

# Всероссийская олимпиада школьников по астрономии

## Муниципальный этап, теоретический тур

2022/2023 учебный год

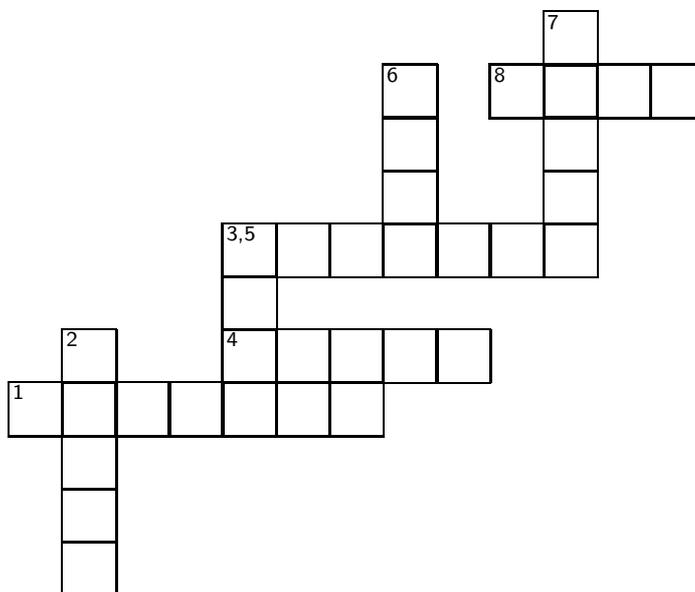
11 класс

### Решения задач и критерии их оценивания

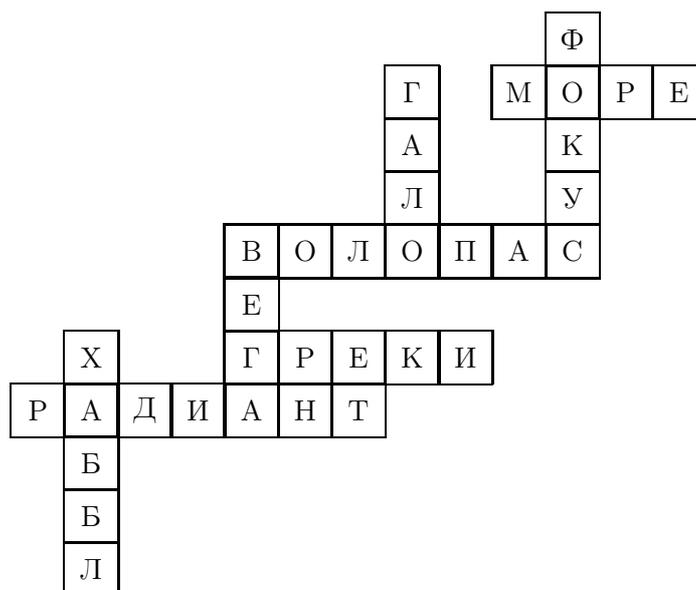
#### № 1. «Кроссворд-ревью для 11-го класса»

**Условие.** Ответьте на следующие вопросы, заполнив ниже представленный кроссворд:

1. Как называется точка небосвода откуда вылетают метеоры, принадлежащие одному метеорному потоку?
2. Назовите фамилию ученого, кто стал основоположником внегалактической астрономии?
3. Как называется вторая по яркости звезда (по вертикали) северной полусферы небосвода?
4. Как называется семейство астероидов, расположенных в четвертой точке Лагранжа системы "Солнце-Юпитер"?
5. В каком созвездии (по горизонтали) располагается ярчайшая звезда северной полусферы небосвода?
6. В какой части нашей Галактики расположены шаровые скопления?
7. Как называется точка плоскости орбиты Земли, в которой, согласно первому закону Кеплера, находится Солнце?
8. Как называется протяженная область на поверхности Луны, имеющая более низкую отражающую способность, нежели окружающие ее части поверхности? *Максимальный балл – 8.*



*Решение.*



*Рекомендации для жюри.*

Выполненная часть решения задачи	Балл
За каждое правильное понятие/ название	1(8)

**№ 2. «Фазы Луны и ее положение в пространстве»**

*Условие.* 1. В какой фазе Луна находится определенно дальше от Солнца, чем Земля?

**Варианты ответов:**

1. Новолуние,	2. Полнолуние,	3. Первая четверть,
4. Последняя четверть,	5. Молодой месяц,	6. Старый месяц.

2. Какой угол образуют световые лучи, пришедшие к Земле от Солнца и Луны при таком положении последней?

**Варианты ответов:**

1. 90° или близкий к тому,	2. 180° или близкий к тому,	3. 0° или близкий к тому,
4. 45° или близкий к тому,	5. 135° или близкий к тому.	

