

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

99-76

P17-99-76

Б.В.Васильев

ГРАВИТАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННАЯ  
ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПОЛЯРИЗАЦИЯ  
ПЛОТНОЙ ЭЛЕКТРОННО-ЯДЕРНОЙ ПЛАЗМЫ,  
РАССЧИТАННАЯ  
В ПРИБЛИЖЕНИИ ТОМАСА — ФЕРМИ

1999

Гравитационно-индуцированная электрическая поляризация плотной электронно-ядерной плазмы, рассчитанная в приближении Томаса — Ферми

В приближении Томаса — Ферми определен заряд, приходящийся на ячейку Вигнера — Зейтца плотной электронно-ядерной плазмы. Показано, что в гравитационном поле такая ячейка в равновесии приобретает малый электрический заряд, по порядку величины равный  $10^{-17}e$ . Полная электро-нейтральность тел при этом выполняется путем выталкивания части электронов на поверхность тела. Существование такой электризации плотной электронно-ядерной плазмы ведет к ряду астрофизических эффектов.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики им. И.М.Франка ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 1999

Перевод автора

Vasiliev B.V.

P17-99-76

Thomas — Fermi Calculation of Gravity-Induced Electrical Polarization in Dense Electron-Nuclear Plasma

In Thomas — Fermi approximation the electric charge for a Wigner — Seitz cell of dense electron-nuclear plasma is calculated. It is shown that in a gravitational field each cell of plasma gets a small electric charge. On the order of magnitude this charge equals to  $10^{-17}e$ . To conserve the total electroneutrality of the body a part of electrons is pushed out on the body surface. The existence of such electrization of dense electron-nuclear plasma leads to a lot of astrophysical effects.

The investigation has been performed at the Frank Laboratory of Neutron Physics, JINR.

Под действием сверхвысокого давления все вещества превращаются в ядерно-электронную плазму [1]. Это происходит, когда под воздействием внешнего давления плотность вещества увеличивается в несколько раз [2-4], т.е. когда внешнее давление  $p$  достигает величины модуля всестороннего сжатия вещества  $B$ :

$$p \approx B. \quad (1)$$

В такой плазме электроны испытывают и притяжение со стороны ионов, и отталкивание со стороны других электронов. В первом приближении эти взаимодействия взаимно компенсируют друг друга и электронную подсистему можно рассматривать как идеальный электронный газ. Это становится тем более справедливо, чем выше давление, плотность и энергия вырождения электронного газа.

В то же время положительные заряды, сконцентрированные в ядрах, распределены неравномерно в объеме. Они могут образовать внутри плазмы плотно упакованную пространственную решетку. При описании ее ячейку принято заменять сферической ячейкой Вигнера - Зейтца [3]. Для плазмы, имеющей плотность  $\gamma$  и состоящей из ядер с атомным номером  $A$  и зарядом  $Z$ , радиус ячейки Вигнера - Зейтца  $r_i$  определяется равенством

$$\left(\frac{\gamma}{m_i}\right)^{-1} = \frac{4\pi}{3} r_i^3 = \frac{Z}{n}. \quad (2)$$

Здесь  $m_i = Am_p$  - масса ядра,  $m_p$  - масса протона.

Плотность электронного газа

$$n = \frac{3Z}{4\pi r_i^3}. \quad (3)$$

Условие равновесия в веществе описывается постоянством его химического потенциала [1]. Воздействие тяготения на плазму приведет к возникновению внутри нее некоторой электрической поляризации [4]. При этом прямым воздействием тяготения на электроны можно пренебречь и записать равновесие в электронном газе в виде

$$\mu_e = E_F = \frac{p_F^2(r)}{2m} - e\varphi(r) = const. \quad (4)$$

Здесь  $\varphi(r)$  - потенциал электрического поля внутри ячейки Вигнера - Зейтца.

В ядерной подсистеме прямое взаимодействие между ядрами отсутствует. Поэтому равновесие в этой подсистеме (при  $T=0$ ) можно записать в виде

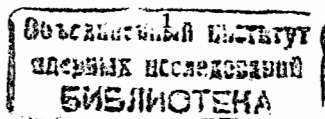
$$\mu_i = e\varphi(r) + m_i\psi = const. \quad (5)$$

Здесь  $\psi$  - потенциал действующего на плазму гравитационного поля.

Это уравнение фактически является условием для определения положения ядра внутри ячейки Вигнера-Зейтца.

Интересующая нас электризация плазмы будет связана с изменением плотности ядерной и электронной компонент. При этом потенциал возникающего электрического поля определяется законом Гаусса

$$\nabla^2\varphi(r) = \frac{1}{r^2} \frac{d}{dr} \left( r^2 \frac{d}{dr} \varphi(r) \right) = -4\pi(Ze\delta(r) - en(r)). \quad (6)$$



Здесь функция  $\delta(r)$  описывает распределение ядер.

