

О ПРЕДЕЛЬНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ, ВЫХОДЯЩЕЙ ИЗ МАГНИТОСФЕРЫ ПУЛЬСАРОВ

А.С. Андрианов, В.С. Бескин

ФИАН, МФТИ

Модель полого

конуса

- Диаграмма

направленности

радиоизлучения

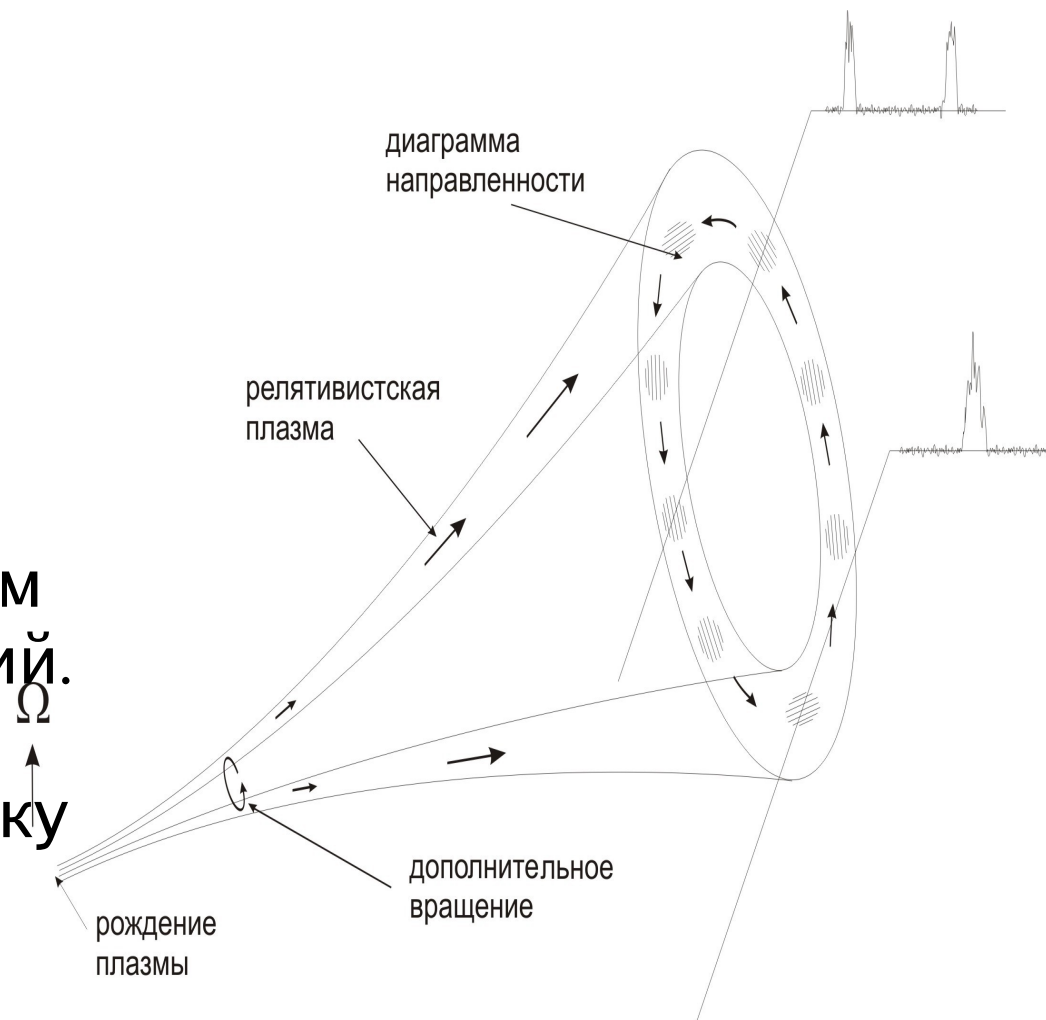
определяется

профилем плотности

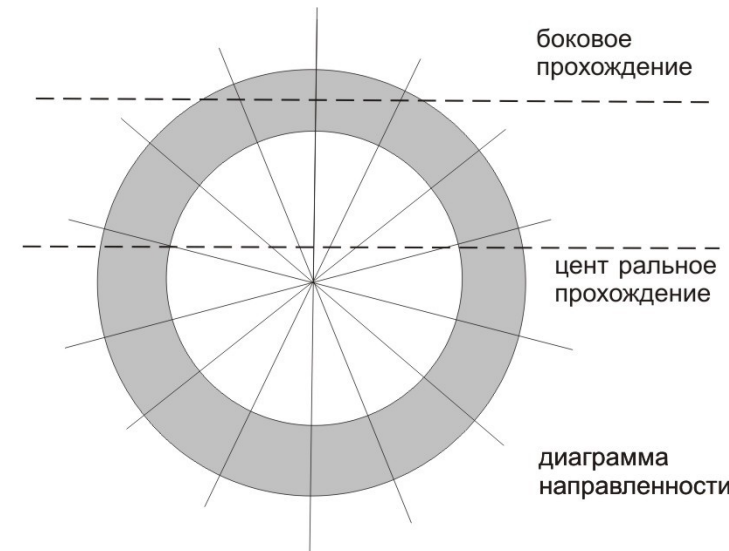
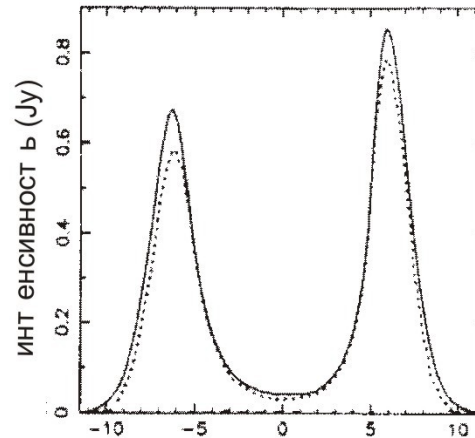
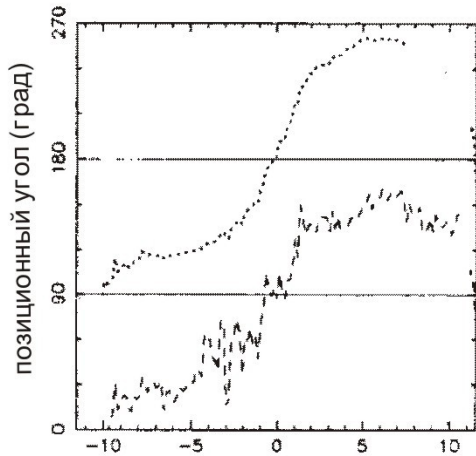
истекающей плазмы.

- Раствор диаграммы определяется раствором открытых силовых линий.

- Диаграмма имеет вид полого конуса, поскольку вторичная плазма не может генерироваться в области малой кривизны магнитных силовых линий.