3. Какая часть видимого диска спутника Земли освещена солнечным светом (для земного наблюдателя) в этой фазе?

**Варианты ответов:**

1. 0%	2. 1 ÷ 20%	3. 20 ÷ 49%,
4. 50%	5. 51 ÷ 99%	6. 100%

4. Чему равна видимая звездная величина Луны в этой фазе (без учета поглощения света атмосферой Земли)?

**Варианты ответов:**

1. -4.5 <sup>m</sup>	2. -6.8 <sup>m</sup>	3. -10.6 <sup>m</sup> ,
4. -12.7 <sup>m</sup>	5. -16.2 <sup>m</sup>	6. -26.8 <sup>m</sup>

*Решение.*

1. Согласно рис. 1, из всех вышеуказанных фаз в *фазе полнолуния* Луна находится определенно дальше от Солнца, чем Земля.

2. Из того же рисунка следует, что угол между световыми лучами, пришедшими от Луны и Солнца к Земле равен 180° или близкий к тому.

3. В фазе полнолуния диск Луны полностью освещен Солнцем, поэтому фаза равна 100%.



Рис. 1. К определению основных фаз Луны и соответствующих ее положений на орбите.

4. В данной фазе яркость Луны достигает максимального значения, а звездная величина принимает минимально возможное значение,  $-12.7^m$  (согласно справочным данным).

**Ответ:** а) полнолуние; б)  $180^\circ$  или близкий к тому; в) 100%; г)  $-12.7^m$ .

*Рекомендации для жюри.*

Выполненная часть решения задачи	Балл
За каждый правильный ответ	2(8)

**№ 3. «ИК-излучение Луны»**

**Условие.** Как известно, все тела Солнечной системы способны не только отражать солнечный свет, но и сами быть источниками электромагнитного излучения, в частности в дальнем инфракрасном диапазоне спектра. Когда интенсивность ИК-излучения Луны больше – в первой или последней четверти? В какой четверти максимум ИК-излучения Луны приходится на большую длину волны? Свой ответ поясните. Орбиту Луны считать круговой. *Максимальный балл – 8.*

**Решение. 1.** Интенсивность ( $\mathcal{I}$ ) собственного излучения небесного тела прямо пропорциональна поверхностной светимости тела. Применяя к данному телу модель абсолютно черного тела (АТТ) и закон Стефана-Больцмана, можно заключить, что величина  $\mathcal{I} \sim T_{\text{eff}}^4$ , где  $T_{\text{eff}}$  – эффективная температура поверхности тела. Т.о., интенсивность излучения сильно зависит от температуры поверхности тела.

**2.** Согласно рис. 1, когда Луна находится в первой четверти, то на ее освещенной части видимого полушария наступает утро, а на неосвещенной части еще царит ночь. Поскольку продолжительность солнечных суток на Луне равна ее синодическому месяцу ( $S_{\zeta} = 29.53$  сут.), то за долгую ночь (продолжительность которой  $S_{\zeta} / 2$ ), ночное полушарие Луны сильно остывает и на "утренней" освещенной части лунный грунт из-за низкой теплопроводности не успевает сильно прогреться под лучами Солнца.

Когда Луна находится в последней четверти (см. рис. 1), на ее освещенной части видимого полушария наступает вечер, а на неосвещенной части недавно наступила ночь. Но все эти области наблюдаются после продолжительного лунного дня (продолжительность которой  $S_{\zeta} / 2$ ), когда под действием солнечного света лунный грунт получил максимальную порцию энергии. Грунт работает подобно тепловому конденсатору, сначала накапливая эту энергию и повышая

свою температуру, а затем ее отдавая в космическое пространство, главным образом, в виде ИК-излучения. В фазе последней четверти "разрядка" этого теплового конденсатора будет больше из-за более высокой (усредненной по поверхности) температуры поверхности Луны.

**3.** Кроме того, необходимо учесть еще один факт – восточная часть видимого с Земли полушария Луны (которая как раз освещена в последней четверти) является более темной (т.е. обладает более низким альбедо), а значит его поглощающая способность солнечного излучения будет выше. Значит эта часть полушария получит больше энергии от Солнца и нагреется до более высокой температуры.

Т.о., интенсивность ИК-излучения Луны в последней четверти будет больше, чем в первой четверти.

