

# بررسی اثر افت و خیزهای بار، یون‌ها و ذرات پر انرژی بر امواج لانگمیر در پلاسمای غباری

سمیه موسوی

دانشکده فیزیک شیمی دانشگاه الزهراء، خیابان شیخ بهایی شمالی میدان شیخ بهایی، خیابان ده‌ونک

## چکیده

در این مقاله در چارچوب نظریه جنبشی روابط پاشندگی امواج طولی در پلاسمای همگن غیر مغناطیده مورد بررسی قرار می‌گیرد. تاثیر افت و خیز بار و حضور یون منفی بر انتشار امواج لانگمیر بررسی می‌شود. در بررسی اثر افت و خیزهای بار توزیع ذرات غبار و یون منفی سنگین ساکن و ماکسولی است و توزیع الکترون‌ها و یون‌ها به صورت ماکسولی و کاپایی در نظر گرفته می‌شود. حضور افت و خیز بار ناشی از برخوردهای ناکشسان و همچنین ذرات پر انرژی باعث افزایش میرایی در امواج شد.

## The ions, suprathermal particels and charge fluctuation effects on langmuire waves in dusty plasma

Mousavi, Somayeh

<sup>1</sup>Department of Physics, University of Alzahra, Tehran

### Abstract

*In the frame of kinetic theory we investigated the disperssion relation of langmuire waves in unmagnetized homogeneous dusty plasma. In fluence of charge fluctuation and negative ions on the propagation of waves are investigated. The landau damping rate rate have been found to be increased as the fraction of suprathermal particals and charge fluctuation are increased on waves.*

### مقدمه

لابراتوری رخ داده است. در چارچوب نظریه جنبشی روابط پاشندگی امواج طولی در پلاسمای همگن غیر مغناطیده را مورد بررسی قرار دادیم. در بررسی افت و خیز بار، برخورد بین ذرات غبار و ذرات پلاسمایی را ناکشسان در نظر گرفتیم. برای الکترون‌ها و یون‌ها (مثبت و منفی) توزیع ماکسولی و کاپایی و برای ذرات غبار و یون منفی سنگین توزیع ماکسولی و دیراکی (ساکن) در حالت تعادل فرض کردیم. با محاسبه دی‌الکتریک از طریق حل معادله ولاسوف و بولتزمن، معادلات اساسی رابطه پاشندگی در حالت انتشار طولی مورد بررسی قرار گرفته و اثرات ذرات بر میرایی و رشد مطالعه شده است و چگونگی وابستگی نرخ میرایی و رشد به نسبت چگالی‌ها و جرم‌های یون منفی، یون مثبت و

پلاسمای در اصل گازی است یونیزه، شامل فوتون‌ها، الکترون‌ها، یون‌های مثبت و منفی، اتم‌ها، رادیکال‌های آزاد و ملکول‌های برانگیخته و غیر برانگیخته که دائما در حال برهمکنش با یکدیگر می‌باشند. اگر محیط کم یونیده شده باشد پلاسمای غباری شامل یون، الکترون، ذرات غبار و همچنین ذرات خشی خواهد بود. بسیاری از پلاسمای غباری فضایی، مزوسفر و فوتوسفر خورشیدی علاوه بر الکترون، یون مثبت و غبار شامل مولفه‌ای از یون‌های منفی نیز هستند. جنس ذرات غبار در نواحی مختلف متفاوت است. به عنوان نمونه در مزوسفر زمین اغلب از جنس یخ و یا در آگروز راکت‌های فضایی به صورت گرده‌های اکسید آلومینیوم است. پلاسمای غیر خشی قوی اصولا در آزمایشات

$$\varepsilon^{lo} = 1 + \sum_{\alpha} \chi_{\alpha} + \sum_{\alpha} \chi_{\alpha}^{\sigma} \quad (4)$$

