

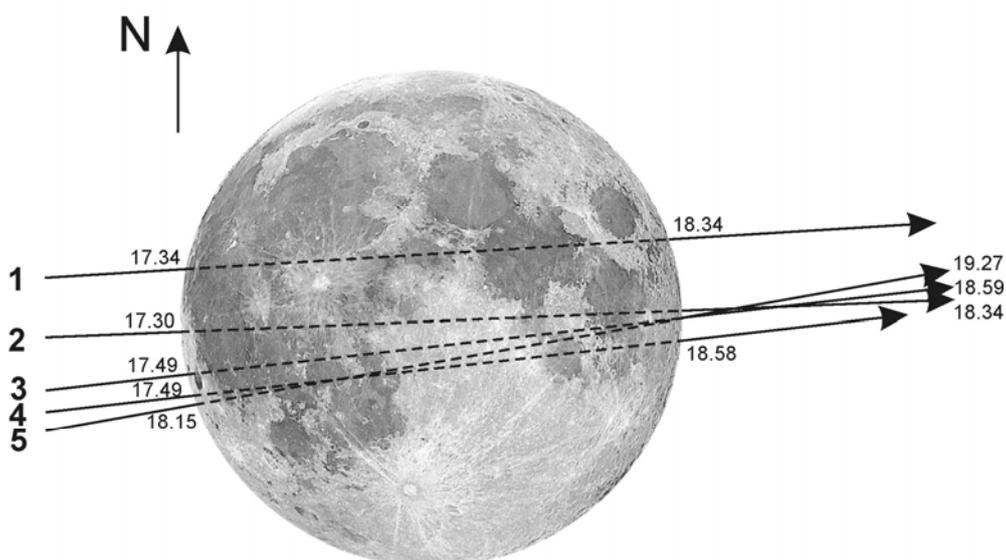
Всероссийская олимпиада школьников по астрономии
Заключительный этап – 2021 год
Второй (тестовый) тур

ТЕСТОВЫЙ ТУР



1. ВСЕРОССИЙСКОЕ ПОКРЫТИЕ

Условие. Полная Луна покрывает звезду μ Близнецов. Явление видно практически на всей территории России. На рисунке показаны видимые пути звезды за Луной в Москве (А, географические координаты 56°N , 38°E), Санкт-Петербурге (В, 60°N , 30°E), Екатеринбурге (С, 57°N , 61°E), Челябинске (D, 55°N , 61°E) и Новосибирске (Е, 55°N , 83°E). Пути помечены цифрами 1-5, указаны моменты покрытия и выхода звезды из-за диска Луны в этих городах по Всемирному времени. Вертикальная стрелка показывает направление на Северный полюс мира. Расставьте буквы А-Е напротив соответствующих цифр в листе ответов.



Решение. Событие происходит в полнолуние, Луна располагается в созвездии Близнецов, недалеко от точки летнего солнцестояния. Ее геоцентрический видимый путь по небу в это время происходит под небольшим углом к экватору. Время явления соответствует ночи на Урале и в западной Сибири. Луна в это время располагается вблизи кульминации высоко над горизонтом, а область видимости покрытия постепенно смещается с запада к востоку. В Европейской части России движение тени Луны происходит под некоторым углом к параллели, с юго-запада на северо-восток.

На рисунке мы видим, что в двух городах (1 и 2) покрытие произошло раньше, чем в других трех (около 17.30-18.30). Следом область видимости прошла через города 3 и 4 (около 17.50-19.00) и, наконец, через город 5 (18.15-19.27). Очевидно, что города 1 и 2 – самые западные из указанных пяти. В городе 2 звезда прошла практически за диаметром лунного диска, а в городе 1 – к северу от него, что связано с параллактическим смещением Луны в южную сторону. Следовательно, город 1 – это Санкт-Петербург (В), город 2 – Москва (А). Интересно, что в Москве покрытие произошло чуть раньше, чем в Петербурге, эффект описан в предыдущем абзаце.

Подобная ситуация складывается для городов 3 и 4. В них покрытие прошло по сути одновременно, но в городе 3 Луна смещена южнее относительно звезды по сравнению с городом 4. Итак, 3 – Екатеринбург (С), 4 – Челябинск (D). Наконец, 5 – самый восточный из перечисленных городов – Новосибирск (Е). Прототип явления – покрытие звезды μ Близнецов Луной 21 декабря 2010 г.

Ответ на задание: В, А, С, D, Е.