**4. Традиционный подход.** С использованием модели АТГ нетрудно понять, что поверхность Луны на разных длинах волн будет иметь разную интенсивность излучения, которую можно характеризовать кривой Планка для испускательной способности поверхности источника. У такой кривой всегда есть один максимум, соответствующий некоторой длине волны  $\lambda_m$ . Последняя величина связана с температурой  $T$  поверхности источника законом Вина:

$$\lambda_m = \frac{b}{T}, \text{ где } b = 0.0029 \text{ м}\cdot\text{К}. \quad (1)$$

Из последнего результата следует, что при более низкой температуре поверхности максимум ИК-излучения Луны приходится на большую длину волны. Значит данный факт будет достигаться в первой четверти.

*Альтернативный подход.* Как известно, интенсивность электромагнитного излучения есть количество энергии, переносимой фотонами (квантами света) за единицу времени через единичную площадку, плоскость которой перпендикулярна направлению их движения, т.е.

$$\mathcal{I} = \frac{\Delta W}{\Delta S_{\perp} \Delta t} = \frac{N_{\gamma} \cdot E_{\gamma}}{\Delta S_{\perp} \Delta t} = \frac{N_{\gamma}}{\Delta S_{\perp} \Delta t} \frac{hc}{\lambda}, \quad (2)$$

здесь  $E_{\gamma}, N_{\gamma}$  – энергия одного фотона и их количество, падающих на площадку  $\Delta S_{\perp}$  за время  $\Delta t$  соответственно;  $E_{\gamma} = \frac{hc}{\lambda}$  – энергия фотона,  $h, c$  – постоянная Планка и скорость света соответственно. Из (2) следует, что чем больше интенсивность излучения (и температура поверхности источника) тем меньше длина волны излучения. Значит, как и в предыдущем подходе имеем: в первой четверти максимум ИК-излучения Луны приходится на большую длину волны.

**Ответ:** 1) в последней четверти; 2) в первой четверти.

**Рекомендации для жюри.**

Выполненная часть решения задачи	Балл
Явное указание на сильную зависимость интенсивности ИК-излучения от температуры поверхности Луны	2
Обоснование факта большего значения интенсивности ИК-излучения в последней четверти, с учетом суточных перепадов температуры и эффекта теплового конденсатора + неодинаковости значений альбедо для восточной и западной части видимого полушария Луны	2+2
Обоснование одним из способов того, что в первой четверти максимум ИК-излучения Луны приходится на большую длину волны	2

**№ 4. «Чудесная рефракция света»**

**Условие.** Некоторое небесное тело в некотором пункте поверхности Земли является незаходящим за горизонт. Однако, если бы не было атмосферной рефракции (которая у горизонта составляет  $35'$ ), то данное тело было бы невосходящим. Определите возможные значения географической широты данного пункта. *Максимальный балл – 8.*

**Решение. 1.** Такая ситуация возможна, если вся суточная параллель небесного тела (НТ) располагается на небольшой глубине под горизонтом. Возможны два альтернативных сценария: 1) суточная параллель имеет малые угловые размеры, 2) суточная параллель расположена практически параллельно горизонту. Рассмотрим оба сценария подробнее.

