستگی بین میدانهای نوری شناخته می شود.

قضیه ی ون- سیتز- زرنیکه بیان میکند که اگر ابعاد خطی چشمه و فاصله بین دو روزنه در مقایسه با فاصله صفحه روزنه ها از چشمه کوچک باشد، درجه همدوسی متقابل برابر است با قدرمطلق تبدیل فوریه بهنجار شده تابع توزیع شدت چشمه. برای اندازه گیری درجه همدوسی از روش های مختلفی استفاده شده است، از جمله: آزمایش یانگ روش تامپسون- ولف، آزمایش یانگ روش زرنیکه، تداخل سنج اختری مایکلسون، روش هنبری براون و توییس، منشور ولستون، قطبش نمای ساوارت و انجام آزمایش یانگ با دوتار نوری.

بررسی ها نشان می دهد که برای تغییر درجه همدوسی، نور لیزر نویسنده را از یک عدسی همگرا عبور داده و پس از فاصله کوتاهی از کانونی شدن، از شیشه مات چرخان که بوسیله یک موتور با سرعت قابل کنترل می چرخد، عبور می دهند. برای تغییر ناحیه روشن شده از شیشه مات، مکان این شیشه مات در راستای مسیر عبور نور به صورت کنترل شده قابل جابجایی است. درجه

همدوسی این نور به عنوان تابعی از اندازه اسپکل ها می باشد. طرح اسپکل ناشی از تعداد زیادی پدیده ی تداخل و پراش به صورت همزمان است.

مواد ناهمسانگرد به طور وسیعی در زمینه ذخیره سازی نوری مورد بررسی قرار گرفته اند. به نظر میرسد که در میان سیستمهای پلیمری، رنگینه های آزو بدلیل مقادیر بزرگ دوشکستی نور القائی که میتواند در آنها بوجود آید از جایگاه ویژه ای برخوردارند، خاصیت اصلی این گروه از رنگینه ها در چنین سیستم هایی ایزومریزاسیون آنها بین دو حالت سیس و ترانس است و بازجهت گیری ملکولی آنها به هنگام تابش دهی توسط نور قطبیده ای با طول موج مناسب میباشد. در یک مدل استاندارد از شکل گیری توری برجسته سطحی در پلیمرهای حساس به نور با مبنای آزو، پلیمرهای حساس به نور با ایجاد طرح تداخلی تحریک میشوند، ملکولها با واکنش پذیری بالا در مسیرهای متفاوت حرکت میکنند و انتقال جرم از ناحیه روشن به تاریک صورت میگیرد و بیشینه ارتفاع در نقاطی که حداقل شدت نور را دارند ایجاد میشود. لذا معمولاً برای شکل دهی توری های برجسته سطحی دو پرتو لازم است اما اخیراً ثابت شده است که اندرکنش یک تک پرتو، میتواند الگوی خودسامان ده ایجاد کند. از آنجائیکه این توری ها توسط تک باریکه لیزری ایجاد می شوند به آنها توری های برجسته سطحی خود سامان ده گفته می شود.

معمولاً سطح همه مواد از جمله پلیمرها، دارای ناهمواریهای کاملاً کاتوره ای است. چنین ناهمواری هایی را می توان بصورت ترکیب خطی از تعداد زیادی توری با پریودهای متفاوت در نظر گرفت. هرکدام از این توری ها میتوانند نور لیزری تابشی را به چندین مرتبه پراشی، پراش دهند. نورهای پراشی با نور تابشی تداخل کرده و یک الگوی شدت پریودیک با پریودی برابر با فرکانس فضایی توری متناظرش تشکیل می شود. تنها بازه باریکی از این فرکانسهای فضایی (توری ها) که نور لیزر تابشی را موازی با سطح پراش میدهد بر بقیه غلبه کرده و باعث رشد سریع این توری میشود. مولکولهای آزو تحت تابش یک الگوی شدت پریودیک و در اثر چرخه فوتوایزومریزاسیون ترانس-سیس-ترانس از نواحی با شدت بالا (فرانژهای روشن الگوی شدت) بطرف نواحی تاریک و در راستای قطبش نورتابشی حرکت کرده و بدلیل اتمام چرخه در نواحی تاریک باقی میمانند. این فرآیند

باعث انتقال جرم از نواحی روشن به تاریک شده و توری برجسته سطحی بر سطح فیلم پلیمری تشکیل میشود.

