



Магнитные поля можно найти повсюду. Например, магнитное поле Земли составляет 25 – 60 мкТл, сильные постоянные магниты дают поле около 1 Тл, магнитные поля, создаваемые в лабораториях, могут достигать индукции в 45 Тл, магнитные поля нейтронных звезд и магнетаров – до 10^{11} Тл. В этой задаче мы рассмотрим несколько эффектов, связанные с сильными магнитными полями.

Плотность энергии магнитного поля $w = \frac{B^2}{2\mu_0}$, где $\mu_0 = 1,3 \cdot 10^{-6}$ Н/А² – магнитная постоянная, μ – относительная магнитная проницаемость среды.

Системы всегда пытаются занять состояние с более низкой энергией, из чего следует, что ферромагнетики ($\mu \gg 1$) втягиваются в области сильных магнитных полей, в то время как диамагнитные вещества ($\mu < 1$) – выталкиваются. Магнитная восприимчивость $\chi = \mu - 1$ диамагнетиков – это малая величина, $|\chi| \ll 1$, поэтому, чтобы сила выталкивания была значительной, магнитное поле должно быть сильным. Вода – диамагнетик ($\chi = -9 \cdot 10^{-6}$), и животные состоят главным образом из воды. Поэтому лягушка может левитировать в достаточно сильном магнитном поле.

Пусть высота лягушки H не превышает $h_0 = 10$ мм, и положим, что квадрат индукции поля зависит от координаты так, как показано на рис.1.

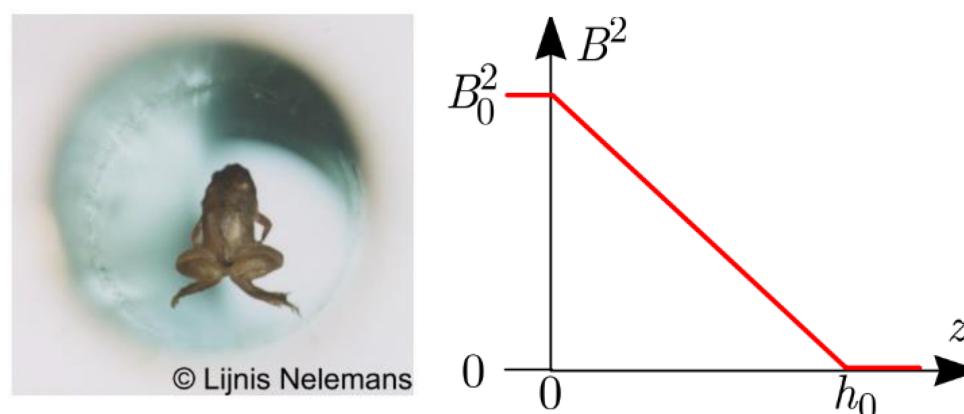


Рис. 1. Левитирующая лягушка и зависимость квадрата магнитного поля B^2 от высоты z

A1 1.50 Найдите значения индукции поля B_0 (в Тл), при котором лягушка будет левитировать. Считайте, что лягушка состоит целиком из воды. Плотность воды $\rho = 1000$ кг/м³. Ускорение свободного падения $g = 9.8$ м/с².

Звезды состоят из плазмы, а она очень хороший проводник электричества. Поэтому линии магнитного поля как будто «вморожены» в движущуюся плазму (рис.2). Когда звезда сжимается и превращается в нейтронную звезду, происходит мгновенный рост индукции магнитного поля у звезды.



Рис. 2. Линии магнитного поля при сжатии плазмы

B1 1.00 Пусть индукция магнитного поля на полюсе звезды была $B_s = 100$ мкТл и ее средняя плотность $\rho_s = 1400$ кг/м³. Какой станет индукция магнитного поля B_n на полюсе, когда звезда превратится в нейтронную звезду? Плотность вещества нейтронной звезды $\rho_n = 5 \cdot 10^{17}$ кг/м³.

B2 1.00 В действительности магнитные поля нейтронной звезды выглядят по-другому. Рассмотрим очень упрощенную модель. Внутренняя часть звезды сжимается до размеров нейтронной звезды, а внешняя – остается того же размера. Пусть до сжатия звезда вращалась с угловой скоростью ω_s . Выразите новую угловую скорость вращения внутренней части звезды ω_n через ω_s , ρ_s и ρ_n .

Т.к. угловые скорости вращения внутренней и внешней части звезды разные, линии поля будут выглядеть, как показано на рисунке.

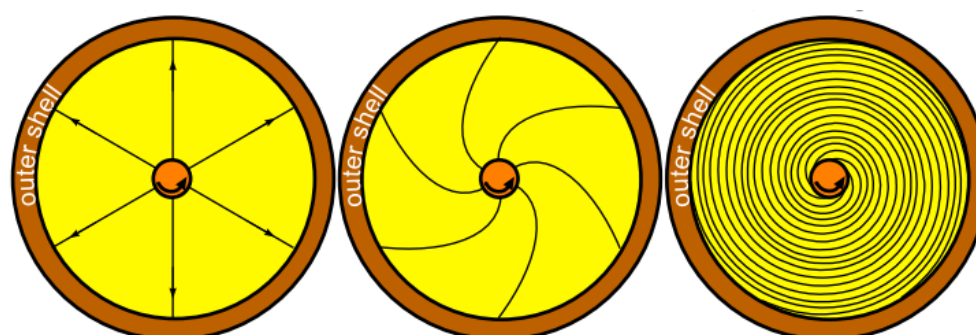


Рис. 3. Линии поля внутри нейтронной звезды

Проведите расчеты в следующих упрощающих предположениях:

1. решайте задачу в двумерном случае, т.е. считайте звезду цилиндрической;
2. считайте, что поле было цилиндрически симметричным в начальный момент времени;
3. линии поля начинаются на внутреннем цилиндре и заканчиваются на внешнем.

B3 1.50 Пусть начальная индукция поля у внешнего цилиндра была B_0 . Найдите индукцию поля B в зависимости от времени t ($t \gg 1/\omega_n$) в области, где линии поля «растягиваются». Ответ выразите через B_0 , ω_n и t .

В4^{1.00} Примем следующую модель. При сжатии звезды гравитационная энергия переходит в кинетическую энергию вращения (пренебрежем тепловой энергией), которая затем переходит в магнитную. В этих предположениях оцените максимальную индукцию магнитного поля $B_{\max}$ нейтронной звезды массы $M_n = 4 \cdot 10^{30}$ кг и радиуса $r_n = 13$ км. Гравитационная постоянная $G = 6.67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/(\text{кг} \cdot \text{с}^2)$

С1^{1.00} Очень сильные магнитные поля могут влиять на химические свойства вещества, изменяя формы электронных орбит. Это происходит, когда сила Лоренца, действующая на электрон, становится больше кулоновского взаимодействия с ядром. Оцените индукцию магнитного поля B_H , необходимую для искривления орбиты в атоме водорода. Радиус орбиты электрона $R_H = 5 \cdot 10^{-11}$ м. Заряд электрона $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, масса электрона $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг, электрическая постоянная $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.

Т Электромагнетизм 2018 Сборы ХУ У Вращательное движение Магнитное поле

 Website in English