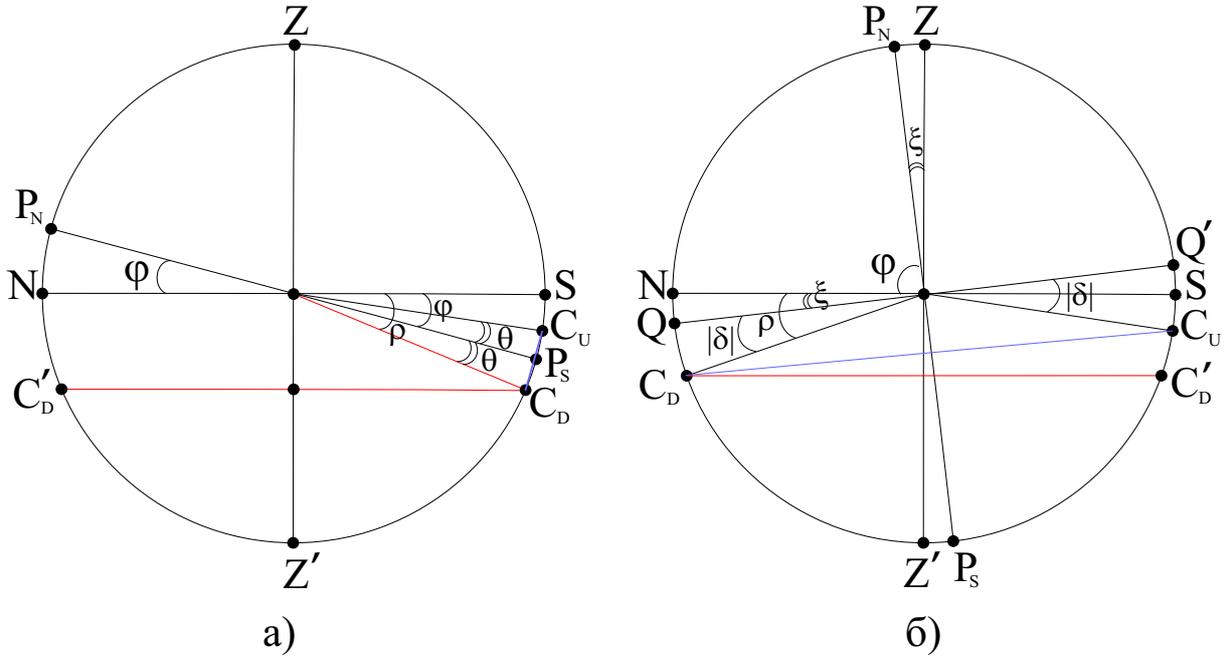


Рис. 2. К определению небесной сферы и ее основных точек в случае а) сценария № 1, б) сценария № 2.

**2. Сценарий № 1.** Если угловые размеры суточной параллели являются малыми, значит данное НТ должно располагаться в окрестности одного из полюсов мира. Значит склонение такого тела можно представить  $\delta = \pm(90^\circ - \theta)$ , где  $\theta$  – полярное расстояние светила (угловое расстояние от светила до ближайшего полюса мира, отсчитываемого вдоль его круга склонения), являющееся малой неотрицательной величиной ( $\theta \geq 0^\circ$ ). Поскольку суточная параллель светила должна быть расположена полностью вблизи горизонта, значит наблюдения должны проводиться в окрестности экватора, т.е. широта должна быть близка к  $0^\circ$ . Отметим, что на самом геоэкваторе условия задачи не выполняются, поскольку здесь не бывает невосходящих светил даже в отсутствии рефракции. Рассмотрим частный случай (см. рис. 2.а), когда наблюдатель находится вблизи экватора в северном геополушарии. Здесь  $P_N$  – северный полюс мира, расположенный над истинным горизонтом  $NS$ , высота которого равна широте  $\varphi$  места нахождения наблюдателя. Из-за рефракции света этот горизонт понижен до уровня  $C_D C'_D$  на величину  $\rho = 35'$ .  $C_D C'_D$  – суточная параллель НТ,  $C_U, C_D$  – точки его верхней и нижней кульминаций. Запишем для этих точек истинные высоты кульминаций:

$$\begin{aligned} h_{\max}^{(0)} &= -(\varphi - \theta) < 0, \Rightarrow \varphi > \theta \geq 0, \\ h_{\min}^{(0)} &= -(\varphi + \theta) \geq -\rho, \Rightarrow \varphi \leq \rho - \theta, \Rightarrow 0^\circ < \varphi \leq \rho, \text{ при } \theta = 0^\circ. \end{aligned}$$

Рассматривая аналогично случай с наблюдателем, расположенным в южном геополушарии, приходим к итоговому интервалу возможных значений для широты местности:

$$-\rho \leq \varphi < 0^\circ \cup 0^\circ < \varphi \leq \rho, \text{ или } -35' \leq \varphi < 0^\circ \cup 0^\circ < \varphi \leq +35'. \quad (3)$$

**3. Сценарий № 2.** Суточная параллель почти параллельна горизонту для наблюдателя, расположенного вблизи одного из геополюсов. Следовательно, широту местности можно представить как  $\varphi = \pm(90^\circ - \xi)$ ,  $\xi$  – полярное расстояние наблюдателя (угловое расстояние от наблюдателя до ближайшего геополюса, отсчитываемого вдоль его меридиана), являющееся малой неотрицательной величиной ( $\xi \geq 0^\circ$ ). Рассмотрим частный случай (см. рис. 2.б), когда наблюдатель находится вблизи северного геополюса. Вновь запишем истинные высоты кульминаций НТ согласно рисунку:

$$\begin{aligned} h_{\max}^{(0)} &= -(|\delta| - \xi) < 0, \Rightarrow |\delta| > \xi, \\ h_{\min}^{(0)} &= -(|\delta| + \xi) \geq -\rho, \Rightarrow |\delta| \leq \rho - \xi, \Rightarrow \xi < \rho - \xi, \Rightarrow \xi < \rho/2. \end{aligned}$$

Значит возможные значения широты местоположения наблюдателя есть полуинтервал:  $90^\circ - \rho/2 < \varphi \leq 90^\circ$ . Учитывая также случай с наблюдателем, расположенным в южном геополушарии,

