

XXIII Санкт-Петербургская  
астрономическая олимпиада  
отборочный тур, решения

2016  
3 декабря  
24 января

9 класс

1. Найдите данные об изменении солнечной активности и оцените ожидаемое среднее количество пятен на Солнце, которые будут наблюдаться в 2018 году.

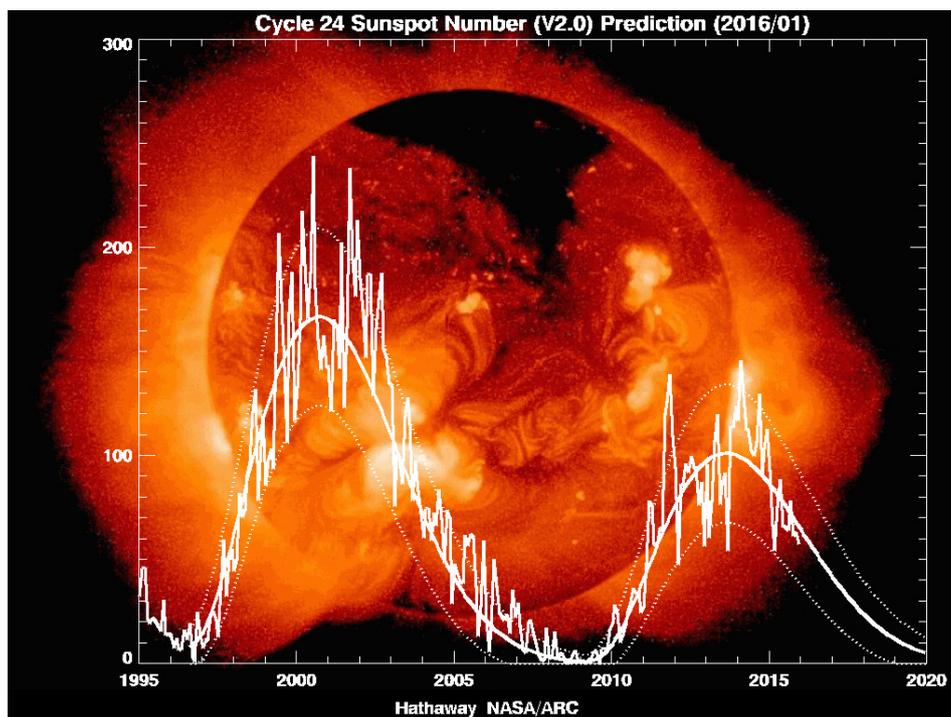
**Решение (8 баллов):**

Количество солнечных пятен принято характеризовать числом Вольфа, определяемым по формуле

$$W = k(f + 10g),$$

где  $f$  — число наблюдаемых пятен,  $g$  — количество групп пятен,  $k$  — нормировочный коэффициент, зависящий от свойств телескопа.

Представленный на сайте <http://solarscience.msfc.nasa.gov> график активности Солнца позволяет получить оценку числа Вольфа в интервале от 10 до 40 со средним значением около 25.



Также можно было использовать графики солнечной активности до настоящего момента и самостоятельно получить оценку числа Вольфа, приблизительно представив график волнообразной кривой, последний максимум которой пришелся на период 2013–2015 гг.

2. 6 июня примерно в 6:30 утра войска союзников высадились в Нормандии. Определите, в каком созвездии в это время находилась Луна, если известно, что ее фаза была больше 0.2.

### Решение (8 баллов):

Для начала мы можем определить положение Солнца среди звезд, чтобы потом, определив положение Луны относительно Солнца, найти его положение среди звезд.

С точки зрения астрологии 6 июня по знаку зодиаку относится к Близнецам, следовательно, Солнце находится в этом созвездии. На самом деле, в связи с эффектом предварения равноденствий, ситуация со времен Гиппарха изменилась, так, например, точка весеннего равноденствия, обозначенная знаком Овна, в котором находилась раньше, теперь находится в созвездии Рыб. Таким образом Солнце было не в созвездии Близнецов, а в предыдущем, т.е. созвездии Тельца.

