

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВИРТУАЛЬНОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ «ЖИВАЯ ФИЗИКА» НА УРОКАХ ФИЗИКИ И АСТРОНОМИИ

Беленов А.Ф.

Нижегородский институт развития образования

Современное естественно-математическое образование невозможно представить без цифровых обучающих технологий. По прогнозам отечественных и зарубежных специалистов в области образования, в ближайшем будущем следует ожидать всё большего проникновения в образовательные стандарты дополнительных способов предъявления информации на базе компьютерных интерактивных моделей. Это, в свою очередь, приведёт к совершенствованию критериев оценки как предметных, так и метапредметных результатов обучения. неотъемлемой частью критериев станет усиление акцента на информационную грамотность, креативность и умение выполнять проектные задания. Соответственно, это повлечёт увеличение доли вопросов, требующих развёрнутого, свободно конструируемого ответа.

На сегодняшний день известен ряд разработок в этом направлении. В настоящей статье основное внимание уделено использованию компьютерных математических моделей движений физических тел в рамках доступного школьникам и учителям программного продукта – виртуальной лаборатории «УМК Живая Физика». Выигрышной особенностью этой лаборатории – сравнительно несложный интерфейс, позволяющий учителям и учащимся создать наглядную картину движений тел под действием заданных сил, а также иллюстрацию законов сохранения в механике. Недостатком лаборатории является невозможность полной иллюстрации свойств жидких тел, хотя некоторые аспекты свойств жидкостей всё же можно воспроизвести с её помо-

щью. Автор статьи использует лабораторию на курсах повышения квалификации учителей физики и астрономии в Нижегородском институте развития образования, а также на занятиях со старшеклассниками в Научно-образовательном центре при Институте прикладной физики РАН (г. Нижний Новгород).

Краткое описание содержания и возможностей виртуальной лаборатории «Живая Физика» (ЖФ)

Основа виртуальной лаборатории ЖФ – это программа, позволяющая моделировать механические процессы в различных силовых полях (гравитация, вязкое и сухое трение, электромагнитные поля), а также визуализировать в виде анимаций результаты моделирования. В основу ЖФ положена разработка «INTERACTIVE PHYSICS» (США). Можно отметить не совсем точный по смыслу перевод – живая физика больше ассоциируется с лабораторными экспериментами при использовании «живого» измерительного оборудования. Поэтому ЖФ ни в коей мере не заменяет реальный эксперимент, но, тем не менее, играет роль важного математического дополнения как при постановке исследовательской задачи, так и для интерпретации полученных результатов.

Несомненным достоинством виртуальной лаборатории является наглядность теоретических описаний явлений (в виде анимаций и графиков), что существенно дополняет абстрактные решения задач и позволяет лучше понять и усвоить изучаемые темы и разделы курсов физики и астрономии.

Другое важное достоинство ЖФ – возможность самостоятельного конструирования учащимися различных физических и астрономических моделей, что и хотел продемонстрировать автор статьи как результат личного педагогического опыта в аудиториях старшеклассников и учителей. Удобный интерфейс, который приводится ниже, позволяет избежать использования языков программирования (рис. 1). Слева на рисунке 1 изображены механические тела различной формы с возможностью их закрепления, включая как неподвижную фикса-

цию, так и осевое вращение. Сверху расположены опции, краткое описание наиболее важных из них приведено ниже:

- «среда» – выбор силовых полей;
- «стол» – выбор системы отсчёта;
- «измерения» – возможность вывода на рабочий стол графиков движений и таблиц;
- «окно» – возможность выбора физических параметров (масса, плотность начальные координата и скорость, заряд, коэффициенты упругости и трения); опция «окно» включает также функции работы с объектом – возможность построения траектории движения, выбора цвета изображения.

Использование моделей ЖФ позволяет:

- проводить демонстрационный эксперимент;
- ставить перед учащимися задачи для виртуального эксперимента в рамках проектно-исследовательской деятельности;
- использовать ЖФ, как средство контроля знаний.

