Всероссийская олимпиада школьников по астрономии 2026-2027 уч. год
Муниципальный этап
11 класс

Время выполнения –
3 астрономических часа

1. Первый космонавт Юрий Алексеевич Гагарин совершил на космическом корабле «Восток-1» один оборот вокруг Земли за 108 минут. Международная космическая станция совершает примерно 16 оборотов вокруг Земли за сутки. Поднялся ли Гагарин выше орбиты МКС. На сколько км выше или ниже МКС пролетел корабль «Восток-1»? Орбиты считать круговыми.

Решение:

Высота орбиты связана со скоростью полёта: чем выше орбита, тем ниже скорость. Выясним, кто из них летел с меньшей скоростью, для этого вычислим время, которое на один виток вокруг Земли тратит МКС: T=t/N = 1440 мин/16 оборотов = 90 мин. Юрий Гагарин летел на корабле «Восток-1» с меньшей скоростью, значит, орбита полёта была выше.

Определим орбиты. Т.к. орбиты можно считать круговыми, то скорость объекта на орбите можно определить по формуле $v = \frac{2\pi R}{T}$ или $v = \sqrt{\frac{G\,M_З}{R}}$ тогда $R = \sqrt[3]{\frac{GMT^2}{4\pi^2}}$. Подставив значения, получим

$R_{Восток\text{-}1} \approx 7500$ км, $R_{МКС} \approx 6600$ км. Тогда корабль Гагарина поднялся выше МКС на $\Delta R = 7500 - 6600 = 900$ км.

Критерии:

Определение периода обращения МКС – 1 балл.

Вывод о том, что высота орбиты связана со скоростью и орбита корабля «Восток-1» выше – 2 балла.

Определение радиусов орбит МКС и корабля «Восток-1» (допускается определение высоты над уровнем Земли) – по 2 балла за каждый.

Определение разницы высот – 1 балл.

2. Исследовательский космический аппарат, пересекая орбиту астероида, имеющего период обращения вокруг Солнца ровно 20 лет, отправил сигнал наземному радиотелескопу слежения. Скорость аппарата относительно Солнца в этот момент была равна 12 км/с, а Земля наблюдалась со станции в наибольшей элонгации. Считая орбиты Земли и астероида круговыми, определите:

1.В какой конфигурации будет наблюдаться исследовательский аппарат с Земли? Ответ подтвердите построением.

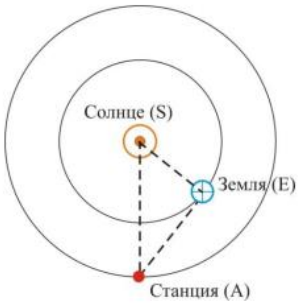
2.Чему равен радиус орбиты астероида (ответ укажите в а.е.)?

3.Чему равно расстояние от станции до Земли (ответ укажите в а.е.)?

4.Сколько времени будет идти сигнал (ответ укажите в часах и округлите до сотых)?

Решение:

1. Квадратура (Земля в вершине прямого угла!). Построение см. на рис.



2. Вычислим радиус орбиты астероида.

В соответствии с 3-м законом Кеплера, $a = \sqrt[3]{T^2} = \sqrt[3]{20^2} \approx 7,37$ а. е.

3. По условию Земля находится в наибольшей элонгации. Значит, угол SEA – прямой. Сторона SA = $7,37$ а.е. сторона SE = 1 а.е. Отсюда по теореме Пифагора расстояние Земля-аппарат равно $\sqrt{7,37^2 - 1^2} = 7.3$ а.е.

4. Расстояние в 7,3 а.е. радиоволны пройдут за время t =$7,3 \frac{150000000}{300000} = 3650$ с ≈ 1,01 ч.

Критерии:

Названа конфигурация (1 балл), сделан рисунок (1 балл).

Найден радиус орбиты астероида – 2 балла.

Определено расстояние между Землёй и станцией – 2 балла.

Посчитано время прохождения сигнала – 2 балла.

3. Какой нужен телескоп (рефлектор или рефрактор), чтобы в него непосредственно увидеть истинный диск Плутона (выбор пояснить), угловой диаметр которого 0,1", если предельное угловое разрешение телескопа δ, определяемое размером дифракционного диска звезда и не зависящее от окуляра, составляет, где D – диаметр объектива телескопа в сантиметрах? Почему данного диаметра может быть недостаточно?

$$\delta = 1.22\frac{\lambda}{D}\,рад = \frac{14''}{D\,(см)}.$$

Решение:

Из формулы находим диаметр объектива D = 140 см. Наблюдение слабых объектов в телескоп связано с атмосферными искажениями и оптическими аберрациями. При большом увеличении изображение превращается в мутный диск. Телескопы-рефракторы (школьные телескопы) не пригодны для таких наблюдений, т.к. большее число линз даёт больше искажений. Следовательно, для данного наблюдения нужен телескоп –

рефлектор (в его основе параболическое зеркало, которое почти не даёт искажений) с диаметром объектива более 140 см.

