

СОСТАВ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НЕИДЕАЛЬНОЙ ПЛАЗМЫ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ

М.Т. Габдуллин¹, Т.С. Рамазанов², К.Н. Джумагулова²

¹ ННЛОТ, КазНУ им. аль-Фараби, пр. аль-Фараби 71, Алматы 050038, Казахстан
² ИНИИЭТФ, КазНУ им. аль-Фараби, пр. аль-Фараби 71, Алматы 050038, Казахстан



ПАРАМЕТРЫ ПЛАЗМЫ

$$T = 3 \times 10^4 \times 10^5 \text{ K}$$

$$\text{Плотность } n = n_e + \sum_{i=1}^N n_i + n_a = 10^{18} \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$$

ПОТЕНЦИАЛЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Эффективные потенциалы взаимодействия для заряженных частиц [1]:

$$\Phi_{ab}(r) = \frac{(Z_a Z_b e)^2}{\sqrt{1 - 4\lambda_{ab}^2/r_D^2}} \left(\frac{e^{-Ar}}{r} - \frac{e^{-Br}}{r} \right) \quad (1)$$

где λ_{ab} - длина волны де-Бройля,
 $Z_a e$, $Z_b e$ - электрический заряд для a и b частиц,
 $m_{\Sigma b} = m_{\Sigma} m_b / (m_{\Sigma} + m_b)$ - приведенная масса a и b частиц,
 r_D - радиус Дебая,
 $A^2 = \frac{1}{2\lambda_{ab}^2} (1 + \sqrt{1 - \lambda_{ab}^2/r_D^2})$ и $B^2 = \frac{1}{2\lambda_{ab}^2} (1 - \sqrt{1 - \lambda_{ab}^2/r_D^2})$

Потенциалы взаимодействия между заряженными частицами и атомами, учитывающие кванто-механические эффекты дифракции и экранировку [2]:

$$\Phi(r) = -\frac{e^2 \Sigma}{2r^4 (1 - 4\lambda^2/r_D^2)} (e^{-Br} (1 + Br) - e^{-Ar} (1 + Ar))^2 \quad (2)$$

Потенциал Букенгема [3]:

$$\Phi_{ea}(r) = -\frac{e^2 \Sigma_D}{2(r^2 + r_0^2)^2} \exp\left(-\frac{2r}{r_D}\right) \left(1 + \frac{r}{r_D}\right)^2 \quad (3)$$

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НЕИДЕАЛЬНОЙ ПЛАЗМЫ

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX:

$$\mu^{\Sigma} = \frac{\partial F}{\partial N_{\Sigma}}, \quad \Delta \mu_a = \left(\frac{\partial \Delta F}{\partial N_a} \right)_{T,P} \quad (4)$$

Свободная энергия:

$$\frac{E}{T^2} = -\frac{\partial F}{\partial T}, \quad \frac{\Delta E}{T^2} = -\frac{\partial \Delta F}{\partial T}, \quad \frac{\Delta F}{N k_B T} = \int_0^r \frac{d\Gamma}{\Gamma} \left(\frac{\Delta E}{N k_B T} \right) \quad (5)$$

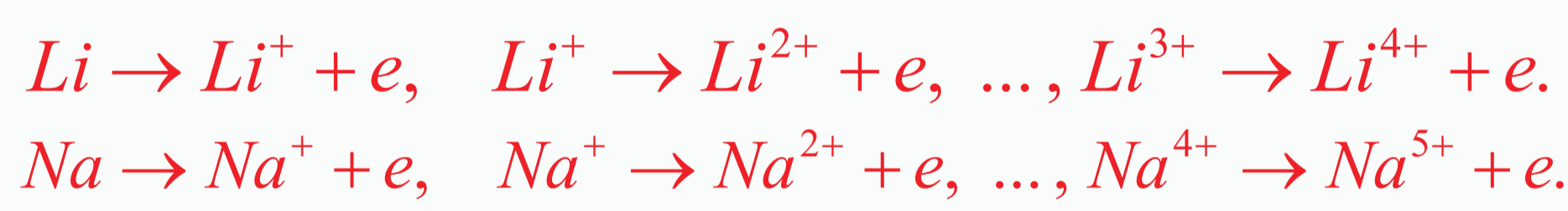
Внутренняя энергия плазмы:

$$\Delta E = \frac{V}{2} \sum_{\Sigma} e Z_{\Sigma} n_{\Sigma} \Phi_{\Sigma}, \quad (6)$$

где V - объем плазмы, $e Z_{\Sigma} \Phi_{\Sigma}$ - потенциальная энергия каждого иона в электронном поле; Φ_{Σ} - потенциальная энергия создаваемая каждым зарядом в месте пробного иона.

