



Корнеев Валерий Трофимович
 Директор центра довузовской
 подготовки БГТУ им. В.Г. Шухова,
 старший преподаватель кафедры физики.

ГОТОВИМСЯ К ЕГЭ – 2020

Солнечная система в ЕГЭ

В 2018 году в ЕГЭ по физике появилось задание по теме «Элементы астрофизики». Проверяются следующие элементы астрофизики, изучаемые в курсе физики средней школы: Солнечная система, звёзды, современные представления о происхождении и эволюции звёзд, представление о строении и эволюции крупномасштабной структуры Вселенной. Задание имеет повышенный уровень сложности и при правильном его выполнении оценивается в два балла.

Отметим сразу, что первые два года проведения ЕГЭ с элементами астрофизики показали довольно большую неоднородность таких за-

даний: для выполнения некоторых из них достаточно почти только общей эрудиции, а для выбора ответа в других – требуется рассмотреть все пункты, то есть – решить пять отдельных задач.

В курсе астрономии вводится много новых понятий, идей, фактов. Без последовательного изучения всего курса справиться можно далеко не с любым заданием ЕГЭ. Но часто бывает достаточно знаний курса физики, чтобы ответить на специфические астрономические вопросы.

Здесь мы коснемся одного элемента астрофизики из вошедших в ЕГЭ – это Солнечная система.

Орбита

Абитуриенты часто путают такие понятия, как орбита небесного тела, видимая траектория движения небесного тела, видимый путь тела по небесной сфере. Не различают

видимого суточного движения и видимого годичного движения светил.

В учебнике астрономии понятие орбита появляется без определения. Видимо, предполагается, что школь-

ник интуитивно знает, что такое орбита, и неясностей не должно возникать. На самом деле, так бывает не всегда. **Вид орбиты (траектории) небесного тела зависит от выбора системы отсчёта.** Орбита – траектория движения небесного тела в системе отсчета, чаще всего, связанной с центральным телом этой системы.

Орбиты планет Солнечной системы описываются законами Кеплера.

Первый закон Кеплера

Каждая планета обращается вокруг Солнца по эллипсу, в одном из фокусов которого находится Солнце.

Второй закон Кеплера

Радиус-вектор планеты за равные промежутки времени описывает равные площади.

Третий закон Кеплера

Квадраты звездных периодов обращения планет относятся между собой, как кубы больших полуосей их орбит:

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$$

Для спутников планет центральным телом служат планеты. Точнее говорить, что они обращаются вокруг общего центра масс планета-спутник. Бывает удобно представить их орбиты относительно планеты – это будут тоже эллиптические орбиты. А в системе отсчета, связанной с Солнцем, их траектория движения имеет более сложную форму.

Отметим сразу, что эллипс – один из случаев сечений конуса. Движение материальных точек под действием центральной силы, обратно пропорциональной квадрату расстояния от центра силы, происходит по траекториям, представляющим различные сечения конуса плоскостью (Рис. 1): окружность, эллипс, парабола, гипербола, прямая линия (по прямой линии будет двигаться тело, не взаимодействующее с другими телами). Законы Кеплера, сформулированные для планет, таким образом, описывают движение любых тел в поле центральной силы, обратно пропорциональной квадрату расстояния от центра силы.

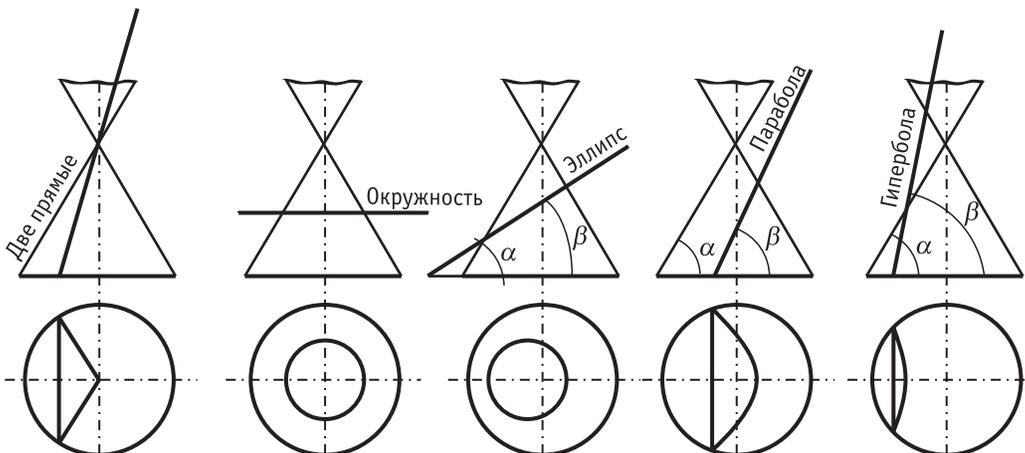


Рис.1 (https://studopedia.ru/1_127884_sechenie-konusa-ploskostyu.html)

