

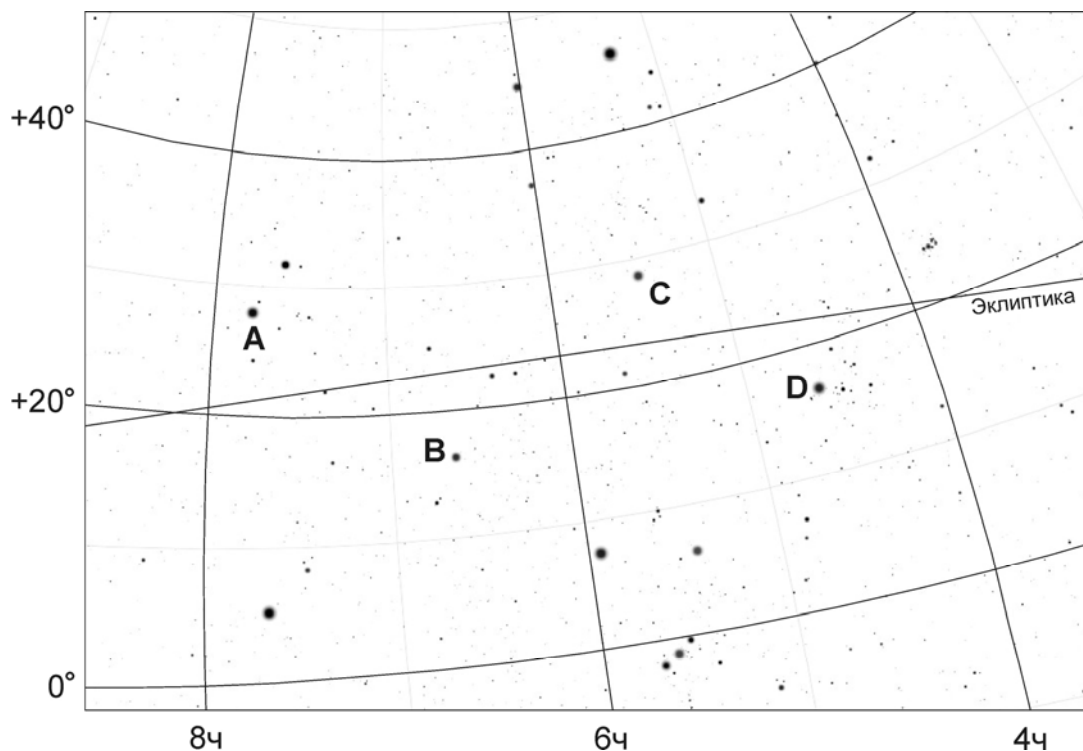
**Всероссийская олимпиада школьников по астрономии**  
**Заключительный этап – 2022 год**  
**Второй (тестовый) тур**

**ТЕСТОВЫЙ ТУР**



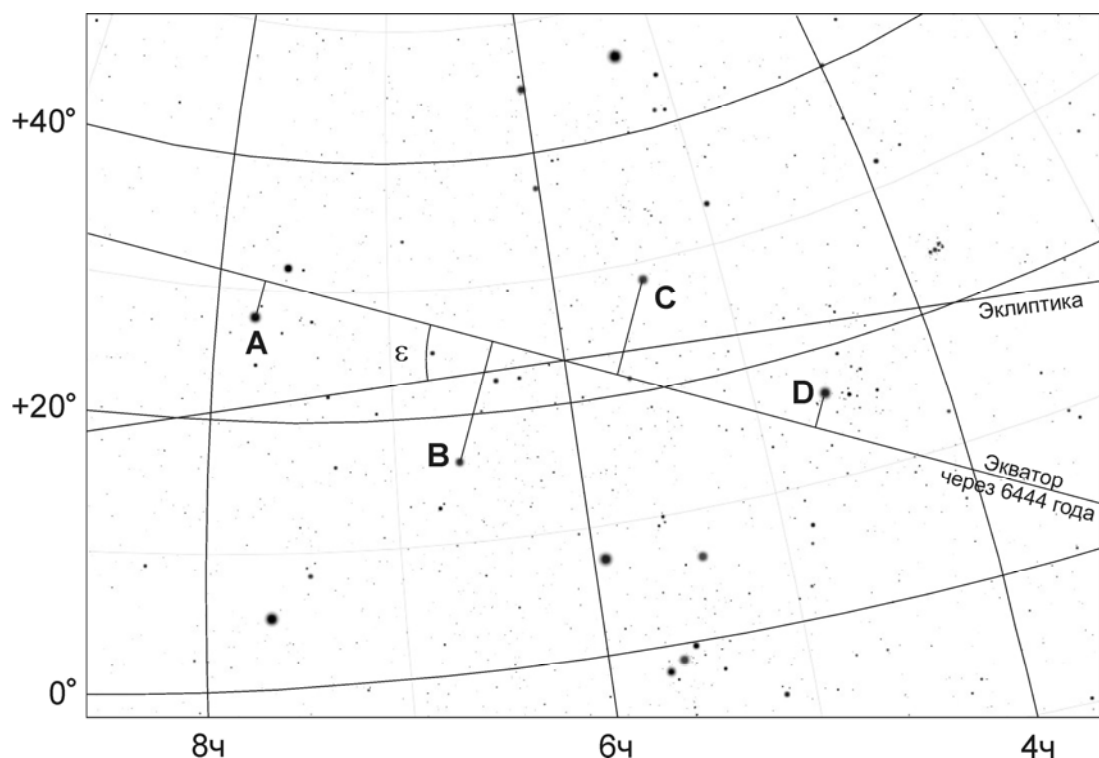
**9/10/11.1. ДАЛЕКОЕ БУДУЩЕЕ**

**Условие.** На карте участка звездного неба с координатной сеткой на текущую эпоху отмечены четыре яркие звезды. Расставьте эти четыре звезды в порядке возрастания склонения (от самой южной до самой северной) через 6444 года. Собственным движением звезд пренебречь, положение полюса эклиптики и угла наклона эклиптики к экватору считать постоянными. Длительность звездного года на Земле равна 365.25636 суткам.



