

Научно-исследовательская работа

по физике

Решение астрофизических задач

Выполнила:

Гроза Надежда Игоревна

учащаяся 10-А класса

Бендерского теоретического лицея

Руководитель:

Иванишко Алина Сергеевна

учитель физики, высшей квалификационной категории

МОУ "Бендерский теоретический лицей"

Введение.

В настоящее время в школах помимо основного курса физики учащимся преподается такой предмет как астрономия. Несмотря на то, что для изучения этого предмета в школах выделяется небольшое количество часов не стоит пренебрегать этим предметом. Сейчас астрономические знания, на мой взгляд, являются действительно важными, особенно для современного поколения, и этому есть свои причины:

- Во-первых, нельзя не обратить внимание на то, что такая наука как астрономия переживает в наши дни невиданный период расцвета, и непрерывно пополняется новыми удивительными открытиями.
- Во-вторых, последние открытия в области астрономии и космологии, далеко выходя за рамки одной науки, становятся все более интересными для всего естествознания в целом, а особенно для физики.
- В-третьих, изучение Вселенной как ни что другое оказывает влияние на формирование системы взглядов и представлений о мире и месте в нем человека. ^[1]

И все же, я считаю очень важно развивать свое образование в области естественных наук, ведь лишь на его доброкачественной основе можно освоить знания в соответствующих областях техники и технологии. ^[1]

Но главная проблема состоит в том, что астрономия, как отдельный предмет не изучается в основной школе, а лишь элементами содержится в программе физики старших классов, что в свою очередь приводит к тому, что из-за неслаженной подачи астрономического материала, качество знаний учащихся остается достаточно низким.

Исходя из этого, выполняя эту работу, я поставила перед собой следующие цели:

- а. Познакомиться с основными понятиями астрономии
- б. Рассмотреть основные принципы движения и взаимодействия между собой планет солнечной системы и их спутников
- с. Рассмотреть основные типы астрономических задач в ЕГЭ по физике и олимпиадах по астрономии и способы их решения.

Законы Ньютона.

Рассмотрим некое тело. Не зависимо от того находится ли оно в состоянии покоя или нет, оно будет окружено множеством других тел, которые так или иначе будут действовать на рассматриваемое нами тело. В том случае, если действие на него других тел будет скомпенсировано, оно будет находиться в состоянии покоя.

Первый закон Ньютона (закон инерции):

Существуют такие системы координат, относительно которых поступательно движущееся тело сохраняет свою скорость постоянной, если на него не действуют другие тела (или действия всех тел будут скомпенсированы)^[2]

Второй закон Ньютона (закон ускорения):

Равнодействующая сила, приложенная к телу, равна массе этого тела, умноженной на его ускорение.

$$F = ma$$

Третий закон Ньютона (закон действия и противодействия):

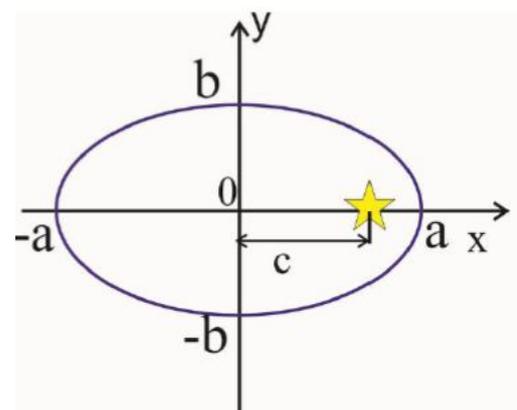
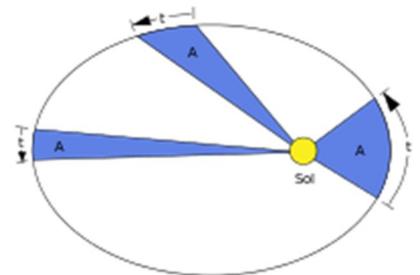
Тела действуют друг на друга с силами, равными по модулю и противоположными по направлению.^[2]

Законы Кеплера.

При формировании взглядов и представлении людей о строении Солнечной системы одну из важнейших ролей сыграли законы движения планет, открытые Иоганном Кеплером .

