



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 یک بعدی از موجبرهای نوری

محسن یعقوبی<sup>\*</sup>، مجتبی گلشانی<sup>۲</sup>، جاوید ضمیرانوری<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> دانشکده علوم پایه، بخش فیزیک، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران

<sup>۲</sup> دانشکده فیزیک، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان

\* [mohsenyaghoobi121072@gmail.com](mailto: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 می‌دهند 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<sup>1</sup>, Mojtaba Golshani<sup>2</sup>, Javid Zamir-Anvari<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Physics, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran

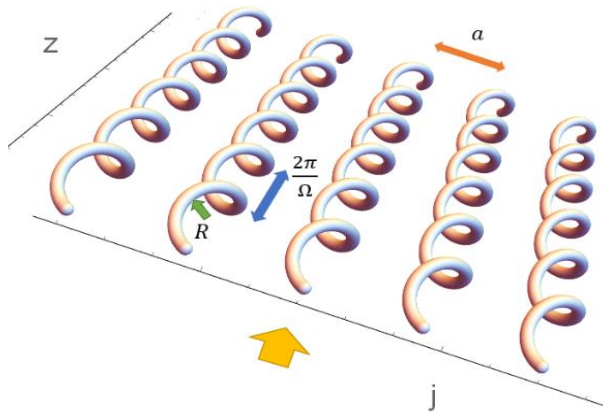
<sup>2</sup>Faculty of Physics, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman

\* [mohsenyaghoobi121072@gmail.com](mailto: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

## مقدمه



شکل ۱: آرایه یک‌بعدی از موجبرهای مارپیچی

$$\begin{aligned} -i \frac{\partial E_1}{\partial z} &= \beta_1 E_1 + c e^{iA(z).r_{2,1}} E_2 \\ -i \frac{\partial E_N}{\partial z} &= \beta_N E_N + c e^{iA(z).r_{N-1,N}} E_{N-1} \\ -i \frac{\partial E_j}{\partial z} &= \beta_j E_j + c e^{iA(z).r_{j-1,j}} E_{j-1} \\ &\quad + c e^{iA(z).r_{j+1,j}} E_{j+1} \end{aligned}$$

به طوری که بردار  $A(z) = k_0 R \Omega [\sin(\Omega z), -\cos(\Omega z), 0]$  نشان دهنده پتانسیل برداری معادل با چرخش موجبرها،  $\Omega$  فرکانس چرخش،  $k_0$  عدد موج در محیط،  $R$  شعاع چرخش،  $E_n$  دامنه میدان در موجبر  $n$ ام،  $\beta_n$  ثابت انتشار موجبر  $n$ ام،  $c$  ضریب جفت شدگی بین موجبرهای مجاور،  $N$  تعداد کل موجبرها، و نهایتاً  $r_{j,k} = r_j - r_k$  اختلاف مکان بین موجبر  $k$ ام و  $j$ ام است. به منظور بررسی جایگزیدگی اندرسون ثابت انتشار موجبرها به صورت یک عدد تصادفی در محدوده  $[-\Delta, \Delta]$  در نظر گرفته شده است که در آن قدرت بی‌نظمی است. نرخ مشارکت در طول انتشار، معیاری برای اندازه‌گیری تعداد موجبرهای اشغال شده توسط نور است. نرخ مشارکت در یک سیستم شامل  $N$  موجبر همواره عددی بین ۱ و  $N$  می‌باشد. در حالت کاملاً گسترده که موج در همه موجبرها با دامنه یکسان پراکنده شده است، نرخ مشارکت برابر  $N$  و در حالت کاملاً 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:

جایگزیدگی اندرسون که اولین بار توسط فیلیپ اندرسون مطرح گردید، به بررسی نحوه انتشار امواج در یک محیط نامنظم می‌پردازد [۱]. اندرسون در سال ۱۹۵۸ نشان داد که در اثر پراکندگی ناشی از بی‌نظمی و به دلیل تداخل، موج الکترونی می‌تواند، برخلاف حرکت پخش، کاملاً جایگزیده شود، و گذار فلز به عایق رخ دهد. با توجه به این که 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 [۳-۵]. یکی از مسائل مهم در مبحث جایگزیدگی بررسی نحوه تاثیر میدان مغناطیسی بر جایگزیدگی الکترون‌ها می‌باشد [۶-۸]. 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 گرفته‌اند [۹-۱۳].

