بیست و هفتمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و سیزدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه سیستان وبلوچستان،
زاهدان، ایران.
۱۴-۱۶ بهمن ۱۳۹۹

کد مقاله: A-۱۰-۲۵۰۶-۱

اثر چیرپ شدگی تپ لیزر فمتو ثانیه بر نحوه پراکندگی الکترونهای پلاسما

حسن وثوقیان[۱]، فرشته حاج اسماعیل بیگی[۱]

۱- پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، پژوهشکده فوتونیک و فناوری‌های کوانتومی

vosough_phn@yahoo.com, fbaigi2000@yahoo.com

در این مقاله به مطالعه اندرکنش الکترون های آزاد در اثر برخورد با یک تپ لیزر پرتوان و فوق کوتاه پرداخته شده است. هدف این تحقیق بررسی اثر چیرپ شدگی پالس لیزر فوق کوتاه بر فرآیند پراکندگی است. طبق نتایج بدست آمده از شبیه سازیها ، تقارن فضایی عرضی نیروی اثر گذار پالس لیزر در تپ لیزر چیرپ شده شکسته می‌شود و بنابراین پراکندگی الکترونها در فضا ناهمسانگرد خواهد بود. اهمیت این موضوع در رژیم شتابدهی حباب می‌باشد که نقش مهمی در تولید کاواک شتابدهی و بهبود انتقال انرژی لیزر به الکترونهای بدام افتاده در میدان شتابدهی و کنترل کیفیت باریکه الکترونهای خروجی خواهد داشت.

کلید واژه: رژیم شتابدهی ویکفیلد، لیزر پرتوان، تپ لیزر فمتوثانیه، نیروی اثرگذار

Effect of Chirped Intense Femtosecond Laser Pulses on the plasma electron scattering

Hassan Vosoughian[1], Fereshteh Hajiesmailbaigi[2]

[1]Photonic and Quantum Technologies Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, Tehran. vosough_phn@yahoo.com, fbaigi2000@yahoo.com

In this paper, the interaction of ultra-short laser pulse with the free electrons has been studied, numerically. The aim of this study is the investigation on the effect of ultra-short laser pulse chirping on the electron scattering process. The results indicate that the transverse ponder-motive force symmetry is broken when the chirped laser pulses are used and thus the electrons experience anisotropic scattering in space. The importance of this issue relates to the bubble regime acceleration that plays an important role in the production of the acceleration cavity, the improvement of the laser energy absorption by the trapped electrons, and then the quality control of the generated electron beam.

Keywords: bubble regimes, ponder-motive force, Laser Polarization, self-chirped pulse

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

بیست و هفتمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و سیزدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه سیستان وبلوچستان،
زاهدان، ایران.
۱۴-۱۶ بهمن ۱۳۹۹

