

УДК 536+537.6

А. И. СЕРЫЙ

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

**О ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ
ИДЕАЛЬНОГО НЕВЫРОЖДЕННОГО РЕЛЯТИВИСТСКОГО
БОЗЕ-ГАЗА В КВАНТУЮЩЕМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ**

Пусть N – число частиц в идеальном невырожденном релятивистском бозе-газе. Выражение для N при наличии внешнего магнитного поля с индукцией B было получено в [1] и имеет вид:

$$N = \frac{m\mu BV}{\pi^2 \hbar^3 c} \exp\left(\frac{\chi}{kT}\right) \sum_{n=0}^{\infty} \varepsilon_n K_1(\xi_n). \quad (1)$$

При этом χ – химический потенциал, N – число бозонов, V – объем, B – индукция магнитного поля, m – масса бозона, μ – собственный магнитный момент бозона, T – температура, k – постоянная Больцмана, n – номер уровня Ландау, K_1 – функция Бесселя:

$$K_1(y) = \int_1^{+\infty} \frac{\exp(-yx)}{\sqrt{x^2 - 1}} dx. \quad (2)$$

Также нам понадобятся обозначения:

$$\varepsilon_n = \sqrt{m^2 c^4 + 2mc^2 \mu B (2n + 1)}, \quad (3)$$

$$\alpha = \frac{\mu B}{kT}, \quad (4)$$

$$\xi_n = \frac{\varepsilon_n}{kT}, \quad (5)$$

$$\eta = \frac{mc^2}{kT}. \quad (6)$$

Запишем общие выражения для энтропии S , средней энергии E и намагниченности M [2, с. 49, 53]:

$$S = -\left(\frac{\partial \Omega}{\partial T}\right)_{\chi, V}, \quad (7)$$

$$E = \Omega + \chi N + TS, \quad (8)$$

$$M = -\frac{1}{V} \left(\frac{\partial \Omega}{\partial B}\right)_{\chi, V}. \quad (9)$$

При этом Ω – большой термодинамический потенциал. Выражение для него в случае невырожденного бозе-газа принимает вид [2, с. 49]:

$$\Omega = -NkT . \quad (10)$$

Подставляя (7)–(9) в (1), с учетом (2)–(6), (10) получим:

$$S = Nk \left(2 - \frac{\chi}{kT} + \frac{\sum_{n=0}^{\infty} \xi_n^2 K_0(\xi_n)}{\sum_{n=0}^{\infty} \xi_n K_1(\xi_n)} \right), \quad (11)$$

$$E = NkT \left(1 + \frac{\sum_{n=0}^{\infty} \xi_n^2 K_0(\xi_n)}{\sum_{n=0}^{\infty} \xi_n K_1(\xi_n)} \right), \quad (12)$$

$$M = \frac{NkT}{VB} \left(1 - \frac{\eta\alpha \sum_{n=0}^{\infty} (2n+1) K_0(\xi_n)}{\sum_{n=0}^{\infty} \xi_n K_1(\xi_n)} \right). \quad (13)$$

При вычислениях, кроме того, было использовано соотношение [3, с. 168]

$$K_1'(y) = -K_0(y) - K_1(y)/y. \quad (14)$$

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Серый, А. И. О химическом потенциале бозе-газа в магнитном поле / А. И. Серый // Сверхплотное вещество и интенсивные магнитные поля в астрофизике : сб. материалов фак. науч.-практ. семинара памяти В. С. Секержицкого, Брест, 9 сент. 2022 г. / Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина ; под общ. ред. А. И. Серого. – Брест : БрГУ, 2022. – 39 с. (в печати).
2. Секержицкий, В. С. Равновесные системы фермионов и бозонов в магнитных полях : монография / В. С. Секержицкий ; Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина. – Брест : Изд-во БрГУ, 2008. – 198 с.
3. Двайт, Г. Б. Таблицы интегралов и другие математические формулы / Г. Б. Двайт. – М. : Наука, 1973. – 228 с.