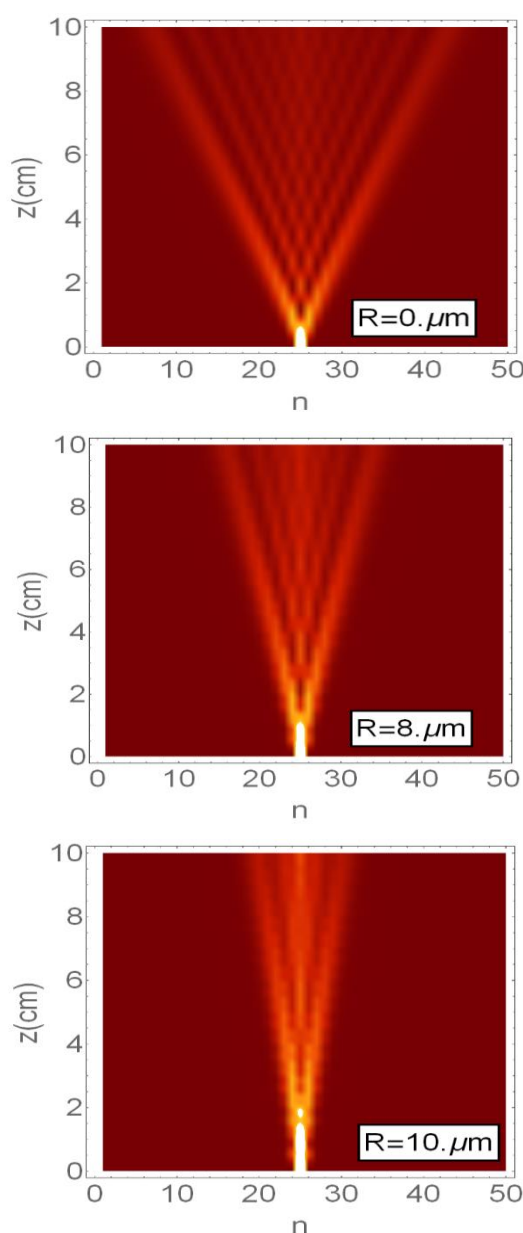
در این مقاله، با محاسبه معکوس نرخ مشارکت، به بررسی نحوه تغییر میزان جایگزیدگی با شعاع چرخش موجبرها، در چند قدرت بی‌نظمی مختلف، خواهیم پرداخت.

## معرفی سیستم

سیستم مورد بررسی، آرایه یک‌بعدی از  $N$  موجبر مارپیچی می‌باشد که در فاصله ثابت  $a$  از یکدیگر قرار گرفته‌اند (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]:

## خلاصه و نتیجه گیری

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 می دهد که در قدرت های مختلف بی نظمی، با افزایش شعاع چرخش، معکوس نرخ مشارکت (جایگزیدگی) افزایش می یابد و میزان گسترش عرضی پرتو در سیستم کاهش می یابد.



شکل ۲: الگوی انتشار نور برای شعاع های چرخش متفاوت در قدرت بی نظمی  $\Delta = 0.5 \text{ cm}^{-1}$

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

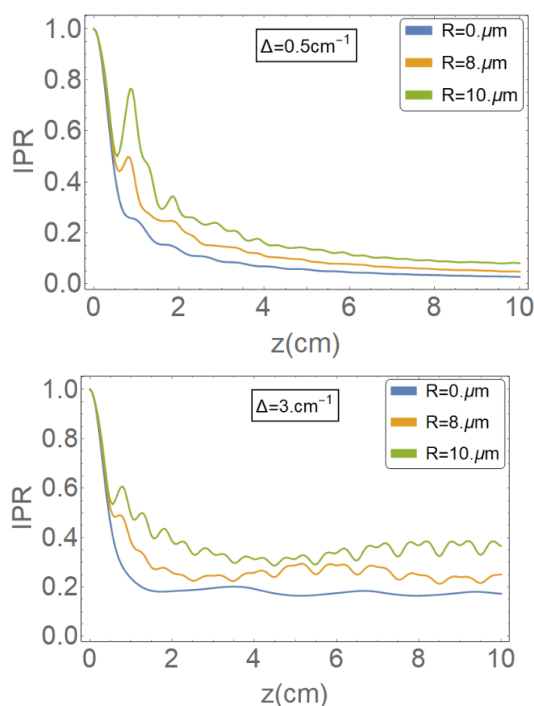
که در این رابطه، نماد  $\langle \dots \rangle$  نشان دهنده میانگین گیری روی نموده های مختلف بی نظمی است. بنابر این هرچه معکوس نرخ مشارکت بزرگتر باشد، جایگزیدگی بیشتر خواهد بود.