Алгоритм оценивания. За каждый правильный ответ выставляется 1 балл, кроме случая дублирования ответов, описанного далее. Таблица оценок выглядит следующим образом:

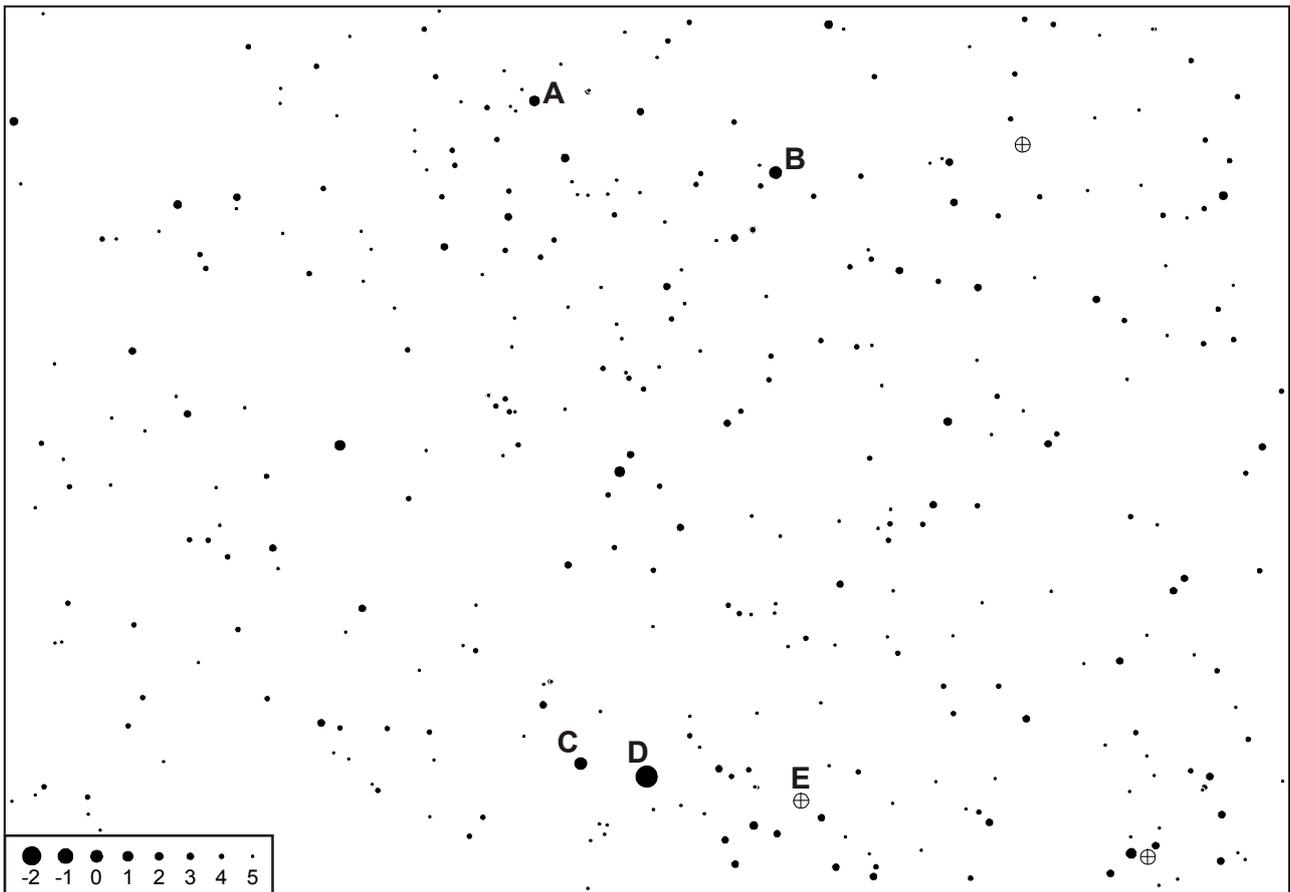
Ответ	1	2	3	4	5
Пропуск	0	0	0	0	0
А	0	1	0	0	0
В	1	0	0	0	0
С	0	0	1	0	0
D	0	0	0	1	0
Е	0	0	0	0	1

При наличии повторов в ответе (например, две буквы АА в первой и второй клетках) эти буквы не оцениваются (0 баллов), даже если среди них есть правильные. Это не влияет на оценки за ответы в других клетках, если там нет дублирования.

2. ЛЕТНЯЯ НОЧЬ



Условие. Перед Вами карта расположения небесных объектов в июльскую ночь. Звезды и планеты показаны черными кружками с размерами, определяемыми их звездными величинами (шкала в нижнем левом углу рисунка), шаровые звездные скопления – кружками с крестом. Расположите объекты А, В, С, D и E в порядке увеличения расстояния от Земли в момент наблюдений.