$\chi_j$  ضریب تاثیر پذیری وقتی افت و خیز بار در پلاسما وجود ندارد،  $\chi_j^{\sigma}$  ضریب تاثیر پذیری وقتی افت و خیز بار در پلاسما وجود دارد. تابع توزیع الکترون‌ها و یون‌ها را توزیع کاپایی و ماکسولی و برای ذرات غبار و یون منفی سنگین ماکسولی و ساکن در نظر گرفتیم:

$$X_{\alpha} = \frac{4\pi}{k^2} \sum_{\alpha} \frac{q_{\alpha}^2}{m_{\alpha}} \int d^3 p \frac{1}{\omega - \vec{k} \cdot \vec{V}} \vec{k} \cdot \frac{\partial f_{\alpha o}}{\partial \vec{V}} \quad (5)$$

به کمک روابط (6) و (7) ضرایب تاثیر پذیری مطلوب را بدست می‌آوریم:

$$\begin{cases} Z(\zeta_{\alpha}) = \frac{1}{\zeta_{\alpha}} - \frac{1}{2\zeta_{\alpha}^3} - \frac{3}{4\zeta_{\alpha}^5} \dots, & |\zeta_{\alpha}| \rightarrow \infty \\ Z(\zeta_{\alpha}) = i\sqrt{\pi} e^{-\zeta_{\alpha}^2} - 2\zeta_{\alpha} + \frac{4}{3}\zeta_{\alpha}^3 + \dots, & |\zeta_{\alpha}| \rightarrow 0 \end{cases} \quad (6)$$

$$\begin{cases} Z_k(\zeta_k) = \frac{ik! k^{\frac{1}{2}} \sqrt{\pi}}{(k - \frac{3}{2})!} \frac{1}{\zeta_k^2 (k+1)} \left[ 1 - \frac{k(k+1)}{\zeta_k^2} + \dots \right] - \\ - \frac{(2k-1)}{2k} \frac{1}{\zeta_k} \left[ 1 + \frac{k}{2k-1} \frac{1}{\zeta_k^2} + \frac{3k^2}{(2k-1)(2k-3)} \frac{1}{\zeta_k^4} + \dots \right], & |\zeta_k| \rightarrow \infty \\ Z_k(\zeta_k) = \frac{ik! \sqrt{\pi}}{k^{\frac{3}{2}} (k - \frac{3}{2})!} \left[ 1 - \frac{k+1}{k} \zeta_k^2 + \dots \right] - \\ - \frac{(2k-1)(2k+1)}{2k^2} \zeta_k \left[ 1 - \frac{2k+3}{3k} \zeta_k^2 + \dots \right], & |\zeta_k| \rightarrow 0 \end{cases} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \chi_{\alpha}^{\sigma} = & -2i\sqrt{\pi} \frac{\omega}{\omega_{pa}} \frac{K!}{(K - \frac{3}{2})!} \sum_{\alpha=+,-,e,M} \frac{1}{(k\lambda_{Da})^3} \frac{1}{K^{\frac{3}{2}}} \left( 1 + \frac{1}{K(k\lambda_{Da})^2} \frac{\omega^2}{\omega_{pa}^2} \right)^{-K-1} \\ & - \sum_{\alpha=+,-,e,M} 2i\sqrt{\pi} \frac{\omega}{\omega_{pa}} \frac{1}{(k\lambda_{Da})^3} \end{aligned} \quad (8)$$

$$\zeta_K = \frac{\omega}{kV_{K\alpha}}, \zeta = \frac{\omega}{kV_{\alpha}} \quad (9)$$

عدد موج و سایر پارامترهای پلاسما تا مرتبه اول رشد و میرایی نشان داده شده است. در تمامی مراحل تحقیق فرض کردیم که کاپای یون‌های مثبت و منفی و نیز الکترون‌ها مساوی‌اند، فرض کردیم بسامد گیر افتادن ذرات پلاسما توسط ذرات غبار کوچک باشد و از مقدار میانگین آن استفاده کردیم ولی زمان بررسی سیستم را کوچک در نظر گرفتیم، زمان به تعادل رسیدن بار غبار بسیار طولانی‌تر از زمان‌های استفاده شده در این تحقیق است،  $\Gamma, G$  را کوچک در نظر می‌گیریم به طوری که در روابط توانستیم از آنان صرف‌نظر کنیم. تاثیر افت و خیز بار و حضور یون منفی بر انتشار امواج بررسی شد. در بررسی اثر افت و خیز بار توزیع ذرات غبار و یون منفی سنگین را ماکسولی و همچنین در حالتی که ساکن باشند در نظر گرفتیم و نیز توزیع الکترون‌ها و یون‌ها به دو حالت ماکسولی و کاپایی در سیستم‌ها در نظر گرفته شده است. همچنین تاثیر حضور ذرات پر انرژی بر میرایی امواج مذکور بررسی شد.

