

Президиум РАН
Москва
26-27 ноября 2008



*Научно-координационная сессия
"Исследования неидеальной плазмы"*

Столкновительная рекомбинация в неидеальной плазме

А.В. Ланкин, Г.Э. Норман

Объединенный институт высоких температур РАН
Московский физико-технический институт



Содержание

Метод расчёта

Зависимость от степени неидеальности

Зависимость от заряда ионов

О механизме ионизации и рекомбинации

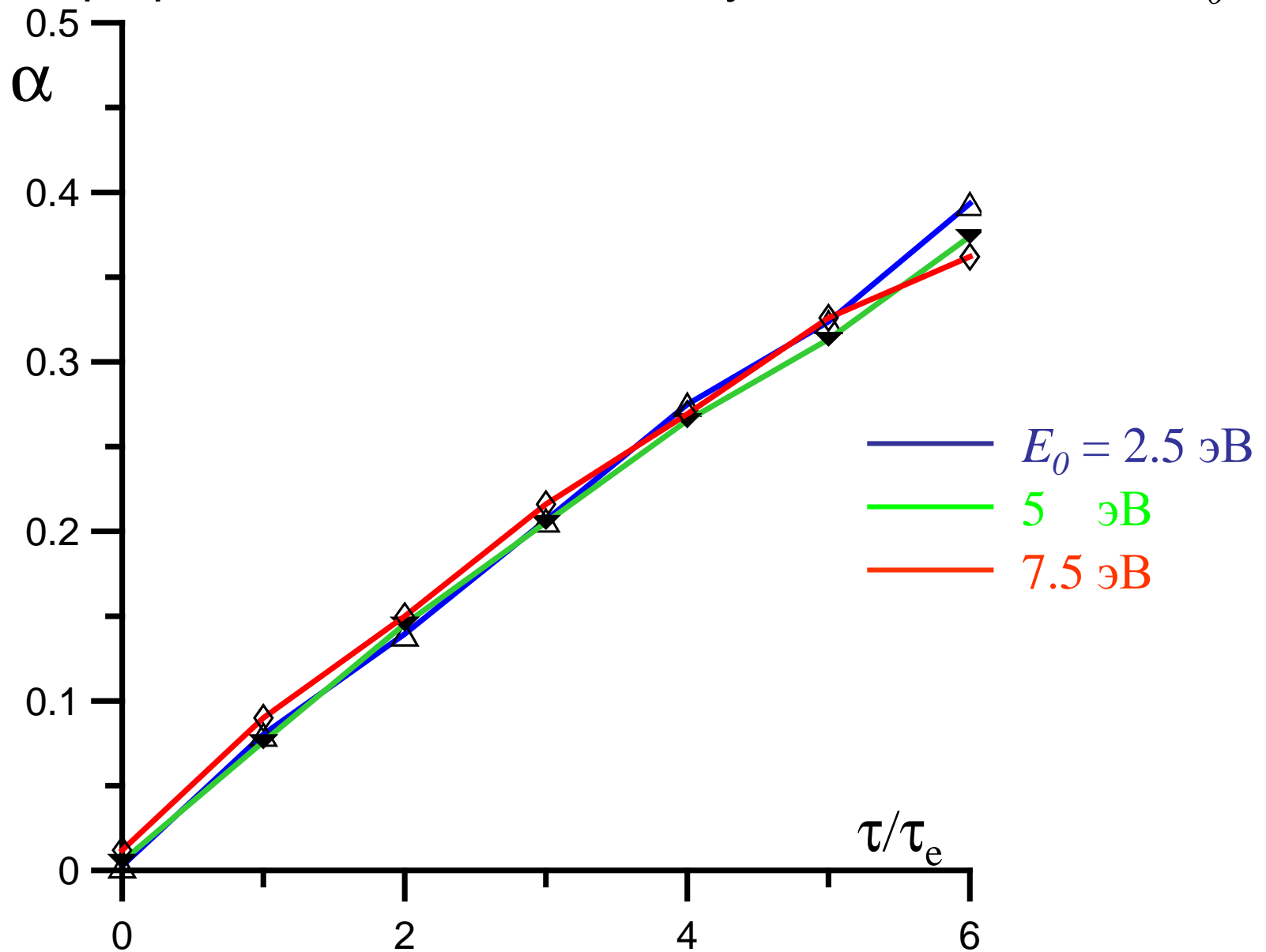
Выводы

метод расчёта

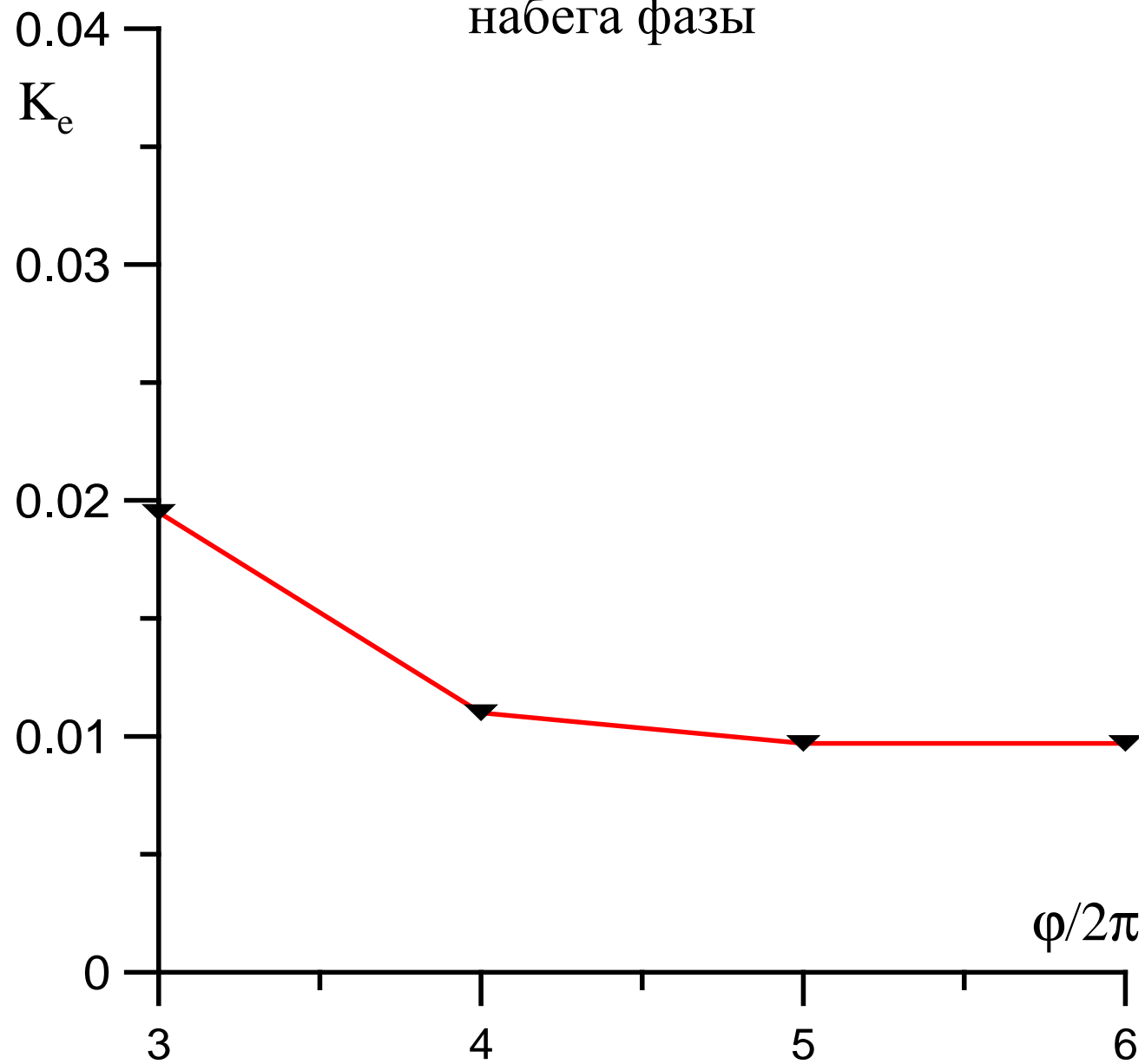
Идея алгоритма

1. Создаётся начальное состояние без парных флуктуаций
2. Определяется начальная скорость возникновения парных флуктуаций