Корреляции, ортогональные МОДЫ



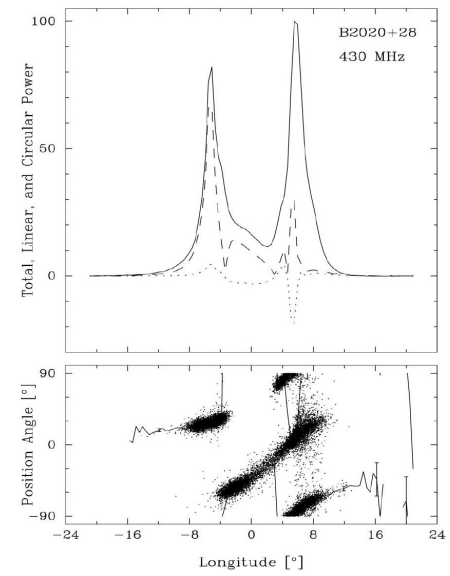
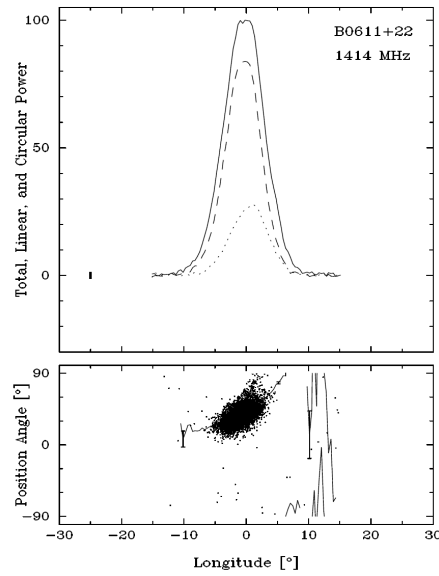
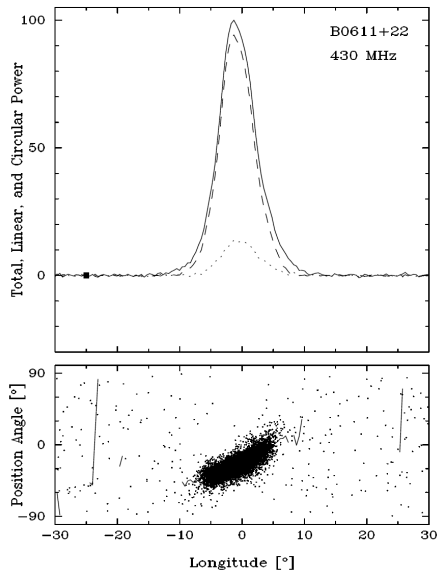
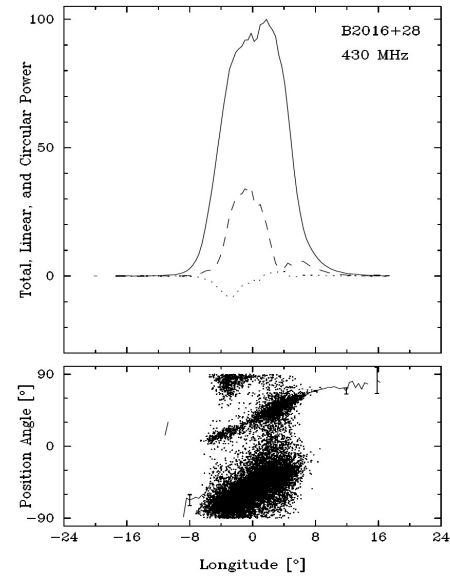
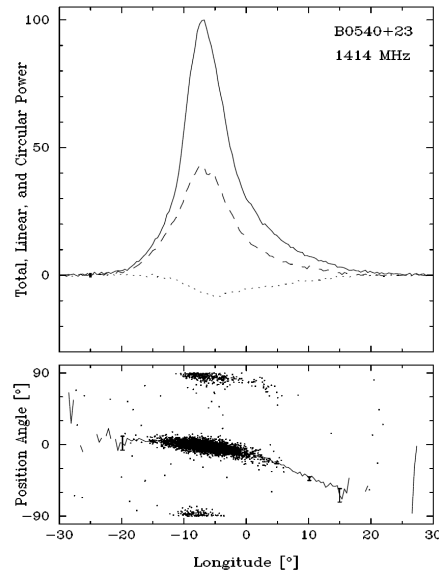
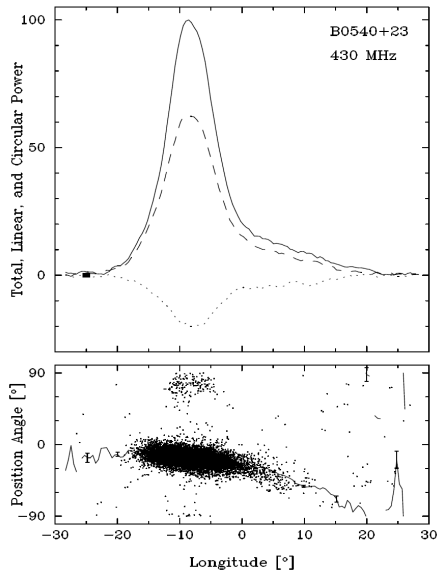
Боковое прохождение

–одногогорбые, малое изменение позиционного угла

Центральное прохождение

–двугорбые, изменение позиционного угла близко к 180°

T.Hankins, J.Rankin, 2008



Теория радиоизлучения

- **Свойства истекающей плазмы**

(консенсус)

Концентрация истекающей электрон-позитронной плазмы

$$n = \lambda n_{GJ} \text{ (первичные частицы } n \sim n_{GJ}\text{)}$$

Множественность рождения

$$\lambda \sim 10^4$$

Энергия первичных частиц $\gamma \sim 10^7$, основная плазма

$$\gamma \sim 100$$

- **Механизм генерации**

(полная неопределенность)