مطالعات نشان داده اند که همدوسی نور نویسنده نقش اساسی در ایجاد توری های برجسته سطحی خود سامان ده دارند. نور همدوس لیزر میتواند یک توری برجسته سطحی خودسامان ده با پیروید و دامنه تقریباً یکنواخت در ناحیه تحت تابش ایجاد کند در حالیکه نور ناهمدوس قادر به ایجاد الگو بر روی سطح فیلم پلیمر آزو نیست. کارهای انجام یافته اخیر نشان داده اند که یک نور ناهمدوس زمینه میتواند آهنگ رشد توری های تحت تابش همزمان یک نور همدوس را افزایش دهد که مارا قادر میسازد با توانهای کم نور همدوس بتوانیم توری خودسامان ده ایجاد کنیم. در این پروژه با کنترل درجه همدوسی نور لیزر نویسنده، تغییرات توری های ایجاد شده مورد مطالعه قرار خواهد گرفت.

این پایان نامه در سه فصل تنظیم شده است. در فصل اول بررسی منابع و پیشینه ی تحقیق صورت گرفته است. شروع بحث با همدوسی است، که با مروری بر سیر تاریخی، همدوسی زمانی و فضایی توضیح داده شده است. در ادامه گروه آزو بنزن و ایزومرهای آن معرفی شده اند. معرفی توریهای برجسته ی سطحی و تشریح مدلهای تفسیر کننده ی آنها سومین بخش از فصل اول است. در قسمت پایانی این فصل توری های برجسته ی سطحی ، مکانیسم تولید آنها، مدلی برای تفسیر آنها و کاربرد توری های برجسته ی سطحی مطرح شده است.

در فصل دوم پس از ارائه ی روشی برای کنترل و اندازه گیری همدوسی فضائی، ایجاد توری برجسته ی سطحی با نور جزئی همدوس توضیح داده شده است. نحوه ی آماده سازی نمونه برای استفاده در آزمایشگاه از دیگر مطالب عنوان شده در این فصل است.

در فصل سوم نتایج بدست آمده در مورد اندازه گیری همدوسی فضائی، اندازه گیری طیف جذبی پلیمر آزو و نیز اثر درجه همدوسی نور نویسنده بر الگوهای خودسامان ده ایجاد شده بر روی فیلم پلیمری آزو توضیح داده شده است.

این پایان نامه با بخشهای نتیجه گیری ، پیشنهادات و معرفی منابع و مراجع به پایان رسیده است.

