



دانشکده‌ی علوم
گروه آموزشی فیزیک

پایان‌نامه برای دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد
در رشته‌ی فیزیک گرایش اتمی و مولکولی زمینه‌ی پلاسما

عنوان:

**تأثیر نانوذرات فلزی بر بازده تولید موج تراهرتز ناشی از زلزله دو باریکه‌ی لیزری در
پلاسما**

استاد راهنما:

دکتر ناصر سپهری جوان

استاد مشاور:

دکتر احد صابر

پژوهشگر:

نرگس شیرعلیپور

زمستان 1395

نام خانوادگی دانشجو: شیرعلیپور	نام: نرگس
عنوان پایان نامه:	
تأثیر نانوذرات فلزی بر بازده تولید موج تراهرتز ناستی از زنش دو باریکه‌ی لیزری در پلاسما	
استاد (اساتید) راهنما: دکتر ناصر سپهری جوان	
استاد (اساتید) مشاور: دکتر احد صابر	
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: فیزیک اتمی و مولکولی
گرایش: پلاسما	دانشگاه: محقق اردبیلی
دانشکده: علوم پایه	تاریخ دفاع: 95/11/9
	تعداد صفحات: 89
چکیده:	
<p>در این پایان نامه مسئله‌ی تولید موج تراهرتز در اندرکنش دو باریکه‌ی لیزری با پلاسما‌ی آمیخته با نانوذرات فلزی بررسی می‌شود. دو لیزر گائوسی با قطبش خطی به شکل $\mathbf{E}_j = (1/2)E_0 \hat{y} e^{-y^2/a_0^2} e^{i(k_j z - \omega_j t)} + c.c$ و با فرکانس‌های ω_1 و ω_2 در نظر گرفته می‌شود، که در یک امتداد (محور-z) در داخل یک محیط پلاسمایی شامل نانوذرات فلزی منتشر می‌شوند. فرض می‌شود که چگالی محیط پلاسما و نیز نانوذرات در فضا مدوله شده است. اندرکنش میدان‌های دو لیزر در پلاسما سبب ایجاد نیروی اثرگذار می‌شود که به نوبه خود سبب ایجاد جریان غیرخطی در پلاسما و نیز نانوذرات در راستای قطبش لیزرها با فرکانس زنش $\omega' = \omega_1 - \omega_2$ می‌شود. ملاحظه شد که بهترین پاسخ در ناحیه‌ی تراهرتز را می‌تواند نانوذرات گرافیت داشته باشد. با اختیار مناسب کمیات فرکانس لیزرها و نیز چگالی پلاسما، چنین جریان غیرخطی می‌تواند سبب ایجاد تابش تراهرتز شود. با تشکیل معادله‌ی موج غیرخطی، مسئله‌ی تابش تراهرتز بررسی شده و بازده تابش (نسبت توان تابشی تراهرتز به توان اولیه لیزر) مطالعه خواهد شد. رابطه این بازده با پارامتر مدولاسیون چگالی و نیز فرکانس لیزرها مورد توجه واقع شده است.</p>	
کلید واژه‌ها: پلاسما، تراهرتز، زنش لیزر، نانو	

فهرست مطالب

صفحه	شماره و عنوان مطالب
فصل اول: آشنایی با تکنولوژی تراهرتز	
-1-1	مقدمه.....3
-2-1	معرفی اشعه‌ی تراهرتز.....4
-3-1	ویژگی‌های امواج تراهرتز.....4
-4-1	کاربردهای امواج تراهرتز.....6
-1-4-1	کاربرد در تصویر برداری‌های پزشکی.....6
-2-4-1	کاربردهای امنیتی.....6
-3-4-1	کاربردهای علمی و تصویربرداری.....7
-4-4-1	کاربرد در ارتباطات.....7
-5-4-1	کاربرد در تولید.....7
-5-1	تاریخچه‌ی تولید تابش تراهرتز.....8
-6-1	منابع طبیعی تابش تراهرتز.....9

سیستم‌های

-7-1

تراهرتز.....10

پیوسته

تراهرتز

سیستم‌های

-1-7-1

10.....

پالسی

باند

پهن

تراهرتز

سیستم‌های

-2-7-1

10.....

تراهرتز

تابش

تولید

روشهای

و

تکنیک‌ها

-8-1

11.....

الکترون‌ها

شتاب‌دهی

طریق

از

تابش

-1-8-1

12.....