- **Эффекты распространения**

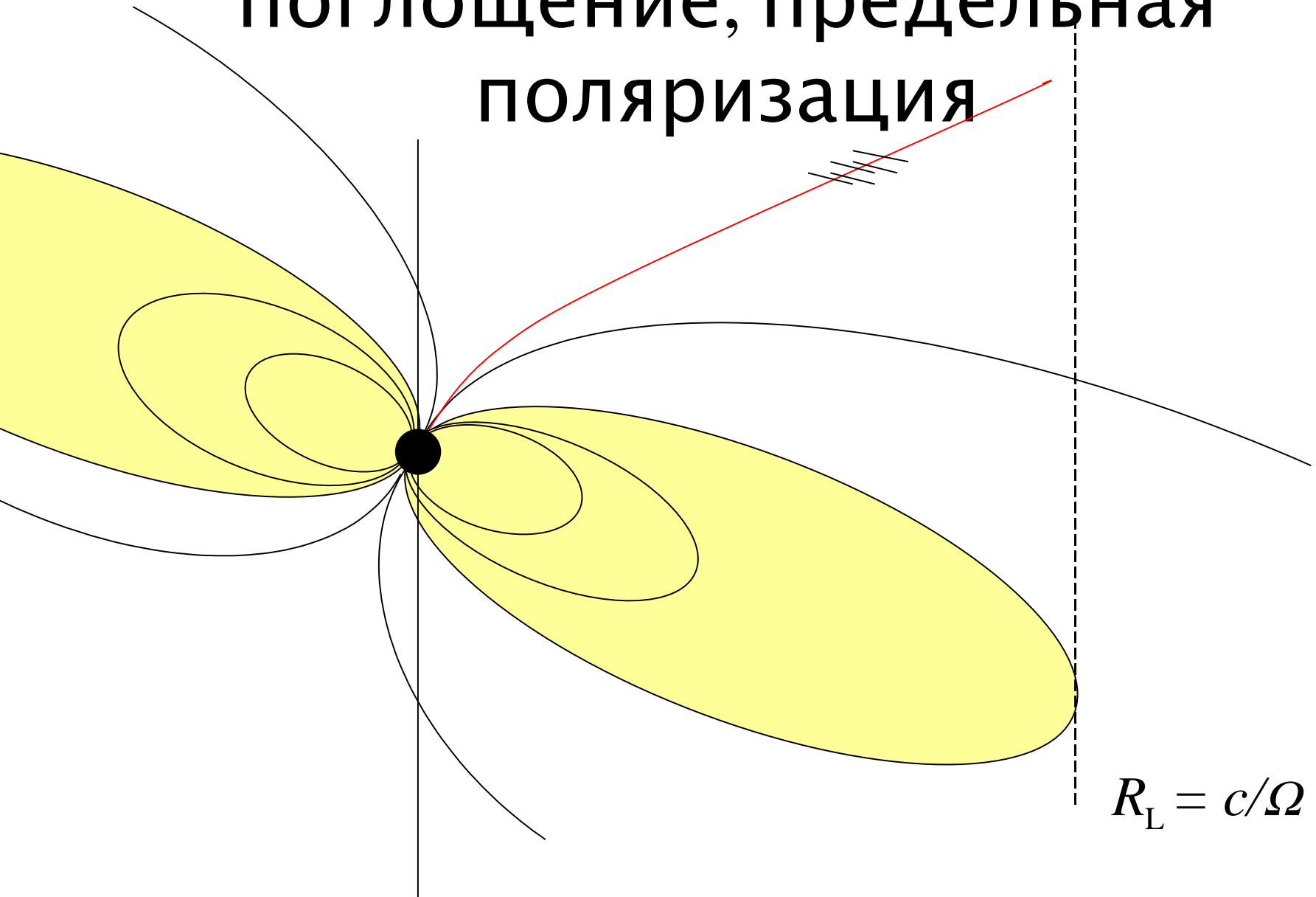
(никто до конца аккуратно не делал...)

Неявные предположения

- Сигнал распространяется по прямой
- Отсутствует циклотронное поглощение
- Поляризация определяется в месте излучения

