

XXIX Санкт-Петербургская
астрономическая олимпиада
теоретический тур, решения

2022
6
февраля

5–6 классы

1. В 1572 году в созвездии Кассиопеи вспыхнула сверхновая, получившая впоследствии имя «Сверхновая Тихо Браге». Остатком вспышки сверхновой является туманность, края которой разлетаются со средней скоростью 15 тысяч км/с. Найдите, за какое время свет способен пролететь от одного края остатка сверхновой (в том виде, в котором мы его сейчас наблюдаем) до другого.

Решение (8 баллов):

От момента взрыва сверхновой до текущего времени прошло $2022 - 1572 = 450$ лет. Скорость света, равная 300 тысяч км/с, в 20 раз больше скорости разлёта краёв. Тогда свет от одного края до другого в условиях той туманности, какой мы её видим сейчас, пролетит за 45 лет (поскольку скорость удаления одного края от другого равна удвоенной скорости разлета).

2. Начиная петербургский астроном Вася, выглянув в полночь из окна, увидел на востоке яркую Капеллу. В какой сезон года Вася проводил наблюдение?

Решение (8 баллов):

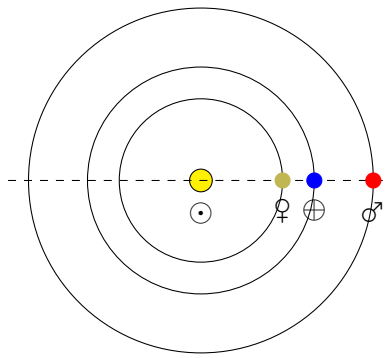
Капелла — звезда в созвездии Возничего, это созвездие расположено севернее эклиптических созвездий Тельца и Близнецов. Значит, в момент наблюдения эти созвездия также находятся в восточной части неба. Солнце же вблизи полуночи находится в северной части неба, то есть оказывается в созвездии, расположенном на эклиптике в 90 градусах (или же в четверти года) от созвездий Тельца и Близнецов вперед по видимому годичному движению.

В Тельце или Близнецах Солнце находится с середины мая примерно до середины июля, нас же интересует временной интервал, сдвинутый на четверть года вперед, то есть с середины августа до конца октября. Значит, Солнце находится в созвездии Льва или Девы, а это бывает в конце августа — конце октября.

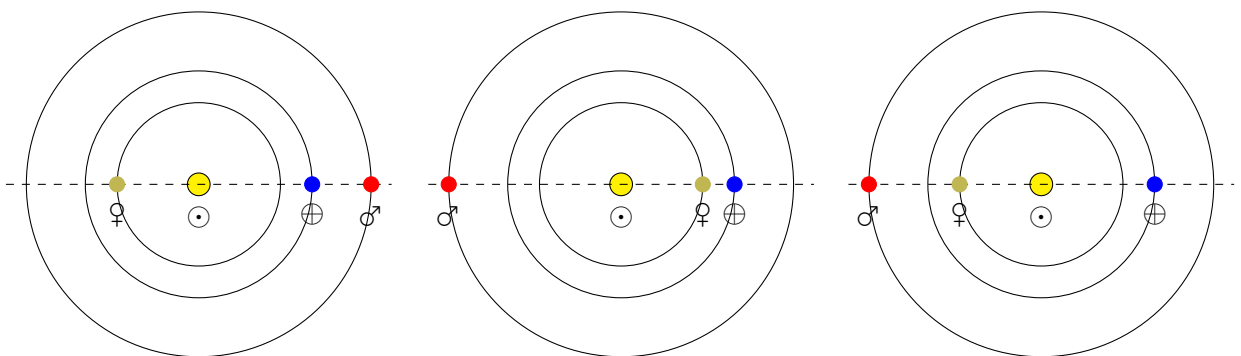
3. Пусть все планеты нашей Солнечной системы имеют круговые орбиты и лежат в одной плоскости. Сколько существует различных вариантов расположения всех крупных планет и Солнца в одну линию, если положение Земли фиксировано? Не забудьте обосновать свои расчеты.

Решение (8 баллов):

Рассмотрим сначала более простую задачу: пусть в Солнечной системе есть лишь Солнце \odot , Венера ♀ , Земля \oplus и Марс ♂ . Нарисуем Землю справа от Солнца и расположим остальные планеты в одну линию по ту же сторону от Солнца:



Итак, Венера у нас в нижнем соединении, а Марс — в противостоянии. Очевидно, что для того, чтобы сохранялось условие «все планеты и Солнце в одну линию», и Марс и Венера могут быть перемещены лишь в одну из точек, образованных пересечением полученной прямой и их орбиты. То есть Венера может быть лишь в нижнем и верхнем соединениях, а Марс — лишь в соединении и противостоянии. Таким образом, для каждой планеты есть лишь два возможных положения на ее орбите. Комбинируя эти положения друг с другом мы можем получить максимум еще 3 рисунка:



Резюмируем: любая планета может находиться лишь в одном из двух положений независимо от положения других планет, кроме Земли. То есть при рассмотрении лишь Земли и Венеры будет 2 варианта. При добавлении Марса — 4. Если добавим Меркурий, то каждая из нарисованных картинок также превратится в две: когда Меркурий в нижнем соединении и когда он в верхнем. Итого $4 \times 2 = 8$ вариантов расположения трех планет, Земли и Солнца в одну линию при фиксированном положении Земли.

