

**ПРИНЦИП ОНЗАГЕРА
И БАЗОВЫЕ ХИМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ
НЕИДЕАЛЬНОЙ АТОМАРНОЙ
ПЛАЗМЫ**

Хомкин А.Л.
Шумихин А.С.

Объединенный институт высоких температур РАН

Предмет исследований: неидеальная атомарная плазма

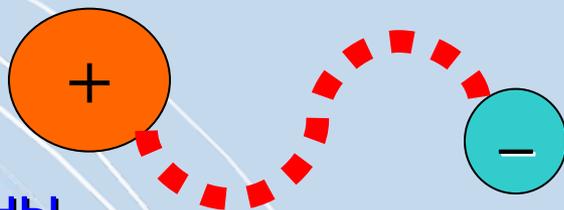


$$n_e \lambda_e^3 = \frac{\Gamma^2}{(\beta Ry)^{3/2}} \frac{\sqrt{\pi}}{8} < 1$$

$$\lambda_e \kappa = \Gamma \sqrt{\frac{\pi}{\beta Ry}} < 1$$

● N_i -ионы

● N_e -электроны



ПРИНЦИП ОНЗАГЕРА

Onsager's bookkeeping rule
Правило бухучета Онзагера

...вклад связанных и свободных состояний в химических моделях плазмы подобен страницам в бухгалтерской книге.

При правильно организованном бухгалтерском учете итоговый результат не зависит от распределения страниц.

**J. Onsager, Proceedings of the "Conference on Electrochemistry",
Montpellier, France, 1998**

**ХИМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И ПАРАДОКСЫ
ИОНИЗАЦИОННОГО РАВНОВЕСИЯ
В АТОМАРНОЙ НЕИДЕАЛЬНОЙ ПЛАЗМЕ**

$$n_a = n_e n_i \frac{\lambda_e^3}{2} \sum_a e^{-\beta \Delta I}$$

$$n_e = n_i$$

$$n = n_i + n_a$$

Σ_a – статистическая сумма атома

ΔI – снижение потенциала ионизации

Сравнивая различные химические модели плазмы

НЕВОЗМОЖНО УСТАНОВИТЬ

какая из них удовлетворяет принципу Онзагера

НУЖЕН ЭТАЛОН



Единственная модель, удовлетворяющая принципу Онзагера

безусловно,

это - **Физическая модель** плазмы

Химические модели, переходящие в модель

физическую

удовлетворяют принципу Онзагера

**БАЗОВЫЕ ХИМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ
НЕИДЕАЛЬНОЙ АТОМАРНОЙ ПЛАЗМЫ**

© 2004 г. А.Л. Хомкин*, И.А. Муленко**, А.С. Шумихин*

Введено новое для физики неидеальной атомарной плазмы понятие – **«базовые химические модели»**. В основе определения лежит требование полного соответствия свободной энергии химической модели плазмы результатам точных асимптотических разложений, полученным в большом каноническом ансамбле для физической модели плазмы.

**Все БАЗОВЫЕ химические модели и только они
удовлетворяют принципу Онзагера**

$$\beta F = \beta F_{id}^e + \beta F_{id}^i + \beta F_{id}^a (\Sigma_a) + (N_e + N_i) \Delta f$$

$$\Delta f = \frac{\Gamma}{3} - \frac{n_e n_i}{n_e + n_i} \lambda_e^3 \frac{1}{2} (\Sigma_a - \Sigma_{PL}) + O(\Gamma^2)$$

Химические модели атомарной плазмы,
удовлетворяющие этому соотношению,
являются **БАЗОВЫМИ** и следовательно
соответствуют принципу
ОНЗАГЕРА

Уравнение состояния в базовых-онзагеровских химических моделях

$$\beta P = (n_e + n_i)(1 - \Delta p) + n_a$$

$$\Delta p = \Gamma \frac{1}{2} \frac{\partial \Delta f}{\partial \Gamma} + n_a \frac{\partial \ln \Sigma_a}{\partial n_{ei}}$$

$$\Delta p_{PL} = \frac{\Gamma}{6}$$

$$\Delta p_{NNA} = \frac{\Gamma}{6} \left(1 - \frac{\pi \sqrt{3}}{16} \right) - \Gamma^{\frac{5}{3}} \frac{\sqrt{\pi} 3^{\frac{1}{6}} \Gamma(1/6)}{96}$$

№	Авторы	Стат.сум.	Взаимодейст.	БМ
1	Ebeling	ПЛ	Дебай	ДА
2	Грязнов, Иосилевский	ПЛ	Дебай в БКА	ДА*
3	Хомкин, Муленко	ПЛ	Дебай в БКА	Да*
4	Калиткин	МП,лин.	Не Дебай	НЕТ
5	Seaton	МП,лин.	Дебай	НЕТ
6	Севастьяненко	МП	Дебай	НЕТ
7	Saumon, Shabrie	ПБС	Дебай	НЕТ
8	Mihals, Hammer, Darpen	ПБС	Дебай	НЕТ
9	Потехин	ПБС	Дебай	НЕТ
10	Хомкин, Шумихин	ПБС	Не Дебай	ДА
11	Веденов, Ларкин, Эбелинг, Красников, Старостин	Физическая модель		

