

**Всероссийская олимпиада школьников по астрономии  
2017 – 2018 учебный год  
Муниципальный этап  
Возможные решения задач и критерии оценивания 7 класс**

**Задание 1 (8 баллов)**

**Решение.**

1) Рис.1а – Орион (Легко распознать по так называемому поясу Ориона, астеризму в созвездии Ориона, состоящему из трех близкорасположенных звезд).

Рис.1б – Близнецы (Можно определить по наиболее ярким звездам – Поллуксу и Кастору. К тому же можно догадаться о названии этого созвездия по рис.1а, где в верхнем левом углу виден фрагмент этого созвездия, который граничит с созвездием Ориона).

Рис.1в – Змееносец (Это созвездие, которое разделяет созвездие Змеи на две части – «Голову змеи» и «Хвост Змеи». Змея – это единственное созвездие, состоящее из двух несвязанных частей).

Рис.1г – Большой Пёс (В этом созвездии находится ярчайшая звезда всего неба – Сириус,  $\alpha$  Большого Пса).

2) Венера может наблюдаться в созвездиях, располагающихся вблизи эклиптики (пунктирная красная линия на рисунках 1а, 1б и 1в).

3) Это, во-первых, так называемые зодиакальные созвездия – Близнецы и Змееносец.

4) Также она может наблюдаться в северной части созвездия Ориона, так как это всего на несколько градусов южнее эклиптики, а отклонение Венеры от эклиптики может достигать  $8^\circ$ . В созвездии Большого Пса, далеко от эклиптики, Венера находиться не может.

**Оценивание.**

За каждое правильное название созвездия (пункт 1 решения) – 0,5 балла.

За объяснение того, в каких созвездиях может наблюдаться Венера (пункт 2 решения) – 2 балла.

За указание зодиакальных созвездий (пункт 3 решения) – по 1 баллу за каждое созвездие.

За указание созвездия Ориона (пункт 4 решения) – 2 балла.

**Задание 2 (8 баллов)**

**Решение.**

1) В Солнечной системе 8 планет (Плутон в настоящее время официально лишён статуса планеты).

2) Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун.

3) На Меркурии.

4) Ветров, урагана или бури не может быть лишь на планете, у которой отсутствует атмосфера.

**Оценивание.**

1 пункт решения – 1 балл.

2 пункт решения – 1 балл.

3 пункт решения (указание какой-либо из других планет может быть наказано снижением оценки, например, –1 балл за каждую неверно указанную планету) – 3 балла.

4 пункт решения – 3 балла.

### **Задание 3 (8 баллов)**

#### **Решение.**

Ежегодно повторяются те астрономические явления, которые связаны только с движением Земли по орбите вокруг Солнца, то есть равноденствия (4), солнцестояния (5) и максимумы метеорных потоков (8). Эти явления повторяются приблизительно в одни и те же даты, например, весеннее равноденствие приходится на 20 или 21 марта, поскольку в нашем календаре есть високосные годы. У метеорных потоков неточное повторение дат максимумов связано также и с дрейфом их радиантов.

Остальные упомянутые явления либо имеют периодичность, отличную от земного года (полнолуния, затмения Солнца, затмения Луны, противостояния планет, максимумы блеска переменных звёзд), либо вообще непериодичны (появление ярких комет, вспышки сверхновых).

#### **Оценивание.**

За указание на связь между периодичностью явлений в 1 год с движением Земли по орбите вокруг Солнца – **2 балла**.

За каждый правильный ответ (4 – равноденствия, 5 – солнцестояния, 8 – максимумы метеорных потоков) по **2 балла**.

### **Задание 4 (8 баллов)**

#### **Решение.**

1) На Южном географическом полюсе с 22 сентября (день осеннего равноденствия в 2017 году) по 20 марта (день весеннего равноденствия в 2018 году) наблюдается полярный день. Муниципальный этап олимпиады проводится в этот период.

2) В это время на Южном полюсе нет смены дня и ночи. Поэтому звезды видны не будут.

#### **Оценивание.**

1 пункт решения – 4 балла.

