بیست و یکمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و هفتمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۲۳ تا ۲۵ دی ماه ۱۳۹۳، دانشگاه شهید بهشتی

ضریب جذب پلاسما درفرآیند برهم کنش لیزر با هدف

محبوبه سلیمانی[۱]، امیر حسین فرهبد[۲*]، مسعود پیشدست[۲]، مونا روشان[۳]

[۱] گروه فیزیک، دانشگاه خوارزمی، تهران

[۲] پژوهشکده پلاسما و گداخت هسته ای، پژوهشگاه علوم وفنون هسته ای، تهران

[۳] گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز، تهران

چکیده –دراین مقاله ضریب جذب پلاسمای حاصل از برخورد پرتو کانونی شده ی لیزر *Nd:YAG* با هدف مس با پهنای زمانی *ns* ۲۸ به ازای مقادیر گوناگون انرژی لیزر، به کمک باریکه لیزر کاوش *He-Ne* و همچنین هماهنگ دوم لیزر *Nd:YAG* درطول موج *nm* ۵۳۲ با قطبش های متفاوت در محیط هوا و فشار یک اتمسفر مورد مطالعه تجربی قرار گرفته است. برای این منظور باریکه لیزر کاوش به کمک دو عدسی با فاصله کانونی *cm* ۵ از مکان تشکیل پلاسما برروی هدف جامد عبور می نماید، و پس از جمع آوری مورد بررسی قرار می گیرد. تفکیک مکانی موضع برخورد باریکه لیزر برهم کنش با پرتو کانونی شده کاوش در سطح هدف *mm* ۱ است. بدین طریق سرعت انتشار یون ها در پلاسمای در حال گسترش نیز مورد اندازه گیری قرار گرفته است که در حد *cm/s* ۵×۱۰^{۴} می باشد.

کلید واژه– ضریب جذب پلاسما، برهم کنش لیزر– هدف، پلاسمای لیزری

The plasma absorption coefficient in the laser-plasma interaction process

M. Soleymani[۱], A. H. Farahbod[۲*], M. Pishdast[۲], M. Roshan[۳]

[۱]Department of Physics, Kharazmi University, Tehran

[۲]Plasma and Nuclear Fusion Research School, NSTRI, Tehran

[۳]Department of Physics, Islamic Azad University, Tehran Central Branch, Tehran

Abstract- In this paper, the absorption coefficient of a laser produced copper plasma by a focused beam of ۲۸ ns Nd:YAG laser has been measured by means of laser beam of a He-Ne laser or second harmonic of a Nd:YAG laser probe at ۶۳۳ nm and ۵۳۲ nm, respectively. The measurements have been performed in air environment at ۱ atmosphere pressure with different state of probe beam polarization. The probe beam has been focused and collimated by a pair of confocal ۵ cm convex lenses. The displacement resolution of the focused probe beam from the focused position of the interaction beam on the surface of target is ۱ mm. By this means, the velocity of ions in expanding plasma was measured that its value is about ۵×۱۰^{۴} cm/s.

Keywords: Plasma absorption coefficient, laser-target interaction, laser-induced plasma

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-01-30]

۱- مقدمه

برهمکنش باریکه های پرشدت لیزر با هدف، با سایش سطح وگسترش ذرات درمحیط اطراف هدف همراه است. این سازوکار با بروز پلاسما با چگالی کوچکتر یا درحد چگالی بحرانی و کمتر از چگالی جامد متراکم شده در نزدیکی سطح هدف همراه است ودرهم جوشی با روش محصور سازی لختی حایز اهمیت فراوان است[۳-۱].

