

Содержание

9 10 11.1. Спинеры.....	2
9 10 11.2. Галактическая карусель.....	4
9 10 11.3. Карты звездного неба.....	6
9 10 11.4. Калейдоскоп.....	8
9 10 11.5. Такие разные периоды.....	11
9 10 11.6. Траектории.....	15
9 10 11.7. FAST.....	17

9|10|11.1. Спинеры*В. В. Красоткина*

Вам представлены параллактические эллипсы звёзд для наблюдателя на Сатурне. Направление вверх совпадает с направлением на северный полюс эклиптики. Все траектории даны в одном масштабе. Стрелочкой указано направление наблюдаемого движения звезды. Считайте, что орбита Сатурна круговая и лежит в плоскости эклиптики.

Расставьте звёзды по мере увеличения эклиптической широты β от наименьшего значения до наибольшего.

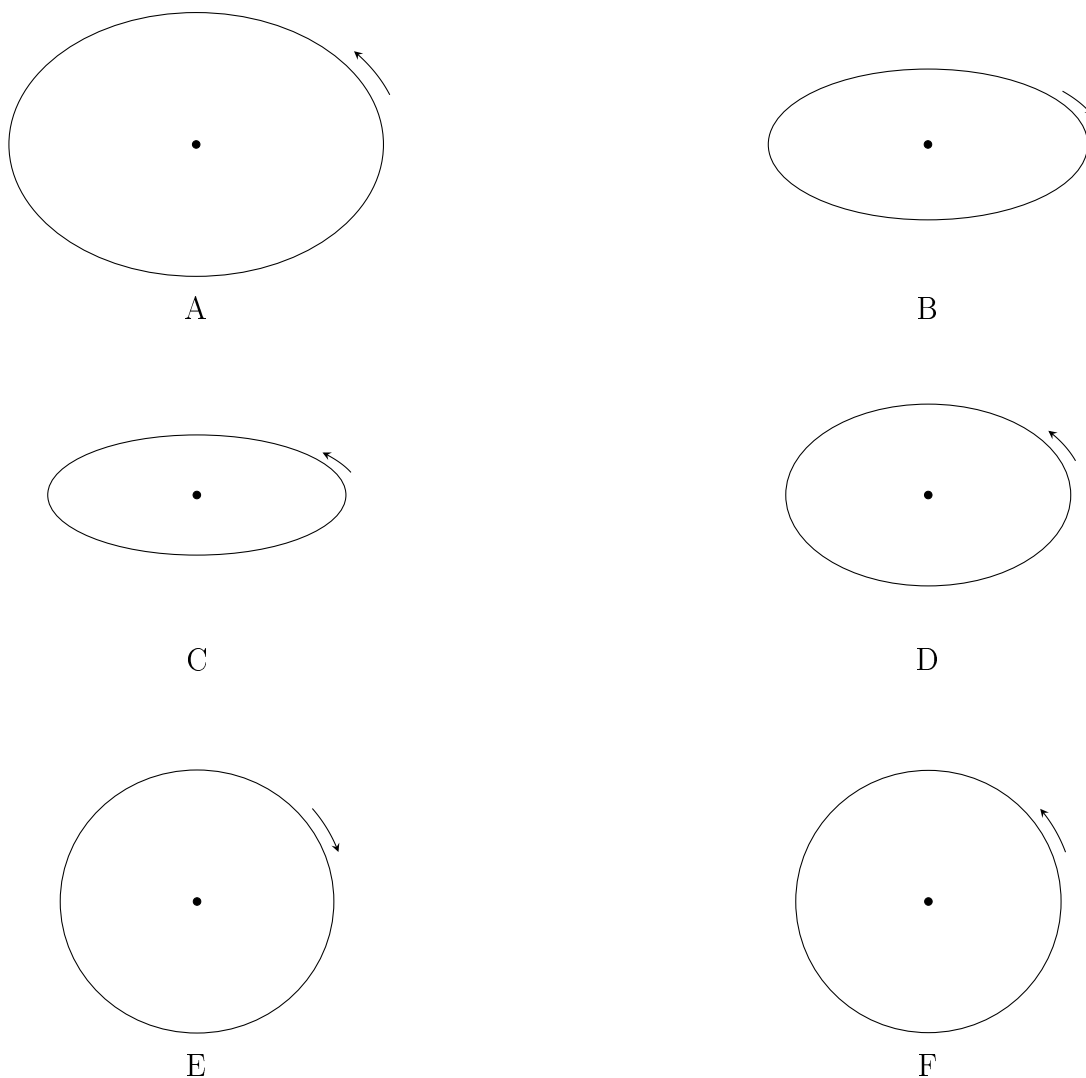


Рис. 1: Наблюдаемые эллипсы

Решение.

Видимые траектории движения звёзд обусловлены параллактическим смещением. Этот эффект даёт смещение звезды по эллипсу, у которого большая полуось равна величине эффекта, а малая полуось отличается от большой множителем $\sin \beta$. При этом малая полуось эллипса смотрит всегда на полюс мира.