**Решение.** Звездный год  $S$  длиннее тропического года  $T$ , равного 365.24219 суткам. Это означает, что Солнце вновь проходит точку весеннего равноденствия за 0.01217 суток до завершения полного оборота по эклиптике, то есть сама точка весеннего равноденствия смещается навстречу Солнцу на  $(1/25776)$  часть эклиптики. Это есть проявление прецессии оси вращения Земли, происходящее с периодом 25776 лет. В задании требуется определить положение звезд относительно небесного экватора через 6444 года, что есть четверть периода прецессии. Предполагая, что положение полюса эклиптики и угол между эклиптикой и экватором постоянны, мы получаем, что точка весеннего равноденствия сместится в нынешнюю точку зимнего солнцестояния. Точка осеннего равноденствия тогда перейдет в нынешнюю точку летнего солнцестояния, как раз показанную на карте.

Так как данная точка находится в центре карты, и проходящая через нее эклиптика отображена прямой линией, нам нетрудно построить линию небесного экватора, образующего с эклиптикой угол  $\epsilon$ , равный  $23.45^\circ$ .



Мы видим, что обе рассматриваемые звезды созвездия Близнецов попали в южное небесное полушарие, обе звезды созвездия Тельца – в северное. Ответ на задание: В, А, D, С.

**Алгоритм оценивания.** Общая оценка складывается из количества правильных пар в ответе участников. Всего возможных пар из четырех объектов – 6, 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 В располагается южнее звезды А).

При появлении в решении двух или трех противоположных пар (например, ответ АВАВ 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	4	3
2	1	5	4
3	2	6	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 С-D-A-B. В других случаях ответ с 0 правильных пар оценивается в 0 баллов.



## 9/10/11.2. МИНУТЫ ВОСХОДА

**Условие.** В некотором пункте на экваторе Земли измеряется длительность восхода Солнца (от первого до последнего касания диска Солнца с горизонтом). Расставьте четыре даты года в порядке увеличения этой длительности (от самого короткого до самого долгого восхода): А – 20 марта; В – 21 июня; С – 22 сентября; D – 21 декабря. Эффекты рельефа и атмосферной рефракции не учитывать.

**Решение.** Экватор Земли – место, где длительность восхода Солнца меняется в течение года слабее всего. Тем не менее, она и там не остается постоянной. Рассмотрим факторы, которые влияют на длительность восхода:

1) Эллиптичность орбиты Земли. Основное влияние связано с тем, что в момент перигелия (начало января) Солнце приближается к Земле в  $1/(1 - e) \approx 1 + e \approx 1.017$  раз по сравнению со средним значением, во столько же раз увеличивается видимый диаметр Солнца (здесь  $e$  – эксцентриситет орбиты Земли). Соответственно, в афелии (начало июля) угловой диаметр Солнца оказывается равным примерно 0.983 от среднего значения.

Можно указать также, что в перигелии увеличивается скорость видимого движения Солнца среди звезд в  $(1 + e)^3 \approx 1.05$  раз. Однако, сама эта скорость есть лишь (1/366) от угловой скорости суточного вращения небесной сферы, направленной в другую сторону. В итоге, дополнительное увеличение длительности восхода Солнца во время перигелия Земли за счет этого фактора составляет лишь немногим больше  $10^{-4}$  от самой длительности, и мы можем не принимать это во внимание.

2) Наклон экватора Земли к эклиптике на угол  $\varepsilon = 23.4^\circ$ . Во время солнцестояний суточный путь Солнца происходит не по большому кругу небесной сферы, а по малому, длина которого составляет  $\cos \varepsilon = 0.918$  от длины большого круга. Более медленное суточное перемещение Солнца приводит к тому, что его восход становится дольше в  $(1/\cos \varepsilon) = 1.090$  раз. Обратим внимание, что этот фактор значительно сильнее эффектов, связанных с эллиптичностью орбиты Земли.

Можно вновь заметить, что в равноденствие годовой путь Солнца направлен под углом  $\varepsilon$  к экватору, и в итоге он в меньшей степени будет замедлять суточный ход Солнца. Это даст дополнительное уменьшение длительности восхода Солнца в равноденствия на  $10^{-3}$  часть, то есть общий фактор увеличения длительности в солнцестояния составит 1.091.

В итоге, самым длительным из четырех предложенных дат восход Солнца будет 21 декабря (D), в зимнее солнцестояние вблизи перигелия, когда оба фактора будут складываться друг с другом. Соответственно, буква D должна быть записана в конце ответа. В летнее солнцестояние (21 июня, В), заход Солнца будет также дольше среднего, так как влияние фактора наклона орбиты, удлиняющего восход, сильнее, чем фактора эллиптичности, которое здесь восход укорачивает.

В оба равноденствия восход Солнца будет происходить быстрее, и разница между ними будет минимальной. Тем не менее, она есть: в весеннее равноденствие (20 марта, А) Земля располагается чуть ближе к точке перигелия, и угловые размеры Солнца совсем немного, но больше, чем в осеннее равноденствие (23 сентября, С), когда восход будет самым коротким по длительности.

Точные значения длительности восхода Солнца на экваторе (2022 год) приведены в таблице:

	Дата	Угловой диаметр Солнца, "	Суточное движение Солнца, "/с	Длительность восхода, с
A	20 марта	1930.8	15.0031	128.69
B	21 июня	1891.7	13.7603	137.48
C	23 сентября	1915.4	15.0036	127.66
D	21 декабря	1953.9	13.7576	142.02

Ответ на задание: C, A, B, D.

**Алгоритм оценивания.** Оценка выставляется, исходя из числа правильных пар в последовательности ответа участника по алгоритму, аналогичному заданию 1.

## ТЕСТОВЫЙ ТУР



### 9/10/11.3. ГАЛИЛЕЕВЫ СПУТНИКИ

**Условие.** Перед Вами фото Юпитера и его четырех галилеевых спутников, сделанное с Земли с экспозицией 4 часа, телескоп удерживал положение Юпитера в кадре в течение всей экспозиции. Во время фото Юпитер находился в перигелии своей орбиты, в западной квадратуре и на эклиптике в небе Земли. Изображение прямое, направление на северный полюс эклиптики соответствует направлению вверх на фото. Расставьте спутники A, B, C, D в порядке возрастания расстояния от Юпитера (т.е. от Ио до Каллисто). Считайте, что спутники движутся по круговым орбитам в плоскости экватора Юпитера.



