

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.

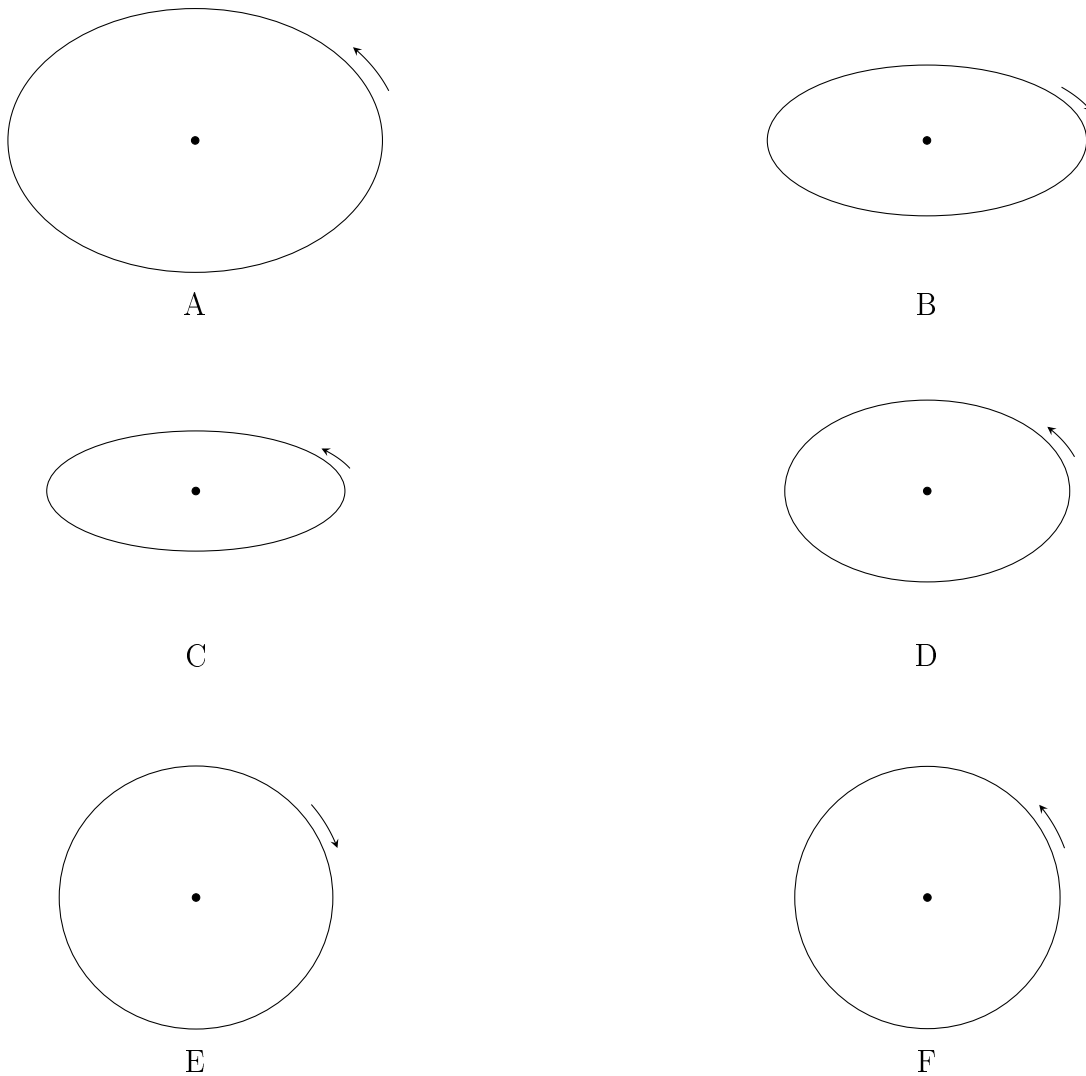


Рис. 1: Наблюдаемые эллипсы

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 $[0, 5]$:

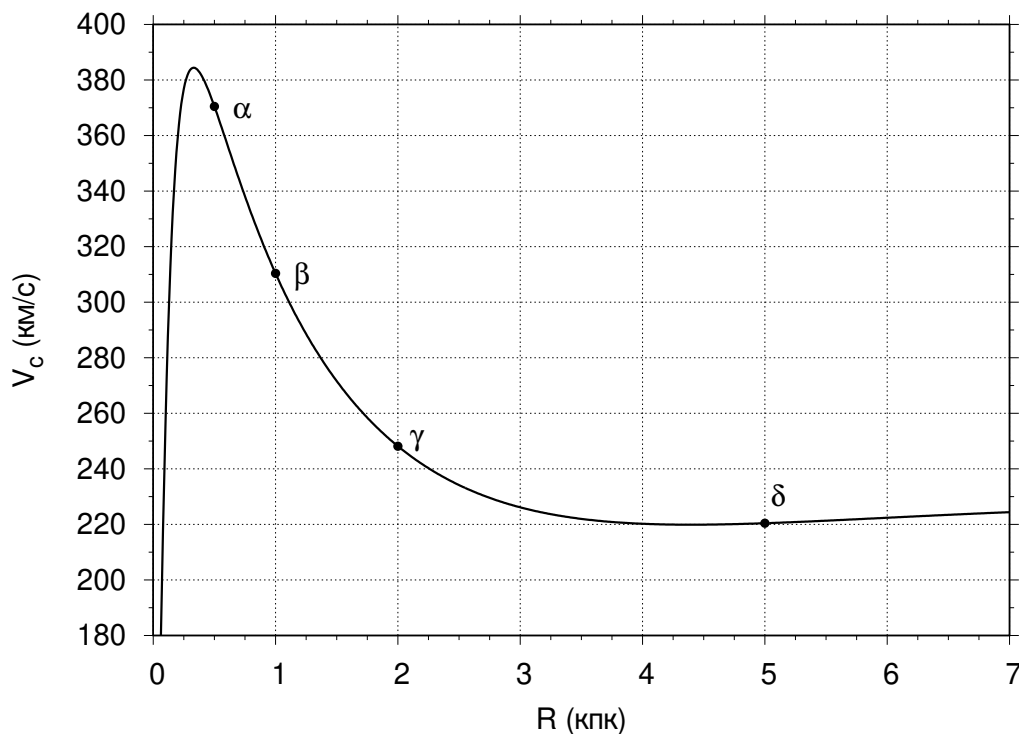
$$\text{Предварительная оценка} = 5 \cdot \left(\frac{f - 0.5}{1 - 0.5} \right).$$

- 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:

А: α и β

В: β и γ

С: 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 $[0, 5]$:

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

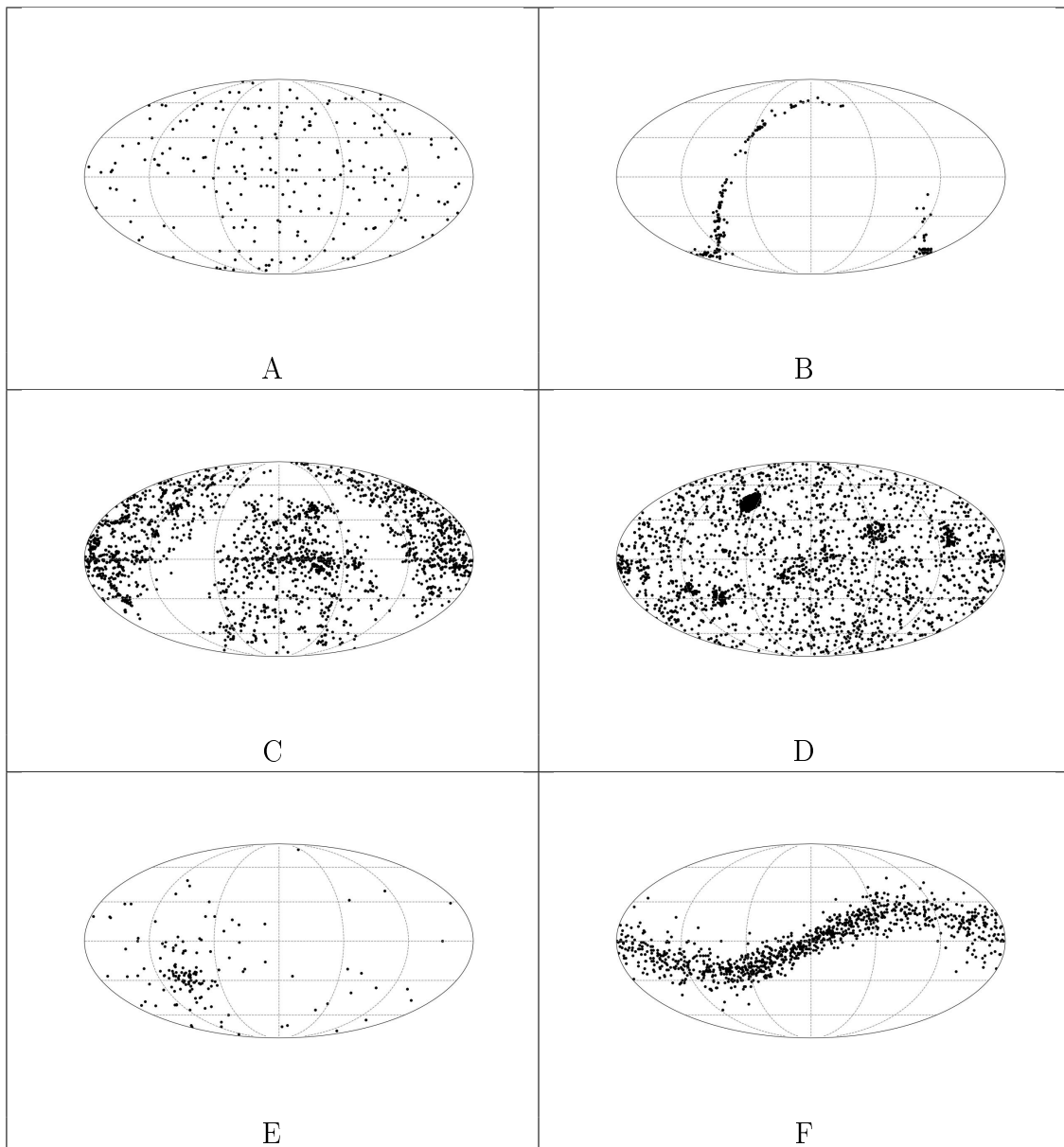
- Полученная оценка округляется по правилам математического округления.
- В случае, если участник записывает абсолютно верный ответ в обратном порядке, ему начисляется 1 балл за задачу.

9|10|11.3. Карты звездного неба.

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

Вам представлены карты звездного 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.