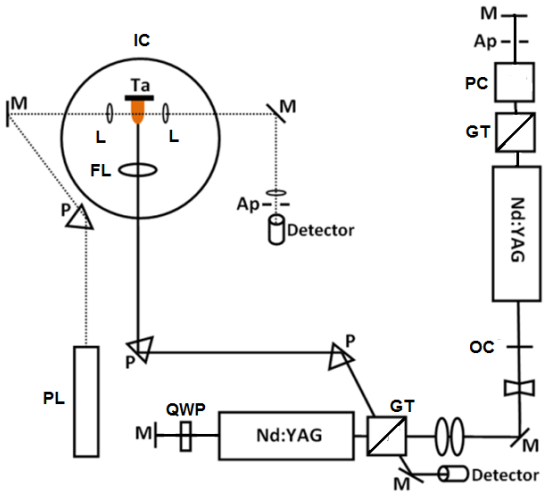
دراثر جذب تابش لیزر در سطح هدف ، لیزر به ناحیه ای که ناحیه بحرا نی است وارد می شود. در برخورد فوتون ها با ذرات هدف ، ذرات انرژی می گیرند و ازپلاسمای کم چگالی با دمای بالا پدید می آید که به آن تاج پلاسما گفته می شود[۴]. در این ناحیه بخشی از انرژی باریکه لیزر توسط پلاسما جذب می شود. باریکه لیزر بسته به طول موج و پهنای پالس آن، چگالی پلاسمای پدید آمده، زاویه فرود باریکه لیزر بر پلاسما و قطبش میدان اپتیکی جذب و پراکنده می شود. برای پالس های اپتیکی کوتاه و بسیار کوتاه طی انتشار میدان اپتیکی در پلاسما فرایند های غیرخطی گوناگونی نظیر خودکانونی، انحراف راستای انتشار باریکه لیزر در پلاسما بوقوع می پیوندد که در این پژوهش به آنها نمی پردازیم [۵ و۶].

غالباً درهنگام عبور پرتو لیزر از پلاسما با فرکانس بیش از فرکانس پلاسمای بحرانی الکترون و پهنای پالس از مرتبه $۱۰^{-۸}$ ثانیه، جذب فوتون از میدان لیزر به صورت تشدیدی و یا از طریق انتقال انرژی به الکترون ها در میدان یون ها طی فرایند برمشترالانگ معکوس اتفاق می افتد. جذب فوتون ها در فرایند برخوردی به فرکانس برخورد الکترون-یون بستگی دارد. در جذب تشدیدی سرعت فاز ذره وموج به یکدیگر نزدیک است و در جذب برخوردی انرژی فوتون ها در میدان یون های زمینه طی برخورد، به الکترون ها و سپس یون ها منتقل می شود. به کمک معادلات ماکسول و استخراج رابطه پاشندگی برای میدان اپتیکی تک فرکانس ω با میدان الکتریکی $E(z, t)=E_o e^{-(i\omega t-kz)}$ با دامنه E_o و عدد موج k رابطه مورد نظر برای ضریب جذب فوتون طی انتشار از محیط پلاسما بدست می آید[۵].

جذب از طریق برخوردهای الکترونی با اتم غیر یونیده در پلاسمای کم چگال با دمای پلاسما در حد چند الکترون ولت در غالب برهمکنش های لیزر های نسبتاً کم انرژی و کم شدت در حد $۱۰^{۱۲}$-$۱۰^{۱۰}$ وات بر سانتیمتر مربع مورد توجه است. در چنین شرایطی سطح مقطع جذب اپتیکی ناشی از برخوردهای آزاد- مقید در حد $۱۰^{-۱۷}$ سانتیمتر مربع و ضریب جذب از مرتبه $۱\ cm^{-۱}$ است[۷] که با مقادیر تجربی مشاهده شده در این پژوهش با پلاسمای با چگالی $cm^{-۳}$ $۱۰^{۱۸}$ ~ قابل مقایسه است. در این مقاله صرفاً از دیدگاه تجربی ضریب اپتیکی پلاسمای کم چگال حاصل از برخورد لیزر پالسی با طول موج ۱۰۶۴ نانومتر و پهنای ۲۸ نانوثانیه در ناحیه مریی به ازای دو طول موج ۶۳۳ و ۵۳۲ نانومتر و قطبش های گوناگون باریکه کاوش مورد بررسی قرار گرفته است.