Сравнив малые и большие полуоси эллипсов, получаем эклиптическую широту, точнее, её модуль:

$$\sin |\beta| = \frac{b}{a}$$

Знак эклиптической широты можно получить из направления движения по эллипсу. В северном полушарии это происходит по часовой стрелке, а в южном – против.

Таким образом, ответы должны быть следующими: FADCBE

Критерии оценивания.**5**

Пусть:

- n — общее число позиций (букв) в ответе;
- $N_{\max} = \frac{n(n-1)}{2}$ — максимальное количество пар позиций;
- K — число пар, в которых относительный порядок букв в ответе участника совпадает с таковым в правильном ответе (например, если рассматривается пара букв AB , то A должна стоять в ответе участника раньше, чем B , если в правильном ответе A стоит раньше, чем B , или, соответственно наоборот).
- Если буква встречается в ответе несколько раз, то она не учитывается при подсчёте K .

Оценивание производится по следующим правилам:

- Определяется величина

$$f = \frac{K}{N_{\max}}.$$

- Если $f < 0.5$ (то есть менее половины пар расположены корректно), за задачу начисляется 0 баллов.
- Если $f \geq 0.5$, применяется линейное преобразование, переводящее интервал $[0.5, 1]$ в интервал $[0, 5]$:

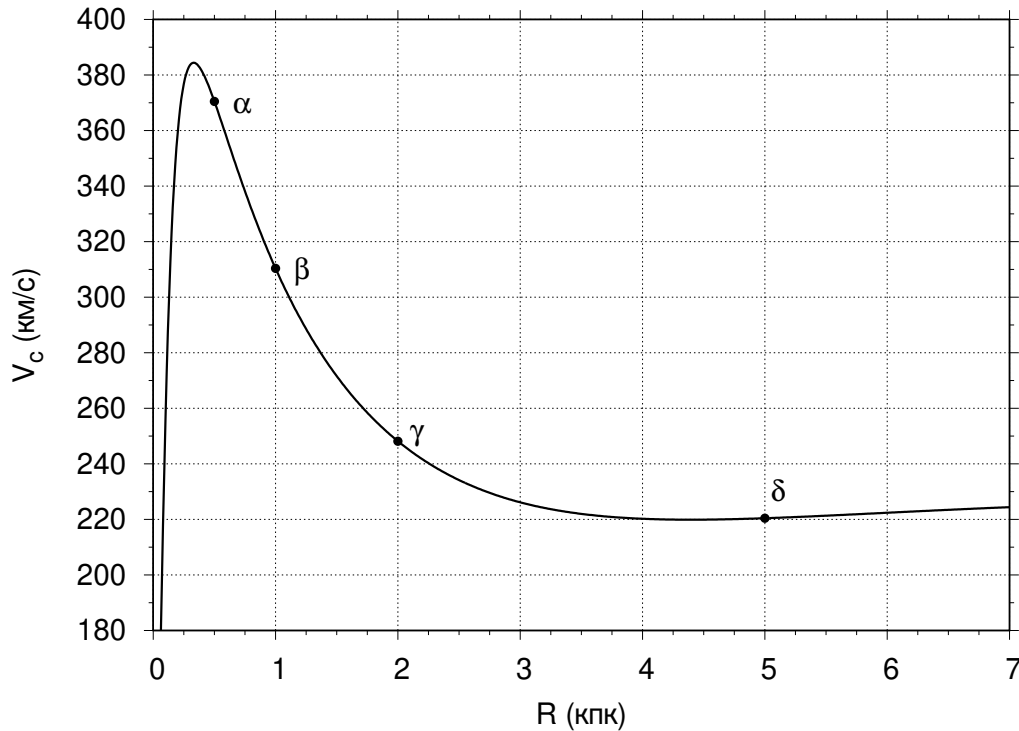
$$\text{Предварительная оценка} = 5 \cdot \left(\frac{f - 0.5}{1 - 0.5} \right).$$

- Полученная оценка округляется по правилам математического округления.
- В случае, если участник записывает абсолютно верный ответ в обратном порядке, ему начисляется 1 балл за задачу.

9|10|11.2. Галактическая карусель

А. В. Веселова

На рисунке показана теоретическая кривая вращения дисковой галактики: зависимость круговой скорости в плоскости диска галактики от расстояния до её центра. Точки отмечают положение нескольких пробных звезд. Предполагая движение объектов диска галактики упорядоченным, расположите пары звезд в порядке возрастания синодического периода.



Варианты ответа:

- A: α и β
- B: β и γ
- C: α и γ
- D: β и δ
- E: γ и δ

Решение.