Все эти предположения неправильны.

Преломление, циклотронное поглощение, предельная поляризация



Преломление

J. Barnard, J. Arons, *ApJ*, **302**, 138 (1986)

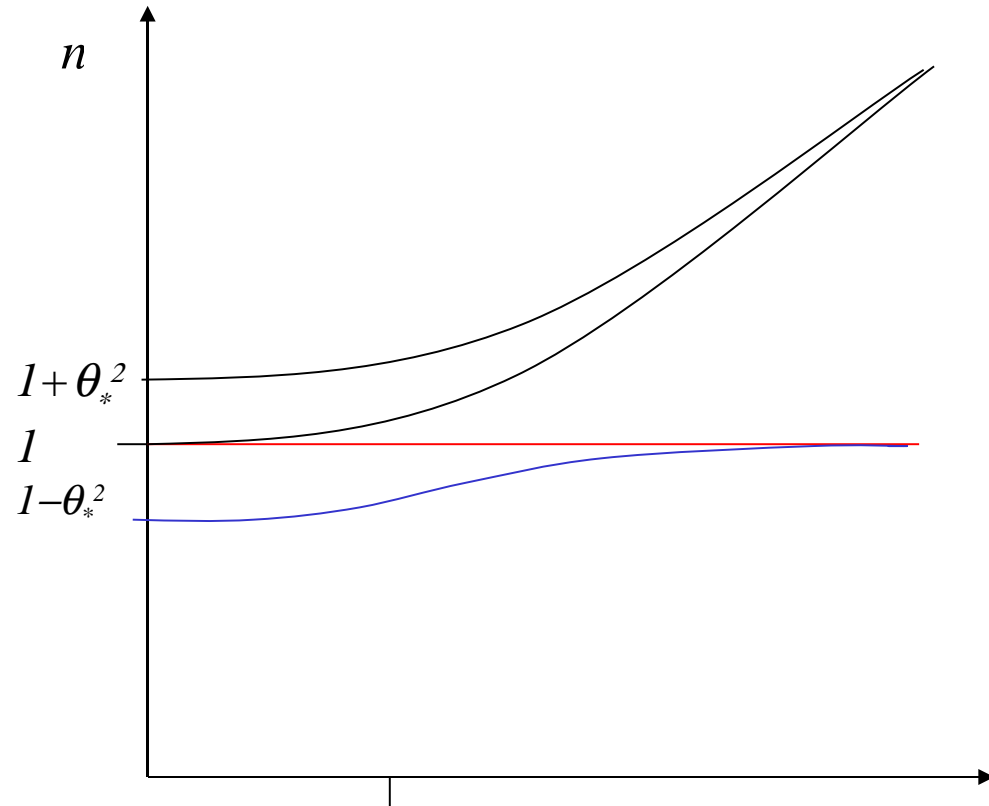
Вблизи поверхности
нейтронной звезды
одна из нормальных
мод сильно

