



Астрономическое
образование

2026, № 1

Астрономия и школа

Ключевые слова:

интеграция дисциплин, физика,
профильное образование в школе

Сокращения:

ФГОС – федеральный государственный
образовательный стандарт;
ЕГЭ – единый государственный
экзамен; РПД – рабочая программа
дисциплины; МКТ – молекулярно-
кинетическая теория

*astro@physlab.info

Астрономия в курсе физики в физико-математическом классе

Д. А. Лисаченко*

СУНЦ «Академическая гимназия им. Д. К. Фаддеева СПбГУ»

Аннотация

Обобщается опыт автора по возобновлению астрономии как отдельного учебного предмета в 2019/20 учебном году, по согласованию этого курса с основным курсом физики, а после ликвидации астрономии как отдельного предмета в конце 2023/24 учебного года – по переносу части материала в курс физики. Астрономия изучалась в весеннем семестре 11 класса, что позволяло опираться на знания, которые либо уже получены в курсе физики, либо осваиваются параллельно. Приводится ряд задач по астрофизике, направленных прежде всего на поиск нестандартных, интуитивных, приближённых решений.

1. Введение

Курс астрономии, согласно ФГОС, может преподаваться с требуемым числом часов в любое время в 10–11-х классах. Если не ограничиваться только описанием небесных явлений без количественных закономерностей, то решающее значение приобретают уровень и качество знаний по физике. Поэтому чем ближе к концу учебного периода, тем лучше. Весенний семестр 11 класса удобен тем, что к этому времени уже пройдены все необходимые разделы физики, вплоть до спектроскопии и физики микромира. Тогда астрономию можно представить как надстройку над физикой, одновременно способствуя её повторению в период подготовки к ЕГЭ.

Учебная программа позволяет излагать астрономию в разных формах и на любом уровне. Поэтому мы считаем уместным выделить обязательное и относительно неизменное, не зависящее от конкретного учебника, теоретическое ядро, содержащее все основные формулы с выводами, изложенными в астрофизическом отношении полно и строго, но в предельно компактном виде, а также набор задач для иллюстрации основных понятий, законов и способов рассуждения. Учителя смогут дополнить этот материал с учётом реалий в своём классе, а продвинутые ученики – использовать его для повторения и систематизации знаний.

Мы ищем разумный баланс для физико-математического класса. ФГОС, с одной стороны, даёт свободу выбора в последовательности и уровне изложения материала, а с другой – фактически никогда не выполняется, что легко видеть, например, по итогам районного этапа олимпиад по физике. ФГОС и РПД дают полную свободу и в подборе примеров. Так, если примерами из биологии можно подкрепить почти все главы физики, кроме теории относительности, то примерами из астрономии – все без исключения. Автор статьи не является профессиональным астрономом, хотя в его опыте был некоторый период занятий астрофизикой, и это повлияло на подбор материала и стиль изложения.

Поступило в редакцию	19.02.2026
После доработки	13.03.2026
В печать	17.03.2026
Опубликовано	20.03.2026

journal.astroedu.ru

2. О структуре учебных курсов

Обсудим, какие темы курса астрономии, на наш взгляд, следует оставить без изменений, какие — перенести в другое место курса, а какие — исключить.

2.1. Какие разделы курса астрономии можно убрать

1. *Расположение, названия и основные свойства множества небесных объектов.* В этом разделе много материала, требующего простого запоминания, что сложно совместить с физикой как единой логической системой, особенно при дефиците времени и нехватке специальных знаний у учителей физики.
2. *Сложные расчёты координат и времени небесных объектов и событий.* Это особый навык, важный для навигации и наблюдений, но не развивающий понимание физических процессов.

Оба пункта требуют активной наблюдательной практики, что проблематично в условиях мощной городской засветки, облачной погоды и режимного характера работы школ. Поэтому мы либо сводим эти темы к минимуму, либо исключаем их вовсе.

