بیست و ششمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و دوازدهمین
کنفرانس مهندسی و فناوری
فوتونیک ایران،
دانشگاه خوارزمی،
تهران، ایران.
۱۵-۱۶ بهمن ۱۳۹۸

جایگزیدگی عرضی در آرایه چرخشی یک‌بعدی از موجبرهای نوری

محسن یعقوبی*[۱]، مجتبی گلشنی[۲]، جاوید ضمیرانوری[۱]

[۱] دانشکده علوم پایه، بخش فیزیک، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران

[۲] دانشکده فیزیک، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان

* mohsenyaghoobi121072@gmail.com

چکیده - در این مقاله تاثیر اندازه شعاع چرخش بر جایگزیدگی اندرسون در آرایه چرخشی نامنظم از موجبرهای نوری، برای قدرت‌های بی‌نظمی مختلف، مورد بررسی قرار گرفته است. بدین‌منظور، از معکوس نرخ مشارکت به عنوان معیاری برای بررسی میزان جایگزیدگی استفاده شده است. نتایج عددی نشان می دهند که در هر قدرت بی‌نظمی، افزایش شعاع چرخش باعث افزایش میزان جایگزیدگی می‌گردد.

کلید واژه: جایگزیدگی اندرسون ، آرایه چرخشی از موجبرهای نوری ، نرخ مشارکت

Transverse Localization in a **1D** Twisted Optical Waveguide Array

Mohsen Yaghoobi[1], Mojtaba Golshani[2], Javid Zamir-Anvari[1]

[1]Department of Physics, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran
[2]Faculty of Physics, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman

* mohsenyaghoobi121072@gmail.com

Abstract - In this paper, we investigate the impact of rotation on Anderson localization in twisted array of optical waveguides, for different disorder strengths. To this end, the inverse participation rate is used as a measure of localization. The numerical results show that by increasing the rotation radius, the localization also increases.

Keywords: Anderson Localization, Twisted Optical Waveguide Array, Participation rate

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19]

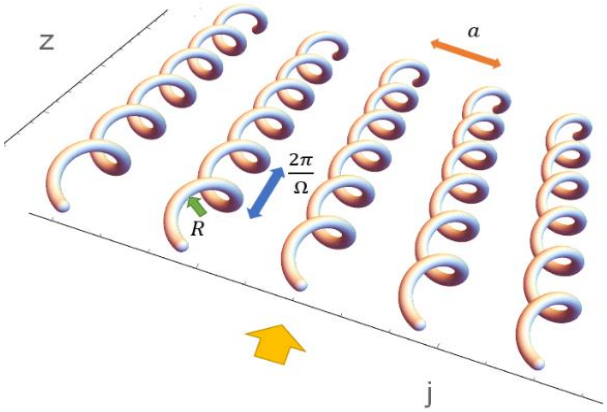
مقدمه

جایگزیدگی اندرسون که اولین بار توسط فیلیپ اندرسون مطرح گردید، به بررسی نحوه انتشار امواج در یک محیط نامنظم می-پردازد [۱]. اندرسون در سال ۱۹۵۸ نشان داد که در اثر پراکندگی ناشی از بی‌نظمی و به دلیل تداخل، موج الکترونی می‌تواند، برخلاف حرکت پخشی، کاملا جایگزیده شود، و گذار فلز به عایق رخ دهد. با توجه به این‌که اساس جایگزیدگی تداخل امواج پراکنده شده از بی‌نظمی است، این پدیده در امواج دیگر از جمله نور نیز قابل مشاهده است [۲]. تاکنون پژوهش‌های زیادی در بررسی جایگزیدگی و عوامل تاثیرگذار بر آن، از جمله قدرت بی‌نظمی، اثرات غیرخطی و ... انجام شده است[۵-۳]. یکی از مسائل مهم در مبحث جایگزیدگی بررسی نحوه تاثیر میدان مغناطیسی بر جایگزیدگی الکترون‌ها می‌باشد[۸-۶]. از آنجایی-که آرایه موجبرهای نوری یک آزمایشگاه در دسترس برای بررسی پدیده‌ای گوناگون در سیستم‌های گسسته ماده چگال و اپتیک می‌باشد[۹]، می‌تواند در شبیه‌سازی اثر میدان مغناطیسی بر جایگزیدگی نیز مورد استفاده قرار گیرد. بدین منظور می‌توان با بهره‌گیری از موجبرهای مارپیچی، به بررسی میزان چرخش موجبرها (که معادل اعمال میدان مغناطیسی بر بلور حالت جامد است) بر میزان جایگزیدگی نور پرداخت. آرایه موجبرهای مارپیچی در بررسی پدیده‌های دیگر نیز مورد بررسی قرار گرفته-اند [۱۳-۹].