Решение. На карте мы можем видеть звезды и созвездия, видимые летними ночами в средней полосе России. Узнается «летний треугольник», образованный звездами Вега, Денеб и Альтаир. Первые две из них помечены буквами В и А соответственно. Внизу рисунка располагаются зодиакальные созвездия Козерога и Стрельца. В них буквами С и D отмечены два ярких светила, не вписывающиеся в характерные рисунки этих созвездий. Светило D имеет блеск ярче -2^m и не может быть звездой. Очевидно, что это планеты. Наконец, буквой E отмечено шаровое скопление M22 (очевидно, знание конкретного скопления не принципиально для верного решения задачи).

Картина наблюдается в июле, то есть планеты С и D находятся вблизи противостояния с Солнцем. В этой ситуации Марс или Юпитер имели бы блеск ярче -2^m (Марс располагался бы вблизи великого противостояния). Оба они могут быть светилом D, в то время как светилом С с блеском около 0^m может быть только одна внешняя планета – Сатурн. Итак, самый близкий объект к нам – D, Марс или Юпитер (в действительности – Юпитер, расстояние от Земли в противостоянии – около 4 а.е.). Далее идет С – Сатурн, расстояние 9 а.е.

Остальные объекты располагаются существенно дальше, вне Солнечной системы. Вега и Денеб отличаются в небе по яркости всего на 1^m , но в действительности это совершенно разные по своим характеристикам звезды. Вега (В) – звезда главной последовательности, одна из самых близких к Солнцу, расстояние до нее около 8 пк. Денеб (А) – сверхгигант со светимостью более 50000 солнечных, одна из самых мощных звезд, хорошо видимая даже с весьма большого расстояния – 500 пк.

Шаровые звездные скопления, состоящие уже из сотен тысяч звезд, имеют светимость больше, чем у одной даже такой звезды, как Денеб. Тем не менее, они едва видны в небе Земли невооруженным глазом. Все дело в их больших расстояниях. Шаровые скопления находятся в основном в балдже и гало нашей Галактики на расстоянии в несколько килопарсек. В данном случае, объект Е – это шаровое скопление М22, удаленное от нас на 3.2 кпк. Приведенная картина относится к июлю 2020 года.

Ответ на задание – D, C, B, A, E.

Алгоритм оценивания. Общая оценка складывается из количества правильных пар в ответе участников. Всего возможных пар из пяти объектов – 10, в каждой из них объекты в ответе должны идти в правильном порядке. Например, для пары А-В правильным считается ответ, в котором буква В стоит раньше буквы А (звезда Вега, В, располагается ближе звезды Денеб, А).

При появлении в решении двух или трех противоположных пар (например, ответ АВВАВ или АВАС с парами АВ и ВА) все эти пары, в том числе правильные, не оцениваются. При дублировании одной пары без противоположной (например, ответ ВВАА) эта пара оценивается только один раз. Итоговая оценка зависит от числа правильных пар N следующим образом:

N	Баллы	N	Баллы
0	1*		
1	0	6	1
2	0	7	2
3	0	8	3
4	0	9	4
5	0	10	5

**Примечание:* "компенсационный" балл за ответ, написанный в строго обратном порядке, при отсутствии правильных пар, выставляются при условии отсутствия пустых клеток и повторов ответов у участника, то есть только за ответ Е-А-В-С-Д. В других случаях ответ с 0 правильных пар оценивается в 0 баллов.

3. ПОЛЯРНЫЙ КЛИМАТ



Условие. Расположите перечисленные тела в порядке возрастания отношения средних температур на полюсе (PL) и экваторе (EQ), $K=T_{PL}/T_{EQ}$, от минимального к максимальному. Температуры определяются на поверхности планет и спутников (рельефом пренебречь) и в фотосфере (на видимой поверхности) звезд.

A – Солнце, B – Луна, C – Земля, D – Титан, E – Регул (период вращения – 16 часов).

Решение. У планет и спутников полярные температуры ниже экваториальных, но разница определяется, прежде всего, наличием и свойствами атмосфер, а также наклоном оси вращения к плоскости орбиты планеты. У Луны (B) атмосферы нет, а указанный угол составляет всего 1.5° . В итоге, вблизи полюсов Солнце всегда находится у горизонта, а на дно глубоких кратеров его свет не попадает вообще. Хотя вблизи полюсов есть отдельные горные вершины, постоянно освещенные и прогреваемые Солнцем, средняя температура поверхности там ниже 150K или около 0.6 от средней экваториальной температуры.