2.2. Какие разделы курса астрономии можно перенести

Если физика и астрономия преподаются как отдельные курсы, то некоторые темы можно переставлять. Возьмём для примера космологию: Большой взрыв, расширение Вселенной, радиус Хаббла. Отметим три возможных варианта:

1. *разместить эту тему в конце курса, следуя историческому порядку изучения небесных тел — от ближних к дальним;*
2. *изучать тему в самом начале, следуя этапам эволюции Вселенной [1];*
3. *подстроить тему под курс физики.*

Рассмотрим последний вариант подробнее. Теоретическую основу здесь составляют законы Ньютона и закон всемирного тяготения, из которых выводятся, в частности, законы движения спутников, а также первая и вторая космические скорости. Этого достаточно, чтобы просто, но корректно ввести понятие тёмной материи и обсудить разбегание галактик и радиус Хаббла [2]. Поэтому эти вопросы можно изучать сразу после механики Ньютона, достигая сразу нескольких целей:

- подкрепить механику астрофизическими и мировоззренческими примерами;

- подчеркнуть единую основу всей «астромеханики» от силы тяжести на поверхности планет до расширения Вселенной;
- выиграть время, чтобы строение и эволюцию звёзд изучать в конце курса, после ядерной физики;
- сэкономить учебные часы, рассматривая тёмную материю и разбегание галактик вместо абстрактного тела массы m в задачах на гравитацию.

2.3. Как дополнить курс физики

В раздел молекулярной физики можно включить задачи о молекулярных облаках, иллюстрируя ими основные уравнения МКТ для идеального газа, которому такие облака вполне удовлетворяют. При этом полезно отметить неочевидный предельный переход, при котором скорость звука остаётся прежней даже при уменьшении плотности газа на много порядков. Для оживления курса можно также сравнить ударные волны на Земле и в дальнем космосе: длину и время свободного пробега, ширину ударного фронта.

В разделе квантовой физики тепловое излучение удобно изучать на примере классов звёзд.

Раздел оптики можно последовательно сопровождать примерами из астрономии, подчёркивая, что мы получаем информацию о звёздах посредством изучения приходящего от них света.

3. Астрономия, физика, математика

С одной стороны, родство и взаимосвязь этих наук не вызывают сомнений. С другой стороны, они существенно различаются по духу. С третьей стороны, каждую из них можно рассматривать и как науку, и как школьный предмет, а это далеко не одно и то же.

Школьные математические задачи почти всегда имеют ответ, получаемый идеально строгим способом. Школьные физические задачи, как правило, относятся к науке прошлых веков и гарантированно имеют простые решения, не выходящие за рамки шаблонов. В задачах же по астрофизике, даже школьных, присутствуют эффектная современность, смелая фантазия; умение считать с упрощениями, допущениями и округлениями, а также устно; красота и необычность самих объектов. Сверхновая в этом смысле выглядит куда выразительнее, чем тело массы m на пружине жёсткости k или абстрактная функция $f(x)$ ¹. Всё это может создавать дополнительные трудности, когда прямо по ходу урока, совмещающего физику и астрономию, приходится переключать стили мышления.

Как показывает опыт, обычные для астрофизика упрощения и округления могут вызывать замешательство в профильном физическом классе и непонимание, вплоть до полного недоумения, — в математическом. Развитие своеобразной астрофизической вычислительной культуры в школе — отдельная важная задача.

Здесь же отметим ещё одну, совсем не очевидную проблему: следует ли давать формулы с выводом или ограничиваться словесным описанием астрофизических явлений. Полагаем, что для обычного ученика формулы полезны и даже необходимы, поскольку ему легче самостоятельно вывести логически обоснованный результат, чем выучить его наизусть. И здесь снова возникает резкий контраст. Астрономия в школе — это сложная реальность без формул или с простыми формулами, тогда как физика в ЕГЭ — примитивный искусственный мир с надуманно строгими правилами².

4. Задачи

Приведём для примера ряд теоретических сюжетов и задач, которые, будучи астрономическими по содержанию, хорошо укладываются в обычную программу по физике. Более полный список с подробными решениями и другими материалами размещён на странице автора [3], которая периодически обновляется.

Во всех задачах рекомендуется искать короткое, простое и, по возможности, красивое решение. В ряде задач полезны навыки приближённых вычислений, которые ускоряют и упрощают получение ответа. Подразумеваются обычные приближения: сопротивление воздуха мало, тела однородны, вместо геоида рассматривается шар и т. п. Цель этих задач — не только и не столько показать частные примеры, сколько научить думать. Но если школьная физика при хорошем преподавании учит думать вообще, то астрономия учит думать *нестандартно*.

Мы не приводим здесь подробных решений. Наша цель — показать, для чего нужна та или иная задача, тогда как сами решения после появления правильной идеи обычно становятся простыми и очевидными, по крайней мере для учителя.