БАЗОВЫЕ ХИМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ
И
ПРИНЦИП ОНЗАГЕРА
В
КАНОНИЧЕСКОМ АНСАМБЛЕ



W. Ebeling and S. Hilbert
On Saha's equation for partially ionized plasmas
and Onsager's bookkeeping rule
Eur. Phys. J. D 20, 93-101 (2002)

Высокотемпературный предел

**ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ В
КАНОНИЧЕСКОМ АНСАМБЛЕ**



$$\beta P = 2z\left(1 + \frac{\alpha}{3}\right) + z^2 \frac{\lambda_e^3}{2} \Sigma_{PL}$$

$$n = z\left(1 + \frac{\alpha}{2}\right) + z^2 \frac{\lambda_e^3}{2} \Sigma_{PL}, \text{ где } \alpha = \beta e^2 \sqrt{8\pi\beta e^2 z}$$

Ищем решение в виде:

$$z = n(1 - \Delta). \quad \Delta = \frac{\Gamma}{2}, \text{ где } \Gamma = \beta e^2 \sqrt{8\pi\beta e^2 n}$$

В результате получаем
уравнение состояния
для *физической*
модели плазмы
в *каноническом* ансамбле:

$$\beta P = 2n\left(1 - \frac{\Gamma}{6} + O(\Gamma^2)\right)$$

ЭТАЛОН

Высокотемпературный предел

ХИМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ



$$\beta P = (n_e + n_i)(1 - \Delta p) + n_a$$

$$n_e = n_i, \quad n = n_i + n_a$$

$$\delta = \frac{n_a}{n}$$

$$n_a = \delta n$$

$$n_e = n_i = (1 - \delta)n$$

$$\delta = n \frac{\lambda_e^3}{2} \Sigma_a \Big|_{T \rightarrow \infty}$$

$$\beta P = 2n(1 - \delta)(1 - \Delta p) + \delta n =$$

$$\beta P = 2n \left[1 - \left(\Delta p + \frac{\delta}{2} \right) + O(\Delta p \delta) \right]$$

ХИМ. МОД.

$$\beta P = 2n \left(1 - \frac{\Gamma}{6} + O(\Gamma^2) \right)$$

ФИЗ. МОД.

$$\frac{\Gamma}{6} = \Delta p + \frac{\delta}{2}$$

Некоторые
следствия

$$\frac{\Gamma}{6} = \Delta p + \frac{\delta}{2}$$

$$\delta_{PL} = \Gamma^2 \frac{\pi^{5/2}}{96} \sqrt{\beta Ry}$$

$$\Delta p_{PL} = \frac{\Gamma}{6}$$

$$\delta_{NNA} = \Gamma \frac{\pi\sqrt{3}}{48} + \Gamma^{\frac{5}{3}} \frac{\sqrt{\pi} 3^{\frac{1}{6}} \Gamma(\frac{1}{6})}{48} + \Gamma^2 \frac{\pi^{5/2}}{96} \sqrt{\beta Ry}$$

$$\Delta p_{NNA} = \frac{\Gamma}{6} \left(1 - \frac{\pi\sqrt{3}}{16}\right) - \Gamma^{\frac{5}{3}} \frac{\sqrt{\pi} 3^{\frac{1}{6}} \Gamma(1/6)}{96}$$

$$\Delta p_{NNF} + \frac{\delta_{NNA}}{2} = \frac{\Gamma}{6}$$

**РЕЗУЛЬТАТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ
ДЛЯ БАЗОВЫХ ХИМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ
ИЗ**