*(Если не указаны примерные даты начала и конца полярного дня на Южном полюсе, т.е. дни осеннего и весеннего равноденствия – 2 балла.)*

2 пункт решения – 4 балла.

**Всероссийская олимпиада школьников по астрономии  
2017 – 2018 учебный год  
Муниципальный этап  
Возможные решения задач и критерии оценивания 8 класс**

**Задание 1 (8 баллов)**

**Решение.**

Ежегодно повторяются те астрономические явления, которые связаны только с движением Земли по орбите вокруг Солнца, то есть равноденствия (4), солнцестояния (5) и максимумы метеорных потоков (8). Эти явления повторяются приблизительно в одни и те же даты, например, весеннее равноденствие приходится на 20 или 21 марта, поскольку в нашем календаре есть високосные годы. У метеорных потоков неточное повторение дат максимумов связано также и с дрейфом их радиантов.

Остальные упомянутые явления либо имеют периодичность, отличную от земного года (полнолуния, затмения Солнца, затмения Луны, противостояния планет, максимумы блеска переменных звёзд), либо вообще непериодичны (появление ярких комет, вспышки сверхновых).

**Оценивание.**

За указание на связь между периодичностью явлений в 1 год с движением Земли по орбите вокруг Солнца – **2 балла**.

За каждый правильный ответ (4 – равноденствия, 5 – солнцестояния, 8 – максимумы метеорных потоков) по **2 балла**.

**Задание 2 (8 баллов)**

**Решение.**

1) Рис.1а – Орион (Легко распознать по так называемому поясу Ориона, астеризму в созвездии Ориона, состоящему из трех близкорасположенных звезд).

Рис.1б – Близнецы (Можно определить по наиболее ярким звездам – Поллуксу и Кастору. К тому же можно догадаться о названии этого созвездия по рис.1а, где в верхнем левом углу виден фрагмент этого созвездия, который граничит с созвездием Ориона).

Рис.1в – Змееносец (Это созвездие, которое разделяет созвездие Змеи на две части – «Голову змеи» и «Хвост Змеи». Змея – это единственное созвездие, состоящее из двух несвязанных частей).

Рис.1г – Большой Пёс (В этом созвездии находится ярчайшая звезда всего неба – Сириус,  $\alpha$  Большого Пса).

2) Венера может наблюдаться в созвездиях, располагающихся вблизи эклиптики (пунктирная красная линия на рисунках 1а, 1б и 1в).

3) Это, во-первых, так называемые зодиакальные созвездия – Близнецы и Змееносец.

4) Также она может наблюдаться в северной части созвездия Ориона, так как это всего на несколько градусов южнее эклиптики, а отклонение Венеры от эклиптики может достигать  $8^\circ$ . В созвездии Большого Пса, далеко от эклиптики, Венера находиться не может.

**Оценивание.**

За каждое правильное название созвездия (пункт 1 решения) – 0,5 балла.

За объяснение того, в каких созвездиях может наблюдаться Венера (пункт 2 решения) – 2 балла.

За указание зодиакальных созвездий (пункт 3 решения) – по 1 баллу за каждое созвездие.

За указание созвездия Ориона (пункт 4 решения) – 2 балла.

**Задание 3 (8 баллов)**

**Решение.**

1) Так как Солнце только что зашло, а астроном Звездочкин смотрит на восток, угловое расстояние от Солнца до планеты в данный момент около  $180^\circ$ .

2) Венера, как внутренняя планета, не может отходить на небе далеко от Солнца (максимум примерно на  $47^\circ$ ).

3) Следовательно, Звездочкин увидел Юпитер.

**Оценивание.**

1 пункт решения – 3 балла.

2 пункт решения – 3 балла.

3 пункт решения – 2 балла.

**Задание 4 (8 баллов)**

**Решение.**

1) В дни солнцестояний Солнце имеет максимально возможное по абсолютной величине склонение – примерно  $23.5$  градуса. Во время летнего солнцестояния склонение положительно ( $\delta = +23,5^\circ$ ), во время зимнего – отрицательно ( $\delta = -23,5^\circ$ ).

