

А.Ф. Беленов
НИРО

ДИНАМИКА МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЕ В РАМКАХ АВТОРСКОГО КУРСА «АСТРОФИЗИКА»

Отличительная особенность данного курса видится в стремлении к сочетанию лекций и практической работы в ходе каждого занятия. Такая работа предполагает постановку преподавателем элементарных задач – оценок с указанием области применимости (допущений) используемых приближений. Поэтому прочтение текста лекций – презентаций сопровождается «остановками» на вопросах, предполагающих самостоятельную практическую деятельность учащихся [1]. В каком-то смысле такая деятельность – это воспроизведение научного поиска, приводящего к новым знаниям. Также, это – продолжение материала содержания лекции, сделанное самими учащимися. Основным критерием оценивания данной работы является полнота ответа с указанием принятых допущений и анализом полученного результата. Далее, автор представляет пример 2 – часовой интерактивной лекции по теме динамики магнитных полей в двух аспектах:

- 1) взаимодействие солнечного ветра с магнитосферой Земли,
- 2) происхождение магнитных полей космических объектов.

Вопросы, провоцирующие решение задач – оценок выделены курсивом.

I. Воздействие солнечного ветра на магнитосферу Земли

При вторжении частиц солнечного ветра в область земного магнитного поля (в *магнитосферу* Земли) электроны и протоны солнечного ветра меняют свои траектории. При этом дополнительные магнитные поля, создаваемые движущимися заряженными частицами, ослабляют магнитное поле Земли (*диамагнитный эффект*). Взаимодействие геомагнитного поля с набегающим солнечным ветром носит сложный характер - появляются дополнительные электрические токи, приводящие к колебаниям магнитного поля – *магнитным бурям*. Далее, автор приводит учащимся график, иллюстрирующий колебания магнитного поля Земли после одной из мощных вспышек на Солнце, произошедшей в начале ноября 2004 года (информация взята с сайта antwrp.gsfc.nasa.gov). Задается вопрос к учащимся: «*Оцените (в градусах дуги) размах колебаний стрелки компаса во время магнитной бури*».

Ожидаемым результатом является незначительное воздействие магнитной бури на стрелку компаса (размах колебаний – порядка одного градуса дуги). Приводя эскиз магнитосферы Земли, автор выдвигает гипотезу о том, что что солнечный ветер «давит» на земную магнитосферу и результат такого воздействия зависит от соотношения *реакции магнитного поля Земли* и величины давления частиц солнечного ветра. Поясняется термин «*реакции магнитного поля*» (более часто употребляется термин «*магнитное давление*») на примере магнитного поля, создаваемого соленоидом, по которому течет электрический ток. Энергию магнитного поля в таком соленоиде можно представить в виде произведения величины $B^2/2\mu_0$ (B – величина индукции магнитного поля, μ_0 – магнитная проницаемость вакуума) на объём соленоида $S \cdot l$ (в идеальной модели – объём, занимаемый магнитным полем).

Таким образом, энергия магнитного поля в соленоиде пропорциональна объёму, занимаемому магнитным полем. Представим себе, что нам удалось увеличить объём магнитного поля (например, при неизменном токе и поперечном сечении S , нарастить число витков, увеличив длину соленоида на величину x). В этом случае энергия магнитного поля вырастет на величину $(B^2/2\mu_0) \cdot S \cdot x$. Чисто механически это можно представить, как совершение работы $F_1 \cdot x$ по «наращиванию» магнитного поля. Тогда ве-

личину $P_b = F_l/S = B^2/2\mu_0$ можно охарактеризовать, как «магнитное давление». На основании приведенных автором данных о величине магнитного поля Земли и потоке энергии солнечного ветра формулируется задание для учащихся: «Сравните величины давлений:

- 1) магнитного поля Земли ;
- 2) потока солнечного ветра вблизи Земли, с учетом концентрации частиц порядка 10 протонов/см³.

Сделайте выводы о степени возмущения геомагнитного поля во время солнечной вспышки.»

Ожидаемым результатом при решении данной задачи является соответствие между ранее приведенным экспериментальным графиком возмущений геомагнитного поля и оценками соотношения давления солнечного ветра и магнитного давления.