لیزرها

از

تابش

-2-8-1

15.....

غیرخطی

محیط‌های

وسیله‌ی

به

تولید

-3-8-1

16.....

غیرخطی

محیط‌های

در

تراهرتز

تابش

تولید

برای

شده

انجام

کارهای

-9-1

19.....

فهرست مطالب

صفحه

شماره و عنوان مطالب

فصل دوم: آشنایی با فیزیک پلاسما

-1-2- مقدمه

25.....

2-2- پلاسما

چيست..... 25

2-3- طول دباى پلاسما

26.....

2-4- فرکانس پلاسما

27.....

2-5- معيارهاى پلاسما بودن

29.....

2-6- منابع پلاسما

30.....

2-7- نيروى اثر گذار

30.....

فصل سوم: توليد تابش تراهرتز توسط زنش دو باريكه‌ى ليزر فضايى گائوسى در پلاسما

1-3- مقدمه.....

37.....

2-3- چگ.....الى جري.....ان غيرخط.....ى

37.....

3-3- مع.....ادلات م.....وج غيرخط.....ى

41.....

4-3- تحلي.....ل.....دى

43.....

فصل چهارم: فناورى نانو و پلاسمون‌ها

-1-4

مقدمه..... 49

4-2- نانو

چيست..... 49

4-3- مهمترين عناصر پايه در حوزه ي فناوري

نانو..... 49

4-4- نانوذرات

..... 50

4-5- روش هاي ساخت در فناوري

نانو..... 50

فهرست مطالب

شماره و عنوان مطالب	صفحه
4-6- روش ساخت نانوذرات.....	51
4-7- نانوذرات و خواص آنها.....	52
4-8- خواص نوري نانوذرات.....	52
4-9- پلاسمونيك، انقلاب فناوري مبتني بر نور.....	53
4-10- پلاسمون.....	54
4-11- پلاسمون هاي سطحي.....	55
4-12- گرافيت.....	56

13-4- تابع دی الکتریک ک

57.....

14-4- خواص

58..... اپتیکی گرافیت.....

15-4- مدل درود لورنتس

60.....

16-4- خواص پاشندگی دی الکتریک، رسانا،

63..... پلاسما.....

1-16-4- یک مدل ساده برای $\epsilon(\omega)$

63.....

2-16-4- پاشندگی غیرعادی و جذب تشدید

65.....

3-16-4- رفتار فرکانس پایین، رسانش الکتریکی

67.....

4-16-4- حد فرکانس بالا، فرکانس پلاسما

68.....

فصل پنجم: تولید امواج تراهرتز در اثر زنش دو باریکه‌ی لیزر گوسی با نانوذرات گرافیت

1-5- مقدم ه

71.....

2-5- چگ الی جری ان غیرخط ی

72.....

3-5- ب ازده تولید د اش تراهرت ز

76.....

4-5- تحلی ل ع دی

78.....

85.....

فهرست منابع و مآخذ

87.....

فهرست شکل‌ها

شماره و عنوان شکل	صفحه
شکل 1-1: نواحی فرکانسی طیف‌های مختلف امواج الکترومغناطیسی به همراه کاربرد آن‌ها.....4	
شکل 2-1: تولید تراهرتز پهن باند با استفاده از مکانیسم شتاب دادن الکترون‌ها (از طریق آنتن هادی نور).....13	
شکل 3-1: تولید موج تراهرتز پیوسته با استفاده از مکانیسم شتاب دادن الکترون‌ها (به روش ترکیب نوری).....14	
شکل 4-1: نمای کلی از برهمکنش باریکه‌ی الکترونی در لیزر الکترون آزاد.....15	
شکل 5-1: نمای کلی از برهمکنش باریکه‌ی الکترونی در نوسانگر موج پسرو.....15	
شکل 6-1: طرح شماتیک لیزرهای تولید کننده‌ی امواج تراهرتز.....16	
شکل 7-1: تولید موج تراهرتز پیوسته از طریق محیط غیرخطی (به روش تولید فرکانس تفاضلی).....18	
شکل 8-1: تولید تابش تراهرتز پهن باند از طریق محیط غیرخطی (به روش تصحیح اپتیکی).....19	
شکل 1-2: میدان الکتریکی حاصل از جدایی بار و نوسان الکترون‌های پلاسما.....29	
شکل 1-3: انتشار دو موج لیزر گائوسی در داخل پلاسمای سرد و نامغناطیده.....37	
شکل 2-3: دامنه‌ی میدان تابش تراهرتز بی‌بعد شده بر حسب فرکانس تراهرتز بی‌بعد شده برای دامنه‌ی مدولاسیون چگالی مختلف.....45	

شکل 3-3: دامنه‌ی میدان تابش تراهرتز بی‌بعد شده بر حسب فرکانس تراهرتز بی‌بعد شده به ازای پهنای باریکه‌ی مختلف ذرات نانو

45.....