Критерии:

Определение диаметра – 4 балла.

Обоснованный выбор телескопа-рефлектора – 2 балла.

Упоминание искажений (или аберраций) при наблюдении в телескоп из-за которых приходится увеличивать диаметр объектива – 2 балла.

4. Определите расстояние до звезды Денеб в световых годах, если видимая звездная величина звезды $+1{,}3^m$, а абсолютная звездная величина $-7{,}4^m$.

Решение:

$M = m + 5 - 5 \lg r$;

Выполним преобразования: $\lg r = (m + 5 - M) / 5$,

Тогда $r = 10^{(m+5-M)/5} = 10^{(1{,}3+5+7{,}4)/5} = 10^{2{,}74} = 550$ пк.

Т.к. 1 пк ≈ 3,26 св. года, то расстояние до Денеба ≈ 1800 св. лет.

Критерии:

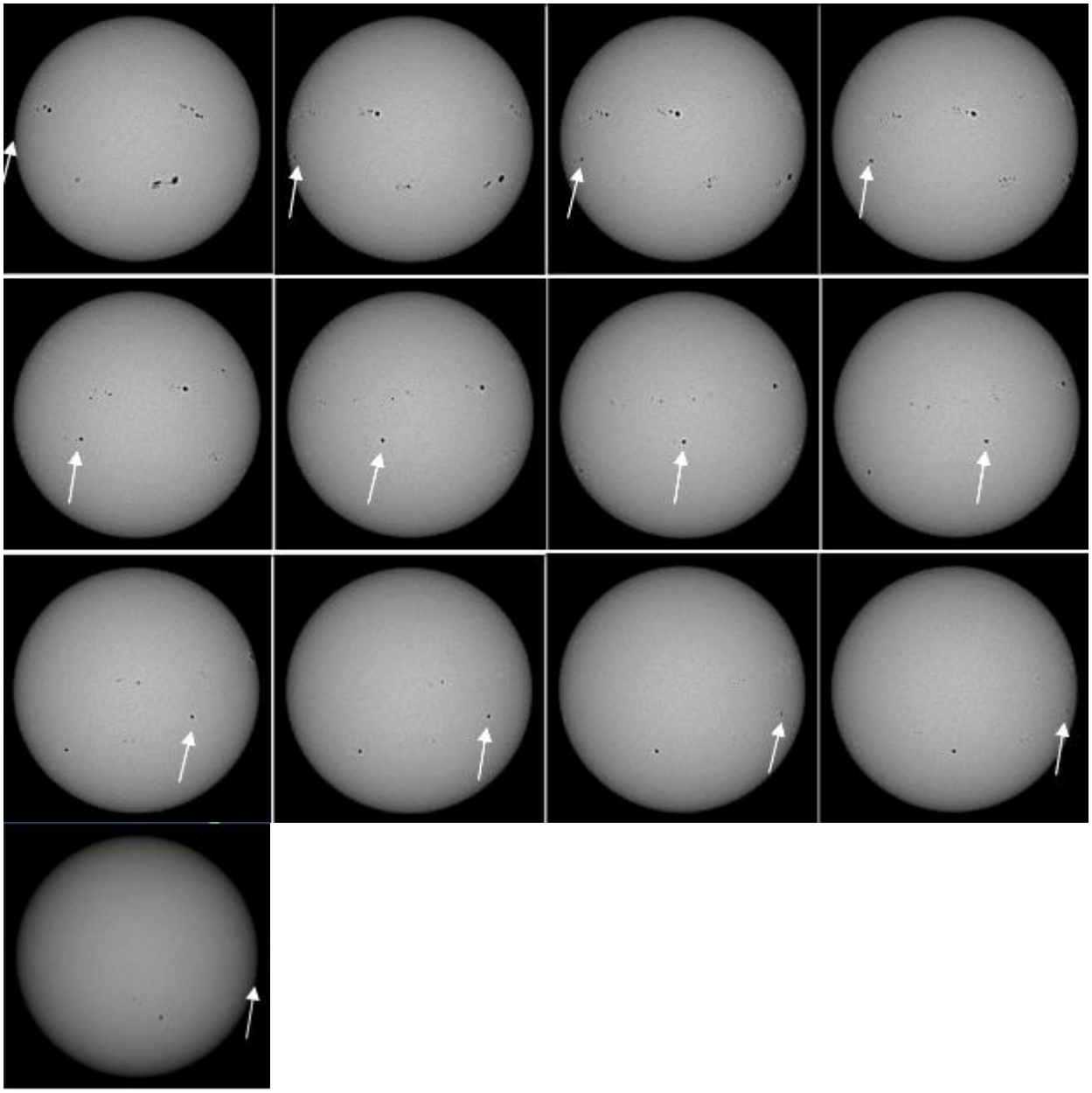
Связь абсолютной и видимой звёздных величин (формула) – 2 балла.

Сделаны преобразования по нахождению расстояния в парсеках – 2 балла.

