

УДК 539.12

DOI: 10.17223/00213411/62/3/48

В.В. СКОБЕЛЕВ, В.П. КРАСИН

ЭНТРОПИЯ И ТЕПЛОЕМКОСТЬ ВЫРОЖДЕННОГО НЕЙТРОННОГО ГАЗА В МАГНИТНОМ ПОЛЕ*

В неявном виде получены общие выражения зависимости энтропии вырожденного нейтронного газа в магнитном поле с учетом аномального магнитного момента (АММ) нейтронов от величины магнитного поля и концентрации, а также в графической форме представлена зависимость так называемой «приведенной энтропии» от поля при значении концентрации нейтронов $C = 10^{38} \text{ см}^{-3}$, типичной для нейтронных звезд. Сделаны и аналитические оценки применительно к возможной в нейтронных звездах величине поля $\sim 10^{19} \text{ Гс}$ и этой концентрации нейтронов $\sim 10^{38} \text{ см}^{-3}$, в том числе когда нейтронный газ близок к состоянию насыщения с преимущественной ориентацией АММ всех нейтронов по полю. Получено, что энтропия уменьшается с ростом поля по мере приближения нейтронного газа к состоянию насыщения, когда АММ всех нейтронов ориентированы по полю. Констатируется, что это согласуется со вторым началом термодинамики, так что эволюция нейтронных звезд-магнитаров, сопровождающаяся ростом поля, является в связи с этим маловероятной, независимо от причин, вызвавших появление магнитного поля. Найдена также теплоемкость вырожденного нейтронного газа, оказавшаяся формально равной, как и в отсутствие магнитного поля, энтропии. Таким образом, работа имеет методическое и, возможно, научное значение.

Ключевые слова: нейтрон, магнитное поле, аномальный магнитный момент, энтропия, теплоемкость.

В работе [1] авторами в графической форме были представлены результаты численного расчета энергии Ферми и давления вырожденного нейтронного газа в магнитном поле с индукцией B при учете аномального магнитного момента (АММ) нейтронов. Основным уравнением, на котором были основаны расчеты, являлось уравнение, в неявной форме выражающее зависимость энергии Ферми μ_F от концентрации нейтронов C и величины поля:

$$C = \frac{\sqrt{2}M^{3/2}}{3\pi^2\hbar^3} \left[(\mu_F + \varepsilon_B)^{3/2} + (\mu_F - \varepsilon_B)^{3/2} \right]. \quad (1)$$

Здесь введены следующие обозначения: $\varepsilon_B = |p_N|B$, где $p_N = \sigma_N p_n$ – АММ нейтрона, $p_n = \frac{e\hbar}{2Mc}$ – ядерный магнетон, $\sigma_N \approx -1.9$. Под M , как и в [1], здесь и далее понимаем массу нейтрона, так как для наших оценок можно считать, что $M_p \approx M_N \equiv M$.

При использовании безразмерных величин

$$\tilde{\mu} = \frac{\mu_F}{Mc^2}, \quad \tilde{B} = \frac{B}{B_0}, \quad \tilde{C} = C\lambda_C^3, \quad (2)$$

$$\lambda_C = \frac{\hbar}{Mc} \approx 2.1 \cdot 10^{-14} \text{ см}, \quad B_0 = \frac{M^2 c^3}{e\hbar} \approx 1.5 \cdot 10^{20} \text{ Гс} \quad (2a)$$

уравнение (1) приобретает вид

$$\tilde{C} = \frac{\sqrt{2}}{3\pi^2} \left[\left(\tilde{\mu} + \frac{|\sigma_N|}{2} \tilde{B} \right)^{3/2} + \left(\tilde{\mu} - \frac{|\sigma_N|}{2} \tilde{B} \right)^{3/2} \right], \quad (3)$$

допускающий численный расчет зависимости $\tilde{\mu}(\tilde{B}, \tilde{C})$ (а также и $\tilde{\mu}(\tilde{B})$ при концентрации нейтронов $C = 10^{38} \text{ см}^{-3}$, типичной для нейтронных звезд [2]) и представленный в работе [1] в графической форме (при этом соответствующий безразмерный параметр $\tilde{C} \approx 9.3 \cdot 10^{-4}$).

* Статья подготовлена в рамках выполнения базовой части госзадания ФГБОУ «Московский политехнический университет» (проект № 3.4880.2017/8.9).

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>