

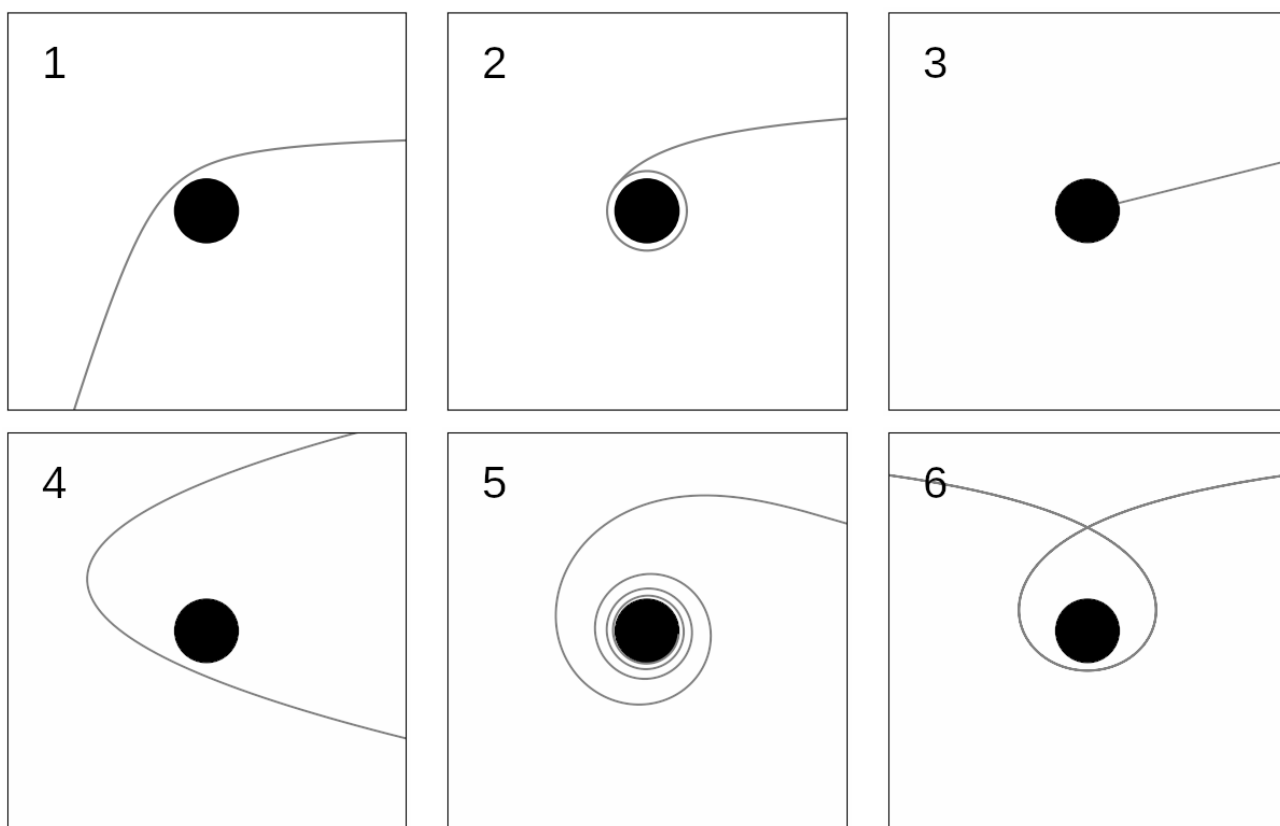
XXXI Всероссийская олимпиада по астрономии
Заключительный этап — 2024 г.
Тестовый тур
Решения и критерии

9.1. ЧУДЕСА НА ВИРАЖАХ

(Е. Н. Фадеев)



Условие. Межзвездный астероид пролетает мимо одиночной звезды главной последовательности. Вам предоставлено шесть вариантов орбит астероида в гравитационном поле этой звезды. Влияние атмосферы звезды, давления излучения, деформация тел и прочие эффекты не учитываются. Плоскость орбиты совпадает с плоскостью рисунка. Запишите в соответствующей клетке «А», если такая орбита возможна, и «В» — если невозможна.