Правильно найдено расстояние – 2 балла.

Переведено в св. года – 2 балла.

5. По фотографиям фотосферы Солнца, полученным 14-26 июля 2022 в одно и то же время суток (23:52) инструментом HMI на борту спутника SDO, проследите за перемещением группы пятен или пятна (белой стрелкой обозначены на каждом рисунке). Определите период вращения (в сутках) и скорость движения точки на поверхности Солнца вблизи экватора (в км/с), считая, что солнечные пятна неподвижны относительно поверхности Солнца.



Решение:

По фото: с 14.07 по 20.07 пятно вблизи экватора переместилось на четверть окружности (т. е. 4⋅6 суток = 24 суток), а примерно с 14.07 по 26.07 — на половину длины экватора (т. е. 2⋅12 суток=24 суток).

$l = 2 \cdot \pi \cdot r$, где r - радиус Солнца

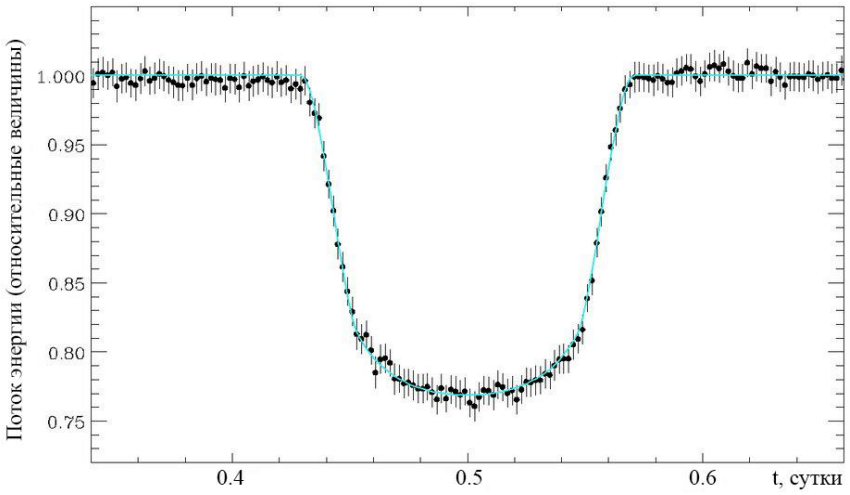
$$V = \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{T} = \frac{2 \cdot 3{,}14 \cdot 697000\text{км}}{24\text{сут}} \approx 182000 \frac{\text{км}}{\text{сут}} \approx 2{,}1 \frac{\text{км}}{\text{с}}$$

Критерии оценивания

Определение периода вращения (в сутках!) − 4 балла.

Нахождение скорости движения точки на поверхности Солнца вблизи экватора (в км/с!) − 4 балла.

6. При наблюдениях планетных систем у других звёзд (такие планеты называют экзопланетами) в некоторых случаях можно видеть прохождение экзопланеты по диску звезды. При этом экзопланета закрывает для земного наблюдателя часть диска звезды, что приводит к падению её блеска. На рисунке представлена кривая блеска, зарегистрированная во время прохождения экзопланеты по диску звезды. Кривая блеска представлена в виде графика, по оси абсцисс которого отложено время, а по оси ординат – измеренное количество энергии, приходящей от звезды на Землю (за единицу выбрана энергия, регистрируемая вне затмения). Точками показаны отдельные наблюдения, а линия соответствует усреднённым данным, по которым и требуется провести измерения.



1) Сколько минут длилось прохождение планеты по диску звезды от первого до последнего касания дисков звезды и планеты?

2) Во сколько раз ослабла звезда в минимуме блеска?

3) Какую часть площади диска (в процентах) звезды закрыла экзопланета в минимуме блеска (возможным потемнением диска звезды к краю пренебречь)?

4) Считая, что размеры звезды характерны для красных карликов (радиус равен 0,1 радиуса Солнца), определите радиус планеты и выразите ответ в километрах. Радиус Солнца считайте равным $7 \cdot 10^8$ м.

Ответы и критерии:

1) 200 минут (т.к. «провал» зависимости соответствует 7 единичным делениям по горизонтальной оси); ответ в диапазоне [195;205] минут оценивается в 2 балла. Ответ в диапазоне [140;150] оценивается 1 баллом.

2) В 1,4 раза (из отношения по вертикальной оси ≈ 1/0,77) оценивается в 2 балла.

3) 23% (т.к. падение блеска пропорционально видимому изменению площади излучения звезды (1-0,77)/1); ответ в диапазоне [22;24] оценивается в 2 балла.

4) Ответ в диапазоне [33000; 35000] км оценивается в 2 балла. Площадь излучения пропорциональна видимой площади поверхности звезды или квадрату её радиуса, тогда падения блеска на 23% даёт информацию о радиусе планеты $(R/r)^2 = 1/0,23$ где $R=0,1 \cdot 7 \cdot 10^5$ км, откуда $r \approx 34000$ км.