Орбиты звезд круговые, поэтому понятие синодического периода имеет смысл. Движение звёзд диска упорядоченное, следовательно, звёзды движутся по своим орбитам в одну сторону. Период обращения каждой звезды равен $T_i = \frac{2\pi R_i}{v_i}$, тогда синодический период для пары звёзд (i, j) можно выразить как

$$S_{i,j} = \frac{T_i T_j}{|T_i - T_j|} = \frac{\frac{2\pi R_i}{v_i} \cdot \frac{2\pi R_j}{v_j}}{\left| \frac{2\pi R_i}{v_i} - \frac{2\pi R_j}{v_j} \right|} = 2\pi \cdot \frac{R_i R_j}{|R_i v_j - R_j v_i|}.$$

Заметим, что для решения задачи нам требуется уметь сопоставлять значения синодического периода для разных пар, при этом мы можем пользоваться произвольной системой единиц. Если подставлять значения R в кпк, а v в км/с, синодический период будет измеряться в кпк/км·с. Рассчитаем синодические периоды для указанных в задании пар:

$$A : \frac{S_{\alpha,\beta}}{2\pi} = \frac{0.5 \cdot 1}{|0.5 \cdot 310 - 1 \cdot 370|} = 2.3 \cdot 10^{-3} \text{ кпк/км} \cdot \text{с},$$

$$B : \frac{S_{\beta,\gamma}}{2\pi} = \frac{1 \cdot 2}{|1 \cdot 250 - 2 \cdot 310|} = 5.4 \cdot 10^{-3} \text{ кпк/км} \cdot \text{с},$$

$$C : \frac{S_{\alpha,\gamma}}{2\pi} = \frac{0.5 \cdot 2}{|0.5 \cdot 250 - 2 \cdot 370|} = 1.6 \cdot 10^{-3} \text{ кпк/км} \cdot \text{с},$$

$$D : \frac{S_{\beta,\delta}}{2\pi} = \frac{1 \cdot 5}{|1 \cdot 220 - 5 \cdot 310|} = 3.8 \cdot 10^{-3} \text{ кпк/км} \cdot \text{с}.$$

$$E : \frac{S_{\gamma,\delta}}{2\pi} = \frac{2 \cdot 5}{|2 \cdot 220 - 5 \cdot 250|} = 1.2 \cdot 10^{-2} \text{ кпк/км} \cdot \text{с}.$$

Правильный ответ: CADBE

Критерии оценивания.

5

Пусть:

- n — общее число позиций (букв) в ответе;
- $N_{\max} = \frac{n(n-1)}{2}$ — максимальное количество пар позиций;
- K — число пар, в которых относительный порядок букв в ответе участника совпадает с таковым в правильном ответе (например, если рассматривается пара букв AB , то A должна стоять в ответе участника раньше, чем B , если в правильном ответе A стоит раньше, чем B , или, соответственно наоборот).
- Если буква встречается в ответе несколько раз, то она не учитывается при подсчёте K .

Оценивание производится по следующим правилам:

- Определяется величина

$$f = \frac{K}{N_{\max}}.$$

- Если $f < 0.5$ (то есть менее половины пар расположены корректно), за задачу начисляется 0 баллов.
- Если $f \geq 0.5$, применяется линейное преобразование, переводящее интервал $[0.5, 1]$ в интервал $[0, 5]$:

$$\text{Предварительная оценка} = 5 \cdot \left(\frac{f - 0.5}{1 - 0.5} \right).$$