**БОЛЬШОГО КАНОНИЧЕСКОГО
И
КАНОНИЧЕСКОГО АНСАМБЛЕЙ**

СОВПАЛИ

ПРИНЦИПУ ОНЗАГЕРА

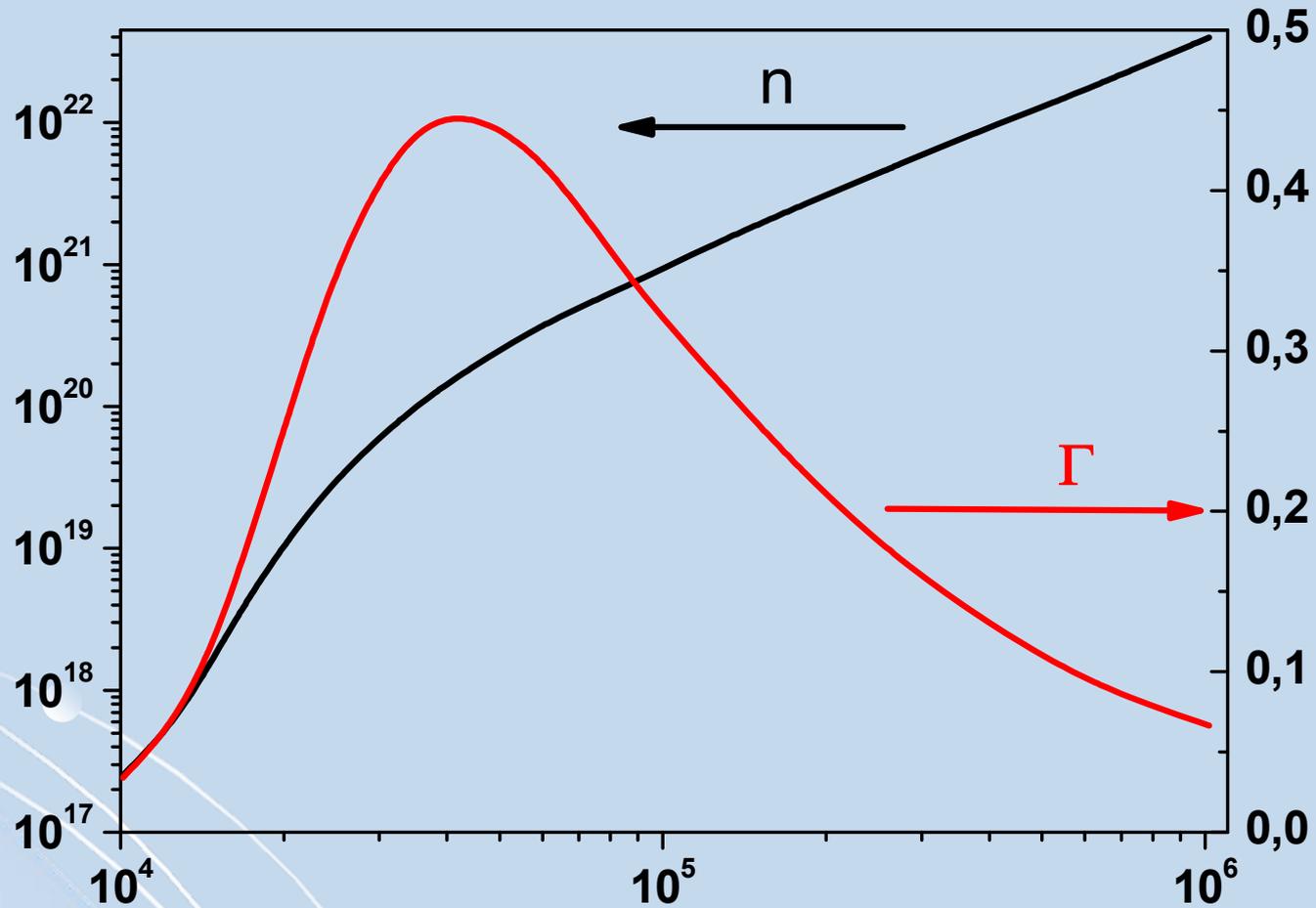
УДОВЛЕТВОРЯЮТ

БАЗОВЫЕ ХИМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И ТОЛЬКО

