

XXVI Санкт-Петербургская
астрономическая олимпиада
практический тур, решения

2019
3
марта

10 класс

31 января 2019 года на небе можно было наблюдать Луну рядом с Юпитером и Венерой. Этим воспользовались два любителя астрономии, живущие в Северном полушарии, которые сфотографировали это явление. Вам даны вырезки из их фотографий (негативы). Воспользовавшись фотографиями, сделайте следующее:

- отождествите небесные тела на фотографиях;
- определите как можно точнее время, прошедшее между снимками;
- определите, в каком созвездии в это время находилась Луна;
- оцените расстояния до планет в момент события;
- оцените расстояние между точками на Земле, где были сделаны фотографии, если известно, что азимуты центров фотографий в обеих точках были примерно одинаковы.

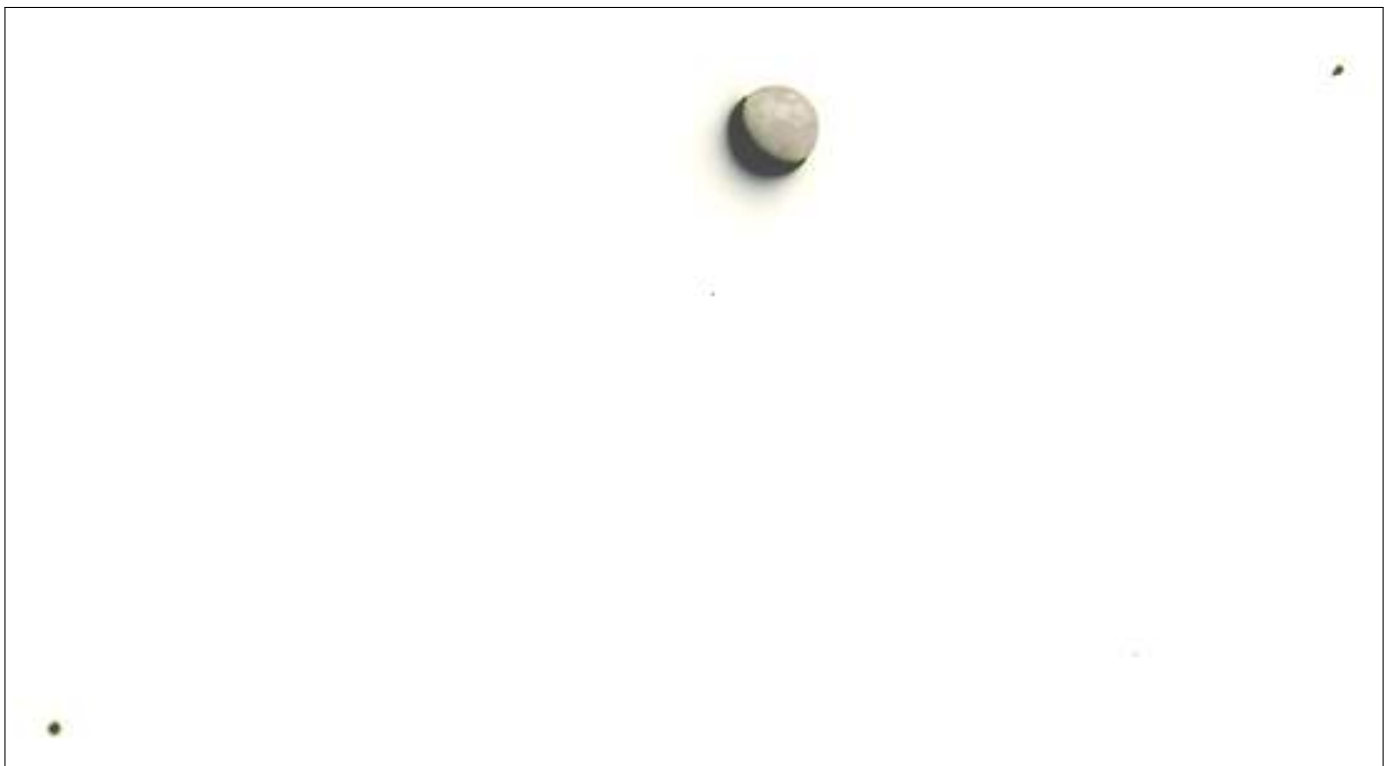
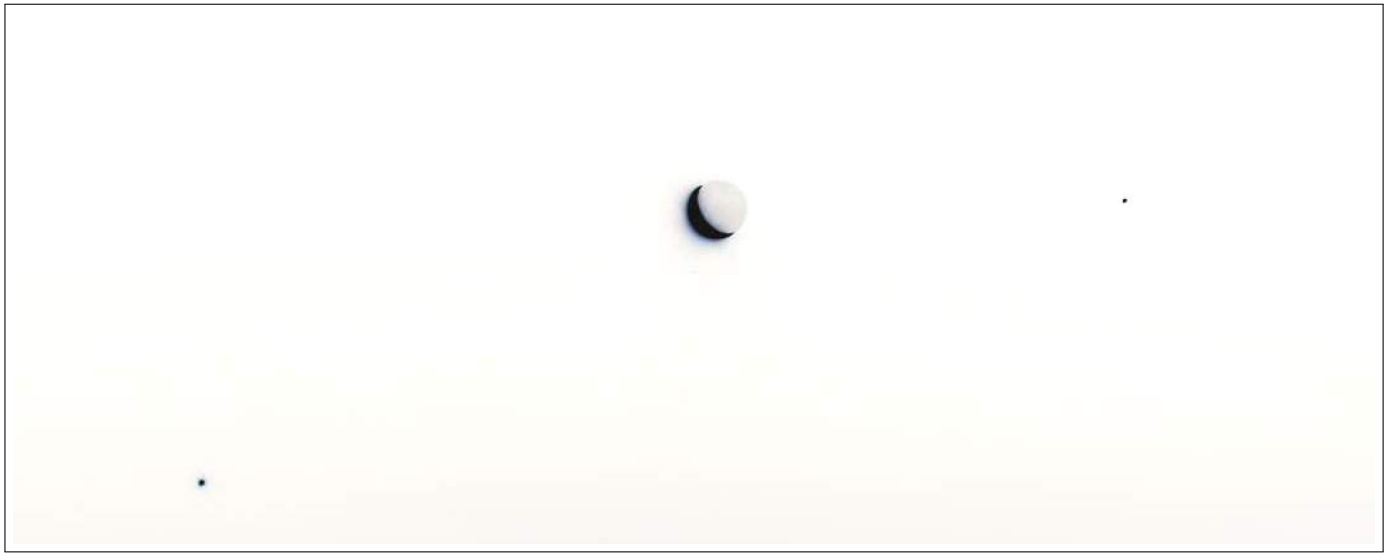
Можно считать, что нижние границы каждой из вырезок параллельны горизонту, а все планеты движутся вокруг Солнца по круговым орбитам в плоскости эклиптики.