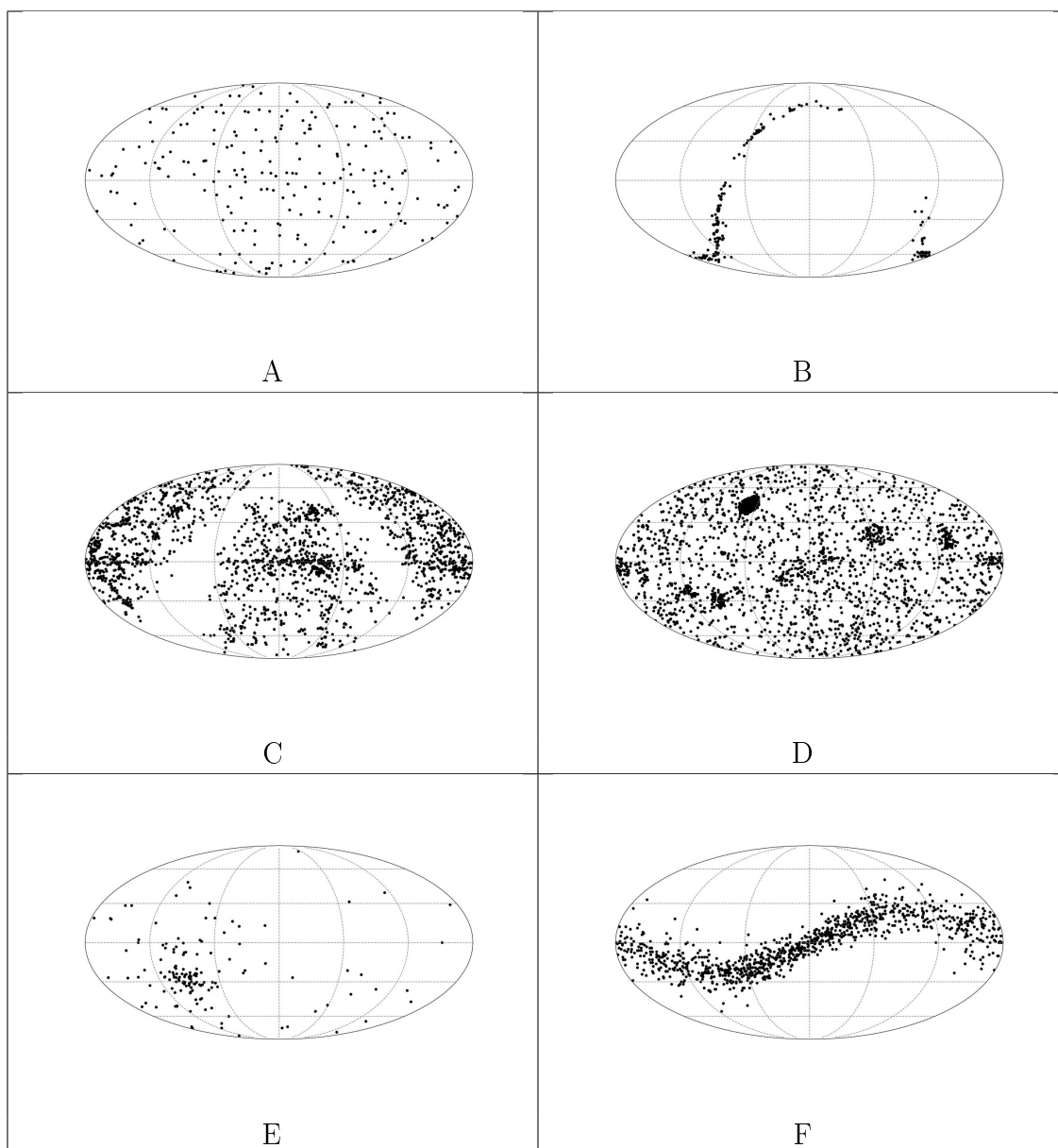
- Полученная оценка округляется по правилам математического округления.
- В случае, если участник записывает абсолютно верный ответ в обратном порядке, ему начисляется 1 балл за задачу.

9|10|11.3. Карты звездного неба.

В.Б. Игнатъев, М.В. Кузнецов, А.В. Ребриков

Вам представлены карты звёздного неба в экваториальной системе координат. В центре каждой карты находится точка с координатами ($\alpha = 12^h$, $\delta = 0^\circ$). На каждой из карт отмечены различные астрофизические объекты. Сопоставьте карты и эти объекты:

1. Шаровые скопления Млечного пути
2. Молодые массивные OB-звёзды
3. Сверхновые
4. Белые карлики
5. Малые тела Солнечной Системы
6. Экзопланеты



Решение.

Для каждой карты стоит искать оси симметрии, центры распределения или понять, что распределение объектов однородное.

График **F** имеет выделенную плоскость. Эта плоскость – плоскость эклиптики. И это объекты Солнечной системы.

Мы карте **B** расположены объекты вдоль плоскости галактического экватора или плоскости диска нашей Галактики Млечный Путь. При этом объекты расположены в виде тонкой линии. Смотрим список объектов и ищем в нём те, которые могут располагаться в нашей Галактике, и притом строго в плоскости галактического диска. В списке вариантов есть молодые массивные звезды, возраст которых не превышает 10 миллионов лет, и они будут видны там же, где и образовались. Остальные объекты не могут иметь столь явной привязки к галактической плоскости.

Посмотрим на график **E**. На нём объекты расположены вокруг некоторой точки, которая имеет прямое восхождение около 18^h , а склонение около -30° . Эти параметры можно понять по сетке на карте. Это примерные координаты центра Галактики. Значит, объекты с этой карты принадлежат нашей Галактике, более-менее сферически симметрично распределены относительно её центра, но не находятся в её диске. Это шаровые скопления.

График **C** – это объекты, которых нет на галактическом экваторе, либо которые не видны из-за межзвёздного поглощения в диске нашей Галактики. Это могут быть только внегалактические объекты. Из предложенного списка внегалактическими могут быть только сверхновые. Поэтому **C** – это сверхновые.

Карта **A** – это белые карлики. Это тусклые объекты, которые видны с расстояний, меньших, чем 100 парсек. Это меньше толщины галактического диска, поэтому для нас они распределены равномерно.

Ну и **D** – это экзопланеты. Для них мы видим равномерное распределение, так как большая часть известных объектов находится в ближайших окрестностях Солнца, выделенную плоскость эклиптики и область в созвездии Лебедя, куда был направлен телескоп Кеплера, открывший большую часть известных экзопланет.