в результате получаем два полуинтервала возможных значений для широты местности:

$$\begin{aligned} & -90^\circ \leq \varphi < -(90^\circ - \rho/2) \cup 90^\circ - \rho/2 < \varphi \leq 90^\circ \text{ или} \\ & -90^\circ \leq \varphi < -89^\circ 42.5' \cup +89^\circ 42.5' < \varphi \leq 90^\circ. \end{aligned} \quad (4)$$

**Ответ:** к задаче представляется объединением диапазонов (3), (4).

**Рекомендации для жюри.**

Выполненная часть решения задачи	Балл
Выделены явно два (1-ый +2-ой) альтернативных сценария	1+1
Корректный расчет диапазонов (3) + (4); в случае потери половины диапазона –1 балл за каждую потерю	3+3

### № 5. «Противостояние Юпитера-2022 и его наблюдение в телескоп»

**Условие.** 26 сентября 2022 года состоялось очередное противостояние Юпитера. В эту ночь один самарский астроном-любитель визуально наблюдал его в свой телескоп с фокусным расстоянием объектива  $F = 1$  м. Из набора своих окуляров он подобрал такой, который формировал образ гиганта под таким же углом, под которым видна Луна невооруженному глазу. Определите оптическую силу окуляра (в дптр.) и полученное угловое увеличение телескопа. Чему должен быть равен минимальный угловой диаметр поля зрения (в градусах) такого телескопа, чтобы при любом взаимном расположении галилеевых спутников относительно материнской планеты, их все можно было увидеть в этот телескоп в ту ночь в этом поле (без подвижек телескопа)? Орбиту Юпитера и Земли считать круговыми. *Максимальный балл – 8.*

**Решение. 1.** Прежде всего определим угловые диаметры Луны и Юпитера:

$$\rho''_{\zeta} = \frac{\mathfrak{R}_{\zeta}}{a_{\zeta}}, \quad \rho''_J = \frac{\mathfrak{R}_J}{\Delta_J}.$$

Следовательно, угловое увеличение телескопа можно представить в виде:

$$\Gamma = \frac{\rho''_{\zeta}}{\rho''_J} = \left( \frac{\mathfrak{R}_{\zeta}}{\mathfrak{R}_J} \right) \left( \frac{\Delta_J}{a_{\zeta}} \right) = \left( \frac{\mathfrak{R}_{\zeta}}{\mathfrak{R}_J} \right) \left( \frac{a_J - a_{\oplus}}{a_{\zeta}} \right) = 40^{\times}, \quad (5)$$

здесь  $\Delta_J$  – геоцентрическое расстояние Юпитера,  $a_J, a_{\oplus}$  – большие полуоси орбит Юпитера и Земли соответственно.

**2.** С другой стороны, угловое увеличение телескопа можно представить как

$$\Gamma = \frac{F}{f}, \Rightarrow f = \frac{F}{\Gamma}, \Rightarrow D_f = \frac{1}{f} = \frac{\Gamma}{F} = 40 \text{ дптр}, \quad (6)$$

здесь  $D_f, f$  – оптическая сила и фокусное расстояние окуляра.

**3.** Чтобы при любом взаимном расположении галилеевых спутников все они попали в одно поле зрения, необходимо рассмотреть предельную ситуацию: два самых далеких галилеевых спутника расположены по разные стороны от Юпитера, т.е. Ганимед и Каллисто. При этом минимальный угловой диаметр  $D''_T$  должен быть не меньше суммы максимальных угловых расстояний данных спутников от материнской планеты в эту ночь:

$$d''_G = \frac{a_G}{\Delta_J}, \quad d''_K = \frac{a_C}{\Delta_J}.$$

Тогда

$$D''_T = \left( \frac{a_G}{\Delta_J} + \frac{a_C}{\Delta_J} \right) \times 3438' = \frac{a_G + a_C}{a_J - a_{\oplus}} \times 3438' = 16.1' = 0.27^\circ. \quad (7)$$

**Ответ:** к задаче представляется выражениями (5)-(7).

*Рекомендации для жюри.*

Выполненная часть решения задачи	Балл
Корректно определено угловое увеличение телескопа с данным окуляром	2
Правильно вычислена оптическая сила окуляра	2
Верно представлена предельная ситуация взаимного расположения Ганимеда и Каллисто относительно Юпитера	2
Выполнен корректный расчет минимального углового диаметра телескопа	2

**№ 6. «Свойства галактик М31 и М110»**

**Условие.** Как известно, галактика М110 является спутником более массивной галактики М31 (туманности Андромеда). Известны экваториальные координаты ( $\alpha_i, \delta_i$ ) этих галактик и гелиоцентрические расстояния ( $r_i$ ):

