

## Задачи №1

**1.1 Вопрос.** Какие планеты-гиганты Солнечной системы имеют кольца (варианты – Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун).

**1.1 Ответ.** В телескоп с Земли кольца напрямую можно увидеть только у Сатурна. Однако еще до миссии «Вояджера-2» с Земли были открыты кольца Урана – они вызвали кратковременное потускнение звезды, располагавшейся в тот момент позади Урана на небе. Космические аппараты, пролетевшие вблизи планет-гигантов, подтвердили существование колец у Урана, а также открыли их у Юпитера и Нептуна. Наличие колец – общее свойство планет-гигантов. Правильный ответ – все 4 планеты, Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун.

**1.2 Вопрос.** В каком из перечисленных мест Солнце могло бы дольше всего непрерывно находиться над горизонтом, если бы на Земле не было облаков? Считать, что Солнце светит, если над горизонтом видна хотя бы его часть, рельеф Земли не учитывать.

**1.2 Ответ.** Поскольку ось собственного вращения Земли наклонена относительно оси вращения вокруг Солнца, в течение половины года один из полюсов всегда в некоторой мере «повёрнут» к солнцу, из-за чего там наблюдается день независимо от поворота Земли относительно собственной оси (т.е. независимо от времени суток). Следующие полгода на этом полюсе, наоборот, наблюдается ночь, а на противоположном – день. По мере удаления от полюсов эффект ослабевает. Таким образом, среди данных вариантов именно северный полюс и является правильным ответом на вопрос.

**1.3 Вопрос.** Самое яркое светило нашего неба – Солнце, на втором месте – Луна, а на третьем – эта планета (варианты – Меркурий, Венера, Марс, Юпитер).

**1.3 Ответ.** Самой яркой планетой на нашем небе является Венера. Хотя она меньше Юпитера по размерам, она располагается ближе к Солнцу, получает от него много света и хорошо отражает его за счет своей облачной атмосферы. В хорошую погоду, если Венера располагается вблизи своего максимального удаления на небе от Солнца на небе ( $46-47^\circ$ ), она может быть легко видна на небе днем. Именно она занимает третье место по видимой яркости среди небесных объектов.

**1.4 Вопрос.** 12 апреля 1961 года состоялся первый визит человека в космос: Юрий Гагарин совершил полёт длительностью 1 час 48 минут, в ходе которого он обогнул Землю, достигнув высоты в 327 км. Чтобы этот полёт смог состояться, до него в космос отправлялись различные другие живые существа. Каким было живое существо, которому первым удалось побывать в космосе и успешно вернуться на Землю? (Варианты: собака, макака, крыса, муха-дрозофил)

**1.4 Ответ.** Первым вернулись из космоса мухи-дрозофилы на ракете ФАУ-2, запущенной США в 1947 году. Ракета тогда поднялась на высоту свыше 100 км, что сейчас считается границей, с которой начинается космос. Собаки отправились в космос далеко не первыми.

**1.5 Вопрос.** Из всех звезд земного неба Полярная звезда по своей видимой яркости занимает именно это место (варианты – 1, 2, 22, 48).

**1.5 Ответ.** Полярная звезда – одна из самых известных звезд на небе. Но это связано не с ее яркостью, а с близостью на небе к Северному полюсу мира. Благодаря этому Полярная звезда является самым простым ориентиром на небе, всегда показывающим направление на север с хорошей точностью. Из-за своей известности Полярная звезда часто по ошибке считается людьми одной из самых ярких или вообще самой яркой звездой на небе. В реальности, ярчайшая звезда неба – Солнце, ярчайшая звезда ночного неба – Сириус. Полярная звезда занимает лишь 48-е место в списке ярчайших звезд неба.

## Задачи №2

**2.1 Вопрос.** Вы видите высоко в небе четыре яркие звезды: белую, жёлтую, красную и голубую. Какая из них самая горячая, а какая – самая холодная? Покраснение звёзд из-за поглощения света межзвёздной пылью не учитывать.

**2.1 Ответ.** Видимый цвет звезды отражает распределение энергии ее излучения в спектре по длинам волн. Чем выше температура – тем на более короткие длины волн приходится максимум ее излучения. Самые горячие звезды выглядят голубыми, так как именно синие лучи имеют самую короткую длину волны в видимом диапазоне спектра. Более холодные звезды имеют максимум излучения в зеленой области, но за счет ширины своего спектрального диапазона излучения выглядят для наших глаз белыми. Еще более холодные звезды выглядят желтыми и, наконец, красными. Итак, самая горячая звезда – голубая, самая холодная – красная.

