

LXXX Московская астрономическая олимпиада (2026 г.)

Теоретический тур. Решения и критерии оценивания

7 класс

Задача 1

Радиопульсары — это космические источники строго периодического импульсного излучения. Их излучение видно только во время импульсов, а яркость самих импульсов сильно варьируется. В 2006 году были обнаружены новые источники импульсного излучения, от которых импульсы приходят очень редко и, на первый взгляд, без какого-либо периода. Их назвали вращающимися радиотранзиентами (RRAT). В настоящее время считается, что RRAT — это очень тусклые радиопульсары, у которых телескопы фиксируют только отдельные, редкие и самые яркие импульсы.

От некоторого RRAT были зафиксированы 4 импульса. Второй импульс пришёл через 260.568 с после первого, третий — через 349.398 с после первого, а четвёртый — через 1731.198 с после первого. Определите максимально возможный период этого RRAT (пульсара).

Решение. Импульсы регистрируются телескопом через произвольное число периодов пульсара P . Пусть $t_{12} = 260.568$ с — это время между приходом первого и второго импульсов, $t_{23} = 349.398 - 260.568 = 88.83$ с — время между вторым и третьим импульсами, а $t_{34} = 1731.198 - 349.398 = 1381.8$ с — между третьим и четвёртым. Тогда $t_{12} = nP$, $t_{23} = mP$ и $t_{34} = kP$, где n , m и k — натуральные числа.

Разделим t_{12} и t_{23} на t_{34} . Тогда

$$\frac{t_{12}}{t_{34}} = \frac{n}{k} = \frac{260.568}{1381.8} = \frac{33}{175}, \quad \frac{t_{23}}{t_{34}} = \frac{m}{k} = \frac{88.83}{1381.8} = \frac{9}{140}.$$

Кроме того

$$\frac{t_{12}}{t_{23}} = \frac{n}{m} = \frac{n}{\frac{k}{m}} = \frac{33}{175} \cdot \frac{140}{9} = \frac{44}{15}.$$

Заметим, что делителями числа n выступают числа 33 и 44. Разложим их на простые множители: $33 = 3 \cdot 11$ и $44 = 2 \cdot 2 \cdot 11$. Можно сделать вывод, что n как минимум содержит множители 3, 4 и 11, а его минимальное значение $n = 2 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 11 = 132$. Тогда искомый период равен $260.568 \div 132 = 1.974$ с. Точно также можно сделать вывод, что минимально возможное значение $m = 3 \cdot 3 \cdot 5 = 45$, откуда следует тот же период $88.83 \div 45 = 1.974$ с.

Осталось проверить таким же образом число k . Его минимальное значение $k = 2 \cdot 2 \cdot 5 \cdot 7 = 700$, а искомый период $1381.8 \div 700 = 1.974$ с.

Можно решить эту же задачу другим способом, который может показаться проще. Переведём значения задержек импульсов, данных в условии в миллисекунды, чтобы получить целочисленные значения: 260 568, 349 398 и 1 731 198. Тогда искомое значение периода будет равно наибольшему общему делителю этих трёх чисел. Для нахождения НОД воспользуемся алгоритмом Евклида:

$$\begin{aligned} \text{НОД}(260\,568, 349\,398, 1\,731\,198) &= \text{НОД}(260\,568, 88\,830, 167\,790) = \text{НОД}(82\,908, 88\,830, 78\,960) = \\ &= \text{НОД}(3948, 9870, 78\,960) = \text{НОД}(3948, 1974) = 1974 \text{ мс} = 1.974 \text{ с}. \end{aligned}$$

Критерии проверки

1. Явно показано, что нужно искать НОД интервалов между импульсами **4 балла**

Или иное равносильное правильное утверждение.

2. Получен правильный ответ **4 балла**

Если вычисления в решении не показаны, то по этому критерию выставляется 2 балла.