М31			М110		
$\alpha_1$	$\delta_1$	$r_1$ , кпк	$\alpha_2$	$\delta_2$	$r_2$ , кпк
00 <sup>h</sup> 42 <sup>m</sup> 44.3 <sup>s</sup>	+41° 16' 9"	770	00 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup> 22.1 <sup>s</sup>	+41° 41' 07.5"	815

Известно, что галактика М110 движется по орбите, близкой к круговой, со скоростью  $V = 250$  км/с относительно М31. Определите текущее расстояние (в кпк) между данными галактиками, период обращения (в годах) галактики М110 относительно М31 и массу галактики М31 (в массах Солнца), полагая, что последняя имеет сферически симметричное распределение вещества в своем теле. *Максимальный балл – 8.*

**Решение. 1.** Прежде всего определим расстояние ( $R$ ) между галактиками с использованием теоремы косинусов для плоского треугольника, в вершинах которого находится Солнце, М31 и М110:

$$R = \sqrt{r_1^2 + r_2^2 - 2r_1 r_2 \cos \beta}, \quad (8)$$

где  $r_1, r_2$  – известные гелиоцентрические расстояния до галактик,  $\beta$  – угол между направлениями на данные галактики с позиции земного наблюдателя. Для определения угла  $\beta$  заметим, что данные галактики расположены в двух близких точках небосвода, поэтому можно воспользоваться приближением плоского треугольника и определить искомый угол по теореме Пифагора:

$$\beta = \sqrt{225(\alpha_1 - \alpha_2)^2 + (\delta_1 - \delta_2)^2} = 0.73^\circ. \quad (9)$$

В итоге расстояние между галактиками (а также радиус орбиты М110) составляет  $R = 46.1$  кпк.

**2.** Период обращения галактики М110 относительно М31 можно оценить по формуле:

$$T = \frac{2\pi R}{V} = 3.575 \cdot 10^{16} \text{ с} = 1.132 \cdot 10^9 \text{ лет}. \quad (10)$$

**3.** Для определения массы галактики М31 учтем тот факт, что масса спутника, как правило, много меньше массы центральной галактики, поэтому рассмотрим в приближении неподвижного силового центра (М31) движение М110 по круговой орбите и запишем для нее второй закон Ньютона:

$$\mathfrak{M}_2 \cdot \vec{a}_2 = \vec{F}_{12},$$

здесь  $\vec{a}_2$  – вектор центростремительного ускорения М110,  $\vec{F}_{12}$  – вектор силы притяжения, приложенный к М110 со стороны М31. В проекциях на координатную ось ОХ (см. рис. 3):

$$\mathfrak{M}_2 \cdot a_2 = F_{12}. \quad (11)$$

С учетом того, что  $a_2$  является центростремительным ускорением, определяемым выражением вида:

$$a_2 = \frac{V^2}{R},$$

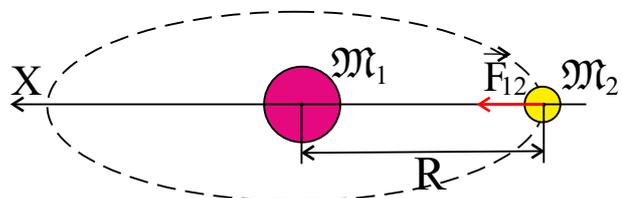


Рис. 3. К определению массы галактики М31.

а сила притяжения определяется законом всемирного тяготения (в силу сферически симметричного распределения вещества в теле М31 и точечности М110):

$$F_{12} = \frac{G \cdot \mathfrak{M}_1 \cdot \mathfrak{M}_2}{R^2},$$

где  $G$  – универсальная гравитационная постоянная, уравнение (11) можно переписать в виде:

$$\mathfrak{M}_2 \frac{V^2}{R} = \frac{G \cdot \mathfrak{M}_1 \cdot \mathfrak{M}_2}{R^2}, \Rightarrow \mathfrak{M}_1 = \frac{V^2 R}{G} = 1.33 \cdot 10^{42} \text{ кг} = 6.7 \cdot 10^{11} \mathfrak{M}_\odot. \quad (12)$$

*Ответ:*  $R = 46.1$  кпк; представлен выражениями (10), (12).