## نتایج عددی

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

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

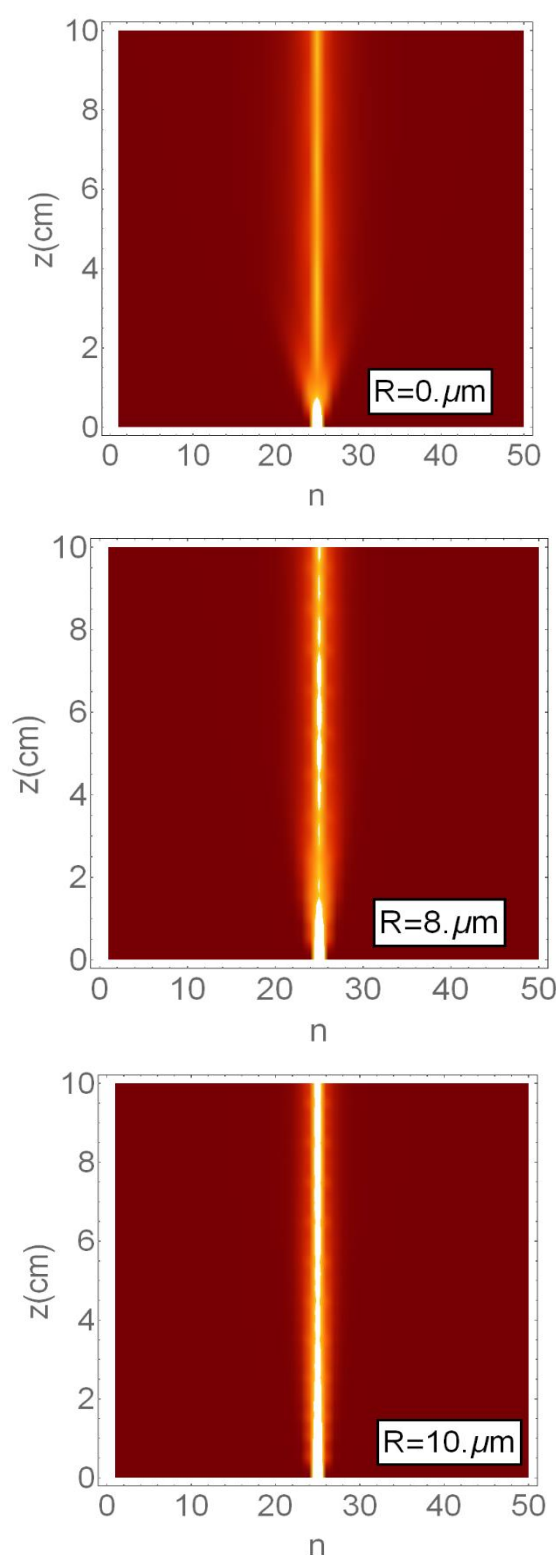
به صورت عددی حل شده اند. نتایج این قسمت حاصل میانگین گیری آنسامبلی از ۷۰۰ شبیه سازی مختلف آرایه شامل  $N=50$  موجبر در حضور بی نظمی می باشد. نور در موجبر میانی  $j_0 = 25$  وارد سیستم می شود. شکل های (۲) و (۳) به ترتیب نشان دهنده نحوه انتشار نور برای سه شعاع چرخش  $R$  متفاوت صفر (موجبرهای مستقیم)، ۸ میکرون و ۱۰ میکرون، برای دو قدرت بی نظمی  $\Delta = 0.5 \text{ cm}^{-1}$  و  $\Delta = 3 \text{ cm}^{-1}$  می باشد. علاوه بر این، نحوه تغییر معکوس نرخ مشارکت بر حسب طول انتشار مربوط به این دو شکل، در شکل (۴) رسم شده است. همانطور که در شکل (۲) مشاهده می شود، در قدرت بی نظمی کم  $\Delta = 0.5 \text{ cm}^{-1}$  سیستم جایگزیده نشده است و نور به صورت بالستیک در طول انتشار گسترش می یابد. در این شرایط افزایش شعاع چرخش، باعث کاهش آهنگ گسترش پهنای عرضی پرتو در طول انتشار می شود. قسمت اول شکل (۴) نیز تایید کننده این نتیجه است. در شکل (۳) الگوی انتشار نور به ازای قدرت بی نظمی بزرگتر  $\Delta = 3 \text{ cm}^{-1}$  رسم شده است. در این قدرت بی نظمی، 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 می دهد، با افزایش شعاع چرخش موجبرها، میزان جایگزیدگی در سیستم افزایش می یابد. علاوه بر این، همانطور که قسمت دوم شکل (۴) نشان می دهد، میزان افت و خیز معکوس نرخ مشارکت (در طول های انتشار بزرگ) در موجبرهای چرخشی بیشتر از موجبر مستقیم است.



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

#### مرجع‌ها

- [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, Phys. 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).



شکل ۳: الگوی انتشار نور برای شعاع‌های چرخش متفاوت در قدرت بی‌نظمی  $\Delta = 3 \text{ cm}^{-1}$