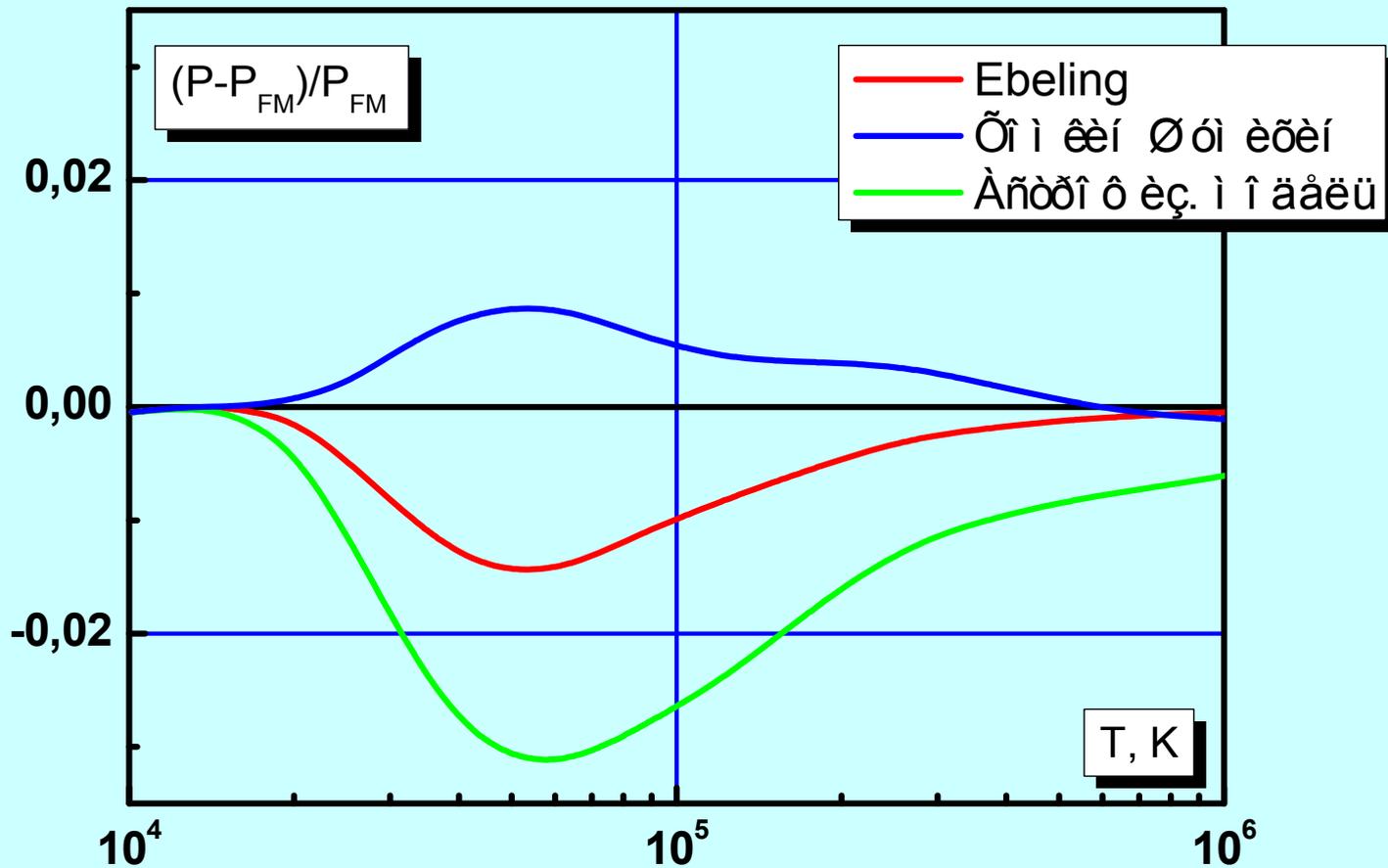
ОНИ

ГЕЛИОСЕЙСМОЛОГИЯ

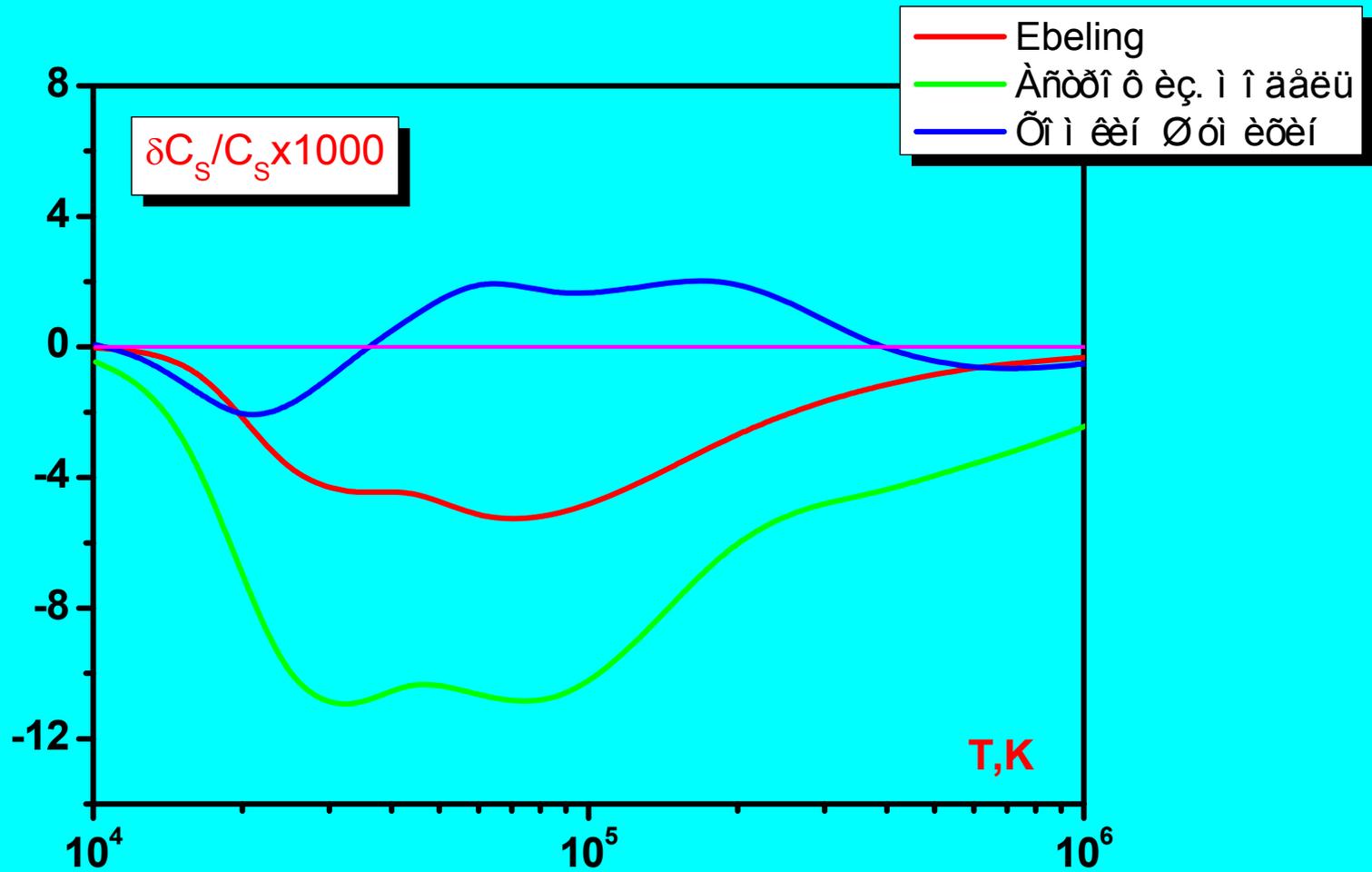




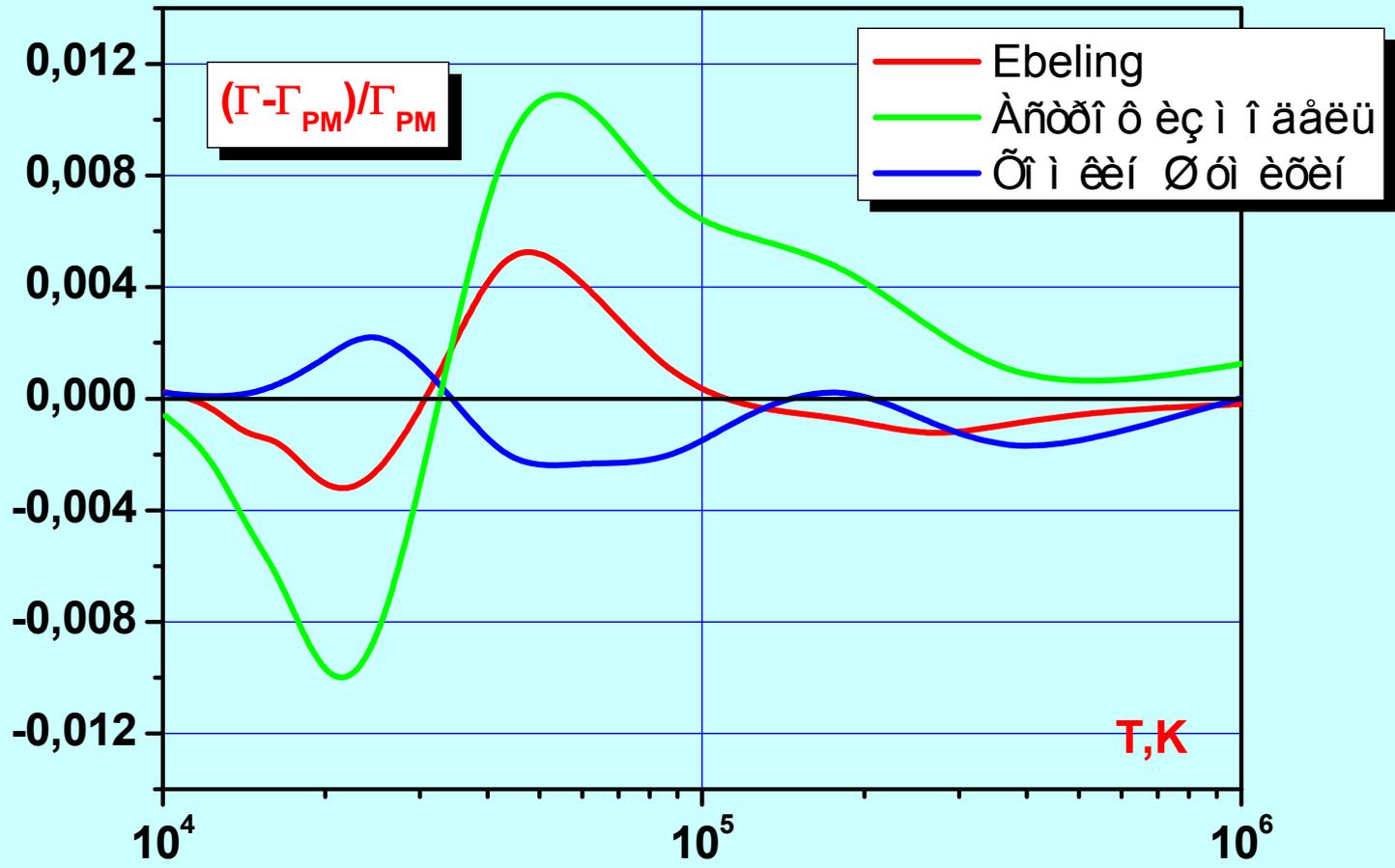
		Поправка	Статсумма
1	Ebeling	$\Delta P = \frac{\Gamma}{6}$	Σ_{PL}
2	Астрофиз. модель	$\Delta P = \frac{\Gamma}{6}$	Σ_{NNA}
3	Хомкин Шумихин	ΔP_{NNA}	Σ_{NNA}



Астрофизическая модель не удовлетворяет принципу Онзагера и не является базовой



Ï î êàçàòáëü àäèàáàòû



Чем же отличаются друг от друга базовые химические модели?