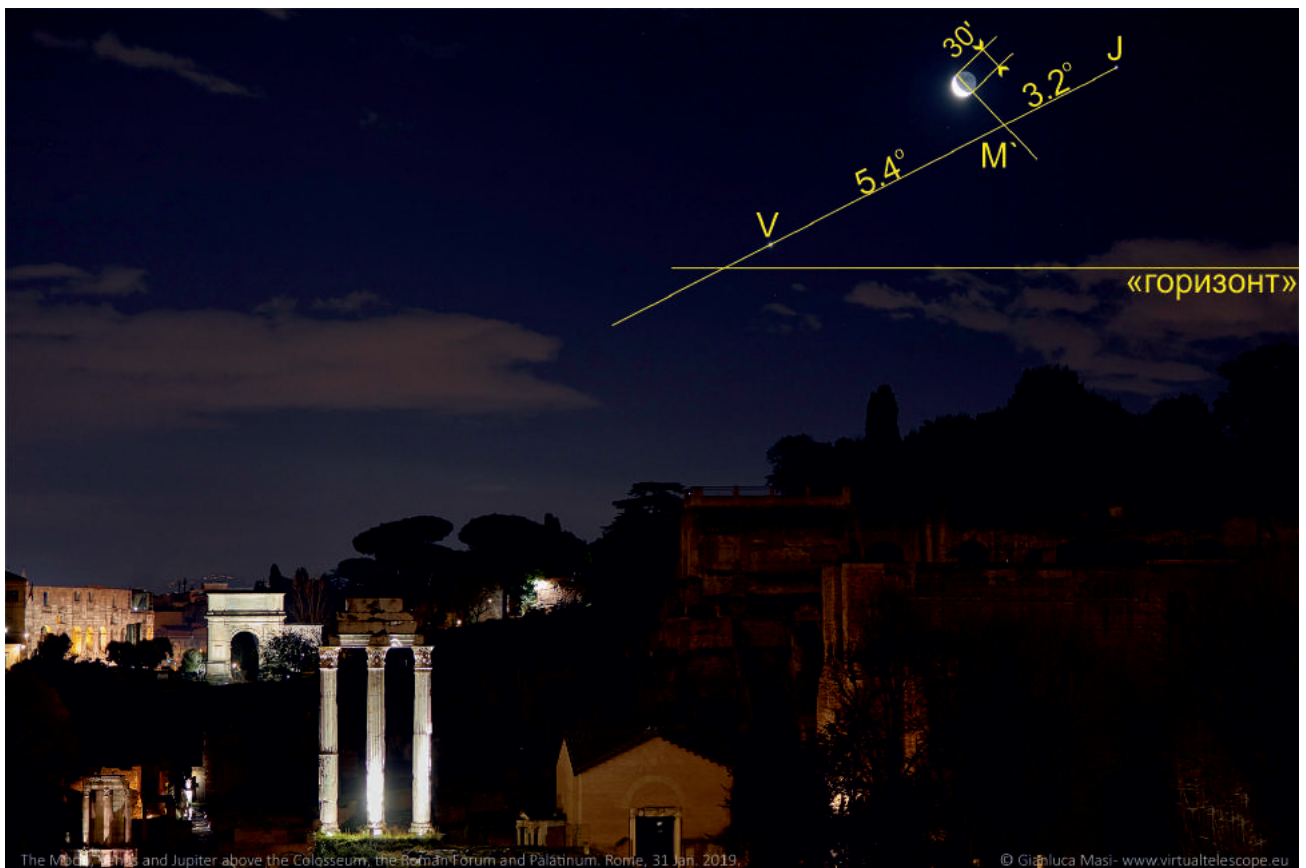
Решение (20 баллов):