Решение. Траектория астероида в гравитационном поле звезды может быть только одним из конических сечений: эллипсом, гиперболой или параболой. Кроме того, возможен вырожденный случай движения по прямой. Отсюда делаем вывод, что варианты 2, 5 и 6 невозможны. Также надо вспомнить, что звезда должна находиться в фокусе конического сечения, то есть вариант 4 тоже невозможен.

Ответ: А, В, А, В, В, В.

Алгоритм оценивания. Правильный ответ — 5 баллов. Варианты А, В, В, В, В, В и В, В, А, В, В, В — 3 балла. Указаны как правильные ответы 1, 3 и один любой неправильный — 2 балла. Указаны как правильные ответы 1 или 3 и один любой неправильный — 1 балл. В остальных случаях — 0 баллов.

9.2. ВСЁ ВЫШЕ И ВЫШЕ

(В. Б. Игнатьев)



Условие. Расставьте объекты или точки на небесной сфере в порядке возрастания склонения:

- А. Солнце сегодня (1 апреля)
- В. Центр Галактики
- С. Точка весеннего равноденствия
- Д. Марс сегодня (фаза 0.956, утренняя видимость)
- Е. Радиант метеорного потока Геминиды
- Ф. Ближайшая к Солнечной системе звезда

Решение. Точка весеннего равноденствия по определению лежит на небесном экваторе и имеет склонение 0. Примерно за 10 дней до тура был день весеннего равноденствия. Солнце прошло через точку весеннего равноденствия из южной небесной полусферы в северную, то есть его склонение положительно, но невелико, несколько градусов.

Метеорные потоки называют по латинизированным названиям созвездий, в которых находятся их радианты. Радиант Геминид находится в созвездии Близнецов (*лат.* Gemini). На границе Близнецов и Тельца находится точка летнего солнцестояния. Из этого можем сделать вывод, что радиант Геминид имеет склонение около 15° – 25° . В действительности, радиант находится в северной части созвездия и его склонение около 30° .

Центр Галактики, напротив, находится вблизи от точки зимнего солнцестояния в созвездии Стрельца. Значит, его склонение около -25° . При этом центр Галактики восходит на большей части территории нашей страны, чего не скажешь о ближайшей к Солнцу звезде — α Центавра. Значит, она обладает еще меньшим склонением.

Осталось разобраться с Марсом. Эта планета видна по утрам, то есть находится западнее, а значит, и южнее Солнца. Если бы Марс был в квадратуре, то находился бы рядом с центром Галактики. Определим фазу Марса в квадратуре. Угол Солнце–Марс–Земля равен $\varphi = \arcsin \frac{1}{1.52} \approx 41^\circ$. Тогда фаза равна $\Phi = (1 + \cos \varphi)/2 \approx 0.88$. Эта фаза заметно меньше данной. Делаем вывод, что Марс находится недалеко от Солнца, с небольшим отрицательным склонением.

Правильный ответ: F, B, D, C, A, E.

Алгоритм оценивания. Общая оценка складывается из количества правильных пар в ответе участников. Всего возможных пар из шести объектов — 15, 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 (склонение центра Галактики меньше, чем у Солнца).

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 ААВВ) эта пара оценивается только один раз. Итоговая оценка зависит от числа правильных пар N следующим образом:

N	Баллы	N	Баллы	N	Баллы
0	1*				
1	0	6	1	11	3
2	0	7	2	12	3
3	0	8	2	13	4
4	1	9	2	14	4
5	1	10	3	15	5