Максимальная оценка за задачу **8 баллов.**

(E. H. Фадеев)

Задача 2

В некотором году полнолуние пришлось точно на день весеннего равноденствия (в ночь с 19 на 20 марта). В этом году вы планируете выезд на наблюдения в место (в России) с тёмным небом, чтобы с телескопом изучать слабые туманные объекты: галактики, туманности. Вам предлагают выбрать одну из двух ночей — с 12 на 13 марта или с 26 на 27 марта. Метеоусловия в обе даты будут идеальными. Какую ночь целесообразнее выбрать для наблюдений и почему?

Решение. Для наблюдения слабых туманных объектов необходимо очень тёмное небо. Яркая Луна будет сильно засвечивать небо, ухудшая условия наблюдений вплоть до невозможности увидеть намеченные объекты.

Наблюдения можно провести за семь дней до полнолуния или через семь дней после него. Можно сделать вывод, что в обоих случаях будет освещена примерно половина диска Луны, а сама Луна видна примерно половину ночи. За неделю до полнолуния Луна находится вблизи первой четверти: она восходит днём и заходит около полуночи. Через неделю после полнолуния Луна вблизи третьей четверти восходит во второй половине ночи. На первый взгляд кажется, что условия наблюдений почти одинаковые: 12–13 марта плохие условия для наблюдений продолжаются до захода Луны, а 26–27 марта ночь перестанет быть тёмной после восхода Луны.

Если остановиться на этом выводе и начать искать другие факторы, которые могут повлиять на выбор даты наблюдений, то стоит обратить внимание на продолжительность ночи. От 12–13 до 26–27 марта склонение Солнца быстро увеличивается и вместе с ним увеличивается долгота дня (примерно на 30 минут на широте Москвы) и сокращается продолжительность ночи. Следовательно, более ранняя дата наблюдений (12–13 марта) выглядит предпочтительнее.

Однако вернёмся к Луне и посмотрим на ситуацию более внимательно. В день весеннего равноденствия Солнце проходит через точку весеннего равноденствия, которая находится в созвездии Рыбы. Полная Луна находится в противоположной части неба, то есть в созвездии Девы. За неделю до равноденствия Луна находится в созвездии Тельца в районе точки летнего солнцестояния. Это значит, что склонение Луны положительно и она проводит над горизонтом больше половины суток, примерно как Солнце в начале лета. Наоборот, через неделю после равноденствия Луна окажется в созвездии Стрельца рядом с точкой зимнего солнцестояния. В это время склонение Луны отрицательно, а значит, она проводит над горизонтом меньше половины суток, примерно как Солнце в начале зимы. Поэтому при наблюдении 26–27 марта будет на несколько часов больше времени, пригодного для наблюдений.

Критерии проверки

1. Основной фактор — время нахождения Луны над горизонтом **1 балл**
 2. В оба выбранных дня освещена примерно половина диска Луны **1 балл**
Если участник пришёл к выводу, что условия наблюдений одинаковые в оба дня, оценка не может превышать 2 баллов.
 3. Долгота ночи неодинакова в возможные дни наблюдений **1 балл**
Если участник делает выбор дня на основании большей долготы ночи в начале марта, в отсутствие дальнейших рассуждений об изменении склонения Луны, он получает дополнительный балл, а оценка за задачу не может превышать 4 баллов.
 4. Склонение Луны в указанные дни разное **1 балл**
 5. Понимание связи склонения Луны с её видимым временем над горизонтом **1 балл**
 6. В конце марта склонение Луны меньше, чем в начале **1 балл**
 7. Правильный окончательный вывод с обоснованием **2 балла**
- Правильный ответ без обоснования — 0 баллов

Максимальная оценка за задачу **8 баллов.**

(*M. B. Силантьев*)