Будем считать очевидным тот факт, что объект посередине между двумя точками и с фазой — Луна. Поскольку Юпитер и Венера видны рядом на небе, это значит, что угловое расстояние каждой из планет от Солнца не превышает 47° , это видно в том числе и по фазе Луны. Юпитер сопоставим по яркости с Венерой только около противостояния, поэтому в виду того, что левая точка явно ярче, чем правая, можно заключить, что слева от Луны (и ближе к горизонту) расположена Венера V , а справа — Юпитер J . Ограничение, связанное с возможностью наблюдения Венеры, также устанавливает время суток и полушарие: либо оба снимка сделаны перед рассветом в северном полушарии (и наблюдается стареющий месяц), либо оба снимка сделаны после захода Солнца в южном полушарии (и наблюдается растущий месяц).

Также заметим, что максимальная ширина изображений порядка десятка лунных диаметров, то есть угол обзора составляет всего несколько градусов, что позволяет нам пользоваться приближением «плоского» неба и обойтись без использования сферической тригонометрии.

Соединим планеты линией и проведем ее до края снимка — эта линия по условию будет совпадать с эклиптикой. Соединим «рога» месяца и проведем линию до пересечения с первой. Полученное пересечение обозначим как точку M' — проекцию Луны на эклиптику. Можно заметить, что точка M' на обоих изображениях делит отрезок между планетами в разной пропорции из-за что Луна сдвинулась по небу за время между снимками. Так как фотографии сделаны в одни солнечные сутки, то будем считать, что ни Венера, ни Юпитер заметно не сдвинулись. Измерим расстояние между планетами в диаметрах Луны (его необходимо измерять между «рогами», чтобы исключить эффект расширения яркой части Луны на фотографии из-за пересветки) и переведем в угловые величины, считая, что видимый диаметр Луны равен $30'$. Получим, что на верхнем снимке $VM' = 5^\circ.4$, а $M'J = 3^\circ.2$. На нижнем фото $VM' = 5^\circ.8$, а $M'J = 2^\circ.8$. Таким образом, можно заключить, что Луна прошла $0^\circ.4$ за время между снимками. Для примера приведем все необходимые построения на одном из оригинальных снимков (на нижнем, на верхнем процедура аналогична).