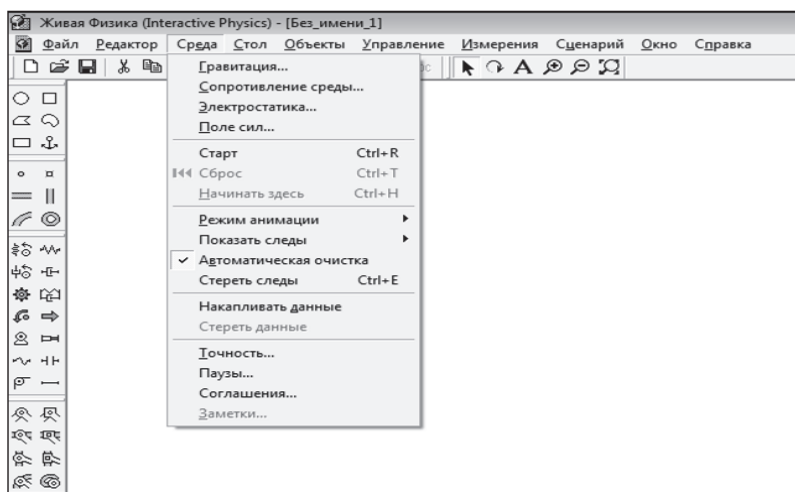


Рис. 1. Интерфейс виртуальной лаборатории «Живая Физика»

Приведём примеры математических моделей некоторых физических и астрономических явлений, сконструированных с помощью ЖФ.

Относительные движения на примере астрономических явлений

Суточное вращение небесных светил. Тема «Суточное вращение небесных светил» практически открывает курс астрономии. Наблюдение этого явления на ночном небе требует от учащихся известного терпения, так как за время урока визуальное (без телескопа) наблюдение вращения светил вокруг Полярной Звезды малозаметно. К тому же наблюдение в темное время суток вне здания школы весьма проблематично. ЖФ даёт возможность моделировать наблюдения светил с Земли в течение суток.

Для создания модели сначала представим картину звездного неба в системе отсчёта «звезды» (рис. 2). Крупный диск – наша Земля, пропорции размеров и расстояний не соблюдены. Затем переместим систему отсчёта на Землю (рис. 3).

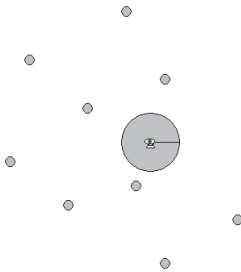


Рис. 2. Картина звёздного неба в системе отсчёта «звёзды»

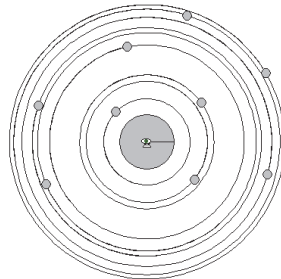


Рис. 3. Картина звёздного неба в системе отсчёта «Земля»

В системе отсчёта «Земля» на мониторе компьютера можно видеть вращения светил (мелкие диски) и траектории их движений.

Видимые (петлеобразные) движения планет Солнечной Системы. Использование ЖФ позволяет наблюдать петлеобразное движение планет, как бы находясь на другой планете. На рисунке 4 приведены траектории Земли и Марса, какими их можно было бы наблюдать, находясь на Солнце.

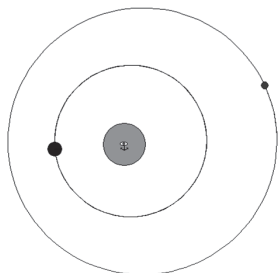


Рис. 4. Траектории Земли и Марса (начало отсчёта – центр Солнца)

Благодаря ЖФ можно виртуально также понаблюдать траектории Солнца и Марса с Земли (рис. 5).

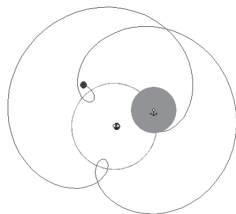


Рис. 5. Траектории Солнца и Марса. Начало отсчёта – Земля.

Использование ЖФ позволяет представить себя на Марсе и увидеть траектории Земли (петли внутренних планет) и Солнца (рис. 6).

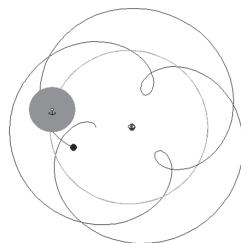


Рис. 6. Траектории Земли и Солнца (начало отсчёта – Марс)

Траектории движения планет можно моделировать не только при изучении астрономии, но и в курсе физики при изучении относительных движений. Дидактическая значимость приведенных астрономических моделей ЖФ – расширение области знаний школьников в

области относительности траекторий, координат и скоростей. Конкретнее, готовые модели данной лаборатории охватывают область прямолинейных движений. Рассмотренные примеры иллюстрируют возможность как круговых, так и петлеобразных движений, что подчеркивает значимость выбора *системы отсчёта* для математического описания движений в механике.