در این مقاله، با محاسبه معکوس نرخ مشارکت، به بررسی نحوه تغییر میزان جایگزیدگی با شعاع چرخش موجبرها، در چند قدرت بی‌نظمی مختلف، خواهیم پرداخت.

معرفی سیستم

سیستم مورد بررسی، آرایه یک بعدی از N موجبر مارپیچی می-باشد که در فاصله ثابت a از یکدیگر قرار گرفته اند (شکل ۱). بنابراین موجبرهای اول و آخر تنها با یک موجبر و بقیه ی موجبرها با دو موجبر کناری خود تبادل انرژی خواهند داشت. با استفاده از نظریه جفت شدگی مدها ، معادلات تنگ-بست حاکم بر انتشار دامنه میدان الکتریکی موجبرهای اول، آخر و موجبرهای میانی $j = 2, \dots, N-1$ به ترتیب بدین صورت است[۶]:



شکل ۱: آرایه یک‌بعدی از موجبرهای مارپیچی

$$-\mathrm{i}\,\frac{\partial E_1}{\partial \mathrm{z}} = \beta_1\, E_1 + \mathrm{c}\, e^{iA(z).r_{2,1}}\, E_2$$

$$-\mathrm{i}\,\frac{\partial E_\mathrm{N}}{\partial \mathrm{z}} = \beta_\mathrm{N}\, E_\mathrm{N} + \mathrm{c}\, e^{i\mathrm{A(z)}.r_{\mathrm{N}-1,\mathrm{N}}}\, E_{\mathrm{N}-1}$$

$$-\mathrm{i}\,\frac{\partial E_\mathrm{j}}{\partial \mathrm{z}} = \beta_\mathrm{j}\, E_\mathrm{j} + \mathrm{c}\, e^{i\mathrm{A(z)}.r_{\mathrm{j}-1,\mathrm{j}}}\, E_{\mathrm{j}-1} + \mathrm{c}\, e^{i\mathrm{A(z)}.r_{\mathrm{j}+1,\mathrm{j}}}\, E_{\mathrm{j}+1}$$

به طوری که بردار $\mathrm{A(z)} = k_0 R\Omega[\sin(\Omega z), -\cos(\Omega z), 0]$ نشان دهنده‌ی پتانسیل برداری معادل با چرخش موجبرها، Ω فرکانس چرخش، k_0 عدد موج در محیط، R شعاع چرخش، E_n دامنه میدان در موجبر nام، β_n ثابت انتشار موجبر nام ، c ضریب جفت شدگی بین موجبرهای مجاور، N تعداد کل موجبرها، و نهایتا $r_{j,k} = r_j - r_k$ اختلاف مکان بین موجبر jام و kام است. به منظور بررسی جایگزیدگی اندرسون ثابت انتشار موجبرها به صورت یک عدد تصادفی در محدوده $[-\Delta, \Delta]$ درنظر گرفته شده است که در آن Δ قدرت بی‌نظمی است. نرخ مشارکت در طول انتشار ، معیاری برای اندازه گیری تعداد موجبرهای اشغال شده توسط نور است. نرخ مشارکت در یک سیستم شامل N موجبر همواره عددی بین ۱ و N می باشد. در حالت کاملا گسترده که موج در همه موجبرها با دامنه یکسان پراکنده شده است، نرخ مشارکت برابر N و در حالت کاملا جایگزیده که موج فقط در یک موجبر منتشر می‌شود، نرخ مشارکت برابر ۱ خواهد بود. نرخ مشارکت و جایگزیدگی با یکدیگر رابطه عکس دارند. از این‌رو، معکوس نرخ مشارکت کمیتی است که نشان دهنده میزان جایگزیدگی است:

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19]

$$IPR = \left\langle \frac{\sum_{n=1}^{N}|E_n(z)|^4}{\left(\sum_{n=1}^{N}|E_n(z)|^2\right)^2} \right\rangle$$

که در این رابطه، نماد $\langle \ldots \rangle$ نشان دهنده میانگین گیری روی نمودهای مختلف بی‌نظمی است. بنابر این هرچه معکوس نرخ مشارکت بزرگتر باشد، جایگزیدگی بیشتر خواهد بود.

نتایج عددی

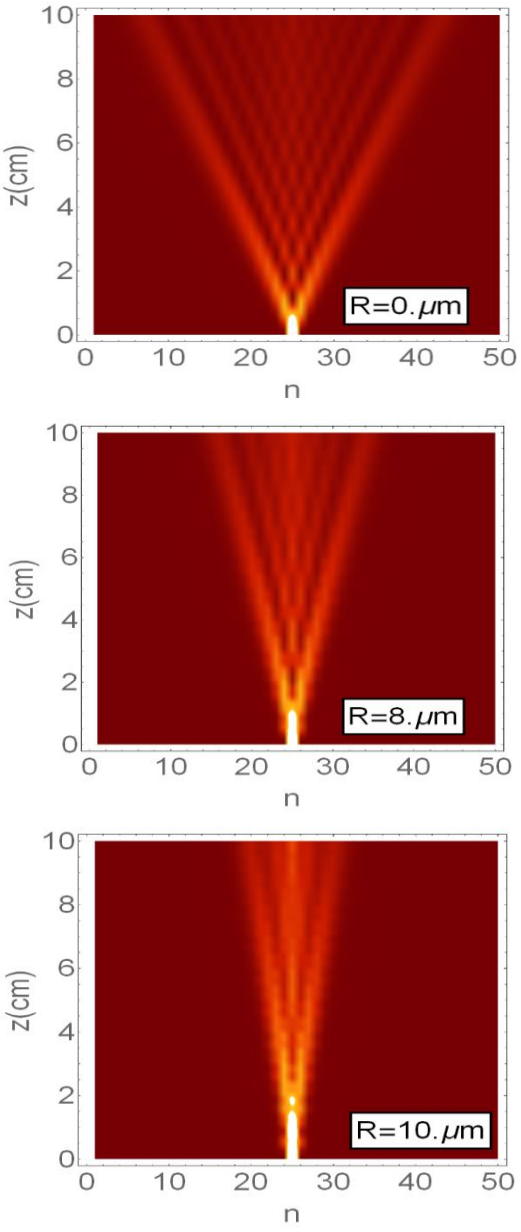
به منظور بررسی تاثیر شعاع چرخش بر میزان جایگزیدگی معادلات حاکم بر سیستم به ازای پارامترهای

$$\Omega = 2\pi\ cm^{-1}\ ,\quad k_0 = 14.4\ \mu m^{-1}$$
$$a = 20\ \mu m\ \ ,\quad c = 1\ cm^{-1}$$