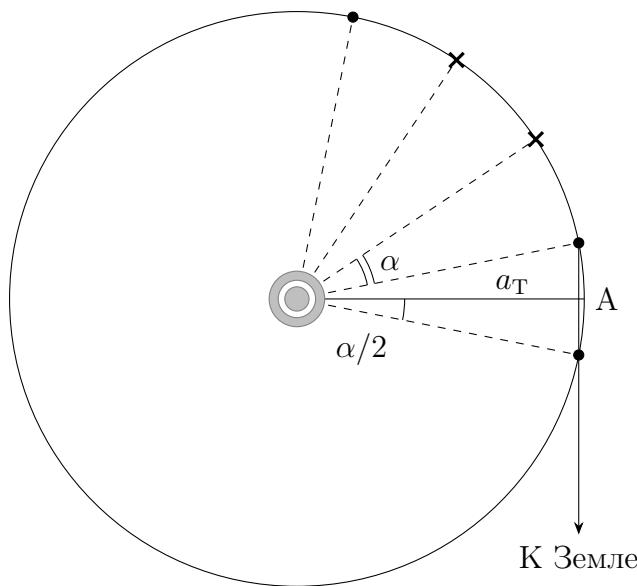
Задача 3

Однажды ранним декабрьским вечером астроном-любитель наблюдал спутник Сатурна Титан в свой телескоп системы Ньютона с диаметром главного зеркала $D = 200$ мм и фокусным расстоянием $F = 1000$ мм. Ровно через сутки он повторил наблюдения и обнаружил, что положение Титана относительно Сатурна не изменилось, а кольца Сатурна пропали. Следующие две ночи погода была облачной, и наблюдения провести не удалось. Сможет ли астроном увидеть Титан на третью ночь (если повезёт с погодой). Если да, то где именно он будет находиться относительно Сатурна, если нет — почему? Какое редкое астрономическое явление можно будет наблюдать в ту же ночь? Почему оно редкое?

Решение. Орбитальный период Титана можно найти в справочных данных: $P = 15.945$ сут. За сутки Титан проходит дугу орбиты, равную

$$\alpha = \frac{1}{15.95} \cdot 360^\circ \approx 22.57^\circ.$$

Если между первым и вторым наблюдениями Титан не изменил своего положения относительно Сатурна, значит, максимальное удаление Титана от Сатурна (положение **A** на рисунке) произошло между наблюдениями.



На третью ночь после второго наблюдения Титан пройдёт по орбите дугу $3.5\alpha \approx 79^\circ$ от точки А. Орбита Титана лежит почти точно в плоскости колец Сатурна. Пропадание колец указывает на то, что наблюдатель видит систему «с ребра», то есть находится в плоскости колец. Следовательно, пройди Титан ещё 11° , он оказался бы либо на фоне диска Сатурна, либо за ним, как показано на рисунке. Эта часть дуги орбиты в линейной мере равна $\frac{11^\circ}{360^\circ} \cdot 2\pi a_T \approx 235\,000$ км и располагается почти перпендикулярно лучу зрения. Эта величина чуть меньше двух диаметров Сатурна. Значит, Титан будет располагаться на небе близко к Сатурну с той же стороны, что и ранее.

Если Титан проходит за планетой, происходит его покрытие Сатурном. Если же он проходит перед диском, разглядеть сам спутник на ярком фоне вряд ли получится, однако возможно увидеть тень Титана на диске Сатурна. Подходящие условия для наблюдения этих явлений возникают дважды за период обращения Сатурна вокруг Солнца — примерно раз в 15 лет.

Критерии проверки

- | | |
|---|-------------------|
| 1. Объяснено, почему Титан не изменил положение относительно Сатурна | 1 балл |
| 2. Правильное положение на орбите в первую и вторую ночь относительно Сатурна и наблюдателя | 1 балл |
| 3. Угол (дуга / доля орбиты), который Титан проходит за сутки | 1 балл |
| 4. Вычислено положение спутника относительно Сатурна в последнюю ночь | 1 балл |
| 5. С какой стороны от Сатурна будет спутник | 1 балл |
| 6. Указана возможность покрытия Титана Сатурном или прохождения по диску | 1 + 1 балл |
| 7. Объяснено, почему это редкое событие | 1 балл |

Максимальная оценка за задачу **8 баллов.**

(*M. B. Силантьев*)