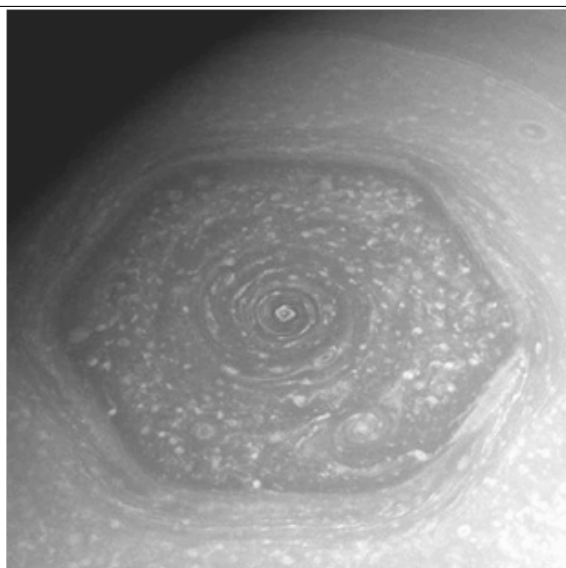
И ответ EBCAFD

Критерии оценивания.**5**

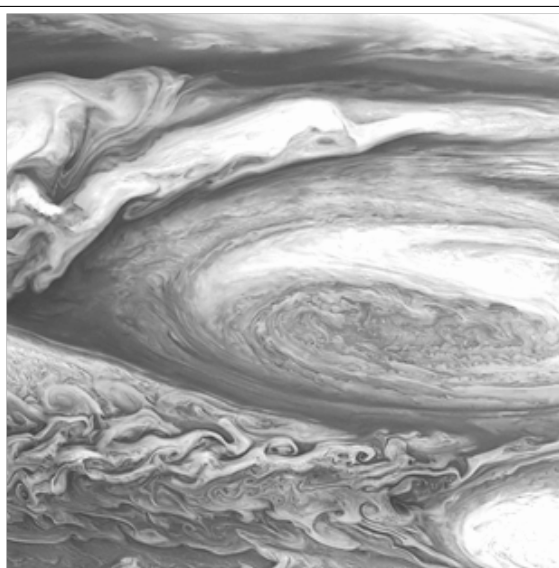
- За каждую букву, поставленную на верное место, начисляется 1 балл.
- Если суммарное число баллов получается больше 5, то окончательная оценка по задаче ограничивается 5 баллами.

9|10|11.4. Калейдоскоп*О.Ю. Голубева*

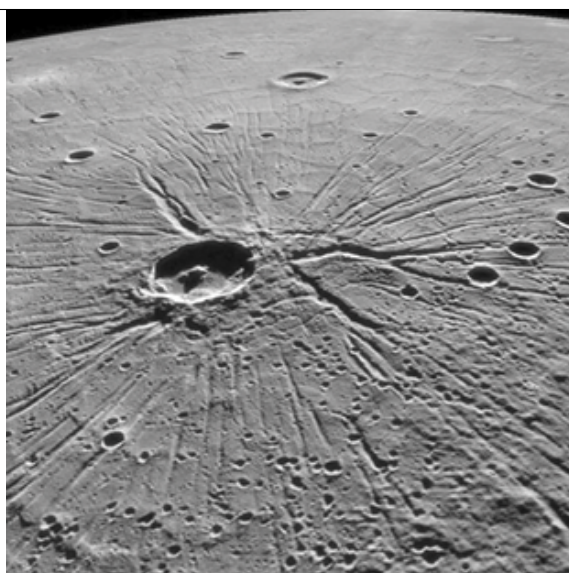
Перед вами изображения 5 элементов поверхности или атмосфер планет Солнечной системы. Расставьте фотографии по мере увеличения средней орбитальной скорости планет, на которых находятся сфотографированные объекты.



A.



B



C.



D



E

Решение.

Для начала идентифицируем объекты. А – Сатурн, В – Юпитер, С – Меркурий, D – Марс, E – Земля. Орбитальная скорость пропорциональна $a^{-0.5}$. Или, чем дальше находится планета, тем меньше её скорость. Следовательно, можно расставить объекты по мере приближения к Солнцу – сначала Сатурн, потом Юпитер, Марс, Земля и последний – Меркурий.

Правильный ответ: ABDEC.

Критерии оценивания.**5**

Пусть:

- n — общее число позиций (букв) в ответе;
- $N_{\max} = \frac{n(n-1)}{2}$ — максимальное количество пар позиций;
- K — число пар, в которых относительный порядок букв в ответе участника совпадает с таковым в правильном ответе (например, если рассматривается пара букв AB , то A должна стоять в ответе участника раньше, чем B , если в правильном ответе A стоит раньше, чем B , или, соответственно наоборот).
- Если буква встречается в ответе несколько раз, то она не учитывается при подсчёте K .