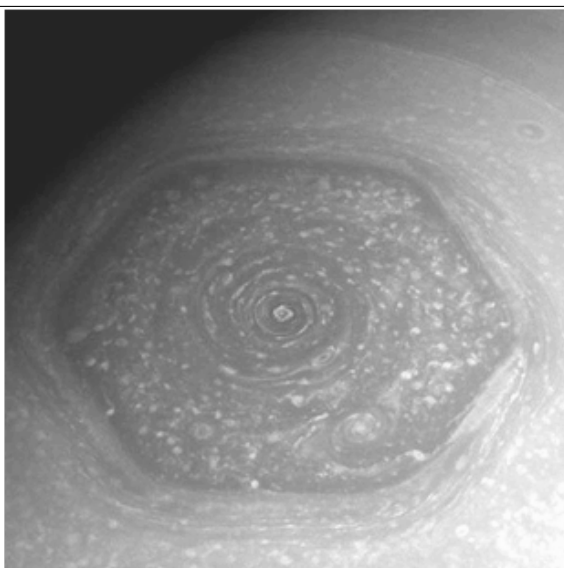
И ответ EBCAFD

Критерии оценивания.**5**

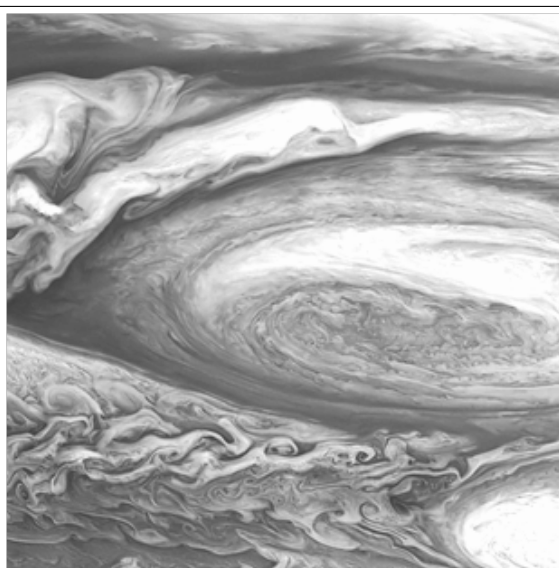
- За каждую букву, поставленную на верное место, начисляется 1 балл.
- Если суммарное число баллов получается больше 5, то окончательная оценка по задаче ограничивается 5 баллами.

9|10|11.4. Калейдоскоп*О.Ю. Голубева*

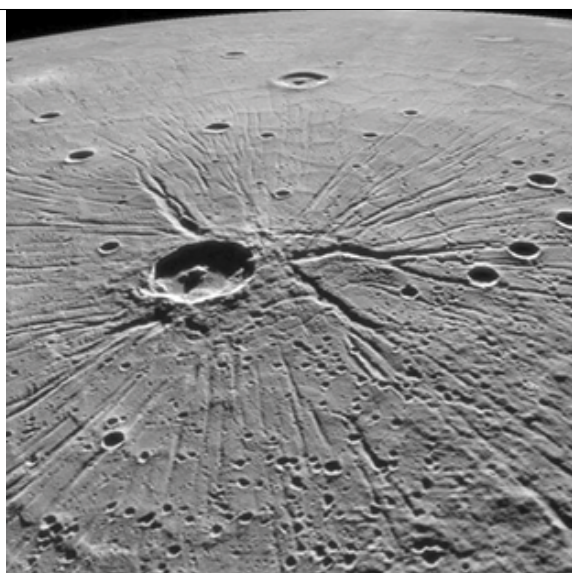
Перед вами изображения 5 элементов поверхности или атмосфер планет Солнечной системы. Расставьте фотографии по мере увеличения средней орбитальной скорости планет, на которых находятся сфотографированные объекты.



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

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

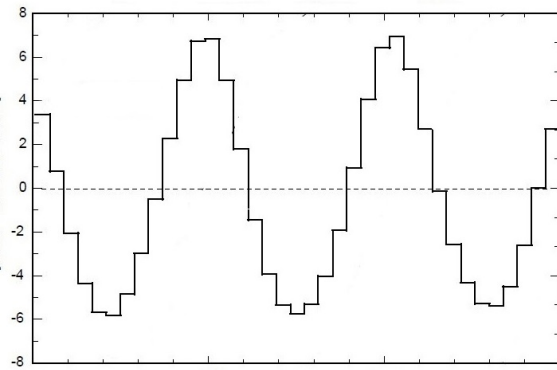
- Если $f < 0.5$ (то есть менее половины пар расположены корректно), за задачу начисляется 0 баллов.
- Если $f \geq 0.5$, применяется линейное преобразование, переводящее интервал $[0.5, 1]$ в интервал $[0, 5]$:

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

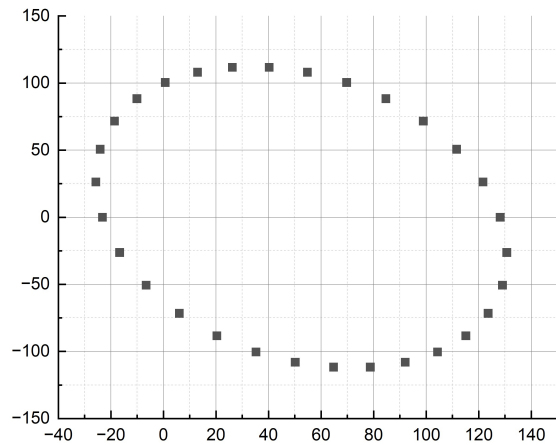
- Полученная оценка округляется по правилам математического округления.
- В случае, если участник записывает абсолютно верный ответ в обратном порядке, ему начисляется 1 балл за задачу.