Задача 4

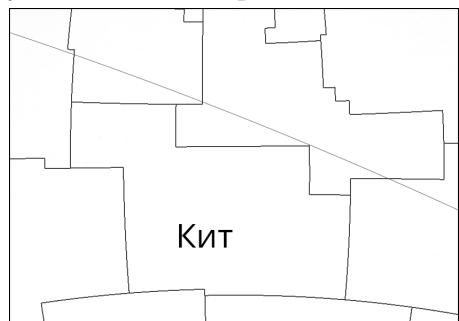
Астроном-любитель, наблюдая Луну из Калининграда, обнаружил, что она находится в созвездии Кита. В то же время другой наблюдатель, находящийся вблизи Кейптауна (Южная Африка), видел Луну в другом созвездии. С помощью слепой карты участка неба с границами Кита и соседних созвездий (тонкая наклонная линия — эклиптика) ответьте на следующие вопросы:

1. Как называется созвездие, в котором обнаружил Луну второй наблюдатель?

2. Могло ли в этот день произойти лунное затмение?

Если могло, то

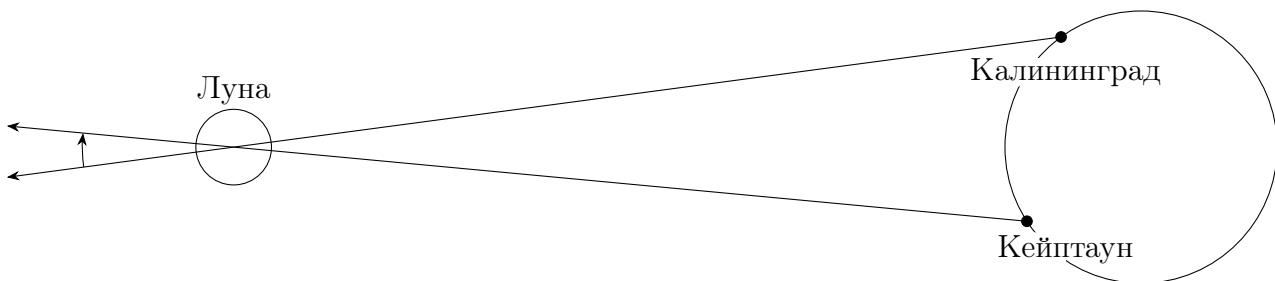
- Какое это было затмение, частное или полное?
- В каком месяце года оно могло произойти?



Решение. На первый взгляд условие задачи выглядит парадоксально. Известно, что Солнце проходит через 12 зодиакальных созвездий и созвездие Змееносца, а путь Луны на небе не слишком отличается от солнечного. Кит к зодиакальным созвездиям не относится, то есть Солнце в нём не бывает, следовательно, о затмении не может быть и речи. Да и Луне в этом созвездии, казалось бы, быть не положено. Тем более — в двух созвездиях сразу.

В действительности орбита Луны пусть и немного, всего на 5° , но наклонена к плоскости эклиптики. Значит, Луна может отходить от эклиптики на эти самые 5° к северу или к югу. В тех местах, где эклиптика проходит рядом с границей зодиакальных созвездий, Луна может оказаться по другую сторону границы. Отдельные части созвездия Кита действительно подходят близко к эклиптике, поэтому присутствие там Луны вполне возможно.

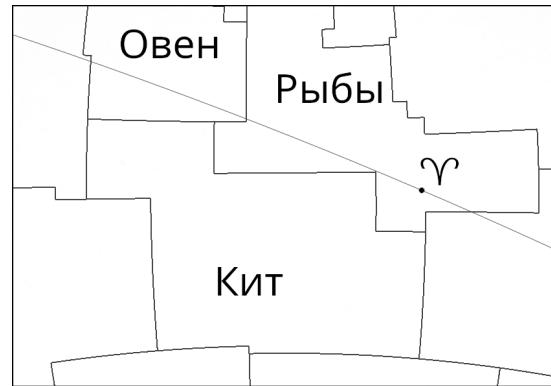
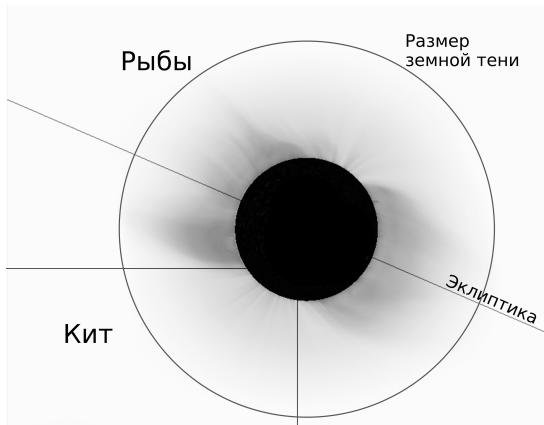
Кейптаун и Калининград располагаются в разных полушариях, но примерно на одном меридиане. Что произойдёт, если калининградский наблюдатель начнёт быстро смещаться на юг? Луна расположена значительно ближе звёзд, следовательно, относительно звёзд она будет перемещаться в противоположную сторону, то есть на север.



