



Elfutó elektronok és plazmahullámok kölcsönhatása kritikus közeli elektromos tér esetén

Kómár Anna

Témavezető: Dr. Fülöp Tünde
Konzulens: Dr. Pokol Gergő

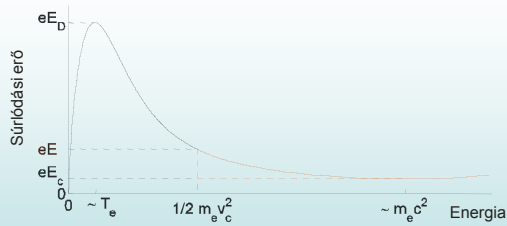
Tartalom

- Elfutó elektronok elmélete
- Elfutó elektronok eloszlásfüggvénye
- Diszperziós reláció
- Elektron-hullám kölcsönhatás
- Következtetések

2011. március 4.

2/15

Elfutó elektronok elmélete



- Károsíthatják a berendezést
- Gyengülés: kölcsönhatás hullámmal

2011. március 4.

3/15

Elfutó elektronok eloszlásfüggvénye

$$f_v = \frac{A}{q_{par}^{(C_s-2)/(a-1)}} \cdot \exp\left(-\frac{(\alpha+1)q_p^2}{2(1+Z)q_{par}}\right) {}_1F_1\left(1-\frac{C_s}{\alpha+1}; 1; \frac{(\alpha+1)q_p^2}{2(1+Z)q_{par}}\right)$$

ahol:

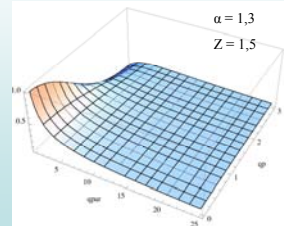
$$\alpha = \frac{E}{E_c} \quad \text{és} \quad 0 < \alpha - 1 < 1$$

kritikus közeli tér

$$q = \frac{p}{m_e c} \quad \text{normált impulzus}$$

Z effektív ion töltés

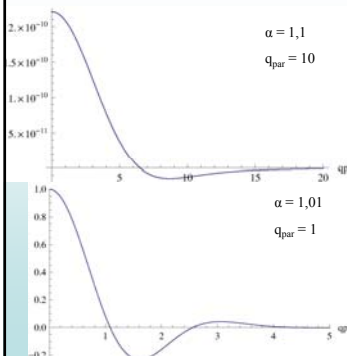
P. Sandquist et al., PoP 13, 072108 (2006)



2011. március 4.

4/15

Értelmezési tartomány



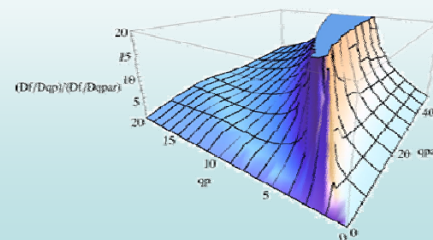
Az értelmezési tartomány vizsgálata szükséges:

$$1 < \alpha < \min\left(2; \frac{16}{-Z^2 - 2Z + 15}\right)$$

5/15

Értelmezési tartomány 2.

$$\text{Feltevések: } \frac{q_{par}}{q_p} \gg 1 \quad \text{és} \quad \frac{\partial}{\partial q_p} \gg \frac{\partial}{\partial q_{par}}$$



2011. március 4.

6/15

Hullámegyenlet

$$\underline{k} \times (\underline{k} \times \underline{E}) + \frac{\omega^2}{c^2} \underline{\epsilon} \cdot \underline{E} = 0$$

legyen: $\underline{n} = \frac{kc}{\omega} \longrightarrow \underline{n} \times (\underline{n} \times \underline{E}) + \underline{\epsilon} \cdot \underline{E} = 0$

ahol: $\underline{\epsilon} = \begin{pmatrix} \epsilon_{11} & \epsilon_{12} & 0 \\ -\epsilon_{12} & \epsilon_{22} & 0 \\ 0 & 0 & \epsilon_{33} \end{pmatrix}$

Feltevés: $\underline{n}$ az xz síkban

$$\begin{pmatrix} \epsilon_{11} - n^2 \cos^2 \theta & \epsilon_{12} & n^2 \cos \theta \sin \theta \\ -\epsilon_{12} & \epsilon_{22} - n^2 & 0 \\ n^2 \cos \theta \sin \theta & 0 & \epsilon_{33} - n^2 \sin^2 \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_x \\ E_y \\ E_z \end{pmatrix} = 0$$

2011. március 4.

7/15

Plazmahullámok

Diszperziós reláció:

$$\left(\epsilon_{11} - k_{\parallel}^2 \frac{c^2}{\omega^2} \right) \cdot \left(\epsilon_{22} - k^2 \frac{c^2}{\omega^2} \right) + \epsilon_{12}^2 = 0$$

ahol hideg plazmára:

$$\epsilon_{11} = \epsilon_{22} = 1 - \frac{\omega_{pe}^2}{\omega^2 - \omega_{ce}^2} \left(-\frac{\omega_{pi}^2}{\omega^2 - \omega_{ci}^2} \right) \quad \underline{\epsilon} = \underline{1} + \underline{\chi}^e + \underline{\chi}^i$$

$$\epsilon_{12} = i \frac{\omega_{ce} \omega_{pe}^2}{\omega(\omega^2 - \omega_{ce}^2)} \left(+i \frac{\omega_{ci} \omega_{pi}^2}{\omega(\omega^2 - \omega_{ci}^2)} \right)$$

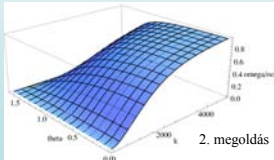
Alkalmazott közelítés: $\omega_{ci} \ll \omega \sim \omega_{ce}$

2011. március 4.