۲-آرایش تجربی

سامانه تجربی به کار رفته در این پژوهش در شکل ۱ نشان داده شده است. این سامانه متشکل است از یک نوسانگر لیزر Nd:YAG با سوئیچ Q فعال با پهنای تپ ۲۸ نانوثانیه و یک تقویت کننده ۲ عبوری Nd:YAG. حداکثر انرژی خروجی سامانه لیزری برهمکنش ۲۲۰ میلی ژول است. باریکه لیزر پس از خروج از تقویت کننده به کمک دو منشور P به سوی محفظه برهمکنش IC هدایت می شود و با عبور از عدسی محدب کانونی کننده باریکه FL با فاصله کانونی ۷۵ میلیمتر بر روی هدف Ta که در این پژوهش مس انتخاب شده است، متمرکز می شود.



شکل۱: آرایش تجربی جهت بررسی ضریب جذب پلاسمای ناشی از برهمکنش لیزر با هدف. M آینه تمام بازتابان، PC سلول پاکل، GT قطبی کننده گلن-تامسون، QWP تیغه ربع موج، OC آینه خروجی ، AP روزنه، P منشور، L عدسی، Ta هدف و PL لیزر کاوش.

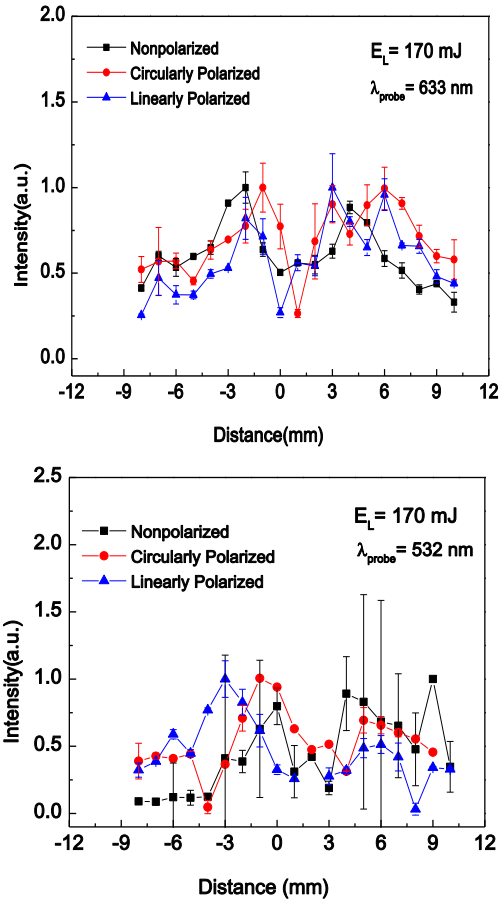
دو عدسی محدب L هر یک با فاصله کانونی ۵۰ میلیمتر که در حالت هم کانون درون محفظه قراردارند، به نحوی نصب شده اند که ناحیه برخورد

[Downloaded from opsi.ir on 2026-01-30]

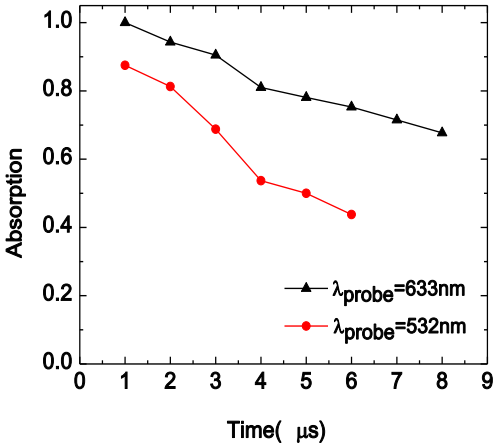
باریکه برهمکنش در محل کانون مشترک آنها واقع شود. عدسی های L بر روی یک نگهدارنده مجهز به موتور پله ای قرار گرفته اند و بدین طریق می توان با دقتی بهتر از ۰/۱ میلیمتر موضع کانون مشترک دو عدسی مذکور را نسبت به محل برخورد باریکه برهمکنش بر روی هدف Ta در یک راستا تنظیم نمود. در آزمایش های صورت گرفته وضعیت پلاسمای پدید آمده با گام های ۱ میلیمتری از یکدیگر مورد پویش و بررسی قرار گرفت. جهت بررسی جذب پلاسما دو نوع لیزر He-Ne و هماهنگ دوم لیزر Nd:YAG به عنوان لیزر کاوش به ترتیب در طول موج ۶۳۳ و ۵۳۲ نانومتر مورد استفاده قرار گرفته است. باریکه لیزر کاوش در سه حالت: با قطبش تصادفی، قطبش خطی و دایروی از پلاسما عبور داده شد و عبوردهی لیزر کاوش بر حسب فاصله محل برخورد و تمرکز لیزرهای برهمکنش و کاوش مورد اندازه گیری قرار گرفت.