**2.2 Вопрос.** Отметьте все небесные тела, которые при наблюдении с Земли глазом или в телескоп могут выглядеть как тонкий серпик (дать варианты – Луна, Меркурий, Венера, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун).

**2.2 Ответ.** Планеты или их спутники сами не излучают свет, а лишь отражают излучение Солнца. Смена их фаз происходит из-за того, что не все полушарие небесного тела, обращенное к Земле, освещено в этот момент Солнцем. Фаза тонкого серпа наблюдается в том случае, если объект находится почти на линии между Солнцем и Землей и обращен к нам ночным полушарием. Такая ситуация может иметь место для Луны и двух внутренних планет, расположенных ближе к Солнцу, чем Земля – Меркурия и Венеры. Итак, правильный ответ: Луна, Меркурий, Венера.

**2.3 Вопрос.** Совпадение полнолуния с прохождением Луной ближайшей точки к Земле в СМИ часто называют «суперлунием». Насколько в это время видимый с Земли радиус Луны больше среднего? (варианты – 8%, 12%, 25%, 50%).

**2.3 Ответ.** Эксцентриситет орбиты Луны в среднем составляет 0.055, при этом он меняется. В ситуации, когда полнолуние совпадает с перигеем, он может возрасти до максимального значения около 0.08. Это означает, что в таком перигее Луна будет на 8% ближе к Земле по сравнению со своим средним расстоянием. Именно настолько ее видимый радиус превышает средние значения. Все остальные цифры, часто публикуемые в СМИ – вплоть до 50% – не соответствуют действительности. При этом нужно отметить, что полная Луна на восходе кажется большой (даже не в перигее) из-за физиологических свойств зрения человека, вследствие чего люди часто верят сообщениям о «суперлунии» фантастических масштабов. Правильный ответ – 8%. Вариант 12% является неверным, на 12% видимый радиус Луны больше не среднего, а **наименьшего**.

**2.4 Вопрос.** Земля в ходе своего движения вокруг Солнца оказывается ближе всего к нему около этого праздника (варианты – Новый Год, Международный женский день, День России, День Знаний, Расстояние от Земли до Солнца не меняется).

**2.4 Ответ.** Орбита Земли не является в точности круговой, она эллиптическая. Делая оборот вокруг Солнца за год, Земля оказывается в перигелии (ближайшей к Солнцу точке) 3-4 января, вблизи Нового года. Это мало влияет на климатические сезоны, так как отличие орбиты от круговой мало. В северном полушарии Земли все равно зима, так как Солнце поднимается на меньшую высоту над горизонтом, а в южном полушарии – лето, которое чуть жарче северного лета через полгода.

**2.5 Вопрос.** Какие два зодиакальных созвездия видны выше всего в середине самой длинной зимней ночи в декабре в северном полушарии (дать на выбор – Рыбы, Овен, Телец, Близнецы, Рак, Лев, Дева, Весы, Скорпион, Стрелец, Козерог, Водолей).

**2.5 Ответ.** В середине ночи в зимнее солнцестояние выше всего располагается область эклиптики около точки летнего солнцестояния, в которой Солнце оказывается 21 июня. Казалось бы, в это время оно переходит из «знака» Близнецов в «знак» Рака. Но нужно вспомнить, что «знаки», придуманные астрологами, не совпадают в точности с созвездиями и были придуманы в глубокой древности, когда положение точки летнего солнцестояния было иным. Сейчас она находится на границе созвездий Тельца и Близнецов. Именно эти созвездия и видны выше других зодиакальных в середине зимней ночи.

Правильным считается ответ с верным указанием обоих созвездий.

### Задачи №3

**3.1 Вопрос.** Расстояние до Сверхновой звезды, вспышку которой заметили в созвездии Тельца в 1054 году и которая породила знаменитую Крабовидную туманность, составляет 2.2 килопарсека. За сколько лет до этого произошла сама вспышка?

**3.1 Ответ.** Как известно, 1 парсек – это расстояние, с которого орбита Земли видна под углом 1". Он составляет 3.26 световых года. Таким образом, расстояние до Сверхновой звезды есть  $2.2 \cdot 3.26 \approx 7.17$  тысячи световых лет. Свет от Сверхновой летел к нам 7170 лет, то есть вспышка произошла около 6100 года до нашей эры.

Правильным считается ответ от 7100 до 7300 лет.

**3.2 Вопрос.** Знаменитая галактика Андромеды удалена от нас на 700 кпк и выглядит в нашем небе как вытянутое туманное пятно с большим диаметром  $3^\circ$ . Каков радиус этой галактики в световых годах?

