بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه شاهد

دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

فیزیک

# مطالعه گرمایش نانوذرات فلزی در اثر تابش لیزر در مایع

نگارش

هدی مهدیان مؤمن

استاد راهنما

دکتر رضا پورصالحی

شهریور ماه ۱۳۹۱

# فهرست مطالب


**۱ کاربردهای بر هم کنش لیزر و نانوذرات** ۱

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ نانوفناوری در علم پزشکی ۳

۱-۳ خواص نانوذرات فلزی ۴

۱-۴ تشدید پلاسمونی ۶

۱-۵ استفاده از نانوذرات در درمان تومورهای سرطانی ۸

۱-۶ دما و کنترل آن در دوره فرآیند ۱۲

۱-۷ خلاصه و نتیجه‌گیری ۱۷

**۲ خواص نوری نانوذرات فلزی** ۱۸

۲-۱ مقدمه ۱۹

۲-۲ فرمول‌های کلی مسئله ۲۰

۲-۲-۱شرایط مرزی ۲۳

۲-۳ جذب و پراکندگی توسط کره ۲۵

۲-۳-۱ راه حل‌های معادلات بردار موج ۲۶

۲-۳-۲ معادله موج نرده‌ای در مختصات قطبی- کروی ۲۹

۲-۳-۳ بسط موج مسطح در هماهنگ‌های کروی- برداری ۳۶

۲-۳-۴ میدان‌های فرودی و پراکنده ۴۱

۲-۳-۵ ضرایب پراکندگی ۴۴

۲-۴ سطوح مقطع و عناصر ماتریس ۴۷

۲-۴-۱ سطح مقطع ۴۸

۲-۴-۲ محاسبه ضرایب پراکندگی و سطوح مقاطع ۵۱

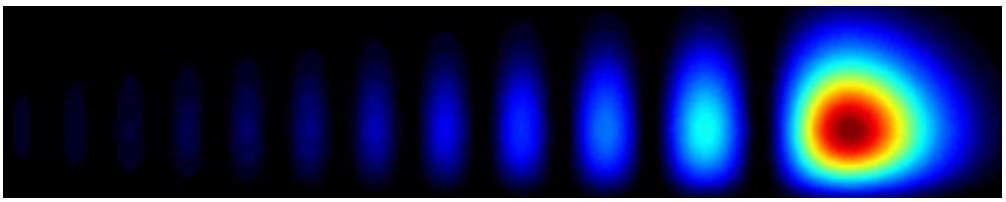
۲-۵ ذرات کوچک در مقایسه با طول موج ..... ۵۳
۲-۶ تقریب الکترومغناطیس ..... ۵۹
۲-۷ خلاصه و نتیجه‌گیری ..... ۶۶
**۳ محاسبه جذب لیزر به وسیله نانوذرات نقره ۶۷**
۳-۱ مقدمه ..... ۶۸
۳-۲ بررسی مسئله از نگاه الکترومغناطیس ..... ۶۹
۳-۳ بررسی خواص اپتیکی ذره کروی ..... ۷۱
۳-۴ بررسی خواص جذبی ذره کروی ..... ۷۱
۳-۵ لیزر ..... ۷۸
۳-۶ تابع گاوسی ..... ۸۰
۳-۷ محاسبه انرژی دریافتی توسط نانوذرات ..... ۸۵
۳-۸ محاسبه دمای نانوذرات نقره پس از تابش لیزر ..... ۹۰
۳-۹ خلاصه و نتیجه‌گیری ..... ۱۰۵
**۴ محاسبه گرمایش نانوذرات نقره در اثر تابش پرتو لیزر ۱۰۶**
۴-۱ مقدمه ..... ۱۰۷
۴-۲ اثر اندازه نانوذرات بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آنها ..... ۱۰۸
۴-۲-۱ انرژی بستگی ..... ۱۰۹
۴-۳ محاسبات مربوط به تصحیحات دمای ذوب ..... ۱۱۰
۴-۳-۱ مدل LDM ..... ۱۱۰
۴-۴ نمودارهای دمای ذوب نانوذرات نقره ..... ۱۱۴
۴-۵ خلاصه و نتیجه‌گیری ..... ۱۲۲
**پیشنهاد ۱۲۳**
**مراجع ۱۲۴**

