

УДК 372.85

З. Н. СЕРАЯ, А. И. СЕРЫЙ**ОБ УРАВНЕНИЯХ В АСТРОНОМИИ И АСТРОФИЗИКЕ,
НЕ ИМЕЮЩИХ АНАЛИТИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ**

В астрономии и астрофизике встречаются уравнения (в том числе трансцендентные), не имеющие аналитического решения. На тех специальностях, где астрономия не изучается, такие уравнения можно включить в курс основ математического моделирования. Рассмотрим примеры.

I. Трансцендентное уравнение Кеплера [1, с. 49–50] для эксцентриситетской аномалии E , по которой затем находятся радиус-вектор r и истинная аномалия θ любого тела Солнечной системы, движущегося по эллиптической орбите:

$$\frac{2\pi}{T}(t-t_0) = E - e \sin E, \quad (1)$$

$$r = a(1 - e \cos E), \quad (2)$$

$$\operatorname{tg} \frac{\theta}{2} = \sqrt{\frac{1+e}{1-e}} \operatorname{tg} \frac{E}{2}. \quad (3)$$

При этом T – период обращения по орбите, t_0 – начальный момент времени, t – текущий момент времени, e – эксцентриситет орбиты, a – большая полуось орбиты. Кроме того, уравнения (1) и (2) можно свести к одному трансцендентному уравнению (4), а уравнения (1) и (3) – к одному трансцендентному уравнению (5):

$$\frac{2\pi}{T}(t-t_0) = \arccos\left(\frac{1}{e}\left(1 - \frac{r}{a}\right)\right) - e \sin\left(\arccos\left(\frac{1}{e}\left(1 - \frac{r}{a}\right)\right)\right), \quad (4)$$

$$\frac{2\pi}{T}(t-t_0) = 2 \operatorname{arctg}\left(\sqrt{\frac{1-e}{1+e}} \operatorname{tg} \frac{\theta}{2}\right) - e \sin\left(2 \operatorname{arctg}\left(\sqrt{\frac{1-e}{1+e}} \operatorname{tg} \frac{\theta}{2}\right)\right). \quad (5)$$

II. Уравнение для поляризации p_{0n} магнитных моментов μ_n нейтронов в крайне вырожденном газе [2, с. 16; 3, с. 33] в магнитном поле с индукцией B с учетом ядерного взаимодействия между нейтронами:

$$\frac{(3\pi^2)^{2/3} \hbar^2 n_n^{2/3}}{2m_n} \left((1 + p_{0n})^{2/3} - (1 - p_{0n})^{2/3} \right) = 2|\mu_n|B + g_{nn} n_n p_{0n}. \quad (6)$$

При этом n_n – концентрация нейтронов, m_n – масса нейтрона, \hbar – постоянная Планка, g_{nn} – константа ядерного взаимодействия между нейтронами.

III. Уравнение для концентрации протонов и электронов n_e , соответствующих порогу нейтронизации крайне вырожденного газообразного водорода без спиновой поляризации с учетом энергии ядерного взаимодействия между нуклонами [4, с. 35]:

$$\sqrt{m_e^2 c^4 + (3\pi^2)^{2/3} \hbar^2 c^2 n_e^{2/3}} + m_p c^2 + \frac{(3\pi^2)^{2/3} \hbar^2 n_e^{2/3}}{2m_p} + \frac{g_{pp}}{2} n_e = m_n c^2 + g_{np} n_e. (7)$$

При этом c – скорость света в вакууме, m_e – масса электрона, m_p – масса протона, g_{pp} и g_{np} – константы ядерного взаимодействия соответственно между двумя протонами и между протоном и нейтроном.

Таблица – Сравнительная характеристика уравнений

Уравнение	Может ли быть сведено к алгебраическому	Наличие свободного параметра, значение которого можно менять и строить график зависимости решения от значения параметра
I	Нет, оно трансцендентное	Время t ; при других значениях T и e получаем семейства кривых
II	Да, девятой степени относительно p_{0n}	Индукция B ; при других значениях n_n получаем семейство кривых
III	Да, шестой степени относительно $x \equiv n_e^{1/3}$	Нет

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клищенко, А. П. *Астрономия : учеб. пособие* / А. П. Клищенко, В. И. Шупляк. – М. : Новое знание, 2004. – 224 с. : ил.
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. Серый, А. И. О некоторых поляризационных эффектах в астрофизической плазме / А. И. Серый // *Весн. Брэсц. ун-та. Сер. 4, Фізика. Матэматыка*. – 2014. – № 1. – С. 30–43.
4. Серый, А. И. О ферромагнетизме вырожденной нейтронно-протонной системы / А. И. Серый // *Весн. Брэсц. ун-та. Сер. 4, Фізика. Матэматыка*. – 2012. – № 1. – С. 30–37.