Областью применимости и своими экстраполяционными свойствами, которые важны при построении широкодиапазонных моделей

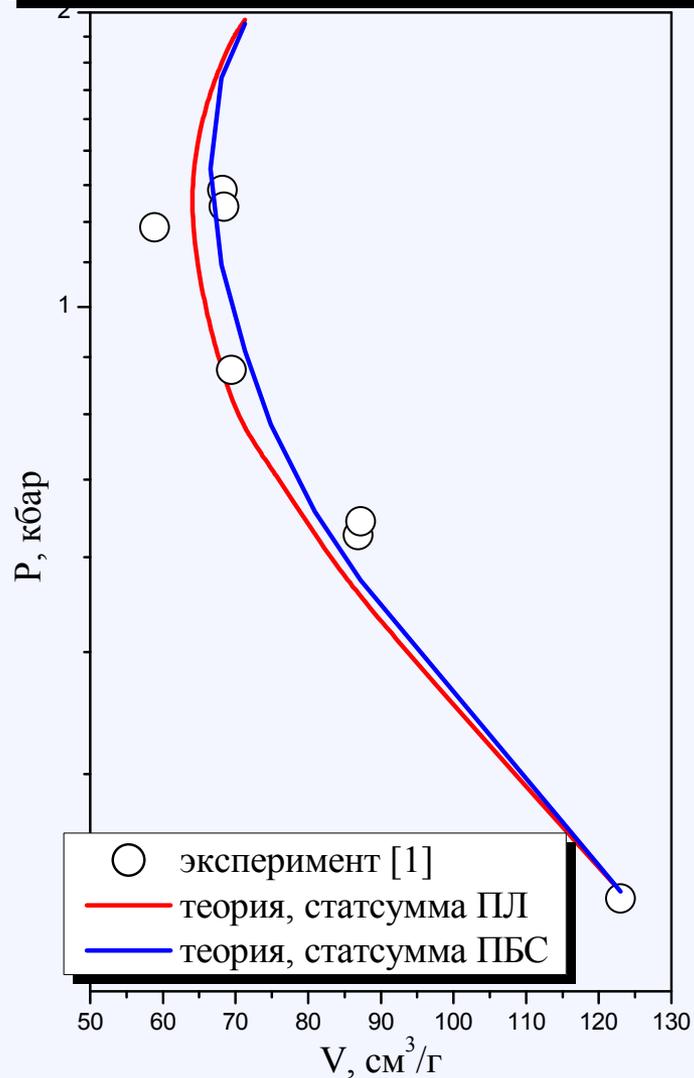
$$\Sigma_{PL} + Deb$$