# چکیده

نانوذرات فلزی به دلیل خواص منحصر به فرد فیزیکی و شیمیایی مورد توجه هستند. خواصی مانند افزایش میدان اپتیکی در نور جذب و پراکنده شده باعث توجه زیادی به آنها شده است. افزایش در خواص اپتیکی و گرمایی از تشدید نوسان الکترون‌ها در حضور تابش ایجاد می‌شود، که همان تشدید پلاسمونی سطح است. جذب انرژی لیزر منتج به دمای قابل توجه نانوذرات فلزی می شود و کنترل گرمایش نانوذرات یکی از گام‌های مهم در هدف‌گیری موضعی سلول است. در این پژوهش روی مطالعه خواص جذبی و گرمایشی نانوذرات نقره معلق در آب تحت تابش لیزرهای پالسی اگزایمر و نئودیمیم یاگ تمرکز کردیم. محاسبه خواص جذبی و دمای نانوذرات کروی نقره با شعاع‌های بین ۵ تا ۵۰ نانومتر انجام شده است. ابتدا جذب اپتیکی نانوذرات کروی نقره توسط تئوری مای تخمین زده شده است. در نهایت با توجه به اینکه با تغییر اندازه ذرات در محدوده نانومتری دمای ذوب نسبت به حالت توده تغییر می‌کند، با روابط به دست آمده اعداد مربوط به این تغییرات را به دست آورده و به بررسی دماها پرداختیم. با اعمال تصحیحات در مواردی که ذره به مرحله ذوب رسیده بود، دمای نهایی کمتر از حالت تصحیح نشده به دست آمد، که البته این اختلاف چندان محسوس نبود و در بیشترین حالت حدود ۲۰ کلوین بود. با توجه به نتایج به دست آمده در این پژوهش در طول موج‌های پایین دمای ذرات کوچکتر به شدت افزایش می‌یابد در حالیکه ذرات بزرگتر دمای قابل کنترل‌تری دارند. علاوه بر این در طول موج‌های پایین ذرات بزرگتر برای تخریب ناحیه بزرگ در دماهای پایین و ذرات کوچکتر برای تخریب کامل ناحیه کوچکی از سلول‌ها مناسب هستند. گرمایش با طول موج‌های بلند برای تخریب کامل ناحیه بزرگ مناسب است، اگرچه ممکن است بعضی اثرات گرمایشی را نیز داشته باشیم. محاسبات نشان می‌دهد دمای ذرات می‌تواند تنها با تنظیم اندازه ذره بدون افزایش انرژی پالس لیزر افزایش یابد. نتایج این تحقیق در هدف گیری سلول تحت انرژی آستانه تخریب بافت به کار می‌رود.

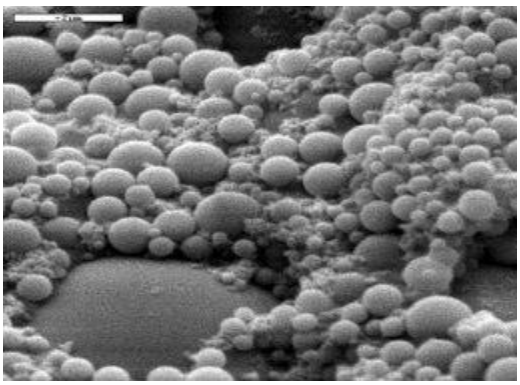
# فصل اول

## کاربردهای بر هم کنش لیزر و نانوذرات فلزی



## ۱-۱ مقدمه

علم نانو یکی از مهمترین زمینه‌های تحقیقات در حوزه‌های علوم مدرن، فناوری، مهندسی و پزشکی است. پتانسیل درازمدت نانو فناوری[۱]، تغییری انقلابی در بسیاری جنبه‌های علم و مهندسی به وجود خواهد آورد. نانو[۲] کلمه‌ای یونانی به معنی کوچک است و برای تعیین مقدار یک میلیاردیم یا $۱۰^{-۹}$ یک کمیت استفاده می‌شود.



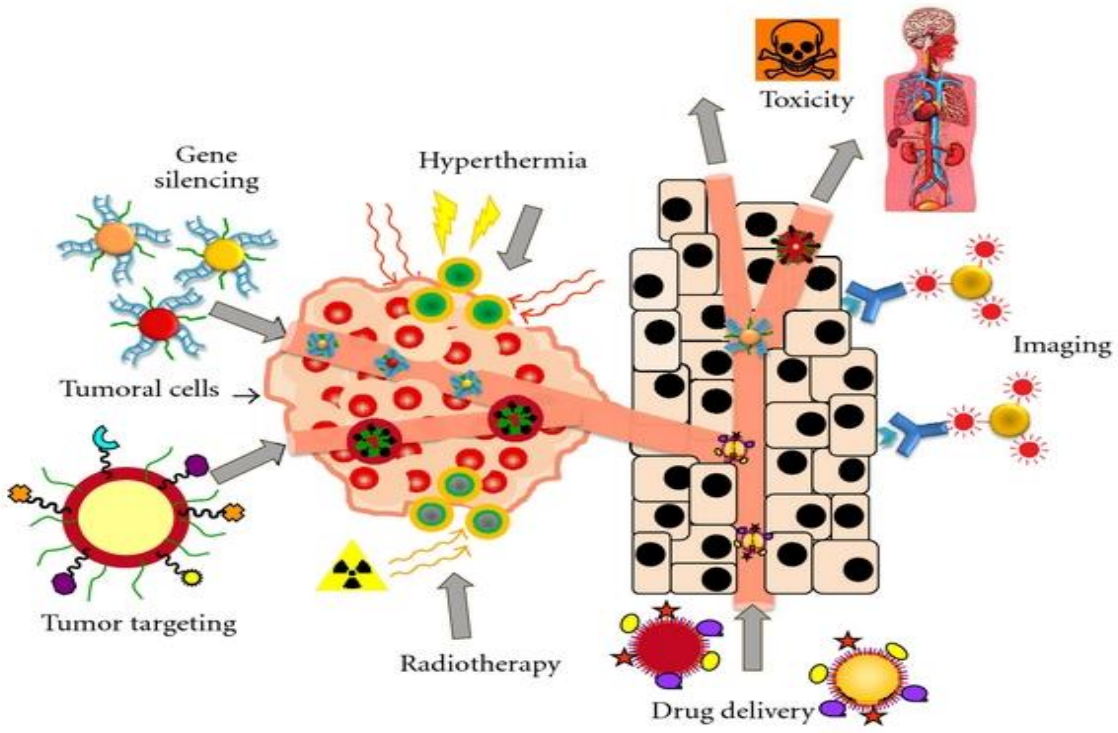
شکل ۱-۱: تصویر نانوذرات [۱]

[۱] Nano technology
[۲] nano

این اصلاح برای مطالعه عمومی روی ذرات اتمی و مولکولی به کاربرده می‌شود. فناوری نانو، تکنیکی است که بر پایه دستکاری تک‌تک اتم‌ها و مولکول‌ها استوار است، بدین منظور که بتوان ساختاری پیچیده را با خصوصیات اتمی تولید کرد[۲].