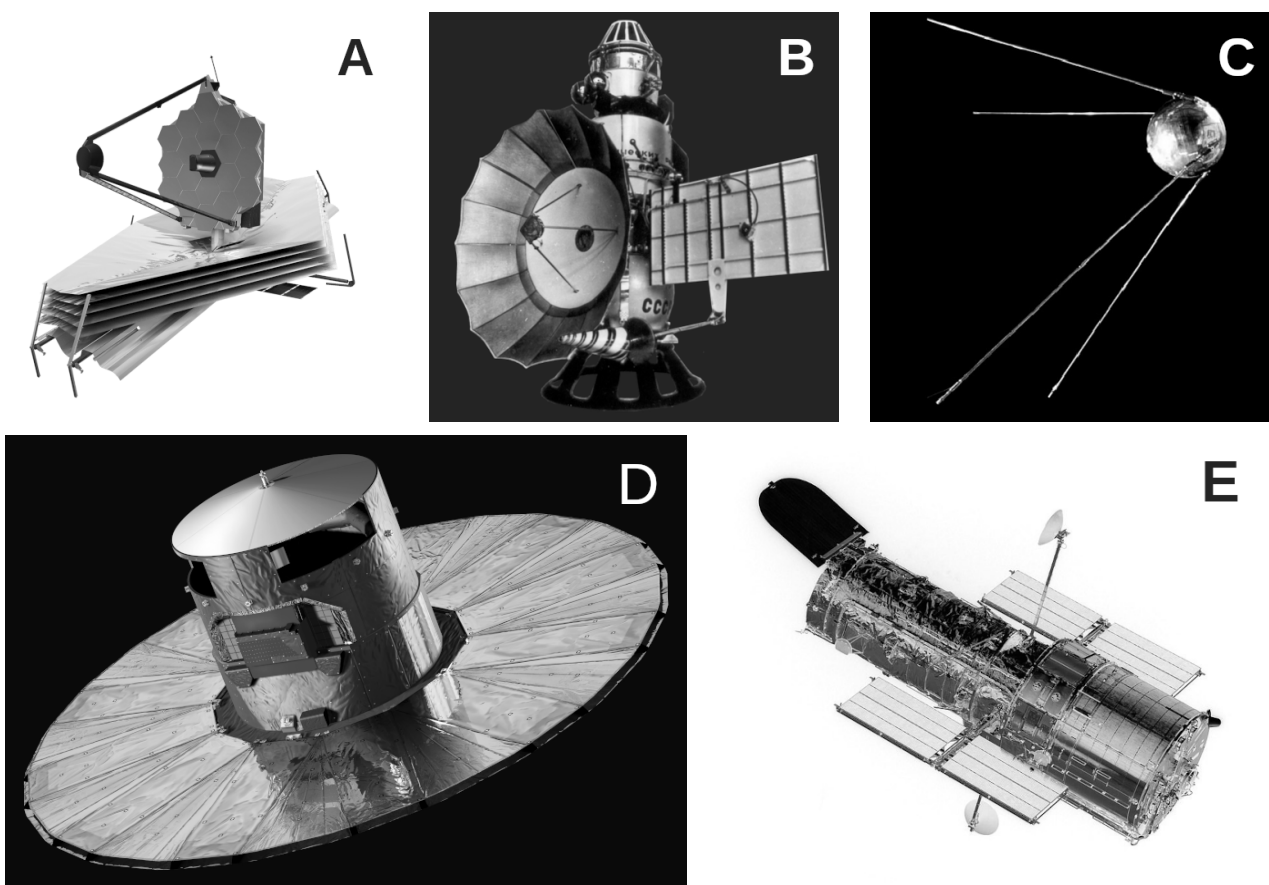
* *Примечание.* «Компенсационный» балл за ответ, написанный в строго обратном порядке, при отсутствии правильных пар, выставляется при условии отсутствия пустых клеток и повторов ответов у участника, то есть только за ответ E-A-C-D-B-F. В других случаях ответ с 0 правильных пар оценивается в 0 баллов.

9.3. ИСТОРИЯ КОСМОНАВТИКИ

(А. В. Веселова)



Условие. Расположите космические аппараты в порядке их запуска с Земли.



