بیست و هشتمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و چهاردهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شهید چمران اهواز،
خوزستان، ایران.
۱۲-۱۴ بهمن ۱۴۰۰

بررسی گرمایش لیزری پلاسمای الکترون-یون-پوزیترون مغناطیده

آمنه کارگریان[۱]، مریم قپانوری[۲]

[۱،۲]پژوهشکده پلاسما و گداخت هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، ۱۴۳۹۵-۸۳۶، تهران-ایران، akargarian@aeoi.org.ir

چکیده - در این مقاله، جذب انرژی لیزر غیرخطی در پلاسمای الکترون -یون-پوزیترون در حضور یک میدان مغناطیسی محوری با استفاده از روش شبیه‌سازی PIC دوبعدی مورد مطالعه قرارگرفته است. نتایج نشان می‌دهد جذب انرژی لیزر در پلاسمای الکترون-پوزیترون-یون با افزایش نسبت چگالی پوزیترون به الکترون افزایش می‌یابد. علاوه‌براین، در حضور میدان مغناطیسی نرخ جذب افزایش بیش‌تری می‌یابد. نتایج به‌دست‌آمده بر روی گرمایش پلاسمای مغناطیده با محیط‌های آزمایشگاهی اخترفیزیکی مرتبط می-باشد.

کلید واژه-پلاسمای الکترون-یون-پوزیترون، شبیه‌سازی PIC، گرمایش پلاسما، میدان مغناطیسی

Investigation of laser heating of magnetized electron-ion-positron plasma

Ameneh Kargarian[1], Maryam Ghapanvari[2]

[1,2]Plasma and Nuclear Fusion Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, 14395-836, Tehran, Iran, akargarian@aeoi.org.ir

Abstract- In this paper, the absorption of nonlinear laser energy in electron-positron-ion plasma in the presence of an axial magnetic field is studied using the 2D PIC simulation method. The results show the absorption of laser energy in the electron-positron-ion plasma increases with increasing positron-to-electron density ratio. Moreover, the absorption rate increases even more by magnetic field. The obtained results on the magnetized plasma heating can be related to the astrophysical laboratory environments.

Keywords: Electron-positron-ion plasma, PIC simulation, plasma heating, magnetic field

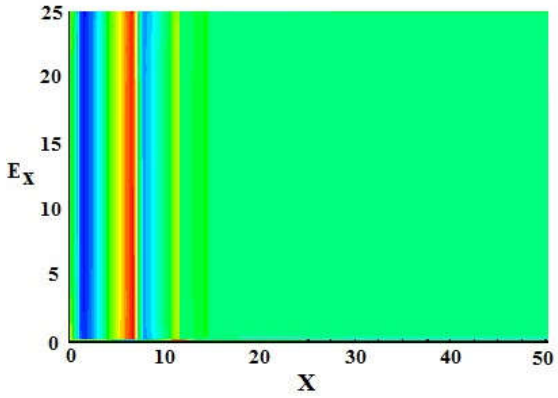
[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-05]