### ۱-۲: نانوفناوری در علم پزشکی

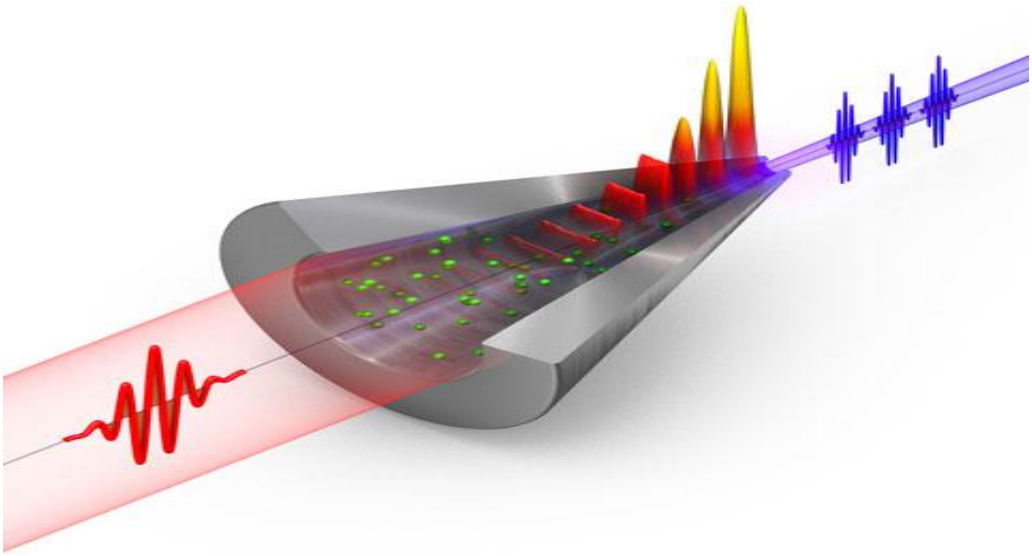
علم و فناوری نانو (نانو علم و نانو فناوری) توانائی بدست گرفتن کنترل ماده در ابعاد نانومتری (مولکولی) و بهره‌برداری از خواص و پدیده‌های این بعد در مواد، ابزارها و سیستم‌های نوین است. توانایی نانوذرات فلزی در گنجانده شدن در سیستم‌های بیولوژیکی[۱] بزرگترین اثر را در زیست شناسی و طب داشته است.




شکل ۱-۲: کاربرد نانوذرات فلزی در درمان و تحویل دارو [۳]

[۱] Biologic systems

در چند سال گذشته بر هم کنش بین تابش و نانوذرات فلزی مورد توجه زیادی قرار گرفته است و موضوع مهم و رو به پیشرفتی خواهد بود. دلایل متعددی برای این مسئله وجود دارد. عمل لیزر با استفاده از پالس‌های لیزر در طول موجی که به شدت توسط ذرات و نه توسط واسطه محیط جذب می‌شود، به کار می‌رود و همچنین با دوره پالسی که به اندازه کافی برای کمینه کردن جریان گرما از میان ذرات جاذب، کوتاه است، نتایج بسیار قابل قبولی را به وجود آورده است[٤].



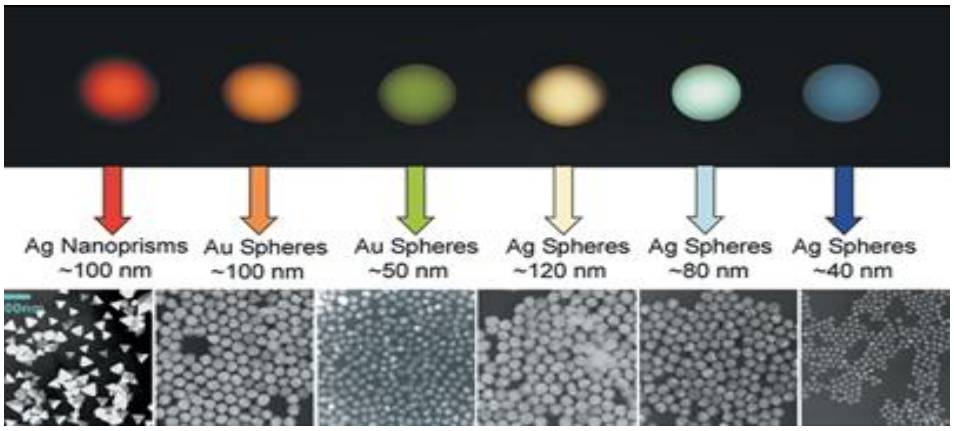
شکل ۱-۳: بر هم کنش تابش لیزر با نانوذرات فلزی [٥]

### ۱-۳: خواص نانوذرات فلزی

نانوذرات فلزی به خاطر خواص منحصر به فرد فیزیکی و شیمیایی خود بسیار مورد توجه هستند. نانوذرات فلزی خواص منحصر به فردی مانند افزایش میدان اپتیکی[۱] در نور جذب و پراکنده شده دارند که باعث شده توجه زیادی به آنها شود. ذرات فلزی کوچک (طلا، نقره و ...) در بسیاری از زمینه‌های مختلف شامل

[۱] Optical field

کاتالیست[1]، میکرو الکترود[2] و مواد نانوخطی استفاده می‌شوند، زیرا خواص اپتیکی و الکترونیکی متفاوتی نسبت به مدل توده ای به علت اینکه دارای اندازه نانومتری هستند، از خود نشان می‌دهند.




