



بیست و هشتمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و چهاردهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شهید چمران اهواز،
خوزستان، ایران.
۱۴-۱۲ 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، ۸۳۶-۱۴۳۹۵، 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 قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد جذب انرژی لیزر در پلاسمای الکترون-پوزیترون-یون با افزایش نسبت چگالی پوزیترون به الکترون افزایش می‌یابد. علاوه بر این، در حضور میدان مغناطیسی نرخ جذب افزایش بیش‌تری می‌یابد. نتایج به‌دست آمده بر روی گرمایش پلاسمای مغناطیده با محیط‌های آزمایشگاهی اخت‌فیزیکی مرتبط می‌باشد.

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

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

Ameneh Kargarian¹, Maryam Ghapanvari²

^{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.

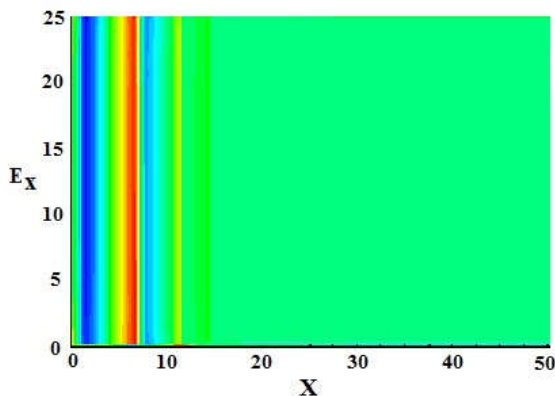
Keywords: Electron-positron-ion plasma, PIC simulation, plasma heating, magnetic field

مقدمه

تحول فضا-زمانی موج برانگیخته در پلاسمای

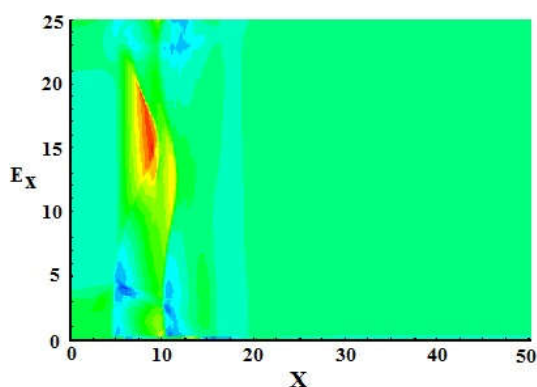
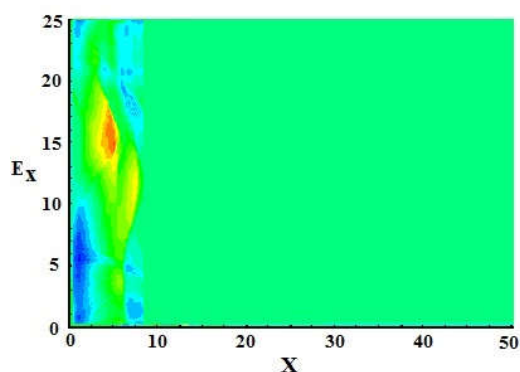
الکترون-یون-پوزیترون مغناطیده

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 گرفته شده در حالت تعادل خود دارای بار کلی خنثی است به گونه‌ای که $n_e = n_p + n_i$ ، که در آن n_e ، n_p و n_i به ترتیب 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 پلاسمای برابر با $n_0 = 0.05$ است. شکل ۱ تحول فضا-زمانی موج پلاسمایی برانگیخته شده در پلاسمای 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.



گرمایش پلاسمای در اثر جذب لیزرهای پرتوان در پلاسمای یکی از موضوعات جالب برای تحقیقات در سال‌های اخیر است زیرا کاربردهای بسیاری مانند پدیده احتراق سریع در گداخت لیزری [۱]، گرمایش پلاسمای [۲] و پدیده‌های آستروفیزیکی آزمایشگاهی [۳] را ارائه می‌دهد. فرآیند جذب انرژی لیزر غیرخطی در یک پلاسمای کم‌چگال به طور قابل توجهی با تبدیل انرژی لیزر به موج پلاسمایی که در پلاسمای از طریق اثرات غیرخطی میرا می‌شود، در ارتباط است. در این فرآیند، پدیده شکست موج برای موج پلاسمایی برانگیخته شده در پلاسمای رخ می‌دهد که موجب شکست موج و در نتیجه انتقال انرژی موج به ذرات پلاسمای 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 به دلیل برخی اثرات غیرخطی مانند ناهمگنی، تغییرات جرم نسبیتی، و غیره ظاهر می‌شود. این اثرات باعث می‌شود که گونه‌های پلاسمای 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 پلاسمای، این پدیده برخلاف برهم‌کنش لیزرهای کم‌شدت با پلاسمای که در آن فرآیند جذب غالب پدیده تابش ترمزی است، فرآیند جذب غالب است. قبلاً گرمایش پلاسمای در یک پلاسمای غیرهمگن [۷] و یک پلاسمای الکترون-یون-پوزیترون غیرمغناطیده [۸] با استفاده از شبیه‌سازی ذره‌ای دو بعدی مورد بررسی قرار گرفته است. در مقاله حاضر، تحول فضایی-زمانی امواج غیرخطی برانگیخته شده در پلاسمای الکترون-یون-پوزیترون مغناطیده با هدف بررسی گرمایش پلاسمای در اثر انرژی لیزر غیرخطی در چنین پلاسمایی بررسی می‌شود.