## روابط پاشندگی

در بررسی افت و خیز بار، برخورد بین ذرات غبار و ذرات پلاسما را ناکشسان در نظر گرفتیم.

$$\frac{\partial f_{\alpha}}{\partial t} + \frac{\vec{P}}{m_{\alpha}} \cdot \vec{\nabla} f_{\alpha} + \vec{F} \cdot \vec{\nabla}_p f_{\alpha} = \sum_{\beta} \left( \frac{\partial f_{\alpha}}{\partial t} \right)_{col}^{\alpha\beta} \quad (1)$$

$\vec{F}$  نیروی وارد بر ذرات پلاسما است. جمله برخوردی را به فرم زیر تعریف می‌کنیم:

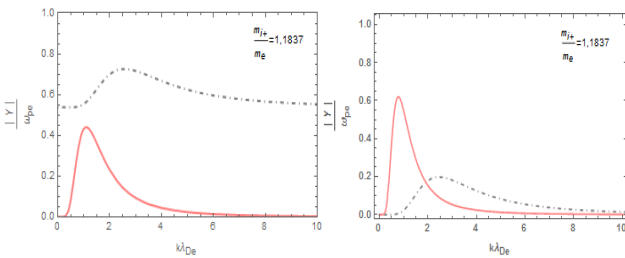
$$\left( \frac{\partial f_{\alpha}}{\partial t} \right)_{col}^{\alpha d} = - \int dq_d \sigma_{\alpha}^d \mathbf{V} (f_d f_{\alpha} - f_{d\alpha} f_{\alpha o}) \quad (2)$$

زاویه برخورد بین جهت افت و خیز بار و حرکت ذره سنگین را ۹۰ درجه می‌گیریم (ذرات غبار به علت جرم زیادی که دارند تاثیر چندانی در روابط نداشتند) و به کمک روابط تعریف شده به ضریب گذردهی طولی مورد نظر در این تحقیق می‌رسیم:

$$\varepsilon^{lo} = 1 + \frac{4\pi}{k^2} \sum_{\alpha} \frac{q_{\alpha}^2}{m_{\alpha}} \int d^3 p \frac{1}{\omega - \vec{k} \cdot \vec{V} + i\nu_{\alpha o}^d(V)} \vec{k} \cdot \frac{\partial f_{\alpha o}}{\partial \vec{V}} \left( 1 + \frac{i\nu_{\alpha o}^d(V)}{\omega + i\nu_{ch}} \frac{1 + \Gamma}{1 + G} \right) \quad (3)$$

$$\omega_r^2 = \omega_{pe}^2 + \omega_{pi-}^2 + \omega_{pi+}^2 + \omega_{pd}^2 + \omega_{pM}^2 \quad (10)$$

