همایش نانوفوتونیک ایران ۱۳۹۹- ۱ و ۲ آبان
Iranian Nano-Photonic Conference 2020
October 23 and 24

تاثیر طول موج لیزر در تولید باریکه الکترونی حاصل از برهمکنش لیزر با هدف

سمیه زارع *
پژوهشکده فوتونیک و فناوری‌های کوانتومی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، تهران،ایران

چکیده: در این مقاله برهمکنش دو پالس لیزر فمتوثانیه‌ای با شدت‌های یکسان و طول موج‌های nm ۸۰۰ و nm ۱۰۶۴با هدف دتریم با کمک کد دوسیالی مقایسه می‌شوند. در برهمکنش لیزر با شدت‌های بالا، الکترون‌ها تحت تاثیر نیروی پاندرماتیو و نیروی الکتروستاتیک یون‌ها، در راستای انتشار باریکه، حرکت نوسانی دارند. مشاهده می‌شود که سرعت الکترون‌های حاصل از طول موج $1064nm$ حدود ده برابر سرعت الکترون‌های پالس nm ۸۰۰ خواهد بود. همچنین مقایسه چگالی جریان الکترونی نشان می‌دهد که الکترون‌های حاصل از طول موج بلندتر در مدت زمان بیشتری در بیشینه چگالی جریان خود خواهند بود و در عمق بزرگتری از پلاسما نفوذ می‌کنند. سپس مقایسه دمای الکترون‌ها نشان می‌دهد که بیشینه دمای الکترون‌های تولیدی با پالس بلندتر، دو برابر بیشینه دمای الکترون‌های پالس دیگر است. از طرفی الکترون‌های حاصل از پالس کوتاه‌تر، مدت زمان کمتری در بیشینه دمای خود قرار دارند و عمدتا در دمایی برابر با ۲۵٪ دمای الکترون‌های حاصل از $1064nm$ هستند.

کلید واژگان: لیزر؛ پلاسما؛ باریکه الکترونی؛

The effect of laser wavelength in electron beam generated by laser-target interaction

Somaye Zare
Photonics and Quantum Technology Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, Tehran, Iran

Abstract- In this article, the interaction of two femtosecond laser pulses with same intensities and different wavelengths is compared. In the interaction of high power lasers with the plasma, the electrons are accelerated by ponderomotive force. Due to this force and the electrostatic force, the electrons oscillate in the laser propagation direction. In this work, the interaction is studied by GENUINE two-fluid hydrodynamic code. It is found that the electron velocity by the 1064nm laser is more than ten times higher than the electron velocity by the 800 nm laser. Furthermore, the electron current created by two lasers is compared. The electron beams generated by 1064nm wavelength have deep penetration in the plasma and they stay in maximum current density for more interaction time. Moreover, the comparison of the electron temperature shows that the maximum temperature of the electrons created by 1064nm is twice bigger than other pulse. Also, the electrons produced by 800nm wavelength, stay in the maximum value for a little time, so they almost are in the temperature equal to 25% of the electron temperature by 1064nm laser.

Keywords: Laser, Plasma, Electron beam

* sozare@aeoi.org.ir

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-13]

۱- مقدمه

امروزه برهمکنش لیزرهای با شدت بالا با مواد، به منظور تولید الکترون‌های پر شتاب و کاربردهای این الکترون‌ها در شاخه‌های مختلف فیزیک، اهمیت بسیاری یافته است. تولید بلوک‌های یونی که تا چند طول ریلی بدون اعوجاج در پلاسما منتشر می‌شوند، مورد توجه محققان قرار دارد [۱]. بلوک‌های یونی حاصل از برهمکنش لیزرهای پرشدت با پلاسما، در واکنش‌های گداخت مورد استفاده قرار می‌گیرند[۲]. در این مقاله تاثیر طول موج لیزر در شتاب الکترون‌های تولیدی مطالعه می‌شود. بدین منظور سرعت، دما و چگالی جریان الکترونی حاصل از برهمکنش دو پالس لیزر با شدت‌های یکسان و طول موج‌های متفاوت با پلاسمایی یکسان بررسی خواهد شد.