СОСТАВ ПЛОТНОЙ ПЛАЗМЫ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ

RRRRRRRR RRRRRRRRR R R R RRRRR R:



Система уравнений Саха:

$$n_0 = \frac{g_0}{g_1} n_1 \exp[\beta(\mu_e^{id} + E_{ion}^1 + \Delta\mu_1)],$$

$$\dots$$

$$n_{k-1} = \frac{g_{k-1}}{g_k} n_k \exp[\beta(\mu_e^{id} + E_{ion}^k + \Delta\mu_k)]. \quad (7)$$

где μ_i - химический потенциал плазмы,
 $\{i\} = \{e, 1+, 2+, \dots, 5+, 0\}$ - сорта частиц,
 E_{ion}^k - потенциал ионизации атомов и ионов.

Закон сохранения числа ядер:

$$\sum_k n_k + n_0 = const. \quad (8)$$

Закон сохранения электронной neutrality:

$$\sum_k k n_k = n_e. \quad (9)$$

Поляризационный вклад атомов [3] был вычислен на основе потенциала взаимодействия электрона с атомом (2):

$$\mu_{eLi,Na}^{nonid} = n_{Li,Na}^0 B^{PP}, \quad B^{PP} = \int d^3 r \Phi_{ea}(r). \quad (10)$$

Введение. В представленной работе состав плотной плазмы щелочных металлов вычислялся с помощью системы уравнения Саха с учетом снижения потенциала ионизации. Снижение потенциалов ионизации было вычислено на основе эффективных потенциалов взаимодействия, учитывающие кванто-механический эффект дифракции и эффект экранировки.

