

شبیه سازی طیف دینامیکی امواج رادیویی نوع سوم در حضور میرایی برخوردی امواج لانگمیر

حبيب خليل پور*^۱، غلامرضا فروتن^۲

^۱گروه فیزیک، دانشگاه پیام نور صندوق پستی ۴۶۹۷-۱۹۳۹۵، تهران

^۲گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه صنعتی سهند تبریز، تبریز

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۱/۲۰، تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۰۸/۰۱)

چکیده

با استفاده از شبیه سازی معادلات شبه خطی، تولید امواج لانگمیر و انتشار باریکه الکترونی داغ در حضور میرایی برخوردی امواج لانگمیر بررسی می‌شوند. نشان داده می‌شود که در حضور میرایی برخوردی شدت بر انگیزش امواج لانگمیر کاهش می‌یابد. نتیجه شبیه‌سازی های عددی نشان دهد که سرعت متوسط انتشار باریکه در طول زمان انتشار باریکه ثابت است ولی مقدار آن از حالت بدون میرایی برخوردی بیشتر است. طیف دینامیکی امواج رادیویی نوع سوم برای گسیل‌های اساسی و هارمونیک شبیه‌سازی می‌شوند و نشان داده می‌شود که شدت طیف دینامیکی امواج رادیویی نوع سوم در حضور میرایی برخوردی کاهش می‌یابد. نشان داده می‌شود که در حضور میرایی برخوردی برای امواج لانگمیر بازه انتشار امواج رادیویی نوع سوم هم در فرکانس اساسی و در هارمونیک آن کاهش می‌یابد.

واژگان کلیدی: معادلات شبه خطی، تاج خورشیدی، طیف دینامیکی

Simulation of Dynamic Spectra of Type III Radio Waves In the Presence of Collisional Damping of Langmuir Waves

Khalilpour Habib*¹, Forotan Gholamreza²

¹Assistant Professor of Physics, Payame Noor University (PNU), P.O.B. 19395-3697 Tehran, Iran.

²Associate professor of Physics و Physics Department, Faculty of Science, Sahand University of Technology, Tabriz, Iran

Abstract

Using of simulation of quasilinear equations, generation of Langmuir waves and velocity of beam propagation in the presence of collisional damping of Langmuir waves are investigated. It is shown that in the presence of collisional damping, the level of Langmuir waves decreases. The average velocity of beam propagation is constant during the course of propagation and its value is larger than that of collision-less case. Dynamic spectra of type III radio waves for fundamental and harmonic emissions is simulated and it is shown that in the presence collisional damping the level of type III radio waves decreases.

Keywords: Quasilinear equations, Solar corona, Dynamic spectra,

مقدمه

که در این روابط $D(v)$, $A(v)$ ضرایب پخش در فضای سرعت و α ضریب نشر خودبخودی و γ ضریب میرایی یا رشد امواج است و v_g سرعت گروه امواج لانگمیر است که در مقایسه با سرعت انتشار باریکه خیلی کم است.

$$v_g = \frac{\partial \omega}{\partial k} \quad (۳)$$

$$\alpha(k) = \frac{e^2 v^3}{4 \epsilon_0 \omega_p} (k_D^2 - k^2) f(v) \Big|_{v=\omega/k} \quad (۴)$$

$$\gamma(k) = -\frac{\pi e^2 k v^3}{\epsilon_0 m \omega_p^2} \frac{\partial f(v)}{\partial v} \Big|_{v=\omega/k} \quad (۵)$$

$$D(v) = \frac{e^2}{2m^2 \epsilon_0} \frac{k^3 v^2}{\omega_p^3} W(k) \Big|_{k=\omega/v} \quad (۶)$$

$$A(v) = \frac{e^2}{8m\pi\epsilon_0} \left(\frac{kv}{\omega_p}\right)^2 (k_D^2 - k^2) f(v) \Big|_{k=\omega/v} \quad (۷)$$

و فرکانس امواج لانگمیر از رابطه پاشندگی زیر بدست می آید.