Изучив расположение Марса в разные периоды времени, он пришел к выводу, что движение планеты по орбите не равномерно, но при этом *радиус-вектор планеты за равные промежутки времени описывает равные площади* (Второй закон Кеплера)^[3]

Позже им был сформулирован еще один закон (Первый закон Кеплера) *Каждая планета*



обращается вокруг Солнца по эллипсу, в одном из радиусов которого находится Солнце. [3]

Эксцентриситет – отношение расстояния от центра эллипса до фокуса к большей полуоси этого эллипса.

$$e = \frac{c}{a}$$

Кеплер продолжил свои исследования и спустя 10 лет им был сформулирован еще один закон:

Квадраты звездных периодов обращения планет относятся между собой, как кубы больших полуосей их орбит. (Третий закон Кеплера). [3]

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

Позже Ньютон установил, что третий закон Кеплера не совсем точен. В действительности он зависит еще и от массы.

$$\frac{T_1^2 * (M + m_1)}{T_2^2 * (M + m_2)} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$$

где M – масса Солнца, а m_1 и m_2 – массы планет.

Закон всемирного тяготения.

Все тела во вселенной притягиваются друг к другу с силой, модуль которой пропорционален произведению их масс и обратно пропорционален квадрату расстояния между ними. [2]

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

где m_1 и m_2 – массы тел, r – расстояние между ними, G – гравитационная постоянная, равная $6,67408 * 10^{-11} \text{ м}^3 \text{ с}^{-2} \text{ кг}^{-1}$

Движение искусственных спутников.

О возможности создания искусственного спутника сказал еще Ньютон. Он показал, что существует такая скорость, при передаче телу которой можно вывести его на круговую орбиту вокруг данной планеты. [3] Эта скорость, получившая название *Первой космической скорости*, вычисляется по формуле:

$$V_1 = \sqrt{G \frac{M}{R}}$$

Минимальная скорость, которую необходимо сообщить телу, чтобы вывести его на незамкнутую (параболическую) орбиту, называемая *Второй космической скоростью*, вычисляется по формуле^[4]:

$$V_2 = \sqrt{2G \frac{M}{R}} = \sqrt{2} * V_1$$

Параметры звезд и диаграмма Герцшпрунга-Рассела.

Звезды – это массивные небесные объекты, излучающие энергию за счет протекающих в их ядрах реакций термоядерного синтеза.

Все звезды относятся к одному из спектральных классов : О В А F G K M (определяется по значению температуры её фотосферы. ^[4])

Спектральный класс	Температура, К	Цвет
О	30000 – 60000	голубой
В	10000 – 30000	бело-голубой
А	7500 – 10000	белый
F	6000 – 7500	желто – белый
G	500 – 6000	желтый
K	3500 – 5000	оранжевый
M	2000 – 3500	красный

Другая классификация звезд связана с их размерами.

	R(в R Солнца)	Светимость(в свет. Солнца)
Сверхгиганты	> 30	>1000
Гиганты	10 – 100	10 – 1000
Карлики	< 10	< 10

Светимость звезды можно определить по формуле

$$L = R^2 \left(\frac{T}{T_{\odot}} \right)^4$$

Где T и T_{\odot} - температура звезды и солнца соответственно, светимость и радиус выражаются в ед. Солнца

Задания с выбором одного правильного ответа.

Задача 1

Даны два спутника, которые движутся вокруг Земли по круговым орбитам. При этом $\frac{u_1}{u_2} = 2$, а $\frac{r_1}{r_2} = \frac{1}{4}$, где u_1 и u_2 – скорости первого и второго спутников соответственно, а r_1 и r_2 – радиусы их круговых орбит. Центробежное ускорение первого спутника a_1 , а второго – a_2 . Чему равно отношение ускорений $\frac{a_1}{a_2}$? [1]

- 1) 1 2) 2 3) 4 4) 16

Решение:

$$a_{\text{ц.с.}} = \frac{u^2}{r} \quad \Rightarrow \quad \frac{a_1}{a_2} = \frac{\frac{u_1^2}{r_1}}{\frac{u_2^2}{r_2}} = \frac{u_1^2}{u_2^2} * \frac{r_2}{r_1} = 4 * 4 = 16$$

Ответ: 4

Задача 2

На поверхности Марса тело падает с высоты 100 м в течение примерно 7 с. С какой скоростью тело коснется поверхности Марса, падая с такой высоты. [1]

