



آشکارسازی نانوذرات فلزی با استفاده از باریکه‌ی لیزر دوم در چیدمان انبرک نوری

جمال سلطانی^۱، فائقه حاجی‌زاده^{۱،۲}

دانشکده فیزیک، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان، زنجان، ایران^۱
 مرکز پژوهشی اپتیک، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان، زنجان، ایران^۲

چکیده - نانوذرات فلزی به دلیل خواص زیست‌سازگاری که دارند کاربردهای فراوانی در مطالعات فیزیک زیستی و پژوهش‌های مرتبط با سلول‌های سرطانی پیدا کرده‌اند. تله‌اندازی نانوذرات فلزی به کمک انبرک نوری امکان مطالعات بیشتری را در این زمینه فراهم می‌کند. ذرات کوچکتر از ۲۰۰ نانومتر به دلیل محدودیت اپتیکی در میکروسکوپی نوری میدان روشن قابل مشاهده نیستند که این مسئله محدودیت‌هایی را در این نوع پژوهش‌ها ایجاد کرده است. با توجه به اینکه نانوذرات فلزی، خصوصاً طلا و نقره به دلیل خاصیت پلاسمونیکی که دارند، در ناحیه مرئی پراکنده‌کننده‌های خوبی هستند، در این بررسی با اضافه کردن یک باریکه‌ی لیزر دوم با توان در حد چند ده میکرووات به چیدمان انبرک نوری، اثر آن را بر روی آشکارسازی نانوذرات فلزی و قدرت تله‌ی نوری بررسی نمودیم. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که نانوذرات طلای مورد بررسی، با اندازه‌های متفاوت تا قطر ۲۴ نانومتر با استفاده از نور پراکنده شده‌ی لیزر دوم قابل آشکارسازی هستند. علاوه بر آن، با توجه به اینکه توان لیزر دوم در مقایسه با توان لیزر تله‌اندازی بسیار ناچیز است، استفاده از این روش در بزرگی نیروی تله‌ی نوری تغییر چشم‌گیری ایجاد نمی‌کند.

کلید واژه - انبرک نوری، تله‌ی نوری، نانوذرات فلزی

Detection of Metallic Nanoparticles Using a Secondary Laser Beam in Optical Tweezers Setup

Jamal Soltani¹, Faegheh Hajizadeh^{1,2}

Department of Physics, Institute of Advanced Studies in Basic Sciences (IASBS), Zanjan, Iran¹
 Optics Research Center, Institute of Advanced Studies in Basic Sciences (IASBS), Zanjan, Iran²

Abstract- Thanks to their biocompatibility property, metallic nanoparticles have found many applications in biophysics and they are a good candidate for cancer therapy. Trapping such particles by optical tweezers have led to a wide range of research in different areas from biophysics to biotechnology. The main issue is that the particles smaller than 200 nm are smaller than diffraction limit and cannot be observed by bright field microscope. However, novel metallic nanoparticles such as gold or silver are good scatterers of light in the visible range, because of their plasmonic properties. In this paper, we added

۱- مقدمه

انبرک نوری ابزاری است که به کمک آن می‌توان با استفاده از یک باریکه‌ی لیزر که بوسیله‌ی یک عدسی با گشودگی عددی بالا به شدت کانونی شده است، اجسام میکروسکوپی را به دام انداخت. انبرک نوری با ایجاد یک تله‌ی نوری نیرویی از مرتبه‌ی فمتونیوتن تا پیکونیوتن به ذرات میکرومتری و نانومتری وارد می‌کند [۱ و ۲].

نانوذرات فلزی امروزه کاربردهای فراوانی در صنعت، پزشکی و دیگر زمینه‌ها پیدا کرده‌اند. به دلیل زیست‌سازگار بودن بعضی از نانوذرات فلزی مانند طلا، کاربردهای بسیاری در روش‌های تشخیصی و درمانی پزشکی برای آن‌ها معرفی شده است. از جمله این کاربردها تشخیص بافت‌های سرطانی از بافت سالم با استفاده از طیف جذبی نانوذرات فلزی است. نانوذرات طلا همچنین به عنوان جایگزین مناسبی برای دانه‌های رنگی فلئورسنت، به دلیل قابلیت آن‌ها در اتصال به مولکول‌های زیستی به شمار می‌روند [۳]. از طرف دیگر نانوذرات فلزی در پژوهش‌های مبنی بر دستکاری‌های اپتیکی و به ویژه کاربردهای بیوفیزیکی به کمک ابزارهایی مانند انبرک نوری مورد توجه ویژه هستند. نانوذرات طلا به دلیل اندازه‌ی کوچک آن‌ها در مقایسه با سلول‌های زیستی گزینه‌ای مناسب برای دستکاری زیستی در شرایط in-vivo با کمک انبرک نوری هستند [۴].