Оценивание производится по следующим правилам:

- Определяется величина

$$f = \frac{K}{N_{\max}}.$$

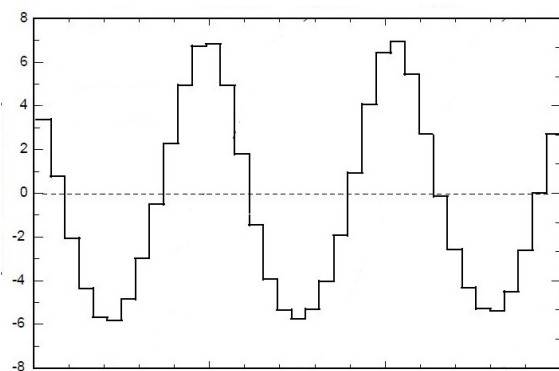
- Если $f < 0.5$ (то есть менее половины пар расположены корректно), за задачу начисляется 0 баллов.
- Если $f \geq 0.5$, применяется линейное преобразование, переводящее интервал $[0.5, 1]$ в интервал $[0, 5]$:

$$\text{Предварительная оценка} = 5 \cdot \left(\frac{f - 0.5}{1 - 0.5} \right).$$

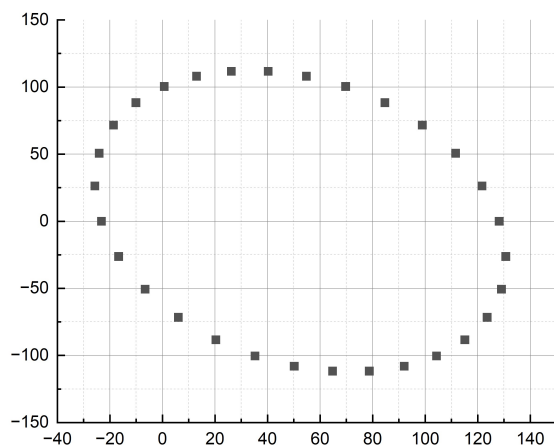
- Полученная оценка округляется по правилам математического округления.
- В случае, если участник записывает абсолютно верный ответ в обратном порядке, ему начисляется 1 балл за задачу.

9|10|11.5. Такие разные периоды*Игнатьев В.Б.*

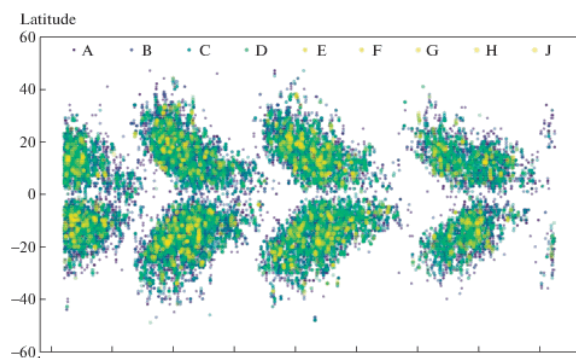
Вам представлены схемы или графики, характеризующие различные астрономические или астрофизические явления. Расставьте их в порядке возрастания периодов событий.



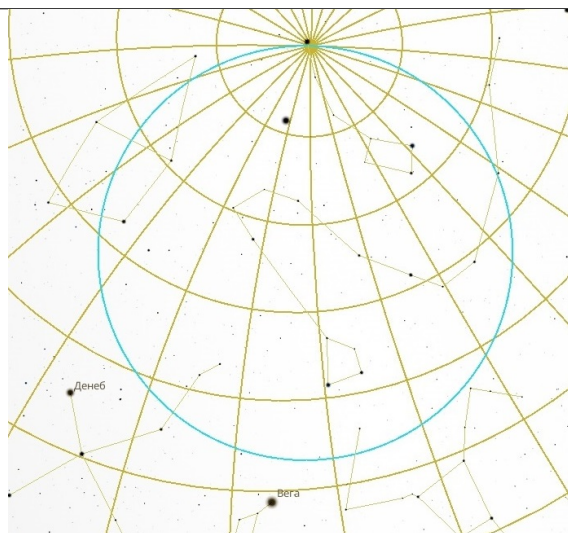
А. Изменение синодического периода Луны с течением времени (в часах). Среднее значение $29^d12^h44^m$



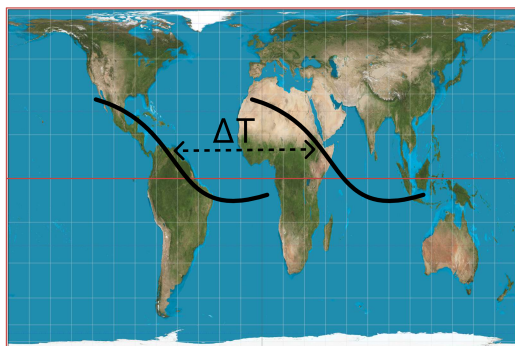
В. Изменение координат Веги



С. Широтная зависимость неких объектов.



Д. Изменение координат полюса мира



Е. Траектории двух солнечных затмений на поверхности Земли

Решение.

Опишем, что происходит на каждом из графиков.