شکل 3-4: نمودار میدان تابش تراهرتز بی‌بعد شده بر حسب فاصله‌ی عرضی بی‌بعد شده به ازای مقادیر مختلف دامنه‌ی مدولاسیون چگالی

46.....

شکل 3-5: نمودار میدان تابش تراهرتز بی‌بعد شده بر حسب فاصله‌ی عرضی بی‌بعد شده همراه با تغییرات آن با فرکانس تراهرتز بی‌بعد شده

شکل 4-1: برانگیختگی الکترون‌ها در مواد معمولی و در نانو ذرات تحت میدان الکتريکی

53.....

شکل 4-2: تصویر شماتیک از نوسان‌های پلاسمون یک ذره فلزی و جابه‌جایی ابر الکترونی نسبت به هسته

55.....

شکل 3-4: ساختار اتمی صفحه‌ی گرافیت

56.....

شکل 4-4: انواع فرم‌های کربن: فولرن، نانو لوله‌های کربنی، گرافن، گرافیت

57.....

فهرست شکل‌ها

شماره و عنوان شکل	صفحه
شکل 4-5- پاسخ دی‌الکتريک ϵ^{\perp} الکترون‌های مقید برای $E \perp C$ از طریق محاسبات (منحنی تیره). اضافه کردن جمله درود با فرکانس پلاسمونی الکترون‌های آزاد $\hbar\omega_p = 0.95\text{ev}$ (منحنی نقطه). داده‌های تجربی (منحنی روشن)	60.....
شکل 4-6- تابع دی‌الکتريک برای $E \parallel C$. اینجا فرکانس پلاسمونی حامل‌های آزاد $\hbar\omega_p = 0.1\text{ev}$ گرفته می‌شود	60...

شکل 7-4: نمونه نوسانگر مکانیکی

61.....

شکل 8-4: واپیچش ابر الکترونی با اعمال یک میدان الکتریکی

61.....

شکل 9-4: بخش‌های حقیقی و موهومی ثابت دی‌الکتریک $\epsilon(\omega)/\epsilon_0$ در همسایگی نقطه‌ی تشدید. همچنین پاشندگی غیرعادی در بازه‌ی فرکانسی که جذب اتفاق می‌افتد

66.....

شکل 5-1: نمودار دامنه‌ی میدان بی‌بعد تراهرتز بر حسب فرکانس بی‌بعد تراهرتز، به ازای لیزر با شدت ثابت

$I = 10^{16} \text{ w/cm}^2$ و دامنه‌های مختلف مدولاسیون

چگالی.....83

شکل 5-2: نمودار دامنه‌ی میدان بی‌بعد تراهرتز بر حسب فرکانس بی‌بعد تراهرتز، به ازای دامنه‌ی مدولاسیون چگالی ثابت

$n_{q\alpha}/n_{0\alpha} = 0.3$ و لیزرهای با شدت‌های مختلف

83.....

شکل 5-3: نمودار دامنه‌ی میدان بی‌بعد تراهرتز بر حسب فرکانس بی‌بعد تراهرتز، به ازای دامنه‌ی مدولاسیون چگالی ثابت

$n_{q\alpha}/n_{0\alpha} = 0.3$ ، لیزر با شدت ثابت $I = 10^{16} \text{ w/cm}^2$ و پهنای باریکه‌ی مختلف

84.....

شکل 5-4: نمودار دامنه‌ی میدان بی‌بعد تراهرتز بر حسب فرکانس بی‌بعد تراهرتز، به ازای دامنه‌ی مدولاسیون چگالی ثابت

$n_{q\alpha}/n_{0\alpha} = 0.3$ ، لیزر با شدت ثابت $I = 10^{16} \text{ w/cm}^2$ و پهنای باریکه‌ی $a_0 = 0.05 \text{ mm}$ و برای نانو ذرات با

فاصله‌ی جدایی مختلف

84.....