شکل ۱-٤: تغییر خواص اپتیکی ذرات با تغییر در اندازه نانوذرات [٦]

در این میان نانوذرات نقره به صورت ویژه با هدف کاربردهای متنوع از قبیل کاتالیست، لیزر پزشکی، وسیله های اپتیکی نانوخطی و واسطه‌های ثبت اپتیکی مطالعه می‌شوند. خواص اپتیکی و ترموفیزیکی نانوذرات نیز از موارد بنیادین مورد توجه است [٤]. خواص اپتیکی جالب نانوساختارهای فلزی، مانند این که رنگ‌های شدید خود را منعکس می‌کنند، به دلیل برهم کنش منحصر به فردشان با نور است. در حضور نوسان‌های الکترومغناطیسی نور، الکترون‌های آزاد نانوذرات فلزی، نوسان موازی جمعی را با توجه به شبکه فلزی مثبت ایجاد می‌کنند [٧]. یکی از محتمل‌ترین راه‌های دستیابی برای طراحی مواد نوین با خصوصیات معین و خواص اصلی، بر پایه کاهش اندازه تا محدوده نانومتری است. در مورد فلزات، طول بحرانی از مرتبه ده نانومتری با مسافت آزاد میانگین الکترون، تنظیم شده است؛ که از نظر کلاسیکی با مسافت میانگین بین دو برخورد الکترون متوالی برابر است.

[1] Catalyst
[2] Micro electrod

### ۱-٤: تشدید پلاسمونی

زمانی که ابعاد مشخصه فلز به محدوده‌ای که در بخش قبل ذکر شد نزدیک می‌شود، خواص فیزیکی و شیمیایی به طور مؤثری تحت تأثیر قرار می‌گیرند. در حیطه اپتیکی واضح‌ترین اثر کاهش اندازه، آشکار شدن تشدید[۱] مشخص در طیف اپتیکی خطی و غیرخطی نانوذره فلزی است؛ یعنی تشدید پلاسمونی سطحی موضعی[۲]، که در نتیجه افزایش میدان موضعی داخلی اطراف طول موج معین، به علت واکنش جمعی تشدیدی الکترون‌های ذره در میدان الکترومغناطیس فرودی است، که به تقویت شدید جذب و پراکندگی در طول موج مرئی یا نزدیک به فروسرخ وابسته به فلز تفسیر می‌شود و که به نوع فلز، اندازه، شکل (کروی، استوانه ای و ...)، ساختار (همگن، پوسته–هسته[۳] و...)، و محیط (مایع یا جامد، متخلخل یا هم جنس ماده احاطه کننده و ...) ذره وابسته است.

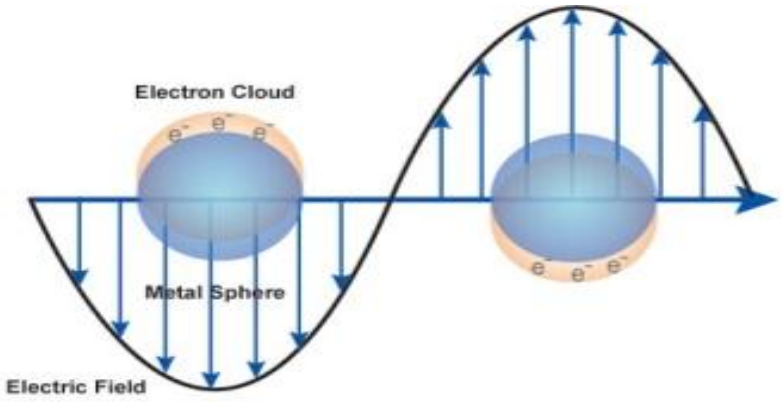
این بستگی بسیاری امکانات برای درک نانوذرات فلزی با تشدید معین را می‌دهد که راهی برای گشایش بسیاری از کاربردها از قبیل نانوسنسورهای[٤] پلاسمونی بیولوژیکی و شیمیایی، متصل کننده‌های الکترونیکی و فوتونیکی است. بسیاری نتایج بر پایه برخورد کاهش اندازه برهم کنش‌های الکترونیکی در واکنش آکوستیک، انتقال انرژی و تعویض انرژی گرمایی نانوذره فلزی به دست می‌آید.

افزایش در خواص گرمایی و اپتیکی نانوذرات فلزی از تشدید نوسان الکترون‌های آزاد آنها در حضور تابش ایجاد می‌شود، که همان تشدید پلاسمونی سطح است. در حقیقت برهم کنش مؤثر نانوذرات نقره با نور در