**3.2 Ответ.** Угловой радиус галактики Андромеды  $\rho$  составляет  $1.5^\circ$ . Мы можем определить ее пространственный радиус:

$$R = L \sin \rho = 18.3 \text{ кпк.}$$

Учитывая, что в одном парсеке 3.26 световых года, радиус галактики Андромеды равен 60000 световых лет.

Правильным считается ответ от 55000 до 65000 световых лет.

**3.3 Вопрос.** Известно, что Солнце движется вокруг центра Галактики на расстоянии 8.1 кпк от него. На один оборот Солнце тратит около 240 миллионов лет. Найдите скорость движения Солнца. Ответ приведите в км/с.

**3.3 Ответ.** 8100 парсек – это 26.4 тысяч световых лет или  $2.5 \cdot 10^{17}$  км. Длина круговой орбиты в  $2\pi$  раз больше,  $1.57 \cdot 10^{18}$  км. В одном году содержится  $3.15 \cdot 10^7$  секунд, а в 240 миллионах лет –  $7.6 \cdot 10^{15}$  секунд. В получим, что скорость Солнца равна 207 км/с.

Правильным считается ответ от 180 до 220 км/с.

**3.4 Вопрос.** Звезда находится на расстоянии 3 пк от Солнца и движется в небе Земли с угловой скоростью (собственным движением)  $0.28''/\text{год}$ . Найти, какое расстояние в километрах пройдет звезда за год, считая направление её скорости перпендикулярным линии от Солнца к звезде. Выразите в миллионах километров, округлите до целого.

**3.4 Ответ.** Угловой радиус расстояния, пройденного звездой за год, равняется  $0.28''$ . Мы можем определить его линейное значение:

$$R = L \sin 0,28'' \approx 4 * 10^{-6} \text{ пк} \approx 125 * 10^6 \text{ км}$$

Правильным считается ответ от 120 до 130 млн км.

**3.5 Вопрос.** Шаровое звездное скопление имеет угловой диаметр в небе Земли  $0.5^\circ$ , удалено от нас на 7 килопарсек и состоит из 300000 звезд. Определите концентрацию звезд в скоплении (в единицах на кубический парсек).

**3.5 Ответ.** Угловой радиус скопления в небе Земли равен  $0.25^\circ$ , его пространственный радиус  $R$ , выраженный в парсеках, составляет  $7000 \cdot \sin 0.25^\circ = 30.5$  пк. Объем скопления равен  $120\,000 \text{ пк}^3$ . Средняя концентрация звезд там составляет 2.5 звезды на кубический парсек.

Правильным ответом считается от 2.0 до 3.0 звезд на кубический парсек (в том числе, округленные ответы 2 или 3 звезды на кубический парсек).

#### Задачи №4

**4.1 Вопрос.** Космический аппарат движется вокруг Солнца по круговой орбите, и его скорость вдвое больше скорости Земли. Найдите радиус орбиты аппарата в млн км.

**4.1 Ответ.** Скорость движения по круговой орбите вокруг тела с массой  $M$  выражается формулой

$$v = \sqrt{\frac{GM}{R}},$$

где  $R$  – радиус орбиты. Коль скоро скорость движения аппарата вдвое больше, чем у Земли, мы делаем вывод, что аппарат находится в четыре раза ближе к Солнцу, чем Земля. Таким образом, его расстояние от Солнца есть 0.25 а.е. или 37.5 млн км. Правильным ответом считается значение от 37 до 38 млн км.

**4.2 Вопрос.** Радиус геостационарной круговой орбиты (на которой спутник Земли совершает ровно один оборот за сутки) составляет 42.2 тысячи км. Какой радиус должна иметь круговая орбита спутника, чтобы за сутки он делал три оборота? Ответ приведите в тысячах километров, округлив до десятых.

**4.2 Ответ.** В соответствии с III законом Кеплера, при обращении вокруг одного и того же массивного тела по круговой орбите квадраты периода обращения соотносятся как кубы радиусов орбит. Таким образом, чтобы уменьшить период втрое, радиус орбиты должен стать меньше в  $3^{2/3} = 2.08$  раза и стать равным 20.3 тысячи км.

Правильным считается ответ от 20 до 20.6 тыс. км.

**4.3 Вопрос.** Комета вращается вокруг Солнца по орбите радиусом 1/10 светового года. Чему равен период её обращения? Ответ приведите в тысячах лет, округлив до целого.

