

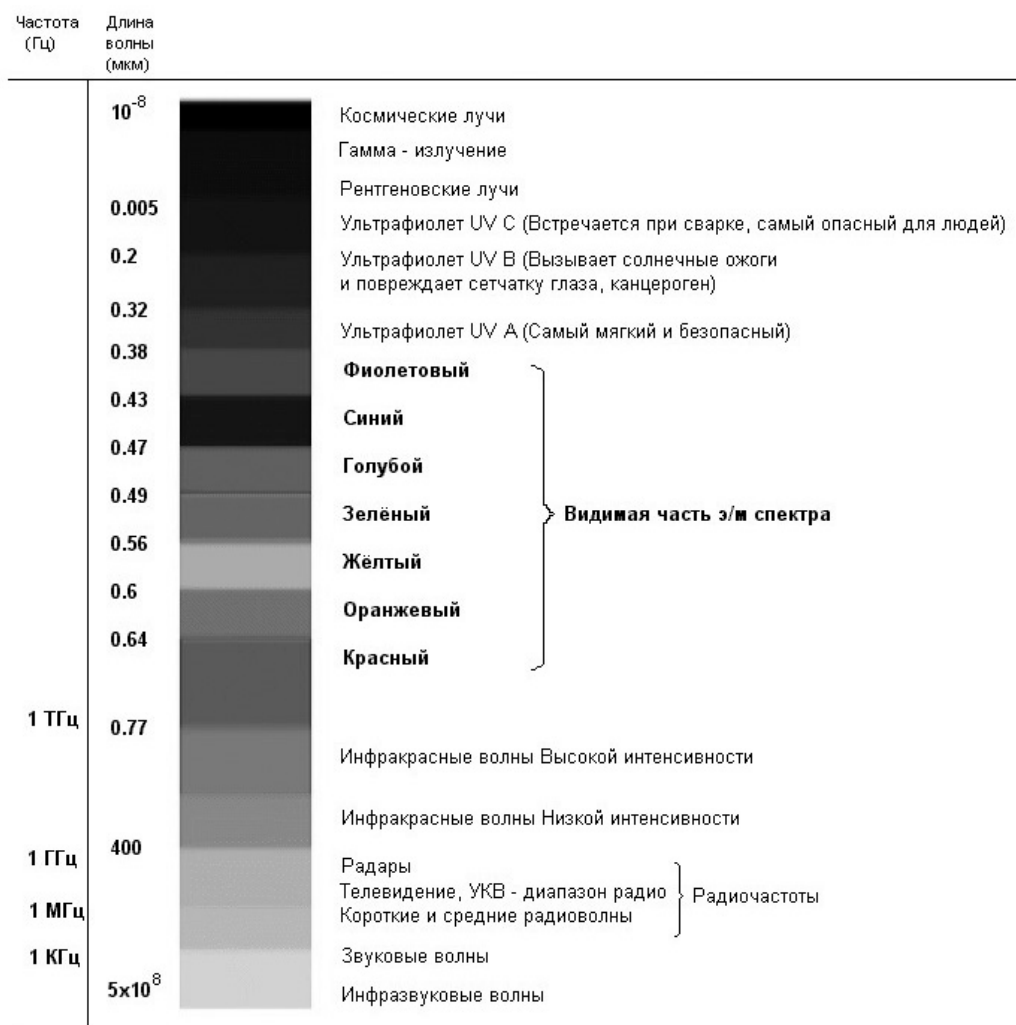


# ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО АСТРОНОМИИ. 2018–2019 уч. г. МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП. 11 КЛАСС

## Задача 1

Найдите 3 ошибки на рисунке. Для каждой из них объясните, почему Вы её указали.

### Шкала электромагнитного излучения



**Ответ:** 1. космические лучи не являются электромагнитным излучением, а представляют собой частицы; 2. звуковые волны не являются электромагнитным излучением; 3. инфразвуковые волны не являются электромагнитным излучением; 4. интенсивность (слово записано для инфракрасного излучения) никак не влияет на частоту или длину волны излучения и поэтому не может являться его характеристикой на электромагнитной шкале.

**Критерии оценивания:**

- Указание космических лучей оценивается в **3 балла**.
- Указание звуковых волн и инфразвуковых волн оценивается в **2 балла** за каждое.
- Указание интенсивности оценивается в **2 балла**.
- Суммарная оценка не должна превышать **8 баллов**.