Эллипс имеет две оси симметрии – большую и малую. В законе Кеплера связываются период обращения и большая полуось орбиты.

В заданиях ЕГЭ мог появиться орбитальный радиус: считая орбиту планеты приближенно круговой, размер орбиты характеризуют радиусом орбиты – орбитальным радиусом.

Видимый путь небесного тела – изменение положения тела на небесной сфере с точки зрения наблюдателя. Драматична многовековая история постижения связи между

видимым движением тел и их траекториями. Совсем непросто было понять, что не Солнце и звезды движутся вокруг Земли, а Земля обращается вокруг Солнца и вместе с ним в составе Солнечной системы движется среди звезд.

Даже и в наше время не каждый понимает, что суточное видимое движение светил связано с вращением Земли вокруг оси – нам кажется, что вся небесная сфера вращается вокруг Земли. А годичное изменение положения светил – связано с обращением Земли вокруг Солнца.

Вращение и обращение

Говоря о движении планеты (или иного тела Солнечной системы) по орбите, применяют термин *обращение*.

Если речь о вращении небесного тела вокруг своей оси, – применяют термин *вращение*.

К сожалению, в заданиях ЕГЭ-2018 и ЕГЭ-2019 не везде используется такая терминология, и это может привести к путанице.

Кроме того, у многих школьников возникают затруднения, связанные с единицами измерений в астрономии. В астрономических таблицах часто приводятся относительные

величины – например, в сравнении с Землёй. За единицу измерения размера принимается диаметр Земли, за единицу массы – масса Земли, за единицу измерения расстояний в астрономии принимается большая полуось земной орбиты – астрономическая единица (а.е.). Говоря о характеристиках звезд, за единицу массы часто принимают массу Солнца, за единицу светимости – его светимость. И т.д.

Для примера выберем задание с сайта Решу ЕГЭ (<https://phys-ege.sdangia.ru/>).

Задание № 9442

Рассмотрите таблицу, содержащую некоторые характеристики планет Солнечной системы. Размеры и параметры орбит даны в сравнении с планетой Земля.

Имя	Диаметр	Масса	Орбитальный радиус, а.е.	Период обращения, земных лет	Период вращения, земных суток
Меркурий	0,38	0,06	0,39	0,24	58,6
Венера	0,95	0,82	0,72	0,62	243
Земля	1	1	1	1	1
Марс	0,53	0,11	1,5	1,9	1
Юпитер	11,2	318	5,2	11,9	0,41

Сатурн	9,5	95,2	9,5	29,5	0,43
Уран	4	14,6	19,2	84	0,72
Нептун	3,9	17,2	30,1	165	0,67

Выберите **два** утверждения, которые соответствуют характеристикам планет.

- 1) Средняя плотность Венеры меньше средней плотности Земли.
- 2) Центростремительное ускорение Юпитера при его вращении вокруг Солнца больше центростремительного ускорения Марса.
- 3) Первая космическая скорость для Нептуна меньше, чем для Урана.
- 4) Ускорение свободного падения на Меркурии составляет примерно 4 м/с^2 .
- 5) Сила притяжения Сатурна к Солнцу больше, чем у Юпитера.

Во втором утверждении речь идёт об *обращении* вокруг Солнца, и центростремительное ускорение нужно находить для движения планеты по орбите вокруг Солнца.