Так как сидерический период Луны равен 27.3 суткам, то за сутки Луна смещается на $360^\circ/27.3$ на небе. Это дает промежуток времени

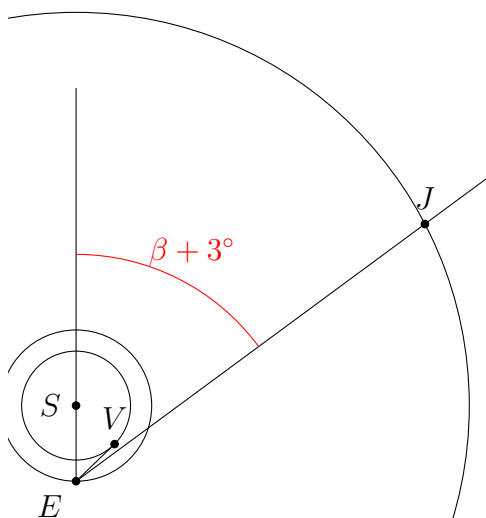
$$t = 0.4^\circ \cdot \frac{27.3}{360^\circ} \cdot 24^h \approx 0.73^h \approx 44^m.$$

Для определения расстояния до планет необходимо как можно точнее определить фазу Луны. Так как обе фотографии явно пересвечены (отлично видна неосвещенная сторона Луны), то лучше измерить долю неосвещенного диаметра Луны и соотнести ее к расстоянию между «рогами». В обоих случаях получится примерно одинаковая фаза, хотя Луна и прошла примерно свой диаметр за это время. Должно получиться около 0.19. Так как измерения линейкой на фотографии дают ощутимые погрешности, то фаза может получиться и больше, но есть ограничения из-за факта наблюдения Венеры. Полученная фаза позволяет определить косинус угла Солнце–Земля–Луна: $\cos \beta = 0.62$. При помощи линейки и транспортира (или приближенных вычислений) можно определить и сам угол: $\beta \approx 52^\circ$. Если учесть, что расстояние между Луной и Венерой в этот момент около 6° , то подобная ситуация возможна лишь когда Венера находится в максимальной элонгации, причем еще и в афелии своей орбиты (собственно, это и есть ограничение на фазу Луны). Если считать, что любители астрономии находятся в южном полушарии, то речь идет о восточной элонгации Венеры, и верхнее фото сделано раньше, чем нижнее. Если же считать, что фотографы находятся в северном полушарии, то Венера находится в западной элонгации, и нижнее фото сделано раньше верхнего. В реальности Венера была в западной элонгации 4 января 2019 года, и знание этого факта позволяет верно отождествить полушарие.

31 января Солнце находится в Козероге. Если считать, что Венера отстоит от него на 45° , то в случае наблюдения из северного полушария необходимо «отнять» от положения Солнца 45–47 дней и получить созвездие Змееносца (на самом деле в этот момент Венера переходит из созвездия Змееносца в созвездие Стрельца). Если считать, что наблюдения ведутся из южного полушария, то 45–47 дней необходимо «прибавить» и получить созвездие Рыб.

Теперь нарисуем расположение всех планет: S — Солнце, E — Земля, V — Венера, J — Юпитер, а Луну изображать необязательно. Если аккуратно соблюдать масштаб, то искомые

расстояния можно измерить линейкой (либо, при менее аккуратных построениях, решить соответствующие треугольники). Т.к. Венера рядом с элонгацией, то расстояние до нее получается равным 0.72 а.е. До Юпитера (тем или иным способом) — 5.8 а.е. Данная картинка верна для обоих полушарий: если речь об утре в северном полушарии, то планеты движутся против часовой стрелки, а северный полюс «смотрит на нас». Для вечера в южном полушарии — все наоборот.



Снова отталкиваясь от того, что наблюдается Венера, можно предположить, что фотографии сделаны примерно на одной высоте над горизонтом. Земля за это время повернулась на угол $44^m \times 15^\circ/\text{час} = 11^\circ$, что равно разности долгот двух пунктов. Если измерить угол между «горизонтом» и эклиптикой на обеих фотографиях, то разность этих углов даст разность широт населенных пунктов: действие в обоих случаях происходит около точки востока (в северном полушарии) или точки запада (в южном полушарии). Получится $27^\circ - 17^\circ = 10^\circ$. Таким образом, расстояние между фотографами по теореме Пифагора составит примерно 15° по поверхности Земли, или $15^\circ \cdot 111 \text{ км} = 1650 \text{ км}$.

На самом деле, верхняя фотография сделана в Лондоне ($51^\circ 30'$ с.ш., $0^\circ 8'$ в.д.), а нижняя — в Риме ($41^\circ 54'$ с.ш., $12^\circ 30'$ в.д.), что видно по надписи на уже использованной в решении исходной фотографии. Приведем также фотографию из Лондона:

