

АСТРОНОМИЯ

АСТРОФИЗИКА В ШКОЛЕ: СОДРУЖЕСТВО ДИСЦИПЛИН И «СПАСАТЕЛЬНАЯ СОЛОМИНКА»

Ключевые слова: элективный курс, физика, астрономия, астрофизика, интерактивная лекция.

А. Ф. Беленов, к. ф.-м. н., доцент ГОУ ДПО «Нижегородский институт развития образования»;
balniro@mail.ru

В статье обсуждаются проблемы, касающиеся интеграции предметов «Физика» и «Астрономия», и пути их возможного решения в рамках новых образовательных стандартов. Приведен пример авторской программы элективного курса «Астрофизика», рекомендованного для классов и школ профильного уровня.

Предисловие

Автор статьи по специальности – радиопизик, 20 лет работал в Горьковском научно-исследовательском радиофизическом институте, защитив кандидатскую диссертацию по «ближнему космосу» – ионосфере. Погружение в «дальний космос» произошло почти случайно – в начале 90-х гг. предложили преподавать астрономию в одной из школ Нижнего Новгорода и читать лекции в Нижегородском планетарии. Вскоре после этого начал работу на курсах повышения квалификации для учителей естественных дисциплин в Нижегородском институте развития образования, в том числе – как разработчик дистанционного курса «Астрофизика».

Теперь о мотивах написания данной статьи. Прежде всего хотелось поделиться личным опытом разработки и проведения занятий по элективному курсу «Астрофизика». Кроме того, это попытка размышлений о «динозавре» современного школьного образования – астрономии – в период недавно прошедшего международного года астрономии и 50-летнего юбилея первого полета человека в космос. Удивительно, но

интерес к космической тематике у учителей и школьников (по ощущениям автора) отнюдь не ослабевает. Об этом можно судить по количеству задаваемых вопросов на курсах и уроках. Например, о том, как узнают о существовании планет вблизи далеких звезд; как доказали, что плотность вещества в глубинах Земли больше, чем на ее поверхности. Может быть, это потому, что в Нижнем Новгороде большое количество образовательных и научных центров, где занимаются астрофизикой? Трудно с этим спорить: Институт прикладной физики РАН, Научно-исследовательский радиофизический институт, кафедра астрономии и обсерватория Нижегородского педагогического университета, уникальный цифровой планетарий, Приволжский центр аэрокосмического образования. Плюс к этому – энтузиазм организаторов астрономических олимпиад и турниров, детских кружков и летних астрономических школ. Можно было бы привести достаточное количество конкретных примеров работы учителей в этом направлении, но... предмета «Астрономия» уже нет в Федеральном перечне и в новых образовательных стандартах среди

обязательных (возможно, будет введен как предмет по выбору, *ред.*). Поэтому одной из «спасательных соломинок» для поддержки интереса школьников и учителей к изучению космоса являются возможности элективных курсов или внеклассные часы.

Цель автора данной статьи — познакомить читателей с собственными разработками элективного курса «Астрофизика», апробированного в течение 7 лет в научно-образовательном центре (старшие классы) при Институте прикладной физики РАН.

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. В каком-то смысле такая деятельность — это воспроизведение метода научного поиска, приводящего к новым знаниям. Учащиеся в процессе данной работы самостоятельно находят материал по теме лекции, приводя ее к логическому завершению. Основным критерием оценки данной работы является полнота ответа с указанием принятых допущений и анализом полученного результата.

Далее представлена программа элективного курса, и пример двухчасовой интерактивной лекции. Вопросы, провоцирующие решение задач — оценок, выделены *жирным курсивом*.

Программа авторского элективного курса «Астрофизика» (36 часов).

1. Движения небесных светил: наблюдаемые особенности и модели (4 часа).

- Особенности человеческого глаза при наблюдении далеких объектов: разрешающая и проникающая способности глаза.

- Инструментальная астрономия в Древней Греции в научном и социокультурном контекстах.

- Сопоставление моделей Птолемея и Коперника с точки зрения прогнозов и ответственности современным физическим представлениям (2 часа).

- *Практическое занятие (1):* изготовление демонстрационных наглядных моделей движений планет. Построение видимой траектории Марса с использованием данных моделей.

- *Практическое занятие (2):* демонстрация видимых движений Марса с помощью графических программ на персональном компьютере.

2. Инструментальная проверка гипотез о движениях Земли (6 часов).

- Вращающаяся система отсчета: центробежная сила и сила Кориолиса (частные случаи).

- Осевое вращение Земли: исследование свободного падения, маятник Фуко, особенности течения рек, циклоны.

- *Практическое занятие (1):* самостоятельное определение направлений вращения циклонов и антициклонов в Северном и Южном полушариях.

- *Практическое занятие (2):* оценка минимальной глубины колодца и минимальной длины нити маятника для установления факта осевого вращения Земли.

- Орбитальное движение Земли: абerrационное и параллактическое смещения звезд.