۳-نتایج و بحث

در شکل ۲ نمونه هایی از رفتار شدت بهنجار شده باریکه عبوری از پلاسما با احتساب عبوردهی قطعات اپتیکی در مسیر باریکه کاوش، بر حسب فاصله کانونی مشترک عدسی های L از محل برخورد لیزر برهمکنش، به ازای انرژی ۱۷۰ میلی ژول نشان داده شده است. در نزدیکی مرکز هر نمودار، صرفنظر از طول موج و قطبیدگی باریکه کاوش، حداقل عبوردهی و حداکثر جذب باریکه مشاهده می شود که نشان دهنده حداکثر چگالی الکترونی در محل برخورد باریکه برهمکنش در سطح هدف است. با گذشت زمان و گسترش پلاسما در محیط، جذب پلاسما پیرامون نقطه برخورد باریکه لیزر برهمکنش دستخوش تغییر می شود و با دور شدن از محل برخورد به دلیل کاسته شدن از چگالی الکترونی پلاسما کاهش می یابد، شکل ۳. همچنین با کاسته شدن از طول موج باریکه کاوش از مقدار جذب در پلاسمای کم چگال کاسته می شود.

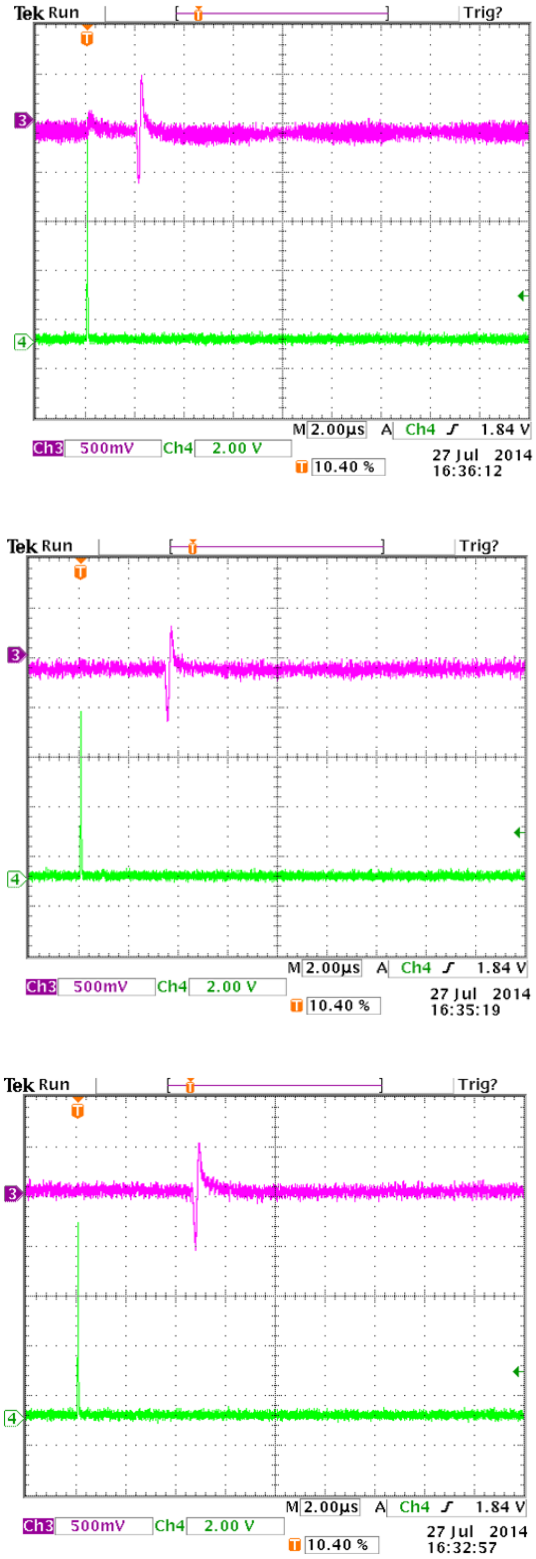


شکل۲: رفتار شدت باریکه عبوری از پلاسما بر حسب فاصله کانون مشترک عدسی های L از محل برخورد لیزر برهمکنش به ازای انرژی ۱۷۰ میلی ژول برای باریکه برهمکنش، دو طول موج و قطبیدگی متفاوت برای باریکه کاوش.



شکل۳: چگونگی تغییرات مشاهده شده برای جذب پلاسما بر حسب زمان از لحظه برخورد باریکه برهمکنش بر سطح هدف، به ازای دو طول موج ۶۳۳ و ۵۳۲ نانومتر.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-01-30]



شکل۴: نمونه سیگنال های ثبت شده برای باریکه کاوش (قرمز) نسبت به پالس باریکه برهمکنش (سبز)، به ترتیب در فاصله ۲، ۳ و ۴ میلیمتر از نقطه برهمکنش با انرژی ۱۷۰ میلی ژول برای باریکه برهمکنش.