۲- تئوری

برهمکنش موج الکترومغناطیس با پلاسما با حل معادله دامنه میدان الکتریکی، E وابسته به زمان بررسی می‌شود،

$$\frac{d^2}{dx^2}E+2(\frac{dE}{dx})(\frac{d\ln(n)}{dx})-\frac{\omega^2}{c^2}\left[n^2+2\left(\frac{c}{\omega}\right)^2\frac{d^2\ln(n)}{dx^2}\right]E=0 \qquad (۱)$$

ω، c و n به ترتیب فرکانس زاویه‌ای لیزر، سرعت نور در خلا و ضریب شکست پلاسماست. حل این معادله برای پلاسما با چگالی ناهمگن پیچیده است. اما در سال ۱۸۸۰ ریلی با ارائه ضریب شکستی برای پلاسمای ناهمگن، $n=\frac{1}{1+\beta x}$ این معادله را حل کرد. حل دقیق معادله(۱) با روش ریلی برابر است با[۳]،

$$E(x)=(\frac{1}{1+\beta x})^{1/2}E_0\exp\left[\pm\frac{i}{2}\ln(1+\beta x)\left\{(\frac{2\omega}{c\beta})^2-1\right\}^{1/2}\right] \qquad (۲)$$

β مقداری ثابت است. در این مقاله برهمکنش لیزر با پلاسما توسط کد دو سیالی GENUINE بررسی می‌شود. در این کد الکترون‌ها و یون‌ها به صورت دو سیال جداگانه در نظر گرفته می‌شوند. میدان لیزر در هر نقطه از پلاسما از حل معادله موج در پلاسما، محاسبه می‌شود و با جایگذاری میدان محاسبه شده در فرمول نیروی اثر گذار، مقدار نیرو بدست می‌آید. میدان الکترواستاتیک ناشی از جدایی الکترون و یون نیز با حل معادله پواسون، محاسبه می‌شود.