$$\omega^2 = \omega_p^2 + 3k^2 v_e^2$$

در این رابطه $\omega_p^2 = \frac{ne^2}{\epsilon_0 m}$, $v_e^2 = k_B T_e / m$ نوسانات پلاسمایی و سرعت حرارتی الکترون ها هستند. n, T_e, e, m به ترتیب جرم، بار، دما و چگالی الکترونی (در پلاسمای زمینه) می باشند. k عدد موج در راستای انتشار باریکه است که در اینجا بصورت یک بعدی و در راستای محور x در نظر گرفته می شود. $k_D = 2\pi / \lambda_D$ و λ_D طول دمای است. اثر میرایی برخوردی بر روی امواج لانگمیر در سمت راست معادله (۲) بصورت زیر وارد می شود [۶].

$$\gamma_c = 3.04 \times 10^{-6} n T_e^{-3/2} \text{Ln} \Lambda \quad (۸)$$

که در این رابطه

$$\text{Ln} \Lambda = 22.8 + \text{Ln} T_e - 0.5 \text{Ln} n \quad (۹)$$

باریکه الکترونی را به عنوان منبع در طرف راست معادله (۱) بصورت زیر در نظر می گیریم:

$$S(x, v, t) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \frac{1}{\delta t} n_b g(v) \exp\left[(t - t_0)^2 / \delta t^2\right] \exp\left[(x - x_0)^2 / \delta x^2\right] \quad (۱۰)$$

امواج رادیویی نوع سوم وقتی تولید می شوند که باریکه ای از الکترون های پر انرژی از سطح خورشید خارج شده و بروی خطوط میدان مغناطیسی خورشید عبور می کنند. باریکه های الکترونی در عبور از داخل پلاسمای تاج خورشیدی و باد خورشیدی تولید امواج لانگمیر می کنند [۱]. سپس این امواج قسمتی از انرژی خود را بصورت تابش های الکترومغناطیسی گسیل می کنند. این تابش ها که از تاج خورشیدی در فرکانسهایی در حدود ۱۰۰ MHz شروع می شوند امواج رادیویی نوع سوم نامیده می شوند. این امواج در فرکانس اساسی $f_F = \omega_p$ و فرکانس هارمونیک $f_H = 2\omega_p$ منشر می شوند. چنانکه باریکه از سطح خورشید به سمت تاج خورشیدی حرکت می کند این امواج سوق شدید فرکانسی از فرکانس های بزرگتر به سمت فرکانس های کوچک تر از خود نشان می دهند [۲ و ۳]. چنانکه اشاره شد منشا تولید امواج رادیویی نوع سوم باریکه الکترونی و امواج لانگمیر تولید شده توسط باریکه است. بنابراین هر عاملی که بر انتشار باریکه و در نتیجه تولید امواج لانگمیر تاثیر داشته باشد بر تولید امواج رادیویی نیز اثر خواهد گذاشت. یکی از عواملی که می تواند تولید امواج لانگمیر را تحت تاثیر قرار دهد وجود میرایی برخوردی و اثر آن بر امواج لانگمیر است. این موضوع تا اکنون بطور کامل و واضح بررسی نگردیده است. در این کار برای اولین بار این اثر را در نظر گرفته و تاثیر آن را بر سرعت انتشار باریکه و تولید امواج لانگمیر و طیف دینامیکی امواج رادیویی نوع سوم بررسی می شود.

مواد و روش ها

معادلاتی که در این جا به کار برده می شوند مشابه با کارهای قبلی است. معادلات شبه خطی توصیف کننده تابع توزیع الکترونها $f(x, v, t)$ و تابع توزیع امواج $W(x, v, t)$ توسط روابط غیر خطی زیر داده می شوند [۴ و ۵].

$$\frac{\partial f(v)}{\partial t} + v \frac{\partial f(v)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial v} \left[D(v) \frac{\partial f(v)}{\partial v} \right] \quad (۱)$$

$$+ \frac{\partial}{\partial v} [A(v) f(v)] + S(v, x, t) \quad (۲)$$

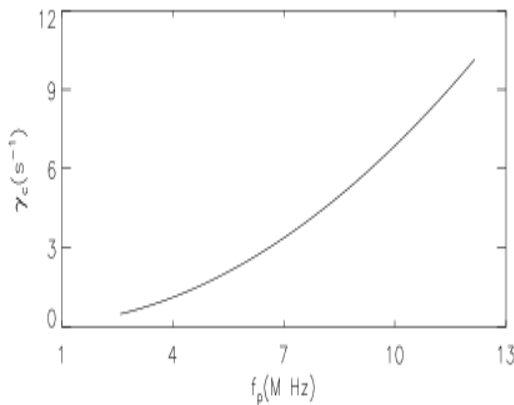
$$\frac{\partial W(v)}{\partial t} + \frac{\partial \omega}{\partial k} \frac{\partial W(v)}{\partial x} - \frac{\partial \omega}{\partial x} \frac{\partial W(v)}{\partial k} = (\gamma(k) - \gamma_c) W(v) + \alpha(k)$$