**Законы сохранения при абсолютно упругих соударениях:
интерпретация некоторых свойств атмосфер планет**

В существующих УМК по физике для старшей школы отсутствуют задачи, связанные с абсолютно упругим соударением двух тел. Поэтому мы считаем уместным привести пример решения подобной задачи.

Система уравнений, описывающая законы сохранения механической энергии и импульса при упругом центральном соударении шариков массами m и M приведена ниже:

$$\frac{mv_0^2}{2} + \frac{MV_0^2}{2} = \frac{mv^2}{2} + \frac{MV^2}{2}$$

$$mv_0 + MV_0 = mv + MV$$

Здесь v_0 и v – горизонтальные проекции скорости шарика массы m до и после удара;

V_0 и V – горизонтальные проекции скорости шарика массы M до и после удара.

Решая систему двух уравнений, находим скорости шариков сразу после удара:

$$V = \frac{2mv_0 + (M - m)V_0}{m + M}$$

$$v = \frac{2MV_0 + (m - M)v_0}{m + M}$$

Рассмотрим частный случай: соударение равных масс: $m = M$. Решение даёт «обмен скоростями»: $v = V_0$; $V = v_0$

Приведём пример использования этого решения для молекул атмосферы, считая молекулы воздуха упругими шариками равных масс. Допустим, что все молекулы двигаются строго вертикально и все удары центральные (одномерный случай). Тогда молекулы атмосферы, имея при тепловом контакте с Землей одинаковые тепловые скорости v_T , пролетают длину свободного пробега и сталкиваются с летящими навстречу молекулами. Встречные молекулы имеют такую же по модулю скорость (следует из закона сохранения механической энергии). Обмен скоростями приводит к тому, что летевшие вниз молекулы поворачивают обратно, не меняя модуля скорости сразу после удара. Так как соударения не меняют модуля скорости, то на любой высоте h молекулы, летящие вверх, ведут себя так же, как если бы они вообще не испытывали соударений (были бы *свободными частицами*). Для наглядной иллюстрации сказанного опять воспользуемся ЖФ (рис.7).

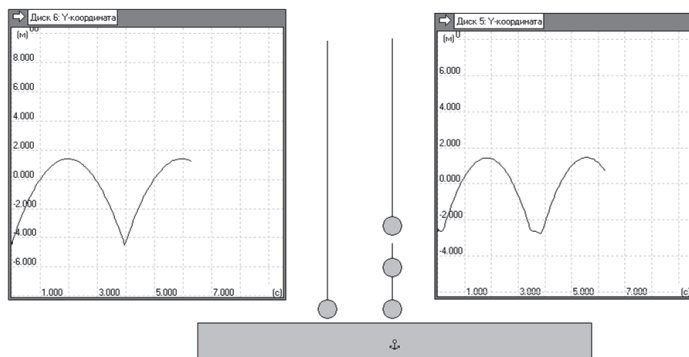


Рис. 7. Моделирование соударений молекул в атмосфере

Дидактическая значимость наглядного решения этой задачи с помощью ЖФ заключается, в частности, в возможности оценки *толщины земной атмосферы* h – как высоты наибольшего подъема *свободных молекул* с начальными тепловыми скоростями v_T (порядка 500 м / с). Решая простую задачу кинематики, получим: $h = v_T^2/2g = 12,5$ км. Такая

оценка весьма полезна для решения задачи о нагреве атмосферы при падении на Землю кометных или астероидных тел.

Моделирование гравитационного маневра

Рассмотрим следующую задачу: «Межпланетный космический корабль движется по орбите, близкой к орбите Земли. Земля "догоняет" космический корабль. Оцените приращение скорости корабля».

При допущении малой разницы скоростей Земли и космического корабля приращение скорости космического аппарата примерно равно удвоенной относительной скорости космического корабля. Такой способ разгона используется практически в межпланетных полетах (начиная с полетов космических аппаратов «Луна-3», «Вояджер» и «Пионер») и называется *гравитационным маневром*. Чтобы более наглядно представить себе ускорение космического корабля за счёт обмена энергией корабля с планетой, воспользуемся возможностями ЖФ (рис. 8).



Рис. 8. Модель гравитационного ускорения космического аппарата (самый мелкий диск)

Термин «гравитационный маневр» нередко встречается не только в научной литературе, но и в СМИ, а также в фантастических фильмах. Поэтому с дидактической точки зрения учащимся полезно знать (хотя бы на качественном уровне) механизм разгона космического аппарата и понимать, что часть кинетической энергии движения планеты передаётся космическому кораблю. ЖФ даёт возможность наглядной модельной визуализации явления гравитационного маневра, что способствует пониманию учащимися этого процесса и использованию полученных знаний по данной теме как на уроках физики и астрономии, так и во внеурочной деятельности.