преломляется

$$n_2 = 1 + \frac{\theta^2}{4} - \left(\frac{\omega_p^2}{\omega^2} \left\langle \frac{1}{\gamma^3} \right\rangle + \frac{\theta^4}{16} \right)^{1/2},$$

$$n_3 = 1 + \frac{\theta^2}{4} + \left(\frac{\omega_p^2}{\omega^2} \left\langle \frac{1}{\gamma^3} \right\rangle + \frac{\theta^4}{16} \right)^{1/2},$$

$$n_4 = \frac{1}{\cos \theta}.$$



Хорошо известный эффект,
использовался во многих работах. $\theta_* = \left\langle \left(\frac{\omega_p^2}{\omega^2 \gamma^3} \right)^{1/4} \right\rangle$

Циклотронное поглощение

(А.Б.Михайловский, О.Г.Онищенко,
Г.И.Сурамлишвили,

С.Е.Шарапов. Письма в ЖЭТФ

Для стандартных
параметров

оптическая толщина

очень велика,

$\kappa \sim 100$.

$$\varepsilon \approx 1 + \frac{\omega_p^2}{\omega^2} \left\langle \frac{\varpi}{(\omega_B - \gamma\varpi)} \right\rangle$$

$$\text{Im } k \approx -i\pi \frac{\omega_p^2}{2\omega c} \left\langle \varpi \delta(\omega_B - \gamma\varpi) \right\rangle$$

$$\kappa \approx \lambda(1 - \cos \theta_{\text{res}}) \frac{r_{\text{res}}}{R_L}$$

Хорошо известный эффект,
анализировался
во многих работах

Граничная

поляризация

- В.В.Железняков (Бадден)
- Ю.А.Кравцов, Ю.И.Орлов

При выходе в вакуум, где $\Delta n = 0$, приближение геометрической оптики нарушается и поляризация нормальных волн перестает изменяться (не отслеживает направление магнитного поля).

Это явление ранее практически не исследовалось Ю.Любарский, С.Петрова – для бесконечного магнитного поля).