نتایج شبیه سازی عددی

برای شروع در شکل ۱ تغییرات فرکانس برخوردی بر حسب فرکانس پلاسما یی رسم شده است. این شکل نشان می دهد با افزایش فرکانس پلاسما یی مقدار γ_c افزایش می یابد و برای پارامترهای انتخاب شده در این مقاله مقدار آن از یک تا ده تغییر می کند.

برای بررسی اثر وجود میرایی برخوردی بر تولید امواج لانگمیر شکل ۲ چگالی کل انرژی موج $U(x,t)$ برای امواج لانگمیر برانگیخته شده توسط باریکه الکترونی در فضای مکان و زمان نشان می دهد.

با توجه به این شکل مشاهده می کنیم



شکل ۱: تغییرات γ_c بر حسب فرکانس f_p

که چگالی کل انرژی موج در حضور میرایی برخوردی کاهش می یابد و در یک زمان مشخص پهنای چگالی کل انرژی موج در فضای مکان کاهش می یابد. نکته دوم اینکه خطوط خط چین در شکل نشان دهنده ماکزیمم چگالی انرژی یا همان مسیر حرکت باریکه است. بنابراین مشتق زمانی آن نشان دهنده سرعت متوسط انتشار باریکه در فضای مکان و زمان خواهد بود. با مقایسه این دو خط می توان دریافت که سرعت انتشار باریکه در هر دو مورد در طول انتشار باریکه ثابت است ولی مقدار سرعت در حضور میرایی برخوردی بیشتر است.

در شکل ۳ طیف دینامیکی مربوط به امواج رادیویی نوع سوم برای گسیل در فرکانس اساسی (a1) و (a2) و فرکانس هارمونیک (b1) (b2) نشان داده شده است. چنانکه در ابتدا اشاره شد

در این رابطه $\delta x, \delta t, x_0, t_0, n_b$ پارامترهایی هستند که به ترتیب توصیف کننده شدت جریان، موقعیت ها و عرضها در (x,t) هستند. وابستگی سرعت باریکه را بصورت ماکسولی در نظر می گیریم.

$$g.(v) = \left(\frac{m}{2\pi k_B T_b}\right)^{1/2} \exp\left(-\frac{mv^2}{2k_B T_b}\right) \quad (11)$$

در رابطه بالا T_b دمای باریکه الکترونی است که حدود صد برابر از دمای پلاسما یی زمینه بیشتر است. k_B ثابت بولتزمن است. برای شبیه سازی از حل معادلات (۱) و (۲) بصورت دیفرانسیل محدود با نرم افزار فرتن استفاده می کنیم. تابع توزیع پلاسما یی زمینه را بصورت ماکسولی و به شکل زیر در نظر می گیریم:

$$f_M(v) = n \left(\frac{m}{2\pi k_B T_e}\right)^{1/2} e^{-\frac{mv^2}{2k_B T_e}} \quad (12)$$

در این حالت امواج در تراز حرارتی در نظر گرفته می شوند.

$$W_T(k) = \frac{k_B T_e}{4\pi} (k_D^2 - k^2) \quad (13)$$

پارامترهایی که برای شبیه سازی در نظر گرفته می شوند پارامترهای مربوط به پلاسما یی تاج خورشیدی هستند که برای باریکه $n_b = 1.5 \times 10^9 m^{-3}$, $T_b = 1 \times 10^8 k$,

$$\delta t = 5 \times 10^{-4} \text{ s}, \quad x_0 = 1 \times 10^6 \text{ m}, \quad t_0 = 2 \times 10^{-3} \text{ s}$$