فصل اول

آشنایی با تکنولوژی تراهرتز

1-1- مقدمه

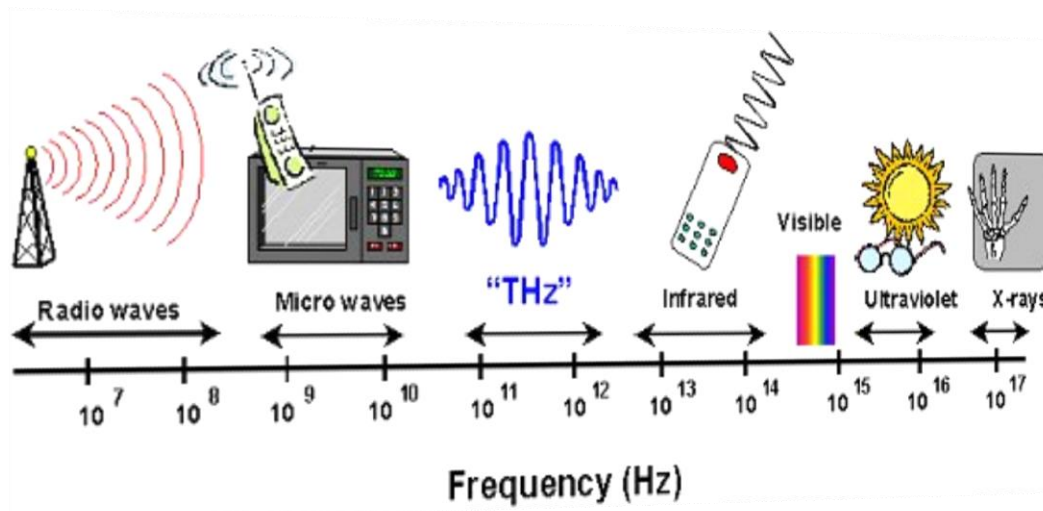
تاکنون شاید تنها با تکنولوژی‌هایی همچون الکترونیک (امواج الکترومغناطیسی پایین‌تر از فرکانس ریزموج) و تکنولوژی فوتونیک (امواج الکترومغناطیسی مرئی) آشنا بوده‌ایم. با پیشرفت روز افزون تکنولوژی نیاز به ادواتی با ظرفیت بیشتر و پهنای باند¹ بالاتر احساس می‌شود. باند تراهرتز که سابق بر این به عنوان گپ تراهرتز² شناخته می‌شد، از جمله این امواج است. این نام‌گذاری به واسطه‌ی عدم وجود منابع پرتوان انرژی و آشکارسازی‌های مناسب در این بازه‌ی فرکانسی بوده است. در آغاز دهه‌ی 1960 توجه به این بازه‌ی فرکانسی بیشتر شد. این به دلیل قرار گرفتن طیف فرکانسی بعضی از مواد محیطی و گازهای ناشی از سیارات و اجرام آسمانی در این ناحیه‌ی فرکانس بود. به این دلیل اخترشناسان اولین افرادی بودند که به بررسی و توجه به این بازه پرداختند. تا دوره‌های اخیر دسترسی به امواج تراهرتز به دلیل پایین بودن بازده و توان فرستنده‌ها و گیرنده‌های مخابراتی تقریباً غیرممکن بود. امروزه گسترش فناوری در بازه‌ی فرکانسی تراهرتز بسیار سریع تر شده است. فرکانس‌های تراهرتز به خاطر این که در بسیاری از علوم و تکنولوژی کاربرد فراوان دارد یکی از موضوعات تحقیقاتی مهم به شمار می‌رود. در این فصل، بعد از معرفی اشعه‌ی تراهرتز، بررسی ویژگی‌ها و کاربردهای آن، به مطالعه‌ی روش‌های تولید تابش تراهرتز با استفاده از تکنیک‌های مختلف پرداخته شده است (Xander Phillips, 2011).