---

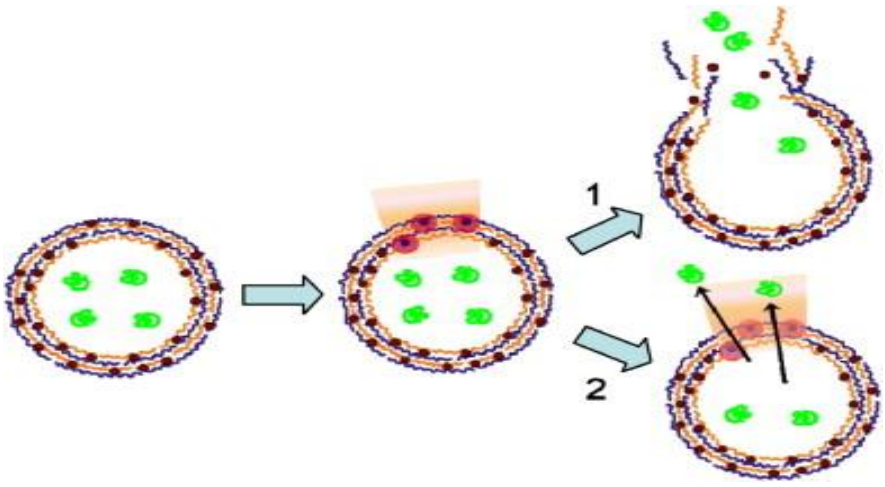
[۱] Resonance
[۲] Surface plasmon resonance
[۳] Core-shell
[٤] Nano sensores

زمان برانگیختگی توسط تابش در طول موج‌های معین به دلیل الکترون‌های روی سطح فلز تحت نوسان جمعی روی می‌دهد، که به عنوان تشدید پلاسمونی سطح [1] نانوذرات نقره شناخته می‌شود.




شکل ۱-۵: تشدید پلاسمونی سطح [۸]

همچنین تشدید پلاسمونی یا می‌تواند نور ساطع کند، (به نام پراکندگی مای[2]) - روندی که استفاده زیادی در زمینه‌های اپتیکی دارد- یا می‌تواند به سرعت به گرما تبدیل شود - که جذب نامیده می‌شود- [۹].




شکل ۱-۶: درمان فوتوگرمایشی شامل استفاده از نور برای گرمایش نانومواد معین [۱۰]

[1] Serface plasmon resonance (spr)
[2] Mie scattering

به عنوان مثال، به علت تشدید پلاسمونی سطح، نانوذرات طلا که در حدود ۵۳۰ نانومتر هستند، ذرات طلا در طول موج ۵۳۲ نانومتر پرتو لیزر را جذب می‌کنند. نور جذب شده در پردازش های مختلف فوتوشیمیایی و فوتو فیزیکی استفاده می‌شود.

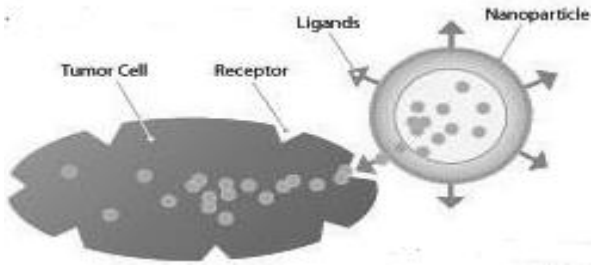
خواص نانوذرات فلزی به شدت به قطر آنها وابسته است و بنابراین توجه زیادی به کنترل قطر نانوذرات می‌شود. روش‌های آماده‌سازی زیادی برای نانوذرات پیشنهاد می‌شود. بسیار مهم است که توزیع اندازه آنها برای کاربردهای مختلف اندازه گیری شود. در لیزر پزشکی روش جدیدی برای هدف گیری سلول انتخابی پیشنهاد می‌شود که بر اساس استفاده از نانوذرات جاذب نوری که با پالس های لیزر کوتاه برای ایجاد تخریب سلولی موضعی شدید گرم می‌شوند، انجام می‌شود. بعضی جنبه‌ها با کاربردهای نانوذرات فلزی جاذب برای عمل لیزر و عکس برداری اپتواکوستیک تومورهای مختلف مرتبط می‌شوند.

**۱-۵: استفاده از نانوذرات در درمان تومورهای سرطانی**

سرطان[۱] دومین عامل مرگ در میان انسان‌هاست. درمان‌های مختلفی برای این بیماری وجود دارد که شامل جراحی، پرتو درمانی و شیمی درمانی است [۹]. مطالعه راهی برای درمان سرطان در اینجا ارائه می‌شود که از نانوذرات برای رساندن گرما به نواحی بیماری بعد از جذب انرژی از لیزری با طول موج مناسب، استفاده می‌شود. فوتو گرمایش توسط نانوذرات با لیزر پالسی[۲] و نانوذرات جاذب (مثلاً نانوذرات کروی طلا یا نقره و

[۱] cancer
[۲] Pulsed laser

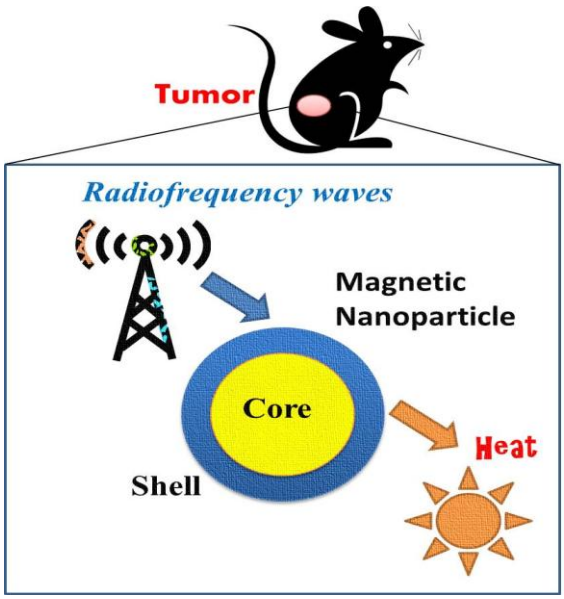
نانومیله‌ها یا نانوتیوب‌های کربنی) که به هدف چسبیده‌اند، پتانسیل زیادی برای تخریب موضعی سلول‌های سرطانی، باکتری‌ها، ویروس‌ها و دی ان ای[1] نشان داده‌اند.