Зависимость доли пар от времени
при различных значениях глубины потенциала E_0

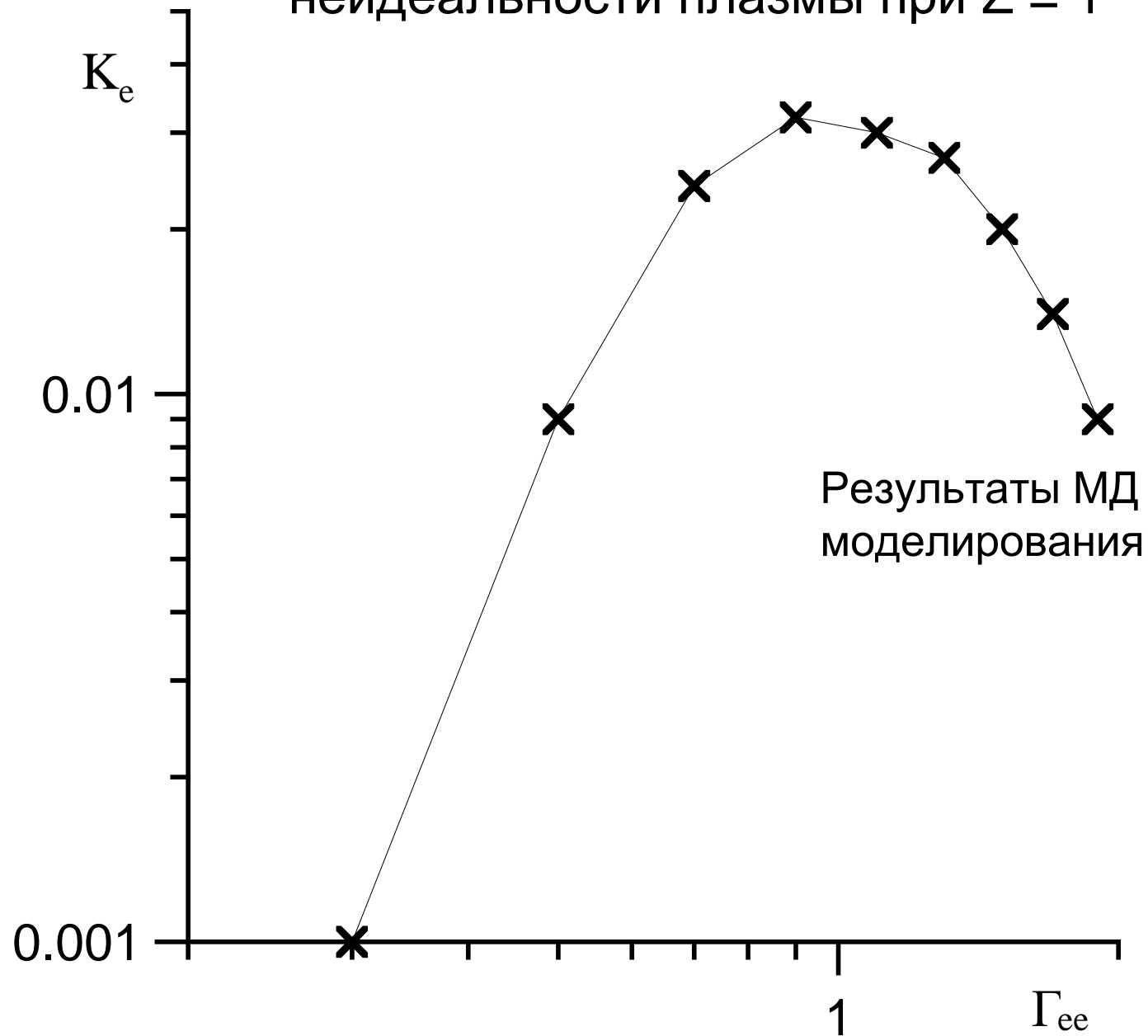


Зависимость скорости рекомбинации от выбора
набега фазы

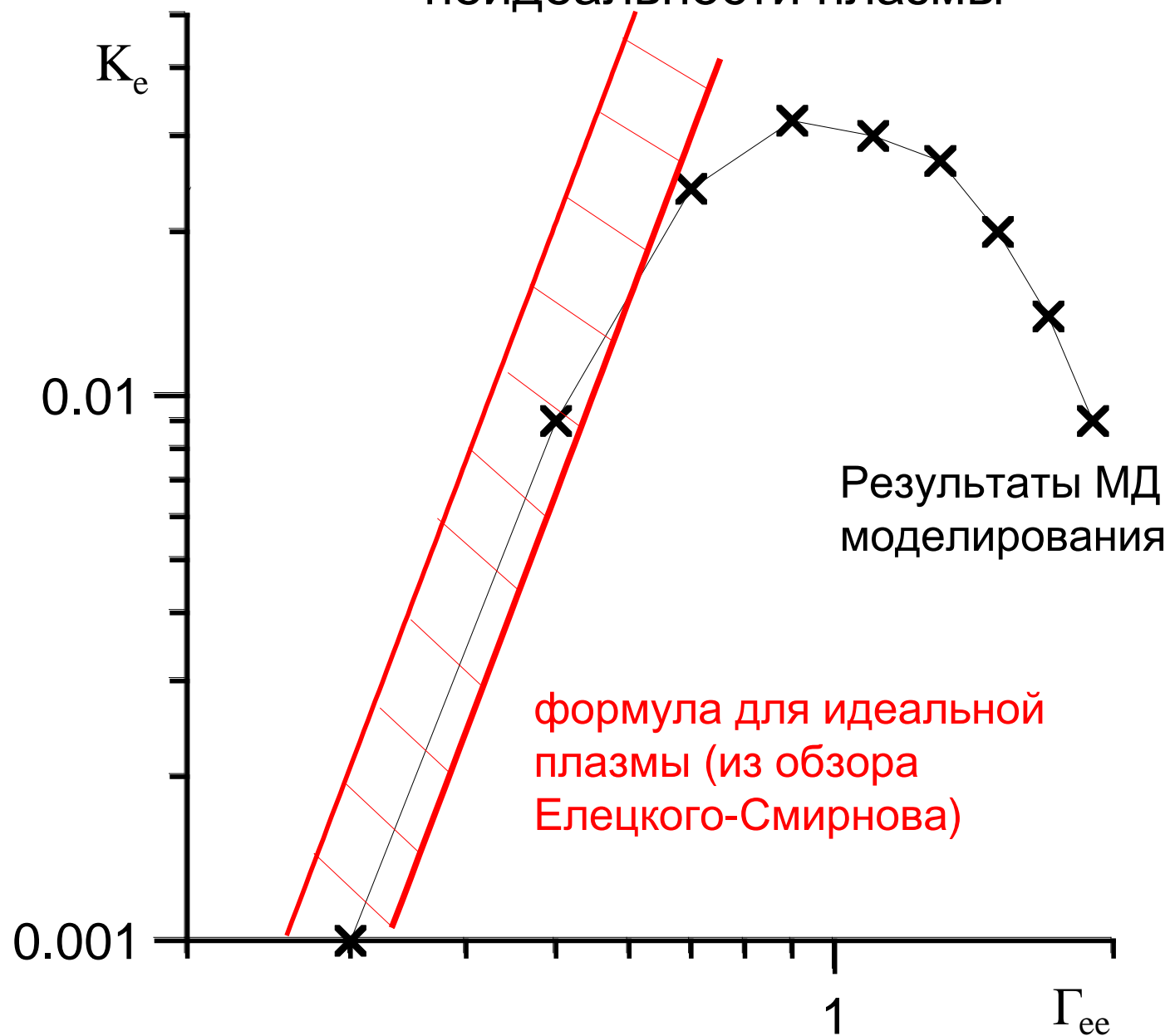


Зависимость от степени неидеальности