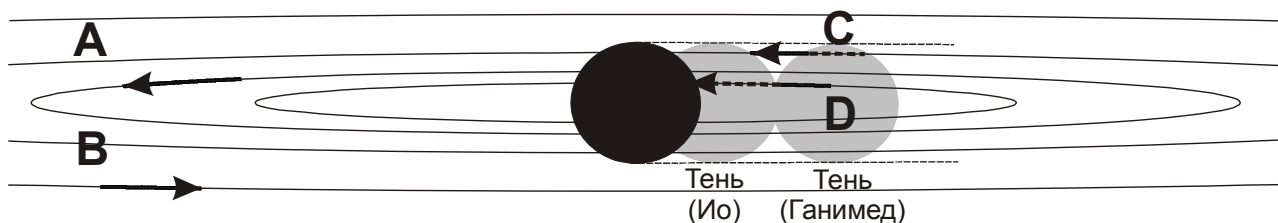
**Решение.** Галилеевы спутники Юпитера существенно отличаются по своему расстоянию от планеты и, как следствие, по скорости движения вокруг нее. Однако по фото нельзя сказать, какой из спутников дальше, так как некоторые спутники могут находиться перед или позади планеты, при этом располагаясь на небе рядом друг с другом. Также нельзя напрямую сравнивать скорости. Во-первых, какой-либо из спутников может находиться вблизи наибольшего удаления от Юпитера на небе, и его видимая угловая скорость уменьшится за счет эффекта проекции. Во-вторых, спутник может попасть в тень планеты, и часть его видимого пути не отразится на фотографии. Учтем, что фото сделано вблизи квадратуры планеты, и положение тени Юпитера на небе может отстоять от положения самого Юпитера, особенно для дальних спутников. Изображение прямое, Солнце находится с востока (слева), тень Юпитера располагается справа от планеты. Весьма вероятно, что спутники C и D с короткими треками находились в тени в течение части экспозиции.

Чтобы решить задание, обратим внимание, что спутники не движутся по небу по одной прямой, то есть плоскость их вращения имеет наклон к линии визирования. Эта плоскость

совпадает с плоскостью экватора Юпитера, наклоненной на  $i=3.13^\circ$  к плоскости эклиптики, содержащей по условию задачи Солнце, Землю и Юпитер. Следовательно, угол между плоскостью орбит спутников и линией визирования не может быть больше этой величины. Видимые пути спутников относительно Юпитера представляют из себя эллипсы. Отношение осей этих эллипсов одинаковое для всех спутников и не превышает  $\sin i = 0.055$ . Умножив эту величину на радиус орбиты Ганимеда, мы получим около 59000 км, что меньше полярного радиуса Юпитера. Таким образом, Ганимед, не говоря уже об Ио и Европе, в своем движении по небу не может пройти мимо Юпитера, обязательно скрываясь за ним и проходя по его диску на каждом обороте.

На рисунке мы видим, что продолжение траектории одного спутника – В – явно проходит вне диска Юпитера. Таким образом, спутник В – Каллисто.

Спутник А в своей наиболее удаленной от Юпитера точке достигает элонгации в 7.8 радиусов Юпитера, что соответствует примерно 560 тыс. км в пространстве. Очевидно, это не может быть Ио, чей радиус орбиты меньше. Но это может быть Европа вблизи эпохи максимальной элонгации, на что в принципе указывает заметная изогнутость видимого трека спутника. Чтобы проверить это и окончательно отождествить спутники, продолжим их видимые траектории к диску Юпитера. Чем дальше спутник от планеты – тем дальше пройдет его путь от ее центра:



Продолжение пути спутника С идет почти по касательной к диску Юпитера, это самый дальний из трех спутников в рассмотрении – Ганимед. В начале экспозиции он располагался в тени Юпитера, затем вышел из нее задолго до захода за диск планеты. Спутник А, как мы указали выше, точно не Ио, следовательно, это Европа. Наконец, ближе всего к центру диска Юпитера проходит продолжение пути спутника D. Это Ио, который погрузился в тень по ходу экспозиции и далее, будучи уже невидимым, зашел за диск планеты.

Итак, ответ на вопрос задания: D, А, С, В.

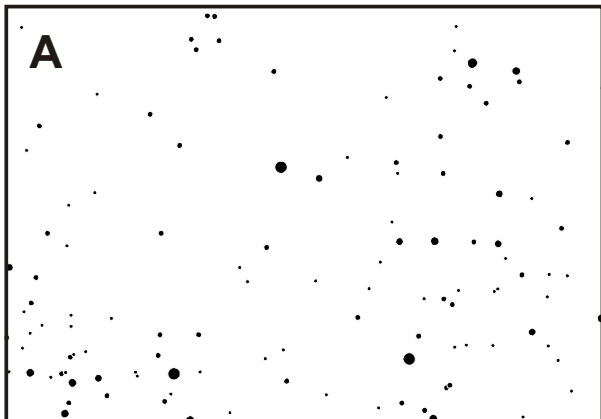
Прототипом ситуации, рассмотренной в задании, является интервал времени от 23ч30м UT 5 августа до 03ч30м UT 6 августа 2023 года.

**Алгоритм оценивания.** Оценка выставляется, исходя из числа правильных пар в последовательности ответа участника по алгоритму, аналогичному заданию 1.