СОСТАВ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА Li ПЛАЗМЫ

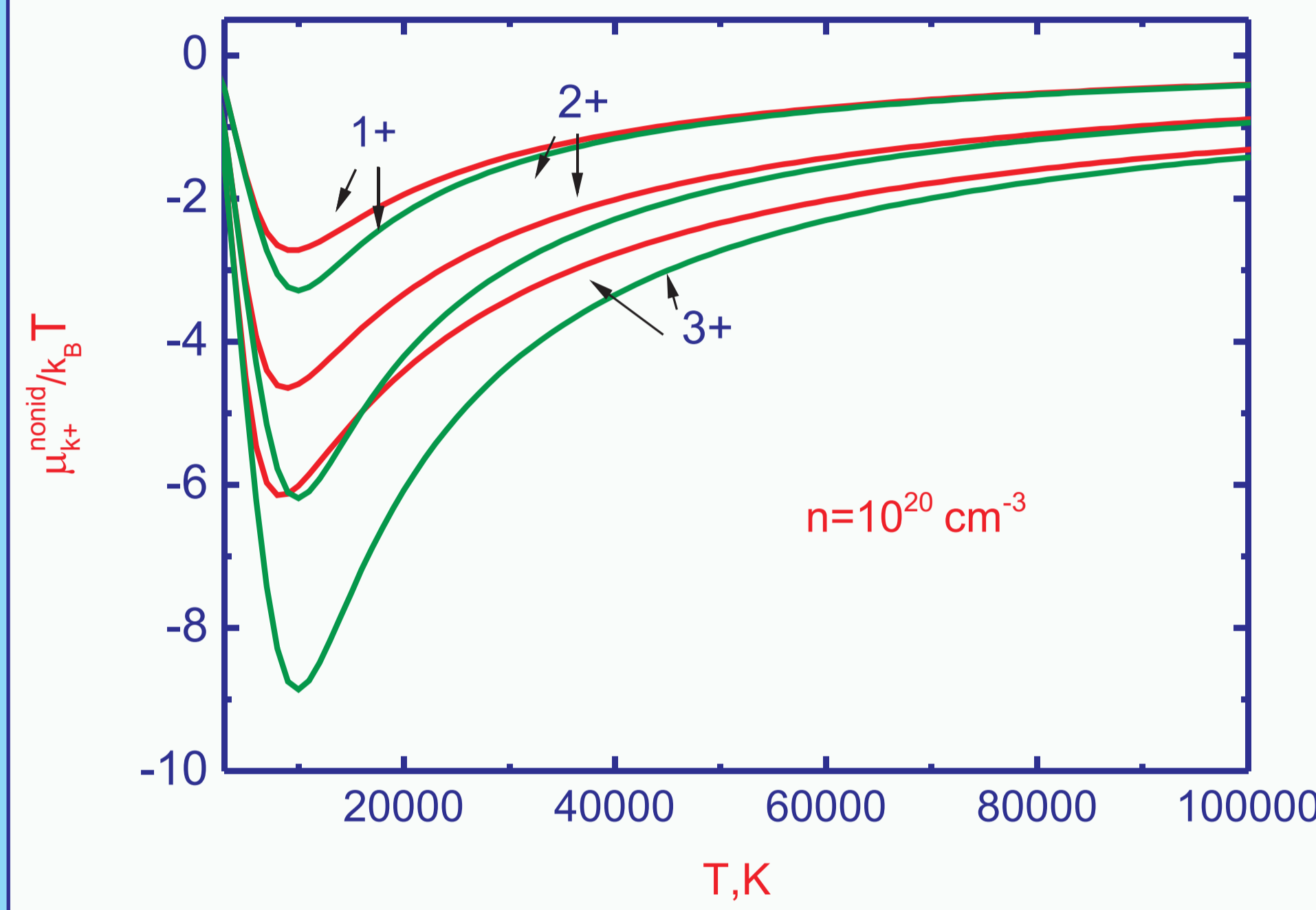


Рис. 1. Поправка к химическому потенциалу Li плазмы: зеленые линии - теория Дебая; красные линии - результаты представленной работы