اندازه گیری های شکل ۴ نشان می دهند که موج ضربه برای پیمودن ۱ میلیمتر فاصله از محل برخورد به حدود ۲ میکروثانیه زمان نیاز دارد که معادل سرعت انتشار 5×10^{4} cm/s است. این نتایج در سازگاری با دیگر مشاهدات انجام شده به روش سایه نگاری[۸] و اندازه گیری سرعت حرکت یون ها به روش زمان پرواز به کمک پروب الکتریکی لانگمیر است.

۴-نتیجه گیری

در این پژوهش وابستگی زمانی و مکانی جذب پلاسمای ناشی از برهمکنش لیزر با هدف جامد مس در ناحیه مریی مورد بررسی قرار گرفته است. مشاهدات نشان می دهند که با گذشت زمان امواج ضربه و پلاسمای پدید آمده در نقطه برخورد با هدف که با سرعت انتشار صوت در محیط به مکان مورد مشاهده می رسند، سبب تغییر در چگالی الکترونی و در نتیجه جذب و پراکندگی باریکه کاوش می گردند. همچنین با استفاده از معلوم بودن مکان مشاهده و تاخیر زمانی دریافت سیگنال کاهش دامنه ناشی از جذب باریکه کاوش در پلاسمای در حال گسترش در محیط می توان سرعت انتشار امواج ضربه را در پلاسمای پدید آمده بدست آورد.

مراجع

[۱] R. E .Kidder, Nuclear Fusion, ۱۴, ۷۹۷(۱۹۷۴)

[۲] R. G. Evans, Can. J. Phys. ۶۴, ۸۹۳(۱۹۸۶)

[۳] S. Nakai, K. Mima, Rep.Prog.Phys. ۶۷, ۳۲۱(۲۰۰۴)

[۴] S. Eliezer, "*The Interaction of High-Power Lasers with Plasmas*" IOP Publishing (۲۰۰۲).

[۵] P. McKenna, D. Neely, R. Bingham, D. Jaroszynski, (Eds.) "*Laser-Plasma interactions and applications*" Springer (۲۰۱۳).

[۶] S. Eliezer. K. Mima "*Applications of Laser-Plasma Interaction*" CRC Press (۲۰۰۹).

[۷] T. Donnelly, J.G. Lunney, Appl. Phys. A, ۹۲, ۹۵۱ (۲۰۰۸).

[۸] امیر حسین فرهبد، مسعود افشاری ، ابراهیم آقایاری، مجله علوم و فنون هسته ای، ۵۸، ۴ (۱۳۹۰).

[Downloaded from opsi.ir on 2026-01-30]