$$\frac{\gamma}{\omega_{pe}} = -\sqrt{\pi} \frac{K!}{\left(K - \frac{3}{2}\right)!} \frac{1}{K^{\frac{3}{2}}} \left( 1 + \frac{\rho_e}{\rho_M} (\eta_{De})^2 + (\eta_{ie+})^2 \frac{\rho_e}{\rho_{ie+}} + (\eta_{ie-})^2 \frac{\rho_e}{\rho_{ie-}} \right) \left[ \left( \frac{1}{k\lambda_{De}} \right)^3 \left( \frac{\rho_{ie+}}{\rho_e} \right) \left( \frac{1}{\eta_{ie+}} \right)^2 \left( 1 + \frac{1 + \left( 1 + \frac{\rho_e}{\rho_M} (\eta_{De})^2 + (\eta_{ie+})^2 \frac{\rho_e}{\rho_{ie+}} + (\eta_{ie-})^2 \frac{\rho_e}{\rho_{ie-}} \right) \left( \frac{\rho_{ie+}}{\rho_e} \right) \left( \frac{1}{\eta_{ie+}} \right)^2 \right)}{K(k\lambda_{De+})^2} \right]^{-K-1} + \left( \frac{1}{k\lambda_{De-}} \right)^3 \left( \frac{\rho_{ie-}}{\rho_e} \right) \left( \frac{1}{\eta_{ie-}} \right)^2 \left( 1 + \frac{1 + \left( 1 + \frac{\rho_e}{\rho_M} (\eta_{De})^2 + (\eta_{ie-})^2 \frac{\rho_e}{\rho_{ie-}} + (\eta_{ie+})^2 \frac{\rho_e}{\rho_{ie+}} \right) \left( \frac{\rho_{ie-}}{\rho_e} \right) \left( \frac{1}{\eta_{ie-}} \right)^2 \right)}{K(k\lambda_{De-})^2} \right]^{-K-1} + (k\lambda_{De})^{2K-1} \left( (k\lambda_{De})^2 + \frac{1 + \frac{\rho_e}{\rho_M} (\eta_{De})^2 + (\eta_{ie+})^2 \frac{\rho_e}{\rho_{ie+}} + (\eta_{ie-})^2 \frac{\rho_e}{\rho_{ie-}}}{K} \right)^{-K-1} \quad (11)$$



شکل (۱): نرخ میرایی بر حسب عدد موج برای دو ذره پوزیترون (خط-نقطه) و پروتون (خط-ممتد)، سیستم الف (شکل سمت راست)، سیستم ب (شکل سمت چپ)

در سیستم پلاسمایی (الف) نسبت به سیستم پلاسمایی (ب) با توجه به نتایج بدست آمده نرخ میرایی بیشتری را مشاهده کردیم. و در هر دو سیستم پلاسمایی بدون افت و خیز بار میرایی صفر می‌شود. عدم حضور یون منفی (سبک) در سیستم‌های پلاسمایی با نسبت‌های چگالی عددی یون به الکترون یکسان و نیز در تعداد ذرات پر انرژی یکسان، باعث افزایش نرخ میرایی شد، این افزایش در پلاسمای نوع (ب) بسیار کم بود، ولی در پلاسمای نوع (الف) افزایش به نسبت بیشتری به شکل (۲-الف) بدست آمد:

بخش اول رابطه (۸) مربوط به ذرات با توزیع کاپا است و بخش دوم این روابط مربوط به ذرات با توزیع ماکسولی است.

به کمک رابطه (۹) نرخ رشد و میرایی را بدست می‌آوریم.

$$\gamma = - \frac{\varepsilon^{im}(\omega_r, k)}{\left. \frac{\partial \varepsilon^{re}}{\partial \omega} \right|_{\omega=\omega_r}} \quad (10)$$

### امواج لانگمیر

یکی از اثراتی که سبب انتشار نوسانات پلازما می‌شود، اثرات حرارتی و در واقع حرکات حرارتی است. الکترون‌هایی که با سرعت‌های حرارتی به لایه‌های مجاور پلازما جریان می‌یابند، اطلاعاتی در مورد آنچه در ناحیه نوسان کننده اتفاق می‌افتد، منتقل می‌کنند. امواج لانگمیر را نوعی نوسان پلازما می‌توان نامید. برای سیستم پلاسمایی (الف) با توزیع کاپا برای الکترون‌ها، توزیع ماکسولی برای یون‌ها و ذرات غبار ساکن (بدون یون منفی سنگین) بدست می‌آوریم:

$$\omega_r^2 = \omega_{pe}^2 + \omega_{pi-}^2 + \omega_{pi+}^2 \quad (8)$$

$$\frac{\gamma}{\omega_{pe}} = -\sqrt{\pi} K^{\frac{K-1}{2}} \frac{K!}{\left(K - \frac{3}{2}\right)!} \left( 1 + \sum_{i=+,-} \frac{\rho_e}{\rho_i} \eta_{ie}^2 \right) (k\lambda_{De})^{2K-1} \left( K(k\lambda_{De})^2 + \left( 1 + \sum_{i=+,-} \frac{\rho_e}{\rho_i} \eta_{ie} \right) \right)^{-K-1} \quad (9)$$