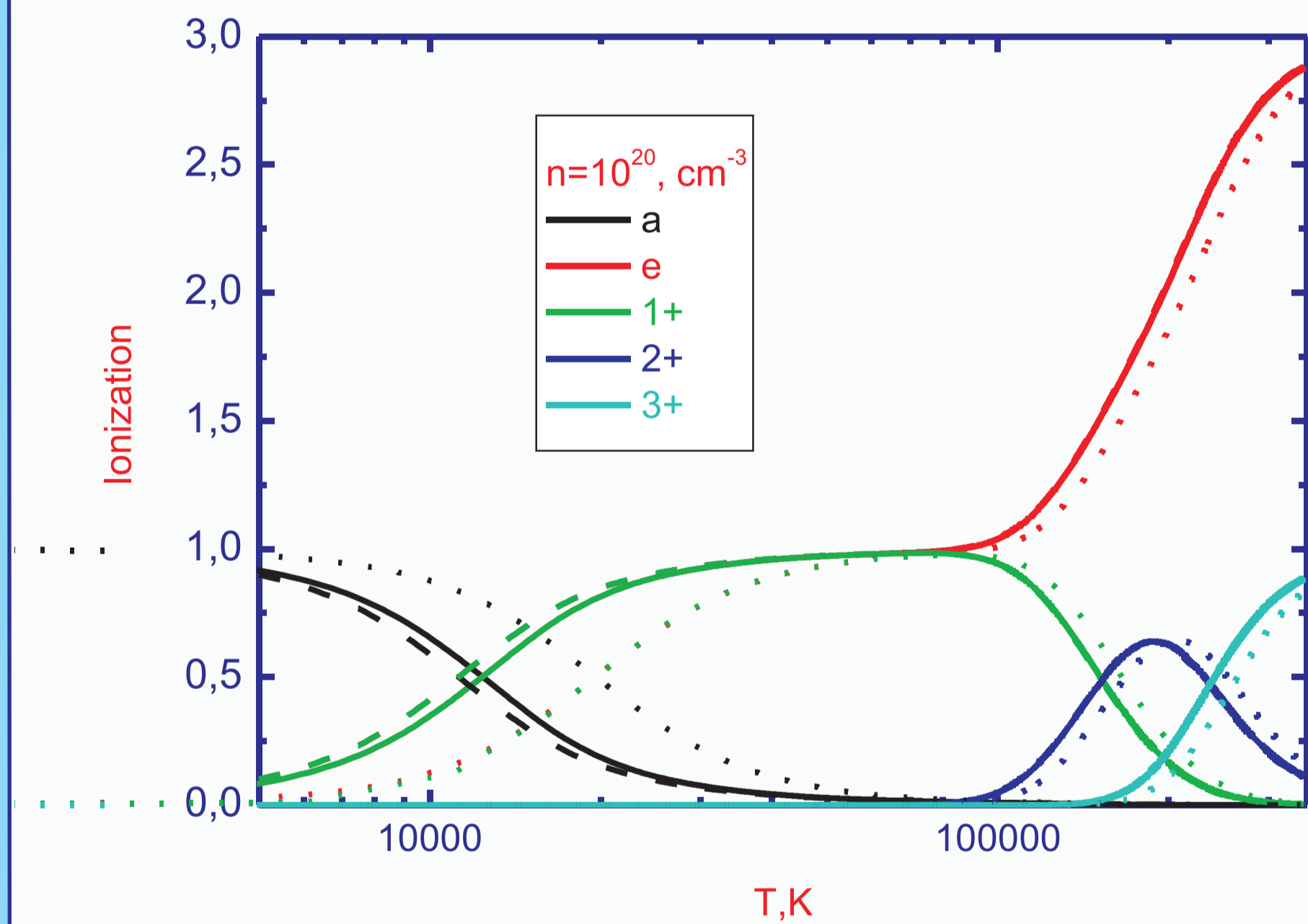


Рис. 2. Состав Li плазмы: сплошная линия - результаты представленной работы; пунктирная линия - теория Дебая; точки - без учета снижения потенциала ионизации.