Решение. На рисунке А показан телескоп «Джеймс Уэбб» (*англ.* James Webb Space Telescope, JWST). Этот телескоп запущен совсем недавно, в 2021 году, и сейчас активно снабжает нас новой научной информацией. На рисунке В изображён космический аппарат серии «Венера». Такие аппараты исследовали Венеру в конце 60-х — начале 70-х годов XX века. Внимательные участники могут заметить надпись СССР на борту аппарата. На рисунке С представлено изображение первого искусственного спутника Земли. Он был запущен 4 октября 1957 года. На рисунке D показан космический телескоп Gaia. Его запуск был произведен в 2013 году. Рисунок Е показывает телескоп «Хаббл» — пожалуй, самый известный космический телескоп, который уже больше 30 лет поставляет нам важные научные данные, а также прекрасные фотографии. Его запустили в 1990 году.

Ответ: С, В, Е, D, А.

Алгоритм оценивания. Метод оценивания подобен методу в задаче 9.2, но отличается тем, что при пяти упорядочиваемых объектах возможно 10 различных пар. Оценка выставляется исходя из числа правильных пар в соответствии со следующей таблицей.

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

*Примечание: «Компенсационный» балл за ответ, написанный в строго обратном порядке выставляется по тем же правилам, что и в задаче 9.2.

Источники иллюстраций А, Е — Wikipedia, В — [НПО им. С.А.Лавочкина](#), С — [N+1](#), D — [ESA-D. Ducros, 2013](#)

9.4. СТАЦИОНАРНЫЕ СПУТНИКИ

(В. Б. Игнатьев)



Условие. Вокруг многих тел солнечной системы могут двигаться стационарные спутники, подобно геостационарным спутникам Земли. Расставьте планеты в порядке возрастания горизонтального параллакса их стационарных спутников. Сжатием планет пренебречь.

- А. Земля
- В. Марс
- С. Юпитер
- Д. Сатурн
- Е. Уран

Решение. Горизонтальный параллакс спутника p — это угол, под которым виден радиус планеты со спутника. Если R — радиус планеты, а a — радиус орбиты спутника, тогда

$$\sin p = \frac{R}{a}.$$

Радиус орбиты спутника выразим из 3-го закона Кеплера: $a^3 = GMT^2/(2\pi)^2$, где M — масса планеты, T — ее период вращения вокруг собственной оси, G — гравитационная постоянная. Возведем первое уравнение в третью степень и подставим величину a^3 :

$$\sin^3 p = \frac{R^3}{a^3} = \frac{4\pi^2 R^3}{GMT^2} = \frac{\frac{4}{3}\pi R^3}{M} \frac{3\pi}{GT^2} = \frac{3\pi}{G\rho T^2} \sim \frac{1}{\rho T^2}.$$

Здесь ρ — средняя плотность планеты. Поскольку синус — монотонная функция на интервале от 0 до $\pi/2$, то можно сделать вывод, что параллакс спутника тем больше, чем больше величина $(\rho T^2)^{-1}$. Нужные величины приведены в таблицах, и искомые значения можно просто посчитать. Но можно сэкономить время, заметив, например, что периоды Марса и Земли почти одинаковые, тогда как плотность Марса почти в 1.5 раза меньше земной. Следовательно, параллакс спутника Марса будет больше. И периоды, и плотности газовых гигантов меньше, а значит, параллаксы их спутников будут больше. Плотность Урана равна плотности Юпитера при большем периоде. Следовательно, параллакс спутника Урана меньше, чем спутника Юпитера. Точно также, периоды Сатурна и Юпитера примерно равны, но плотность Сатурна вдвое меньше, а значит параллакс его спутника самый большой.

Правильный ответ: А, В, Е, С, D.

Алгоритм оценивания. Идентично задаче 9.3.