На севере созвездия Кит находятся Рыбы и Овен, а значит, Луна может оказаться в любом из этих двух созвездий.

На одном небольшом участке эклиптики так близко подходит к границе созвездия Кит, что край Солнца оказывается в этом созвездии (см. рисунок). Следовательно, тень Земли ещё сильнее может захватить территорию созвездия. Из этого можем сделать вывод, что возможно как частное, так и полное лунное затмение.

На карте показана точка весеннего равноденствия Υ . Солнце проходит эту точку в день весеннего равноденствия, а земная тень оказывается там, когда Солнце в противоположной стороне неба, то есть в день осеннего равноденствия, который приходится обычно на 22–23



сентября. Среди звёзд Солнце, а значит и земная тень, движется по эклиптике с запада на восток (справа налево по карте). Значит, такое затмение могло бы произойти вскоре после дня осеннего равноденствия, то есть в самом конце сентября.

Критерии проверки

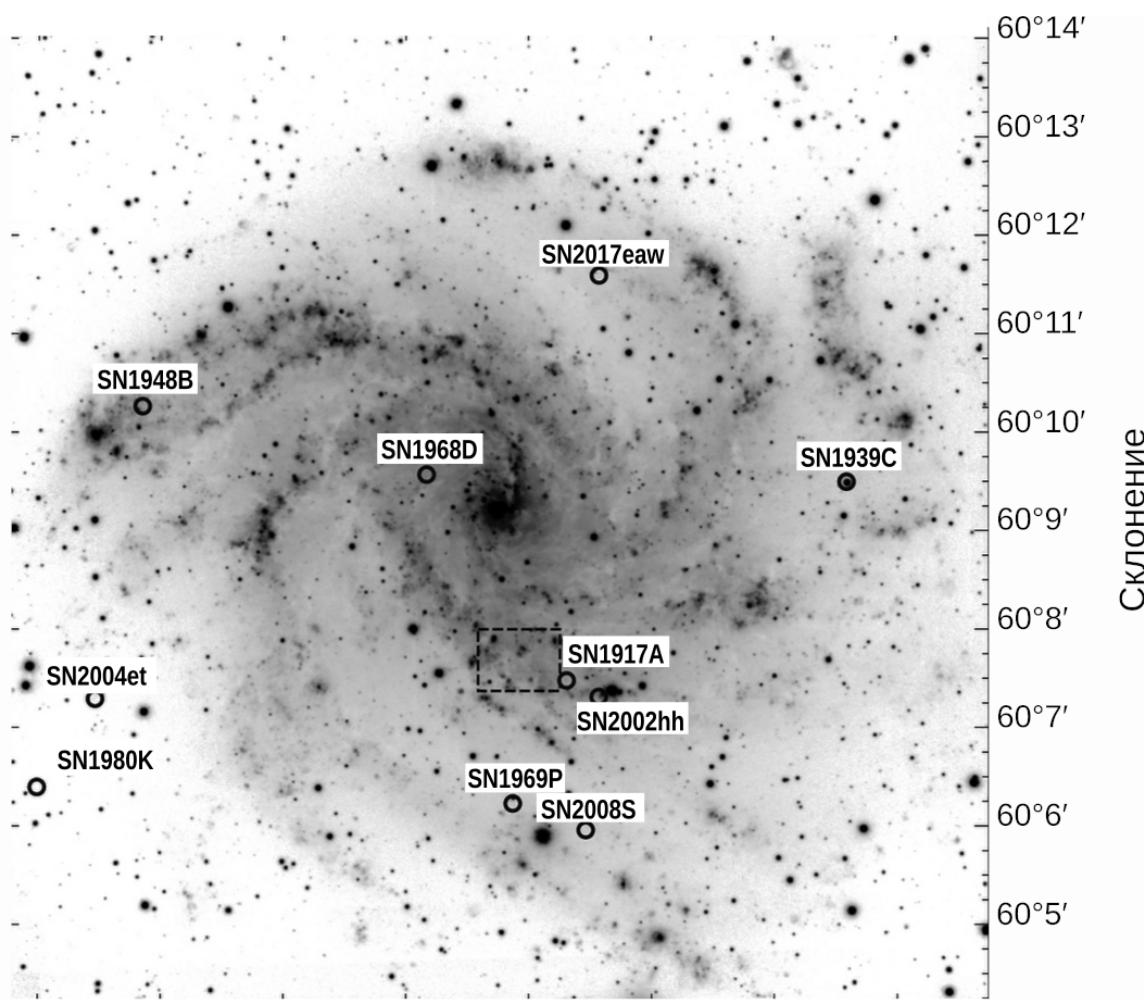
1. Ответ на первый вопрос: за каждое правильное созвездие **1 + 1 балл**
За каждое неверное созвездие оценка за этот пункт уменьшается на 1 балл, но не может стать меньше 0.
2. Причина, по которой Луна наблюдается в разных созвездиях одновременно **2 балла**
Требуется качественное или графическое объяснение, которое должно включать явное указание того факта, что для наблюдателя в Кейптауне Луна должна быть видна ближе к северному полюсу мира. Простая констатация факта не является объяснением.
3. Указание обоих вариантов затмения с объяснениями **1 + 1 балл**
Ответы «частное» или «полное» без какого-либо сопровождения пояснениями не рассматриваются.
4. Пояснение выбора месяца затмения **1 балл**
Требуется указать, что в момент лунного затмения Солнце в противоположной части неба и правильно выбрать эту часть.
5. Месяц (сентябрь или октябрь) **1 балл**
Без правильного пояснения месяц не оценивается.