На Земле (C) атмосфера, содержащая водяной пар, сглаживает температурные перепады. На Южном полюсе Земли средняя температура составляет 224 K или около 0.75 от средней экваториальной температуры (она близка к 300 K), на Северном полюсе – порядка 250K или более 0.8 от средней экваториальной температуры.

Третье тело с твердой поверхностью, заданное в условии – спутник Сатурна Титан (D). Его атмосфера плотнее земной. Находящийся в ней метан (CH_4) играет роль водяного пара в атмосфере Земли. Вариации температуры между полюсом и экватором составляют около 5K, что меньше 10% от самой температуры. Он идет в последовательности следующим за Луной и Землей.

Оставшиеся два объекта в списке – звезды. Их температура уже не зависит от условий освещенности внешним источником, поэтому распределение температуры с широтой качественно другое. На первый план выходит осевое вращение звезды. Если оно быстрое, звезда принимает форму вытянутого эллипсоида, и экваториальные области звезды оказываются заметно холоднее. Эффект называется гравитационным потемнением и сильно выражен у Регула (E), температура на полюсе там примерно в полтора раза выше экваториальной. Регул повернут к нам экваториальной стороной, если бы к нам была направлена его ось вращения, то за счет сразу двух эффектов (видимая площадь поверхности и большая температура) он был бы существенно ярче на небе, уступая из звезд ночного неба только Сириусу и, возможно, Канопусу.

Солнце (A) вращается вокруг своей оси значительно медленней, эффект гравитационного потемнения для него по сути незаметен, отношение температур близко к единице.

Ответ на задание: B, C, D, A, E.

Алгоритм оценивания базируется на вычислении количества правильных пар в ответе участника и аналогичен заданию 2.

4. СТРЕМИТЕЛЬНЫЙ ОБЛЕТ



Условие. Расположите небесные тела по величине минимальной длительности облета по устойчивой круговой орбите без включенных двигателей, от самого короткого до самого длительного облета:

А – Меркурий, В – Земля, С – Каллисто, D – Титан, Е – черная дыра в центре галактики М87. Массу черной дыры считать равной 10^9 масс Солнца. Движение по устойчивой орбите вокруг черной дыры возможно на расстоянии, не меньшем трех гравитационных радиусов центрального тела.

Комментарий только для 9 класса: черной дырой считается объект, сжавшийся до своего горизонта событий, формальное значение второй космической скорости на котором в представлении классической физики сравнивается со скоростью света. Радиус горизонта называется гравитационным радиусом тела.

Решение. Представим себе наиболее простую ситуацию, когда тело имеет шарообразную форму с радиусом R и лишено атмосферы. Тогда минимальное время облета будет соответствовать круговой орбите с радиусом R и составит

$$T = \sqrt{\frac{4\pi^2 R^3}{GM}} = \sqrt{\frac{3\pi}{G\rho}}. \quad (1)$$

Здесь M – масса центрального тела, ρ – его средняя плотность. Именно последняя величина и определяет орбитальный период в данном, наиболее простом случае. Казалось бы, для решения задачи нам нужно расставить все тела в порядке убывания средней плотности. Но обратим внимание, что плотность Меркурия ρ_A лишь немногим меньше плотности Земли ρ_B . Для Меркурия минимальное время облета составит 1.42 часа. Мы можем определить, на какой высоте над поверхностью Земли проходит орбита, соответствующая приповерхностной орбите вокруг Меркурия:

$$\frac{(R_B + h_B)^3 \rho_A}{R_B^3 \rho_B} = 1; \quad h_B = R_B \left(\sqrt[3]{\frac{\rho_B}{\rho_A}} - 1 \right) = 35 \text{ км}. \quad (2)$$

Эта высота соответствует плотным слоям земной атмосферы, очевидно, что совершить там полет по орбите без включенных двигателей невозможно. Поэтому время облета Меркурия T_A меньше времени облета Земли T_B (последнее для высоты 150 км составляет 1.46 часа). Аналогичная ситуация складывается для Каллисто и Титана. Средняя плотность Титана ρ_D чуть выше средней плотности Каллисто ρ_C , но у Титана есть атмосфера, а у Каллисто – нет. Поэтому Каллисто можно облететь над поверхностью, потратив на это 2.44 часа. Высота орбиты над поверхностью Титана, для которой орбитальный перелет пройдет с тем же периодом, что у поверхности Каллисто, равна

$$h_D = R_D \left(\sqrt[3]{\frac{\rho_D}{\rho_C}} - 1 \right) = 23 \text{ км}. \quad (3)$$

Это также меньше толщины атмосферы Титана. На высоте 300 км над его поверхностью орбитальный период составляет 2.84 часа. Итак, четыре тела Солнечной системы в задании располагаются в порядке: А, В, С, D. Нам остается решить вопрос с черной дырой в центре