- *Практическое занятие:* оценка величин параллактического и абerrационного смещений для известных светил.

- Определение расстояний до небесных светил: горизонтальный и годичный параллакс.

- Движение земной оси: Земля как волчок в поле внешних сил.

- *Практическое занятие:* изготовление наглядной модели, иллюстрирующей степень устойчивости земной оси. Сопостав-

ление имитационной модели и Земли при описании прецессии земной оси.

3. Планетная механика (4 часа).

- Особенности науки в эпоху Возрождения, астрономический аспект.
- Законы Кеплера (связь с законами механики).
- Космические скорости.
- Гравитационный маневр.
- *Практическое занятие (1)*: имитационное моделирование гравитационного маневра.
- *Практическое занятие (2)*: оценка эффективности гравитационного маневра.
- Приливные силы: приливы и отливы, приливной разрыв.
- *Практическое занятие*: оценка «опасного» удаления спутника от планеты (зоны приливного разрыва).

4. Солнечная система (8 часов).

- Гравитационная неустойчивость и оценка масштабов планет.
- *Практическое занятие*: оценка характерных масштабов планет земной группы.
- Гравитационная сепарация: особенности строения планет земной группы в сравнении с планетами – гигантами. Возможности внеземного зарождения жизни.
- Особенности оболочек Земли как фильтра солнечного излучения. Роль парниковых газов.
- *Практическое занятие*: самостоятельное создание учащимися презентации (постера), иллюстрирующей взаимодействие Земли с солнечным излучением.
- Малые тела Солнечной системы и их воздействие на Землю.
- *Практическое занятие (1)*: оценка разогрева земной атмосферы при столкновении Земли с малой планетой (астероидом, кометой).
- *Практическое занятие (2)*: оценка характерного размера частиц пылевого кометного хвоста.

5. Жизнь Солнца (4 часа).

- Происхождение магнитных полей космических тел и гипотеза дискового динамо.
- *Практическое занятие*: изучение модели униполярного индуктора Фарадея и сопоставление с моделью дискового динамо.
- Солнечные пятна: связь с солнечным магнитным полем и его структурой. Цикл солнечной активности.
- *Практическое занятие*: наблюдение солнечных пятен в телескоп и оценка размеров солнечного пятна.
- Солнечный ветер. Полярные сияния и магнитные бури.

6. Звездная галерея (6 часов).

- Закон Вебера – Фехнера и шкала звездных величин.
- *Практическое занятие*: сопоставление зрительного ощущения яркости с показаниями фотометра.
- Равновесие гравитационных сил и сил давления – связь основных параметров звезды.
- Зависимость «цвет – светимость». Практические трудности в исследовании данной зависимости. Спектр звезды: непрерывный спектр и спектральные линии. Методы определения расстояний до звезд.
- *Практическое занятие*: определение расстояний до звезд по известной звездной величине с использованием зависимости «цвет – светимость».
- Источники энергии звезд. Возможности химических и гравитационных источников энергии. Термоядерные реакции.
- *Практическое занятие*: оценка термоядерных энергоресурсов 1 литра воды.
- Собственные колебания звезд на примере модели сообщающихся сосудов. Пульсирующие звезды (цефеиды).
- *Практическое занятие*: примерная оценка периода механических колебаний Солнца.

- Красные гиганты. Белые карлики. Нейтронные звезды и пульсары.

- *Практическое занятие:* решение задачи по оценке плотности и размеров нейтронной звезды.

- Черные дыры и путешествие во времени. Звезды – «двойники» (двойные системы звезда – черная дыра).

- *Практическое занятие:* решение задачи по оценке расстояния до черной дыры по результатам наблюдений звезд – «двойников».

- Новые и сверхновые звезды. Синтез тяжелых элементов.

7. Звездные ассоциации (4 часа).

- Структура Млечного Пути.

- *Практическое занятие:* решение задачи по оценке периода обращения Солнца вокруг галактического центра.

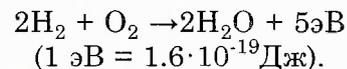
- Эффект Доплера и наблюдаемое красное смещение: альтернативные гипотезы («покраснение фотонов»). Закон Хаббла. Космологические масштабы длины и времени.

- *Практическое занятие:* решение задачи по оценке критической плотности Вселенной.

Интерактивная лекция по теме «Почему горят звезды?»

Известный немецкий философ второй половины 18 века Иммануил Кант, размышляя о причинах «горения» Солнца, писал: «Действительно, так как пламя, горящее над всей поверхностью Солнца, само отнимает у себя воздух, необходимый ему для горения, Солнцу грозит опасность совершенно потухнуть, когда будет поглощена большая часть его атмосферы». Давайте попытаемся проанализировать гипотезу химического горения Солнца. Прежде всего, для горения нужен кислород, которого на Солнце, по современным данным, крайне мало. Если бы даже на Солнце было достаточно кислорода, то при элементарной реакции горения водорода выделилось бы

5 эВ на 4 атома кислорода и два атома водорода:



За 1 секунду Солнце излучает $4 \cdot 10^{26}$ Дж энергии. Зная массу протона $m_p = 1.7 \cdot 10^{-27}$ кг и массу Солнца $M_\odot = 2 \cdot 10^{30}$ кг, оцените время, за которое водород на Солнце полностью сгорит при достаточном количестве кислорода для его горения.