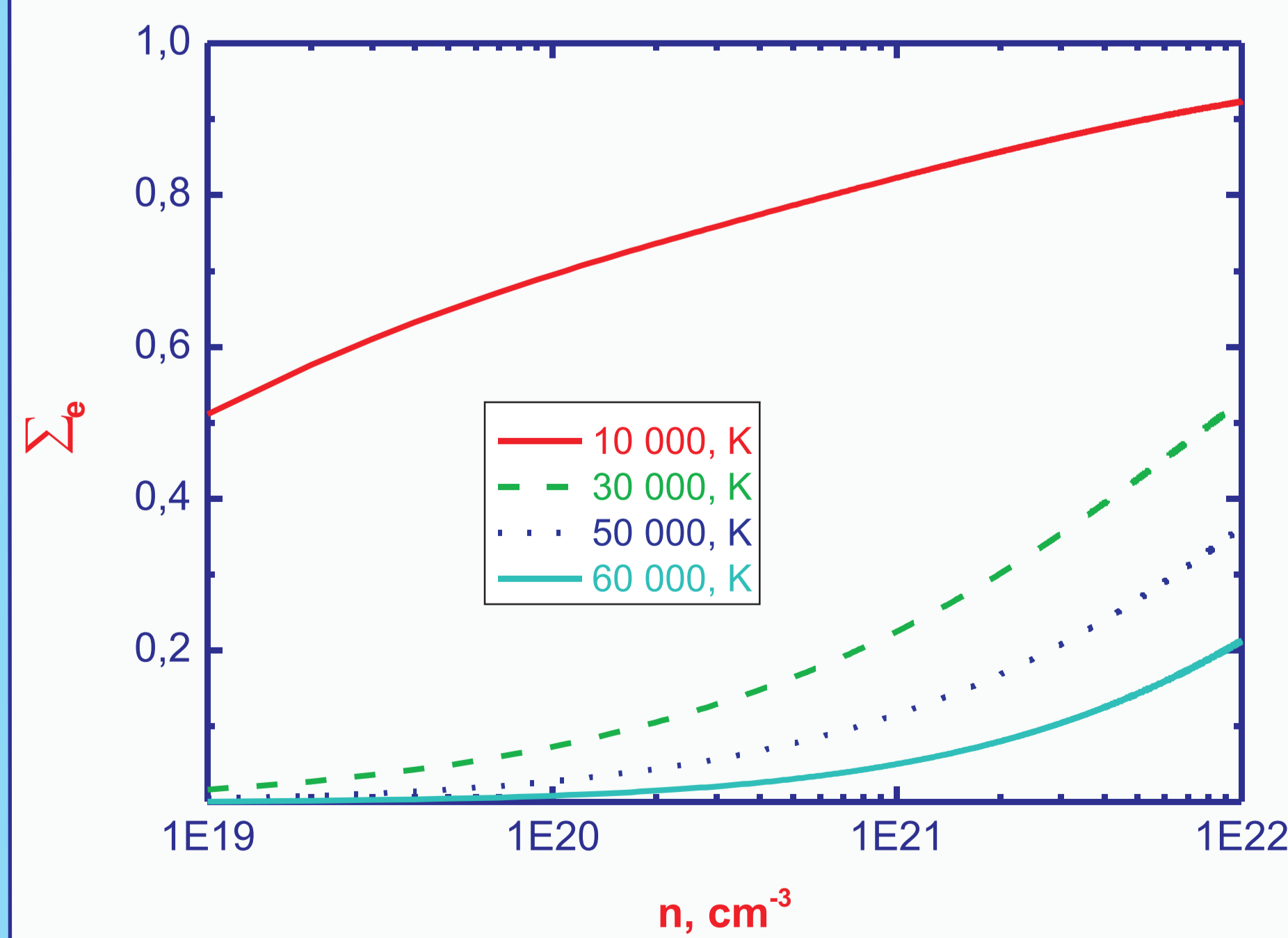


Рис. 3. Степень ионизации плотной Li плазмы при различных значениях температуры

СОСТАВ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА Na ПЛАЗМЫ

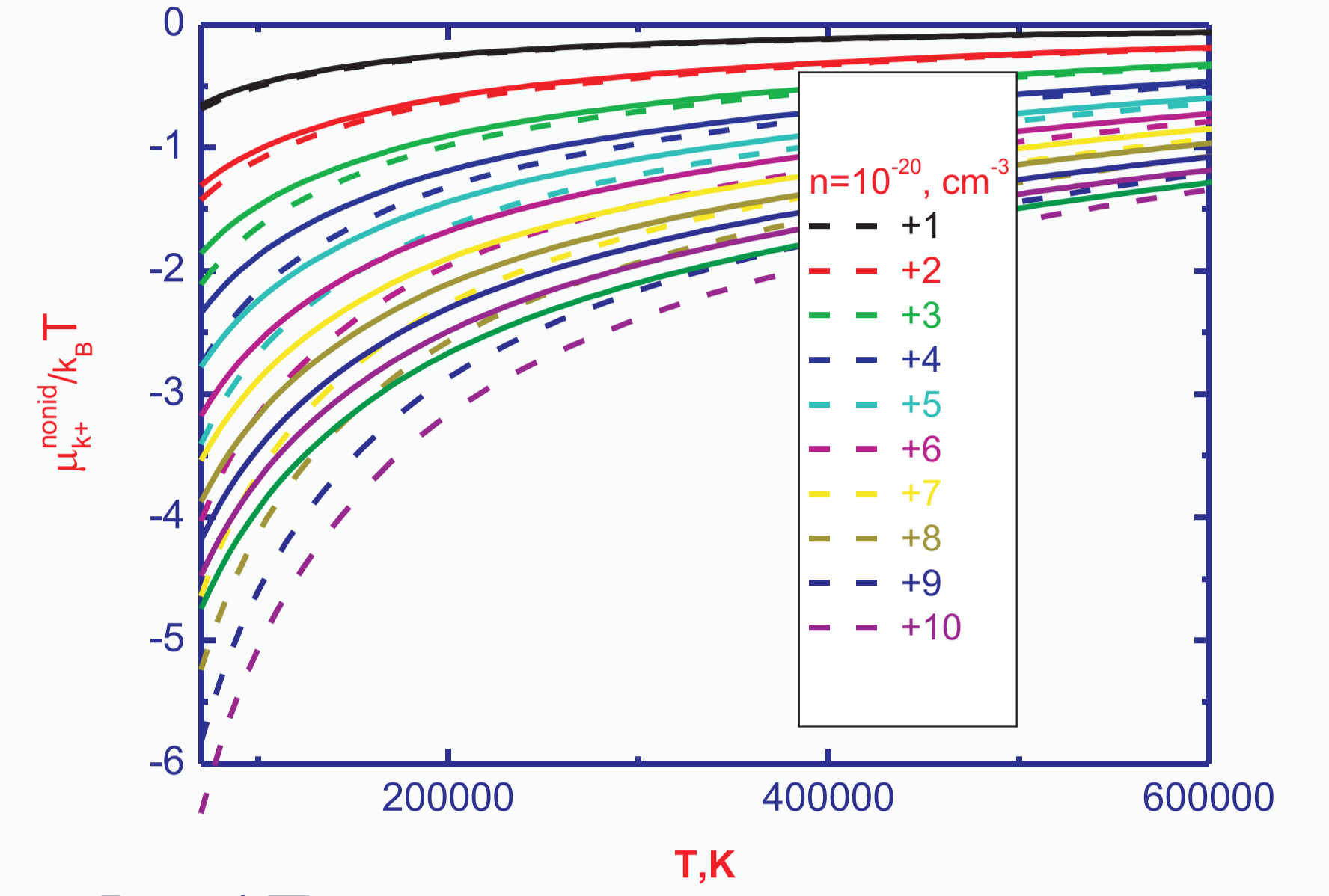