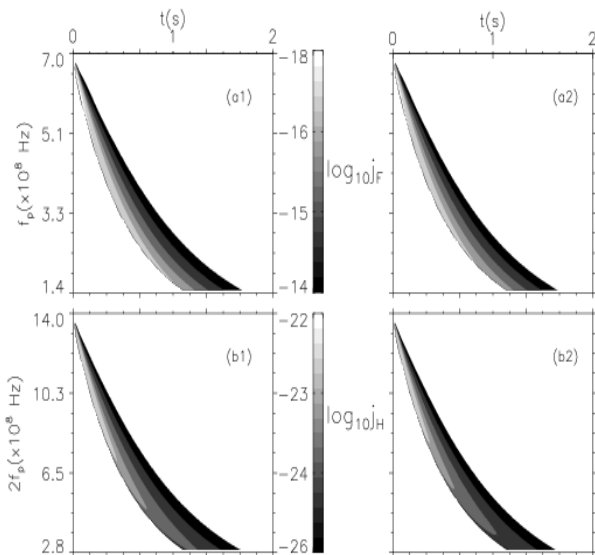
و برای پلاسما یی زمینه تاج خورشیدی $\delta x = 5 \times 10^5 \text{ m}$

$$n_0 = 1.5 \times 10^{14} m^{-3}, \quad T_e = 1 \times 10^6 k,$$

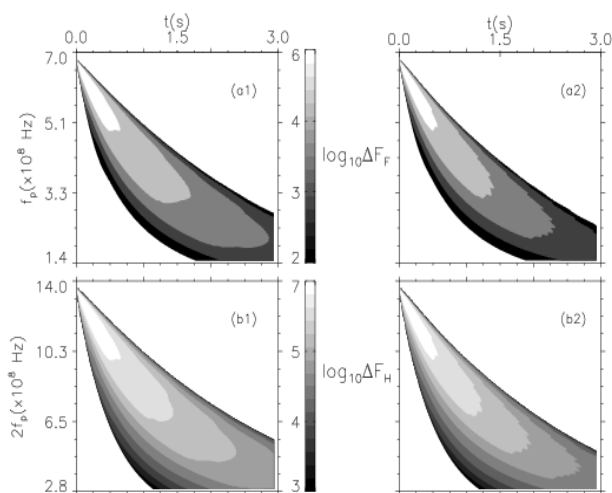
انتخاب می شوند. لازم به ذکر است که در اینجا ما فرض می کنیم که چگالی پلاسما یی زمینه با مکان در حال تغییر است و مدل چگالی که در این مقاله به کار می رود بصورت زیر است [۵]

$$n(x) = n_s \exp\left[\frac{A}{R_\odot} \left(\frac{R_\odot}{x} - 1\right)\right] \quad (14)$$

که در رابطه بالا $R_\odot, n_s = 1.5 \times 10^{14} m^{-3}$ شعاع خورشید و G و M_\odot جرم خورشید و $\bar{\mu} = 0.6$, $A = \bar{\mu} G M_\odot / k_B T_e$ ثابت گرانش است.



شکل ۳: طیف دینامیکی امواج رادیویی نوع سوم. سطر اول برای فرکانس اساسی و سطر دوم برای فرکانس هارمونیک. ستون اول پلاسمای بدون برخورد و ستون دوم پلاسمای برخوردی.

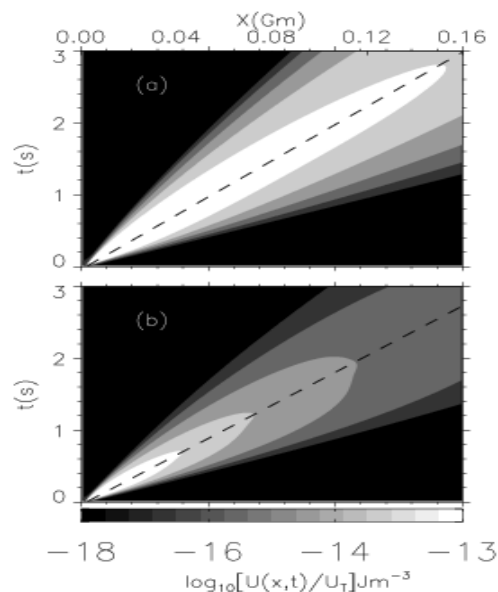


شکل ۴: وابستگی بازه گسیل امواج رادیویی نوع سوم به زمان و فرکانس. (a1) و (a2) Δf_F و (b1), (b2) Δf_H . ستون اول پلاسمای بدون برخورد و ستون دوم پلاسمای برخوردی.