Моделирование приливных явлений

Приливное торможение вращения Луны. Прежде всего следует уделить внимание краткой мотивации изучения приливных воздействий. Автор статьи в разработанном им курсе «Астрофизика» для старшеклассников предваряет тему «Приливы» задачей о предельной высоте гор твёрдотельных спутников и планет Солнечной системы. Рассмотрим эту задачу.

Используя условие равновесия для горы конической формы, находим давление P горы на основание конуса:

$$P = \frac{4}{9} \pi G \rho^2 R H,$$

где G – гравитационная постоянная, ρ – средняя плотность вещества планеты, R – радиус планеты.

Учитывая, что данное давление не может превышать предел прочности Π вещества планеты на сжатие, получим формулу для предельной высоты горы:

$$H = \frac{9\Pi}{4\pi G \rho^2 R}.$$

Ограниченность высоты горы как следствие баланса «гравитация – прочность», можно продемонстрировать «домашним» экспериментом, насыпая манную крупу на ровную поверхность стола. Сколько бы мы ни насыпали крупы, высота горки из неё будет ограниченной. «Живая Физика» позволяет создать модель такого эксперимента (рис. 9).

Гора из такого количества «крупинок» устойчива «Насыпаем» ещё один слой «крупинок» Гора «проседает» (теряет устойчивость)

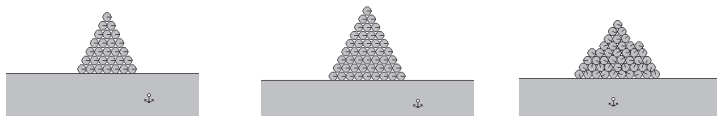


Рис. 9. Эволюция модели горы при попытке её наращивания

Выведенная закономерность $H(R)$ хорошо согласуется с данными о высотах гор на Земле, Марсе и Венере. Но для Меркурия и Луны, несмотря на различия в плотности и пределе прочности, данные о высоте гор сильно расходятся с приведенной формулой. В частности, для Меркурия высота гор не превышает 4 км, причём диаметр этой планеты составляет 0,383 диаметра Земли, а средняя плотность примерно равна плотности Земли. Таким образом, можно сделать вывод об ограниченной области применимости формулы для оценки высоты горы, учитывающей только баланс сил притяжения к планете и предельной прочности на сжатие.

Поиски общих особенностей расположения для Луны и Меркурия приводят к учёту притяжения не только к самой планете, но и к её «соседям» – в данном конкретном случае к Земле и Солнцу соответственно. Таким образом, мы подходим к *моделированию приливных явлений*, вызывающих дополнительное сглаживание гор твёрдых объектов Солнечной системы. Не вдаваясь в детали вывода формулы «деформирующей» силы, приведем эту формулу для сил, деформирующих небесное тело массы M_1 и радиуса R_1 стороны небесного тела массы M_2 :

$$F_{\text{прил}} \approx \frac{GR_1 M_1 M_2}{2r^3}.$$

Следует подчеркнуть, что приливные силы, действующие на «половинки» Луны, носят растягивающий характер, т.е. направлены в противоположные стороны. Если предположить, что при формировании Луна представляла собой твёрдую кору, вязкую мантию и твёрдое ядро, то следует учесть, что приливные деформации коры вызывают трение между слоями спутника (приливное трение). ЖФ даёт возможность создать качественную модель временной динамики осевого вращения Луны с учётом деформирующих сил со стороны Земли.

На рисунке 10 деформация коры спутника Земли моделируется шариками, соединёнными пружинами. Если проследить за траекторией чёрного шарика, можно отметить, что установившаяся траектория представляет собой тонкое кольцо, т.е. выделенный участок поверх-

ности Луны в результате приливного трения практически не меняет своего кратчайшего расстояния до Земли. Модель ЖФ, приведенная на рисунке 10, объясняет синхронное (без учёта либраций) вращение нашего спутника – угловые скорости осевого и орбитального вращения Луны практически совпадают!