Высадка десанта проводилась во время прилива. Поскольку приливная волна запаздывает относительно Луны на  $90^\circ$ , то можно сделать вывод, что Луна была в  $90^\circ$  от зенита.

От указанного времени до полудня оставалось 5.5 часов, за это время Солнце проходит по небу дугу примерно в  $83^\circ$ , значит, оно тоже было у самого горизонта. Учитывая наклон эклиптики к плоскости горизонта в Нормандии, можно сделать вывод, что Луна была либо очень близко к Солнцу в созвездии Тельца, либо в противоположной точке эклиптики, где расположено созвездие Скорпиона.

Из данных о фазе Луны легко сделать вывод, что она не могла быть рядом с Солнцем.

Ситуацию несколько осложняет малая протяженность участка эклиптики, приходящегося на созвездие Скорпиона и созвездие Змееносца, находящееся по соседству с ним. Если тщательно рассмотреть дни, в которые Солнце находится в каждом из созвездий, и угловое расстояние между Луной и Солнцем, то мы получим, что Луна была где-то на границе созвездий Скорпиона и Змееносца. На самом деле в указанное время Луна еще была в созвездии Скорпиона, а к вечеру перешла в созвездие Змееносца.

Ответ: Луна была в созвездии Скорпиона (ответ Змееносец также считается правильным).

3. Три спутника вращаются по эллиптическим орбитам в экваториальной плоскости вокруг Земли так, что моменты апогея они проходят одновременно. Известно, что только лишь в моменты прохождения перигея эти спутники «не видят» друг друга. Определить, сколько времени идет сигнал между спутниками в момент прохождения ими апогеев своих орбит, если период обращения каждого спутника составляет 12 часов.

### Решение (8 баллов):

Согласно третьему закону Кеплера, период обращения спутника  $T$  однозначно определяет большую полуось орбиты спутника  $a$ :

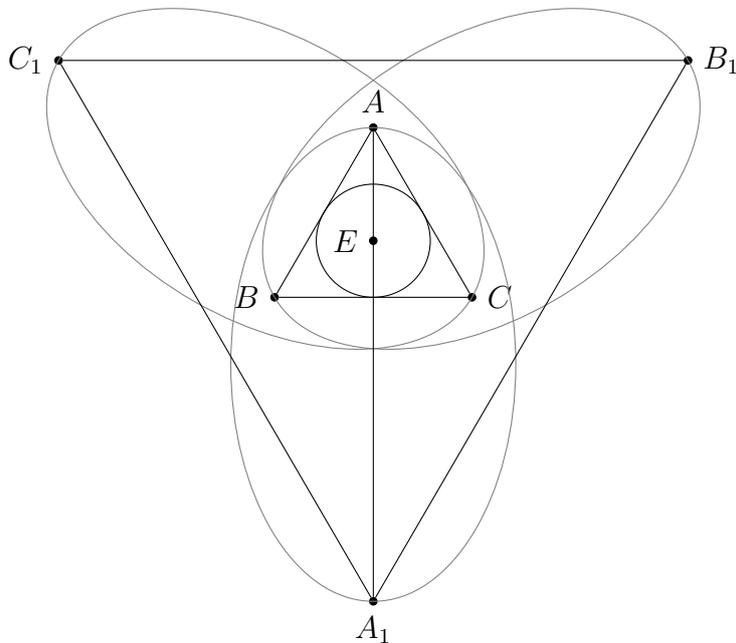
$$\frac{T^2}{a^3} = \frac{4\pi^2}{GM_\oplus} \quad \Rightarrow \quad a = 4.2R_\oplus, \quad (1)$$

где  $M_\oplus$  — масса Земли,  $R_\oplus = 6400$  км.