Добавив Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун (больше крупных планет в Солнечной системе нет) мы должны умножить уже имеющиеся 8 вариантов на $2 \times 2 \times 2 \times 2 = 2^4$ и получить ответ $2^7 = 128$ вариантов.

4. Представьте, что Вы — ученый-астроном начала XX века. Каким способом Вы смогли бы доказать, что Земля имеет форму шара?

Решение (8 баллов):

Датировка в условии означает, что слетать в космос и посмотреть со стороны не получится — космонавтики еще нет, поэтому нужно придумать способ, позволяющий решить задачу с помощью только наземных наблюдений и измерений. Подобных способов существует несколько (и, как следствие, у задачи существует несколько возможных решений), укажем лишь основные.

Еще в древности было замечено, что граница тени Земли на Луне во время лунных затмений всегда имеет форму окружности. Поскольку лунные затмения происходят при разных положениях Земли в пространстве, это означает, что любая тень Земли имеет форму круга, а отсюда следует, что Земля — шар, другие геометрические тела таким свойством не обладают.

В XVII веке была предложена идея триангуляции — построения на поверхности Земли треугольной сетки, позволяющей достаточно эффективно измерить расстояния между

узлами сети и, в частности, восстановить взаимное положение узлов. Для поверхности океана подобная идея неприменима, но то, что форма поверхности суши примерно соответствует форме шара, так показать можно (в реальности в XVIII веке подобный метод был использован для проверки того, что Земля — не совсем шар, а сплюснутый эллипсоид вращения).

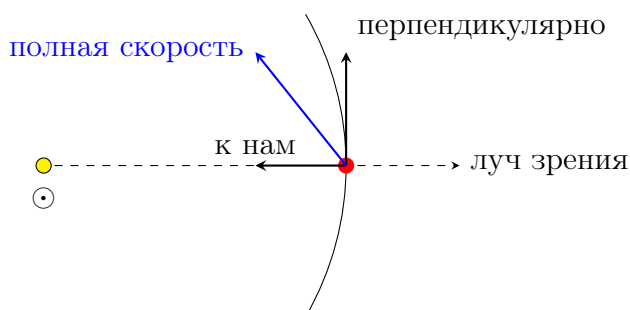
Обнаружить кривизну земной поверхности можно, заметив, что далекие объекты на поверхности скрываются под горизонтом. Соответственно, для некоторой точки на поверхности Земли можно найти зависимость расстояния до видимых на горизонте объектов от высоты наблюдателя (и заодно убедиться, что в разных направлениях зависимость будет одной и той же). Таким образом можно показать, что в окрестности точки наблюдения поверхность похожа на шар, и даже приближенно найти его радиус. Если в разных точках земной поверхности аналогичные измерения будут давать такие же результаты, то это будет еще одним доказательством шарообразности Земли.

Напоследок подчеркнем, что не следует путать заданный в задаче вопрос с заметно более простым — как доказать, что поверхность Земли не плоская. Второе можно сделать и многими другими методами, но они не всегда пригодны для доказательства шарообразности (например, возможность совершить кругосветное путешествие не позволяет сделать вывод, что Земля — именно шар, а не, например, цилиндр).

5. Известно, что звезды движутся относительно Солнца. Так, Поллукс одновременно отдаляется от Солнца со скоростью 3 км/с и движется перпендикулярно линии, соединяющей Солнце и звезду, со скоростью 27 км/с. Хамаль приближается к Солнцу со скоростью 14 км/с и движется перпендикулярно линии, соединяющей Солнце и звезду, со скоростью 22 км/с. Какая из этих звезд движется быстрее относительно Солнца?

Решение (8 баллов):

Изобразим движение одной из звезд согласно условию. Пусть скорости обозначены стрелками, а их направление согласуется с описанием.



Чтобы найти полную скорость звезды, можно найти величину ее перемещения за одну секунду. Значит, в направлении «к нам» звезда Хамаль за одну секунду пролетела 14 км и за ту же секунду переместилась перпендикулярно лучу зрения на 22 км. Значит, можно применить теорему Пифагора для нахождения полного перемещения за одну секунду, то есть, фактически, применить ее к исходным скоростям (прямое сложение компонент скоростей не имеет физического смысла) — тогда можно найти полную скорость звезды, обозначенную синим цветом на чертеже выше. Кроме того, в условии задачи просят сообщить, какая из звезд движется быстрее, при этом находить саму величину скорости не обязательно. Значит, достаточно сравнить квадраты полных скоростей звезд:

$$\text{Поллукс: } V_1^2 = 3^2 + 27^2 = 738 \text{ (км/с)}^2$$

$$\text{Хамаль: } V_2^2 = 14^2 + 22^2 = 680 \text{ (км/с)}^2$$

Из полученных результатов следует, что звезда Поллукс движется быстрее относительно Солнца, чем Хамаль.

Заметим, что если теорема Пифагора неизвестна (или слишком сложна), получить аналогичный результат можно и другим путем. Достаточно построить рисунки, аналогичные изображенному выше, для каждой из звезд в одном и том же масштабе, после чего измерить получившиеся скорости (фактически диагонали прямоугольников) линейкой. Такие измерения, проведенные аккуратно, позволяют получить верный ответ на поставленный в условии вопрос.