فصل اول

بررسی منابع و پیشینه ی تحقیق

(۱-۱) همدوسی

(۱-۱-۱) سیر تاریخی همدوسی

افت و خیز^۱های میدانهای الکترومغناطیسی موجود در طبیعت سریعتر از آنند که بطور مستقیم مشاهده شوند. ساده ترین ظهور اثر همبستگی^۲ میدانهای اپتیکی تداخل^۳ است که از برهم نهی پرتوهای نوری یک منبع حاصل می شود. مطالعات میدانهای نوری که توصیف آماری این میدانها را در بر دارد و به یک طبقه بندی از پدیده همبستگی منجر می شود، به نظریه ی همدوسی معروف است. درجه ی مختلط همدوسی فضائی که نتیجه ی مستقیم پدیده های تداخل و پراش است، یک پارامتر مهم برای توصیف یک میدان نوری می باشد. این پارامتر را شکل نرمالیزه شده ی تابع همبستگی میدان نوری در دو نقطه است [۱]. آزمایش کلاسیکی که تداخل نور را نشان می دهد اولین بار در سال ۱۸۰۲ توسط توماس یانگ^۴ انجام شد [۲]. شصت سال بعد امیل وردت^۵ نشان داد، خورشید که آن را معمولاً ناهمدوس در نظر می گیریم، هنگام روشن کردن دو روزنه نزدیک به هم ($\leq 0.5 \text{ mm}$) می تواند فریز^۶های تداخلی قابل مشاهده ایجاد کند [۳]. بعد از آن مایکلسون^۷ در سال ۱۸۹۰ مطالعاتی را در رابطه با نمایانی^۸ فریزهای تداخلی و توزیع شدت چشمه گسترده انجام داد. گرچه نتایج مایکلسون به معنای همبستگی میدانها تعبیر نشد، اما سهم اساسی در شکل گیری نظریه ی همدوسی جزئی^۹ داشت. اولین اندازه گیری همبستگی میدانها را ون لاه^{۱۰} در سال ۱۹۰۷ انجام داد و از نتیجه تحقیقاتش در زمینه ترمودینامیک باریکه های نور استفاده کرد. برک^{۱۱} از دیگر کسانی بود که از مفهوم همبستگی میدانها بهره برد. او نتایج تحقیقاتش را در زمینه تشکیل تصویر در میکروسکوپ بکار برد. در سال ۱۹۳۴ مرحله جدیدی از موضوع همدوسی با انتشار مقاله ای توسط ون سیتتر^{۱۲} [۴] آغاز شد. او همبستگی میان میدانها را در دو نقطه ای که توسط چشمه گسترده روشن میشود تعیین کرد. پس از آن در سال ۱۹۳۸ زرنیکه^{۱۳} یک رهیافت ساده تر و متفاوت برای این موضوع بیان کرد. زرنیکه برای اولین بار درجه همدوسی نور را تعریف کرد و

^۱ Fluctuation^۲ Correlation^۳ Interference^۴ Young^۵ Emil Verdet^۶ Fringe^۷ Michelson^۸ Visibility^۹ Partially coherence^{۱۰} Van Laue^{۱۱} Berek^{۱۲} Van Cittert^{۱۳} Zernike

نتایج تحقیقاتش را به همراه سایر نتایج تجربی که بدست آورده بود، منتشر کرد [۵]. زرنیکه نشان داد که درجه همدوسی مستقیماً از نمایانی فریزهای تشکیل شده در آزمایش یانگ با فرض اینکه شدت در دو روزنه برابر باشد، حاصل می شود [۶]. درجه همدوسی معرفی شده توسط زرنیکه، همان همبستگی میدانها بود که توسط ون لاه و ون سیتز مطرح شده بود. اما این روش ها کم و بیش دارای مشکلاتی نیز بودند. مشکل اول ناشی از کاربرد این نظریه فقط در مورد نور شبه تک رنگ بود و مشکل دوم به محدودیت این نظریه در کوچک بودن اختلاف راه بین باریکه های تداخل کننده مربوط می شد. امیل ولف^۱ (۱۹۵۴) از جمله کسانی بود که در حل این مشکلات و پایه ریزی یک نظریه قوی نقش مهمی ایفا کرد. او نشان داد که درجه همدوسی با نمایانی فریزهای تداخلی ضرب شده در یک فاکتور مربوط به شدت هر روزنه داده می شود [۶]. از آن به بعد چندین روش برای اندازه گیری درجه همدوسی بر مبنای تداخل سنج یانگ معرفی شد [۷-۱۱]. این روشها مستلزم چندین ماسک از دو روزنه با فواصل متفاوتند. اخیراً سانتانسیرو^۲ و بورگی^۳ از یک ماسک با دو روزنه که به صورت جانبی حرکت می کنند، استفاده نمودند [۱۲]. کاستاندا^۴ و همکارانش همکارانش روشی بر اساس آنالیز طیف فوریه ی طرح تداخلی تولید شده با یک ماسک با روزنه های چندگانه با آرایش غیرتکراری را ارائه نمودند [۱۳ و ۱۴]. در سال ۲۰۰۷ مجیا^۵ و گونزالس^۶ با استفاده از یک ماسک چند روزنه ای، درجه همدوسی فضائی را اندازه گیری کردند [۱۵].

رایج ترین روش برای کاهش همدوسی نور لیزر استفاده از شیشه ی مات چرخان است که اولین بار در سال ۱۹۶۴، مارتینسن^۷ و اسپیلر^۸ این ایده را برای شبیه سازی منبع شبه حرارتی ارائه نمودند [۱۶]. اجسامی که تحت تابش نور همدوس لیزر قرار می گیرند، طرحی به شکل نقطه نقطه تولید می کنند که آن را طرح اسپکل^۹ می نامند. طرح اسپکل ناشی از تعداد زیادی پدیده ی تداخل و پراش به صورت همزمان است. همدوسی منبع تابعی از اندازه اسپکل است. نتایج حاصل از بررسی رابطه ی همدوسی منبع با اندازه ی اسپکل ها در فصل سوم آمده است. البته روش های دیگری همچون استفاده از یک نوع بلور مایع خاص برای کنترل همدوسی نور لیزر ارائه شد [۱۷].

^۱ Emil Wolf

^۲ Santarsiero

^۳ Borghi

^۴ Castaneda

^۵ Mejia

^۶ Gonzalez

^۷ Martienssen

^۸ Spiller

^۹ Speckle Pattern

(۲-۱) اصل برهم نهی و تداخل

اساس نظریه ی تداخل نور مبتنی بر اصل برهم نهی خطی میدانهای الکترومغناطیسی است. طبق این اصل میدان الکتریکی \mathbf{E} که در نقطه ای از فضای تهی بوسیله ی چندین چشمه مشترکاً تولید می شوند برابر است با حاصل جمع برداری تک تک میدانهایی که در آن نقطه بوسیله ی چشمه های گوناگون بطور جداگانه تولید می شوند. این اصل برای میدانهای مغناطیسی نیز صادق است چون معادلات ماکسول در خلا معادلات دیفرانسیل خطی اند [۲].

دو موج هارمونیک که بطور خطی قطبیده اند و بسامد هردو مساوی ω است در نظر میگیریم. میدانهای الکتریکی چنین خواهند بود:

$$\mathbf{E}_{(1)} = \mathbf{E}_1 \exp i(\mathbf{k}_1 \cdot \mathbf{r} - \omega t + \varphi_1)$$

$$\mathbf{E}_{(2)} = \mathbf{E}_2 \exp i(\mathbf{k}_2 \cdot \mathbf{r} - \omega t + \varphi_2)$$

(۱-۱)

مقادیر φ_1 و φ_2 برای هر اختلاف فازی که ممکن است میان چشمه های دو موج وجود داشته باشد، به کار برده شده اند. اگر اختلاف فاز $\varphi_1 - \varphi_2$ ثابت باشد، گفته می شود دو چشمه با هم همدوسند. در این حالت امواج حاصل از این چشمه ها نیز باهم همدوس اند. بحث خود را به امواج تکفامی که باهم همدوس اند، معطوف می کنیم.

با صرف نظر از ثابت تناسب، برای شدت داریم:

$$\begin{aligned} I &= |\mathbf{E}|^2 = \mathbf{E} \cdot \mathbf{E}^* = (\mathbf{E}_{(1)} + \mathbf{E}_{(2)}) \cdot (\mathbf{E}_{(1)}^* + \mathbf{E}_{(2)}^*) \\ &= |\mathbf{E}_1|^2 + |\mathbf{E}_2|^2 + 2\mathbf{E}_1 \cdot \mathbf{E}_2^* \cos\theta \\ &= I_1 + I_2 + 2\mathbf{E}_1 \cdot \mathbf{E}_2^* \cos\theta \end{aligned}$$

(۲-۱)

$$\theta = \mathbf{k}_1 \cdot \mathbf{r} - \mathbf{k}_2 \cdot \mathbf{r} + \varphi_1 - \varphi_2$$