II. Происхождение магнитных полей космических объектов

Автор задает вопрос аудитории: « а почему космические тела имеют собственные магнитные поля? Из курса физики вам известно, что источниками магнитных полей могут быть намагниченные тела или электрические токи. Может быть, намагниченность Земли сформировалась в эпоху её зарождения и в недрах Земли (содержащих железо) находится постоянный магнит? *Поясните, в чем ошибочность данной гипотезы.*» Чтобы разобраться в причинах возникновения магнитных полей звезд и планет, автор знакомит учащихся с известными данными о магнитных полях в Солнечной системе. Далее задается вопрос: « *Сопоставьте данные о магнитных полях тел Солнечной системы с величинами, являющимися мерами:*

- *быстроты осевого вращения;*
- *размеров небесных тел.*

Для каких объектов расхождения расчетных и измеряемых данных о магнитных полях наибольшие?»

Возникает впечатление, что факторы размеров небесных тел и быстроты осевого вращения влияют на формирование магнитных полей космических тел. В начале 20 века появилась модель *однодискового динамо*, описывающая возникновение магнитных полей при *дифференциальном* (относительном) *вращении* проводящих тел. Этой модели предшествовала разработка в первой половине 19 века генератора постоянного тока, получившая название по имени изобретателя *униполярного индуктора Фарадея*. Автор дает объяснение возникновения индукционного тока при вращении короткозамкнутого проводящего диска во внешнем магнитном поле. Но, как это не парадоксально, для возникновения индукционного тока внешний магнит необязателен! Далее, автор приводит эскиз модели однодискового динамо [2] с дополнениями о электродинамических свойствах проводящего контура (э.д.с. индукции при дифференциальном вращении и э.д.с. самоиндукции). Обсуждая ситуацию возможной неустойчивости индукционного тока, как источника магнитного поля, автор ставит задачу – оценку:

- « 1. *Напишите закон Ома для этой цепи.*
2. *Выясните условия (в виде неравенства, в котором присутствуют размеры контура, угловая скорость вращения и активное сопротивление цепи), при которых ток будет нарастать».*

Ожидаемым результатом здесь является понимание того, что для самозарождения магнитного поля космические тела должны быть достаточно проводящими, быстро вращающимися и иметь большие размеры . Следует отметить, что важна не абсолютная величина угловой скорости, а *разность угловых скоростей ядра и внешних слоев звезды или планеты.*

Список литературы:

- [1] Беленов А.Ф. Астрофизика в задачах и оценках. Интерактивные лекции по астрофизике. Издательство LAP Publishing, Германия, ISBN 978-3-8473-7346-9, 2012 г.
[2] Короновский Н.В. Магнитное поле геологического прошлого Земли. Соросовский образовательный журнал, №5, 1996, с. 56–63.

Е.Я. Бубнов
ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

**АКУСТИЧЕСКОЕ ПОЛЕ ДВИЖУЩЕЙСЯ ЛИНЕЙНОЙ
АНТЕННОЙ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ КВАДРУПОЛЕЙ
СО СЛУЧАЙНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ
ДИПОЛЬНЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ**

Исследования настоящей работы предполагается использовать для уточнения акустического излучения газовых струй. Акустика струй представляет собой сложный раздел как в физической формулировке, так и в разработке адекватной математической модели. Автор в работах [1–2] предложил рассматривать квадруполь, которые являются основными источниками шумоизлучения свободной струи, в виде дискретных источников, а именно в виде двух точечных диполей или четырех монополей соответствующей полярности. Для модели распределенных движущихся источников в решении для акустического поля излучения появляются дополнительные фазовые набегги, которые существенно изменяют характеристики излучения. Природа дополнительных фазовых набегов связана с анизотропным характером упругой среды.

Такую физическую модель автор применил к газовым струям [3], в которых согласно [4] содержатся когерентные излучающие структуры, характерный размер которых много меньше длины звуковой волны. В расчетах предполагалось, что расстояние между излучающими элементами антенны является неизменным.

В настоящей работе автор провел исследование излучения линейной антенной, в которой расстояния между излучающими элементами антенны могут меняться случайным образом.

Геометрия задачи для случая четного числа распределенных квадруполь в антенне приведена на рис. 1. Поперечные квадруполь расположены вдоль прямой линии, при этом два соседних противофазных гармонических диполя, образующие квадруполь, расположены на расстоянии l друг от друга. Расстояние между соседними квадрупольями равно L . Предположим, что указанные расстояния между источниками меняются случайным образом по закону равномерного распределения. Линия, соединяющая квадруполь, имеет угол α с положительным направлением оси x , вдоль которой происходит движение антенны и наблюдателя. Направление силового действия квадруполь изображается на рис. 1 стрелками, которые перпендикулярны линии, соединяющей диполи. Расстояние между началом координат и точкой наблюдения $M(x, y)$, находящейся в дальней зоне ($r \gg S_{\text{макс}}^2 / 4\lambda$) в плоскости x, y определяется через полярные координаты r и φ .