4.1. Механика. Гравитация

4.1.1. Космические скорости

При решении задач по механике удобно использовать следующую классификацию: если в задаче требуется описать некоторый *процесс*, применяется второй закон Ньютона. Если задача направлена на нахождение

ние *результата*, естественно обращаться к законам сохранения энергии, импульса и момента импульса. Для задач *на состояние* используются уравнения равновесия: равенство сил и равенство моментов. Этот подход хорошо иллюстрируется сравнительным выводом первой и второй космических скоростей, соответствующих, соответственно, процессу (движению по орбите) и результату (уходу на бесконечность).

Задача 1. Маятник подвешен на нити, длина которой равна радиусу планеты. Сравните периоды маятника и спутника на низкой орбите.

Это одна из серии задач, показывающих равенство периодов нескольких процессов. Помимо маятника и спутника, сюда относятся падение камня в сквозной туннель, прорытый по диаметру планеты, и движение тележки в сквозном туннеле по хорде. Такие задачи решаются почти без формул: необходимо понять, что происходит, и построить проекции сил, скоростей и перемещений. Кроме того, полезно для развития воображения вынести маятник за пределы «настоящего» опыта: не все видели даже 10-метровый маятник Фуко.

Задача 2. Блоха подпрыгнула на Земле на 1 м, а на астероиде — на 100 м. Какова на этом астероиде первая космическая скорость? Плотности Земли и астероида одинаковы.

В упрощённых моделях можно строить цепочки пропорций, не выписывая лишних параметров. Полезно также развивать навык выражать величины не в системе СИ, а в условных «попугаях», сравнивая их с параметрами Земли, Солнца и т. п.

Задача 3. Кирпич соскальзывает без трения с высокого трамплина и слетает с него горизонтально. При какой высоте трамплина кирпич выйдет на околоземную орбиту? Дополнительное условие: решить задачу в уме, записав только одну формулу, состоящую из минимального числа символов — одной буквы, двух цифр и дробной черты. Полезно убедиться, что задача намного проще, чем кажется, если действительно владеть материалом.

В случае затруднений можно начать с более простой задачи: при какой высоте трамплина кирпич приобретёт вторую космическую скорость?

Проверив таким образом знание определений и понимание закона сохранения энергии в гравитационном

поле, можно использовать соотношение кинетических энергий для космических скоростей, равное $1 : 2$, и зависимость потенциальной энергии от расстояния до центра Земли $E \propto 1/r$. Тогда для первой космической скорости потенциальная энергия $\sim 1/(2r)$. Отсюда видно, что высота трамплина равна радиусу планеты. Если ученик может построить такую цепочку в уме, значит, материалом он владеет.

Задача 4. Сравните перемещения Земли и Марса за половину земного года. Орбиты считать круговыми. Радиус орбиты Марса в 1.6 раза больше радиуса орбиты Земли.

Если при применении третьего закона Кеплера устный счёт вызывает затруднения, можно предложить следующее вычисление:

$$\sqrt{1.6^3} = \sqrt{\left(\frac{2^4}{10}\right)^3} = \sqrt{\frac{2^{12}}{1000}} = \sqrt{\frac{4 \times 1024}{1000}} \approx 2.$$

Задача 5. Астероид летит «с бесконечности» со скоростью 20 км/с и через некоторое время падает на Луну, для которой вторая космическая скорость равна 2.4 км/с. Какова скорость астероида в момент падения? Вычислите её без калькулятора с точностью не менее четырёх значащих цифр.

При понимании закона сохранения энергии и знании основных формул приближённых вычислений решение занимает одну строчку. Численный результат подчёркивает различие между сложением скоростей и сложением энергий, квадратичных по скоростям, а также преимущества приближённых формул, которые дают 20144 м/с (при точном ответе 20143 м/с). Заодно отметим, что в подобных задачах удобно принимать массу объекта, будь то астероид, спутник и т. п., равной 2 кг и тем самым упрощать вид выражения для кинетической энергии.

Задача 6. Какова средняя плотность чёрной дыры размером с орбиту Плутона?

Здесь используется обычное физическое понятие плотности. Большинству школьников остро не хватает ощущения реального мира. Например, в лабораторной работе плотность деревянного бруска иногда «оказывается» больше плотности золота, что не вызывает никаких подозрений. Парадоксальным образом это ощущение можно частично восстановить именно здесь: чёрная дыра с плотностью пенопласта мало кого оставляет равнодушным и открывает путь к расчёту параметров чёрной дыры размером с видимую Вселенную.