2) Известна формула зависимости высоты ( $h$ ) точки верхней кульминации от склонения ( $\delta$ ) и широты места ( $\varphi$ ):

$$h = 90^\circ - \varphi + \delta .$$

3) Во время летнего солнцестояния высота:

$$h = 90^\circ - 58^\circ + 23,5^\circ = 55,5^\circ .$$

4) Во время зимнего солнцестояния:

$$h = 90^\circ - 58^\circ - 23,5^\circ = 8,5^\circ .$$

**Оценивание.**

1 пункт решения (склонения Солнца в дни солнцестояний) – 3 балла.

2 пункт решения (формула для высоты) – 3 балла.

3 пункт решения (высота Солнца во время летнего солнцестояния) – 1 балл.

4 пункт решения (высота Солнца во время зимнего солнцестояния) – 1 балл.

**Всероссийская олимпиада школьников по астрономии  
2017 – 2018 учебный год  
Муниципальный этап  
Возможные решения задач и критерии оценивания 9 класс**

**Задание 1 (8 баллов)**

**Решение.**

1) 1 пара: кометы – метеорные потоки.

2) Кометы являются прародителями метеорных потоков. При постепенном разрушении кометы, ее вещество остается на орбите. При пересечении Землей окрестностей таких орбит наблюдаются метеорные потоки.

3) 2 пара: солнечный ветер – полярные сияния.

4) Заряженные частицы солнечного ветра задерживаются радиационными поясами Земли и, двигаясь вдоль линий магнитного поля Земли, попадают в околополярные области, где, сталкиваясь с молекулами и атомами земной атмосферы, порождают полярные сияния.

Пульсары и галактики между собой не связаны (кроме того, что пульсары, как и все другие небесные тела, находятся в галактиках).

**Оценивание.**

1 пункт решения (1 пара) – 2 балла.

2 пункт решения (объяснение связи) – 2 балла.

3 пункт решения (2 пара) – 2 балла.

4 пункт решения (объяснение связи) – 2 балла.

**Задание 2 (8 баллов)**

**Решение.**

1) Рис.1а – Орион (Легко распознать по так называемому поясу Ориона, астеризму в созвездии Ориона, состоящему из трех близкорасположенных звезд).

Рис.1б – Близнецы (Можно определить по наиболее ярким звездам – Поллуксу и Кастору. К тому же можно догадаться о названии этого созвездия по рис.1а, где в верхнем левом углу виден фрагмент этого созвездия, который граничит с созвездием Ориона).

Рис.1в – Змееносец (Это созвездие, которое разделяет созвездие Змеи на две части – «Голову змеи» и «Хвост Змеи». Змея – это единственное созвездие, состоящее из двух несвязанных частей).

Рис.1г – Большой Пёс (В этом созвездии находится ярчайшая звезда всего неба – Сириус,  $\alpha$  Большого Пса).

2) Венера может наблюдаться в созвездиях, располагающихся вблизи эклиптики (пунктирная красная линия на рисунках 1а, 1б и 1в).

3) Это, во-первых, так называемые зодиакальные созвездия – Близнецы и Змееносец.

4) Также она может наблюдаться в северной части созвездия Ориона, так как это всего на несколько градусов южнее эклиптики, а отклонение Венеры от эклиптики может достигать  $8^\circ$ . В созвездии Большого Пса, далеко от эклиптики, Венера находится не может.

**Оценивание.**

За каждое правильное название созвездия (пункт 1 решения) – 0,5 балла.

За объяснение того, в каких созвездиях может наблюдаться Венера (пункт 2 решения) – 2 балла.

За указание зодиакальных созвездий (пункт 3 решения) – по 1 баллу за каждое созвездие.

За указание созвездия Ориона (пункт 4 решения) – 2 балла.

### **Задание 3 (8 баллов)**

#### **Решение.**

- 1) Так как Солнце только что зашло, а астроном Звездочкин смотрит на восток, угловое расстояние от Солнца до планеты в данный момент около  $180^\circ$ .
- 2) Венера, как внутренняя планета, не может отходить на небе далеко от Солнца (максимум примерно на  $47^\circ$ ).
- 3) Следовательно, Звездочкин увидел Юпитер.