**4.3 Ответ.** Задачу проще всего решить, переведя радиус из световых лет в астрономические единицы – среднее расстояние от Земли до Солнца. Световой год можно определить, умножив скорость света на длительность года, он равен  $9.47 \cdot 10^{15}$  м. Астрономическая единица равна  $1.5 \cdot 10^{11}$  м. Таким образом, световой год равен 63300 астрономических единиц, а радиус орбиты кометного тела – 6330 астрономических единиц. По III закону Кеплера, квадраты периодов обращения тел вокруг Солнца относятся как кубы радиусов их орбит. Сравнивая кометное тело с Землей, определяем период его обращения в годах:

$$6330^{3/2} \approx 500000.$$

Правильным считается ответ от 450000 до 550000 лет.

**4.4 Вопрос.** Сатурн обращается вокруг Солнца с периодом 29.5 лет. Сколько времени будет лететь световой сигнал от Сатурна к Земле (в секундах), если они находятся по одну сторону от Солнца?

**4.4 Ответ.** Для решения мы можем воспользоваться III законом Кеплера, в соответствии с которым квадраты периодов обращения планет вокруг Солнца относятся как кубы радиусов их орбит. Выражая радиус орбиты Сатурна в астрономических единицах (расстояниях от Земли до Солнца, 150 млн км), получаем  $29.5^{2/3} = 9.5$ . Если Сатурн находится с той же стороны от Солнца, что и Земля, то расстояние между ними будет равно 8.5 а.е. или 1.275 млрд км. Двигаясь со скоростью 300 000 км/с, свет преодолет это расстояние за 4250 секунд – чуть более часа.

Правильным считается ответ от 4150 до 4300 секунд.

**4.5 Вопрос.** Искусственный спутник Земли пролетает через зенит и виден в телескоп, имея угловой размер ровно 1". Его реальный размер равен 2 метрам. Найдите скорость движения спутника вокруг Земли по круговой орбите, выразив его в км/с.

**4.5 Ответ.** Угол в 1" соответствует  $(1/206265)$  радиан. То есть, спутник в 206265 раз меньше расстояния до него в этот момент. Так как спутник находится в зените, мы можем определить его высоту, она равна примерно 410 км. Радиус орбиты спутника  $R$  мы получаем, складывая его высоту с радиусом Земли: 6780 км. Теперь мы можем определить скорость аппарата

$$v = \sqrt{\frac{GM}{R}} = 7.67 \text{ км/с}$$

Правильным считается ответ от 7.5 до 8 км/с.

## Задачи №5

**5.1 Вопрос.** Серебристые облака появляются в конце июня – начале июля на высоте 82 км над частью поверхности Земли с широтами севернее  $50^\circ$ . Чему равна ширина диапазона широт, в котором их можно видеть хоть где-нибудь на небе в эти дни, если они становятся заметными, когда Солнце погружается под горизонт на  $5^\circ$ ? В ответе указать разность между крайней северной и крайней южной широтами, на которых серебристые облака ещё видно.

**5.1 Ответ.** Южная граница видимости серебристых облаков определяется их появлением над северным горизонтом. Минимальная широта точки, над которой появляются облака, равна  $50^\circ$ . Чтобы они были видны над горизонтом, точка наблюдения на Земле должна быть удалена на угол, не больший

$$\alpha = \arccos \frac{R}{R + H} = 9^\circ.$$



Здесь  $R$  – радиус Земли,  $H$  – высота облаков. Таким образом, южной границей наблюдения серебристых облаков оказывается широта  $41^\circ$ . Северная граница определяется видимостью облаков на светлом небе. Вблизи летнего солнцестояния Солнце опускается в полночь на  $5^\circ$  под горизонт на широтах, на  $5^\circ$  южнее северного полярного круга, то есть южнее широты  $61.5^\circ$ . Эта широта является северной границей зоны видимости облаков вблизи летнего солнцестояния.

Правильными считаются ответы от  $40^\circ$  до  $42^\circ$  (южная граница) и от  $61^\circ$  до  $62^\circ$  (северная граница), а, значит, ширина диапазона – от  $19^\circ$  до  $22^\circ$ .

**5.2 Вопрос.** Предположим, что в Санкт-Петербурге ( $59^\circ 55'$  широты,  $30^\circ 20'$  долготы) и Москве ( $55^\circ 45'$  широты,  $37^\circ 37'$  долготы) взошла над горизонтом одна и та же удалённая звезда, причём произошло это одновременно. Чему равна разница времён захода этой звезды в Санкт-Петербурге и Москве? Введите ответ со знаком «+», если звезда зайдет позже в Санкт-Петербурге и со знаком «-», если она позже зайдет в Москве.