4.1.2. Системы отсчёта

Задача 7. Самолёт, летящий вдоль параллели 60° на запад, «зависает» над Землёй, если наблюдать его, например, с Луны. За какое время самолёт совершит кругосветное путешествие, если будет лететь на запад вдоль экватора?

Как показывает опыт, эту простую задачу почти никто из учащихся не может решить быстро, просто и правильно. Само обстоятельство, что самолёт как бы зависает на месте и ждёт, пока Земля повернётся под ним, нередко приводит учеников в растерянность.

4.1.3. Колебательные эпициклы

В этом теоретическом сюжете объединяются физика, математика, небесная механика и история астрономии. Сначала записываются исходные физические уравнения, после чего сама математика подсказывает дальнейший ход рассуждений, а полученный результат описывает движение реальных планет с дополнительным историческим бонусом в виде античных представлений.

Задача 8. Применить приближённые методы к расчёту орбиты, например, орбиты планеты вокруг Солнца, при малом эксцентриситете.

Трёхмерная задача о движении в потенциале вида $1/r$ сводится к двумерной благодаря сохранению направления момента импульса. Сохранение модуля того же момента позволяет перейти к эффективному потенциалу, зависящему только от радиальной координаты. На этом этапе в полной мере включается математика.

Асимптотическое поведение потенциала на малых и больших радиусах указывает на существование минимума, который, как показывает несложный расчёт, соответствует устойчивой круговой орбите. Та же математика подсказывает, что вблизи минимума потенциал квадратичен. Следовательно, в этой области возможны малые гармонические колебания.

Расчёт, вполне доступный ученикам 11-го физико-математического класса, показывает, что период этих колебаний в точности равен периоду движения по круговой орбите, соответствующей минимуму потенциала. Тогда половину периода тело находится внутри круговой орбиты, а половину периода — вне её. Такое движение можно назвать колебательным эпициклом, а саму орбиту — приближением эллипса.

4.1.4. Кривые вращения и тёмная материя

Задача 9. Найти пространственное распределение массы в галактике, если скорость звёзд на круговых орбитах не зависит от расстояния до центра при любых расстояниях.

Решение не требует сложной математики, но хорошо демонстрирует идею тёмной материи на примере, который школьник может разобрать самостоятельно.

4.2. «Небесная арифметика»

4.2.1. Синодические и сидерические периоды

Удачный выбор системы отсчёта – важнейшее условие простого решения задачи об относительном движении. В задаче о синодическом движении наблюдатель, как правило, находится на Земле, поэтому геоцентрическая система отсчёта, независимо от философских ярлыков, для него оптимальна.

Подобные задачи хорошо моделируются обычными стрелочными часами: через какое время минутная стрелка снова догонит часовую? Решение на языке угловых скоростей оказывается коротким, простым и наглядным.

4.2.2. Уравнение времени

Культура упрощений, идеализаций и приближённых вычислений занимает важное место в физике, а тем более в астрономии. Так, в случае уравнения времени мы имеем дело с двумя процессами:

i. Земля обращается вокруг Солнца по эллиптической орбите, поэтому видимая угловая скорость Солнца имеет в течение года один максимум и один минимум. График зависимости скорости от времени является плавным, с малыми отклонениями от среднего значения, и его можно приближённо рассматривать как сумму константы и синусоиды.

ii. Вследствие наклона земной оси проекция скорости Солнца меняется, имея в течение года по два максимума и два минимума, и это изменение также можно описать синусоидой.

Восстанавливая обе синусоиды по их периодам и экстремумам, получаем простое количественное описание, достаточное для понимания сути явления.

4.3. Молекулярная физика

В разделе МКТ можно предлагать задачи об атмосферах планет и межзвёздных облаках: это украшает

применение уравнения Клапейрона – Менделеева и связывает его с эффективными астрофизическими картинками. Предложим две задачи.

Задача 10. Оцените среднюю скорость молекул газа в межзвёздном облаке при $T = 20$ К. Известно, что средняя скорость молекул воздуха в нормальных земных условиях равна 460 м/с.

Эту задачу в некотором смысле даже не нужно подробно решать, если внимательно посмотреть на числа. Температура облака равна 20 К, а температура воздуха – около 290 К. В холодном облаке основным компонентом является молекулярный водород, и масса его молекулы относится к массе условной молекулы воздуха примерно как 2 : 29. Поэтому из формулы $mv^2 \propto T$ сразу видно, что скорость оказывается примерно такой же – 460 м/с.