Зависимость скорости рекомбинации от степени
неидеальности плазмы при $Z = 1$



Зависимость скорости рекомбинации от степени неидеальности плазмы



Скорость рекомбинации:

$$K_e = \textcircled{C} Z^3 e^{10} m^{-1/2} \cdot n_e^2 n_i T^{-9/2}$$

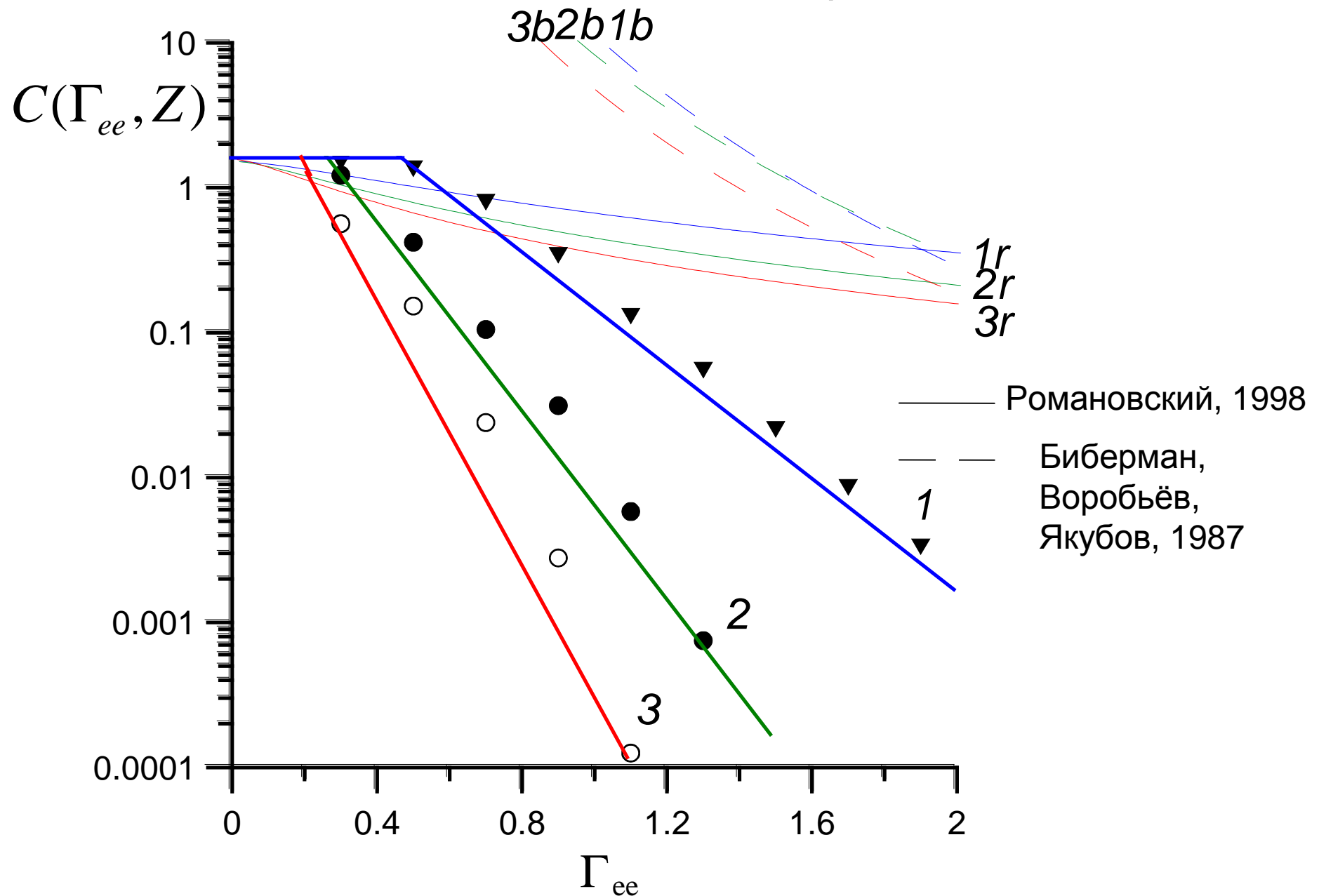
Идеальная плазма:

$$C = 1.4$$

Неидеальная плазма:

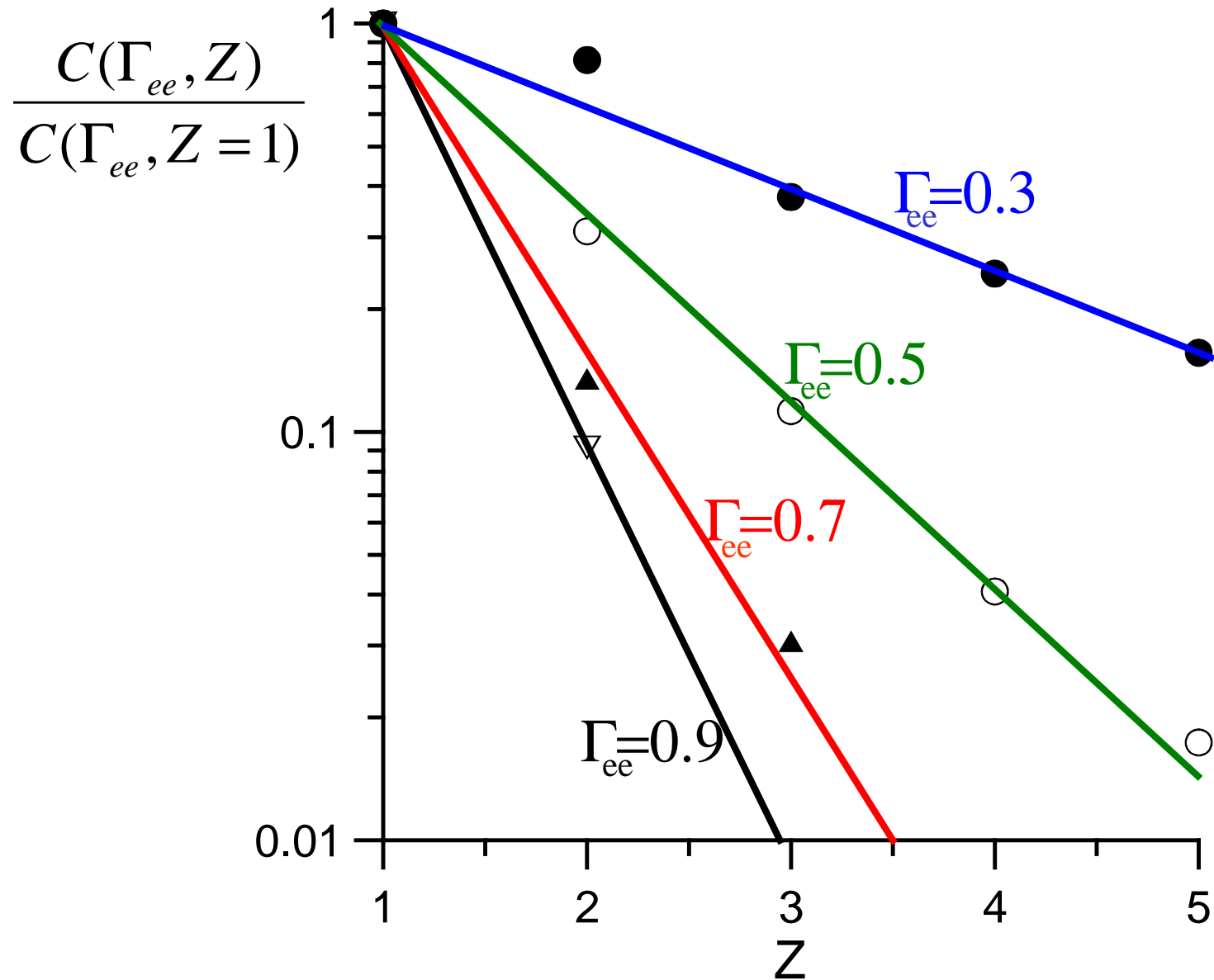
$$C = C(\Gamma_{ee}, Z)$$

Зависимость коэффициента C от параметра неидеальности Γ при $Z = 1 - 3$



Зависимость от заряда ионов

Соотношение между коэффициентами С при
различных значениях заряда иона



Скорость рекомбинации:

$$K = K_0 Z^3 \Gamma^{9/2} e^{-\lambda_0 \Gamma} e^{-\lambda_1 Z \Gamma}$$

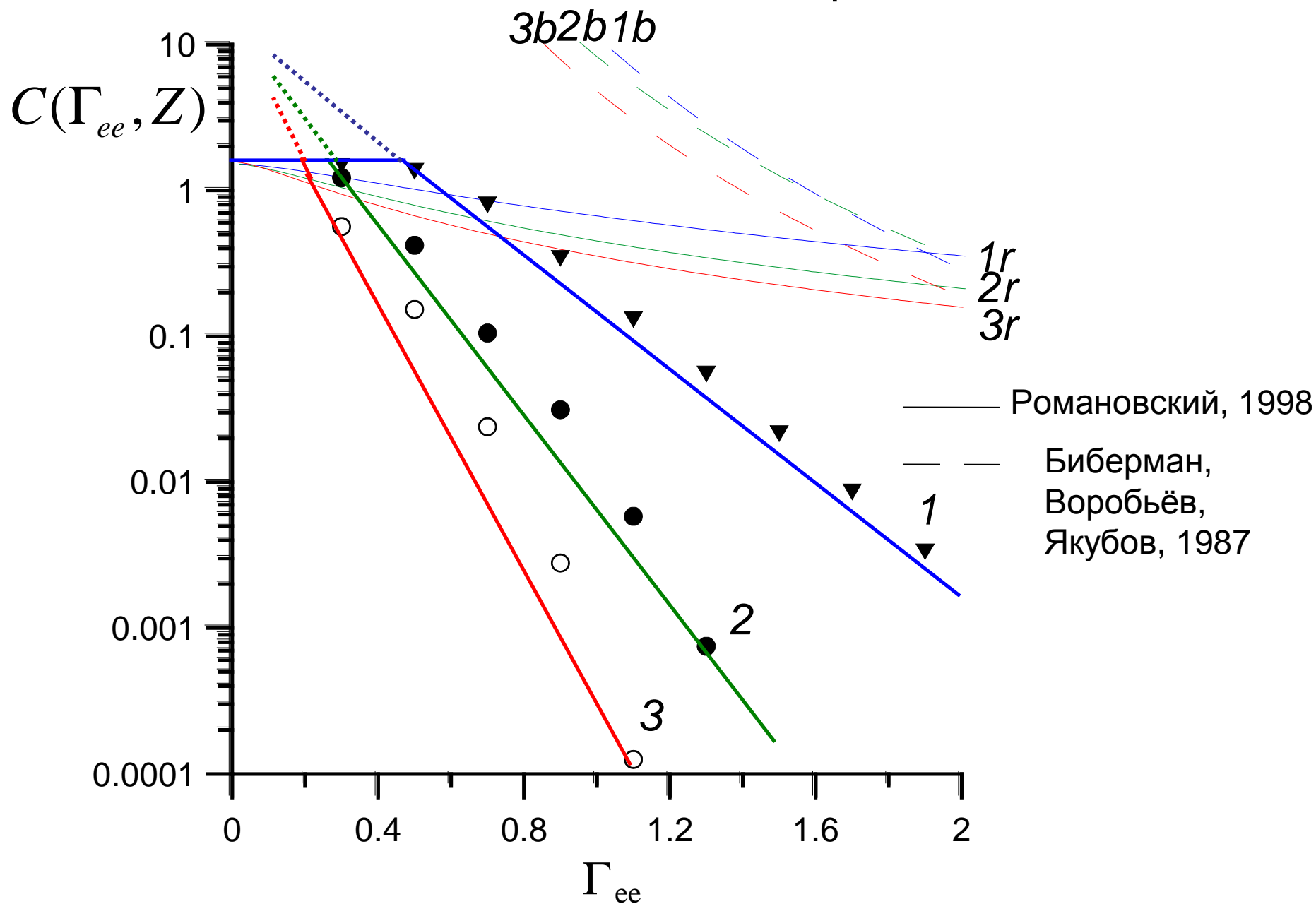
Где набор параметров:

$$K_0 = 2.7$$

$$\lambda_0 = 1.5$$

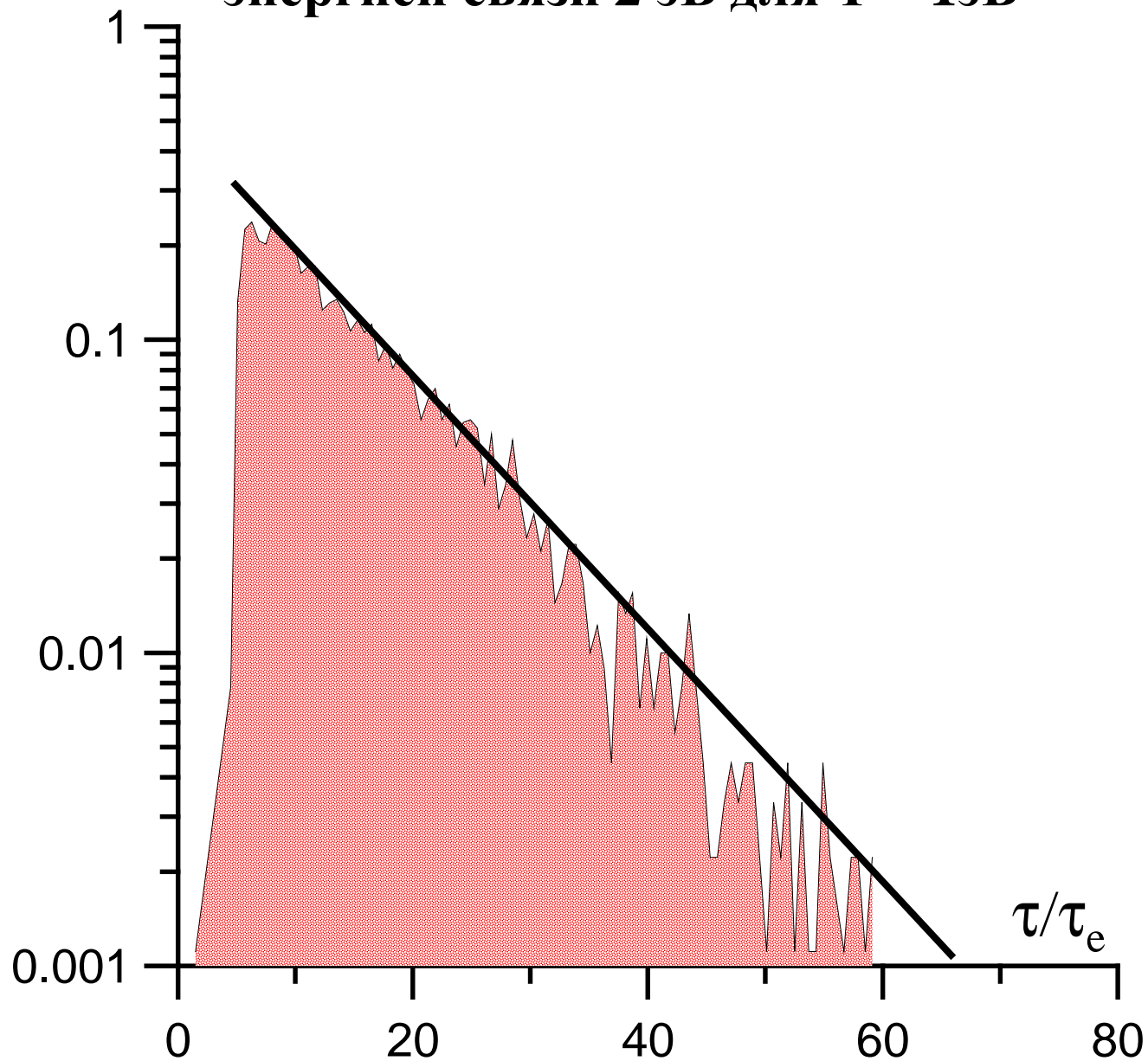
$$\lambda_1 = 3$$

Зависимость коэффициента C от параметра неидеальности Γ при $Z = 1 - 3$

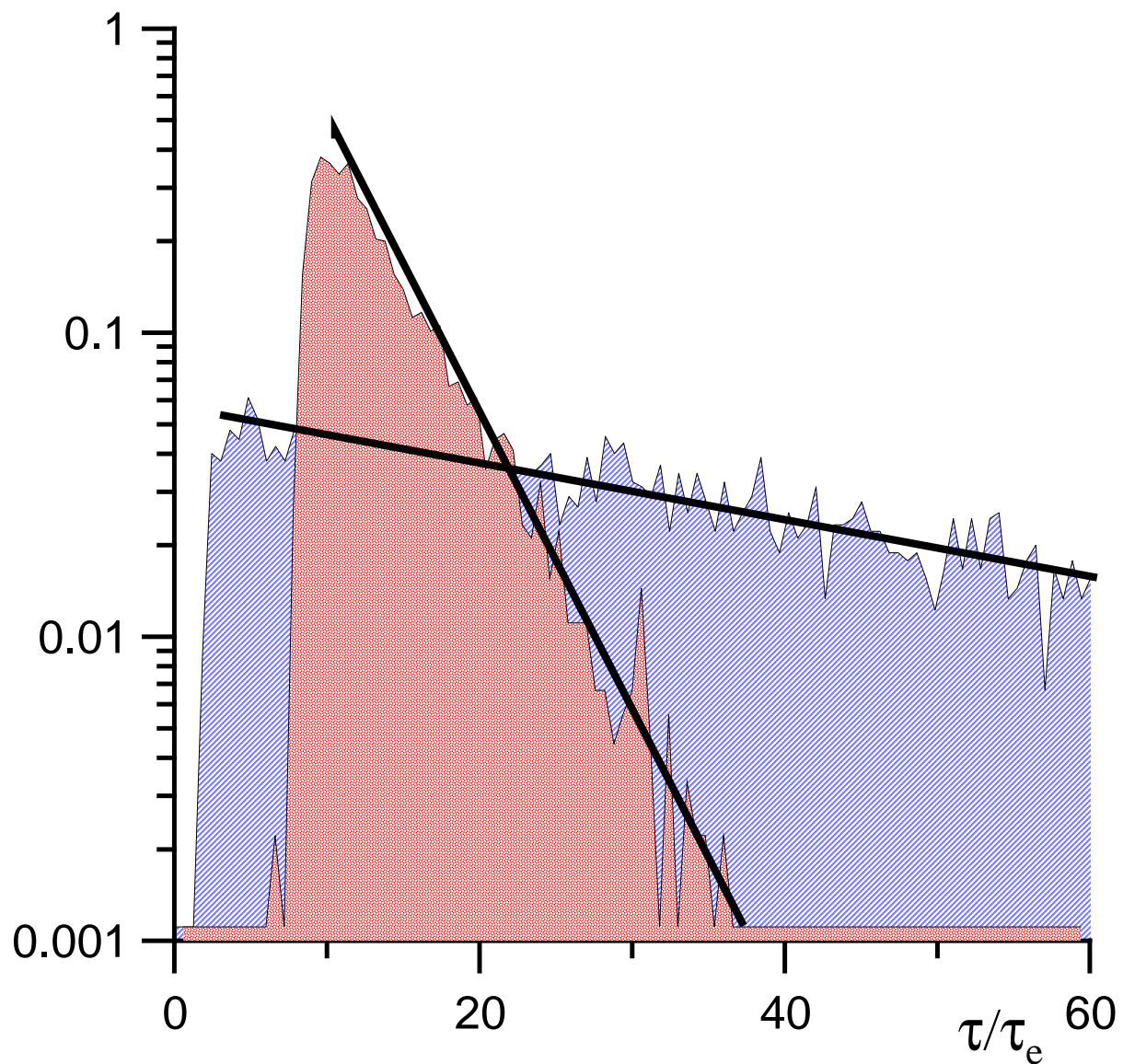


О механизме ионизации и рекомбинации

Распределение по времени жизни для парных флуктуаций с энергией связи 2 эВ для T = 1эВ



Распределение по времени жизни для парных флуктуаций с энергией связи **2 эВ** и **6 эВ** для $T = 1\text{эВ}$



Из экспоненциального характера распределения следует:

$$\phi(2t, E) = \phi^2(t, E). \quad (1)$$

Из марковского характера дрейфа Фоккера-Планка следует:

$$\phi(2t, E) = \int_{\Delta} \rho(E', t | E) \phi(t, E') dE' \quad (2)$$

и

$$\int_{\Delta} \rho(E', t | E) dE' = \phi(t, E) \quad | \cdot \phi(t, E) \quad (3)$$



$$\int_{\Delta} \rho(E', t | E) (\phi(t, E') - \phi(t, E)) dE' = 0 \quad (4)$$

Таким образом

$$\rho(E', t | E)(\phi(t, E') - \phi(t, E)) = 0 \quad \forall E, E' \in \Delta \quad (5)$$

Так как

$$\phi(t, E') \neq \phi(t, E), \quad E \neq E', \quad E, E' \in \Delta \quad (6)$$



$$\rho(E', t | E) = 0, \quad E, E' \in \Delta \quad (7)$$



**Дрейф энергии пары за время её жизни
незначителен**

Выводы

- Результаты МД моделирования согласуются со скоростью трёхчастичной рекомбинации в области малых степеней неидеальности плазмы
- Скорость рекомбинации имеет максимум и убывает с ростом неидеальности при $\Gamma_{ee} > 0.9$ ($Z = 1$), $\Gamma_{ee} > 0.7$ ($Z = 2$) и т.д.
- Предложена формула для коэффициента столкновительной рекомбинации
- При высоких значениях степени неидеальности и заряда ионов процесс рекомбинации подавляется
- Рекомбинация и ионизация пар происходит в результате единичных столкновений электронов, а не в результате дрейфа Фоккера-Планка