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

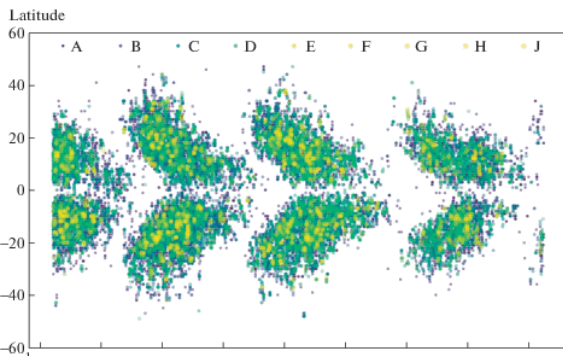
Вам представлены схемы или графики, характеризующие различные астрономические или астрофизические явления. Расставьте их в порядке возрастания периодов событий.



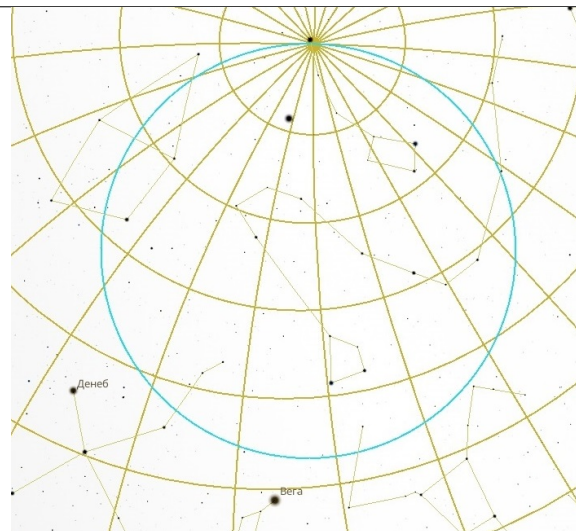
А. Изменение синодического периода Луны с течением времени (в часах). Среднее значение $29^d12^h44^m$



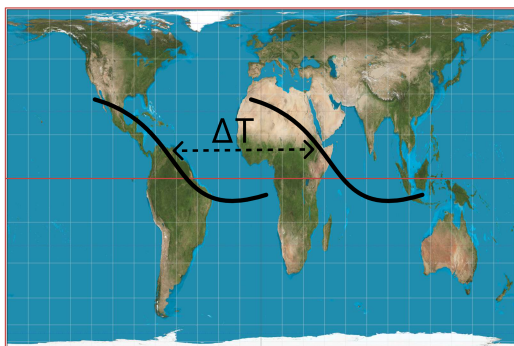
В. Изменение координат Веги



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: ВАСЕД

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.

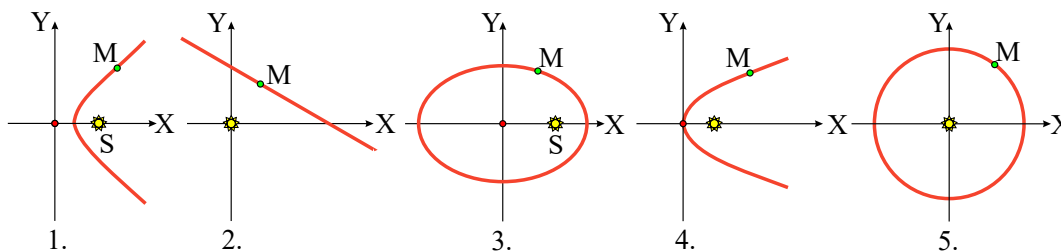


Рис. 2: Траектории объектов космических тел

- A. Венера
- B. Комета C/2024 G3
- C. Эрида
- D. Звезда Шольца
- E. 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 2.

- 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 **X**.

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 $5^{\text{h}} 30^{\text{m}}$, 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.