Максимальная оценка за задачу **8 баллов**.

(E. H. Фадеев)

Задача 5

Галактика NGC 6946 известна под названием «Фейерверк», поскольку за последние сто лет в ней наблюдалось 10 вспышек сверхновых — необычайно высокая частота таких событий. Вам дано негативное изображение этой галактики, на котором отмечены места вспышек сверхновых. Четыре цифры в обозначении сверхновых соответствуют году её вспышки при наблюдении с Земли. Расстояние до галактики составляет $L = 6.9$ Мпк. Считая, что все сверхновые находились в галактическом диске, который виден плашмя (лежит в картинной плоскости), определите, в каком порядке и через какие временные интервалы вспышки сверхновых регистрировались бы гипотетическим наблюдателем, находящимся около места вспышки SN1968D.



Прямое восхождение

Оригинальное изображение взято из статьи [Long et al.](#) и адаптировано для условия задачи.

Решение. Поскольку все сверхновые расположены на одинаковом расстоянии от Солнца, свет проходит до нас одинаковое расстояние за одинаковое время, а порядок вспышек и время между ними определяются только моментами вспышек самих сверхновых.

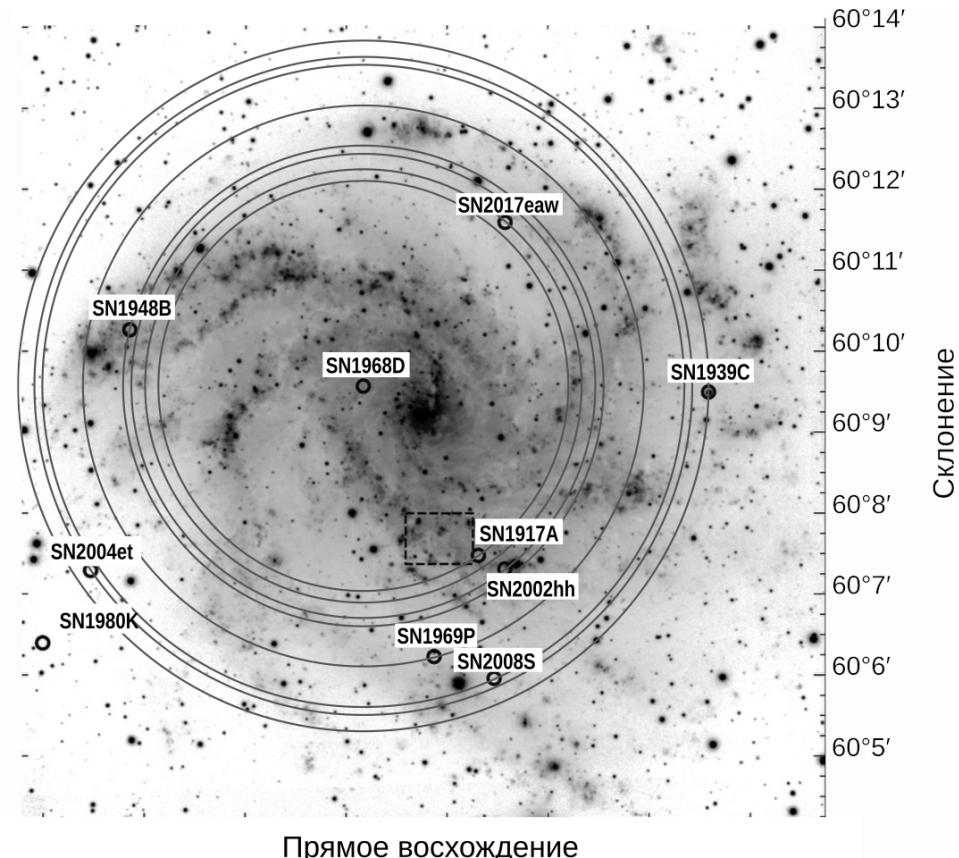
Переведём расстояние до галактики в световые годы. Поскольку $1 \text{pk} \approx 3.26 \text{ св. лет}$, то $L = 6.9 \cdot 3.26 \cdot 10^6 \approx 22.5 \text{ млн св. лет}$. Определим, под каким углом на расстоянии галактики виден

отрезок длиной $l_{100} = 100$ св. лет:

$$\gamma_{100} = \frac{l_{100}}{L} \cdot 206\,265 \approx 1''.$$

Здесь коэффициент 206 265 служит для перевода радианов в угловые секунды. Одно деление по склонению составляет $15''$, то есть за 100 лет свет проходит всего лишь $1/15$ деления. Это меньше, чем точность измерения линейкой, поэтому в контексте нашей задачи можно смело считать, что все сверхновые вспыхнули одновременно, а порядок вспышек и время между ними полностью определяется расстоянием соответствующей сверхновой до места вспышки SN1968D.

Теперь легко определить порядок. Первой наблюдатель зафиксирует вспышку своей собственной сверхновой (SN1968D), а затем по мере увеличения расстояния будут зафиксированы сверхновые 1917, 2017, 2002, 1948, 1969, 2008, 2004, 1939 и 1980 года. В этом легко можно убедиться, если провести циркулем окружности с центром в SN1968D, проходящие через остальные сверхновые.



С помощью шкалы склонения можно определить масштаб рисунка. Измерив расстояние между сверхновыми и домножив это значение на масштаб, мы получим угловое расстояние между сверхновыми γ_i . Мы будем измерять его в угловых секундах. Тогда линейное расстояние между сверхновыми будет равно

$$l_i = \frac{L\gamma_i}{206265}.$$

Подставляя L в световых годах, получаем расстояния l_i тоже в световых годах, а значит, время после вспышки SN1968D будет численно совпадать с этим значением. Сведём результаты в таблицу.