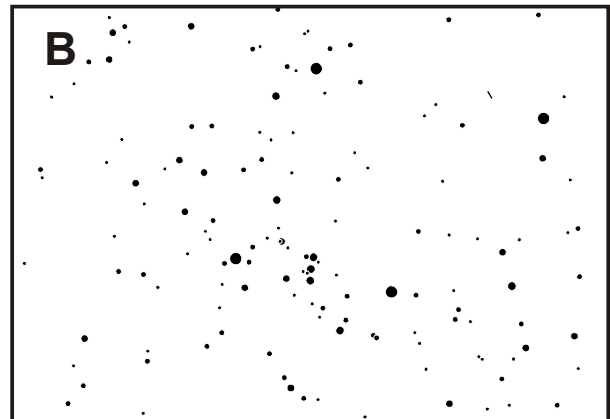


9/10/11.4. НА ОДНОМ МЕРИДИАНЕ

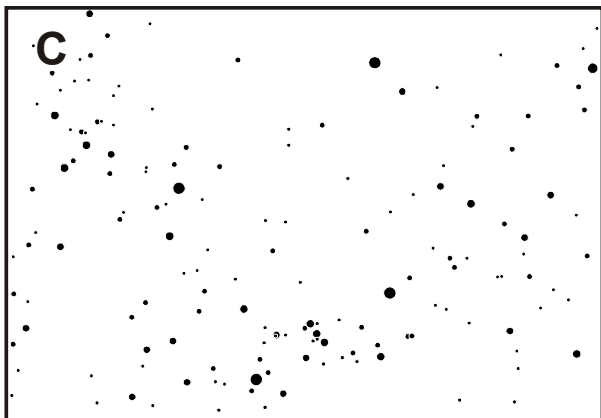
**Условие.** Перед Вами четыре изображения фрагментов звездного неба с указанной линией горизонта. Известно, что все четыре изображения соответствуют разным пунктам на одном и том же меридиане Земли и умещаются в трехчасовой интервал времени. Расставьте изображения в хронологическом порядке, от самого раннего до самого позднего. Атмосферную рефракцию не учитывать.



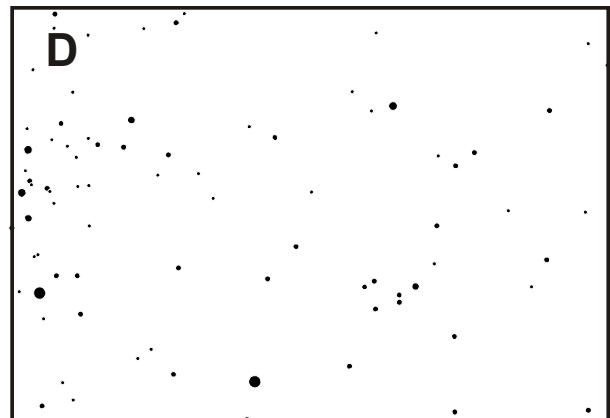
Горизонт



Горизонт



Горизонт



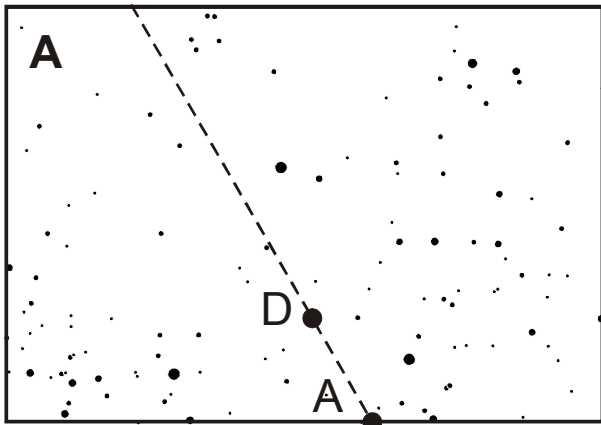
Горизонт

**Решение.** Изображения относятся к разным широтам Земли, и очередность восхода или захода звезд может быть разной на разных широтах. Для того, чтобы понять, какая эта область неба, восходят звезды на горизонте или заходят за него, лучше всего найти на изображениях область небесного экватора – его точки при отсутствии рефракции восходят и заходят одновременно во всех точках одного меридиана Земли. Для этого можно использовать собственные знания звездного неба, а также воспользоваться звездной картой из задания 1.

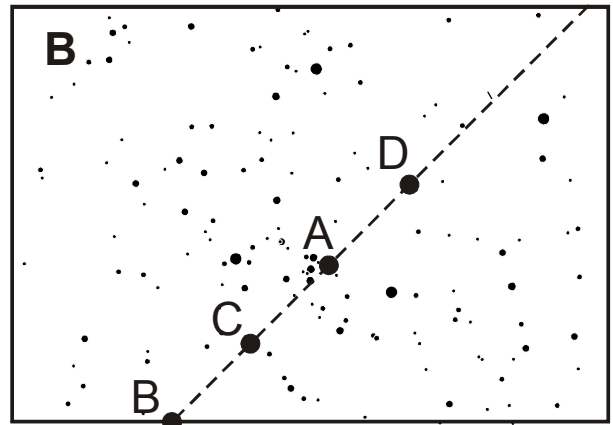
Наиболее примечательная деталь, присутствующая на двух из четырех карт и при этом расположенная у небесного экватора – пояс Ориона, а точнее его самая западная звезда Минтака ( $\delta$  Ориона). Мы видим ее на изображениях В и С. Обратим внимание, что области к западу от пояса Ориона оказываются там ближе к горизонту, то есть мы наблюдаем западную часть неба, и видимые на изображениях созвездия движутся к точке захода. Тем самым, точка пересечения экватора и горизонта ранних изображений не должна быть видна

на более поздних, в то же время аналогичные точки поздних изображений должны быть над горизонтом на ранних.

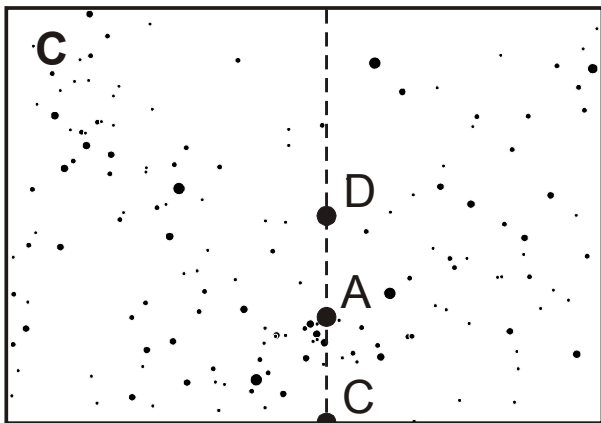
Нам остается примерно восстановить примерное положение экватора на четырех изображениях (еще одним хорошим ориентиром служит созвездие Малого Пса со звездой Прочион) и обозначить точки его пересечения с горизонтом. В итоге, мы получаем следующую картину:



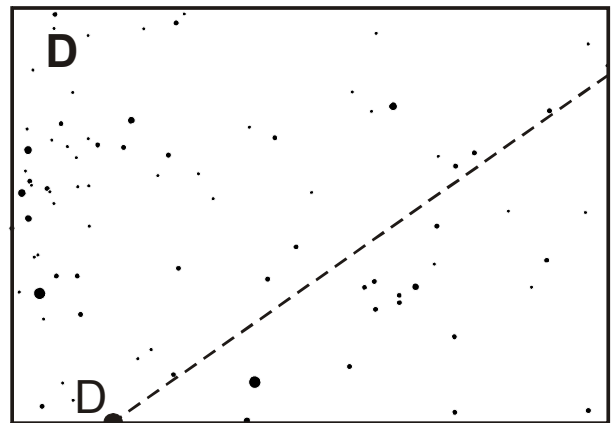
Горизонт



Горизонт



Горизонт



Горизонт

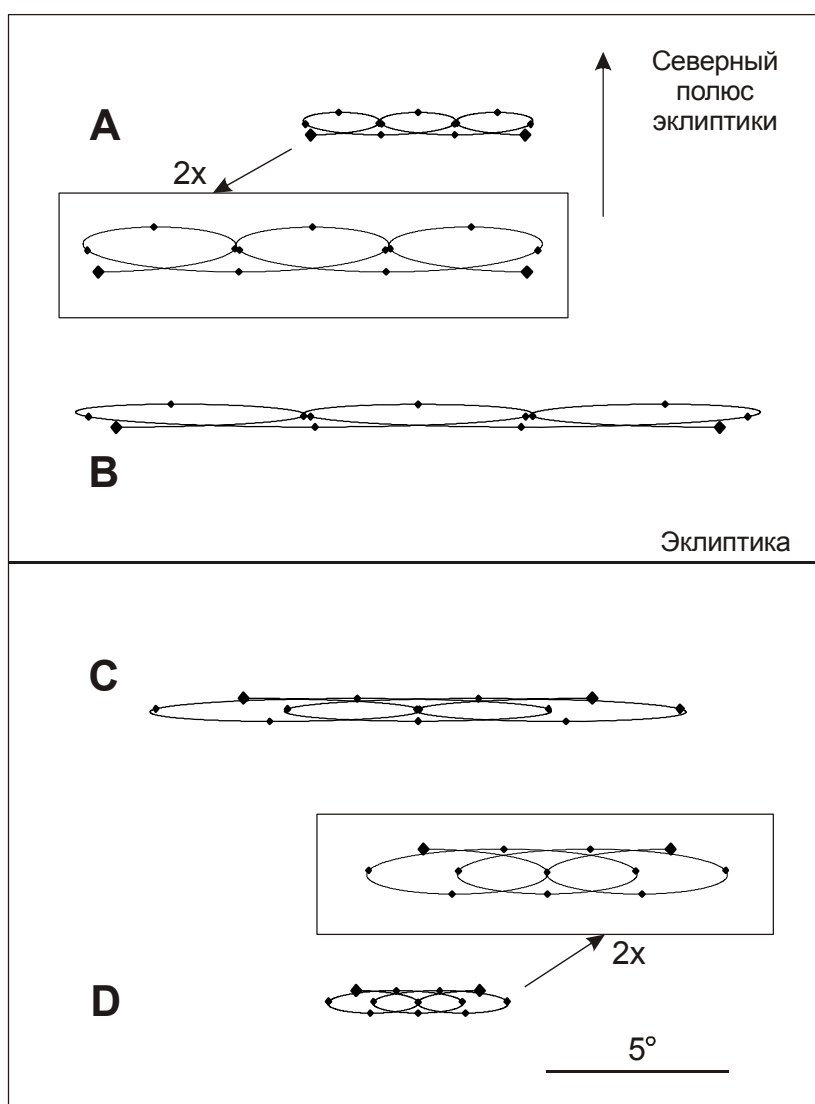
Ответ на задание: B, C, A, D.

**Алгоритм оценивания.** Оценка выставляется, исходя из числа правильных пар в последовательности ответа участника по алгоритму, аналогичному заданию 1.



## 9/10/11.5. ЛЕТЯЩИЕ ВДАЛИ

**Условие.** Перед Вами карта участка неба с треками четырех малых тел Солнечной системы в течение трех лет. Символы соответствуют положениям тел с интервалом в четверть года, символы в начале и конце треков увеличены в размерах. Масштаб карты показан в правом нижнем углу, на врезках показаны треки тел А и D с увеличением в два раза. Известно, что орбиты всех четырех тел эллиптические, в середине данного трехлетнего периода все они оказались в противостоянии с Солнцем и в точках перигелия либо афелия своих орбит. Тела движутся по орбитам в том же направлении, что и Земля. Считая орбиту Земли круговой, расставьте тела А, В, С и D в порядке возрастания их орбитальных периодов, от самого короткого до самого длительного.

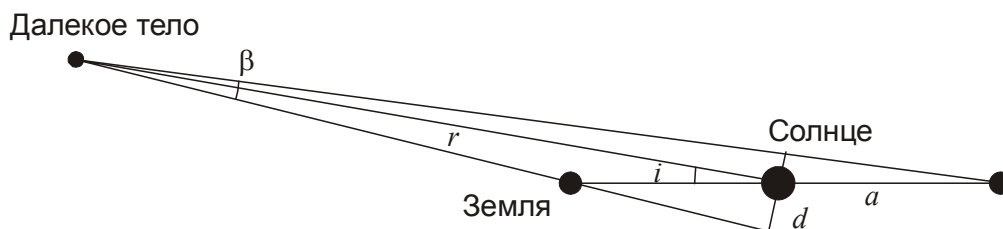


**Решение.** Данных на карте достаточно, чтобы с нужной точностью определить периоды вращения всех четырех тел и расставить их в порядке возрастания. Но мы можем обратить внимание на некоторые качественные факторы, которые дают возможность быстро подойти к правильному ответу.



Сразу отметим, что все четыре тела движутся в небе параллельно эклиптике. Для далеких тел это означает, что их среднее за год удаление от эклиптики в это время практически равно углу наклона их орбиты к плоскости орбиты Земли. По рисунку мы видим, что тела В и С удалены от эклиптики на одинаковый угол ( $4^\circ$ ), а тела А и D втрое дальше от нее (наклонение  $12^\circ$ ).