Рис. 4. Поправка на неидеальность к химическому потенциалу плазмы Na: пунктирные линии - теория Дебая; сплошные линии - результаты представленной работы.

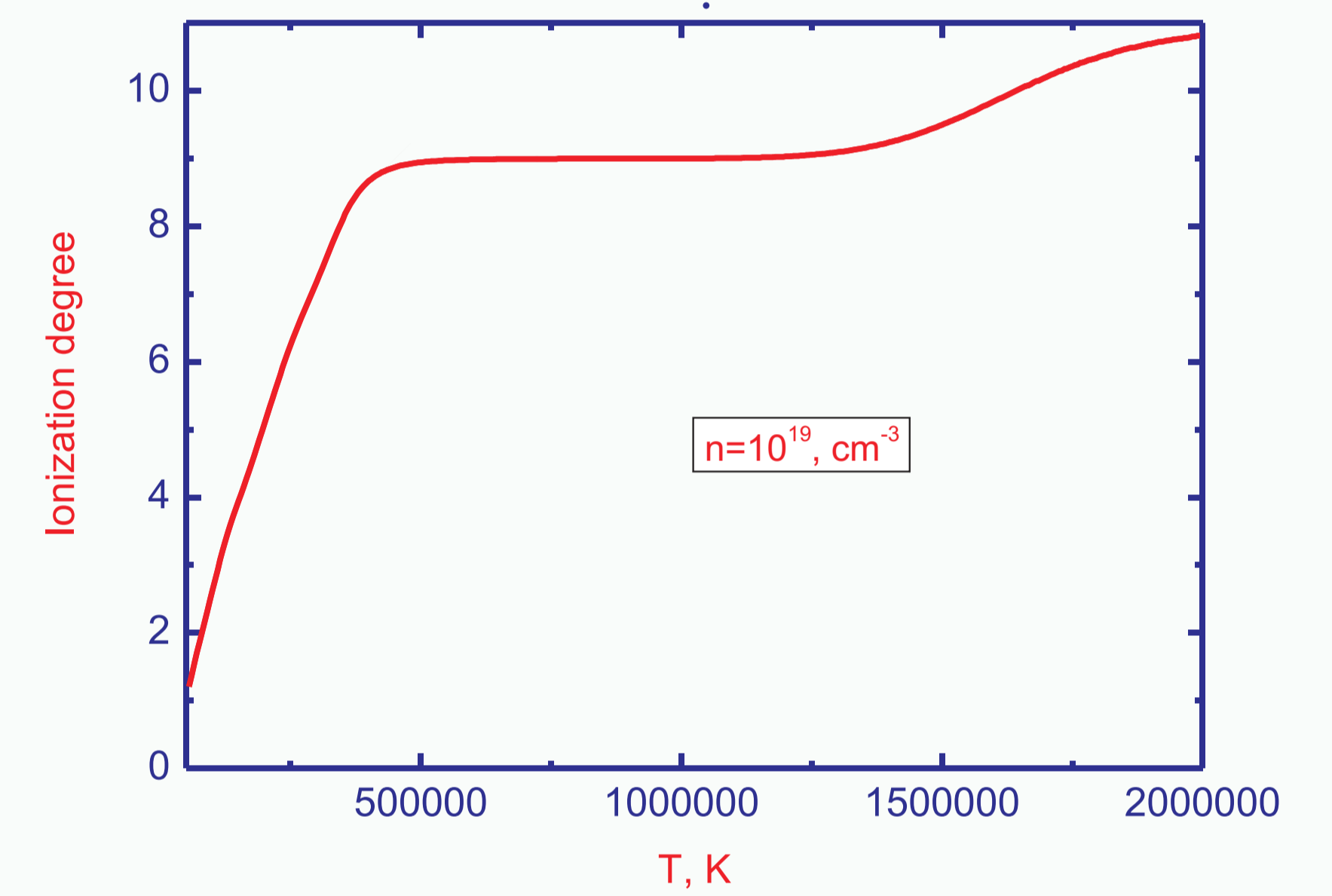


Рис. 5. Степень ионизации плотной плазмы Na как функция от температуры при постоянном числе частиц