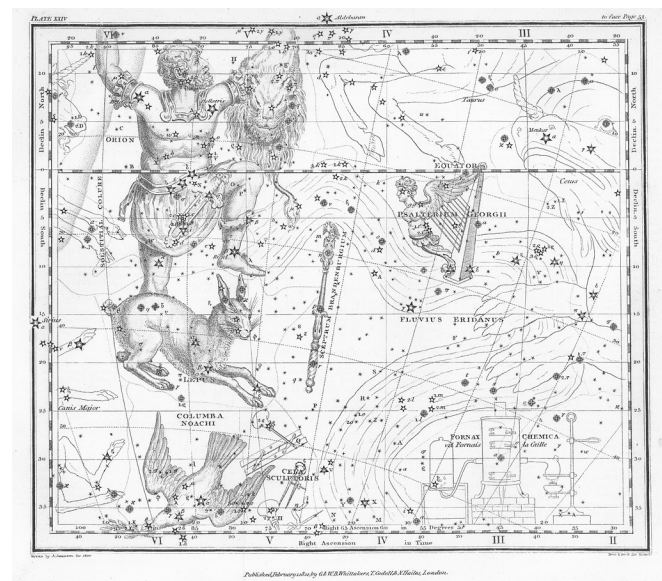
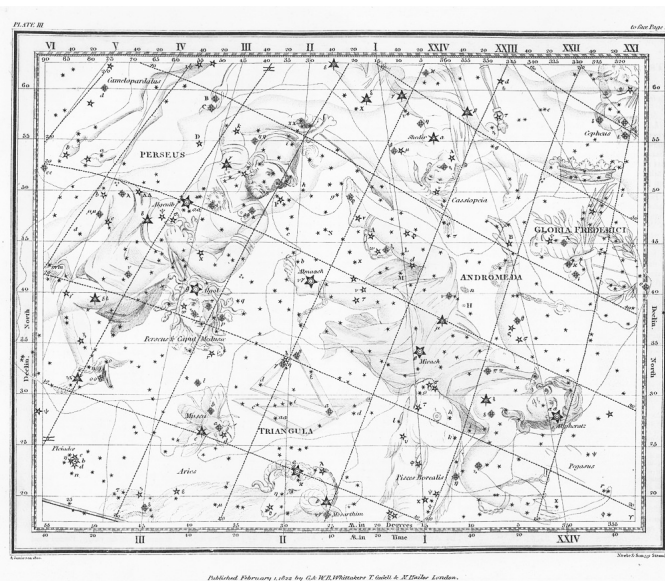
9.5. СТАРЫЙ АТЛАС

(Е. Н. Фадеев)



Условие. На рисунках показаны два листа из звездного атласа Александра Джеймисона, изданного в 1822 году, за 100 лет до того, как Международный астрономический союз утвердил современное разделение небесной сферы на созвездия. В этом атласе можно найти как современные, так и отмененные ныне созвездия. Некоторые созвездия, сохранившиеся на небе, здесь названы несколько иначе, чем мы привыкли. Ниже приведен русский перевод всех присутствующих созвездий. Выберите из списка только отмененные созвездия, т. е. те, которые сейчас нельзя найти на соответствующих местах на небе.

- | | |
|--|---|
| A Aries — Овен | K Gloria Frederichi — Слава Фридриха |
| B Andromeda — Андромеда | L Lepus — Заяц |
| C Caput Medusae — Голова Медузы | M Musca — Муха |
| D Cetus — Кит | N Orion — Орион |
| E Cassiopeia — Кассиопея | O Perseus — Персей |
| F Caela Sculptoria — Инструменты Гравера | P Psalterium Georgii — Лютня Георга |
| G Columba Noachi — Голубь Ноя | R Sceptrum Brandenburgicum —
— Бранденбургский скипетр |
| H Fluvius Eridanus — Река Эридан | S Triangula — Треугольники |
| I Fornax Chemica — Химическая Печь | |



Решение. Сейчас на звездной карте не найти созвездий Голова Медузы, Слава Фридриха, Лютня Георга и Бранденбургский скипетр. Голова Медузы слилась с созвездием Персея. Слава Фридриха, названная в честь прусского короля Фридриха II Великого, объединена с созвездием Андромеды. Названное в честь английского короля Георга III созвездие Лютня Георга вошло в состав созвездий Эридана, Тельца и Кита. Также частью Эридана стал Бранденбургский Скипетр.

Пятое отмененное созвездие — это Муха. Муху можно найти на современной карте, но совершенно в другом месте — южнее созвездия Южный Крест. В том месте, где находится Муха на приведенной карте, сейчас созвездие Овна.