به صورت عددی حل شده‌اند. نتایج این قسمت حاصل میانگین-گیری آنسامبلی از ۷۰۰ شبیه سازی مختلف آرایه شامل N=50 موجبر در حضور بی نظمی می باشد. نور در موجبر میانی $j_0 = 25$ وارد سیستم می‌شود. شکل‌های (۲) و (۳) به ترتیب نشان دهنده‌ی نحوه انتشار نور برای سه شعاع چرخش R متفاوت صفر (موجبرهای مستقیم)، ۸ میکرون و ۱۰ میکرون، برای دو قدرت بی نظمی $\Delta = 0.5\ cm^{-1}$ و $\Delta = 3\ cm^{-1}$ می-باشند. علاوه‌براین، نحوه تغییر معکوس نرخ مشارکت برحسب طول انتشار مربوط به این دو شکل، در شکل (۴) رسم شده است. همانطور که در شکل (۲) مشاهده می‌شود، در قدرت بی‌نظمی کم $\Delta = 0.5\ cm^{-1}$ سیستم جایگزیده نشده است و نور به صورت بالستیک در طول انتشار گسترش می‌یابد. در این شرایط افزایش شعاع چرخش، باعث کاهش آهنگ گسترش پهنای عرضی پرتو در طول انتشار می‌شود. قسمت اول شکل (۴) نیز تایید کننده این نتیجه است. در شکل (۳) الگوی انتشار نور به ازای قدرت بی‌نظمی بزرگتر $\Delta = 3\ cm^{-1}$ رسم شده است. در این قدرت بی‌نظمی، گسترش عرضی پرتو پس از یک طول انتشار خاص متوقف شده و سیستم در رژیم جایگزیده خواهد بود. در این شرایط، همانطور که از الگوی انتشار قابل تشخیص است و قسمت دوم شکل (۴) نیز نشان می‌دهد، با افزایش شعاع چرخش موجبرها، میزان جایگزیدگی در سیستم افزایش می‌یابد. علاوه براین، همانطور که قسمت دوم شکل (۴) نشان می‌دهد، میزان افت و خیز معکوس نرخ مشارکت (در طول‌های انتشار بزرگ) در موجبرهای چرخشی بیشتر از موجبر مستقیم است.

خلاصه و نتیجه‌گیری

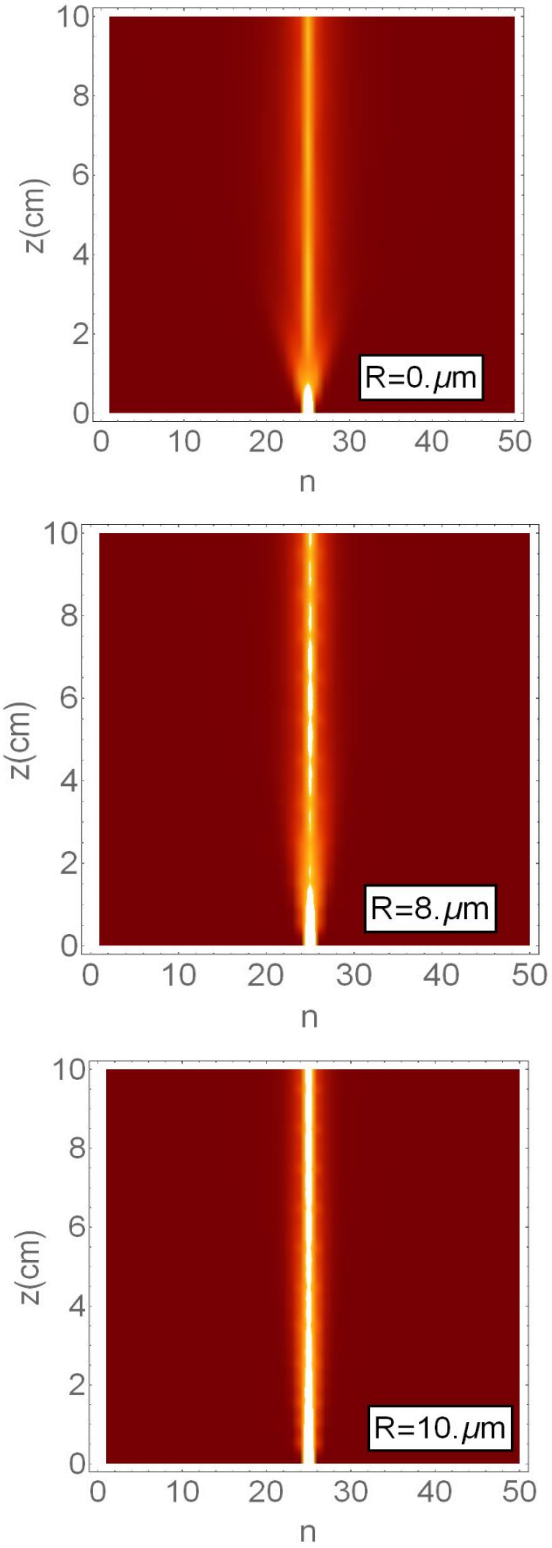
در این مقاله، انتشار و جایگزیدگی نور در آرایه چرخشی یک بعدی از موجبرهای نوری مورد بررسی قرار گرفت. نتایج مربوط به الگوی انتشار و معکوس نرخ مشارکت برای شعاع های مختلف چرخش، نشان می‌دهد که در قدرت‌های مختلف بی‌نظمی، با افزایش شعاع چرخش، معکوس نرخ مشارکت (جایگزیدگی) افزایش می یابد و میزان گسترش عرضی پرتو در سیستم کاهش می‌یابد.