- А. На данном графике можно увидеть изменения синодического периода, связанные с эллиптичностью лунной орбиты. Для нахождения периода этого процесса можно воспользоваться формулой синодического периода, но учесть тот факт, что аномалистический месяц равен 27.55455^d , а средний синодический период равен 29.53059^d . Получим промежуток между двумя последовательными максимальными значениями синодического периода:

$$T = \frac{S \cdot T_a}{S - T_a} \approx 412 \text{ дней}$$

- В. На этой картинке изображен эллипс, связанный с изменением координат Веги. Это не полярные координаты, а какая-то декартова сетка координат. Это параллактический эллипс Веги в эклиптических координатах. Период такого явления – 1 год. То, что здесь представлен эллипс, можно было проверить построением. Причинами такого эллиптического смещения координат могут быть только два эффекта – параллакс или абберрация. Но у обоих эффектов период – один год.
- С. Это «бабочки Маундера» – классический график, показывающий, как меняется широта солнечных пятен со временем. Периодичность этого явления равна периоду солнечной активности, то есть около 11 лет.
- Д. Эта картинка показывает, как перемещается полюс мира по экваториальной сетке координат. В нашу эпоху полюс близок к звезде α Малой Медведицы, которую часто называют Полярной. Период движения полюса мира равен периоду прецессии земной оси – примерно 26 тысяч лет. Это самый большой период из всех предложенных.
- Е. На данной схеме изображены треки тени Луны на поверхности Земли во время солнечного затмения. Видно, что форма траекторий очень похожая, что говорит о том, что затмения происходят примерно в одно и то же календарное время, то есть с разницей в несколько лет. При этом, форма траекторий говорит и о том, что затмения аналогичны по конфигурации светил и узлов лунной орбиты, а отличаются только по времени суток. Затмения смещены примерно на треть оборота Земли. Временная разница между затмениями – Сарос, примерно 18 лет и 10 дней.

Ответ: BACED

Критерии оценивания.**5**

Пусть:

- n — общее число позиций (букв) в ответе;
- $N_{\max} = \frac{n(n-1)}{2}$ — максимальное количество пар позиций;
- K — число пар, в которых относительный порядок букв в ответе участника совпадает с таковым в правильном ответе (например, если рассматривается пара букв AB , то A должна стоять в ответе участника раньше, чем B , если в правильном ответе A стоит раньше, чем B , или, соответственно наоборот).
- Если буква встречается в ответе несколько раз, то она не учитывается при подсчёте K .

Оценивание производится по следующим правилам:

- Определяется величина

$$f = \frac{K}{N_{\max}}.$$

- Если $f < 0.5$ (то есть менее половины пар расположены корректно), за задачу начисляется 0 баллов.
- Если $f \geq 0.5$, применяется линейное преобразование, переводящее интервал $[0.5, 1]$ в интервал $[0, 5]$:

$$\text{Предварительная оценка} = 5 \cdot \left(\frac{f - 0.5}{1 - 0.5} \right).$$

- Полученная оценка округляется по правилам математического округления.
- В случае, если участник записывает абсолютно верный ответ в обратном порядке, ему начисляется 1 балл за задачу.

9|10|11.6. Траектории

Ю.П. Филиппов

На рисунке представлены (в каноническом виде) пять возможных траекторий движения некоторого космического тела M в окрестности Солнца. Сопоставьте каждую траекторию конкретному космическому объекту, представленному в таблице ниже.

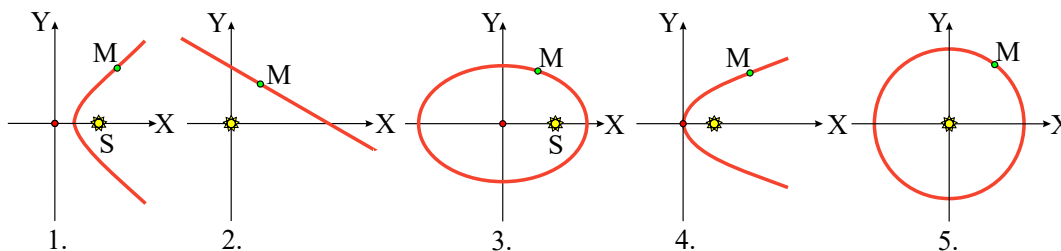


Рис. 2: Траектории объектов космических тел

- А. Венера
- В. Комета C/2024 G3
- С. Эрида
- Д. Звезда Шольца
- Е. Комета 2I/Borisov

Решение.

Прежде всего по внешнему виду определим тип рассматриваемой кривой.

- На рис. 5 представлена окружность, поскольку все её точки равноудалены от начала декартовой системы координат.
- На рис. 3 представлен эллипс, в одном из фокусов которого, согласно первому закону Кеплера, находится Солнце (что и видно из рисунка).
- На рис. 4 представлена парабола, поскольку в каноническом представлении эта кривая обязательно должна пройти через начало координат и должна быть симметричной относительно одной из осей декартовой системы координат. Эксцентриситет параболы равен единице.
- На рис. 1 представлена ветка гиперболы, которая никогда не проходит через начало координат (в каноническом представлении), и при этом ветви кривой асимптотически подходят к двум прямым – директрисам гиперболы, взаимно пересекающимся в начале декартовой системы координат.
- На рис. 2 представлена прямая. Её можно рассматривать как предельный случай гиперболы при $\varepsilon \rightarrow \infty$.

