

## ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

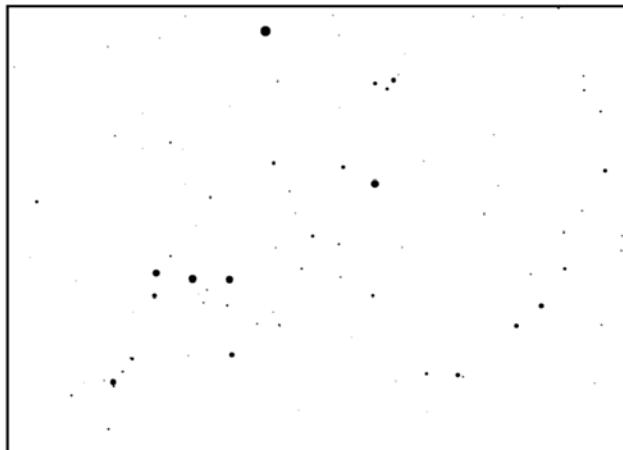
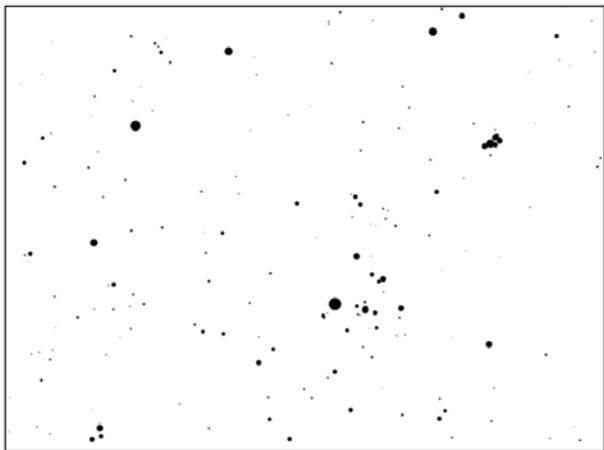
- (1)** Где на Земле звезды Капелла ( $\alpha$  Возничего,  $\alpha = 5^h 17^m$ ,  $\delta = 46^\circ 00'$ ) и Ригель ( $\alpha$  Ориона,  $\alpha = 5^h 14^m$ ,  $\delta = -8^\circ 12'$ ) могут наблюдаться одновременно? Считайте их прямые восхождения одинаковыми. В каком месяце года верхняя кульминация этих звезд происходит ровно в истинную полночь (и, следовательно, условия их наблюдения являются наилучшими)?
- (2)** Белорусские города Хотимск и Гродно имеют примерно одинаковую широту  $52,5^\circ$ , а их долготы, соответственно, равны  $32^\circ 34'$  и  $23^\circ 50'$ . На сколько минут Солнце в Хотимске восходит раньше, чем в Гродно?
- (3)** Этим летом жители Земли могли наблюдать особенно яркий Марс – именно в это время происходило Великое противостояние Марса. Считая орбиту Земли круговой, определите, во сколько раз отличаются угловые размеры Марса в момент Великого и «антивеликого» (когда Марс находится в афелии) противостояний.
- (4)** Как известно, 27 июля 2018 года произошло самое длительное в XXI веке полное затмение Луны. А какой может быть максимально возможная продолжительность лунного затмения? Диаметр тени Земли на расстоянии лунной орбиты составляет 9500 км, орбиту Луны считайте круговой.
- (5)** Космическая миссия «Новые горизонты», запущенная в 2005 году, преодолела расстояние до лунной орбиты за 9 часов. Американские астронавты затрачивали на путешествие к Луне куда больше времени, так как им было необходимо иметь небольшую скорость относительно нашего спутника.
- а) Определите время полета с Земли на Луну корабля по гомановской траектории. За перигейное расстояние возьмите радиус Земли, лунную орбиту считайте круговой.
- б) С какой скоростью относительно Луны будет двигаться такой космический аппарат в момент сближения? Гравитацией Луны пренебречь.
- в) Куда направлялся аппарат «Новые горизонты» и каково современное положение дел миссии?

## СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ

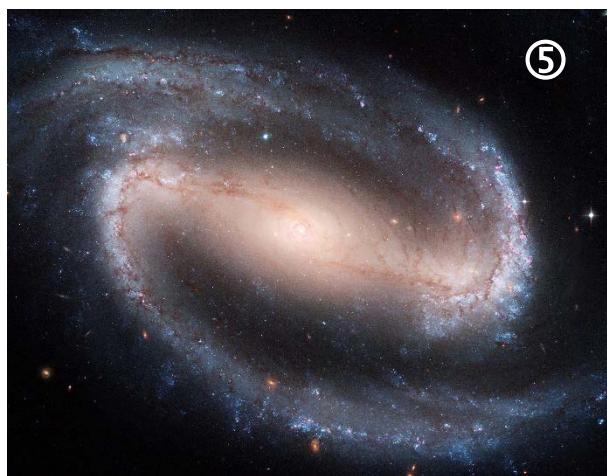
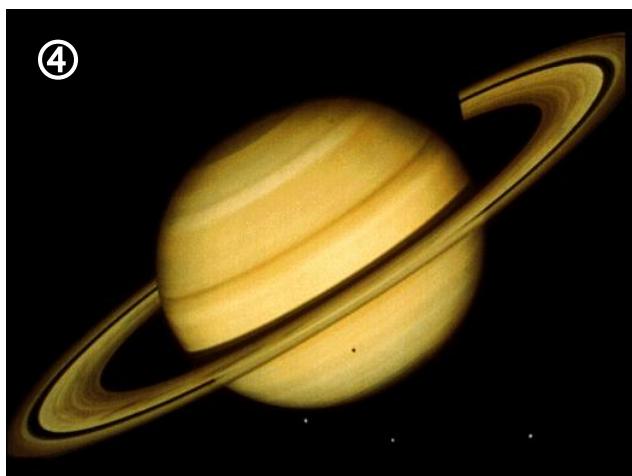
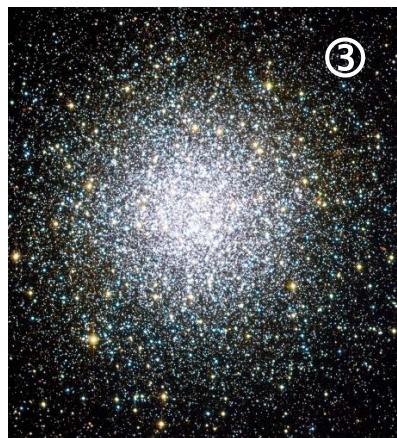
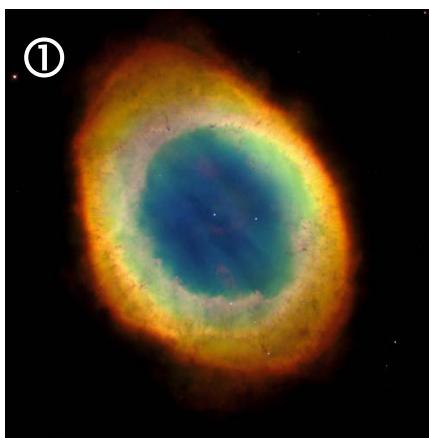
Большая полуось орбиты Марса	1,524 а.е.	Радиус Луны	1738 км
Эксцентриситет орбиты Марса	0,0934	Радиус Земли	6371 км
Большая полуось орбиты Луны	384 400 км	Масса Земли	$5,97 \cdot 10^{24}$ кг
Сидерический период Луны	27,3 суток	Постоянная всемирного тяготения	$6,67 \cdot 10^{-11}$ Н·м <sup>2</sup> ·кг <sup>-2</sup>

### ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

- ⑥ Какие созвездия изображены на картах ниже? Напишите название самой яркой звезды для каждого из них.



- ⑦ а) Расположите объекты на фотографиях ниже в порядке возрастания расстояния от них.  
б) Расположите их в порядке увеличения линейных размеров.



## ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

**(1) (4 балла)** Чтобы звезду можно было наблюдать, она должна показаться над горизонтом хотя бы в момент верхней кульминации. Определим для каждой звезды диапазон широт, где будет выполняться условие  $h_{BK} > 0$ . Капелла – звезда северного полушария неба, поэтому граница ее видимости будет расположена в южном полушарии Земли, а сама звезда, следовательно, будет кульминировать на севере. С Ригелем будет наоборот – для него необходимо рассматривать кульминацию к югу от зенита.

$$\begin{cases} 90^\circ - \varphi_1 + \delta_P > 0 \\ 90^\circ + \varphi_2 - \delta_K > 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \varphi < 81^\circ 48' \\ \varphi > -44^\circ \end{cases}$$

Таким образом, получаем диапазон широт от  $44^\circ$  ю.ш. до  $81^\circ 48'$  с.ш.