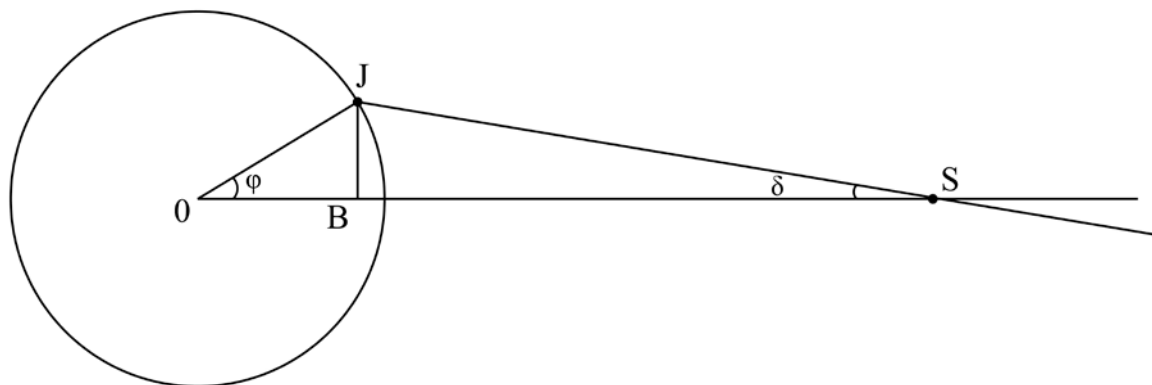
**Максимум за задачу 8 баллов.**

**Задача 2**

В декабре 2016 г. в СМИ промелькнула новость, что японский любитель астрономии наблюдал прохождение десятка геостационарных спутников одного за другим на фоне туманности Ориона ( $\alpha = 5^{\text{h}}36^{\text{m}}$ ,  $\delta = -5^{\circ}28'$ ). Объясните, могло ли наблюдаться такое явление (широта Японии  $30^{\circ}$ – $45^{\circ}$ ). Если могло, то оцените время прохождения одного геостационарного спутника по Большой туманности Ориона (угловой диаметр туманности – примерно  $30''$ ).

**Решение**

Такое явление могло наблюдаться из Японии. Геостационарные спутники вращаются по орбите с радиусом примерно 42000 км (это число можно помнить, можно получить вычислениями), лежащей в плоскости земного экватора.



На рисунке показано положение наблюдателя J и спутника S. Линия OS – проекция экватора. Видно, что при наблюдениях из Северного полушария Земли склонение спутника будет отрицательным (спутник для наблюдателя находится под экватором).

*Комментарий: эта задача является оценочной. В ней не требуется проведение точных вычислений. Допускается (и даже приветствуется) оценочное решение задачи. Тем не менее, приведём тут полное решение, а оценочное будет приведено чуть ниже.*

Определим величину  $\delta$ .

Два прямоугольных треугольника OJB и SBJ имеют общую сторону BJ:

$$BJ = OJ * \sin \varphi = BS * \operatorname{tg} \delta$$

Т.к.  $JO=R$ , а  $BS=OS-OB=OS-OJ*\cos\phi$ , где  $R=6400$  км – радиус Земли, а  $OS\approx 42000$  км – радиус геостационарной орбиты (эту величину можно помнить, а можно получить вычислениями из, например, 3-го закона Кеплера), то:

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{OJ}{BS} * \sin\phi = \frac{R}{42000 - R * \cos\phi} * \sin\phi$$

Подставив  $\phi=30^\circ$  и  $\phi=45^\circ$ , найдём, что  $\delta\approx -5^\circ \dots -7^\circ$ . Склонение туманности Ориона укладывается в этот диапазон.

### **Оценочное решение**

Величину  $\delta$  можно оценить и из грубого приближения — из рисунка видно, что отношение величин углов  $\phi$  и  $\delta$  примерно равно отношению расстояний  $OB$  и  $BS$ . Грубо его можно считать равным отношению  $(42000-R)/R\approx 5,6$ , где  $R=6400$  км – радиус Земли. Тогда склонение спутника в зависимости от широты будет лежать в интервале от  $-30^\circ/5,6\approx -5,4^\circ$  до  $-45^\circ/5,6\approx -8^\circ$ .

Время прохождения определяется угловой скоростью суточного движения неба (т.к. туманность близка к экватору, а геостационарные спутники неподвижны относительно наблюдателя), равной примерно  $360^\circ/24\text{ч} = 15^\circ/\text{ч} = 15'/\text{мин}$ . Т. е. вся туманность будет пересечена спутником за 2 мин.

**Ответ:** да, могла наблюдаться. Время прохождения примерно 2 минуты.

### **Критерии оценивания:**

- Ответ «да» оценивается в **1 балл**.
- Ответ о времени прохождения в 2 минуты без вычислений или объяснений оценивается в **1 балл**.
- Доказательство возможности прохождения оценивается в **4 балла** (т. е. вместе с **1 баллом** за ответ «да» оценка за этот этап составляет **5 баллов**).
- Вычисление времени прохождения оценивается в **2 балла** (т. е. вместе с ответом о времени в 2 минуты оценка за этот этап составляет **3 балла**). Допускается уточнение этого времени путём учёта склонения туманности Ориона (через  $\cos \delta$ ) – время немного увеличится.