کد مقاله: A-۱۰-۲۵۰۶-۱

مقدمه

امروزه شتابدهنده های ذرات نقش بسیار مهمی در گسترش علم فیزیک بخصوص در حوزه فیزیک انرژی های بالا برعهده داشته اند که ابزاری فوق‌العاده حیاتی برای کاووش ساختارهای زیر اتمی و اصلاح ویژگیهای مواد خواهند بود. با اینحال محدودیت در آستانه ولتاژ شکست مانع بزرگی برای افزایش نامحدود انرژی ذرات در هر شتابدهنده خواهد بود که برای دستیابی به انرژی های بسیار بالا بودجه هنگفتی در ساخت یک مجموعه شتابدهنده ذرات تحمیل میکند. بنابراین بایستی به سمت روشهایی جایگزین متمایل شد که بتوان آستانه ولتاژ شکست کاواکهای شتابدهی را بطرز محسوسی افزایش داد. پلاسما ماده‌ای ست که به دلیل ویژگی یونیزان بودن آن، قابلیت تحمل میدانهایی با گرادیان چند صد مگاولت را دارد [۱] و به عنوان یک محیط مناسب برای شتابدهی بکار گرفته می‌شود و در آن از اندرکنش لیزر با محیط پلاسما برای شتابدهی بهره گرفته خواهد شد. در این روش، لیزر محرکی برای تولید میدان الکتروستاتیکی در محیط پلاسما است که با انتشار در محیط پلاسما، موج پلاسمایی برانگیخته خواهد شد [۲] که با تزریق الکترون‌های خارجی در میدان الکتروستاتیکی موج، میتوان آنها را تا چندین گیگا الکترون ولت شتاب داد [۳] .با اینحال این رژیم نیز دچار محدودیتهای فیزیکی خواهد بود. یکی از این محدودیتها ظهور ناپایداری در ساختار شتابدهی است [۴] . در این مقاله، به کمک شبیه سازی، به روش ذره در جعبه [۵]، نشان داده شده است که پدیده خود چیرپ شوندگی تپ لیزر، می‌تواند یکی از عوامل مهم در بروز ناپایداریها بشمار آید. نتایج نشان داده اند که در واقع خود-چیرپ شوندگی لیزر باعث نقض تقارن مولفه عرضی نیروی اثرگذار و بنابراین پراکندگی ناهمسانگرد الکترونها خواهد شد که موجب برهم خوردن پایداری رژیم شتابدهی خواهد شد.

فیزیک حاکم بر اثر چیرپ شدگی لیزر در نقض تقارن مولفه عرضی نیروی اثرگذار

معادله حرکت الکترون و معادله انرژی آن در برهمکنش با موج الکترومغناطیسی تخت به صورت زیر تعریف می‌شود [۶]:

$$d\vec{p}/d\tau = d(\gamma\vec{\beta})/d\tau = -\vec{E} - \vec{\beta}\times\vec{B}, \qquad (۱)$$

$$d\gamma/d\tau = -\vec{\beta}.\vec{E} \qquad (۲)$$

(که $\gamma = (1+\vec{p}^2)^{1/2}$ و $\vec{\beta} = \vec{V}/c$ فاکتور نسبیتی و سرعت بدون بعد الکترون هستند) و با فرض انتشار موج در راستای محور x، $\vec{E} = \hat{e}_y E_y = \hat{e}_y E_0 \cos(\omega\xi)$، مولفه های عرضی و طولی تکانه الکترون به ترتیب به صورت زیر می‌باشند:

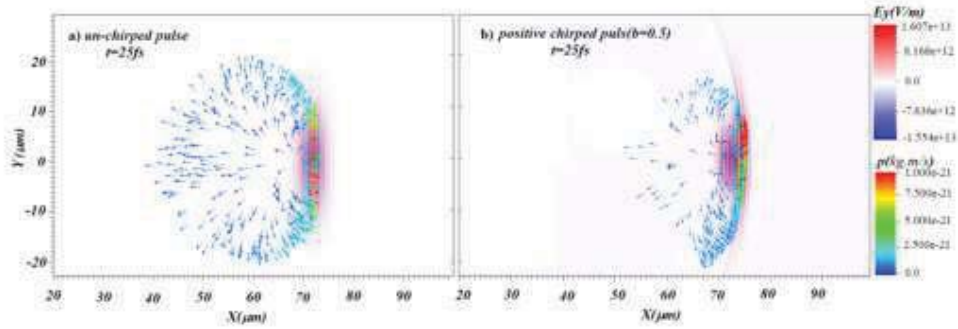
$$p_y = p_{y0} + A \qquad (۳)$$

$$p_z(\tau) = p_z(\tau=0) \equiv p_{z0} \qquad (۴)$$

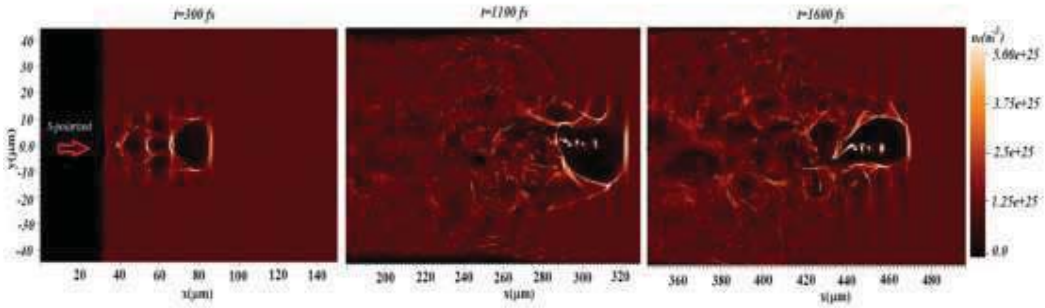
$$p_x = p_{x0} + f(A, \vec{p}_0) \qquad (۵)$$

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

برای موج غیر چیرپ، $A(\xi_0,\xi)=0$ مقدار صفر را خواهد داشت و بنابراین، تکانه الکترون پایسته خواهند ماند، در حالیکه برای موج چیرپ شده، $A(\xi_0,\xi)\neq 0$، و مولفه عرضی تکانه الکترون، p_y، پایسته نخواهند ماند. این بدان معنی است که در میدان موج چیرپ شده، نیرویی در جهت قطبش موج بر الکترون اعمال خواهد شد. دراینصورت نیروی اثر گذار تپ الکترومغناطیس چیرپ شده در جهت قطبش نامتقارن است و سبب پراکندگی ناهمسانگرد الکترونها در فضا می‌شود. برای اثبات این موضوع، بردار تکانه الکترونهای پراکنده شده از دو تپ غیر چیرپ و چیرپ شده در شکل(۱) مقایسه شده است. در این برهمکنش، الکترون‌های آزاد در جلوی تپ لیزر با پارامتر بدون بعد $a_0=۱۰$، طول موج $\lambda=۱\mu m$، اندازه لکه $w_L=۱۵\mu m$ ، پهنای تپ $\tau_L=۱۰fs$ و شدت $I=1.37\times10^{20}W/cm^2$ قرار داده شده‌اند. مطابق شکل(۱-چپ) پراکندگی الکترون از تپ غیر چیرپ، کاملا همسانگرد است در حالیکه در مورد تپ چیرپ شده (شکل(۱-راست)) پراکندگی ناهمسانگرد است که نشان از عدم تقارن مولفه عرضی نیروی اثرگذار است.



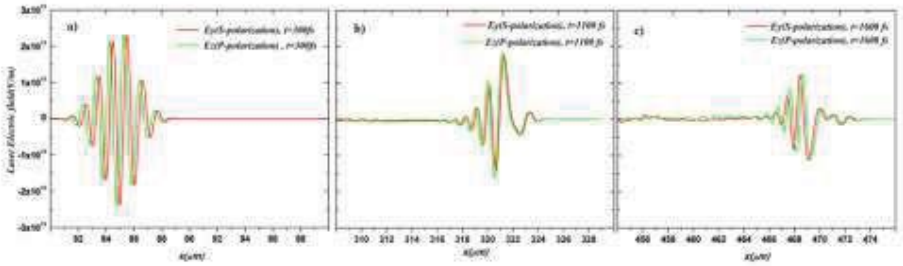
شکل۱: مقایسه نحوه پراکندگی فضایی الکترونها در اثر اندرکنش با : چپ) تپ لیزر غیر چیرپ شده، راست) تپ لیزر چیرپ شده. در اینجا پارامتر چیرپ شدگی به میزان b=0.5 تعیین شده است.