Для порядка разберемся с остальными созвездиями. Овен, Андромеда, Кит, Кассиопея, Заяц,

Орион и Персей сохранили свои названия без изменений. Из Инструментов Гравера вскоре остался только Резец Гравера, а ныне мы знаем это созвездие как просто Резец. Голубь Ноя, Река Эридан и Химическая Печь также сократили свои названия, превратившись в Голубя, Эридан и Печь. Наконец, созвездие Треугольники, которое получилось путем объединения более старых созвездий Большой и Малый Треугольники, превратилось в современное созвездие Треугольник.

Правильный ответ: С, К, М, Р, В.

Алгоритм оценивания. Каждое правильно выбранное созвездие оценивается 1 баллом, неправильное — 0 баллов. Порядок неважен.

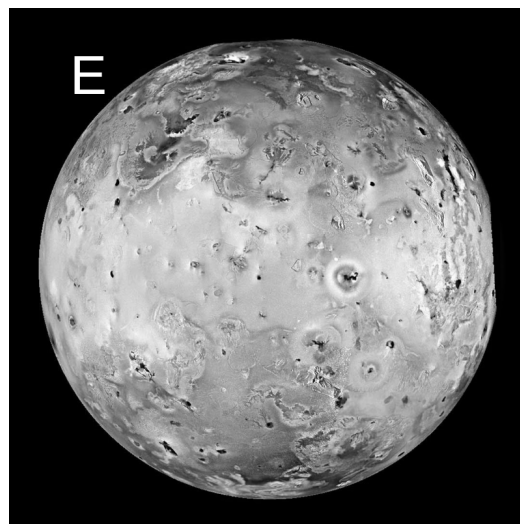
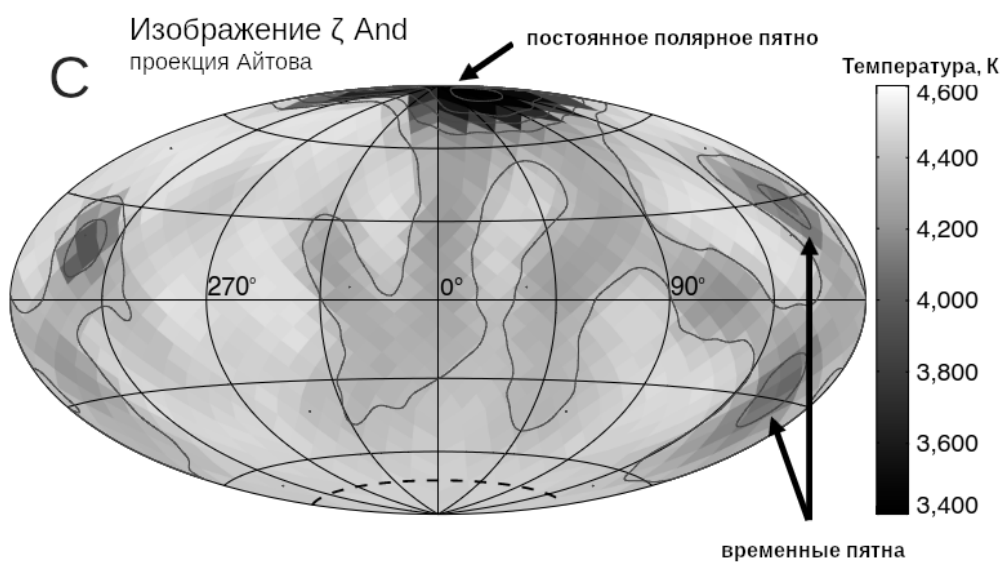
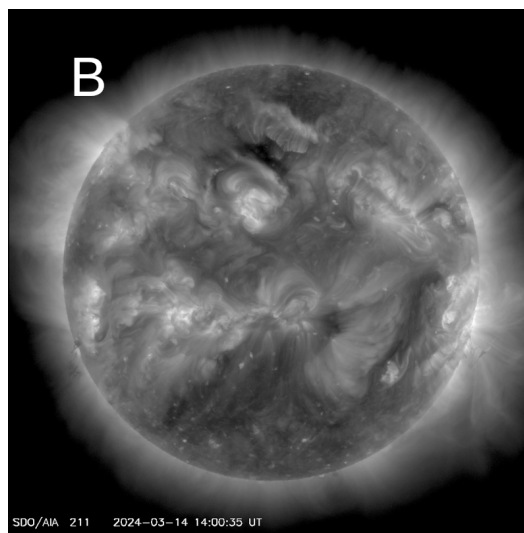
Иллюстрации: [Wikipedia](#)