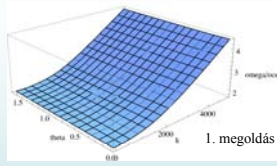
8/15

Diszperziós reláció

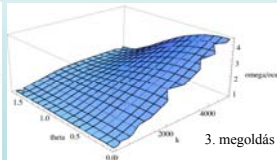
- ω^2 -ben harmadfokú
- 3 valós megoldás



2011. március 4.



2. megoldás



3. megoldás

9/15

Elektron-hullám kölcsönhatás

Elfutó elektronok jelenlétében: $\underline{\epsilon} = \underline{1} + \underline{\chi}^e + \underline{\chi}^i + \underline{\chi}^r$

$$\begin{aligned} & \left(\epsilon_{11}^0 - k_{\parallel}^2 \frac{c^2}{\omega^2} \right) \cdot \left(\epsilon_{22}^0 - k^2 \frac{c^2}{\omega^2} \right) + (\epsilon_{12}^0)^2 \\ & = \chi_{11}^r \left(k^2 \frac{c^2}{\omega^2} - \epsilon_{22}^0 \right) + \chi_{22}^r \left(k_{\parallel}^2 \frac{c^2}{\omega^2} - \epsilon_{11}^0 \right) - 2\chi_{12}^r \cdot \epsilon_{12}^0 \end{aligned}$$

Perturbációszámítás: $\omega = \omega_0 + \delta\omega$ a bal oldalon

$\omega = \omega_0$ a jobb oldalon

Növekedési ráta (γ): $\delta\omega = i\gamma$

2011. március 4.

10/15

Elfutó elektronok szuszceptibilitása

Eloszlásfüggvény alapján számolható:

$$\underline{j}_r = e \cdot \int v_r f_{ri}(\underline{r}, \underline{q}, t) d^3 q = -\frac{i\omega}{4\pi} \cdot \underline{\chi}_{rr} \underline{E}$$

Hármas integrál:

- Θ szerint $\rightarrow \Sigma_n$
- q_p szerint: numerikusan
- q_{par} szerint: analitikusan számítható

Megjelenik az integrálban: $\delta \left(q_{par} + \frac{n\omega_{ce} - \gamma\omega_0}{k_{\parallel} c} \right)$

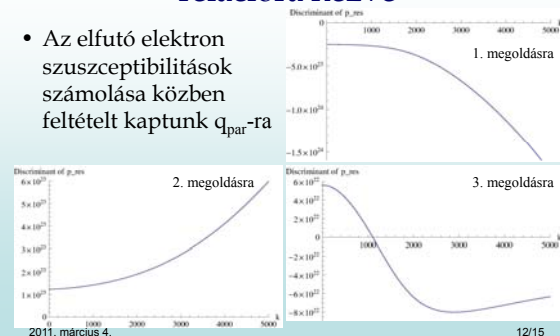
ahol γ a relativisztikus faktor: $\gamma = \sqrt{1 + q_p^2 + q_{par}^2}$

2011. március 4.

11/15

Következtetés a diszperziós relációra nézve

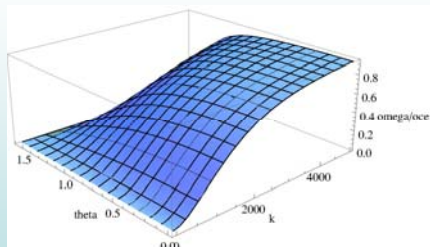
- Az elfutó elektron szuszceptibilitások számolása közben feltételt kaptunk q_{par} -ra



2011. március 4.

12/15

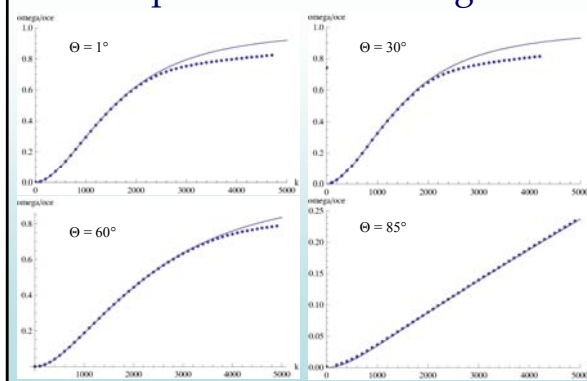
A vizsgálandó diszperziós reláció



2011. március 4.

13/15

A diszperziós reláció vizsgálata



Összefoglalás

- Elektron eloszlásfüggvény ismert
- A hullám diszperziós relációja harmadfokú $\rightarrow$ analitikus megoldások
- A növekedési rátát numerikusan számoljuk:
 - Numerikusan számolt szuszceptibilitások az eloszlásfüggvény alapján
 - A 3 analitikus megoldásból elég 1-et vizsgálni

2011. március 4.

15/15