Так как в приближении Томаса - Ферми плотность электронного газа

$$n(r) = \frac{8\pi}{3h^3} p_F^3(r). \quad (7)$$

С учетом (4) и (5) имеем

$$\frac{p_F^2(r)}{2m} = \mu_i + \mu_e - m_i \psi. \quad (8)$$

Это позволяет преобразовать уравнение (6) при  $r > 0$  в нелинейное дифференциальное уравнение

$$\frac{1}{r^2} \frac{d}{dr} \left( r^2 \frac{d}{dr} \varphi(r) \right) = -4\pi \left( \frac{8\pi}{3h^3} \right)^{3/2} [2m(\mu_e + \mu_i - m_i \psi)]^{3/2}. \quad (9)$$

Это уравнение упрощается введением новых переменных [5]:

$$\mu_i + \mu_e - m_i \psi = Ze^2 \frac{u}{r} \quad (10)$$

и

$$r = ax.$$

Здесь

$$a = \left( \frac{9\pi^2}{128Z} \right)^{1/3} a_0$$

и

$$a_0 = \frac{\hbar^2}{me^2} = \text{радиус Бора.}$$

В новых переменных уравнение (9) запишется в виде [5]

$$\frac{d^2 u}{dx^2} = \frac{u^{3/2}}{x^{1/2}}. \quad (11)$$

При этом фермиевский импульс электронного газа

$$p_F = \left[ 2m \left( \frac{Ze^2}{a} \right) \left( \frac{u}{x} \right) \right]^{1/2} = \frac{\hbar}{a_0} \left( \frac{128Z^4}{9\pi^2} \right)^{1/6} 2^{1/2} \left( \frac{u}{x} \right)^{1/2} \quad (12)$$

и электронная плотность

$$n_{TF} = \frac{8\pi}{3h^3} p_F^3 = \frac{32Z^3}{9\pi^3 a_0^3} \left( \frac{u}{x} \right)^{3/2} \quad (13)$$

При  $r \rightarrow 0$  электрический потенциал создается только ядрами  $\varphi(r) \rightarrow \frac{Ze}{r}$ . В новых

переменных это означает  $u(0) \rightarrow 1$  [5].

В отсутствие гравитационного поля полный заряд ячейки Вигнера - Зейтца равен нулю. Воздействие гравитационного поля приводит к тому, что электронный газ в этой ячейке в очень малой степени изменяет свою плотность и его заряд становится равным

$$Q_e = 4\pi e \int_0^r n(r) r^2 dr = \frac{8\pi e}{3h^3} \left( 2m \frac{Ze^2}{a} \right)^{3/2} 4\pi a^3 \int_0^1 x^2 \left( \frac{u}{x} \right)^{3/2} dx. \quad (14)$$

Используя (11), получаем

$$Q_e = Ze \int_0^1 \frac{d^2 u}{dx^2} x dx = Ze \int_0^1 dx \frac{d}{dx} \left( x \frac{du}{dx} - u \right) = Ze \left[ x \frac{du}{dx} \right]_0^1 - u(x_1) + u(0) \quad (15)$$

или

$$Q_e = Ze \left[ 1 - \frac{r_1^2 m_i \nabla \psi}{Ze^2} \right]. \quad (16)$$

Здесь  $(-\nabla \psi) = g = \frac{GM}{R^2}$  - ускорение тяготения,

$G$  - гравитационная константа,

$M$  и  $R$  - масса и радиус космического тела.

Так как давление внутри космического тела  $p$  и модуль всестороннего сжатия вещества  $B$  по порядку величины

$$p = \frac{GM^2}{R^4}; B = \frac{3}{5} n E_F \approx \frac{e^2}{r_1^4}, \quad (17)$$

то с учетом заряда ядра полный заряд ячейки

$$\delta q = \frac{r_1^2 m_i \nabla \psi}{e} \approx G^{1/2} m_i \left( \frac{p}{B} \right)^{1/2} \quad (18)$$

Электронно-ядерная плазма существует при  $p \approx B$ , поэтому

$$\delta q = G^{1/2} m_i. \quad (19)$$

Таким образом, в поле тяготения каждая ячейка плотной электронно - ядерной плазмы приобретает электрический заряд, который по порядку величины равен  $10^{-17} Ze$ . Это приводит к тому, что в единице объема электронно - ядерной плазмы возникает электрический заряд, пропорциональный ее плотности:

$$\rho = G^{1/2} \gamma. \quad (20)$$

Имея в виду то, что электрическая поляризация возникнет внутри космического тела там, где вещество подвергнуто действию сверхвысокого давления, нетрудно прийти к выводу, что внутри тела должно возникнуть электрически заряженное ядро с объемной плотностью положительного заряда, определяемой равенством (20). Соответствующий отрицательный поверхностный заряд на границе ядра будет обеспечивать электрическую нейтральность тела как целого [6,7].

В связи с тем, что действующее давление должно быть столь большим, чтобы увеличить плотность вещества примерно в восемь раз [2], наблюдать этот эффект в земных условиях не представляется возможным. Но он ярко проявляет себя в целом ряде астрофизических следствий. На его основе можно объяснить генерацию магнитных полей космическими телами [6,7], существование дискретного спектра масс планет, звезд и пульсаров [8], разделение Земли на ядро и мантию [9]. Возможно, эта поляризация может объяснить также механизм возникновения сверхжесткого космического излучения и ряд других явлений.

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

## Литература

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. - Статистическая физика, М., "Наука", (1976).
2. Васильев Б.В., Любошиц В.Л. - УФН, т.164, N 4, (1994), с.367-374.
3. Киржниц Д.А. - ЖЭТФ, 1960, т.38, с.503-508.
4. Васильев Б.В. -Препринт ОИЯИ, 1998, P17-98-144, Дубна.
5. Feynman R.P.,Metropolis N.,Teller E. - The Physical Review, 1949, v.75, N 10, p.1561-1573.
6. Vasiliev B.V. - Nuovo Chimento B, 1996, v.110, p.1381-1389.
7. Vasiliev B.V. - Nuovo Chimento B, 1997, v.112, p.1361-1372.
8. Васильев Б.В. -Препринт ОИЯИ, 1998, P17-98-257, Дубна.
9. Vasiliev B.V. - Nuovo Chimento B, 1999, v.114.

Рукопись поступила в издательский отдел  
26 марта 1999 года.