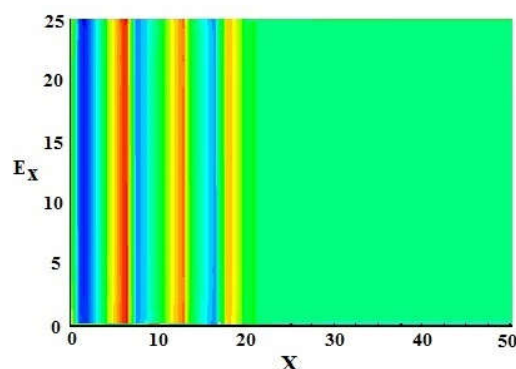
شکل ۳ تحول فضا-زمانی موج پلاسمایی برانگیخته شده در پلاسما با $\delta=2$ و در حضور میدان مغناطیسی $B=0.1$ را در دو زمان $\tau=30$ و $\tau=75$ نشان می‌دهد. بررسی این شکل نشان می‌دهد در حضور میدان مغناطیسی موج برانگیخته شده در پلاسما با $\delta=0.2$ موج پلاسمایی در زمان $\tau=75$ به طور کامل شکل منظم و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



شکل ۳: تحول فضا-زمانی موج پلاسمایی برانگیخته شده در پلاسما با $\delta=0.2$ و $B=0.1$ در دو زمان $\tau=30$ و $\tau=75$.

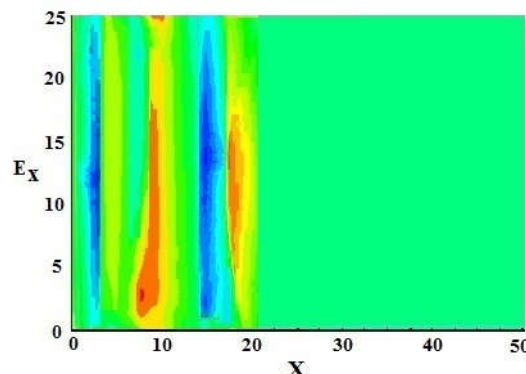
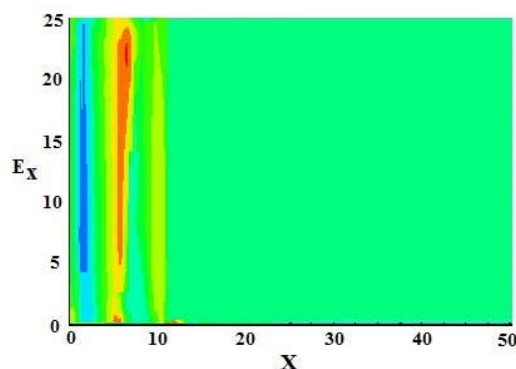
گرمایش پلاسمای الکترون-یون-پوزیترون مغناطیده

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 به دست آمده نشان می‌دهد با افزایش نسبت چگالی پوزیترون به الکترون میزان جذب لیزر در پلاسما افزایش می‌یابد. همچنین، با افزایش شدت میدان



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 برانگیخته شده علامتی از پدیده اختلاط فاز است.



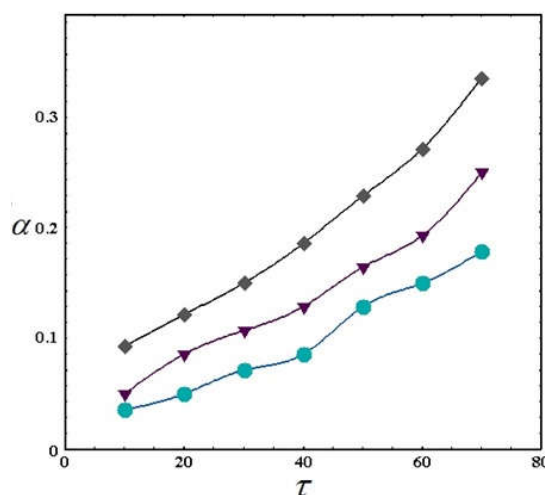
شکل ۲: تحول فضا-زمانی موج پلاسمایی برانگیخته شده در پلاسما با $\delta=0.2$ و $B=0$ در دو زمان $\tau=30$ و $\tau=75$.

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 بر روی پدیده-های 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 اختریفیکی 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.

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 به هم ریختگی 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 قرمز رنگ) و $\delta=0.2$ و $B=0.1$ (خط سیاه رنگ).

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