галактики M87. Определим среднюю плотность вещества внутри сферы с радиусом $R_E=3R_G$ (три гравитационных радиуса черной дыры):

$$\rho_E = \frac{3M_E}{4\pi R_E^3} = \frac{M_E}{36\pi R_G^3} = \frac{c^6}{72\pi G^3 M_E^2} = 2.7 \text{ кг/м}^3.$$

Это существенно меньше плотностей четырех тел Солнечной системы, указанных в условии. Время перелета вокруг черной дыры составит около 330 часов (если определять его по законам классической физики), что в 100 с лишним раз больше времени облета всех других четырех тел, упомянутых в задании. В реальности, учет релятивистских факторов несколько изменит это время (незначительно, причем по-разному для внешней системы отсчета и по часам тела, движущегося вокруг черной дыры), оставляя его заведомо большим периода облета Каллисто и Титана и тем самым не влияя на ответ в данной задаче.

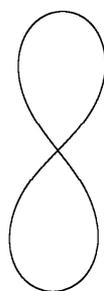
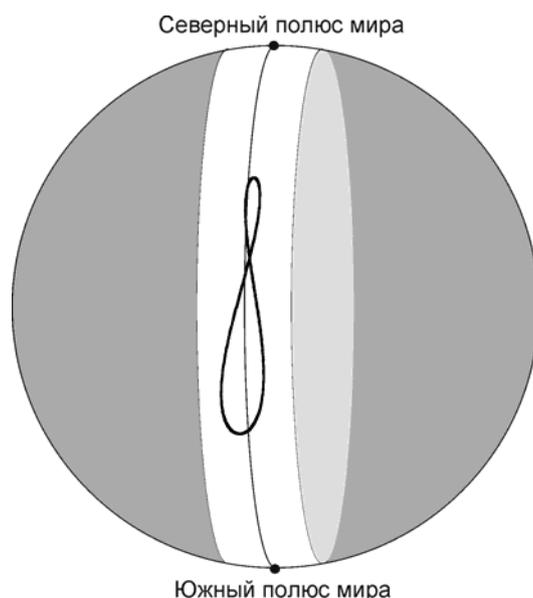
Ответ на задание: А, В, С, D, Е.

Алгоритм оценивания базируется на вычислении количества правильных пар в ответе участника и аналогичен заданию 2.

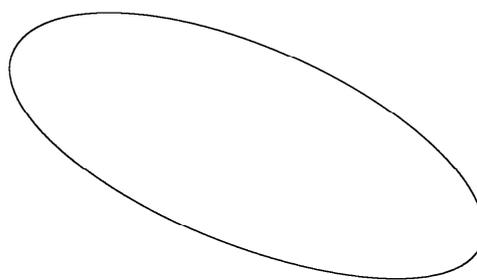


5. ПЕНТАЛЕММА

Условие. Перед Вами - вид аналеммы (линии, описываемой Солнцем на небесной сфере в течение тропического года при фиксированном среднем солнечном времени) на Земле (А), Марсе (В), Юпитере (С), Сатурне (D) и Уране (Е). Угловой масштаб рисунков различается. Аналеммы построены для момента среднего солнечного полудня в цилиндрической проекции, плоскость рисунка содержит небесный меридиан (см. схему). Расставьте буквы А-Е в соответствии цифрам 1-5 на листе ответов.



1



2



3



4



5

Решение. Опишем на качественном уровне, почему аналемма в части случаев (в том числе на Земле) имеет вид "восьмерки". Перемещение Солнца по склонению (по вертикали на рисунках) в течение года определяется только наклоном экватора планеты к плоскости ее орбиты и имеет период в один год, за который Солнце один раз поднимается и один раз

опускается. Перемещение по часовому углу (по горизонтали) происходит по двум причинам. Во-первых, орбита планеты имеет эксцентриситет, и Солнце в течение года движется вдоль местной эклиптики то быстрее (когда планета вблизи перигелия), то медленнее (вблизи афелия). Это вызывает смещение Солнца с периодом в один год. Во-вторых, из-за наклона экватора планеты к плоскости орбиты изменение прямого восхождения Солнца в летнем и зимнем солнцестоянии происходит быстрее, чем в равноденствия. Это смещение имеет период в половину года, то есть дважды за год Солнце смещается вправо и влево по analeмме.