Если вспомнить формулу для центростремительного ускорения

$$a_{ц.с.} = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r, \text{ то кажется, что}$$

нужно произвести довольно много расчётов по данным, приведённым в таблице, чтобы потом сравнить полученные результаты. Но, понимая, что центростремительное ускорение планета получает под действием силы притяжения со стороны Солнца, из второго закона Ньютона имеем

$$a_{ц.с.} = G \frac{M_{\odot}}{r^2} \text{ (здесь } G \text{ – гравитационная постоянная, } M_{\odot} \text{ – масса Солнца, } r \text{ – радиус орбиты планеты. Орбиту планеты мы приближенно считаем круговой). И тогда видно, что}$$

$$\frac{a_{ц.с.Ю}}{a_{ц.с.М}} = \left(\frac{r_M}{r_{Ю}} \right)^2 = \left(\frac{1,5}{5,2} \right)^2.$$

Юпитер расположен дальше от Солнца, чем Марс, поэтому центростремительное ускорение Юпитера при его обращении вокруг Солнца меньше центростремительного ускорения Марса. Утверждение 2 *неверно*.

Рассмотрим третье утверждение. Первой космической скоростью называют скорость, которую нужно сообщить телу, чтобы оно обращалось вокруг планеты по круговой орбите, радиус которой практически равен радиусу планеты. Из второго закона Ньютона получим

$$\frac{v^2}{R} = G \frac{M}{R^2}, v_1 = \sqrt{G \frac{M}{R}}.$$

Формулы для первой и для второй космических скоростей экзаменуемый должен знать.

Первая космическая скорость $v_1 = \sqrt{G \frac{M}{R}}$. Масса Нептуна больше массы Урана, а радиус Нептуна меньше радиуса Урана, значит, первая космическая скорость для Нептуна больше, чем для Урана. Утверждение 3 *неверно*.

Пятое утверждение рассмотрим, применив закон всемирного тяготения.

Сила притяжения планеты к Солнцу $F = G \frac{MM_{\odot}}{r^2}$. Масса Сатурна

меньше массы Юпитера, и Сатурн расположен дальше от Солнца, чем Юпитер, поэтому сила притяжения Сатурна к Солнцу меньше, чем у Юпитера. Утверждение 5 *неверно*.

Рассмотрим четвертое утверждение. Свободным падением называют движение тела, происходящее под действием только его силы тяжести. Оно зависит от широты местности и высоты над поверхностью условно принятой за «нулевой уровень».

Приблизительно мы можем найти это ускорение по формуле

$$g = G \frac{M}{R^2} = G \frac{4M}{D^2}.$$

Ускорение свободного падения на Меркурии по отношению к земному

$$\frac{g}{g_{\oplus}} = \frac{M/M_{\oplus}}{(D/D_{\oplus})^2} = \frac{0,06}{0,38^2} \approx 0,42.$$

И значит, $\bar{g} \approx 0,42g_{\oplus} \approx 4 \text{ м/с}^2$.

Утверждение 4 верно.

Рассмотрим первое утверждение. Средняя плотность планеты

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{6M}{\pi D^3}.$$

Отношение средней плотности Венеры к средней плотности Земли

$$\frac{\rho}{\rho_{\oplus}} = \frac{M/M_{\oplus}}{(D/D_{\oplus})^3} = \frac{0,82}{0,95^3} \approx 0,96.$$

Значит, средняя плотность Венеры меньше средней плотности Земли.

Утверждение 1 верно.

Рассмотрим еще одно задание. В нем приходится решать каждый пункт для выбора правильных ответов.

Задание T3824

(https://yandex.ru/tutor/subject/tag/problems/?ege_number_id=238&tag_id=19)

Астероид движется вокруг Солнца по орбите с большой полуосью 2,5 а.е. и эксцентриситетом 0,7*

Выберите два утверждения, которые соответствуют характеру движения этого астероида.

1. Астероид подлетает к Солнцу ближе, чем Земля.
2. Астероид улетает от Солнца дальше, чем Юпитер.
3. Сидерический период обращения астероида вокруг Солнца больше, чем у Марса.
4. Сидерический период обращения астероида вокруг Солнца больше, чем у Юпитера.
5. Средняя скорость орбитального движения астероида больше, чем у Венеры.

Справочная информация

Планета	Большая полуось, а.е.	Эксцентриситет
Венера	0,73	0,0068
Земля	1,0	0,017
Марс	1,5	0,093
Юпитер	5,2	0,049

* Эксцентриситет орбиты определяется по формуле: $e = \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}}$, где b – малая полуось, a – большая полуось орбиты, при $e=0$ – окружность, $0 < e < 1$ – эллипс.

Ответ: 13 или 31.