- 1) 14,3 м/с 2) 28,6 м/с 3) 44,7 м/с 4) 816 м/с

Решение:

$$S = \frac{g*t^2}{2} \Rightarrow \frac{g*49}{2} = 100 \Rightarrow g \approx 4,1 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$V = V_0 + g * t \approx 4.1 * 7 \approx 28.7$$

Ответ: 2

Задача 3

На поверхности Земли на космонавта действует гравитационная сила 720 Н. Какая гравитационная сила действует со стороны Земли на того же космонавта в космическом корабле, движущемся по круговой орбите вокруг Земли на расстоянии трех земных радиусов от её центра? [1]

- 1) 0 Н 2) 240 Н 3) 180 Н 4) 80 Н

Решение:

$$F_{\text{прит}} = G \frac{M*m}{R^2}$$

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{\frac{G*m*M}{R^2}}{\frac{G*m*M}{(3R)^2}} = \frac{9R^2}{R^2} = 9 \Rightarrow F_2 = \frac{F_1}{9} = 80$$

Ответ: 4

Задания с кратким ответом.

Задача 1: При измерении расстояния между планетами Солнечной системы и Солнцем было установлено, что среднее расстояние от Солнца до Меркурия составляет $S_1=57,91$ млн. км, а от Солнца до Земли – $S_2 = 149$ млн.км. Чему равно отношение $\frac{V_1}{V_2}$ линейных скоростей этих планет при движении вокруг Солнца (считать, что они движутся по окружности).^[1]

Решение:

$$V = \sqrt{G * \frac{M}{R}} \Rightarrow V^2 = G * \frac{M}{R}$$

$$\frac{V_1^2}{V_2^2} = \frac{G * \frac{M}{R_1}}{G * \frac{M}{R_2}} = \frac{R_2}{R_1} = \frac{1,49 * 10^{11}}{5,791 * 10^{10}} = 2,573$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \sqrt{2,573} \approx 1,6$$

Ответ: 1.6

Задача 2

Среднее расстояние от Солнца до планеты Меркурий составляет $a_1=57,91$ млн. км, а среднее расстояние от Солнца до планеты Земля – $a_2=149$ млн. км. Чему примерно равен период обращения Меркурия вокруг Солнца.^[1]

Решение:

По третьему закону Кеплера:

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

Период обращения Земли вокруг Солнца равен одному году

$$T_1 = \sqrt{\left(\frac{1 * 5,791 * 10^{10}}{1,49 * 10^{11}}\right)^3} = 0,24$$

Ответ: $\approx 0,24$ года

Задача 3

Сколько лет свету от звезды Сириус необходимо, чтобы достичь Земли, если расстояние до нее около $L = 8 \cdot 10^{13}$ км? ^[1]

Решение:

$$V_{\text{CB}} * t = L$$

$$t = \frac{L}{V_{\text{CB}}} = \frac{8 * 10^{16}}{3 * 10^8} = 266,7 * 10^6 \text{ сек}$$

$$y = \frac{t}{3600 * 24 * 365} = \frac{266,7 * 10^6}{3600 * 24 * 365} \approx 8,45$$

Ответ: 8,45 лет

Задания с развернутым решением.

Задача 1

Масса планеты составляет 0,2 от массы Земли, диаметр планеты втрое меньше диаметра Земли. Чему равно отношение периодов обращения искусственных спутников планеты и Земли $\frac{T_{\text{П}}}{T_3}$, двигающихся по круговым орбитам на небольшой высоте? ^[1]

Решение:

По третьему закону Кеплера:

$$\frac{T_{\text{П}}^2 * M_{\text{П}}}{T_3^2 * M_3} = \frac{a_{\text{П}}^3}{a_3^3}$$

где $a_{\text{П}}$ и a_3 – радиусы орбит планеты и Земли соответственно

Подставим данные нам отношения масс и радиусов планеты и Земли.

Получим:

$$\frac{T_{\text{П}}^2}{T_3^2} * \frac{0,2M_3}{M_3} = \frac{r_{\text{П}}^3}{(3r_{\text{П}})^3}$$

$$\frac{T_{\text{П}}^2}{T_3^2} = \frac{r_{\text{П}}^3}{0,2 * 27 * r_{\text{П}}^3} = \frac{10}{54} \Rightarrow \frac{T_{\text{П}}}{T_3} = \sqrt{\frac{10}{54}} \approx 0,43$$

Ответ: 0,43

Анализ данных.