9.6. ОТ БОЛЬШОГО К МАЛОМУ

(А. В. Веселова)



Условие. Расположите объекты в порядке убывания видимых угловых размеров для наблюдателя на Земле. Если на изображении присутствует несколько объектов, рассматривайте только наиболее крупный.



Решение. На фото А показана Галактика Андромеды (M 31). Ее угловые размеры в несколько раз превышают размеры Луны и составляют около 3° . На изображении В показано Солнце при наблюдении на длине волны 211\AA . Угловые размеры Солнца составляют около 0.5° .

На рисунке С показана карта поверхности звезды ζ Андромеды, полученная методами оптической интерферометрии. Диски звезд крайне проблематично разрешать, из чего уже следует, что угловые размеры объекта крайне малы. Можно сделать простую прикидку: даже если мы наблюдаем звезду-гигант с радиусом 100 радиусов Солнца с расстояния, например, 5 пк (на самом деле, на таком малом расстоянии крупных звезд нет, но оценка от этого станет лишь более надежной), мы получим угловой диаметр в угловых секундах, равный

$$\frac{200 \cdot 7 \cdot 10^5 \text{ км}}{5 \cdot 3 \cdot 10^{13} \text{ км}} \cdot 206265 \approx 0.2''.$$

В реальности звезда заметно меньше (около 16 радиусов Солнца) и дальше (60 пк), поэтому угловые размеры оказываются существенно меньше полученной оценки.

На снимке D показана галактика Водоворот. Она не принадлежит Местной группе галактик и удалена на десятки миллионов световых лет, соответственно ее видимый угловой размер заметно меньше, чем у галактики Андромеды, и уступает размеру Солнца. В действительности угловой размер галактики составляет около $10'$.

На снимке E показан спутник Юпитера Ио. Юпитер достаточно легко можно увидеть как диск в простейшие бинокли. Его угловой размер примерно равен половине угловой минуты. Ио раз в 20 меньше Юпитера, поэтому ее угловой размер должен быть около угловой секунды. Можно эту величину вычислить точнее

$$\frac{2 \cdot 1800 \text{ км}}{5 \cdot 1.5 \cdot 10^8 \text{ км}} \cdot 206265 \approx 1''.$$

За счет того, что Земля может быть на 1 а. е. ближе или дальше от Юпитера и Ио, эта величина немного меняется в течение года. Но и без численной оценки можно было бы вспомнить, что в отличие от далеких звезд диск Ио могут разрешить современные большие любительские телескопы. В то же время объекты каталога Мессье сразу открывались как протяженные, а разрешить спутники Юпитер удалось далеко не сразу.

Правильный ответ: А, В, D, E, С.