Последний из указанных эффектов резко зависит от угла наклона экватора планеты к плоскости орбиты ϵ (его амплитуда пропорциональна ϵ^2) и практически исчезает, если этот угол мал. В этом случае у нас остаются лишь изменения склонения и смещения Солнца вдоль местной эклиптики, оба практически синусоидальные с одинаковым периодом. Аналемма становится эллипсом. Такая ситуация имеет место на Юпитере, где экватор наклонен к плоскости орбиты всего на 3° . Итак, цифре 2 соответствует буква С.

У Земли, Марса и Сатурна углы наклона экватора к плоскости орбиты близки друг к другу. При этом одно из солнцестояний по времени близко к моменту перигелия, что делает "восьмерки" несимметричными. Эффект усиливается с ростом эксцентриситета орбиты. У Земли (3 - А) analemma еще имеет вид "восьмерки", у Сатурна (4 - D) замедление движения Солнца в апоцентре уже компенсирует быстрое изменение прямого восхождения в летнем солнцестоянии (верхняя петля практически пропадает), у Марса (5 - В) analemma очевидно асимметрична, что указывает на значительный эксцентриситет, но при этом уже не имеет самопересечений.

Наконец, Уран характеризуется почти прямым углом между экватором и плоскостью орбиты. В этом случае эффект изменений часового угла (горизонтальный сдвиг) с периодом в полгода становится определяющим. Будь угол между экватором и плоскостью орбиты в точности прямым, линии analeммы пересекались бы в ее середине также под прямым углом, в analeмме 1 ситуация очень близка к этому. В реальности, вертикальный размер analeммы 1 превышает 160° . Итак, цифре 1 соответствует буква Е.

Ответ на задание: Е, С, А, D, В.

Алгоритм оценивания. За каждый правильный ответ выставляется 1 балл, кроме случая дублирования ответов, описанного далее. Таблица оценок выглядит следующим образом:

Ответ	1	2	3	4	5
Пропуск	0	0	0	0	0
А	0	0	1	0	0
В	0	0	0	0	1
С	0	1	0	0	0
D	0	0	0	1	0
Е	1	0	0	0	0

При наличии повторов в ответе (например, две буквы ЕЕ в первой и второй клетках) эти буквы не оцениваются (0 баллов), даже если среди них есть правильные. Это не влияет на оценки за ответы в других клетках, если там нет дублирования.



6. ЗОНА ОБИТАНИЯ

Условие (9 класс): На графике представлены пять возможных зависимостей типичного расстояния "зоны обитания" в окрестностях звезды с фиксированной эффективной температурой от радиуса этой звезды, выраженного в радиусах Солнца. Охарактеризуйте каждую из них:

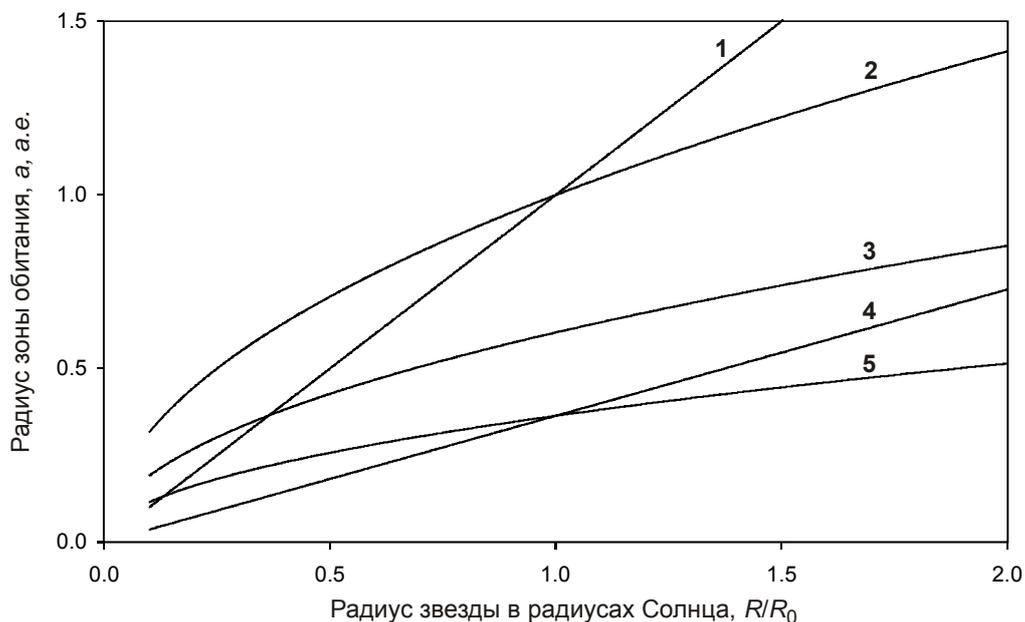
- Зависимость не может иметь место (буква А на листе ответов).
- Зависимость соответствует звезде солнечного типа (буква В на листе ответов);
- Зависимость соответствует звезде с температурой 3500 К (буква С на листе ответов);
- Зависимость не соответствует звездам указанных выше двух типов, но может соответствовать звездам с другими температурами (буква D на листе ответов).