Еще один примечательный факт: вертикальная толщина петель, описываемых четырьмя телами на небе, практически одинакова. Для далеких тел с не очень большим наклоном орбит эта толщина близка к удвоенному угловому расстоянию от эклиптики  $i$ , деленному на пространственное расстояние от Солнца до тела  $r$ , в чем можно убедиться из рисунка ниже.



Действительно, толщина петли  $\beta \approx d/r = 2ai/r$ , здесь  $a$  – радиус орбиты Земли. По карте мы можем определить угол  $\beta$ , равный  $0.6^\circ$  для всех тел, и далее получить, что тела В и С удалены от Солнца на 13 а.е., а тела А и D втрое дальше, около 40 а.е. от Солнца. Как мы увидим далее, эти цифры весьма близки к действительности. Их же можно получить с помощью более сложных, но более точных измерений годичного параллакса малых тел.

Даже не делая расчетов, мы видим, что тело В за время наблюдений смещается на больший угол по орбите, чем тело С, расположенное на том же расстоянии от Солнца. Следовательно, большая полуось орбиты тела В больше, чем у тела С. Аналогичный вывод мы можем сделать относительно тел А и D.

Далее, у тел А и В соседние петли касаются друг друга, что говорит о пропорциональности угловых скоростей и параллаксов (обратных расстояний), то есть, равенстве линейных орбитальных скоростей этих тел в период наблюдений. Находясь втрое дальше тела В, но двигаясь перпендикулярно радиусу-вектору с той же скоростью, тело А, очевидно, имеет больший период. Аналогично, тело D имеет больший период, чем тело С, у которого вид петель на небе имеет аналогичный вид – касаются петли, разделенные двумя синодическими периодами.

Итак, практически без расчетов мы получили, что тела должны располагаться в порядке возрастания орбитальных периодов как С-В-D-А или С-D-В-А. Наиболее трудной задачей является сравнение периодов тел В и D, однако и здесь можно получить ответ без сложных измерений и вычислений.

Как мы уже говорили, линейные скорости орбитального движения тел А и В практически равны друг другу. Тем не менее, в три раза более далекое тело А, по условию задачи, движется по эллиптической орбите, то есть эта скорость не превышает параболическую скорость для расстояния  $r_A = 3r_B$ . На расстоянии  $r_B$  эта скорость будет меньше параболической, деленной на 3 или, иными словами, меньше круговой скорости, деленной на  $2^{1/2}/3$ . То есть, тело В в момент наблюдений находится в афелии своей орбиты, большая полуось которой меньше  $r_B$ .

Тело D во время наблюдений располагается на расстоянии  $3r_B$ , и каким близким к Солнцу не был бы его перигелий, большая полуось не может быть меньше  $3r_B/2$ , что с уверенностью

превосходит величину большой полуоси тела В. Итак, правильный ответ на вопрос задачи: С, В, D, А.

В заключение приведем истинные параметры орбит тел, использовавшиеся при моделировании условия задания (текущие параметры относятся к середине интервала):

Тело	Текущее расстояние от Солнца, а.е.	Текущее положение на орбите	Наклон орбиты, градусы	Эксцентриситет	Большая полуось орбиты, а.е.	Период обращения, годы
С	13.00	афелий	4.00	0.788	7.281	19.60
В	13.00	афелий	4.00	0.388	9.366	28.66
D	39.00	афелий	12.00	0.361	28.66	153.4
А	39.00	перигелий	12.00	0.837	239.3	3701

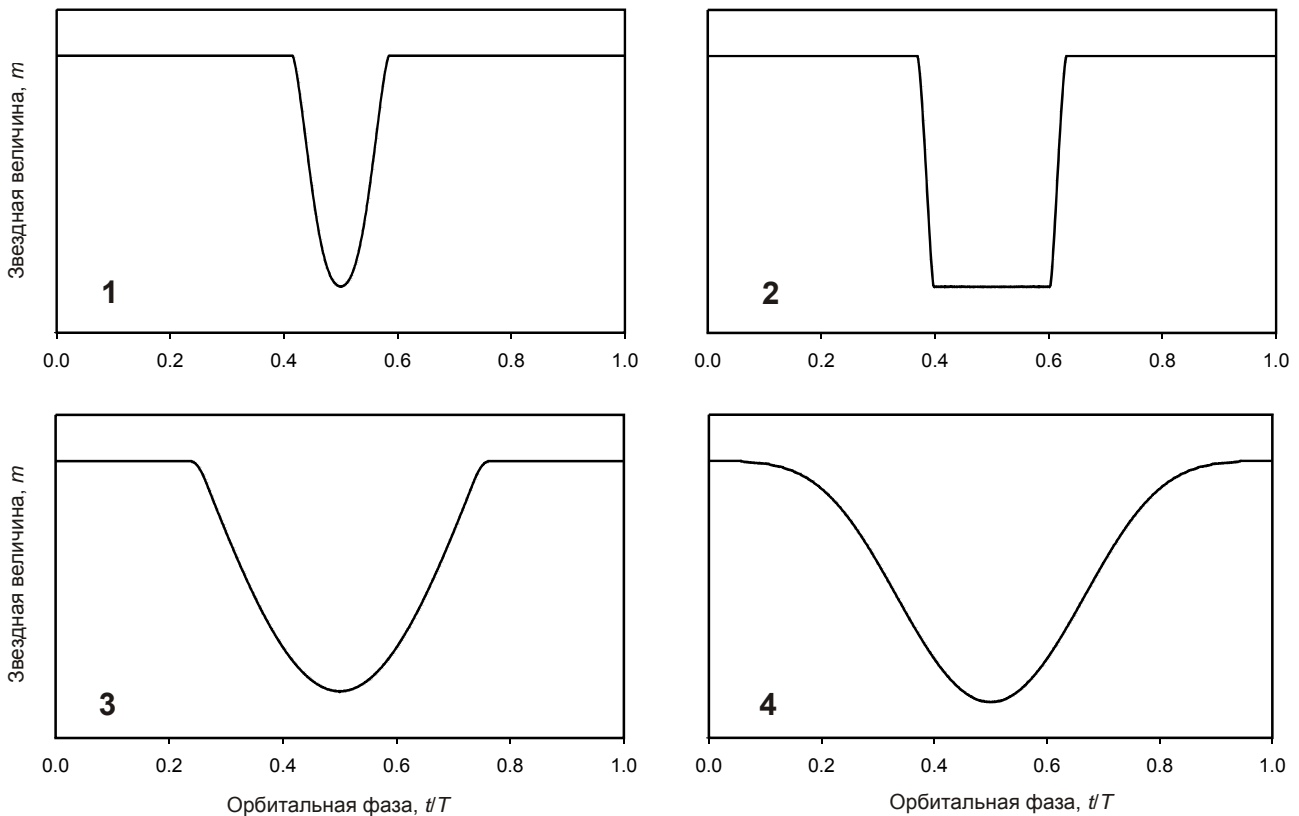
**Алгоритм оценивания.** Оценка выставляется, исходя из числа правильных пар в последовательности ответа участника по алгоритму, аналогичному заданию 1.