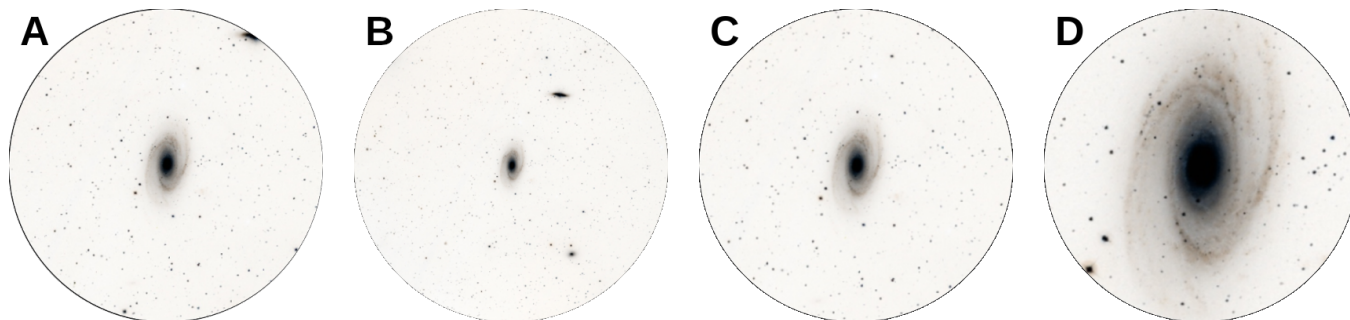
Алгоритм оценивания. Идентично задаче 9.3.

Иллюстрации: А, D — Wikipedia, В — [Solar Dynamics Observatory](#), С — [Roettenbacher et al](#), E — [The Galileo Project, JPL, NASA](#)



9.7. О ВАЖНОСТИ ЖУРНАЛА НАБЛЮДЕНИЙ (Е. Н. Фадеев)

Условие. Два астронома-любителя вели наблюдение одного и того же объекта с помощью телескопов с объективами одного диаметра, но разными фокусными расстояниями ($q_1 = 550$ мм, $q_2 = 1000$ мм). У них был один набор окуляров на двоих с фокусными расстояниями $p_1 = 7$ мм, $p_2 = 12$ мм, $p_3 = 19$ мм и $p_4 = 25$ мм. Поле зрения всех окуляров одинаковое. Вам даны четыре негативных изображения, которые астрономы могли увидеть в свои телескопы. Соотнесите каждое изображение с парой объектив–окуляр.



Решение. Изображения отличаются только увеличением, которое вычисляется по формуле $\Gamma = F/f$. Определим увеличения для всех комбинаций и поместим результаты в таблицу.

	p_1	p_2	p_3	p_4
q_1	79	46	29	22
q_2	143	83	53	40

Изображение В и D максимально отличаются масштабом. С помощью линейки определяем, что масштаб изображения D больше более чем в 6 раз. При этом максимально и минимально возможные увеличения отличаются как раз в 6.5 раз. Из этого делаем вывод, что изображение В соответствует случаю $q_1 = 550$ мм, $p_4 = 25$ мм, а изображение D — $q_2 = 1000$ мм, $p_1 = 7$ мм.

Точно так же определяем отношение масштабов для изображений А и С. Масштаб А больше масштаба В примерно в 1.9 раза и меньше масштаба D в 3.6 раза. Получаем, что самое подходящее увеличение равно 40, что соответствует варианту $p_2 = 1000$ мм, $p_4 = 25$ мм.

Масштаб С больше, чем масштаб В, примерно в 2.1 раза и меньше масштаба D в 3.1 раза. Самое подходящее увеличение равно 46, что соответствует варианту $p_1 = 550$ мм, $p_2 = 12$ мм.

Правильный ответ:

	С		В
D			А

Алгоритм оценивания. Правильно поставленные в свои ячейки буквы D и В оцениваются по 1 баллу. В противном случае — 0 баллов. Буква А в ячейках q_2p_4 или q_1p_2 оценивается 1 баллом. Буква С в ячейках q_1p_2 или q_2p_3 оценивается 1 баллом. Если А и С одновременно стоят на позициях q_2p_4 и q_1p_2 , то выставляется дополнительный балл (исключение см. ниже). Если ни одна буква не стоит в своей ячейке (оценка 0), но все четыре расположены в правильном порядке по возрастанию увеличения, то выставляется 1 балл.

Если одна и та же буква появляется в двух ячейках одновременно, то данная буква не учиты-

вается в подсчете результата. Исключение: одновременное появление буквы А в ячейках q_2p_4 и q_1p_2 или буквы С в ячейках q_1p_2 и q_2p_3 . В таком случае выставляется 1 балл за букву, но дополнительный балл не выставляется.

Иллюстрации: [Aladin Sky Atlas](#)