Считать свойства потенциальной обитаемой планеты полностью идентичными Земле, среда между звездой и планетой абсолютно прозрачна, орбита планеты круговая. Считать также, что возможность жизни определяется только температурой на планете и не зависит от спектрального состава излучения звезды.

Условие (10-11 классы): На графике представлены пять возможных зависимостей типичного расстояния "зоны обитания" в окрестностях звезды фиксированного спектрального класса от радиуса этой звезды, выраженного в радиусах Солнца. Охарактеризуйте каждую из них:

- Зависимость не может иметь место (буква А на листе ответов).
- Зависимость соответствует звезде спектрального класса G2 (буква В на листе ответов);
- Зависимость соответствует звезде спектрального класса M0 (буква С на листе ответов);
- Зависимость не соответствует звездам классов G2 и M0, но может соответствовать звездам других спектральных классов (буква D на листе ответов).

Считать свойства потенциальной обитаемой планеты полностью идентичными Земле, среда между звездой и планетой абсолютно прозрачна, орбита планеты круговая. Считать также, что возможность жизни определяется только температурой на планете и не зависит от спектрального состава излучения звезды.



Решение. При фиксированных характеристиках планеты ее температура определяется плотностью потока энергии, идущего от звезды. Эта величина есть

$$J = \frac{B}{4\pi a^2} = \frac{4\pi\sigma R^2 T^4}{4\pi a^2} = \frac{\sigma R^2 T^4}{a^2}. \quad (1)$$

Здесь B – светимость звезды, R и T – ее радиус и эффективная температура, a – расстояние от звезды до планеты. Мы считаем, что свойства планеты (в том числе, альbedo поверхности и парниковые свойства атмосферы) аналогичны Земле. Тогда величина J должна быть равна комфортному для жизни земному значению J_0 , то есть должно выполняться условие

$$a = \sqrt{\frac{\sigma}{J_0}} R T^2. \quad (2)$$

Отсюда сразу вытекает прямая пропорциональность величин a и R при фиксированной температуре. Зависимости 2, 4 и 5 на графике имеют другой характер ($a \sim R^{1/2}$), и этим трем зависимостям соответствует буква А в ответе. Учтем далее, что при солнечной температуре T_0 комфортное расстояние до планеты равно a_0 (одной астрономической единице). Поэтому

$$\frac{a}{a_0} = \frac{R}{R_0} \cdot \left(\frac{T}{T_0}\right)^2 = \frac{R}{R_0} \cdot Q_T. \quad (3)$$

Для звезды солнечного спектрального класса G2 (звезды солнечного типа в условии для 9 класса) коэффициент пропорциональности Q_T равен единице, и это соответствует зависимости 1 на графике (буква В). Для звезды спектрального класса M0 (эффективная температура 3500 К, буква С) коэффициент пропорциональности равен 0.36, что соответствует зависимости 4.

Ответ на задание: В, А, А, С, А.

Алгоритм оценивания. Каждый правильный ответ оценивается в 1 балл, причем ответы В и С не могут дублироваться, в этом случае эти ответы не засчитываются, даже если среди них есть правильные. Ответы А и D дублироваться могут.

Ответ	1	2	3	4	5
Пропуск	0	0	0	0	0
А	0	1	1	0	1
В	1	0	0	0	0
С	0	0	0	1	0
Д	0	0	0	0	0

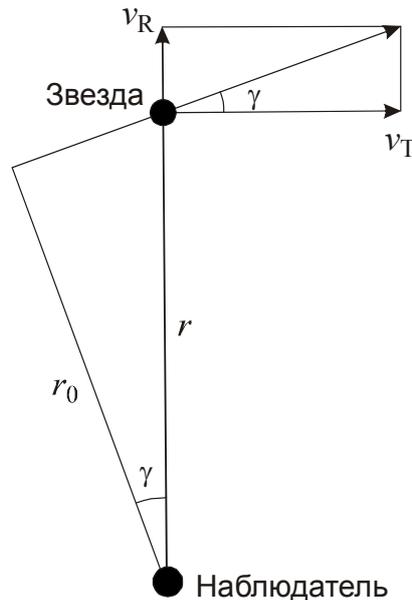


7. В МАКСИМУМЕ ЯРКОСТИ

Условие. Перед вами данные о пяти ярких звездах ночного неба Земли, расположенные в порядке **убывания** видимой яркости: название, гелиоцентрическое собственное движение μ и лучевая скорость v_R , расстояние r и видимая звездная величина m . Расставьте эти звезды также в порядке **убывания** максимальной видимой яркости в небе Земли в прошлом или будущем, от самой яркой к самой слабой, поставив буквы А-Е в нужном порядке в таблице на листе ответов. Считать звезды сферическими и одиночными, их светимость – постоянной во времени, траектории относительно Солнца – прямыми линиями. Межзвездным поглощением света пренебречь.