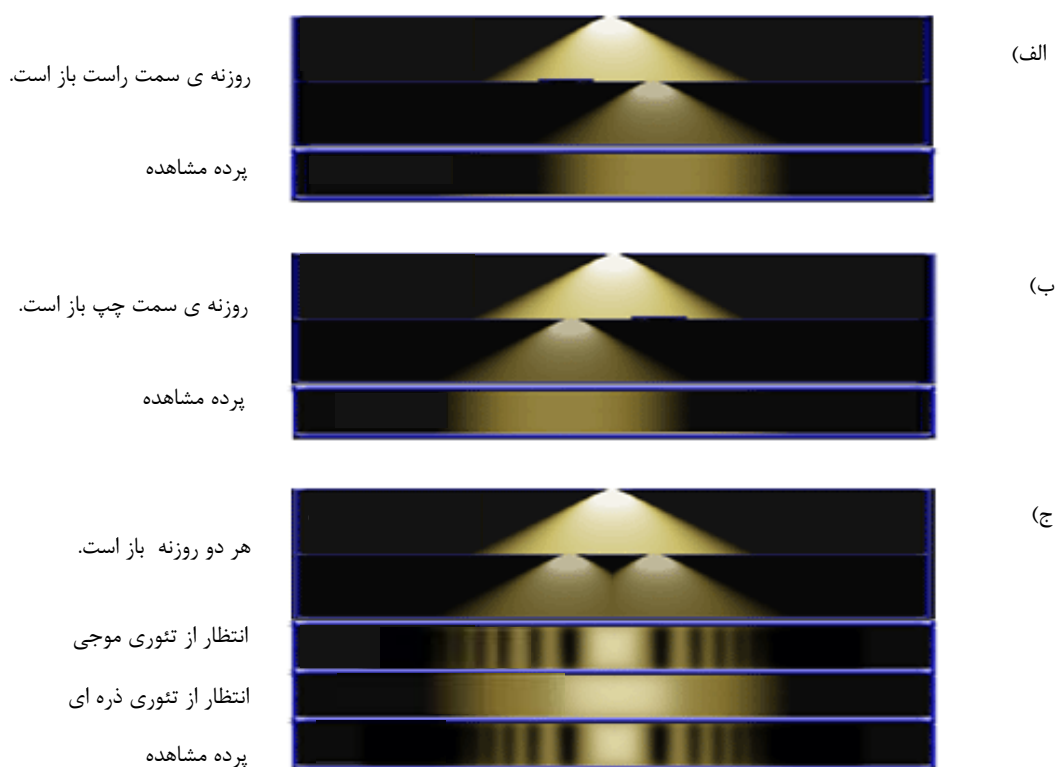
در رابطه فوق:

(۳-۱)

جمله $2\mathbf{E}_1 \cdot \mathbf{E}_2^* \cos\theta$ را جمله ی تداخل می نامند و نشان می دهد که مقدار I بستگی به مقدار θ دارد و ممکن است از $I_1 + I_2$ بزرگتر یا کوچکتر باشد. چون θ به \mathbf{r} بستگی دارد، شدت نور به طور دوره ای در فضا تغییر

میکند. این تغییرات به صورت فریزهای تداخلی که از ترکیب دو پرتو همدوس بوجود می آیند دیده می شود [۲] .
اگر چشمه های دو موج با هم ناهمدوس باشند، کمیت $\varphi_1 - \varphi_2$ به طور کاتوره ای با زمان تغییر می کند. در نتیجه مقدار میانگین $\cos\theta$ صفر می شود و تداخل صورت نمی گیرد.

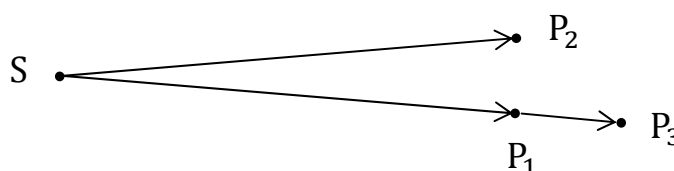
آزمایش معروف توماس یانگ را میتوان نقطه ی آغازی برای مطالعات مربوط به تداخل در نظر گرفت. یانگ نور خورشید را ابتدا از یک تک روزنه و سپس از یک جفت روزنه در امتداد آن عبور داده و نتیجه را روی یک پرده مشاهده کرد. وقتی فقط یکی از روزنه ها باز بود روی پرده فقط یک پیک مشاهده شد ، شکل (۱-۱ الف و ب) اما زمانی که هر دو روزنه ها باز بودند به جای جمع دو پیک که مورد انتظار تئوری ذره ای نور بود ، روی پرده طرحی از نوارهای روشن و تاریک مشاهده شد شکل (۱-۱ ج). این طرح تداخلی بهترین توضیح برای خاصیت موجی بود.