Задача 1

Рассмотрите таблицу, содержащую в себе сведения о ярких звездах, а затем выполните задания.

Название звезды	Температура, К	Масса (в массах Солнца)	Радиус (в радиусах Солнца)	Созвездие, в котором находится звезда
Капелла	5200	3	2,5	Возничий
Денеб	8550	21	210	Лебедь
Садр	6500	12	255	Лебедь
Бетельгейзе	3100	20	900	Орион
Ригель	11200	40	138	Орион
Альдебаран	3500	5	45	Телец
Эльнат	14000	5	4,2	Телец

Из приведенных ниже характеристик звезд, выберите те, которые являются верными.

1. Звезда Альдебаран – сверхгигант.
2. Из равенства масс звезд Альдебаран и Эльнат следует то, что они относятся к одному спектральному классу.
3. Бетельгейзе – красная звезда спектрального класса М
4. Звезды Альдебаран и Эльнат относятся к одному созвездию, вследствие чего находятся на одинаковом расстоянии от Солнца.
5. Температура на поверхности звезды Капелла меньше, чем Солнца^[4]

Решение:

- 1) К сверхгигантам относятся звезды, у которых радиус более чем в 30 раз больше радиуса Солнца и светимость(L) более чем в 1000 раз превышает светимость Солнца.

$$L = R^2 * \left(\frac{T}{T_{\text{слн}}}\right)^4 \text{ (светимость и радиус выражены в единицах Солнца)}$$

$$L = 45^2 * \left(\frac{3500}{6000}\right)^4 \approx 234.5$$

Альдебаран не является сверхгигантом.

1-е утверждения является неверным

2) Спектральный класс звезд определяется по температуре звезды, а не по её массе.

2-е утверждение является неверным

3) К спектральному классу М относятся звезды, температура которых равна от 2000 до 3500 К . Температура Бетельгейзе = 3100 К.

3-е утверждение является верным.

4) Звезды одного созвездия располагаются на небольших угловых расстояния друг от друга, но при этом они могут располагаться на существенно разных расстояниях от солнца.

4-е утверждение является неверным.

5) Температура поверхности звезды Капелла равна 5200 К

Температура поверхности Солнца – 6000 К

5-е утверждение является верным

Ответ: 35

Задача 2

Название планеты	Расстояние от Солнца(в а.е.)	Диаметр в районе экватора (км)	Наклон оси вращения	Первая космическая скорость(км/с)
Меркурии	0,39	4 879	0,6'	3,01
Венера	0,72	12 104	177°22'	7,33
Земля	1,00	12 756	23°27'	7,91
Марс	152	6 794	25°11'	3,55
Юпитер	5,20	142 984	3°08'	42,1
Сатурн	9,58	120 536	26°44'	25,1
Уран	19,19	51 118	97°46'	15,1
Нептун	30,02	49 528	28°19'	16,8

Выберите два утверждения, которые являются верными

1) На планете Юпитер наблюдается смена времен года.

2) Ускорение свободного падения на планете Уран равно примерно $8,92 \text{ м/с}^2$

3) Вторая космическая скорость для Нептуна равна примерно 23.8 км/сек

- 4) Объем Юпитера меньше объема Земли
- 5) Орбита Меркурия находится на расстоянии 108 млн км от орбиты Солнца^[4]

Решение:

- 1) Смена времени года на планете определяется углом наклона оси вращения. У Юпитера Наклон вращения оси достаточно мал ($3^{\circ}08'$), поэтому смена времени года на этой планете наблюдаться не будет.