**Максимум за задачу 8 баллов.**

### **Задача 3**

Может ли искусственный спутник Земли работать на орбите с высотой (т. е. с расстоянием от поверхности Земли) в апогее  $h=10000$  км и эксцентриситетом  $e=0,5$ ? А если  $e=0,1$ ? Ответ подтвердите расчётами.

### **Решение**

Определим перигейное расстояние данного ИСЗ. Если оно окажется меньше радиуса Земли, то спутник не сможет находиться на соответствующей орбите, т. к. на первом же обороте он ударится о поверхность Земли.

Сначала найдём расстояние от центра Земли до точки апогея:

$$r_a = h + R_{\oplus} = 10000 + 6400 = 16400 \text{ км.}$$

Известно, что расстояние в апогее ( $r_a$ ) и расстояние в перигее ( $r_p$ ) связаны с размером большой полуоси ( $a$ ) и эксцентриситетом ( $e$ ) соотношениями:

$$r_p = (1 - e) * a$$

$$r_a = (1 + e) * a$$

Отсюда можно получить соотношение

$$\frac{r_a}{r_p} = \frac{1 + e}{1 - e}$$

и получить значения  $r_p$  для двух значений  $e$  из условия задачи:

$$r_p = r_a * \frac{1 - e}{1 + e}$$

*Величину перигейного расстояния можно найти и иначе.*

Из соотношения

$$r_a = (1 + e) * a$$

найдем величину большой полуоси  $a$  и после этого найдем перигейное расстояние:

$$r_p = (1 - e) * a$$

В первом случае ( $e = 0,5$ )  $r_p \approx 5467$  км. Эта величина меньше радиуса Земли 6400 км. Значит, на такой орбите спутник работать не сможет.

Во втором случае ( $e = 0,1$ )  $r_p \approx 13420$  км. Эта величина значительно больше радиуса Земли 6400 км. Значит, на такой орбите спутник работать сможет.

**Ответ:** на орбите с  $e = 0,5$  спутник работать не сможет; на орбите с  $e = 0,1$  спутник работать сможет.

### ***Критерии оценивания:***

- Вычисление апогейного расстояния (или его использование напрямую в вычислениях в решении) оценивается в **1 балл**.
- Вывод или запись готового выражения, связывающего эксцентриситет, перигейное и апогейное расстояния (или использование цепочки  $r_a \rightarrow a \rightarrow r_p$ ), оценивается в **3 балла**.
- Вычисление правильного перигейного расстояния (**по 1 баллу** за каждый случай) оценивается в **2 балла**.
- Формулировка окончательного ответа (сравнение с радиусом Земли либо вычисление высоты орбиты в перигее и сравнение её с 0) оценивается в **2 балла** (**по 1 баллу** за каждый случай).
- Правильный ответ (нет, да) без решений оценивается в **2 балла**.

Ошибка на каком-то этапе (арифметическая или в формуле) снижает оценку только за тот этап, в котором она была допущена.

**Максимум за задачу 8 баллов.**

### Задача 4

На какой максимальной высоте на земном шаре может происходить верхняя кульминация звезды Альбиро (β Лебедя)? На какой минимальной высоте на земном шаре может происходить верхняя кульминация Альбиро? Координаты Альбиро:  $\alpha = 19^{\text{h}}30^{\text{m}}$ ,  $\delta = +28^{\circ}$ .

#### Решение

Максимальная высота в верхней кульминации будет при кульминации звезды в зените, т. е. высота будет равна  $90^{\circ}$  градусов. Ответ на второй вопрос не так очевиден. Минимальная высота в верхней кульминации будет тогда, когда она будет происходить под горизонтом. Для звезды с положительным склонением это будет наблюдаться в южном полушарии Земли. Минимальной высота кульминации будет при наблюдении из ближайших окрестностей Южного полюса Мира (на самом полюсе звёзды не восходят и не заходят, а их суточные траектории параллельны горизонту – т. е. на самом полюсе кульминации в принципе не наблюдаются). При этом  $h = -28^{\circ}$ .

*Комментарий: объяснение к решению не требуется (оно приведено для общего понимания).*

#### Критерии оценивания:

- Правильный ответ на первый вопрос «максимальная высота  $90^{\circ}$ » оценивается в **4 балла**.
- Правильный ответ на второй вопрос «минимальная высота  $-28^{\circ}$ » или, другими словами, «минимальная высота  $28^{\circ}$  под горизонтом» оценивается в **4 балла**.
- Ответ на второй вопрос «минимальная высота  $0^{\circ}$ » или «кульминация на горизонте» оценивается в **1 балл**.