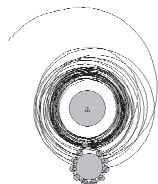


Рис. 10. Динамика приливного торможения осевого вращения Луны (траектория чёрной метки на поверхности Луны, положение чёрной метки – это начало движения)

Приливный разрыв. Когда мы говорим о явлении разрыва небесного тела под действием приливных сил, то интуитивно подразумеваем разрыв на два или, в крайнем случае, на несколько осколков. Но комета Шумейкерв-Леви 9 (июль 1992 г.) предстала перед нами в виде непрерывной цепочки, состоящей из 21 осколков (некоторые учёные считают, что их было 25). Это тот случай, когда приливные силы, воздействующие на ядро кометы (в данном случае – со стороны Юпитера), соизмеримы с силами сцепления частей кометного тела. ЖФ позволяет качественно моделировать динамику приливного разрыва на два осколков (рис. 11).



Рис. 11. Динамика приливного разрыва:

а) подлёт кометы к планете

б) разрыв и падение одного осколков кометы на планету

Моделирование некоторых свойств газов, жидкостей и твёрдых тел

Модель давления газа и колебаний газа под поршнем. «Живая физика» даёт возможность виртуально продемонстрировать как модель давления газа в результате ударов молекул или атомов о стенки сосуда, так и возможность колебаний газового столба, что иллюстрирует рисунок 12. На нижней части рисунка 12 изображены подвижный гладкий поршень, являющийся перегородкой для неподвижного сосуда, обе части которого заполнены упругими шариками – моделью атомов или молекул. Верхняя часть рисунка 12 – график зависимости горизонтальной координаты поршня от времени.

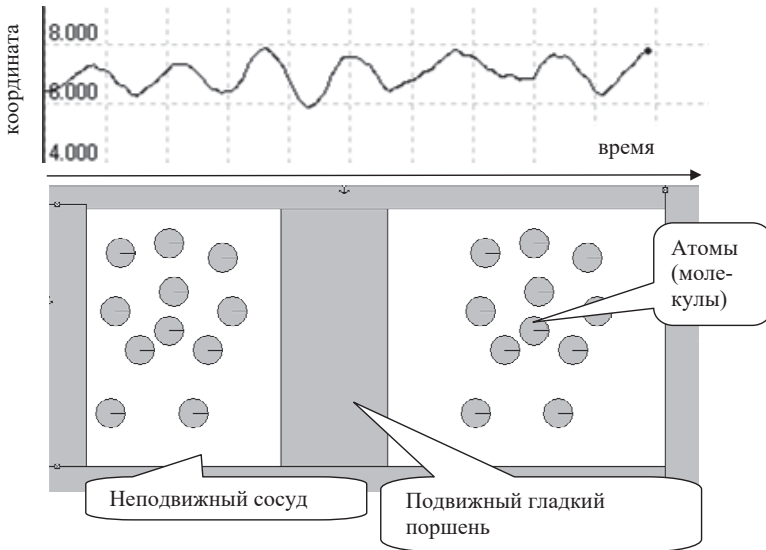


Рис. 12. Модель собственных колебаний газа под поршнем

Моделирование текучести и испарения жидких тел. Эта несложная модель в рамках ЖФ иллюстрирует свойства молекул жидкости обладать плотной упаковкой и в то же время иметь возможность значительно менять свое положение относительно друг друга. На рисунке 13 отображается наливание жидкости в вертикальный сосуд.

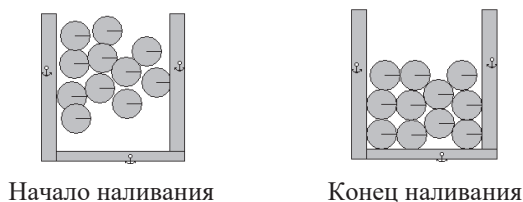


Рис. 13. Наливание жидкости в сосуд

На рисунке 14 представлена модель испарения жидкости. Изображены начальное состояние жидкости и траектория молекулы, «покинувшей» сосуд (кривая линия).

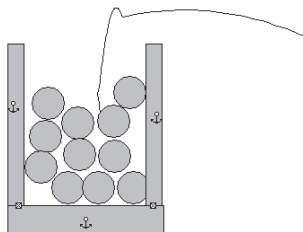


Рис. 14. Испарение жидкости

Модель тепловых движений атомов в кристаллической решетке твёрдого тела. На рисунке 15 справа приведена модель кристаллической решетки в виде шариков, связанных упругими силами. Слева – график зависимости горизонтальной координаты «чёрного атома» от времени. График иллюстрирует, что тепловые движения атомов в твёрдом теле носят колебательный характер.