## 9/10/11.6. ПЯТНО И ПЛАНЕТА

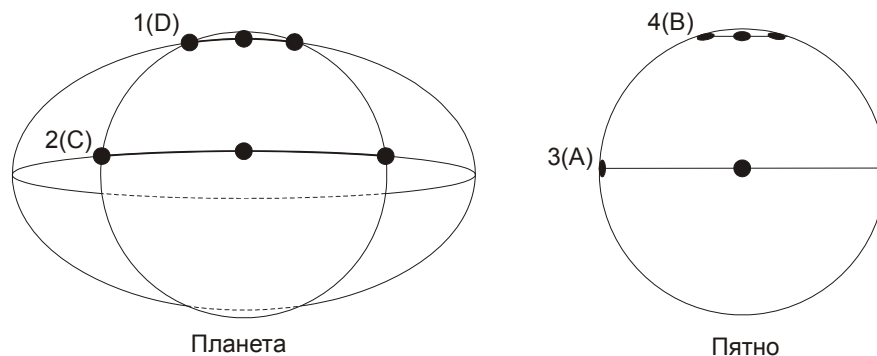
**Условие.** Перед Вами кривые блеска некоторых звезд: с пятном на экваторе (А); с пятном в высоких широтах (В); с планетой, проходящей по центру видимого диска звезды (С); с планетой, проходящей по короткой хорде (D). Расставьте буквы А, В, С и D напротив цифр 1, 2, 3 и 4; известно, что каждая буква встречается в ответе один раз.

По оси абсцисс отложена орбитальная фаза ( $t/T$ , где  $t$  – время,  $T$  – период вращения звезды с пятном или планеты), вертикальный масштаб четырех графиков (звездные величины) может различаться. Пятно имеет круглую форму с постоянным радиусом, звезды и планеты – сферические. Орбиты планет – круговые. Пятно движется только вместе с вращающейся звездой, не перемещаясь по ее поверхности и не меняя размер. Радиус планеты и пятна в несколько раз меньше радиуса звезды. Во всех случаях наблюдатель находится в плоскости экватора звезды. Потемнение звезд к краю не учитывать.



**Решение.** В начале отметим принципиальную разницу между падением блеска звезды, вызванным транзитом планеты и пятна на поверхности. В случае круговой орбиты планета не может находиться на диске звезды более половины орбитального периода, а в реальности, с учетом расстояний между звездами и планетами – существенно меньше. В то же время пятно находится на диске минимум половину периода, если мы наблюдаем звезду со стороны ее экватора. В случае прохождения планеты на кривой блеска возникает «плато», соответствующее периоду ее полного вступления на диск звезды. Если пренебречь потемнением диска звезды к краю, то это плато окажется совершенно плоским. Но его может не быть, если прохождение звезды близко к касательному.

Мы видим, что на графике 3 падение блеска начинается чуть раньше фазы 0.25, а заканчивается после фазы 0.75. Таким образом, мы имеем дело с вращением звезды с пятном. Тот же эффект наблюдается на графике 4, но там прохождение пятна охватывает большую часть осевого периода звезды. Это не может иметь место для экваториального пятна, если оно существенно меньше звезды по радиусу, но возможно для полярного пятна, часть которого долго остается на краю видимого диска звезды, даже когда центр пятна скрывается за лимбом. Итак, график 3 соответствует варианту А, график 4 – варианту В.



Графики 1 и 2 описывают прохождение планеты. В случае экваториального прохождения планеты с радиусом, меньшим радиуса звезды, мы будем иметь широкое плато, что и видно на графике 2. В случае 1 плато не наблюдается, то есть планета не вступает на диск звезды полностью или вступает на очень короткое время. Итак, график 1 соответствует варианту D, график 2 – варианту С.

Ответ на задание: D, C, A, B.

**6. Алгоритм оценивания.** Данное задание не предусматривает расстановку объектов в порядке возрастания или убывания какого-либо параметра, оценка определяется количеством правильных ответов:

Число правильных ответов	Оценка
0	0
1	1
2	3
3	4
4	5

Примечание: если какой-либо ответ встречается дважды, эти ответы не засчитываются, даже если среди них есть правильный. Пример: вместо ответа DCAB участник сформулировал ответ DCAA. В этом случае засчитываются только правильные ответы D и C, оценка составляет 3 балла.



## 9/10.7. ЧЕТЫРЕ РЕФРАКТОРА

**Условие.** В таблице приведены характеристики телескопов-рефракторов А, В, С, D. Расположите их в порядке *улучшения* разрешающей способности при визуальных наблюдениях (от наихудшей к наилучшей). Считать разрешающую способность невооруженного глаза равной  $2'$ , aberrации телескопов и атмосферные помехи не учитывать.