**Максимум за задачу 8 баллов.**

### Задача 5

25 апреля 2018 года было опубликовано обновление каталога астрометрического спутника GAIA. Теперь в нём содержатся параллаксы 1 331 909 727 звёзд. Оцените среднее угловое расстояние между звёздами каталога на небесной сфере, считая, что они распределены по небесной сфере равномерно. Ответ запишите в угловых секундах.

#### Решение

Найдём площадь небесной сферы (или вспомним, чему она равна):

$$S = 4\pi \text{ стерад} = 4\pi \left(\frac{360^{\circ}}{2\pi}\right)^2 \approx 41253 \text{ кв. градуса} \approx 1,49 \cdot 10^8 \text{ кв. угл. минут} \\ \approx 5,35 \cdot 10^{11} \text{ кв. угл. секунд}$$

Здесь  $\frac{360^\circ}{2\pi}$  — число градусов в 1 радиане.

Видно, что  $N = 13,32 * 10^8$  звёзд приходится на  $1,49 * 10^8$  угловых минут.

Оценим искомое угловое расстояние  $L$  между звёздами:

$$L = \sqrt{\frac{S}{N}} = \sqrt{\frac{5,35 * 10^{11}}{13,32 * 10^8}} = 20''$$

**Ответ:** примерно  $20''$

### **Критерии оценивания:**

- Вычисление (или запись по памяти) площади небесной сферы с ответом в диапазоне 40000–43000 кв. градусов оценивается в **2 балла**.
- Перевод площади сферы (или запись по памяти – тогда оценка суммируется с предыдущей) в кв. угл. секунды оценивается в **2 балла**.
- Вычисление концентрации звёзд (отношения  $N/S$ ) оценивается в **1 балл**.
- Вычисление углового расстояния (методом, представленным в решении, или через рассуждения, например, о том, что на 1 кв. угл. минуту приходится примерно 10 звёзд...) с ответом в диапазоне  $5-40''$  оценивается в **3 балла**.  
Допускается появление коэффициента  $\sqrt{2}$ .

В случае решения через общую формулу полным баллом оцениваются все этапы, проявившиеся в конечной формуле.

Использование вместо сферы круга (квадрата и пр.) оценивается только в первом этапе. Все другие этапы оцениваются независимо.

Арифметическая ошибка зануляет тот этап, на котором она была допущена (кроме ошибки в общей формуле).

**Максимум за задачу 8 баллов.**

### **Задача 6**

В далекой галактике, видимой с Земли как объект  $19,5^m$ , вспыхнула сверхновая. В результате суммарный блеск галактики со сверхновой оказался равен  $18,9^m$ . Вычислите звёздную величину сверхновой. Необходимые формулы и вычисления приведите в решении.

### **Решение**

Введём обозначения: блеск сверхновой  $m_{SN}$ , блеск галактики до вспышки  $m_G$  и суммарный блеск  $m$ . Соответствующие потоки фотонов (или энергии, или освещённости или другие связанные величины) обозначим через  $E_{SN}$ ,  $E_G$  и  $E$ .

В соответствии с формулой Погсона, связывающей отношение потоков и разность звёздных величин,

$$m - m_{SN} = 2,5 \lg \frac{E_{SN}}{E} = 2,5 \lg \frac{E - E_G}{E} = 2,5 \lg \left( 1 - \frac{E_G}{E} \right)$$

Отношение  $E_G/E$  можно найти, ещё раз применив формулу Погсона к разности звёздных величин галактики и объекта «галактика+сверхновая», но записав её в другом виде (относительно потоков):

$$\frac{E_G}{E} = 10^{-0,4(m_G - m)} = 10^{-0,4(19,5 - 18,9)} \approx 0,575$$

Подставив это отношение в первую формулу, получим:  $m_{SN} \approx 19,83$ .

**Ответ:** звёздная величина сверхновой равна 19,83.

***Критерии оценивания:***

- Определение только отношения потоков от галактики и суммарного объекта оценивается в **2 балла**.
- Только правильный ответ (без формулы и вычислений) оценивается в **2 балла**.
- Запись формулы Погсона (даже без её использования в решении) оценивается в **2 балла**.
- Правильный ответ (допускается ответ в диапазоне 19,7 – 19,9) с формулой Погсона (в том или ином виде) и вычислениями оценивается в **8 баллов**.
- В случае вычисления звездной величины сверхновой как среднего арифметического блеска галактики и суммарного блеска объектов с ответом 19,2<sup>m</sup> ставится оценка **0 баллов**.
- Каждая арифметическая ошибка снижает оценку на **2 балла**.

**Максимум за задачу 8 баллов.**

**Всего за работу 48 баллов.**