شکل ۱-۷: درمان تومور با استفاده از نانوذرات[۱۱]

امروزه نشان داده شده که درمان سرطان به روش فوتو گرمایش لیزر با استفاده از نانوذرات نقره با هدف‌گیری مولکول‌های روی سطح سلول روش مؤثری برای از بین بردن سلول‌های سرطانی به صورت موضعی است که به انرژی بسیار پایین تر لیزر نسبت به سلول‌های سالم نیاز دارد. اثبات شده که نمونه‌های سلولی با بار نانوذره بیشتر، برای افزایش دمای مشخص به شدت لیزر فرودی کمتری نیاز دارند. زمانی که نانوذرات توسط پالس‌های لیزری کوتاه مورد تابش قرار می‌گیرند، دمای آنها به سرعت بالا می‌رود تا به آستانه ممکن برای اثرات نانوخطی (مثلاً تشکیل میکروب‌ها یا تولید موج آکوستیک) برسند که به سمت تخریب هدف هدایت شوند [۷].

[1] DNA




شکل ۱-۸: نانوذرات در معرض تابش لیزر [۱۲]

در واقع لیزر درمانی با استفاده از پالس‌های لیزر کوتاه مدت انجام می‌شود و استفاده از نانوذرات پلاسمونی[۱] می‌تواند باعث کاهش انرژی لیزر مورد نیاز شود؛ یعنی با استفاده از خواص اپتیکی نانوذرات می‌توانیم انرژی مورد نیاز لیزر را کاهش دهیم. نتایج اولیه نشان می‌دهد که آستانه توان لیزر برای تخریب فوتوگرمایشی سلول‌ها بعد از درمان توسط نانوذرات حدود ۲۰ مرتبه کمتر از زمانی است که از نانوذرات استفاده نکرده بودیم.

توسط بررسی فنی طول موج لیزر، دوره پالس و اندازه و شکل ذره، این فناوری می‌تواند تخریب موضعی پرشدتی را با روش کنترل شده‌ای اعمال کند که از چند نانومتر تا ده‌ها میکرون (نمونه سلول‌های سرطانی) بدون تخریب بافت سالم قابل تغییر است.

تعداد سلول های از بین رفته به صورت درجه دو متناسب با توان لیزر هستند. تعداد سلول‌های از بین رفته بستگی غیر خطی به غلظت نانوذرات را نشان می‌دهد که به طور معینی در سلول‌های سرطانی متمرکز شده‌اند.

[۱] Plasmon nanoparticles

بستگی غیرخطی به غلظت نانوذرات نشان می‌دهد که نانوذرات کروی متمرکز علت افزایش تخریب فوتوگرمایشی سلول ها هستند [۱۳].

توسعه جذب نوری نانوذرات جامد با ابعاد نانو که برای بافت بیولوژیکی غیر سمی هستند، پتانسیل بیشتری برای هدف‌یابی بهتر تحویل گرما با خسارت کمینه برای بافت سالم را فراهم می‌کند. در طول موج مناسب، قرار دادن نانوذره در معرض تابش لیزر می‌تواند اثر فوتوگرمایشی در ذره رها کند که با آن نوسان‌های الکترونیکی در سطح ذره به گرما تبدیل می‌شوند و دمای ذره را به طور معینی توسط تشدید پلاسمونی ذره افزایش می‌دهند. تأثیر درمان به توانایی جاذب‌های انرژی به گرمای موضعی نواحی بیماری، بدون تخریب بافت سالم بستگی دارد. از آنجاکه بافت سالم به طور نسبی شفاف است، باید یک روزنه اپتیکی وجود داشته باشد که به موجب آن ذرات به شدت در طول موج لیزر جذب کننده باشند. در نتیجه، تنها ذرات و بافت مجاور –در صورتی‌که جذب زمینه قابل چشم پوشی باشد– گرم می‌شوند [۱٤].

در میان نانوساختارهای مختلف، نانوذرات طلا در مدل‌های مختلف (مثلاً کروی، میله‌ای یا پوسته‌ای) بهترین کاندیدا برای حسگرهای فوتوگرمایشی می‌باشند، زیرا جاذب‌های قوی‌ای هستند و به آسانی جذب آنتی‌بادی[۱] ها یا پروتئین‌ها می‌شوند و خواص اپتیکی قابل تنظیمی دارند. توده‌ای از نانوذرات فلزی روی پوسته سلول و به خصوص تشکیل خوشه نانوذرات[۲] به افزایش چشم‌گیر تشکیل حباب‌ها منجر می‌شود که نتیجه آن تخریب سلول های سرطانی شدید در اثرات لیزر نسبتاً پایین است که برای بافت های سالم ایمن است. تشکیل

[۱] Anti body
[۲] Cluster nanoparticles

حباب‌های مؤثر در نانوذرات به اثرات تقویت گرمایشی و اپتیکی و به خصوص هم پوشانی[۱] نانوحباب‌ها از نانوذره مربوط است [۱۵].

برای به اندازه کافی گرم کردن نانوذرات منفرد در جهت فقدان گرمایش سیال واسطه در طول زمان آزمایش تمرکز موج لیزر پیوسته لازم است. شدت گرمایش طبیعی لیزرهای پالسی، این اثر را به دلیل زمان انتشار گرمایش کمینه می‌کند که انرژی جذب شده را به ناحیه اطراف ذره محدود می‌کند و پتانسیلی برای دستیابی به دمای بالا است که می‌تواند تغییر شکل روی سطح نانوذره و یا حتی ذوب ذره را فراهم کند [۱٦].