№	Сверхновая	$\gamma_i, ''$	$l, \text{св. лет}$	$\Delta t, \text{лет}$
1	SN1917A	152	16600	16600
2	SN2017eaw	160	17500	900
3	SN2002hh	171	18700	1200
4	SN1948B	178	19400	700
5	SN1969P	207	22600	3200
6	SN2008S	237	25900	3300
7	SN2004et	244	26600	700
8	SN1939C	256	27900	1300
9	SN1980K	305	33300	5400

В последнюю колонку мы добавили интервалы времени от регистрации предыдущей вспышки сверхновой.

Критерии проверки

- | | |
|---|---|
| 1. Определён правильный порядок сверхновых | 3 |
| 2. Правильный масштаб фотографии | 2 |
| 3. Правильный перевод парсеков в световые годы (формула) | 1 |
| 4. Правильный перевод угловых расстояний в линейные (формула) | 1 |
| 5. Определение временных интервалов | 5 |

В качестве временных интервалов принимаются в равной мере как время от первой вспышки, так и время от предыдущей.

Каждый неверный ответ, возникший от неправильного измерения или ошибок при вычислении, уменьшает оценку за этот пункт на 1 балл. Если дано только 4 или менее правильных ответов, оценка за этот пункт 0 баллов.

Максимальная оценка за задачу **12 баллов**.

(*В. Б. Игнатьев*)

Справочные данные

Данные о Солнце, Земле, Луне и Галактике

Светимость Солнца	$L_{\odot} = 3.827 \cdot 10^{26}$ Вт
Видимая звёздная величина Солнца	$m_{\odot} = -26.78^m$
Абсолютная болометрическая звёздная величина Солнца	$M_{\odot} = 4.72^m$
Эффективная температура Солнца	$T_{\odot} = 5800$ К
Солнечная постоянная	$E_{\odot} = 1360.8$ Вт м ⁻²
Тропический год	= 365.24219 сут
Звёздные сутки	$T_{\zeta} = 23$ ч 56 мин 04 с
Наклон экватора к эклиптике	$\varepsilon = 23^{\circ}26'21.45''$
Средняя плотность Земли	$\rho_{\oplus} = 5515$ кг/м ³
Синодический месяц	$S_{\zeta} = 29.530\,59$ сут
Видимая звёздная величина полной Луны	$m_{\zeta} = -12.7^m$
Число звёзд в нашей Галактике	= $1 \cdot 10^{11}$
Радиус диска нашей Галактики	= 20 кпк
Масса нашей Галактики (в массах Солнца)	= $2 \cdot 10^{12}$

Астрономические и физические постоянные

Гравитационная постоянная	$G = 6.674 \cdot 10^{-11}$ м ³ кг ⁻¹ с ⁻²
Скорость света в вакууме	$c = 2.998 \cdot 10^8$ м с ⁻¹
Масса протона	$m_p = 1.67 \cdot 10^{-27}$ кг
Масса электрона	$m_e = 9.11 \cdot 10^{-31}$ кг
Астрономическая единица	1 а. е. = $1.496 \cdot 10^{11}$ м
Парсек	1 пк = $3.086 \cdot 10^{16}$ м

Характеристики Солнца, планет и некоторых спутников

Объект	Радиус орбиты, а.е.	Орбитальный период	Масса, кг	Радиус, тыс. км	Осевой период
Солнце			1.989×10^{30}	696	25.38 сут.
Меркурий	0.3871	87.97 сут.	3.302×10^{23}	2.44	58.65 сут.
Венера	0.7233	224.70 сут.	4.869×10^{24}	6.05	243.02 сут.
Земля	1	365.26 сут.	5.974×10^{24}	6.37	23.93 ч
Луна	0.00257	27.32 сут.	7.348×10^{22}	1.74	27.32 сут
Марс	1.5237	686.98 сут.	6.419×10^{23}	3.40	24.62 ч
Юпитер	5.2028	11.862 лет	1.899×10^{27}	69.9	9.92 ч
Сатурн	9.5388	29.458 лет	5.685×10^{26}	60.3	10.66 ч
Титан	0.00817	15.945 сут	1.345×10^{23}	2.57	15.945 сут.
Уран	19.1914	84.01 лет	8.683×10^{25}	25.6	17.24 ч
Нептун	30.0611	164.79 лет	1.024×10^{26}	24.7	16.11 ч