$$\Sigma_{NNA} + ModDeb$$

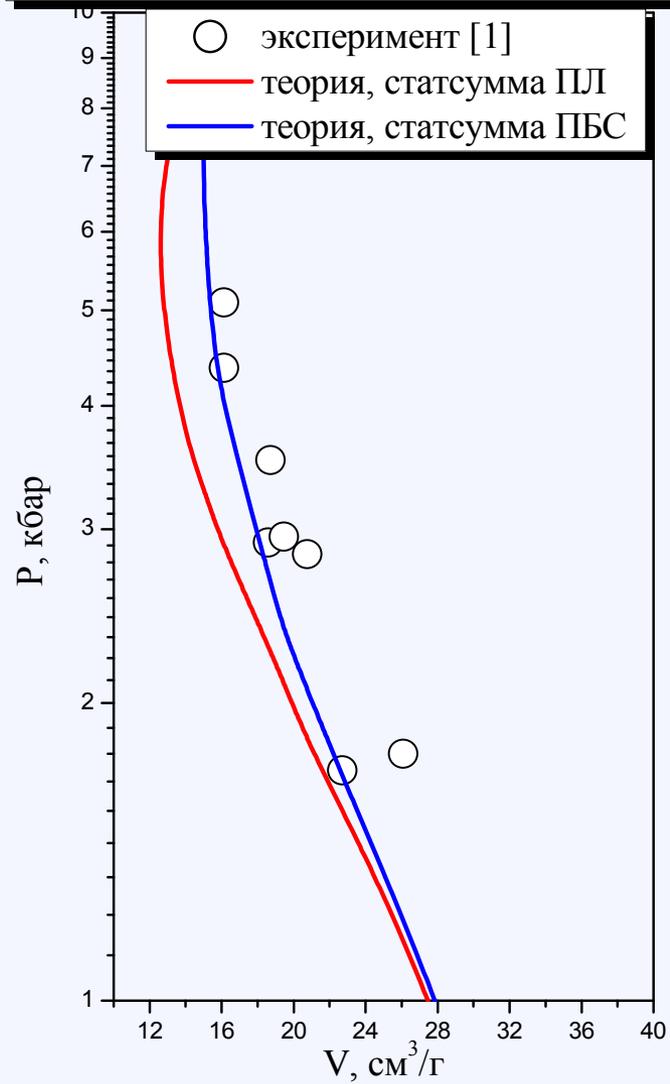
РРТ ?
есть
интрига

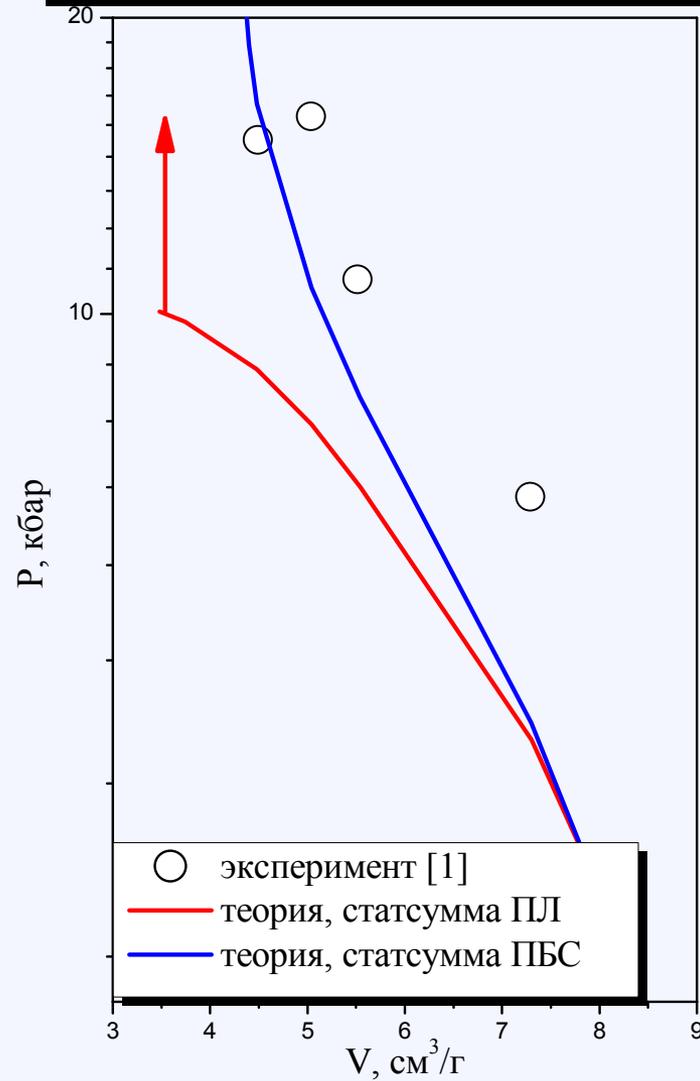
Ударные адиабаты сжатия газообразных аргона и ксенона