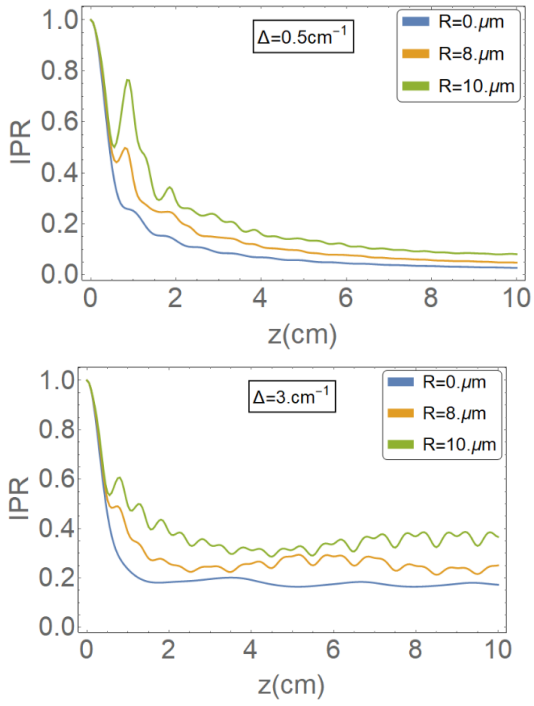
شکل۲ : الگوی انتشار نور برای شعاع های چرخش متفاوت در قدرت بی‌نظمی $\Delta = 0.5\ cm^{-1}$

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19]



شکل۳ : الگوی انتشار نور برای شعاع های چرخش متفاوت در قدرت بی‌نظمی $\Delta = 3\ cm^{-1}$



شکل ۴: نحوه تغییر معکوس نرخ مشارکت برحسب طول انتشار برای شعاع‌های چرخش متفاوت در دو قدرت بی‌نظمی مختلف

مرجع ها

[1] Ad Lagendijk, Bart van Tiggelen, and Diederik S. Wiersma, Phys. Today 62(8), 24 (2009).
[2] Tal Schwartz, Guy Bartal, Shmuel Fishman, and Mordechai Segev, Nature 446, 52 (2007).
[3] A. Mafi, Advances in Optics and Photonics 7, 459 (2015).
[4] A. Szameit and S. Nolte, J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. 43, 163001 (2010).
[5] M. Segev, Y. Silberberg and D. N. Christodoulides, Nature Photonics 7, 197 (2013).
[6] M. I. Molina, N. Lazarides, and G. P. Tsironis, Phys. Rev. E 85, 017601 (2012).
[7] M. Khazaei Nezhad, M. Golshani, A.R. Bahrampour, S.M. Mahdavi, Optics Communications 294, 299-304 (2013).
[8] Ivan L. Garanovich, Stefano Longhi, Andrey A. Sukhorukov, and Yuri S. Kivshar, Physics Reports 218, 1-79 (2012).
[9] Mikael C. Rechtsman et al., Nature 496, 196 (2013).
[10] Stefano Longhi, Rhys. Rev. B 76, 195119 (2007).
[11] Shu Jia and Jason W. Fleischer, Phys. Rev. A 79, 041804(R) (2009).
[12] Jesús Cuevas, Boris A. Malomed and P. G. Kevrekidis, Phys. Rev. E 76, 046608 (2007).
[13] Xiao Zhang et al., Optics Letter 41(17), 4106 (2016).

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.
[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19]