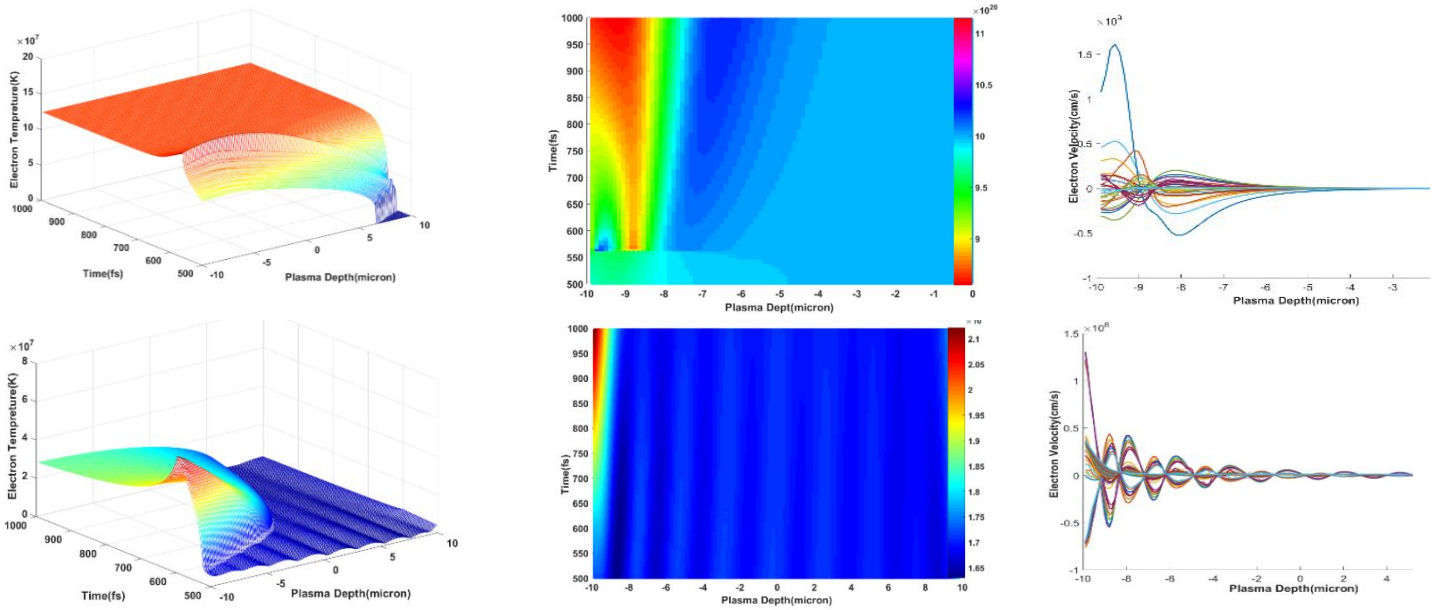
۳- محاسبات

پالس های لیزر با طول موج $800\ nm$ و $1064nm$، شدت $8\times10^{16}Wcm^{-2}$ با طول پالس $300fs$ به پلاسما با ضخامت $20\mu m$ با دمای اولیه $20ev$ تابیده می‌شود. الکترون‌ها ناشی از نیروی پاندرماتیو حاصل از پالس لیزر و همچنین نیروی الکتروستاتیکی حاصل از یون‌ها، در پلاسما حرکت نوسانی رو به جلویی دارند. در شکل ۱الف توزیع سرعت الکترون‌ها نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که بیشینه سرعت الکترون‌های تولیدی توسط لیزر با طول موج $1064nm$، برابر با $1/6\times10^9cm/s$ است که حدود ده برابر سرعت الکترون‌های حاصل از لیزر $800nm$ ، $1/3\times10^8cm/s$ است. پس لیزرها با طول موج بلندتر، الکترون‌های گرم‌تری را تولید می‌کنند. همچنین الکترون‌های گرم‌تر به علت اینکه برخورد بیشتری با یون‌ها دارند، سریع‌تر انرژی خود را از دست می‌دهند و عمق نفوذ کمتری خواهند داشت. این نتیجه با فرمول عمق نفوذ که رابطه عکس با مربع طول موج دارد، سازگار است. همچنین در شکل ۱ب، چگالی جریان الکترونی در راستای انتشار به صورت تابعی از زمان رسم شده است. در شکل دیده می‌شود که الکترون‌های حاصل از پالس لیزر با طول موج بلندتر، توزیع جریان گسترده‌تری دارند و الکترون‌ها در مدت زمان بیشتری در بیشینه چگالی جریان هستند. در شکل۱ج نیز توزیع دمایی الکترون‌ها نشان داده شده است. بیشینه دمای الکترون‌های

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-13]

حاصل از پالس ۱۰۶۴nm، برابر با K ^{۸}۱۰×۱/۲ است که این دمای برای لیزر با طول موج ۸۰۰nm، K ^{۷}۱۰×۶ است. پس لیزرها با طول موج بلندتر، الکترون‌های گرمتری را تولید خواهد کرد و همچنین اکثر الکترون‌ها در دمای بیشینه هستند، در حالی‌که الکترون‌های حاصل از لیزر با طول موج کوچکتر مدت زمان کمی در بیشینه دمای خود هستند و عمدتا در دمای ^{۷}۱۰×۳ قرار دارند.



(ج) (ب) (الف)

شکل ۱- داده‌های لیزرnm ۱۰۶۴(بالا) و لیزر nm ۸۰۰ (پایین) شامل (الف) سرعت الکترون‌ها، (ب) چگالی جریان الکترونی، (ج) دمای الکترون‌ها در راستای انتشار

۳- نتیجه‌گیری

در این مقاله، باریکه الکترونی حاصل از دو پالس لیزر با شدت یکسان، اما طول موج‌های ۸۰۰nm و ۱۰۶۴nm مقایسه شدند. محاسبات توسط کد دوسیالی انجام شده اند. نتایج نشان می‌دهد که در برهمکنش پالس لیزر با طول موج بلندتر،۱۰۶۴nm، گرمایش الکترون‌ها بهتر خواهد بود. آنچنان که دمای الکترون‌ها و سرعت الکترون‌ها نسبت به گرمایش با پالس کوتاه‌تر ۸۰۰nm بزرگتر است همچنین الکترون‌های حاصل از پالس لیزر با طول موج بلندتر در مدت زمان بیشتری در بیشینه دما قرار دارند و عمق نفوذ بزرگتری خواهند داشت. بنابراین با کمک لیزرها با طول موج‌های بلندتر باریکه الکترونی گرمتری تولید خواهد شد.

مراجع

[۱] E. Yazdani, et al., **Laser Part. Beams** 27, 149 (2009).

[۲] R. Sadighi-Bonabi, H. Hora, et al., **Laser Part. Beams** 28, 101 (2010).

[۳] H. Hora, Plasmas at High Temperature and Density. *Heidelberg: Springer* (1991).

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-13]