مقدمه

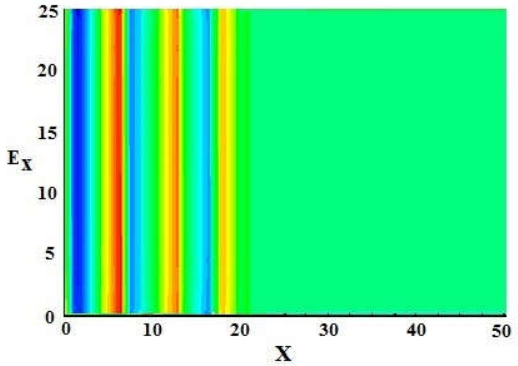
گرمایش پلاسما در اثر جذب لیزرهای پرتوان در پلاسما یکی از موضوعات جالب برای تحقیقات در سال‌های اخیر است زیرا کاربردهای بسیاری مانند پدیده احتراق سریع در گداخت لیزری[۱]، گرمایش پلاسما [۲] و پدیده‌های آستروفیزیکی آزمایشگاهی[۳] را ارائه می‌دهد. فرآیند جذب انرژی لیزر غیرخطی در یک پلاسمای کم‌چگال به طور قابل‌توجهی با تبدیل انرژی لیزر به موج پلاسمایی که در پلاسما از طریق اثرات غیرخطی میرا می‌شود، در ارتباط است. در این فرآیند، پدیده شکست موج برای موج پلاسمایی برانگیخته‌شده در پلاسما رخ می‌دهد که موجب شکست موج و در نتیجه انتقال انرژی موج به ذرات پلاسما می‌شود [۴]. اخیراً مشخص شده است پدیده شکست امواج پلاسمایی می‌تواند در دامنه‌های کمتر از دامنه شکست موج از طریق پدیده‌ای به نام اختلاط فاز اتفاق بیفتد[۵]. این پدیده به وابستگی فضایی فرکانس مشخصه موج نسبت داده می‌شود که به‌دلیل برخی اثرات غیرخطی مانند ناهمگنی، تغییرات جرم نسبیتی، و غیره ظاهر می‌شود. این اثرات باعث می‌شود که گونه‌های پلاسما در موقعیت‌های مختلف فضا در فرکانس‌های مختلف نوسان کنند که منجر به وابستگی فضایی فرکانس موج شده و بنابراین اختلاط فاز رخ می‌دهد [۶]. در برهم‌کنش لیزر پرتوان با پلاسما، این پدیده برخلاف برهم‌کنش لیزرهای کم شدت با پلاسما که در آن فرآیند جذب غالب پدیده تابش ترمزی است، فرآیند جذب غالب است. قبلاً گرمایش پلاسما در یک پلاسمای غیرهمگن [۷] و یک پلاسمای الکترون-یون-پوزیترون غیرمغناطیده[۸] با استفاده از از شبیه سازی ذره‌ای دو بعدی مورد بررسی قرار گرفته است. در مقاله حاضر، تحول فضایی-زمانی امواج غیرخطی برانگیخته‌شده در پلاسمای الکترون-یون پوزیترون مغناطیده با هدف بررسی گرمایش پلاسما در اثر انرژی لیزر غیرخطی در چنین پلاسمایی بررسی می‌شود.

تحول فضا-زمانی موج برانگیخته در پلاسمای الکترون-یون-پوزیترون مغناطیده

برای بررسی تحول فضا-زمانی امواج برانگیخته در پلاسمای مغناطیده الکترون-یون-پوزیترون مغناطیده از یک کد شبیه‌سازی PIC الکترومغناطیسی نسبیتی دو بعدی استفاده شده است [۷-۸]. پلاسمای الکترون-پوزیترون-یون در نظر گرفته‌شده در حالت تعادل خود دارای بار کلی خنثی است به‌گونه‌ای که $n_e = n_p + n_i$، که در آن n_e، n_p و n_i به‌ترتیب چگالی‌های تعادلی الکترون، پوزیترون و یون هستند. نسبت چگالی پوزیترون به الکترون با $\delta = n_p / n_e$ نشان داده شده است. در شبیه‌سازی استفاده شده لیزر با شدت برابر با $I = 1.37 \frac{a^2}{\lambda^2} \times 10^{18} W/cm^2$ و طول موج $\lambda = 1 \mu m$ در نظر گرفته شده است و چگالی بدون بعد پلاسما برابر با $n_0 = 0.05$ است. شکل ۱ تحول فضا-زمانی موج پلاسمایی برانگیخته شده در پلاسما با $\delta = 0$ و در غیاب میدان مغناطیسی $B = 0$ را در دو زمان $\tau = 30$ و $\tau = 75$ نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌شود در پلاسمای یون-الکترون ($\delta = 0$) موج پلاسمایی بدون تغییر انتشار می‌یابد.