Телескоп	A	B	C	D
Относительное отверстие объектива	1:10	1:10	1:5	1:5
Фокусное расстояние объектива, см	50	100	100	120
Фокусное расстояние окуляра, см	0.5	0.4	0.5	2.0

**Решение.** Разрешающая способность телескопа определяется двумя факторами: пределом разрешения глаза и дифракционным разрешением объектива телескопа. Предельное разрешение человеческого глаза равно

$$\alpha = \alpha_0 / M = \alpha_0 f / F.$$

Здесь  $\alpha_0$  – разрешающая способность невооруженного глаза,  $M$  – увеличение телескопа,  $f$  и  $F$  – фокусные расстояния окуляра и объектива соответственно. Дифракционный предел разрешающей способности определяется диаметром объектива телескопа  $D$ :

$$\beta = 1.22 \lambda / D = 14'' / D \text{ (см)} = 14'' / (S F \text{ (см)})$$

Здесь  $S$  – относительное отверстие объектива. Определим оба фактора и занесем их в таблицу:

Телескоп	A	B	C	D
Относительное отверстие объектива	1:10	1:10	1:5	1:5
Фокусное расстояние объектива, см	50	100	100	120
Фокусное расстояние окуляра, см	0.5	0.4	0.5	2.0
$\alpha, ''$	1.2	0.5	0.6	2.0
$\beta, ''$	2.8	1.4	0.7	0.6
Разрешение телескопа, ''	2.8	1.4	0.7	2.0

Можно считать, что итоговое разрешение определяется большим из этих двух факторов (можно их также складывать аналогично теореме Пифагора, это не изменяет итоговый ответ). Разрешение будет тем лучшим, чем меньше получившееся значение.

Ответ на задание: А, D, В, С.

**7. Алгоритм оценивания.** Оценка выставляется, исходя из числа правильных пар в последовательности ответа участника по алгоритму, аналогичному заданию 1.



## 11.7. РАЗНОЦВЕТНЫЕ ЗВЕЗДЫ

**Условие.** В таблице приведены данные о четырех звездах нашей Галактики: их спектральный класс и показатель цвета  $B - V$ . Расставьте эти звезды в порядке увеличения расстояния, от самой близкой до самой далекой. Считать распределение пыли в Галактике и ее оптические свойства однородными, химический состав четырех звезд – солнечным.

Звезда	A	B	C	D
Спектральный класс	A0	A0	B5	G2
$B - V$	0.0	+1.0	+1.2	+1.4

**Решение.** Получить ответ на вопрос можно, даже не зная значения поглощения в Галактике на единицу расстояния. Первые две звезды соответствуют одному спектральному классу, однако вторая выглядит в небе значительно более красной в результате поглощения. Если предположить, что цвет звезды A вообще не испытал изменений из-за поглощения, что близко к истине, то покраснение звезды B все равно не меньше  $+1.0^m$ . Это больше покраснения звезды D, равного примерно  $+0.7^m$  (показатель цвета Солнца, звезды того же спектрального класса, приведен в справочных данных). Звезда C принадлежит к еще более раннему классу, чем звезда B, тем не менее она выглядит краснее звезды B. Итак, звезды B, C и D должны быть расположены в ответе следующим образом: D, B, C.

Даже если не знать точного показателя цвета для звезды A0 при отсутствии поглощения (он как раз равен  $0.0^m$ ), можно с уверенностью сказать, что звезда A ближе звезды D, покраснение которой составляет  $0.7^m$ . Можно указать, что в противном случае показатель цвета этой звезды без поглощения составил бы  $-0.7^m$ , таких звезд не существует. Итак, звезда A – ближайшая из четырех, окончательный ответ: A, D, B, C.

**Алгоритм оценивания.** Оценка выставляется, исходя из числа правильных пар в последовательности ответа участника по алгоритму, аналогичному заданию 1.



## 9/10/11.8. КОНЕЦ ТЫСЯЧЕЛЕТИЯ

**Условие.** Последние десятилетия XX века ознаменовались открытием новых типов астрономических объектов или объектов с новыми на тот момент физическими свойствами, среди которых:

A: Альбион (15760) – первый (после Плутона) открытый транснептуновый объект;

B: 51 Пегаса B – первая экзопланета. Она была открыта по изменениям лучевой скорости солнцеподобной звезды 51 Пегаса с амплитудой около 50 м/с. Масса планеты оказалась равной около 0.5 массы Юпитера, угол между плоскостью орбиты и лучом зрения считать малым;

C: PSR B1913+16 – пульсар, входящий в двойную систему с другой нейтронной звездой. Обе звезды имеют массы около 1.4 массы Солнца и удалены друг от друга в среднем на 2.5 радиуса Солнца. У этого пульсара было впервые замечено изменение периода, связанное с излучением гравитационных волн;

D: Звезда S2 в среднем в  $0.125''$  от источника Стрелец A\* – черной дыры в центре Галактики (масса 4 млн масс Солнца).

Расставьте эти четыре объекта в порядке возрастания числа их оборотов по своим орбитам, которые наблюдались с момента открытия, от минимального (меньше всего оборотов) к максимальному (больше всего оборотов).

**Решение.** Для ответа на вопрос нам надо оценить периоды обращения всех тел:

A: У транснептунового тела период не меньше периода обращения Нептуна – 165 лет. В реальности, период обращения Альбиона вокруг Солнца составляет 289 лет.

B: Зная соотношение масс звезды и планеты (примерно 2000:1), мы получаем, что линейная скорость планеты около 100 км/с. Это втрое больше орбитальной скорости Земли, то есть планета в 9 раз ближе к своей звезде, чем Земля к Солнцу, и ее период обращения в 27 раз меньше земного года – 13 суток. В реальности, он равен примерно 5 суткам.

C: По массам обеих звезд и расстоянию между ними ( $0.012$  а.е.), мы определяем период обращения:  $8 \cdot 10^{-4}$  года или 7 часов. Истинный период – 8 часов.

D: Центр Галактики удален от нас на 8-8.5 кпк, и угловое расстояние  $0.125''$  соответствует среднему пространственному расстоянию примерно в 1000 а.е. При массе центрального тела в 4 млн масс Солнца мы имеем период обращения около 16 лет. В действительности этот период равен 15.5 годам.

Мы видим, что все периоды значительно отличаются друг от друга, и наших приблизительных оценок достаточно. Мы можем также не учитывать то, что время, прошедшее с момента открытия этих объектов, может быть разным, так как эта разница не превосходит 2 раз. Число оборотов тем больше, чем меньше период.

Ответ на задание: A, D, B, C.

**Алгоритм оценивания.** Оценка выставляется, исходя из числа правильных пар в последовательности ответа участника по алгоритму, аналогичному заданию 1.

**Автор заданий:** О.С. Угольников