С помощью эксцентриситета может быть вычислено расстояние от центра эллипса до фокуса, которое равно по величине $e \cdot a$. Для рассматриваемого астероида это расстояние $0,7 \cdot 2,5 = 1,75$. Найдем перигелийное расстояние (то есть, наименьшее расстояние астероида от Солнца):

$$r_n = a - e \cdot a = 2,5 - 1,75 = 0,75 \text{ а.е.}$$

Первое утверждение правильно.

В афелии астероид удаляется от Солнца на

$$r_a = a + e \cdot a = 2,5 + 1,75 = 4,25.$$

Из справочных данных видим, что большая полуось орбиты Юпитера (5,2 а.е.) превосходит это расстояние. Второе утверждение неверно.

Сидерические периоды обращения Марса и астероида сравним с помощью третьего закона Кеплера.

$$\frac{T_{acm}^2}{T_M^2} = \frac{a_{acm}^3}{a_M^3} = \frac{2,5^3}{1,5^3};$$

$$\frac{T_{acm}}{T_M} = \sqrt{\frac{2,5^3}{1,5^3}} \approx 2,15.$$

Третье утверждение верно. (Впрочем, это заметно из закона Кеплера и без вычислений).

Без вычислений, на основании третьего закона Кеплера, можно сразу заметить, что четвертое утверждение неверно.

А вот о пятом утверждении так сходу и не скажешь. Конечно, уче-

ник, наученный нехорошей практикой угадывать ответ методом исключения, скажет, что уже два верных ответа отмечено, значит, пятое утверждение должно быть неверным. Но это будет, конечно же, нечестный подход. Для любознательных школьников приведем формулу периметра эллипса: $P = 2\pi \sqrt{\frac{a^2 + b^2}{2}}$, где

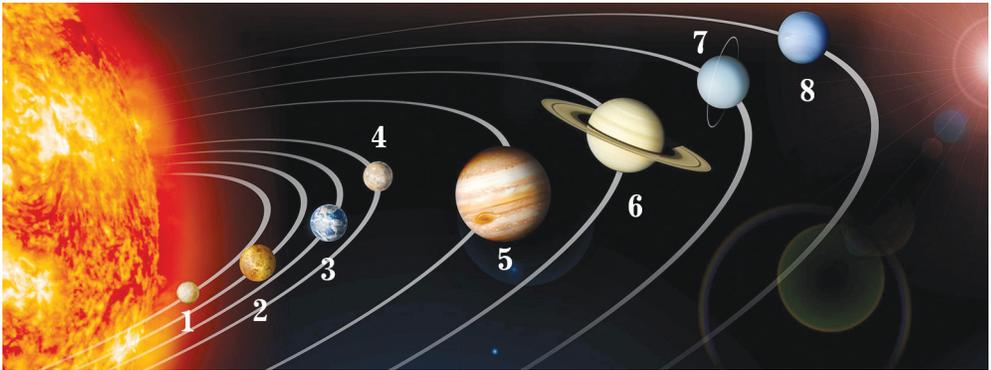
a и b – соответственно большая и малая полуоси эллипса. Далее найдем длины орбит и периоды обращения астероида и Венеры и по определению средней скорости получим и сравним средние скорости этих небесных тел. Средняя орбитальная скорость Венеры действительно больше средней орбитальной скорости астероида более чем в 2 раза. Пятое утверждение – неверно. Но, чтобы убедиться в этом, нужны знания, несколько выходящие за рамки школьной программы.

Для ответов на некоторые задания, казалось бы, требуется иметь уровень почти что элементарной эрудиции. С другой стороны, именно такие задания – повод для подробного обсуждения на уроках астрономии и физики. Они ярко показывают «живое» состояние науки, науку в развитии. Может быть, такие задания не стоило бы предлагать на ЕГЭ, где предполагаются краткие определенные ответы.

Задание № 9452

(<https://phys-ege.sdamgia.ru/>).

На рисунке приведено схематическое изображение солнечной системы. Планеты на этом рисунке обозначены цифрами. Выберите из приведенных ниже утверждений два верных, и укажите их номера.



- 1) Планета 5 состоит в основном из твёрдых веществ.
- 2) Температура на планете 4 колеблется от -70°C до 0°C .
- 3) Планета 2 не имеет спутников.
- 4) Плотность планеты 7 близка к плотности Земли.
- 5) Планета 6 не имеет атмосфер.