Изобразим орбиты спутников в плоскости экватора,  $E$  — центр Земли. Т.к. только лишь в перигее орбиты спутники не могут «видеть» друг друга, значит, они скрываются друг для друга за поверхностью Земли. Это возможно, лишь когда все три перигея образуют равносторонний треугольник  $ABC$ , для которого земной экватор является вписанной окружностью (для простоты рефракцией пренебрегаем). Соответственно, апогеи орбит образуют большой равносторонний треугольник  $A_1B_1C_1$ . Тогда перигейное расстояние  $q = AE$  однозначно связано с радиусом Земли:

$$q = R_\oplus / \sin 30^\circ = 2R_\oplus.$$

Известно, что для эллипса сумма перицентрического  $q$  и апоцентрического  $Q = EA_1$  расстояний равна двум большим полуосям, значит  $Q = 2a - q = 6.2R_\oplus$ . Значит, сторона



большого треугольника  $A_1B_1 = 2Q \cos 30^\circ = 10.74R_\oplus = 68730$  км. Сигнал от спутника к спутнику идет со скоростью света  $c = 300000$  км/с, значит ему требуется время  $t = 68730/300000 = 0.23$  секунды.

Учет влияния рефракции в задаче не обязателен, поскольку полностью «съедается» приближенностью вычислений.

4. Сумеет ли человечество разместить на Земле такое количество атомных электростанций, которые суммарно будут производить столько же энергии, сколько и Солнце?

**Решение (8 баллов):**

Вопрос состоит в теоретической *возможности размещения* на нашей планете, значит, необходимо понять, хватит ли на ней места для подобного количества атомных электростанций. Для простоты будем считать, что атомные электростанции можно строить по всей поверхности Земли, т.е. в том числе и на дне Мирового океана. Полная площадь поверхности Земли равна:

$$S = 4\pi R_\oplus^2 = 5 \times 10^8 \text{ км}^2.$$

Светимость Солнца равна  $L_\odot = 4 \times 10^{26}$  Вт. Крупнейшая на текущий момент АЭС в мире, Касивадзаки-Карива (Япония), вырабатывает 8 ГВт энергии и занимает площадь примерно 2 км<sup>2</sup>. Значит, для выработки такого же количества энергии, как у Солнца потребуются

$$\frac{4 \times 10^{26} \text{ Вт}}{8 \times 10^9 \text{ Вт}} = 5 \times 10^{16} \text{ японских атомных электростанций.}$$

Т.е. на каждую станцию придется площадь, равная:

$$\frac{5 \times 10^8 \text{ км}^2}{5 \times 10^{16}} = 1 \times 10^{-8} \text{ км}^2 = 1 \times 10^{-2} \text{ м}^2 = 100 \text{ см}^2.$$

Очевидно, что человечество пока не способно уместить ядерный реактор в квадрат 10 см × 10 см.

5. Существует такая зависимость: чем позже открыта некоторая галактика, тем в среднем меньше она похожа на Млечный Путь. Объясните, с чем это связано.

**Решение (8 баллов):**

По мере развития наблюдательной техники обнаруживаются галактики, все более далекие от Млечного Пути. В последние годы были открыты галактики, расстояние до которых превышает 13 млрд. световых лет. Поскольку излучение распространяется со скоростью света, то мы видим данные галактики такими, какими они были на ранних стадиях формирования и эволюции, то есть еще не имеющими регулярной структуры. Хорошей иллюстрацией является снимок *Hubble eXtreme Deep Field*, созданный из снимков телескопа «Хаббл» и доступный на сайте <http://www.nasa.gov>. Например, наиболее удаленные дисковые галактики на нем выглядят объектами с хаотично рассеянными крупными областями звездообразования.

Можно отметить также, что в последнее десятилетие было обнаружено несколько эллиптических карликовых галактик вблизи Млечного Пути и Туманности Андромеды. Подобные карликовые галактики испытывают сильное приливное влияние более крупных соседних галактик, что приводит к искажению формы первых.