#### **Оценивание.**

- 1 пункт решения – 3 балла.
- 2 пункт решения – 3 балла.
- 3 пункт решения – 2 балла.

### **Задание 4 (8 баллов)**

#### **Решение.**

- 1) Так как плотность бруска меньше плотности воды и плотности масла, он будет плавать и в воде, и в масле. Только объем погруженной в жидкость части бруска будет разным.
- 2) И в первом, и во втором случаях сила Архимеда уравнивает силу тяжести, которая не меняется.
- 3) В обоих случаях архимедова сила будет равна собственному весу бруска и не изменится, когда мы переложим брусок из воды в масло. Другое дело, что вес детали будет примерно в 2,5 раза меньше, чем на Земле.

#### **Оценивание.**

- 1 пункт решения – 3 балла.
- 2 пункт решения – 3 балла.
- 3 пункт решения – 2 балла.

### **Задание 5 (8 баллов)**

#### **Решение.**

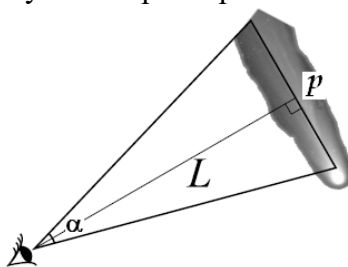
- 1) Освещенность, создаваемая точечным объектом, обратно пропорциональна квадрату расстояния до него.
- 2) Соответственно, удаленная на расстояние 100 пк звезда будет создавать освещенность, в 100 раз меньшую, чем на расстоянии 10 пк.
- 3) Известно, что уменьшение освещенности на два порядка (в 100 раз) соответствует увеличению звездной величины объекта на  $5^m$ .
- 4) Так что ответ:  $+1^m + 5^m = +6^m$ .
- 5) Так как порог видимости невооруженным глазом –  $+6^m$ , то эту звезду человек с нормальным зрением сможет увидеть на таком расстоянии.

#### **Оценивание.**

- 1 пункт решения – 2 балла.
- 2 пункт решения – 1 балл.
- 3 пункт решения – 2 балла.
- 4 пункт решения – 1 балл.
- 5 пункт решения – 2 балла.

**Задание 6 (8 баллов)****Решение.**

1) Предположим, что хвост кометы направлен перпендикулярно к лучу зрения. Тогда его длину можно оценить так. Обозначим угловой размер хвоста  $\alpha$ .



Половину этого угла  $\alpha/2$  можно найти (см. рисунок) из прямоугольного треугольника, одним из катетов которого является половина длины хвоста кометы  $p/2$ , а другим – расстояние от Земли до кометы  $L$ .

2) Тогда

$$\operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{p/2}{L}. \quad (1)$$

3) Угол  $0,5^\circ$  мал, поэтому можно приближенно считать, что его тангенс равен самому углу (выраженному в радианах). Тогда мы можем записать, что

$$\alpha \approx \frac{p}{L}. \quad (2)$$

4) Отсюда, вспоминая, что астрономическая единица составляет  $150 \cdot 10^6$  км, получаем

$$p \approx L \cdot \alpha^\circ \cdot \frac{\pi}{180^\circ} \approx 150 \cdot 10^6 \cdot \left(\frac{0.5}{57}\right) \approx 1,3 \cdot 10^6 \text{ км.}$$

5) У нас нет информации о том, как ориентирован хвост кометы в пространстве. Поэтому следует заключить, что полученная выше оценка длины хвоста – это минимальное возможное значение. Таким образом, итоговый ответ выглядит так: длина хвоста кометы составляет не менее 1,3 миллиона километров.

**Оценивание.**

1 пункт решения (представлен рисунок, с указанием угла, линейного размера кометы и расстояния от Земли до кометы) – 2 балла.

2 пункт решения (соотношение (1)) – 2 балла.

3 пункт решения (в виду малости угла переход к соотношению (2)) – 1 балл.

4 пункт решения (угол переведен в радианы, получен правильный ответ) – 2 балла.