*Рекомендации для жюри.*

Выполненная часть решения задачи	Балл
Расчет угла $\beta$ или оценочное обоснование его малости	2
Правильно вычислено расстояние между галактиками	2
Корректный расчет периода обращения М110	2
Правильно определена масса галактики М31	2

*На решение задач муниципального этапа олимпиады по астрономии школьникам отводится 4 часа.*

# Основные справочные данные

## §1. Основные физические и астрономические постоянные

- Гравитационная постоянная –  $G = 6.674 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$
- Скорость света в вакууме –  $c = 2.998 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
- Универсальная газовая постоянная –  $R = 8.31 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{К}^{-1} \cdot \text{моль}^{-1}$
- Постоянная Стефана-Больцмана –  $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{К}^{-4}$
- Масса протона –  $m_p = 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
- Масса электрона –  $m_e = 9.11 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
- Астрономическая единица –  $1 \text{ а.е.} = 1.496 \cdot 10^{11} \text{ м}$
- Парсек –  $1 \text{ пк} = 3.261 \text{ св. лет} = 206265 \text{ а.е.} = 3.086 \cdot 10^{16} \text{ м}$
- Постоянная Хаббла –  $H = 72 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{Мпк}^{-1}$

## §2. Данные о Солнце

- Радиус –  $6.955 \cdot 10^5 \text{ км}$
- Масса –  $1.989 \cdot 10^{30} \text{ кг}$
- Светимость –  $3.827 \cdot 10^{26} \text{ Вт}$
- Спектральный класс – G2
- Видимая звездная величина –  $-26.74^m$
- Абсолютная болометрическая звездная величина –  $+4.83^m$
- Показатель цвета (B-V) –  $+0.67^m$
- Эффективная температура –  $5778 \text{ К}$
- Средний горизонтальный параллакс –  $8.794''$
- Интегральный поток энергии на расстоянии Земли –  $1360 \text{ Вт/м}^2$
- Поток энергии в видимых лучах на расстоянии Земли –  $600 \text{ Вт/м}^2$

## §3. Данные о Земле

- Эксцентриситет орбиты –  $0.017$
- Тропический год –  $365.24219 \text{ сут}$
- Средняя орбитальная скорость –  $29.8 \text{ км/с}$
- Период вращения –  $23 \text{ часа } 56 \text{ минут } 04 \text{ секунды}$
- Наклон экватора к эклиптике на эпоху 2000.0 –  $23^\circ 26' 21.45''$
- Экваториальный радиус –  $6378.14 \text{ км}$
- Полярный радиус –  $6356.77 \text{ км}$
- Средний (по объему) радиус –  $6371.01 \text{ км}$
- Масса –  $5.974 \cdot 10^{24} \text{ кг}$
- Средняя плотность –  $5.52 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$
- Объемный состав атмосферы –  $\text{N}_2$  (78%),  $\text{O}_2$  (21%),  $\text{Ar}$  ( $\sim 1\%$ )

## §4. Данные о Луне

- Среднее расстояние от Земли –  $384400 \text{ км}$
- Минимальное расстояние от Земли –  $356410 \text{ км}$
- Максимальное расстояние от Земли –  $406700 \text{ км}$
- Эксцентриситет орбиты –  $0.055$
- Наклон плоскости орбиты к эклиптике –  $5^\circ 09'$
- Сидерический (звездный) период обращения –  $27.321662 \text{ сут}$

- Синодический период обращения – 29.530589 сут
- Радиус – 1738 км
- Масса –  $7.348 \cdot 10^{22}$  кг или 1/81.3 массы Земли
- Средняя плотность –  $3.34 \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$
- Визуальное геометрическое альbedo – 0.12
- Видимая звездная величина в полнолуние –  $-12.7^m$

## §5. Физические характеристики Солнца и планет

Планета	Масса		Радиус		Плотность г·см <sup>-3</sup>	Период вращения вокруг оси	Наклон экватора к плоскости орбиты	Геометрич. альbedo	Вид. звездная величина*
	кг	массы Земли	км	радиусы Земли					
Солнце	$1.989 \cdot 10^{30}$	332946	695500	108.97	1.41	25.380 сут	7.25	–	$-26.8^m$
Меркурий	$3.302 \cdot 10^{23}$	0.05271	2439.7	0.3825	5.42	58.646 сут	0.00	0.10	–0.1
Венера	$4.869 \cdot 10^{24}$	0.81476	6051.8	0.9488	5.20	243.019 сут <sup>†</sup>	177.36	0.65	$-4.4^m$
Земля	$5.974 \cdot 10^{24}$	1.00000	6378.1	1.0000	5.52	23.934 час	23.45	0.37	–
Марс	$6.419 \cdot 10^{23}$	0.10745	3397.2	0.5326	3.93	24.623 час	25.19	0.15	$-2.0^m$
Юпитер	$1.899 \cdot 10^{27}$	317.94	71492	11.209	1.33	9.924 час	3.13	0.52	$-2.7^m$
Сатурн	$5.685 \cdot 10^{26}$	95.181	60268	9.4494	0.69	10.656 час	25.33	0.47	$0.4^m$
Уран	$8.683 \cdot 10^{25}$	14.535	25559	4.0073	1.32	17.24 час <sup>†</sup>	97.86	0.51	$5.7^m$
Нептун	$1.024 \cdot 10^{26}$	17.135	24746	3.8799	1.64	16.11 час	28.31	0.41	$7.8^m$

\* для наибольшей элонгации Меркурия и Венеры и среднего противостояния внешних планет;

† – обратное вращение.