Если верхняя кульминация звезд происходит в истинную полночь (т.е. в момент нижней кульминации Солнца), то прямое восхождение Солнца и Ригеля будет отличаться на  $12^h$  и составит примерно  $17^h 15^m$ . Мы знаем, что  $\alpha_\odot = 18^h$  в день зимнего солнцестояния, следовательно, рассматриваемая ситуация происходит еще до солнцестояния. За месяц прямое восхождение Солнца изменяется в среднем на 2 часа, значит, условие задачи может реализоваться в декабре.

**(2) (4 балла)** Рассмотрим пропорцию:

$$\frac{\Delta\lambda}{360^\circ} = \frac{\Delta t}{24^h},$$

где  $\Delta t$  – это и есть искомый промежуток времени. Подставляя численные значения, получаем  $\Delta t = 34,9$  мин.

**(3) (4 балла)** Угловой диаметр тела  $d$  связан с его линейным диаметром  $D$  и расстоянием до него  $r$  следующим соотношением:  $d = D/r$ . Тогда отношение угловых размеров Марса будет составлять

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{r_2}{r_1} = \frac{a_M(1+e) - a_\oplus}{a_M(1-e) - a_\oplus} = 1,75.$$

**(4) (6 баллов)** Самое продолжительное лунное затмение – центральное, когда центр лунного диска проходит через центр земной тени. За время полной фазы наш спутник пройдет относительно тени расстояние, равное разности диаметров тени и Луны:  $l = 9500$  км –  $2 \cdot 1737$  км = 6026 км.

Определим теперь скорость Луны относительно тени. Орбитальную скорость Луны можно найти, разделив длину орбиты на период обращения:  $v_L = 2\pi a_L/T_L = 1,02$  км/с. Однако не стоит просто делить путь  $l$  на эту скорость, так как помимо Луны по орбите медленно перемещается и сама земная тень, делая полный оборот за год. Найдем линейную скорость тени на расстоянии лунной орбиты:  $v_T = 2\pi a_L/T_\oplus = 0,077$  км/с.

Тогда продолжительность затмения составит

$$t = \frac{l}{v_L - v_T} = 6390^s = 1^h 47^m.$$

**(5) (6 баллов)** а) Зная, что перигейное расстояние орбиты равно радиусу Земли, афелийное – радиусу лунной орбиты, определим большую полуось траектории полета:

$$a = \frac{r_p + r_a}{2} = 195\,400 \text{ км.}$$

Из третьего закона Кеплера, обобщенного Ньютона, определим период обращения по такой орбите:

$$T = \sqrt{\frac{4\pi^2 a^3}{GM_{\oplus}}} = 860\,000^s.$$

Нас же интересует только дорога до Луны, т.е. половина этого периода:  $\frac{T}{2} = 430\,000^s = 4^d 23^h$ .

б) Найдем скорость корабля в апогее:

$$v_A = \sqrt{GM_3 \left( \frac{2}{r_A} - \frac{1}{a} \right)} = 180 \text{ м/с.}$$

Луна будет догонять корабль с геоцентрической скоростью 1,02 км/с (см. предыдущую задачу). Следовательно скорость аппарата относительно Луны составит  $1020 \text{ м/с} - 180 \text{ м/с} = 840 \text{ м/с}$ .

в) Аппарат «Новые горизонты» отправлялся, в первую очередь, к Плутону и его спутникам. Успешный пролет мимо системы Плутона состоялся летом 2015 года, после чего корабль был направлен к одному из объектов пояса Койпера (2014 MU<sub>69</sub>), которого планирует достичь 1 января 2019 года.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

**⑥ (4 балла)** На картах изображены Телец (слева) и Орион (справа). Самые яркие звезды в них, соответственно, Альдебаран и Ригель (именно Ригель, не Бетельгейзе, если говорить о визуальной видимой величине).

**⑦ (6 баллов)**

- 1 – Туманность Кольцо
- 2 – Солнце в ультрафиолетовом диапазоне
- 3 – Шаровое звездное скопление M55
- 4 – Планета Сатурн
- 5 – спиральная галактика

- a) 4 – 2 – 1 – 3 – 5  
 б) 4 – 2 – 1 – 3 – 5 (точно такой же порядок, как и в предыдущем пункте)