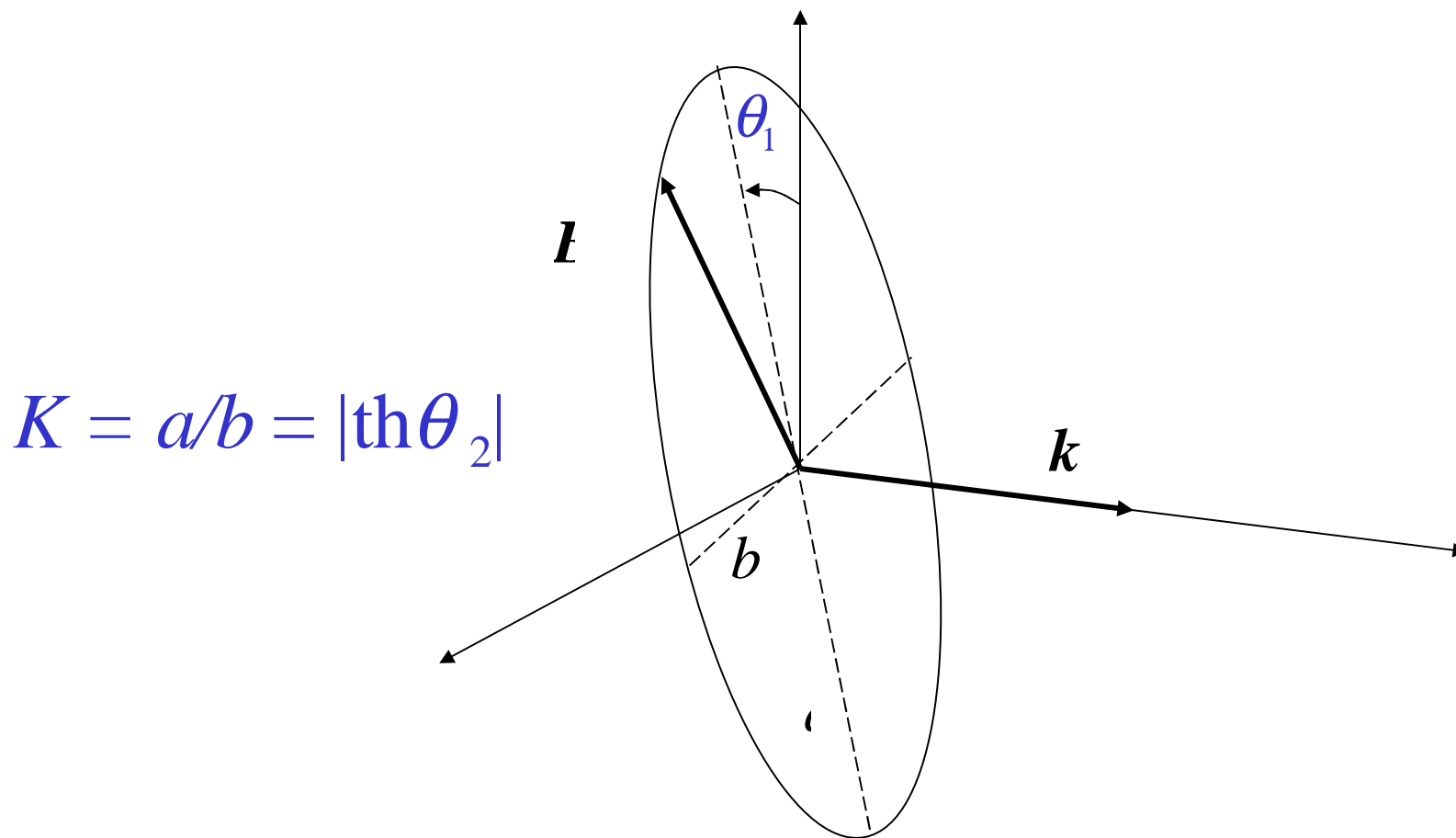
Граничная поляризация

- Ю.А.Кравцов, Ю.И.Орлов

$$\frac{d\theta_1}{dr} = -\frac{1}{2} \frac{\omega}{c} \frac{\Delta n}{\sqrt{q^2 + 1}} - \frac{1}{2} \frac{\omega}{c} \cos[2\theta_1 - 2\beta(r)] \frac{\Delta n q}{\sqrt{q^2 + 1}} \operatorname{sh} 2\theta_2,$$
$$\frac{d\theta_2}{dr} = \frac{1}{2} \frac{\omega}{c} \frac{\Delta n q}{\sqrt{q^2 + 1}} \sin[2\theta_1 - 2\beta(r)] \operatorname{ch} 2\theta_2.$$

Уравнения описывают наблюдаемые величины – позиционный угол θ_1 и степень циркулярной поляризации θ_2

Поляризация



Параметры для гидродинамического тензора

$$\Delta n = -\frac{1}{2} < \frac{\omega_p^2 \omega_B^2}{\gamma^3 \varpi^2 (\omega_B^2 - \gamma^2 \varpi^2)} > \frac{\sqrt{q^2 + 1}}{q} \sin^2 \theta$$

$$q = \frac{\omega_B \sin^2 \theta}{2\omega \cos \theta} \cdot \frac{\lambda}{\gamma^3 (1 - \cos \theta)^3}$$

$$K_i^{-1} = i \frac{E_x}{E_y} = q \pm \sqrt{1 + q^2}$$

$q \gg 1$ ($K = 2q, 1/2q$) –линейная поляризация

$q \ll 1$ ($K = +1, -1$) –круговая поляризация

β –ориентация магнитного поля в картинной плоскости.

Граничная поляризация

Аналитические оценки дают для области формирования наблюдаемой поляризации и степени циркулярной поляризации:

$$r \sim 1000R \sim 0.1 R_L$$

$$q \sim 10-100$$

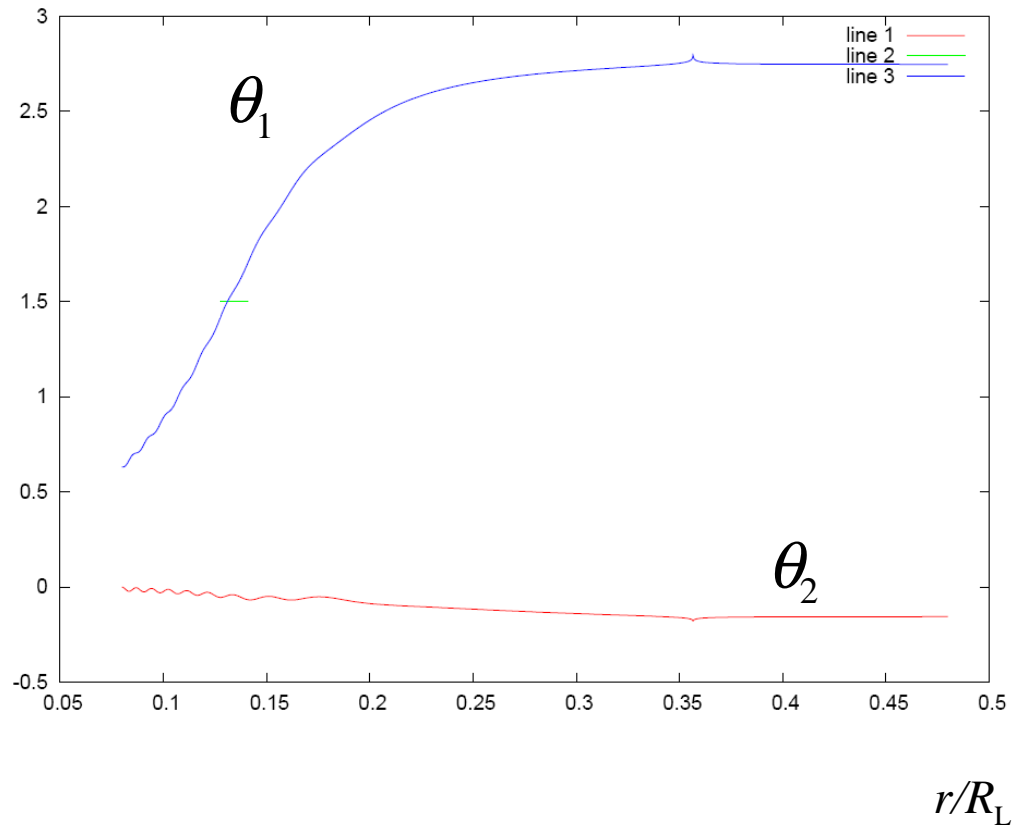
$$K \sim 1-10 \%$$

Как мы видим, отрыв происходит вблизи светового цилиндра. Циркулярная поляризация, как и наблюдается, на уровне 10%

Изменение поляризации вдоль луча

$$P = 1 \text{ с}, B = 10^{12} \text{ Гс} \quad \nu = 1 \text{ ГГц}$$

$$r_0 = 10R, \gamma = 100, \lambda = 10^4, \chi = 45^\circ, \alpha = 46^\circ$$

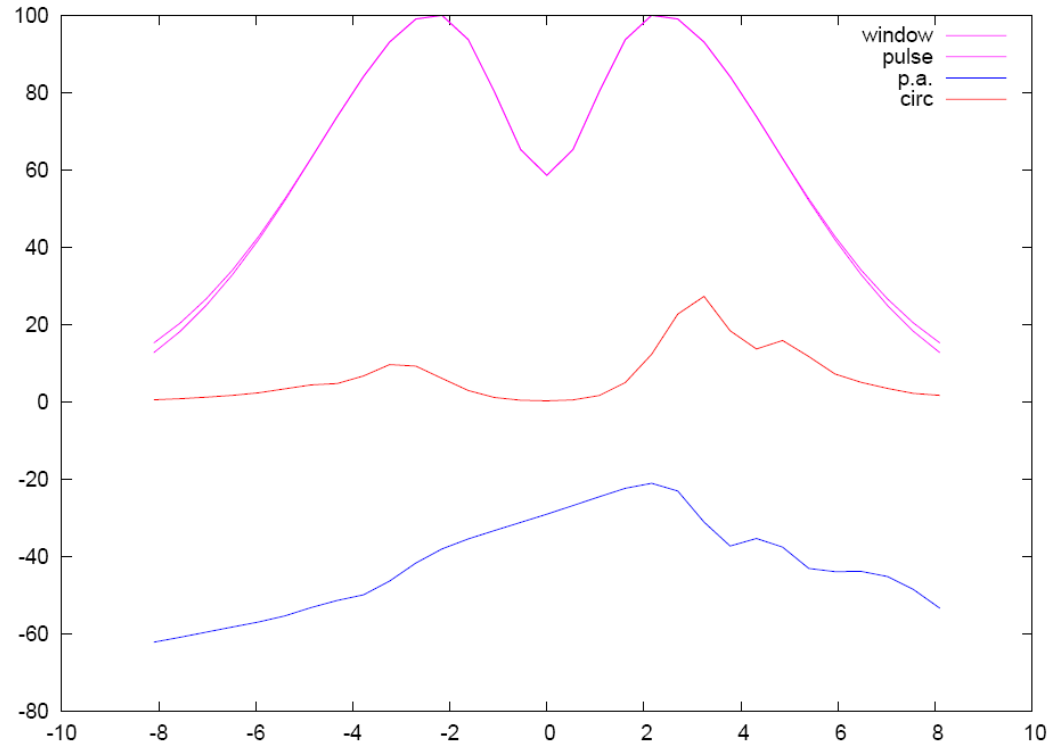


Средний импульс, цирк. поляризация р.а.