¹ Bandwidth

² Terahertz Gap

1-2- معرفی اشعه‌ی تراهرتز

از آنجا که نام‌گذاری این ناحیه از طیف الکترومغناطیسی با واحد یکای اندازه‌گیری (تراهرتز) غیراستادانه است، بنابراین از عنوان پرتو تی¹ برای نامیدن این ناحیه از طیف استفاده می‌شود. تابش تی ناحیه‌ای از طیف الکترومغناطیسی است که بین دو طیف تابشی مادون قرمز² و ریز موج³ قرار می‌گیرد. پرتوهای تی به خاطر فرکانس‌شان که حدود یک تریلیارد سیکل در ثانیه یا یک تراهرتز است به این نام خوانده می‌شوند. همچنین این تابش با عنوان تابش زیرمیلی‌متری⁴ نیز خوانده می‌شود. این اصطلاح معمولاً برای منطقه‌ای از طیف الکترومغناطیسی استفاده می‌شود که محدوده‌ی فرکانسی آن بین 300 گیگا هرتز (3×10^{11} هرتز) و 30 تراهرتز (3×10^{13} هرتز) و محدوده‌ی طول موجی آن بین 1 میلی‌متر تا 100 میکرومتر قرار می‌گیرد.



شکل (1-1): نواحی فرکانسی طیف‌های مختلف امواج الکترومغناطیسی به همراه کاربرد آن‌ها (Rostami & Rasooli, 2011).

1-3- ویژگی‌های امواج تراهرتز

¹ T-Ray

² Infrared

³ Micro Wave

⁴ Sub-Milimeter

امواج تراهرتز در مقایسه با بقیه‌ی ناحیه‌های طیف الکترومغناطیسی ویژگی‌های منحصر به فردی دارند. از جمله این ویژگی‌ها این است که انرژی امواج تی در مقایسه با امواج ایکس بسیار کمتر بوده و می‌توان گفت که یک تابش غیر یونیزان است. لذا در هنگام تصویربرداری‌های پزشکی خطر یونیزاسیون بافت‌های زنده^۱ را ندارد. گر چه این در مورد امواج میکروویو نیز صادق است اما طول موج کمتر امواج تراهرتز، کیفیت فضایی بهتری را نسبت به میکروویو ارائه می‌دهد. باید توجه داشت که طول موج، امواج تراهرتز در حدود چند صد میکرومتر است (در حدود چند هزار بار بزرگتر از نور مرئی) در نتیجه وضوح ایده‌آل برای تصاویر تراهرتز در حدود یک میلی‌متر است. بنابراین می‌توان گفت که تابش نامرئی^۲ تی جانشین بی‌ضرر اشعه‌ی ایکس است. همچنین تابش تی می‌تواند به طیف گسترده‌ای از مواد غیر فلزی (لباس، کاغذ، مقوا، چوب، ساختمان‌های سنگی، پلاستیک، سرامیک، شیشه) نفوذ کند. نفوذ پرتوهای تی در مه و ابرها ناچیز است. جو زمین یک جاذب قدرتمند برای تابش تراهرتز در خطوط جذبی خاصی از بخار آب است، بنابراین گستره‌ی تابش تراهرتز به قدری محدود می‌شود که دیگر نمی‌تواند در ارتباطات راه دور مفید باشد. به هر حال در فاصله‌ی حدود 10 متر، این گستره‌ی نور ممکن است اجازه کاربردهای مفید فراوان دیگری در سامانه‌های تصویر برداری، ساخت پهنای باند بالای شبکه بی‌سیم را بدهد. یکی از مشکلات اساسی در جراحی سرطان اطمینان از این امر است که همه سلول‌های سرطانی از بدن بیمار خارج شده‌اند، در نتیجه سرطان در مدت کوتاهی عود نمی‌کند. تصویر برداری با پرتوهای تی با مشخص‌سازی دقیق و صحیح عمق، اندازه و شکل تومور می‌تواند به جراحان نشان دهد که بافت سالم در کجا تمام می‌شود و بافت سرطانی از کجا شروع می‌شود، به این ترتیب بر شانس خارج کردن تمام بافت‌های سرطانی از بدن بیمار افزوده خواهد شد. یک پیامد غیر قابل اجتناب در هنگام تصویر برداری با تراهرتز، جذب آن توسط آب است. تمام طیف تراهرتز به شدت توسط آب در حالت مایع یا هر مایع قطبی دیگر جذب می‌شود و در نتیجه در بافت‌های مرطوب تا عمق مطلوب نفوذ نمی‌کند. بنابراین تصویربرداری