شکل ۲: تحولات زمانی چگالی پلاسما هنگامیکه تپ لیزر در پلاسما منتشر میشود. چپ) $t=۳۰۰fs$ ، وسط) $t=۱۱۰۰fs$، راست $t=۱۶۰۰fs$. توزیع عرضی تپ لیزر ورودی بصورت تابع گوسین درنظر گرفته شده است که دارای پارامتر بدون بعد $a_0=۱۰$، اندازه لکه $w_L=۱۵\mu m$ و پهنای تپ

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

$\tau_L = ۱۰fs$ است. پلاسما محیطی با چگالی یکنواخت $n_e = ۰.۰۱n_c$ در نظر گرفته شده است که در اینجا $n_c = ۱.۱\times۱۰^{۲۱} cm^{-۳}$، چگالی بحرانی برای تپ لیزر میباشد.



شکل ۳:تحولات میدان الکتریکی تپ لیزر با قطبش S (نمودار قرمز رنگ) / قطبش P(نمودار سبز رنگ) طی انتشار در محیط پلاسما در زمانهای: چپ) $t = ۳۰۰fs$ ، وسط) $t = ۱۱۰۰fs$، راست $t = ۱۶۰۰fs$

طی انتشار تپ لیزر در محیط پلاسما، انرژی لیزر توسط محیط پلاسما جذب می‌شود و یک موج پلاسمایی در محیط منتشر خواهد شد. تحولات زمانی چگالی پلاسما، در شکل(۲) نشان داده شده است. در مراحل اولیه برهمکنش، نیروی اثرگذار متقارن تپ لیزر یک حباب پایدار تولید کرده است که طی انتشار، ناپایداریهایی در غلاف محیطی خود نشان میدهد. برای نشان دادن دلایل این نوسانات، تحولات میدان الکتریکی تپ لیزر در شکل (۳) نشان داده شده است. در واقع پالس لیزر با گذشت زمان دچار پدیده خود-چیرپ شوندگی می‌شود و بنابراین یک نیروی اثرگذار نامتقارن بر الکترونهای محیطی پلاسما در جهت عرضی اعمال میکند که موجب بروز ناپایداری در سطح حباب خواهد شد.

نتیجه‌گیری

نتایج ارائه شده در کار حاضر نشان داده اند که پدیده خودچیرپ شدگی پالس لیزر حین انتشار در محیط پلاسما، سبب شکسته شدن تقارن مولفه عرضی نیروی اثر گذار لیزر و بنابراین پراکندگی ناهمسانگرد الکترونها در فضا خواهد شد که به نوبه خود منجر به ظهور ناپایداری در ساختار کاواک شتابدهی و خروج الکترونها از فاز شتابدهی میشود. بنابراین میتوان نتیجه گرفت حذف ناپایداریها و کنترل موثر فرآیند شتابدهی تنها با کنترل پدیده خودچیرپ شدگی لیزر و به تعویق انداختن آن بوقوع خواهد پیوست که در این مورد بایستی پارامترهای موثر در کنترل خودچیرپ شدگی لیزر همچون اثر چگالی پلاسما، برخی اثرات نسبیتی اندرکنش لیزر با پلاسما و تاثیر آنها بر ضریب شکست پلاسما، اثر پهنای پالس لیزر، اثر پاشندگی محیط پلاسما، شکل فضایی پالس و سایر موارد مطالعه قرار گیرند.

مرجع‌ها

[1] T. Tajima and J. M. Dawson Phys. Rev. Lett. 43, 267 (1979)

[2] E. Esarey, P. Sprangle, J. Krall, and A. Ting, IEEE Trans. Plasma Sci. 24, 252 (1996).

[3] W. P. Leemans, A. J. Gonsalves, H. S. Mao, K. Nakamura, C. Benedetti, C. B. Schroeder, D. E. Mittelberger, S. S. Bulanov, J. L. Vay, C. G. R. Geddes, and E. Esarey, Phys. Rev. Lett. 113, 245002 (2014).

[4] Nerush E N and Kostyukov I Yu 2009 Phys. Rev. Lett. 103 035001

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

[5]A.Pukhov,http://dx.doi.org/10.5170/CERN-2016-001.181

[6] Khachatryan A G, Van Goor F A and Boller K J 2004 Phys. Rev. E 70, 067601

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