نمودار لگاریتمی مربوط به دو کمیت بالا در شکل ۴ برای فرکانس های اساسی و هارمونیک به ترتیب در شکل (a1) و (a2) و (b1) (b2) رسم شده اند. از مقایسه دو ستون سمت راست

با شکل چپ ۴ می توان نتیجه گرفت که در حضور میرایی برخوردی بازه فرکانسی امواج رادیویی نوع سوم در هر دو فرکانس اساسی و هارمونیک کاهش می یابد.

طیف دینامیکی امواج رادیویی نوع دارای کاهش فرکانس از فرکانس های بالاتر به سمت فرکانس کمتر است که این نکته از روی شکل قابل مشاهده است. نکته دیگری که باید به آن توجه کرد این است که در حضور میرایی برخوردی شدت طیف دینامیکی کاهش می یابد. دلیل این کاهش هم به این خاطر است که امواج رادیویی نوع سوم حاصل از امواج لانگمیر هستند چنانکه از شکل ۲ مشاهده شد چگالی کل انرژی امواج لانگمیر برانگیخته شده در حضور میرایی برخوردی کاهش می یابد و در نتیجه شدت امواج رادیویی نوع سوم نیز کاهش می یابد.



شکل ۵: چگالی کل انرژی موج $U(x,t)$ (a) پلاسمای بدون برخورد و (b) پلاسمایی با برخورد.

گسیل انجام شده برای امواج رادیویی نوع سوم برای فرکانس های اساسی و هارمونیک در یک بازه فرکانسی انجام می شود که این بازه به پارامترهای باریکه عبوری از قبیل سرعت متوسط باریکه v_b و پهنای سرعت باریکه Δv_b وابسته است که به ترتیب برای فرکانس اساسی و هارمونیک از رابطه زیر بدست می آیند [۷]

$$\Delta f_F = 3(v_e/v_b)^2 (\Delta v_b/v_b) f_p \quad (15)$$

$$\Delta f_H = 12(v_e/v_b)^2 (\Delta v_b/v_b) f_p \quad (16)$$

نتیجه گیری

در این کار تولید امواج لانگمیر با استفاده از نتایج شبیه سازی معادلات شبه خطی یک باریکه الکترونی داغ در انتشار از داخل پلاسمای زمینه تاج خورشیدی در حضور میرایی برخورداردی مورد بررسی قرار گرفت. مشاهده شد در حضور میرایی برخورداردی میرایی امواج لانگمیر افزایش می یابد و در نتیجه شدت چگالی کل انرژی موج برانگیخته شده کاهش می یابد. مانند حالت بدون برخورداردی سرعت انتشار باریکه در طول زمان دارای مقدار ثابت است ولی مقدار آن در حضور میرایی افزایش می یابد. طیف دینامیکی امواج رادیویی نوع سوم در حضور میرایی شدت کمتر نسبت به حالت بدون برخورداردی دارند. همچنین اثر وجود میرایی بر بازه گسیل امواج رادیویی بررسی شد و نشان داده شد که در حضور میرایی برخورداردی این بازه هم برای فرکانس اساسی و هم برای فرکانس هارمونیک کاهش می یابد.

مرجع ها

- [1] V. V. Zheleznyakov and V. V. Zaitsev, "The Origin of Type-III Solar Radio Bursts" *Sov. Astron. A.J.* **14**, 47 (1970).
- [2] P. A. Robinson and I. H. Cairns, "Fundamental and harmonic emission in type III solar radio bursts II", *Solar Phys.* **181**, 395 (1998).
- [3] P.A. Robinson and IA. O. Benz, " Bidirectional in type III solar radio bursts' *Solar Phys.* **194**, (2000).
- [4] B. Li, P. A. Robinson, and I. H. Cairns, " Numerical simulation of type III solar radio bursts" *Phys. Rev. Lett.* **96**, 145005 (2006).
- [5] G. Foroutan, H. Khalilpour, M. Moslehi-Fard, B. Li, and P. A. Robinson, " Quasilinear dynamics of a cloud of hot electrons propagating through a plasma with decreasing density and temperature ", *Phys. Plasmas* **15**, 122904 (2008).
- [6] B. Li, P. A. Robinson, and I. H. Cairns "Quasilinear based simulations of bidirectional type III radio burts". *Journal of geophysical research*, **13**, dio: 10.1029/2008.JA013255,(2008).
- [7] I. H. Cairns, J. J, Mitchell, S.A Knock.; P. A. Robinson " Towards a quantitative theory for 2-3 kHz radio emission from beyond the heliopause". *Advances in Space Research*, **34**,2004