Решение

Цифрами на рисунке обозначены: 1) Меркурий, 2) Венера, 3) Земля, 4) Марс, 5) Юпитер, 6) Сатурн, 7) Уран, 8) Нептун.

1) Авторский ответ: «Юпитер (планета-гигант) состоит в основном из газообразных веществ. Утверждение 1 неверно».

Утверждение может быть отнесено к неверным, на ЕГЭ от школьника не потребуются объяснений. Но рассмотреть строение Юпитера любознательному ученику было бы интересно. И на уровне современных знаний, он откроет для себя, что не такой уж Юпитер «газовый гигант», каким представляется, когда мы узнаем, что почти на 90% он состоит из водорода и на 10% из гелия. Оказывается, условия на Юпитере такие, что газо-жидкая оболочка его занимает менее 30% объёма планеты, глубже идут жидкий водород и тяжёлые породы, жидкий металлический водород и, возможно, металл силикатное ядро. Современная астрофизика предоставляет интерес-

нейший материал, который мог бы пробудить застывающую в людях любознательность!

2) Авторский ответ: «Температура на Марсе колеблется от -70°C до 0°C . Утверждение 2 верно».

Конечно, не все школьники согласятся с таким утверждением. Ведь сейчас известно, что минимальная температура на Марсе на широте тропика может падать до 180 К (около -90°C) и ниже. На средних широтах зимняя температура может снижаться до -120°C .

В школьном учебнике астрономии говорится, что на полюсах температура падает до -150°C для Марса это уже предельно низкая температура: при 148К конденсируется углекислый газ атмосферы, и это предотвращает дальнейшее понижение температуры.

3) Венера не имеет спутников. Утверждение 3 верно.

4) Плотность Урана в 2,5 раза меньше плотности Земли. Утверждение 4 неверно.

К сожалению, не на все вопросы ЕГЭ школьник может ответить сходу: в данном задании не приведено необходимых данных для расчёта, да и в учебнике нет готового ответа именно на этот вопрос, а проводить предварительные расчёты для разных случаев не каждый найдет время и повод.

5) Сатурн имеет мощную протяжённую атмосферу. Утверждение 5 *неверно*.

Ответ: 23

Итак, для рассмотрения этих заданий нам потребовались:

закон всемирного тяготения, второй закон Ньютона, центростремительное ускорение, связь линейной и угловой скоростей,

ускорение свободного падения, определение средней плотности, формула для объёма шара.

Важное замечание! Многие школьники торопятся вычислять: хватаются за калькулятор и начинают подставлять имеющиеся числа. Рассмотренные примеры показывают, что чаще всего этого делать не нужно! Сравнение величин, сокращения в формулах одинаковых величин – не только избавляют от неоправданной работы, но и оберегают от возможных вычислительных ошибок.

Безусловно, нужно изучить весь курс астрономии. Здесь названы лишь те вопросы курса физики, которые вошли в данные задания.

Новости Новости Новости Новости

Студенты МФТИ получили специальный приз на конкурсе по разработке ПО для технического зрения



С 13 по 16 июля в Москве прошел конкурс Ice Vision по разработке программного обеспечения, эффективно и точно распознающего объекты в зимних условиях по данным видеокамер.

В общем зачете исследователи из МФТИ оказались на 4 месте. В состав команды вошли трое студентов МФТИ, стажировавшихся в лаборатории: Илья Белкин с 4 курса ФПМИ, Андрей Султан с 3 курса ФРКТ и Сергей Ткаченко с 1

курса ФРКТ. Куратор команды – старший научный сотрудник лаборатории Дмитрий Юдин. Всего в конкурсе участвовало 26 команд из 7 стран: России, США, Китая, Южной Кореи, Франции, Испании и Белоруссии. Призовой фонд составил 2 млн рублей.

В рамках конкурса участники получили доступ наиболее полному открытому массиву данных, специализированному для обучения беспилотников в зимних условиях. Для оценки результатов разметка, полученная участниками, сравнивалась с ручной разметкой проверочной выборки. Победителем Ice Vision становится команда, предложившая наиболее точное и полное программное обеспечение, разработанное на основе предложенных данных.

По итогам конкурса опубликован открытый размеченный массив данных для беспилотных автомобилей, собранный в условиях российской зимы. Этот конкурс является шагом в сторону создания сообщества специалистов, владеющих технологиями распознавания заснеженных дорожных знаков и разметки.

Источник: <https://mipt.ru/news>