¹ Biologic

² Invisible

از قسمت‌های درونی بدن به دلیل مشکل رطوبت قابلیت محدود دارد. این اشعه نمی‌تواند در آب و فلز نفوذ کند. بنابراین نمی‌تواند در بازرسی محموله‌ی کشتی‌ها در هنگام پهلو گرفتن مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به این که پراش در این ناحیه‌ی فرکانسی مهم است، سیستم‌های تراهرتز با اسباب اپتیکی مرسوم قابل حصول نیستند. از آن جا که انرژی فوتون‌ها در ناحیه‌ی تراهرتز پایین‌تر از انرژی باندهای ممنوعه در مواد مرسوم مورد استفاده در دستگاه‌های حالت جامد و یا اختلاف انرژی ترازهای اتمی موجود در بسیاری از لیزرها است، بنابراین تولید امواج تراهرتز با استفاده از اسباب الکترونیکی معمولی غیر ممکن است.

1-4- کاربردهای امواج تراهرتز(کاربرد در پزشکی، امنیت، تصویربرداری،

ارتباطات، تولید)(Xander Phillips, 2011)

1-4-1- کاربرد در تصویر برداری‌های پزشکی:

برخی از فرکانس‌های اشعه‌ی تی می‌تواند چندین میلی‌متر در بافت‌هایی با محتوای کم آب (به عنوان مثال بافت چربی) نفوذ و بازتاب نماید. همچنین می‌تواند تفاوت محتوای آب و چگالی بافت را مشخص کند، بنابراین می‌تواند روش تشخیص موثری برای سرطان اپیتلیال¹، با استفاده از تصویر برداری امن‌تر و سیستم غیرمخرب² یا کم درد³ باشد. علاوه بر این برخی از فرکانس‌های اشعه تی برای تصویر برداری سه بعدی از دندان‌ها استفاده می‌شود و دقیق‌تر و امن‌تر از تصویر برداری مرسوم اشعه‌ی ایکس در دندان پزشکی است. تشخیص سرطان‌های سطحی پوست و ارزیابی مقدار و عمق سوختگی‌های پوست مخصوصاً در زمان پیوند پوست، رطوبت سنجی قرینه در بیماری‌های چشمی و طیف سنجی لایه نشانی داروها از جمله کاربردهای تابش تراهرتز در پزشکی هستند.

1-4-2- کاربردهای امنیتی:

¹ Epithelial

² Invasive

³ Painful

تابش تی می‌تواند در پارچه و پلاستیک نفوذ کند. بنابراین می‌تواند در بازرسی غیر مخرب در فرودگاه‌ها مورد استفاده قرار گیرد. مانند بازرسی امنیتی اسلحه‌ی پنهان شده توسط افراد از راه دور، این موضوع به خاطر این است که هر ماده‌ای دارای طیف منحصر به فردی در محدوده‌ی تراهرتز است. مثل اثر انگشت افراد که منحصر به فرد است. این ویژگی امکان ترکیب شناسه‌های طیفی را برای ایجاد تصویر به وجود آورده است. همچنین برای تشخیص جنس و نوع مواد، به عنوان مثال تشخیص مواد در بسته‌های مشکوک در گیت‌های فرودگاه مورد استفاده قرار می‌گیرد.

1-4-3- کاربردهای علمی و تصویربرداری:

طیف‌نمایی تابش تی می‌تواند اطلاعات جدیدی در شیمی و بیوشیمی فراهم نماید. کاربرد اولیه امواج زیرمیلی‌متری در فیزیک، به منظور مطالعه‌ی ماده‌ی چگالیده در میدان‌های قوی مغناطیسی است، چرا که در میدان‌های قوی (بیش از حدود 15 تسلا)، فرکانس‌های لارمور در محدوده زیرمیلی‌متری قرار می‌گیرند. این کار در بسیاری از آزمایشگاه‌های دارای میدان مغناطیسی قوی در سراسر جهان انجام می‌شود. همچنین تابش تی به مورخان آثار هنری این امکان را می‌دهد که قدمت تاریخی دیوارهای پوشیده شده از گچ، رنگ و نقاشی را بدون صدمه به آثار هنری به دست آورند.

1-4-4- کاربرد در ارتباطات :

کاربردهای بالقوه‌ای در ارتباطات از راه دور در ارتفاعات بالاتر از ارتفاعی که در آن بخار آب باعث جذب سیگنال می‌شود وجود دارد مثل ارتباط هواپیما به ماهواره، یا ماهواره به ماهواره.