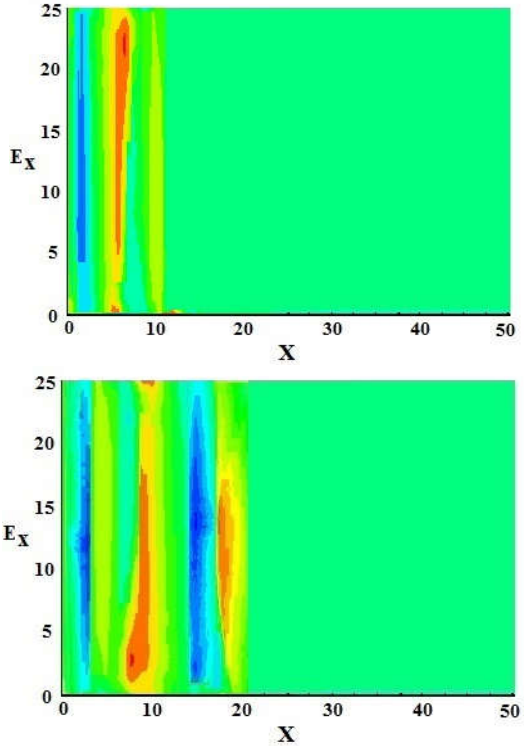


[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-05]



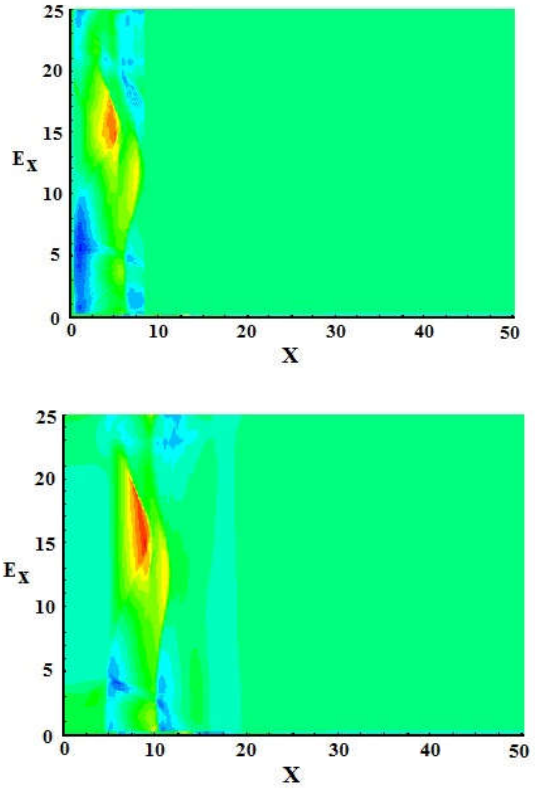
شکل ۱: تحول فضا-زمانی موج پلاسمایی برانگیخته شده در پلاسما با $\delta=0$ و $B=0$ در دو زمان $\tau=30$ و $\tau=75$.

تحول فضا-زمانی موج پلاسمایی برانگیخته شده در پلاسما با $\delta=0.2$ و در غیاب میدان مغناطیسی $B=0$ را در دو زمان $\tau=30$ و $\tau=75$ در شکل ۲ نشان داده شده است. همانطور که این شکل نشان می‌دهد در پلاسما با $\delta=0.2$ موج پلاسمایی در زمان‌های طولانی‌تر دچار اعوجاج شده و شکل منظم خود را از دست می‌دهد. این اعوجاج در موج برانگیخته‌شده علامتی از پدیده اختلاط فاز است.



شکل۲: تحول فضا-زمانی موج پلاسمایی برانگیخته شده در پلاسما با $\delta=0.2$ و $B=0$ در دو زمان $\tau=30$ و $\tau=75$.

شکل ۳ تحول فضا-زمانی موج پلاسمایی برانگیخته شده در پلاسما با $\delta=2$ و در حضور میدان مغناطیسی $B=0.1$ را در دو زمان $\tau=30$ و $\tau=75$ نشان می‌دهد. بررسی این شکل نشان می‌دهد در حضور میدان مغناطیسی موج برانگیخته‌شده در پلاسمای با $\delta=0.2$ موج پلاسمایی در زمان $\tau=75$ به‌طور کامل شکل منظم و نوسانی خود را از دست داده است و پدیده اختلاط فاز در سیستم اتفاق داده است.