5 пункт решения (указание на то, что получено минимально возможное значение длины хвоста кометы) – 1 балл.

**Всероссийская олимпиада школьников по астрономии  
2017 – 2018 учебный год  
Муниципальный этап  
Возможные решения задач и критерии оценивания 10 класс**

*Участники олимпиады могут представить другие варианты решений задач, которые нужно оценивать в баллах по наличию приведенных ниже фактов описания явлений или этапов решений задач.*

***Вычисления с грубыми ошибками оцениваются в 1-2 балла.***

***Наибольшее количество баллов за правильное полное решение каждой задачи – 8 баллов.***

**Задача 1.** Запуск МКС был произведён с космодрома Байконур, находящегося в северном полушарии Земли (**1 балл**). С целью использования вращения Земли (**1 балл**) запуск выполняется в юго-восточном направлении (**1 балл**). При этом плоскость орбиты МКС составляет определённый угол с плоскостью экватора Земли (**1 балл**). Для наблюдателя северного полушария (**1 балл**) на каждом обороте МКС возвращается с юго-западного направления (**1 балл**). Над точкой поверхности Земли с наибольшей северной широтой линия проекции траектории МКС на небосвод имеет точку поворота (**1 балл**). Пройдя эту точку МКС уходит в юго-восточном направлении (**1 балл**).

**Задача 2.** Время одного оборота по орбите такого искусственного спутника Земли должно быть кратно продолжительности одних **звёздных суток** (**2 балла, если не отмечено, что сутки звёздные, то 0 баллов**). Наименьший период обращения спутника равен длительности этих суток (**2 балла**). Чтобы спутник пролетал над любой точкой поверхности Земли, нужно чтобы ось вращения Земли лежала в плоскости орбиты спутника (**2 балла**). Кроме указанных обстоятельств, строго определённым является момент времени вывода спутника на орбиту (**2 балла**).

**Задача 3.** В Солнечной системе значительное число астероидов движутся во внешнем космосе по отношению к орбите Земли. Главным поясом астероидов является кольцеобразное формирование между орбитами Марса и Юпитера с размером примерно от двух до трех астрономических единиц (**2 балла**). Есть группы астероидов, которые периодически сближаются с Землей. Опасность представляют тела, орбиты, которых либо пересекаются с орбитой Земли, либо близки к ней (**2 балла**). Расчёты и наблюдения показывают, что они произошли из астероидов Главного пояса, в результате сильного гравитационного воздействия Юпитера (**2 балла**). Есть небольшая группа тел орбиты которых почти целиком находятся внутри земной орбиты. Они также являются опасными объектами (**2 балла**).

**Задача 4.** Склонение  $\delta_{\text{С}}$  и высота  $h$  Солнца и географическая широта  $\varphi$  места наблюдения в северном полушарии Земли связаны соотношениями:

для верхней кульминации в Норильске  $h = 90^\circ + \delta_{\text{С}} - \varphi$  (**2 балл**),

для нижней кульминации во Владивостоке  $h = \delta_{\text{С}} + \varphi - 90^\circ$  (**2 балл**).

Для Норильска получаем  $h_{\text{Н}} = 90^\circ - 23^\circ 26' - 69^\circ 20' = -2^\circ 46'$  (**1 балл**),

для Владивостока  $h_{\text{В}} = 23^\circ 26' + 43^\circ 07' - 90^\circ = -23^\circ 27'$  (**1 балл**).

Для Норильска  $h_{\text{Н}} < 0$  означает, что Солнце не восходит в течение суток, т. е. находится под горизонтом, и стоит полярная ночь (**1 балл**), для Владивостока  $h_{\text{В}} < 0$  означает, что в данные сутки ночью Солнце находится под горизонтом (**1 балл**).

**Задача 5.** Обозначим  $S$  искомый синодический период Луны, и вычислим соответствующий сидерический период  $T$  (2 балла):

$$1/T = 1/S + 1/T_3,$$

где  $T_3$  – период обращения Земли вокруг Солнца.

Вычисляем:  $T \approx 51$  сутки (1 балл).

Вычислим среднее расстояние  $r$  до Луны по третьему закону Кеплера (2 балла):

$$r/r_c = (T/T_c)^{2/3},$$

где  $r_c = 384\,000$  км – современное среднее расстояние до Луны,  $T_c = 27,3$  суток – современный сидерический период Луны.

Вычисляем:  $r \approx 582\,000$  км (1 балл).

Наблюдаемый угловой диаметр  $\varepsilon$  Луны у горизонта в будущем составит (1 балл):

$$\varepsilon \approx d/r,$$

$d = 3476$  км – диаметр Луны.

Вычисляем  $\varepsilon \approx 3476/582\,000 = 20^\circ 32'$  (1 балл).

**Задача 6.** Изменение длины волны происходит вследствие эффекта Доплера (1 балл). Скорость  $u$  удаления передающего корабля относительно принимающего корабля определяется по формуле (3 балла):

$$u = c \Delta\lambda/\lambda,$$

где  $c$  – скорость света,  $\lambda$  – длина волны в случае покоящихся кораблей,  $\Delta\lambda$  – изменение длины волны при движении. Вычисляем относительную скорость:

$$u = 3 \cdot 10^8 \cdot 0,05\lambda/\lambda = 1,5 \cdot 10^7 \text{ м/с. (2 балла).}$$

Так как скорости аппаратов относительно Земли равны и направлены в противоположные стороны, то каждый из них удаляется от Земли со скоростью  $7,5 \cdot 10^6 \text{ м/с} = 7\,500 \text{ км/с}$ , что значительно превышает скорость движения Земли по её орбите (2 балла).

**Всероссийская олимпиада школьников по астрономии  
2017 – 2018 учебный год  
Муниципальный этап  
Возможные решения задач и критерии оценивания 11 класс**

*Участники олимпиады могут представить другие варианты решений задач, которые нужно оценивать в баллах по наличию приведенных ниже фактов описания явлений или этапов решений задач.*

**Вычисления с грубыми ошибками оцениваются в 1-2 балла.**

**Наибольшее количество баллов за правильное полное решение каждой задачи – 8 баллов.**

**Задача 1.** Запуск МКС был произведён с космодрома Байконур, находящегося в северном полушарии Земли (**1 балл**). С целью использования вращения Земли (**1 балл**) запуск выполняется в юго-восточном направлении (**1 балл**). При этом плоскость орбиты МКС составляет определённый угол с плоскостью экватора Земли (**1 балл**). Для наблюдателя северного полушария (**1 балл**) на каждом обороте МКС возвращается с юго-западного направления (**1 балл**). Над точкой поверхности Земли с наибольшей северной широтой линия проекции траектории МКС на небосвод имеет точку поворота (**1 балл**). Пройдя эту точку МКС уходит в юго-восточном направлении (**1 балл**).

**Задача 2.** По условиям задачи Солнце является незаходящим светилом в северном полушарии. При этом его высота в верхней кульминации вдвое превышает высоту нижней кульминации. Для высот Солнца в верхней кульминации  $h_v$  и нижней кульминации  $h_n$  запишем:

$$h_v = 90^\circ + \delta_c - \varphi \text{ (1 балл)},$$

$$h_n = \varphi + \delta_c - 90^\circ \text{ (1 балл)}.$$

Здесь  $\delta_c$  – склонение Солнца,  $\varphi$  – географическая широта места наблюдения.

По условию задачи  $h_v = 2h_n$  или

$$90^\circ + \delta_c - \varphi = 2(\varphi + \delta_c - 90^\circ), \quad \varphi = 90^\circ - \delta_c/3 \text{ (1 балл)}.$$

Так как  $\varphi \leq 90^\circ$ , то  $\delta_c \geq 0$  (**2 балла**). Однако,  $\delta_c \leq 23^\circ 26'$ , поэтому  $\varphi \geq 82^\circ 11'$  (**2 балла**).

Полоса значений широты составляет  $82^\circ 11' \leq \varphi \leq 90^\circ$  (**1 балл**).