## §6. Характеристики орбит планет

Планета	Большая полуось		Эксцентриситет	Наклон к плоскости эклиптики	Период обращения	Синодический период
	млн. км	а.е.				
Меркурий	57.9	0.3871	0.2056	7.004	87.97 сут	115.9
Венера	108.2	0.7233	0.0068	3.394	224.70 сут	583.9
Земля	149.6	1.0000	0.0167	0.000	365.26 сут	–
Марс	227.9	1.5237	0.0934	1.850	686.98 сут	780.0
Юпитер	778.3	5.2028	0.0483	1.308	11.862 лет	398.9
Сатурн	1429.4	9.5388	0.0560	2.488	29.458 лет	378.1
Уран	2871.0	19.1914	0.0461	0.774	84.01 лет	369.7
Нептун	4504.3	30.0611	0.0097	1.774	164.79 лет	367.5

## §7. Характеристики некоторых спутников планет

Спутник	Масса	Радиус	Плотность	Радиус орбиты	Период обращения	Геометрич. альбе-до	Вид. звездная величина*
	кг	км	г·см <sup>-3</sup>	км	сут		
<b>Земля</b>							
Луна	$7.348 \cdot 10^{22}$	1738	3.34	384400	27.32166	0.12	-12.7
<b>Марс</b>							
Фобос	$1.08 \cdot 10^{16}$	~ 10	2.0	9380	0.31910	0.06	11.3
Деймос	$1.8 \cdot 10^{15}$	~ 6	1.7	23460	1.26244	0.07	12.4
<b>Юпитер</b>							
Ио	$8.94 \cdot 10^{22}$	1815	3.55	421800	1.769138	0.61	5.0
Европа	$4.8 \cdot 10^{22}$	1569	3.01	671100	3.551181	0.64	5.3
Ганимед	$1.48 \cdot 10^{23}$	2631	1.94	1070400	7.154553	0.42	4.6
Каллисто	$1.08 \cdot 10^{23}$	2400	1.86	1882800	16.68902	0.20	5.7
<b>Сатурн</b>							
Тефия	$7.55 \cdot 10^{20}$	530	1.21	294660	1.887802	0.9	10.2
Диона	$1.05 \cdot 10^{21}$	560	1.43	377400	2.736915	0.7	10.4
Рея	$2.49 \cdot 10^{21}$	765	1.33	527040	4.517500	0.7	9.7
Титан	$1.35 \cdot 10^{23}$	2575	1.88	1221850	15.94542	0.21	8.2
Япет	$1.88 \cdot 10^{21}$	730	1.21	3560800	79.33018	0.20	~ 11.0
<b>Уран</b>							
Миранда	$6.33 \cdot 10^{19}$	235.8	1.15	129900	1.413479	0.27	16.3
Ариэль	$1.7 \cdot 10^{21}$	578.9	1.56	190900	2.520379	0.34	14.2
Умбриэль	$1.27 \cdot 10^{21}$	584.7	1.52	266000	4.144177	0.18	14.8
Титания	$3.49 \cdot 10^{21}$	788.9	1.70	436300	8.705872	0.27	13.7
Оберон	$3.03 \cdot 10^{21}$	761.4	1.64	583500	13.46324	0.24	13.9
<b>Нептун</b>							
Тритон	$2.14 \cdot 10^{22}$	1350	2.07	354800	5.87685 <sup>†</sup>	0.7	13.5

\* – для полнолуния или среднего противостояния внешних планет;

† – обратное вращение.

## §8. Формулы приближенного вычисления

$$\sin x \approx \operatorname{tg} x \approx x;$$

$$\sin(x \pm \alpha) \approx \sin \alpha \pm x \cos \alpha;$$

$$\cos(x \pm \alpha) \approx \cos \alpha \mp x \sin \alpha;$$

$$\operatorname{tg}(x \pm \alpha) \approx \operatorname{tg} \alpha \pm \frac{x}{\cos^2 \alpha};$$

$$(1 + x)^n \approx 1 + nx;$$

здесь  $x \ll 1$ , все углы выражаются в радианах.

## Дополнительные справочные данные

§9. Освещенность, создаваемая звездой с видимой звездной величиной  $m = 0^m$

$$E_0 = 2.48 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/м}^2.$$