Рис. 15. Тепловые движения атомов в кристаллической решетке

Резюмируя возможности ЖФ для моделирования свойств газов, жидкостей и твёрдых тел, подчеркнём дидактическую значимость этой виртуальной лаборатории: наглядность и конкретность рассмотренных моделей позволяет учащимся лучше понять отличительные особенности структуры и динамики атомов и молекул жидких, твёрдых и газообразных тел.

Движение в поле электростатических сил отталкивания – опыт Резерфорда

Рассеяние положительных α -частиц на ядрах атомов золота (опыт Резерфорда) – решающий эксперимент, который привел к открытию атомных ядер, также может быть смоделирован программой ЖФ. Рисунок 16 служит качественной модельной иллюстрацией опыта Резерфорда.

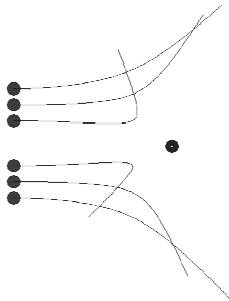


Рис. 16. Опыты Резерфорда по рассеянию α -частиц

Слева изображен вертикальный ряд α -частиц, «бомбардирующих» ядро золота (шарик справа). Кривые линии – траектории α -частиц перед рассеянием и после рассеяния. Программа позволяет наделить частицы зарядом и задать электростатические взаимодействия. Иллюстрация носит качественный характер, так как в реальном эксперименте отклонялось лишь небольшое число α -частиц.

Ценность моделирования опыта Резерфорда средствами ЖФ заключается, в частности, в иллюстрации взаимосвязи таких разделов курса физики, как «Механика», «Электростатика» и «Ядерная физика».

Заключение

Виртуальная лаборатория «Живая Физика» присутствует на российском образовательном рынке более 20 лет. Об использовании этого образовательного продукта написано немало статей (автор огра-

ничился лишь одной ссылкой). Цель данной публикации заключалась в демонстрации возможностей «Живой Физики» как конструктора моделей физических и астрономических явлений, доступного широкой аудитории учителей и учащихся. Авторский опыт проведения мастер-классов на курсах повышения квалификации учителей подтверждает это: к итоговому зачёту каждый слушатель создавал свою собственную модель на базе виртуальной лаборатории «Живая Физика».

Ещё раз отметим, что виртуальное моделирование никоим образом не заменяет реальные демонстрационные и исследовательские эксперименты. Тем не менее, создание динамических моделей, в том числе и разработанных автором, является полезным дополнением к реальным физическому и астрономическому практикумам.

В заключение автор считает своим долгом поблагодарить учителей, учащихся и также коллег за проявленный интерес к разработкам, выполненным с помощью виртуальной лаборатории «Живая Физика», а также за полезные замечания, пожелания и вопросы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Решетникова О.А. «Портрет» выпускника через призму требований КИМ: настоящее и формируемое будущее. Журнал «Педагогические измерения». ФИПИ. №2, 2018 г. с. 4—7.

2. Живая Физика 4.3. Виртуальная физическая лаборатория [Электронный ресурс]. – Режим доступа:<http://www.int-edu.ru/content/zhivaya-fizika-43-virtualnaya-fizicheskaya-laboratoriya>

3. Вайскопф В. Современная физика в элементарном изложении. Высота гор определяется фундаментальными физическими постоянными / Успехи физических наук. т.103, вып.1, 1971, с.162—165.

4. Ксанфомалити Л.В. Неизвестный Меркурий / В мире науки. 2008. № 2, с. 64—73.

5. Воронцов-Вельяминов Б.А., Страут Е.К. Астрономия. Учебник. 11 класс. – М.: Дрофа. 2018, с. 77—78.

6. Чаругин В. М. Астрономия. Учебник. 10—11 классы. М.: Просвещение. 2018, с. 57—59.

7. Гусева О.Б. Опыт проведения лабораторного практикума по физике с использованием компьютерных моделей на основе УМК «Живая физика» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/>

8. *Беленов А.Ф.* Использование виртуальных цифровых лабораторий в преподавании астрономии // *Материалы открытой всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы астрономии и астрономического образования».*—Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского», 2014, с.140—141.

9. *Беленов А.Ф.* Обучение культуре математического моделирования в школьном физическом образовании. Журнал Вестник ВГАВТ, сборник «Великие реки», выпуск 6 (ноябрь 2017 г), секция XIII Физика, с. 1—5.

10. Угроза с неба: рок или случайность? Под ред. А.А. Боярчука. М.: Космосинформ. Институт астрономии РАН.1999. – 220 с.