Задача 11. Чему равна молярная теплоёмкость холодного межзвёздного облака?

Эта задача даёт хороший повод немного выйти за рамки школьной программы и понять, что вращательные степени свободы молекулярного водорода при низкой температуре «замерзают», так что он ведёт себя как одноатомный идеальный газ. Заодно можно вспомнить, что момент импульса линейно зависит от угловой скорости, тогда как вращательная энергия – квадратично. Это похоже на связь между импульсом и поступательной кинетической энергией в задаче об отскоке мяча от Земли: вся кинетическая энергия фактически остаётся у мяча, а Земля получает импульс, но почти не получает энергии.

4.4. Оптика

Рассмотрим три задачи, которые, помимо формул, затрагивают представления о реальных размерах объектов нашего мира.

Задача 12. С какого расстояния можно снимать смартфоном Солнечную систему, чтобы её изображение оказалось больше предела разрешения, задаваемого размером пикселей и дифракционным размытием на объективе смартфона?

Ответ, разумеется, ожидается оценочный. Здесь можно смело упрощать и округлять, в том числе буквально, заменяя кругом прямоугольный кадр с соотношением сторон 16 : 9. Попутно полезно понять, что число 1.22

в критерии Рэлея — лишь результат математической идеализации, и в оценочной задаче его можно и нужно округлять до 1.

Задача 13. Сколько штрихов должно быть в дифракционной решётке, чтобы она в принципе позволяла исследовать доплеровские смещения линий в звёздных спектрах? Считать, что типичные скорости звёзд составляют десятки километров в секунду.

При решении полезно обратить внимание на то, что при обсуждении характеристик оптических устройств (объектива, решётки, щели и т.д.) так или иначе возникает отношение длины волны к характерному размеру устройства, который и нужно оценить и осмыслить.

В случае решётки важен не полный её размер, а ширина светового пучка, дифрагирующего на ней.

Задача 14. Какой должна быть плотность воздуха у поверхности Земли, чтобы горизонтальный световой луч обходил Землю по кругу? Расходимость и затухание луча не учитывать.

Задача общеизвестна, но в ней особенно полезно найти наиболее простое решение, не требующее использования производных, логарифмов и других избыточных средств, а опирающееся на приближённые формулы и знания о реальном мире.

5. Заключение

Объединение курсов физики и астрономии в любом формате — в виде единого предмета, работы одного учителя по обоим предметам, согласования

учебных программ и т.д. — принесёт пользу им обоим. Астрономия получает надёжную мировоззренческую, логическую и формульную основу, физика — ощущение реальности, красоты и неисчерпаемости нашего мира, а ученик — способность и желание думать быстро, гибко и нестандартно. Сам же астрофизический материал можно распределить по всему курсу физики по тематическому принципу.

Примечания

1 Среди ярких примеров можно выделить парадоксальное предложение рассматривать Солнце как шар, заполненный идеальным газом с постоянными по всему объёму температурой и плотностью [2].

2 Можно в шутку (не лишённую серьёзности) предложить обсудить вопрос: является ли математика естественной наукой, астрономия — точной, а физика — главной? И вместе с учениками можно собирать аргументы за и против.

Список литературы

- [1] Язев С. А. Школьная астрономия: контуры нового учебника / Астронет // Современная астрономия и методика её преподавания: материалы III Всероссийской научно-практической конференции. СПб : Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2002. URL: <http://www.astronet.ru/db/msg/1177124/50.html>.
- [2] Чаругин В. М. Астрономия. 10–11 классы : учебник. Москва : Просвещение, 2019. 144 с. ISBN 978-5-09-067980-0.
- [3] Лисаченко Д. А. Астрофизика в школьной физике. URL: <http://www.physlab.info/astroedu.htm>; Личная страница автора статьи.

Астрономическое образование, 2026. Материал предоставлен на условиях лицензии Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 (С указанием авторства — С сохранением условий). Разрешено свободно делиться (обмениваться) — копировать и распространять материал на любом носителе и в любом формате в любых целях, включая коммерческие; адаптировать (создавать производные материалы) — делать ремиксы, видоизменять и создавать новое, опираясь на этот материал в любых целях, включая коммерческие; при условии обеспечения соответствующего указания авторства, предоставления ссылки на лицензию и обозначения изменений, если таковые были сделаны. Производные материалы должны распространяться на таких же условиях.