**۱-٦: دما و کنترل آن در دوره فرآیند**

دما مهم‌ترین متغیر برای کنترل است، زیرا دما تقریباً به طور کامل آستانه تخریب برای از بین بردن سلول‌ها را معین می‌کند.

استفاده از لیزرها در درمان تومورها به دلیل خواص منحصر به فردشان شامل توازن و تعادل است که پرتویی باریک با شدت نور بالا را فراهم می‌کند و امکان نفوذ عمیق در بافت‌ها با دقت زیاد و تمرکز روی هدف را به ما می‌دهد. کاربردهای قابل توجهی از اثرات گرمایشی به دست می‌آید که افزایش دما را تشدید می‌کند و بنابراین منجر به تغییر شکل بافت، انعقاد و فرآیند تبخیر می‌شود. بزرگترین اشکال درمان فوتوگرمایشی فقدان یا کمبود انتخاب موضعی است. سلول‌های توموری و عادی، هر دو، در محل عبور نور لیزر تخریب می‌شوند. علاوه بر این توان بالای خروجی لیزر از ده‌ها تا صدها وات برای تحریک مناسب کندوسوز لیزری[۲] لازم است.

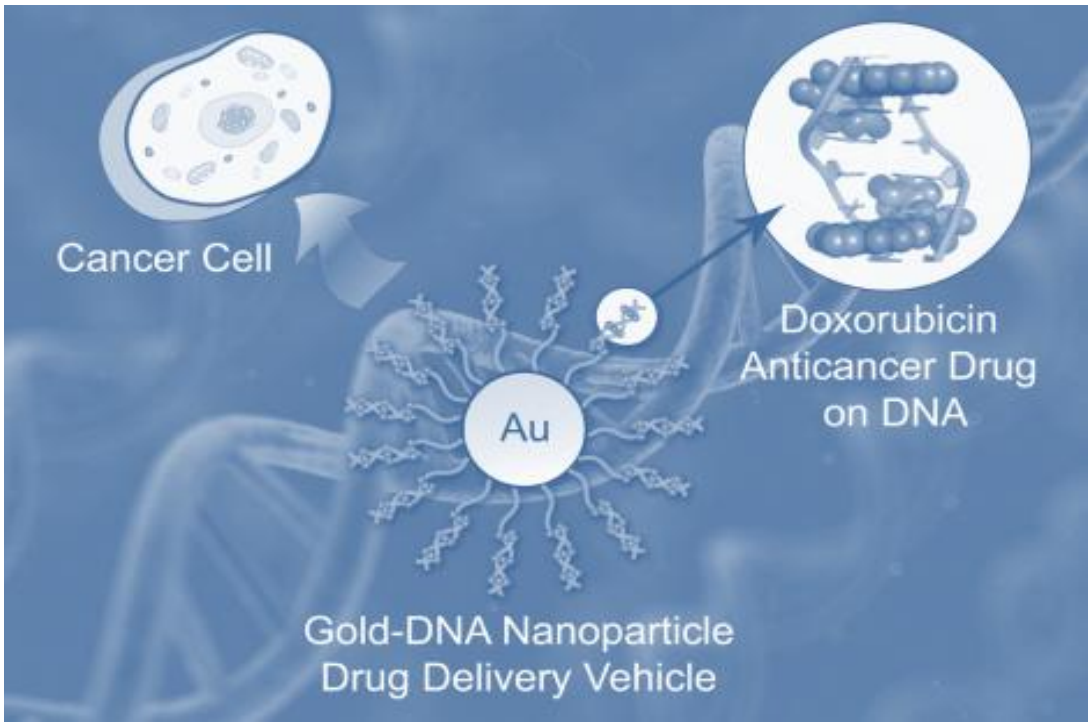
[۱] overlapping
[۲] Laser ablation

بنابراین جستجوی عوامل تباین فوتوگرمایشی که هم قادر به بازده بالا یا کاهش توان لیزر است و هم توانایی انتخاب موضعی توسط هدف‌گیری سلول‌های تومور را دارد، بسیار مهم است. نانوذرات پلاسمونی خواص اپتیکی به شدت تشدید شده‌ای را نشان می‌دهد که برگرفته از تشدید پلاسمونی سطحی است و آنها را به عنوان عواملی در تشخیص و درمان سرطان قرار داده است [۱۳]. نانوذرات فلزی قرار گرفته در مقابل تابش لیزر فرودی در طول موج‌های نزدیک به تشدید پلاسمونی سطح، به طور مؤثری انرژی اپتیکی را افزایش داده و تولید گرما می‌کنند. گرمای ایجاد شده توسط نانوذرات فلزی قرار گرفته در مقابل تابش لیزر را به طور موضعی نزدیک نانوذرات در نظر می‌گیریم و به دلیل اندازه کوچکشان، اندازه گیری دمایشان مشکل می‌شود. گرمایش نانوذرات در محیط‌های مایع که دمای نانوذره ممکن است به طور معنی‌داری افزایش یابد و سپس عبور گرما به مولکول‌های در همسایگی نزدیک بسیار مورد توجه است. برای کاربرد موفقیت آمیز نانوذرات باید تحقیق در مورد اثرت گرمایشی موضعی به منظور آگاه شدن از اثرات آن بر نمونه های بیولوژیکی صورت بگیرد و متعاقباً از اثرات گرمایشی ناخواسته جلوگیری کنیم.