1-е утверждение является неверным

- 2) Ускорение свободного падения можно вычислить по формуле:

$$V_1 = \sqrt{g_p R}$$

$$g_p = \frac{V_1^2}{R} = \frac{15100^2}{51118000/2} \approx 8.92 \text{ м/с}^2$$

2-е утверждение является верным

- 3) Вторая космическая скорость вычисляется по формуле:

$$V_2 = \sqrt{2G * \frac{M}{R}} = \sqrt{2} * V_1$$

$$V_2 = \sqrt{2} * 16.8 \approx 23.8 \text{ км/сек}$$

3-е утверждение является верным

- 4) Объем планеты мы можем вычислить по формуле:

$$V = \frac{4}{3}\pi R^3 \Rightarrow \frac{V_{Ю}}{V_3} = \frac{\frac{4}{3}\pi * R_{Ю}^3}{\frac{4}{3}\pi * R_3^3}$$

$$\frac{V_{Ю}}{V_3} = \frac{71492000^3}{1378000^3} \left(\frac{71492 * 10^3}{6378 * 10^3} \right)^3 \approx 1408$$

Получили, что объем Юпитера в 1408 раз больше Земли.

4-е утверждение является неверным

- 5) Орбита Меркурия находится на расстоянии 0,39 а.е. от Солнца
1 а.е. = 150 млн км

$$S = 150 * 0.39 = 58.5 \text{ млн км}$$

5 – е утверждение является неверным

Ответ:23

Задача 3

Название спутника	Радиус спутника, км	Радиус орбиты, тыс. км	Вторая космическая скорость	Средняя плотность г/см ³	Планета
Луна	1737	384,4	2400	3,35	Земля
Фобос	~ 12	9,38	11	2,20	Марс
Ио	1821	421,6	2560	3,57	Юпитер
Европа	1561	670,9	2025	2,97	Юпитер
Каллисто	2410	1883	2445	1,86	Юпитер
Титан	2575	1221,8	2640	1,88	Сатурн
Оберон	761	583,5	725	1,50	Уран
Тритон	1354	354,8	1438	2,08	Нептун

- 1) Для Европа первая космическая скорость равна 11 км/с
- 2) На Ио ускорение свободного падения примерно равно 1,79 м/сек²
- 3) Орбита Каллисто располагается дальше от Юпитера, чем орбита Европы.
- 4) Объем Титана в 7 раз больше объема Луны.
- 5) Сила притяжения Каллисто к Юпитеру больше, чем Ио. ^[4]

Решение:

1) Первую космическую скорость можно вычислить, зная вторую космическую скорость:

$$V_2 = \sqrt{2} * V_1$$
$$V_1 = \frac{V_2}{\sqrt{2}} = \frac{2025}{\sqrt{2}} = 1431.9$$

1-е утверждение является неверным

2) Ускорение свободного падения можно найти, зная вторую космическую скорость и радиус.

$$V_2 = \sqrt{2g_p R}$$
$$g_p = \frac{V_2^2}{2R} = \frac{2560^2}{2 * 1821000} \approx 1.79 \text{ м/сек}^2$$

2-е утверждения является верным

3) Расстояние от Юпитера до Европы $670,9 * 10^6$ км, а от Юпитера до Каллисто $1883 * 10^6$ км. Значит, орбита Каллисто располагается дальше от Юпитера, чем орбита Европы.

3-е утверждение является верным

4) Объем сферической планеты:

$$V = \frac{4}{3} * \pi R^3$$

Найдем отношение объема Титана к объему Луны

$$\frac{V_T}{V_L} = \frac{\frac{4}{3} \pi R_T^3}{\frac{4}{3} \pi R_L^3} = \frac{R_T^3}{R_L^3} = \frac{2575000^3}{1737000^3} = 3.26$$

Объем Титана в 3,26 раза больше, чем объем Луны

4-е утверждение является неверным

5) Сила притяжения равна:

$$F = G \frac{m_1 * m_2}{r^2}$$

Найдем отношение силы притяжения Каллисто к силе притяжения Ио

$$\frac{F_K}{F_I} = \frac{G \frac{M_{Ю} * m_K}{r_K^2}}{G \frac{M_{Ю} * m_I}{r_I^2}} = \frac{M_{Ю} * m_K * r_I^2}{r_K^2 * M_{Ю} * m_I} = \frac{m_K * r_I^2}{r_K^2 * m_I}$$

Зная объем планеты и её среднюю плотность, мы можем вычислить массу.