سیستم میکروسکوپی یکی از بخش‌های اصلی چیدمان انبرک نوری است و داشتن تصویر مناسب از نمونه‌ی حاوی ذرات مورد مطالعه دارای اهمیت فراوان است، چرا که می‌توان با مشاهده‌ی ذرات، آن‌ها را به سمت تله‌ی نوری هدایت کرده و به دام انداخت. تله‌اندازی نانوذرات فلزی با ابعاد حدود ۱۰۰ نانومتر و کوچکتر از آن، به دلیل ایجاد گرمای کمتر در تله‌ی نوری در مقایسه با نانوذرات فلزی بزرگ‌تر از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است و تله‌اندازی آن‌ها تا قطر ۱۰ نانومتر گزارش شده است [۵]. لذا بهینه‌سازی روش‌های تله‌اندازی و سهولت کار با نانوذرات با چنین ابعادی مورد توجه بسیار قرار دارد.

با توجه به کوچک بودن اندازه‌ی این ذرات نسبت به طول موج نور مرئی، مشاهده‌ی آن‌ها با استفاده از میکروسکوپ نوری میدان روشن ممکن نیست. در نتیجه برای سهولت تله‌اندازی و آشکارسازی این ذرات در تله‌ی نوری می‌بایست از روش دیگری استفاده کرد. یکی از این روش‌ها که در این پژوهش

مورد بررسی قرار گرفته است، مشاهده‌ی اثر پراکندگی نور یک باریکه‌ی لیزر دوم از سطح نانوذرات در سیستم تصویرساز میکروسکوپ نوری است. با این روش می‌توان از ورود بیش از یک ذره به تله‌ی نوری و ایجاد اختلال در دقت داده‌گیری جلوگیری کرد. برخلاف میکروسکوپی میدان‌روشن که از نور عبوری از نمونه برای تشکیل تصویر استفاده می‌شود، در این روش از نور پس‌پراکنده شده استفاده می‌شود که مشابه میکروسکوپی میدان‌تاریک با حذف نور مستقیم است.

مقادیر، اثر پراکندگی قابل توجهی از آن‌ها انتظار می‌رود.

سطح مقطع جذب و پراکندگی برای نانوذرات از رابطه‌های

$$C_{scat} = k_m^4 |\alpha|^2 / 4\pi \quad (2)$$

$$C_{abs} = k_m \text{Im}(\alpha) \quad (3)$$

بدست می‌آید که در آن k_m عدد موج در محیط اطراف ذره (آب) و α قطبش پذیری است. مقدار α ، قطبش پذیری، از رابطه‌ی

$$\alpha = 3V \frac{\epsilon - \epsilon_m}{\epsilon + 2\epsilon_m} \quad (4)$$

بدست می‌آید که در این رابطه V حجمی از ذره است که میدان الکترومغناطیسی در آن نفوذ کرده است. با توجه به مقادیر ϵ_m ، ثابت دی‌الکتریک محیط اطراف ذره (آب) و ϵ ، ثابت دی‌الکتریک طلا در دو طول موج ۵۳۲ و ۶۳۲/۸ نانومتر، مقدار α برای طول موج ۵۳۲ به طور قابل توجهی نسبت به طول موج ۶۳۲/۸ نانومتر بزرگتر است و نمودار تجربی شکل ۲ نیز این اختلاف مقادیر را به خوبی نشان می‌دهد [۸و۶]. به همین دلیل در این پژوهش از دو باریکه‌ی لیزر با طول موج ۵۳۲ و ۶۳۲/۸ نانومتر به منظور مشاهده‌ی نانوذرات استفاده کردیم.