شکل (۱-۱): طرح واژه ای از آزمایش یانگ (توضیحات در متن)

(۳-۱-۱) همدوسی فضائی و زمانی:

همدوسی به دو دسته همدوسی زمانی و همدوسی فضائی تقسیم می شود. یک چشمه ی نقطه ای شبه تکفام مثل S و سه نقطه دریافت کننده ی P_1, P_2, P_3 را مطابق شکل (۲-۱) در نظر میگیریم. میدانهای دریافتی در این نقاط عبارت از E_1, E_2, E_3 هستند. دونقطه ی P_1 و P_3 با چشمه در یک راستا هستند و تنها فاصله ی آنها از S متفاوت است. بنابراین همدوسی میان میدانهای E_1 و E_3 معیاری از همدوسی زمانی میدان است. در واقع در همدوسی زمانی، قابلیت تداخل پرتو نور با جابجا شده ی زمانی خودش اهمیت دارد (جابجایی فضائی نداریم). به این نوع تقسیم پرتو، تقسیم دامنه گویند.



شکل(۲-۱): نموداری برای نمایش همدوسی فضائی و زمانی [۲]

از طرف دیگر نقاط دریافت کننده ی P_1 و P_2 از S هم فاصله اند. در این حالت همدوسی میان میدانهای E_1 و E_2 معیاری از همدوسی فضائی میدان است. در این مورد قابلیت تداخل باریکه نور با جابجا شده ی فضائی خودش (در یک زمان) مورد توجه است. به این نوع تقسیم پرتو نور، تقسیم جبهه موج گویند [۲].

(۱-۳-۱-۱) همدوسی زمانی:

عملاً برای یک چشمه نور معمولی (نظیر لامپ سدیم)، میدان به ازای همه ی مقادیر زمانی کاملاً سینوسی نیست. علت این امر آن است که وقتی اتم تحریک شده به حالت پایه بر میگردد و نور گسیل می دارد، دوام تپ در حدود 10^{-10} ثانیه است. بنابراین به مدت زمانی حدود 10^{-10} ثانیه میدان سینوسی باقی می ماند. این مدت زمان را زمان همدوسی باریکه نور می گویند و معمولاً آن را با τ_c نشان می دهند. برای درک مفهوم همدوسی زمانی، آزمایش تداخل سنج مایکلسون را بررسی می کنیم. یک باریکه نور روی باریکه شکن فرود می آید. امواج بازتابیده از

آینه های M_1 و M_2 ، با هم تداخل میکنند. (شکل ۳-۱) فرض می کنیم هنگام مشاهده با چشم، M'_2 تصویر آینه ی M_2 که در باریکه شکن تشکیل می شود ، باشد. اگر فاصله ی $M_1M'_2$ را با d نشان دهیم، باریکه ای که توسط آینه ی M_2 بازتابیده می شود راهی اضافی معادل $2d$ طی می کند. بنابراین باریکه ی بازتابیده از آینه ی M_1 با باریکه ی بازتابیده از آینه ی M_2 که $2d/c$ ثانیه (c سرعت نور در خلاء) زودتر گسیل شده است، تداخل می کند [۱۸].

$$\frac{2d}{c} \ll \tau_c \quad \text{اگر فاصله ی } d \text{ چنان باشد که:}$$

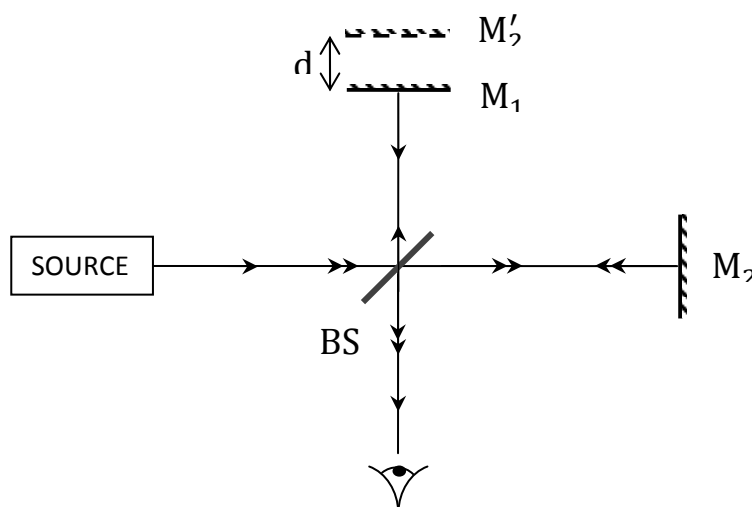
(۴-۱)