Объем планеты и её массу найдем по формулам:

$$V = \frac{4}{3} * \pi * R^3$$

$$M = \rho * V$$

Тогда:

$$M = \rho * \frac{4}{3} * \pi * R^3$$

Подставим значение получившейся массы в формулу отношения сил тяжести:

$$\frac{m_K * r_I^2}{r_K^2 * m_I} = \frac{\rho_K * \frac{4}{3} \pi * r_K^3 * r_I^2}{\rho_I * \frac{4}{3} * \pi * r_I^3 * r_K^2} = \frac{\rho_K * r_K}{\rho_I * r_I} = \frac{1860 * 2410000}{3570 * 1821000} = 0,69$$

$$\frac{F_k}{F_i} = 0,69 \Rightarrow F_k < F_i$$

Сила притяжения Каллисто к Юпитеру меньше, чем Ио

5-е утверждение является неверным

Ответ:23

Задача 4

Рассмотрите диаграмму Герцшпрунга — Рассела и выберите два верных утверждения

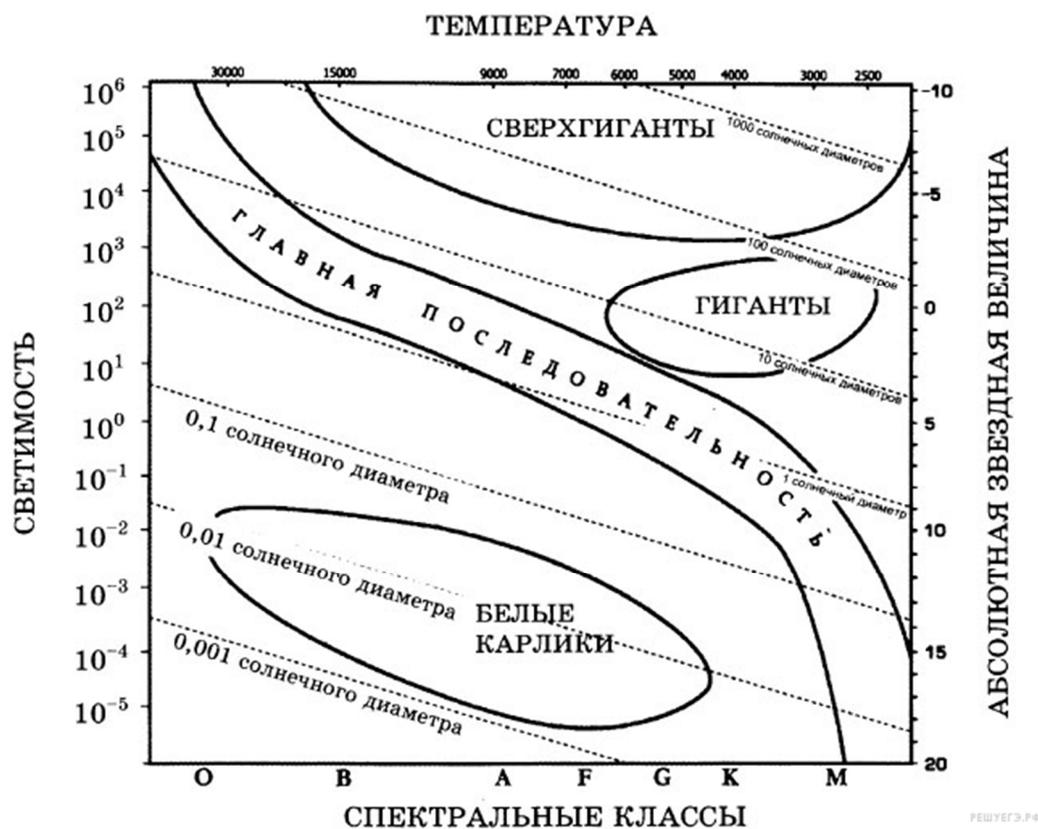


диаграмма Герцшпрунга — Рассела

- 1) «Жизненный цикл» звезды спектрального класса О главной последовательности более короткий, чем звезды спектрального класса F главной последовательности.
- 2) Звезда Альтаир имеет радиус $1,9R_{\odot}$, следовательно, относится к гигантам
- 3) Звезда Капелла имеет температуру 5200K, следовательно, относится к звездам спектрального класса М
- 4) Звезды Альдебаран и Эль-Нат имеют одинаковую массу, следовательно, относятся к одному спектральному классу.
- 5) Солнце относится к звездам главной последовательности. ^[4]

Решение:

- 1) Чем горячее звезда главной последовательности, тем короче её жизненный цикл.
Звезды спектрального класса О более горячие, чем звезды спектрального класса F, следовательно, их жизненный цикл будет короче.
1-е утверждение является верным
- 2) К гигантам относятся те звезды, радиус которых превышает радиус Солнца более чем в 10 раз. Звезда Альтаир, имеющая радиус $1,9R_{\odot}$, является карликовой звездой.
2-е утверждение является неверным
- 3) К спектральному классу М относятся звезды с температурой от 2000 до 3500 К. Звезда Капелла (5200К) относится к спектральному классу G.
3-е утверждение является неверным
- 4) Спектральный класс звезд определяется по температуре звезд, а не по значению их масс.
4-е утверждение является неверным
- 5) Солнце – типичная звезда главной последовательности.
5 – е утверждение является верным.

Ответ: 15

Качественные задачи.

Задача 1:

Можно ли систему отсчета, связанную с искусственным спутником Земли, считать инерциальной? ^[4]

Решение:

Такую систему отсчета можно считать инерциальной, так как будут выполняться все законы Ньютона.

Задача 2:

Какой градус будет длиннее: градус широты или градус долготы? ^[5]

Решение:

Если принимать нашу планету за идеальный шар, то каждый градус широты будет проходить расстояние, равное примерно 111 км (все меридианы на сфере одинаковы). Если рассматривать градус долготы вдоль экватора, то там 1° будет покрывать примерно столько же – 111 км, но если брать любую другую

широту, то там параллель будет короче экватора, и, следовательно, один градус будет покрывать более короткое расстояние.

Заключение.

До последнего времени я никогда еще не сталкивалась с темой, касающейся астрономии. Погрузившись, я поняла, что для меня эта тема является достаточно новой и интересной.

В начале работы я поставила перед собой определенные цели: познакомиться с основными понятиями астрономии, рассмотреть законы физики, которые применимы и для астрофизических задач, а также подобрать и решить задачи астрофизического типа с использованием школьных знаний по физике. Я надеялась расширить свой кругозор, касающийся данного предмета и спасибо моему преподавателю физики, который помог мне найти весь материал, необходимый для их достижения.

В ходе работы я познакомилась с новыми для меня понятиями астрономии, узнала основные законы движения и взаимодействия между собой планет солнечной системы, поняла, какие существуют звезды и что они переживают на протяжении своего длительного жизненного цикла. А главное, я научилась применять свои новые знания на практике, разобралась и научилась решать задачи, с которыми я ещё столкнусь на предстоящих экзаменах.

Астрономия является важной и нужной наукой. Хотя на изучение астрономии в школе отводится очень мало времени, именно изучение Вселенной как ничто другое оказывает влияние на формирование системы взглядов и представлений о мире и месте в нем человека. При рассмотрении астрофизических задач для меня открылся новый удивительный мир физики. В дальнейшем я планирую продолжить рассматривать интересные задачи, которые не так часто встречаются на уроках физики, но дают возможность углубиться в науку и познакомиться с современными достижениями.

13. Список литературы.

1. Шефер О.Р., Шахматова В.В. Методика изучения элементов астрономии в курсе физики основной и средней (полной) школе: монография – Челябинск: Изд-во ИИУМЦ «Образование», 2010. – 252с.
2. Кикоин И.К., Кикоин А.К. Физика: учебник для 9 кл. сред. шк. – 3-е изд. – М.: Просвещение, 1994. – 192 с.
3. Воронцов – Вельяминов Б.А., Страут Е.К. Астрономия. 11 кл.: Учебник для общеобразовательных учебных заведений – 3-е изд., стереотип. – М.: Дрофа, 2002. – 224 с.
4. Орлов И.О., Орлова Н. Б. Астрономические задачи в ЕГЭ по физике. Методическое пособие – Новосибирск : ИД «Вояж», 2018. – 32 с.
5. Сурдин В.Г. Астрономические задачи с решениями: Учебное пособие. — М.: Едиториал УРСС, 2002. – 240 с.
6. Рымкевич А.П. Физика. Задачник. 10 – 11 кл.: Пособие для общеобразоват. учебных заведений. – 5-е изд., перераб. – М.: Дрофа, 2001. – 192 с.