1-4-5- کاربرد در تولید :

کنترل کیفیت هنگام ساخت و بسته بندی کالاها به وسیله‌ی تابش تراهرتز به علت عبور تابش تراهرتز از پلاستیک و مقوا امکان پذیر است.

1-5- تاریخچه تولید و استفاده تابش تراهرتز

اولین تصاویر تولید شده با استفاده از تابش تی در سال 1960 ایجاد شدند. اما در سال 1995 تصاویر تولید شده با استفاده از طیف نمای دارای دامنه‌ی زمان تراهرتز، هیجان بسیاری ایجاد کرد و موجب رشد سریع علم و فناوری تراهرتز شد. تا سال 2004 موارد استفاده اشعه‌ی تراهرتز به شرح زیر بوده است:

- گیروترون (تیوب خلأی که به وسیله گروهی از الکترون‌ها با حرکت سیکلوترون در میدان بسیار قوی الکترومغناطیسی، امواج ریزمیلی متری منتشر می‌کند).
- نوسان ساز وارونه موج¹ (BWO)
- لیزر مادون قرمز
- لیزر آبشاری کوانتومی² (QCL)
- لیزر الکترون آزاد
- منابع نور سنکروترون³
- منابع فوتومیکسینگ⁴
- منابع چرخه منفرد طیف سنجی در دامنه‌ی زمان تراهرتز مانند هدایت کننده‌های نور⁵ و گسیلنده‌های جبران نوری⁶.

در اواسط سال 2007، دانشمندان دپارتمان آزمایشگاه ملی انرژی آرگون ایالات متحده، همراه با همکاری ترکیه و ژاپن، اعلام کردند که دستگاهی جمع و جور و قابل حمل ساخته‌اند که با باتری کار می‌کند و اشعه‌ی تراهرتز تولید می‌کند. دستگاهی که از بلورهای ابر رسانا با دمای بسیار بالا استفاده

¹ Backward Wave Oscillator

² Quantum Cascade Laser

³ Synchrotron

⁴ Photomixing

⁵ Photoconductive

⁶ Optical Rectification

Family name: Shiralipour	Name: Narges
Title of Thesi: The Effect of Metallic Nanoparticles on The Terahertz Wave Generation Efficiency Produced By the Beatwave of Two Laser Beams In Plasma	
Supervisor(s): Dr. Nasser Sepehri Javan Advisor(s): Dr. Ahad Saber	
Graduate Degree: M.Sc. Major: Physics Specialty: Atomic and Molecular Physics Specialized in Plasma University: Mohaghegh Ardabili Faculty: Basic science Graduation date: 2017.01.27 Number of pages: 89	
<p>Abstract:</p> <p>In this thesis two gaussian lasers with linear polarization $\mathbf{E}_j = (1/2)E_0 \hat{y} e^{-y^2/a_0^2} e^{i(k_j z - \omega_j t)} + c.c$ and frequencies ω_1 and ω_2 are considered. We assume that the lasers are propagating in the same direction (z-axis) through a plasma medium containing metallic nanoparticles. Also, we assume that the density of the nanoparticles and plasma medium are spatially modulated. The interaction of lasers fields in the plasma causes a ponderomotive force, which in turn causes nonlinear current in plasma and also in nanoparticles along the lasers polarization with beat-wave frequency ($\omega_1 - \omega_2$). It has been found out that the best candidate in the THz frequency area is graphite nanoparticles. By providing adequate quantities of plasma density and the lasers frequencies, such a nonlinear current can generate terahertz radiation. By obtaining nonlinear wave equation, problem of terahertz radiation is investigated and efficiency of radiation (ratio of terahertz radiation power to the initial laser power) is studied. The relationship between the density modulation parameter and lasers frequencies is studied. Furthermore, the effect of metallic nanoparticles on the problem is discussed.</p>	
Keywords: Nano, Plasma, Terahertz, Beatwave lasers	



University of Mohagheh Ardabili

Faculty of Sciences

Department of Physics

**Thesis submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of
M.Sc. / M.A. in plasma physics**

Title:

**The Effect of Metallic Nanoparticles on The Terahertz Wave Generation
Efficiency Produced By The Beatwave of Two Laser Beams In Plasma**

Supervisor:

Nasser Sepehri Javan (Ph. D)

Advisor:

Ahad Saber (Ph. D)

By:

Narges Shiralipour