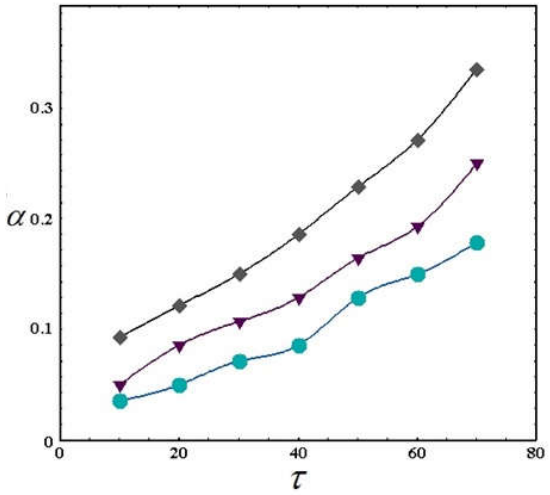
شکل۳: تحول فضا-زمانی موج پلاسمایی برانگیخته شده در پلاسما با $\delta=0.2$ و $B=0.1$ در دو زمان $\tau=30$ و $\tau=75$.

گرمایش پلاسمای الکترون-یون-پوزیترون مغناطیده

برای بررسی میزان گرمایش پلاسمای الکترون-یون-پوزیترون، نرخ جذب لیزر در پلاسما با نسبت‌های δ و شدت‌های میدان مغناطیسی متفاوت مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد با افزایش نسبت چگالی پوزیترون به الکترون میزان جذب لیزر در پلاسما افزایش می‌یابد. همچنین، با افزایش شدت میدان

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-05]

مغناطیسی نیز نرخ جذب افزایش می‌یابد. دلیل این امر کاهش زمان شکست موج پلاسمایی برانگیخته‌شده در اثر افزایش نسبت δ و همچنین افزایش شدت میدان مغناطیسی است که منجر به اعوجاج و به‌هم‌ریختگی موج و انتقال انرژی آن به پلاسما می‌گردد.



شکل ۴: نرخ جذب انرژی لیزر در پلاسما با $\delta=0$ و $B=0$ (خط آبی رنگ)، $\delta=0.2$ و $B=0$ (خط قرمزرنگ) و $\delta=0.2$ و $B=0.1$ (خط سیاه‌رنگ).

نتیجه‌گیری

در این مقاله گرمایش ذرات پلاسما در یک پلاسمای چند مؤلفه‌ای شامل الکترون، یون سنگین، پوزیترون در حضور میدان مغناطیسی با استفاده از روش شبیه‌سازی ذره‌ای دو بعدی پلاسما مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد جذب انرژی لیزر در پلاسمای الکترون-پوزیترون-یون به نسبت چگالی پوزیترون به الکترون (δ) و همچنین شدت میدان مغناطیسی بستگی دارد. این اثرات را می‌توان به تأثیر پارامتر δ و شدت میدان مغناطیسی برروی پدیده‌های غیرخطی مرتبط با جذب لیزر نسبت داد. با افزایش نسبت چگالی الکترون به پوزیترون و همچنین افزایش شدت میدان مغناطیسی زمان اختلاط فاز موج پلاسمایی برانگیخته‌شده کاهش یافته که موجب شکست موج می‌شود و در نتیجه جذب انرژی لیزر افزایش می‌یابد. مطالعات انجام‌شده بر روی گرمایش پلاسمای الکترون-پوزیترون-یون مغناطیده با محیط‌های آزمایشگاهی اخترفیزیکی مرتبط می‌باشد.

مرجع‌ها

[1] R. Yan, et al., Phys. Rev. Lett. 108, 175002, 2012.

[2] R. Kodama, et al., Nature, 412, 798, 2001.

[3] D. B. Schaeffer, et al., J. Appl. Phys. 120, 043301, 2016.

[4] A. Mukherjee and S. Sengupta, Phys. Plasmas 23, 092112, 2016

[5] C. Maity, et al., 2013 Phys. Rev. Lett. 110, 215002, 2013.

[6] C. Maity, N. Chakrabarti and S. Sengupta, Phys. Rev. E 86, 016408, 2012.

[7] A. Kargarian, K. Hajisharifi, and H. Mehdian, Waves in Random and Complex Media, 1-11, 2021.

[8] A. Kargarian, Laser Physics, 30, no. 9, 096002, 2020.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-05]