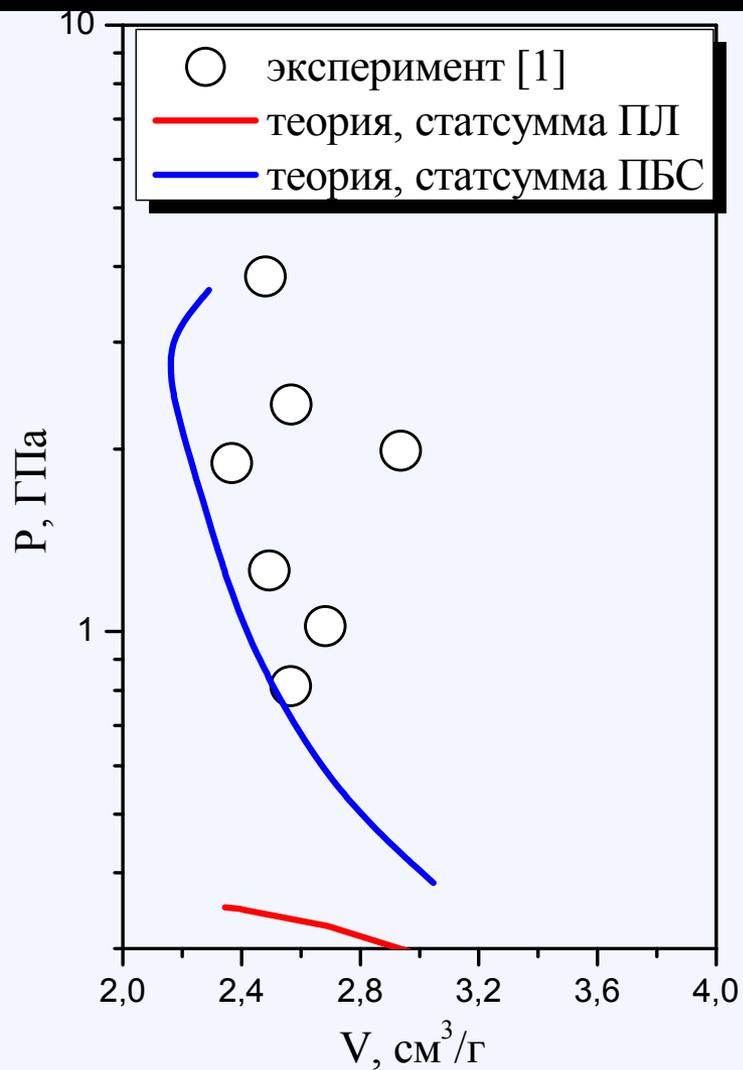
- ЭКСТРАПОЛЯЦИОННЫЕ СВОЙСТВА МОДЕЛЕЙ

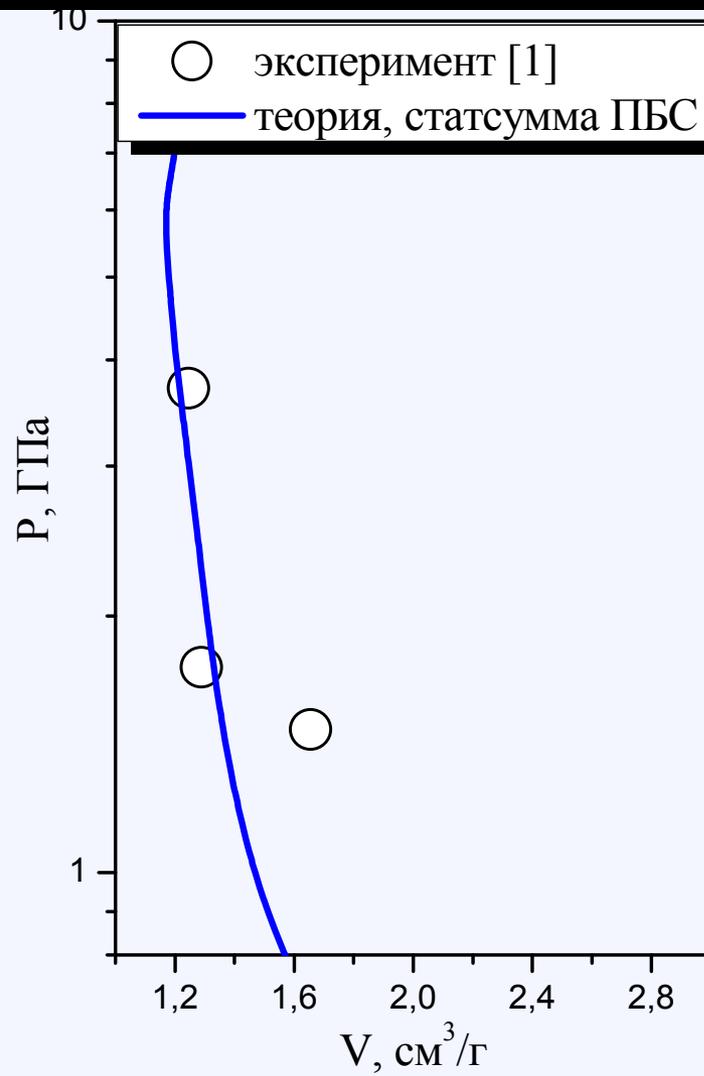
Ударная адиабата аргона ($p_0=1$ атм)

[1] – Термодинамические свойства неидеальной плазмы аргона и ксенона / Грязнов В.К., Жерноклетов М.В., Зубарев В.Н. и др. // ЖЭТФ.-1980.-Т.78, №2.- С.573-585

Ударная адиабата аргона ($p_0=5$ атм)

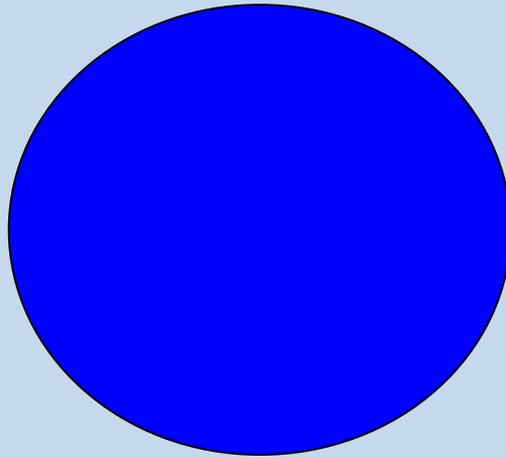
Ударная адиабата аргона ($p_0=20$ атм)

Ударная адиабата ксенона ($p_0=10$ атм)

Ударная адиабата ксенона ($p_0=20$ атм)

**ДЕБАЕВСКУЮ ПОПРАВКУ
К ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИМ ФУНКЦИЯМ
ПРАВОМЕРНО ИСПОЛЬЗОВАТЬ
ТОЛЬКО
В ФИЗИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ И
В ХИМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЭБЕЛИНГА**

Химическая модель Эбелинга,
содержащая зародыш
плазменного фазового перехода
не согласуется
с экспериментально измеренными
адиабатами Гюгонио
газообразного аргона и ксенона



*Спасибо всем
за терпение
и внимание !*