برای پلاسمایی (ب) با توزیع کاپا برای الکترون‌ها، توزیع کاپا برای یون‌ها و توزیع ماکسولی برای ذرات غبار و یون منفی بدست می‌آوریم:

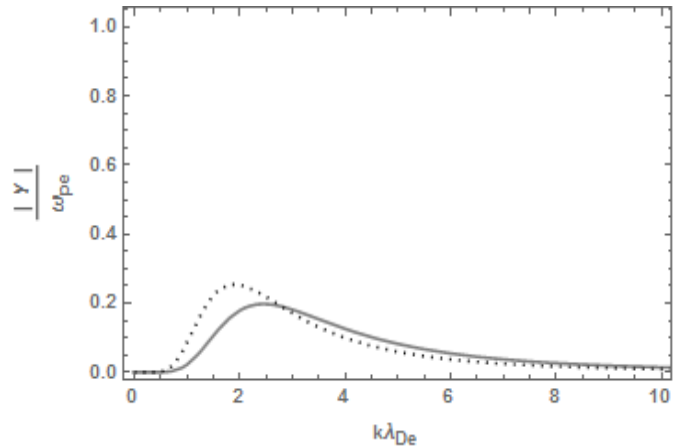
[۵]: P.K.Shukla and A.A Mamum, "Introduction to Dusty Plasma Physics," Institute of Physics Publishing, Bristol. (۲۰۰۲)

[۶]: Myoung-Jae Lee, "Effects of suprathermal particles on the dust ion-acoustic waves in a complex plasma," *Science Direct*. (۲۰۱۰)

[۷]: V.Baumjohann and R.Treumann, "Basic space plasma physics," Imperial College Press (September ۱, ۱۹۹۶)

[۸]: Francis F.Chen, "Basic space plasma physics," Introduction to Plasma Physics and Controlled Fusion ۲nd ed, c'۱۹۸۴,"

[۹]: A.F.Alexandrov, L.S.Bogdankevich, A.A.Rukhadze "Principles of plasma Electrodynamics," springer-verlag Berlin Heidelberg New York



شکل (۲-الف): اثر حضور یون منفی (خط ممتد) در نرخ میرایی بر حسب  $k\lambda_{De}$  برای یون پوزیترون (سیستم الف)

وقتی پلاسما را در کاپاهای مختلف رسم کردیم، در پلاسماهای نوع (ب) با  $\frac{\rho_e}{\rho_M} = 1, \eta_{Me} = 1$  و در پلاسماهای نوع (الف) با نسبت-های چگالی عددی یون (منفی و مثبت) به الکترون یکسان ملاحظه شد هر چه تعداد ذرات پرنرژی بیشتر شود، میرایی افزایش می‌یابد و نقاط پایدار میرایی را در اعداد موج بزرگتر می‌یابیم، برای کاپای بی‌نهایت در حالت (ب) میرایی به شدت افزایش می‌یابد.

### نتیجه‌گیری:

در امواج لانگمیر در سیستم‌های نوع الف و ب، برای پوزیترون رفتارهای متفاوتی را مشاهده کردیم در صورتی که برای پروتون تفاوت‌ها بسیار کمتر می‌شود. با افزایش ذرات پرنرژی بر حسب عدد موج، افزایش در میرایی را بدست آوردیم. در این تحقیق در همه‌ی موارد بررسی شده میرایی لاندائو (میرایی غیر برخورداردی) صفر شد. حضور یون منفی کوچک بر سیستم نوع الف نسبت به سیستم نوع ب موثرتر واقع شد و باعث افزایش میرایی می‌شود.

### منابع:

[۱]: Vladimirov, *Phys. Plasmas* ۱, ۲۲۶۲ (۱۹۹۴)

[۲]: D.Summers and R.M.Thoren, *phys.Fluids B* ۳, ۱۸۳۵ (۱۹۹۱)

[۳]: M.C.de Juli and R.S.Schneider, L.F.Ziebell, and V.Jatenco-Pereira, *Phys. Plasmas* ۱۲, ۰۵۲۱۰۹ (۲۰۰۵)

[۴]: A.Hasegawa, K. Mima, M. Duong-van, *Phys. Lett.* ۵۸ (۱۹۸۵) ۲۶۰۸