Теперь сопоставим объекты и виды траекторий.

- Как известно, Венера движется вокруг Солнца по орбите, очень близкой к круговой. Значит, данному телу должна соответствовать траектория 5.
- Эрида – это карликовая планета, располагающаяся на дальних рубежах Солнечной системы и движущаяся по сильно вытянутой эллиптической орбите. Значит, данному телу должна соответствовать траектория 3.

- Комета 2I/Borisov – это единственная известная человечеству комета, пришедшая из межзвёздного пространства. Поскольку она не принадлежит изначально Солнечной системе, она движется по гиперболической траектории. Значит, данному телу должна соответствовать траектория 1.
- Звезда Шольца – это маломассивный красный карлик, прошедший сквозь Солнечную систему по прямолинейной траектории около 70 тысяч лет назад. Значит, данному объекту должна соответствовать траектория 2.
- Комета C/2024 G3 – это ярчайшая непериодическая комета 2025 года, движущаяся по параболической траектории с эксцентриситетом, равным единице. Очевидно, данному телу должна соответствовать траектория 4. В принципе, этот объект можно найти методом исключения.

В итоге в ответе должна быть записана следующая последовательность: EDCBA.

Критерии оценивания.

5

- За каждую букву, расположенную на правильном месте, начисляется 1 балл.
- Особое условие для ответов **В** и **Е**. Если буква **В** поставлена на место, где должна стоять **Е** (и/или наоборот), за каждое такое размещение начисляется по 0.5 балла.
- Предварительная оценка равна сумме начисленных баллов.
- Окончательная оценка округляется по правилам математического округления.

Особое условие для ответов **В** и **Е** работает, если участник перепутал траектории параболы и гиперболы.

9|10|11.7. FAST*Е. Н. Фадеев*

Телескоп FAST, расположенный на широте 26° с. ш., может наблюдать на зенитных расстояниях до 40° . Выберите из списка объекты, которые он может наблюдать.

- А. Центр Галактики
- В. Остаток сверхновой 1987А в Большом Магеллановом Облаке
- С. Туманность Андромеды
- Д. Крабовидную Туманность
- Е. Пульсар $B0531 + 21$
- Ф. Юпитер
- Г. Область звездообразования в Орионе
- Н. Туманность Гама в Парусах
- И. Шаровое скопление 47 Тукана
- Ж. Полярную звезду
- К. Галактику в Циркуле

Если правильных ответов меньше, чем полей, то в пустые поля поставьте букву **Х**.

Решение.

Через зенит FASTа проходят объекты со склонением 26° . Значит, для наблюдений ему доступны объекты от склонения $26^\circ - 40^\circ = -14^\circ$ до $26^\circ + 40^\circ = 66^\circ$. Получаем довольно небольшую «слепую» зону в районе северного полюса мира, в которой оказывается несколько околополярных созвездий. Очевидно, что из списка наблюдаемых объектов можно смело вычеркнуть Полярную звезду.

Что касается южных склонений, то объекты с -14° восходят на всей территории России, исключая север Таймыра и ряд островов в Северном Ледовитом океане. Поэтому объекты в таких экзотических для наших широт созвездиях, как Паруса, Тукан и Циркуль также можно не рассматривать. Большое Магелланово Облако тоже находится близко к Южному полюсу мира. Центр Галактики расположен в созвездии Стрельца недалеко от точки зимнего солнцестояния, склонение которой -23.5° , поэтому тоже не подходит.

Туманность Андромеды, очевидно, находится в созвездии Андромеды, которое прекрасно видно в наших широтах и не является околополярным. То же касается созвездия Тельца, в котором находится Крабовидная туманность. Юпитер движется по небу вблизи эклиптики, большая часть которой севернее склонения -14° , поэтому тоже принципиально наблюдаем.

Разберёмся с пульсаром со странным названием. Вспомним, что астрономы любят давать «говорящие» названия объектам в каталогах, в частности, включать координаты в названия. Конкретно у этого пульсара прямое восхождение $5^h 30^m$, а склонение $+21^\circ$ (на эпоху 1950 года), поэтому он тоже может наблюдаться FAST-ом.

Ответ: CDEFG

Критерии оценивания.

5

- За каждый верно выбранный вариант (буквы, которые встречаются и в верном ответе и в ответе участника, без учёта повторений) начисляется 1 балл.
- За каждый неверно выбранный вариант (буквы, которые не встречаются в верном ответе, но при этом встречаются в ответе участника, без учёта повторений) снимается 0.6 баллов.
- Итоговая оценка определяется как сумма начисленных и снятых баллов.
- Полученная оценка округляется по правилам математического округления.