Надеемся, вы доказали, что время жизни «химического Солнца» крайне мало по сравнению с данными (4,5 миллиарда лет), полученными радиоизотопным методом. Данный метод основан на исследовании процесса радиоактивного распада урана 238 (см., например, материалы «Возраст Земли» из Википедии – электронной энциклопедии <http://ru.wikipedia.org>).

Во второй половине XIX века Юлиус Майер, немецкий врач и естествоиспытатель, первым сформулировавший закон сохранения энергии, высказал предположение, что Солнце горит по причине неупругих соударений с метеоритами. Давайте попытаемся оценить время жизни «ударного Солнца». Современная масса Солнца обеспечивает скорость падения «из бесконечности» около 600 км/с (т. е. вторую космическую скорость). Тогда время жизни Солнца по порядку величины – это время, за которое наше светило существенно увеличивает свою массу (т. е., иными словами, это время падения на Солнце вещества с массой порядка нынешней массы Солнца). С другой стороны, энергия, выделенная за это время, должна соответствовать известным данным о мощности излучения Солнца.

Оцените время жизни «ударного Солнца». Сопоставьте это время с данными о времени жизни Солнца, полученными радиоизотопным методом. Дополнительные данные: гравитационная постоянная $G = 6.67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$; радиус Солнца составляет примерно $7 \cdot 10^5$ км.

Немецкий физик и математик Герман Гельмгольц во второй половине XIX века предложил механизм горения Солнца, близкий к идее «падения» вещества. Если Солнце не абсолютно жесткое, то под действием сил взаимного притяжения оно может сжиматься. При этом, согласно первому принципу термодинамики, работа сил гравитации должна увеличивать внутреннюю энергию солнечного вещества – т. е. Солнце должно разогреваться! Если предположить, что работа сил гравитации полностью переходит в излучение, то запас энергии «гравитационного Солнца» можно оценить как GM_{\odot}^2/R_{\odot} – т. е., как характерную величину потенциальной энергии сил гравитационного взаимодействия отдельных частей Солнца между собой.

Используя известное значение мощности излучения Солнца, оцените время жизни светила по порядку величины, исходя из гипотезы гравитационного сжатия. Соотнесите полученные оценки с «радиоизотопным» возрастом – 4,5 миллиарда лет.

Если вы не ошиблись в вычислениях, то возраст «гравитационного Солнца» получился существенно ниже 4,5 миллиардов лет. Будем проверять другие гипотезы.

В 20-х годах XX века было высказано предположение, что энергия в звездах может выделяться при слиянии атомных ядер (*термоядерные реакции*). Спустя два десятилетия были сделаны оценки энерговыделения для конкретных типов термоядерных реакций, а в 50-х годах XX века США и СССР продемонстрировали реальность гигантских энергий, реализуемых в ходе термоядерного синтеза, – были испытаны первые водородные бомбы.

Оцените время жизни «термоядерного» Солнца, зная, что при синтезе гелия из четырех протонов выделяется энергия порядка $2.5 \cdot 10^6$ эВ.

Подсказка: поинтересуйтесь, сколько на Солнце «квartetов протонов». Это поможет вам оценить запас энергии «термоядерного Солнца».

Краткое послесловие

В заключение хочется отметить, что такая форма работы с аудиторией представляется автору весьма плодотворной. Во первых, в плане «наполняемости» оценками – каждый учащийся на каждом занятии получает оценку. Но, более существенным, по мнению автора, является практически непрерывный контакт с учащимися – как во время лекции, так и во время выполнения практических заданий.

Литература.

1. С. А. Каплан. Физика звезд. – М: Мир, 1969 г.
2. Ф. Ю. Зигель. Сокровища звездного неба. 2-е изд. – М.:Наука, 1980.
3. П. Г. Куликовский. Звездная астрономия. 2-е изд. – М.:Наука, 1985.
4. Г. Н. Дубошин. Небесная механика. 2-е изд. – М.:Наука, 1968.
5. С. Шапиро, С. Тьюколски. Черные дыры, белые карлики и нейтронные звезды. – М.: Мир, 1985.
6. Патрик Мур. Астрономия с Патриком Муром. – Фаир-Пресс 2001 г.
7. Звезды. Редактор – составитель В. Г. Сурдин. – М.: Физматлит, 2008.
8. М. Шварцшильд. Строение и эволюция звезд. – М.: Издательство ЛКИ, 2008.
9. О. Струве и В. Зегерс. Астрономия XX века. – М: Издательство «Мир», 1968.
10. Звезды. Редактор – составитель В. Г. Сурдин. – М: Физматлит. 2008.