	Название	μ , ''/год	v_R , км/с	r , пк	m
А	Сириус	1.339	-5.5	2.64	-1.46
В	Канопус	0.031	+21.0	96.0	-0.72
С	Арктур	2.278	-5.2	11.24	-0.05
Д	Вега	0.350	-20.6	7.67	0.03
Е	Капелла	0.434	+30.2	12.90	0.08

Решение. Рассмотрим траекторию звезды вблизи Солнца. Нам задано собственное движение звезды (фактически, ее угловая скорость). Отсюда мы можем получить величину тангенциальной скорости:



$$\begin{aligned}
 v_T \text{ (км/с)} &= \mu \text{ (рад/с)} \cdot r \text{ (км)} = \frac{\mu \text{ (''/год)}}{206265 \text{ (''/рад)} \cdot 3.156 \cdot 10^7 \text{ (с/год)}} \cdot r \text{ (пк)} \cdot 206265 \cdot 1.50 \cdot 10^8 \text{ (км/пк)} = \\
 &= 4.74 \cdot \mu \text{ (''/год)} \cdot r \text{ (пк)}.
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

В дальнейшем мы опускаем обозначения единиц, пользуясь традиционной для звездной астрономии записью $v_T = 4.74 \mu r$. Угол между направлением на звезду и ее полной скоростью есть

$$\gamma = \operatorname{arctg} \frac{v_R}{v_T}, \quad (2)$$

а минимальное расстояние до звезды составляет

$$r_0 = r \cos \gamma = r \sqrt{\frac{v_T^2}{v_R^2 + v_T^2}}. \quad (3)$$

Наконец, звездная величина в момент сближения есть

$$m_0 = m + 5 \lg \frac{r_0}{r} = m + 2.5 \lg \frac{v_T^2}{v_R^2 + v_T^2} = m + 2.5 \lg \frac{(4.74 \mu r)^2}{v_R^2 + (4.74 \mu r)^2}. \quad (4)$$

Итоговые величины и порядок следования звезд приведен в таблице:

	Название	μ , "/Год	v_R , км/с	r , пк	m	m_0	Порядок
A	Сириус	1.339	-5.5	2.64	-1.46	-1.57	2
B	Канопус	0.031	+21.0	96.0	-0.72	-1.99	1
C	Арктур	2.278	-5.2	11.24	-0.05	-0.05	5
D	Вега	0.350	-20.6	7.67	0.03	-1.37	3
E	Капелла	0.434	+30.2	12.90	0.08	-0.82	4

Ответ в задании: B, A, D, E, C.

Алгоритм оценивания базируется на вычислении количества правильных пар в ответе участника и аналогичен заданию 2.



9.8. ПОЗНАНИЕ МИРА

Условие. Расположите астрономические открытия А-Е в хронологическом порядке, от самого раннего к самому позднему:

- А – Первое измерение скорости света
- В – Определение светимости ярчайших звезд ночного неба
- С – Открытие ярчайших спутников Юпитера
- Д – Открытие aberrации света
- Е – Первое определение годичного параллакса у далеких звезд

Решение. Хронология астрономических открытий может быть восстановлена на основе их логического следствия друг из друга. Светимость звезд ночного неба (В, с середины XIX века) может быть определена, если известны расстояния до этих звезд. Они определяются на основе измерений их годичных параллаксов (Е, первое измерение – Ф.Г.В. Струве, 1837 год, звезда Вега, Ф.В. Бессель, 1838 год, звезда 61 Лебеда). Эти параллаксы не превосходят по своей величине 1", и прежде чем стало возможно их обнаружить, был замечен похожий в наблюдательном плане эффект величиной 20" – aberrация света (Д, Джеймс Бредли, 1728 год). Ее измерение позволило уточнить величину скорости света, которая была определена ранее на основе существенно более простых измерений – фиксации моментов затмений галилеевых спутников Юпитера (А, Оле Ремер, 1676 год). Разумеется, сами спутники Юпитера были открыты раньше (С, Галилео Галилей, 1610 год).

Ответ на задание: С, А, Д, Е, В.