در این صورت رابطه ی فازی معینی بین دو باریکه وجود خواهد داشت و فریزهای تداخلی کاملاً واضحی با نمایانی بالا مشاهده می شوند. با افزایش فاصله ، نمایانی فریزها به تدریج کم می شود و سر انجام سیستم فریز ناپدید می شود.

$$\frac{2d}{c} \gg \tau_c \quad \text{از سوی دیگر ، اگر داشته باشیم:}$$

(۵-۱)

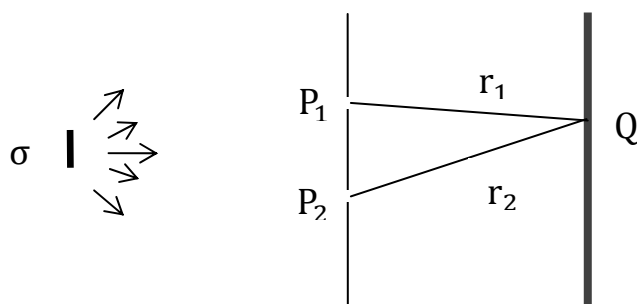
در این صورت رابطه ی فازی معینی بین دو باریکه وجود نخواهد داشت و هیچگونه نقش تداخلی مشاهده نمی شود. در مورد خط نئون ($\lambda = 632.8 \text{ nm}$) محو شدن فریزها به ازای اختلاف راه حدود چند سانتیمتر اتفاق می افتد. بنابراین $\tau_c = 10^{-10} \text{ s}$.



شکل(۳-۱): طرح واره ی آزمایش تداخل سنج مایکلسون [۵۷]

۱-۳-۲) همدوسی فضائی:

چشمه ای با پهنای طیفی باریک را در نظر میگیریم که نمایش مختلط آن به صورت $E(r, t)$ است. از آثار قطبش چشم پوشی می کنیم و بررسی نرده ای انجام می دهیم. در اینصورت آشفتگیها در نقاط P_1 و P_2 در فضا عبارتند از $E(P_1, t)$ و $E(P_2, t)$. اگر مانند آنچه در شکل (۴-۱) نمایش داده شده است، این دو نقطه را با دو روزنه ی کوچک که بر روی یک صفحه ی کدر قرار دارند جایگزین کنیم، به آزمایش یانگ باز خواهیم گشت.



شکل(۴-۱): طرح واره ی تداخل سنج یانگ، هنگامی که توسط یک منبع گسترده روشن می شود [۱].

میدان برآیند در نقطه Q بر روی صفحه ی مشاهده عبارت است از:

$$E(t) = k_1 E_1(t - t_1) + k_2 E_2(t - t_2)$$

(۶-۱)

که در آن $t_1 = \frac{r_1}{c}$ و $t_2 = \frac{r_2}{c}$. بنابراین میدان در نقطه ی فضا-زمان (Q, t) را می توان به ترتیب از روی میدانهایی که در نقاط P_1 و P_2 در زمانهای t_1 و t_2 وجود داشته اند، تعیین کرد؛ t_1 و t_2 زمان هایی است که طول می کشد تا نور به ترتیب فواصل روزنه های P_1 و P_2 تا نقطه ی Q را طی کند. ضرایب k_1 و k_2 به اندازه روزنه ها و فاصله ی روزنه ها تا پرده ی مشاهده وابسته اند. در صورتی که اندازه ی روزنه ها به حد کافی کوچک باشد این ضرایب را می توان ثابت در نظر گرفت. موجک^۱ های ثانویه که از روزنه های این سیستم خارج می شوند، نسبت به موج اولیه ی فرودی روی صفحه ی روزنه ها $\pi/2$ رادیان اختلاف فاز دارند که نشان می دهد این ضرایب، اعداد موهومی خالص اند [۱].

^۱ wavelet