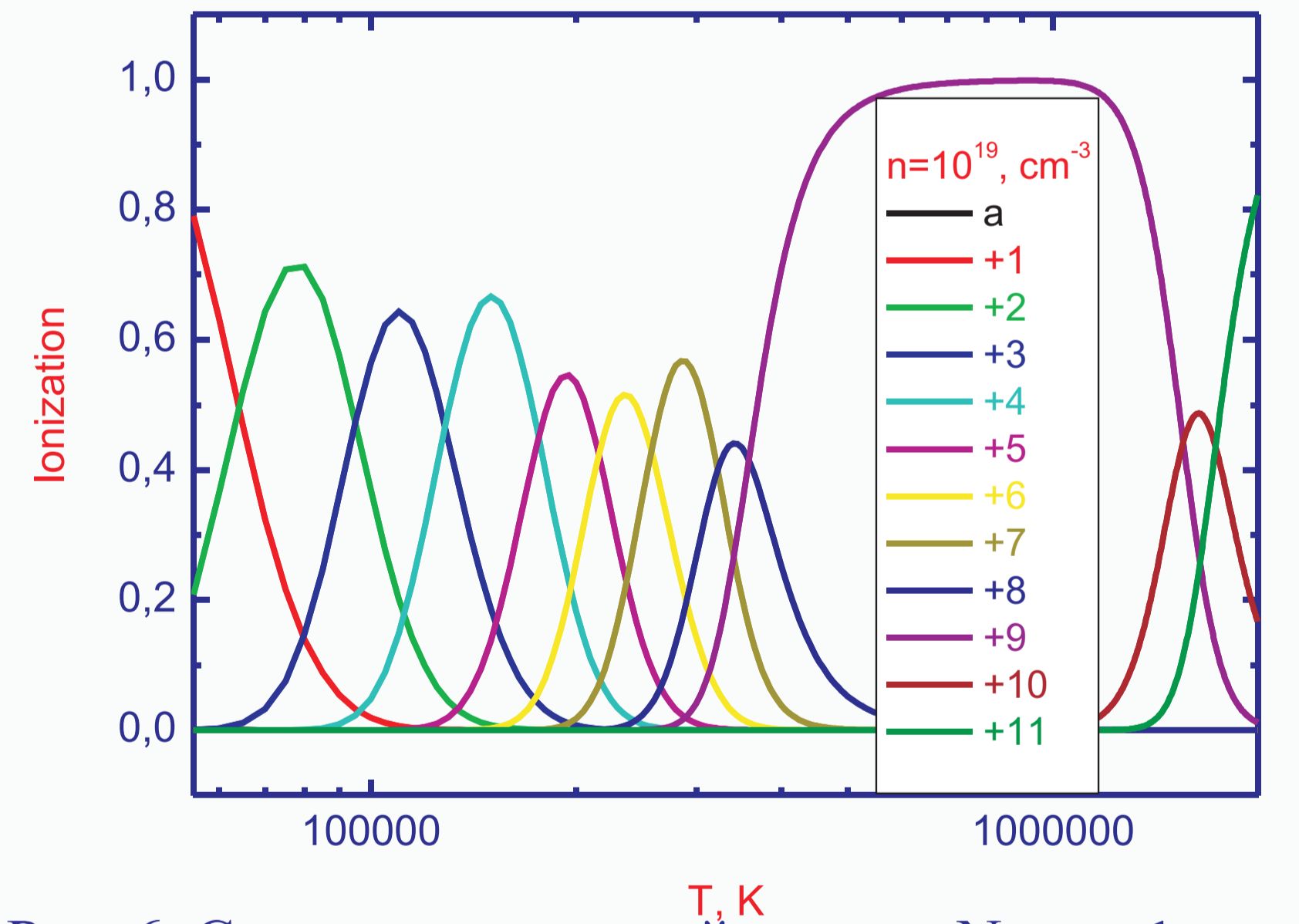


Рис. 6. Состав неидеальной плазмы Na как функция от температуры при постоянном числе частиц