قبل از آماده کردن نمونه، ابتدا محلول رقیقی از نانوذرات را در داخل حمام فرا صوت به مدت ۱۰ دقیقه قرار دادیم. برای بررسی اثر لیزر دوم و مشاهده‌ی اثر پراکندگی نانوذرات، لامپ میکروسکوپ را خاموش نمودیم تا فقط نور پراکنده شده توسط نانوذرات در پس‌زمینه‌ی تاریک قابل آشکارسازی باشد و بوسیله‌ی CCD ثبت گردد.

شکل ۳ تصاویر ثبت شده از پراکندگی نور لیزر دوم تو سط نانوذرات طلا را نشان می‌دهد. از آنجایی که تصاویر مربوط به پراکندگی نور لیزر از ذرات کوچک‌تر از طول موج هستند، با توجه به حد پراش، نمی‌توان در مورد اندازه‌ی آن‌ها بحث کرد و شدت بیشتر، فقط نشان دهنده‌ی سطح مقطع پراکندگی بزرگتر است. همانطور که در شکل ۳(الف) دیده می‌شود، با میکروسکوپی میدان روشن ذره‌ای در نمونه قابل مشاهده نیست. شکل ۳(ب) مربوط به نانوکری ۲۴ نانومتری، شکل ۳(ج و د) نانومیلیه ۲۰ در ۶۰ نانومتر، شکل ۳(پ و چ) نانوکری ۸۰ نانومتری و ۳(ت و ج) نانوکری ۱۵۰ نانومتری می‌باشد.

نانوذرات استفاده شده در این پژوهش نان

در جدول ۱ آورده شده است. توان لیزر ۱۰۶۴ نانومتر در داخل نمونه حدود ۵۲ میلی وات بوده است.

جدول ۱: مقادیر سختی تله بر حسب $(pN \cdot nm^{-1} \cdot mW^{-1})$ بدست آمده با دو توان متفاوت (P_s) و در حالت خاموش بودن لیزر دوم برای تله اندازی نانوکره های با قطر ۸۰ نانومتر

$P_s = 0$ (μW)	$P_s = 43 \pm 2/9$ (μW)	$P_s = 87 \pm 4/3$ (μW)
X	$5/0 \pm 61/15$	$5/0 \pm 93/60$
Y	$3/0 \pm 29/24$	$3/0 \pm 40/31$

با توجه به اینکه توان لیزر دوم (P_s) در داخل نمونه در مقایسه با توان لیزر تله اندازی (۵۲ mW) بسیار کمتر بوده، همان طور که انتظار داشتیم تغییر قابل توجهی در سختی تله با حضور لیزر دوم مشاهده نشد.

۳- نتیجه گیری

در این پژوهش امکان استفاده از یک لیزر دوم در چیدمان انبرک نوری، به منظور آسان تر نمودن تله اندازی نانوذرات فلزی مختلف نشان داده شد و با توجه به اینکه وجود این باریکه ی لیزر با توان بسیار کم تغییر قابل توجهی در بزرگی سختی تله ی نوری ایجاد نکرده است، می توان گفت روش ارائه شده، روش مناسبی برای آشکارسازی نانوذرات فلزی و تله اندازی نوری آنها است.

سپاس گذاری

از دکتر لی شاو برای ساخت نانوذرات سپاسگزاریم.

مراجع

- [1] Williams, Mark C. "Optical tweezers: measuring piconewton forces." Biophysics Textbook Online: <http://www.biophysics.org/btol> (2002).
- [2] Marago, O. M., et al. "Femtonewton force sensing with optically trapped nanotubes." Nano Letters 8.10 (2008): 3211-3216.
- [3] Jain, Prashant K., Ivan H. El-Sayed, and Mostafa A. El-Sayed. "Au nanoparticles target cancer." nano today 2.1 (2007): 18-29.
- [4] Qian, Ximei, et al. "In vivo tumor targeting and spectroscopic detection with surface-enhanced Raman nanoparticle tags." Nature biotechnology 26.1 (2008): 83-90.
- [5] Hajizadeh, Faegheh, and S. Nader S. Reihani. "Optimized optical trapping of gold nanoparticles." Optics express 18.2 (2010): 551-55