تشدیدهای پلاسمونی می‌توانند در بلورها تنظیم شوند. نانومیله ها[۱] و نانوپوسته‌های[۲] طلا تشدیدهای پلاسمونی دارند که به سمت نور قرمز سوق داده شده است. اینکه میزان جذب توسط واسطه بیولوژیکی را کاهش دهیم مسئله بسیار مهمی است. نانوذرات گرم شده در عکاسی فوتوگرمایشی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند و بسیار مؤثر واقع می‌شوند. گرمایش در خواص اپتیکی واسطه ناهمگن –مثلاً ضریب شکست– تغییر ایجاد می‌کند و این تغییرات می‌توانند به صورت اپتیکی ثبت شوند.

[۱] Nano rods
[۲] Nano shells

نوع دیگری از آزمایش تغییر شکل ماده واسطه تحت گرمایش است. یکی از کاربردهای این روش کنترل از راه دور آزاد سازی مواد و داروها از کپسول‌های پلیمری حاوی نانوذرات برانگیخته با تابش فرودی است. این کپسول در نتیجه اثر گرمایشی تخریب می‌شود و محققان ذوب نانوذرات را مشاهده می‌کنند. از راه مشابهی برای آزادسازی محتویات حامل‌های کوچک داخل سلول‌های زنده استفاده می‌شود. تبخیر آب و اثرات اسیدی حاصل از نانوذرات فلزی گرم شده، گزارش شده است.

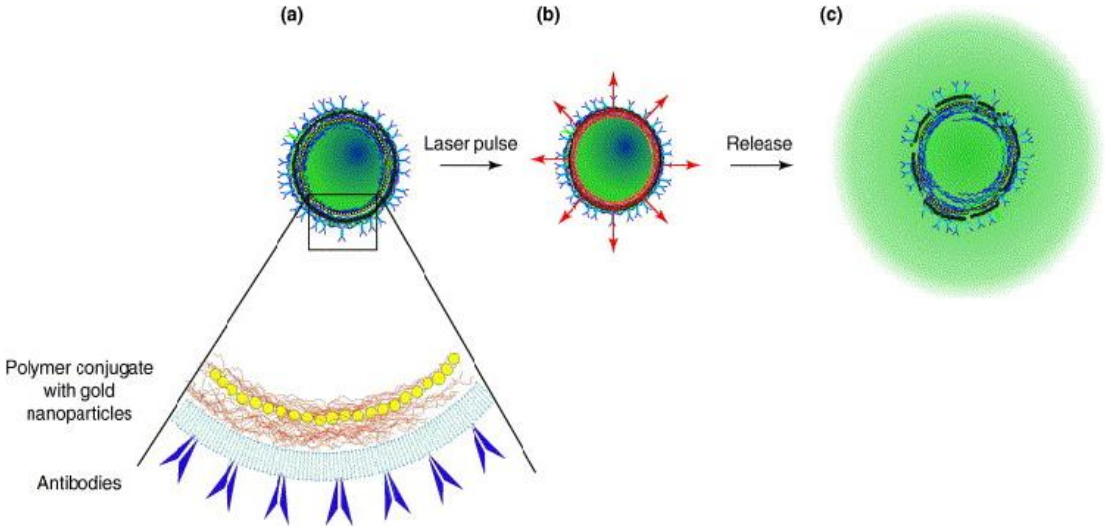



شکل ۱-۹: هدف یابی و تحویل دارو به تومورهای سرطانی فعال [۱۷]

برای سنتز از کپسول‌های پلی الکترولیت[۱] حساس به نور با استفاده از روش خردایش فلزی می‌توان استفاده کرد و قابلیت اجرای آن را به عنوان وسیله تحویل داروی[۲] حساس به نور مورد بررسی قرار داد. کپسول های نانوساختار را می‌توان با استفاده از نانوذرات نقره‌ای ساخت. کپسول‌های بدون نانوذرات نقره‌ای نفوذ پذیری

[۱] Poly electric
[۲] Drug delivery

کمتری دارند. زمانی که این کپسول‌های حامل در معرض پالس‌های لیزر قرار می‌گیرند، دیواره‌های کپسول فرو می‌ریزند و در نتیجه داروی حامل آزاد خواهد شد. فروپاشی کپسول‌ها به اندازه ذره، انرژی پالس لیزر و زمان تابش آن بستگی دارد. ساطع شدن نور توسط این کپسول‌ها که شامل نانوذرات فلزی مخصوصاً نانوذرات نقره در دیواره خود هستند، در نور نزدیک به مادون قرمز[۱] به طور قابل توجهی تقویت می‌شود و محتویات کپسول آزاد می‌شود.




شکل ۱-۱۰: تحویل داروی شیمیایی به صورت کنترل شده [۱۸]

جذب تابش نور مادون قرمز توسط نانوذرات نقره، گرمایش تحریک شده توسط پوسته‌های کپسول را بیشتر می‌کند. در حقیقت، افزایش دمای سوسپانسیون[۲] که در معرض پرتو قرار گرفته، حتی در توان‌های بالای لیزر در حدود ۰,۵ کلوین است. علاوه بر این مهم است که توجه کنیم که افزایش دما بسیار موضعی است. بنابراین هر تخریبی در ماده کپسوله شده بسیار مهم است. از این رو فقدان مولکول‌های حامل فعال را نخواهیم داشت.

[۱] NIR
[۲] Suspension