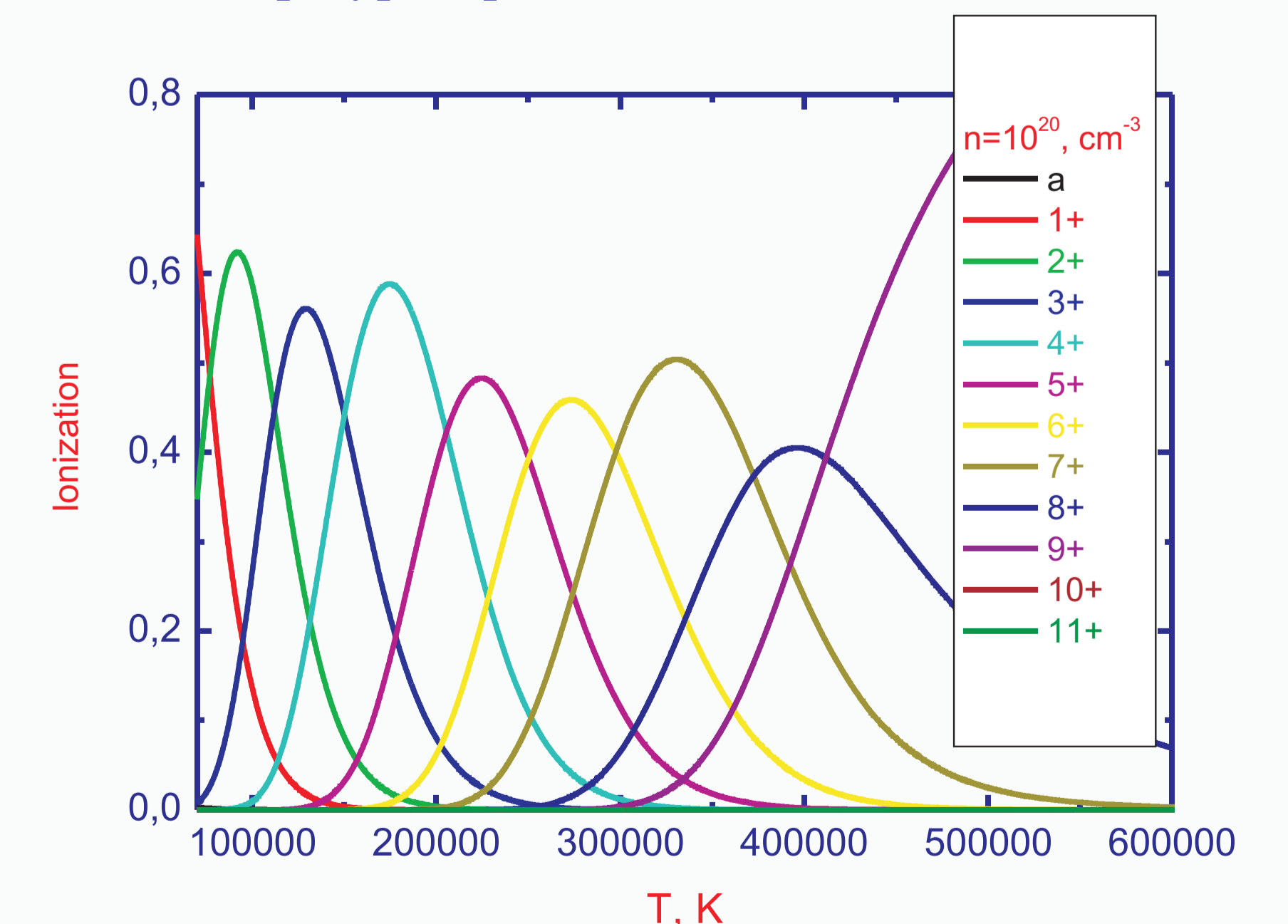


Рис. 7. Состав неидеальной плазмы Na как функция от температуры при постоянном числе частиц

ЛИТЕРАТУРА

1. T.S. Ramazanov, K.N. Dzhumagulova. Phys. Plasmas, 9, 3758(2002).
2. T.S. Ramazanov, K.N.Dzhumagulova, Yu.A. Omarbakiyeva. Phys.Plasmas, 12, 092702 (2005).
3. R. Redmer Phys. Rev. E. - 1999. - Vol. 59, № 1. - P. 1073-1081.