**5.2 Ответ.** Санкт-Петербург располагается западнее Москвы. Разница долгот составляет  $7^\circ 17'$ . Переведем эту величину в часовую меру ( $360^\circ$  соответствует 24 часам,  $15^\circ$  – 1 часу), мы

получаем 29 минут. Верхняя кульминация (наивысшее положение над горизонтом) в Петербурге наступит на 29 минут позже, чем в Москве. Промежуток времени между восходом и кульминацией звезды в одном пункте равен промежутку между кульминацией и заходом. Коль скоро звезда взойшла в Москве и Петербурге одновременно, в Петербурге она зайдет позже на 58 минут. Итак, ответ: +58 минут.

*Примечание: в условии на сайте была допущена опечатка, широта Москвы была указана как 54°45'. Корректная широта - 55°45'.*

Правильным считается ответ от +56 до +60 минут.

**5.3 Вопрос.** Международная космическая станция имеет стационарную орбиту высотой 420 км с наклоном 51.6°. На каких широтах получится наблюдать её с Земли? Ответ привести в градусах, влияние рефракции и атмосферные помехи не учитывать.

**5.3 Ответ.** Орбита МКС наклонена к плоскости экватора на 51.6°. Это значит, что половина орбиты находится севернее экватора, а половина – южнее. Максимальный модуль широты точки, над которой может находиться станция, составляет 51.6°. Определим, насколько далеко от точки Земли непосредственно под станцией она вообще может быть видна. Как видно по рисунку, максимальный угол в центре Земли между направлениями на станцию и наблюдателя может быть равен

$$\alpha = \arccos \frac{R}{R + H} = 20.3^\circ.$$



Здесь  $R$  – радиус Земли,  $H$  – высота станции. Таким образом, при благоприятном расположении станцию можно увидеть на южном горизонте с широты 71.9°, и это есть максимальная широта. Минимальная широта соответствует наблюдению на северном горизонте из южного полушария: -71.9°.

Ответ считается правильным, если минимальная и максимальная широты строго равны друг другу по модулю и отличаются знаком, при этом их модуль может лежать в интервале от  $71.5^\circ$  до  $72.5^\circ$ .

**5.4 Вопрос.** Из статьи в Дзене Миша узнал, что если проехать 100 км на север, потом 100 км на запад, далее на 100 км на юг и 100 км на восток, не всегда окажешься там, откуда начинал свой путь. Миша живет в Москве (широта  $+56^\circ$ ). На каком расстоянии от точки начала путешествия он окажется, если повторит маршрут из статьи?

**5.4 Ответ.** Изначально вы находились на широте Москвы  $\varphi$ , но после перемещения на 100 км на север вы оказались на широте  $\varphi + \Delta\varphi$ . Изменение широты в градусной мере составляет

$$\Delta\varphi = (180^\circ/\pi) \cdot (l/R) \approx 0.9^\circ.$$

Здесь  $l$  – перемещение,  $R$  – радиус Земли. Получается, что на запад вы перемещаетесь по параллели  $56.9^\circ$ , у которой длина дуги, соответствующей разнице долгот в  $1^\circ$ , меньше, чем у параллели Москвы, на которую вы вернетесь, прежде чем переместиться на восток. Изменение долготы при перемещении на расстояние  $l$  на широте  $\varphi$ , есть

$$\Delta\lambda = (180^\circ/\pi) \cdot l / (R \cos \varphi)$$

Мы перемещаемся на запад на широте  $\varphi + \Delta\varphi$ , и в этом случае изменение долготы отрицательно. На восток мы перемещаемся на широте  $\varphi$ , и увеличение долготы положительно. Итоговое изменение долготы за все путешествие есть

$$\Delta\lambda = \frac{180^\circ \cdot l}{\pi \cdot R} \cdot \left( \frac{1}{\cos\varphi} - \frac{1}{\cos(\varphi + \Delta\varphi)} \right) \approx -0.0385^\circ.$$

Завершив путешествие, мы окажемся западнее точки старта на  $0.0385^\circ$  по долготу. На широте  $\varphi$  это соответствует расстоянию

$$d = \Delta\lambda \cdot R \cdot \cos\varphi \frac{\pi}{180^\circ} = l \cdot \left( 1 - \frac{\cos\varphi}{\cos(\varphi + \Delta\varphi)} \right) \approx -2.4 \text{ км.}$$

Правильным считается ответ от 2 до 3 км на запад от точки выезда.