

УДК 524.324.6

А.И. Чугунов (5 курс, каф. КИ), Д.Г. Яковлев, д. ф.- м. н., проф. ФТИ

## АНГАРМОНИЧЕСКИЕ ПОПРАВКИ К ЭНЕРГИИ КУЛОНОВСКОГО КРИСТАЛЛА

Работа посвящена классической задаче – расчёту кулоновской энергии сильно неидеальной плазмы ионов на фоне нейтрализующего электронного заряда. Такая плазма содержится в ядрах белых карликов, оболочках нейтронных звезд, а также исследуется в лаборатории (пылевая плазма и плазма ионов в пеннинговских ловушках). Физические условия в этой плазме удобно описывать двумя безразмерными параметрами:

$$\Gamma = \frac{Z^2 e^2}{aT} \quad \text{и} \quad \theta = \frac{\hbar \omega_p}{T},$$

где  $\omega_p = \sqrt{4\pi n Z^2 e^2 / M}$  - плазменная частота,  $a = (3 / 4\pi n)^{1/3}$  - ионный радиус,  $Z|e|$  и  $n$  - заряд и концентрация ионов. В квантовом случае  $\theta \gg 1$  более удобен другой параметр  $\Gamma_q = \Gamma / \theta$ , зависящий только от плотности. В классическом пределе ( $\theta \ll 1$ ), состояние вещества определяется только тепловыми колебаниями, поэтому зависимость от параметра  $\theta$  пропадает. В квантовом случае ( $\theta \gg 1$ ) тепловыми колебаниями можно пренебречь и состояние системы определяется только одним параметром  $\Gamma_q$ . При достаточно большом значении параметра  $\Gamma$  ионы в таком веществе упорядочиваются и образуют кулоновский кристалл. В коре нейтронной звезды преобладает кристаллическая фаза.

Кулоновскую энергию  $U_c$  кулоновского кристалла удобно разложить в ряд по параметру  $\Gamma$ ,  $U_c / NT = \zeta\Gamma + A_0 + A_1 / \Gamma + A_2 / \Gamma + \dots$ , где  $N$  - число ионов в кристалле, а коэффициенты  $A_0, A_1, A_2, \dots$  зависят от параметра  $\theta$ . В классическом пределе для объёмноцентрированного кубического (ОЦК) и гранецентрированного кубического (ГЦК) кристаллов первая ангармоническая поправка ( $A_1$ ) вычислялась ранее [1], в то время как в квантовом кристалле ранее были получены лишь достаточно грубые оценки этих поправок. Коэффициенты  $A_0$  и  $\zeta$  вычисляются точно [2].

В докладе рассмотрен приближённый метод расчёта ангармонических поправок к энергии кристалла. Он основан на выражении кулоновской энергии через парную корреляционную функцию, при этом корреляционная функция вычисляется в гармоническом приближении. Этот метод не позволяет вычислить ангармоническую энергию полностью, но позволяет просуммировать часть бесконечного ряда ангармонических поправок. Показано наличие степенных асимптотик ангармонических поправок в квантовом и классическом пределах. В классическом случае рассчитанные для ОЦК и ГЦК кристаллов значения первой ангармонической поправки к энергии хорошо согласуются с рассчитанными ранее результатами [1].

### ЛИТЕРАТУРА:

1. D.H.E. Dubin, Phys. Rev. A42, 4972 (1990).
2. Д.А. Байко, “Кинетические явления в остывающих нейтронных звёздах”, диссертация на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук, Санкт-Петербург, 2000.
3. D.A. Baiko, D.G. Yakovlev, H.E. De Witt, and Slattetry, Phys. Rev. E61, 1912 (2000).