$$P = 1 \text{ с}, B = 10^{12} \text{ Гс} \quad \nu = 1 \text{ ГГц}$$

$$r_0 = 10R, \gamma = 100, \lambda = 10^4, \chi = 45^\circ, \alpha = 46^\circ, r_{\text{in}} = 0.3$$

Поглощение
невелико
поскольку
циклотронный
резонанс попадает в
область полости
(внутренний радиус
конуса $r_{\text{in}} = 0.3$
достаточно велик).

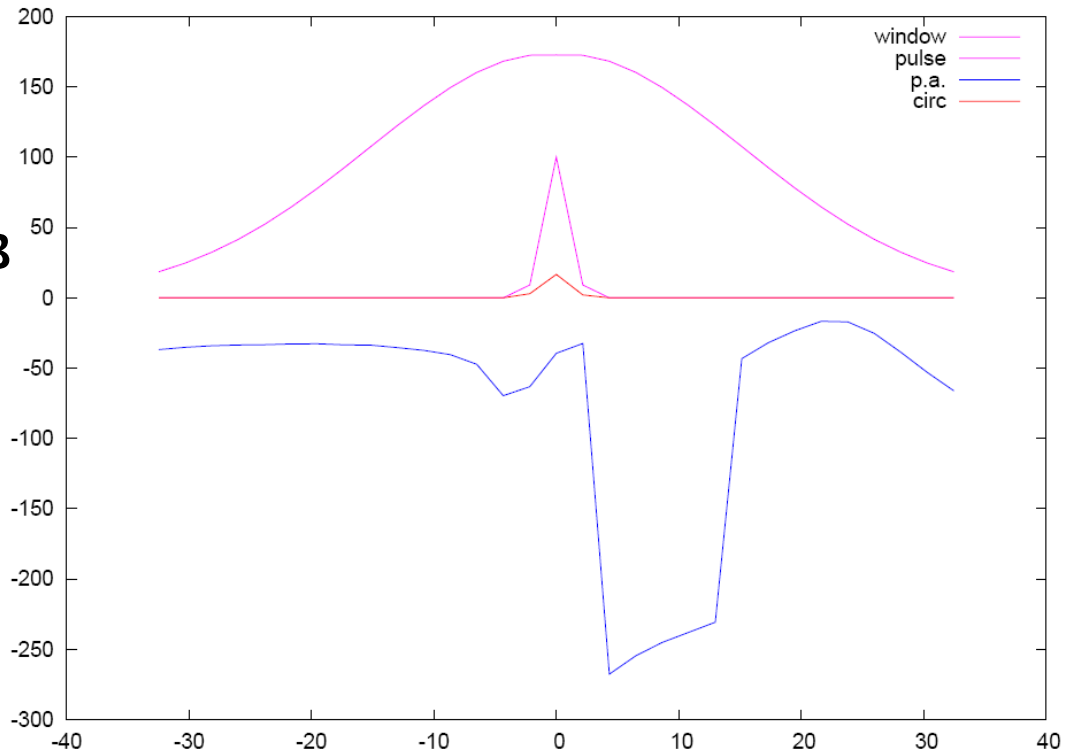


Средний импульс, цирк. поляризация р.а.

$$P = 0.01 \text{ с}, B = 10^{12} \text{ Гс} \quad \nu = 1 \text{ ГГц}$$

$$r_0 = 2R, \gamma = 100, \lambda = 10^4, \chi = 45^\circ, \alpha = 46^\circ, r_{\text{in}} = 0.03$$

Поглощение велико,
поскольку
циклотронный
резонанс не попадает в
область полости
(внутренний радиус
конуса $r_{\text{in}} = 0.03$
достаточно мал).



Выводы

- Отрыв излучения происходит вблизи светового цилиндра.
- Positionный угол определяется структурой магнитного поля вдали от полярной шапки.
- Циркулярная поляризация – на уровне нескольких процентов.
- Малость поглощения на циклотронном резонансе возможна лишь если конус полый

Заключение

Теперь наконец можно
проводить

количественное сравнение с

наблюдениями, определять

структуру магнитного поля и

параметры истекающей

плазмы