**Задача 3.** Солнечная постоянная характеризует плотность потока излучения Солнца подобно излучению абсолютно чёрного тела (**2 балла**). Поэтому мощность излучения (светимость) Солнца можно подсчитать на основании закона Стефана-Больцмана (**2 балла**):

$$L = 4\pi\sigma T^4 R_c^2,$$

где  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт} \cdot \text{м}^2 / \text{К}^4$  – постоянная Стефана-Больцмана,  $T$  и  $R_c$  – температура и радиус Солнца.

Поток излучения равномерно распределяется по площади поверхности сферы со средним радиусом  $R_M$  орбиты Марса (**2 балла**):

$$S = 4\pi R_M^2.$$

Вычисляем солнечную постоянную для Марса:

$K = L/S = \sigma T^4 (R_c/R_M)^2 = 5,67 \cdot 10^{-8} (5780)^4 \cdot (6,96 \cdot 10^8)^2 / (1,52 \cdot 1,50 \cdot 10^{11})^2 = 590 \text{ Вт/м}^2$  (**2 балла**).

**Задача 4.** «Чёрной дырой» называется область космического пространства, в которой гравитационное притяжение настолько велико, что эту область не могут покинуть даже объекты, движущиеся со скоростью света (**1 балл**). Граница этой области называется горизонтом событий. В случае сферически симметричной чёрной дыры горизонт событий равен радиусу Шварцшильда (**2 балл**)

$$R = 2GM/c^2 = 2,95M/M_{\odot} \text{ (км)},$$

где  $G$  – гравитационная постоянная,  $M$  – масса дыры,  $c$  – скорость света,  $M_{\odot}$  – масса Солнца.

Широко применяются несколько методов регистрации чёрных дыр с помощью: радиоинтерферометров со сверхдлинными базами (**1 балл**), измерения скорости космических микроволновых источников радиоизлучения (**1 балл**), наблюдения траекторий отдельных звёзд вблизи чёрных дыр (**1 балл**), наблюдения процессов приливного разрушения звезд под действием тяготения чёрной дыры (**1 балл**), рентгеновского излучения аккреционных дисков чёрных дыр (**1 балл**).

**Задача 5.** Спектральная классификация звезд сложилась исторически на основе модели излучения абсолютно чёрного тела (**1 балл**). Основным физическим параметром классификации является *температура фотосферы звезды* (**2 балла, если не указана фотосфера, то 1 балл**). Учитываются также *особенности вида* и *относительной интенсивности линий поглощения* (**1 балл**) и *испускания спектров* (**1 балл**) звёзд. С целью упрощения основные классы обозначают буквами латинского алфавита: *O* (самые горячие), *B*, *A*, *F*, *G*, *K*, *M* (самые холодные) (**1 балл**), с дополнением классов *R*, *N*, *S* (**1 балл**). Солнце имеет температуру фотосферы примерно  $5780 \text{ K}$  и поэтому относится к классу *G* (желтый карлик) (**1 балл**).

**Задача 6.** При вращении звёзд относительно общего центра масс по круговым траекториям расстояние между ними не изменяется. По условиям задачи видимое угловое расстояние между ними изменяется, что является визуальным эффектом проекции, обусловленным положением плоскости орбиты звёзд под некоторым углом к лучу зрения (**1 балл**). Максимальное угловое расстояние между звёздами соответствует большой полуоси орбиты одной звезды относительно другой (**1 балл**). Величину  $a$  этой полуоси можно найти по обобщённому третьему закону Кеплера (**2 балла**):

$$a = (T^2 M)^{1/3}.$$

Здесь  $T$  – период обращения звёзд по орбите, выраженный в земных годах,  $M$  – их суммарная масса, выраженная в массах Солнца:  $M = 3$  (**1 балл**). Максимумы расстояния между звёздами повторяются через 15 лет, что происходит в наблюдаемой проекции дважды за период обращения, который равен:  $T = 30$  годам (**1 балл**). Для полуоси орбиты находим:  $a = 13,9 \text{ а.е.}$  (**1 балл**).

По  $a$  и наибольшему угловому расстоянию вычисляем удалённость  $r$  звёзд (**1 балл**):

$$r = a/2'' = 6,96 \text{ пк.}$$