

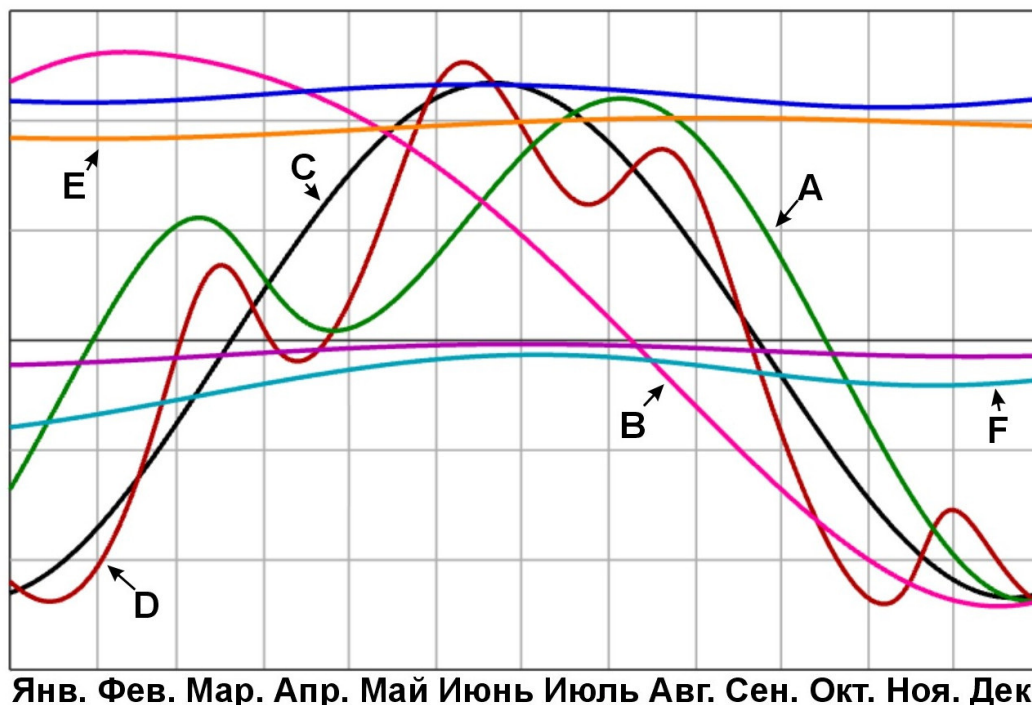
Содержание

11.1. Вверх и вниз	2
11.2. Эксцентричная задача	4
11.3. Цветовая дифференциация	6
11.4. Энергия звезд	8
11.5. Скоро рассвет	9
11.6. Астрономические вехи	13
11.7. Солнечный круг	15

11.1. Вверх и вниз

М.В.Кузнецов

Перед вами графики изменения склонения Солнца и планет в течение 2025 года. Определите, какому из подписанных графиков соответствует какой из перечисленных ниже объектов.



Порядок ответов:

1. Солнце
2. Меркурий
3. Венера
4. Марс
5. Сатурн
6. Уран

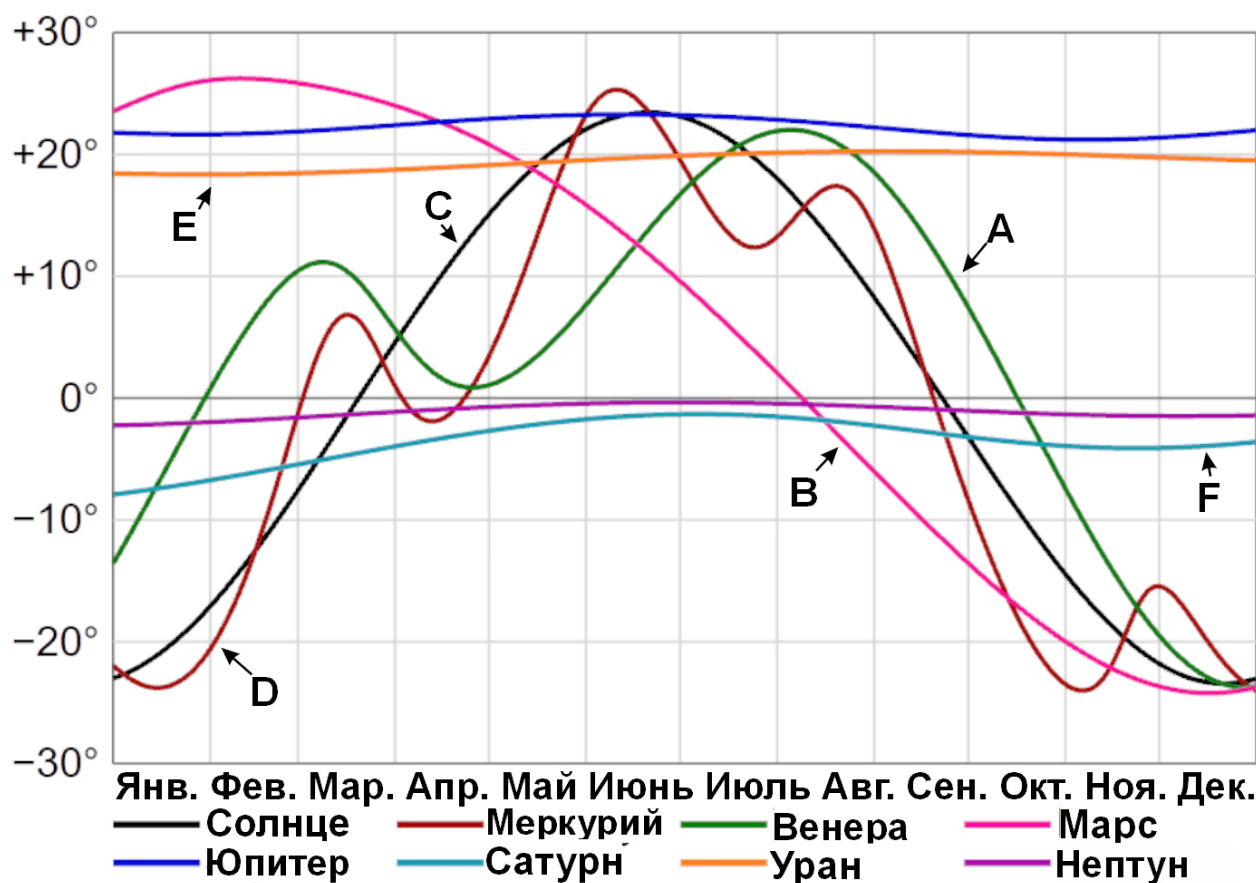
Решение. На оси склонений нет масштаба. Однако в списке есть один объект, склонение которого меняется с периодом, равным одному году — Солнце. Тем самым можно и найти масштаб оси склонений, и однозначно указать соответствие кривой C — это Солнце.

Далее можно заметить, что периоды изменения склонений для каждой из планет связаны с их синодическими периодами. Самый малый период у объекта D — это Меркурий. Второй по частоте A — Венера.

Наоборот, синодический период Марса самый большой, и это объект B. Выбор среди двух оставшихся планет можно сделать, найдя кривую с самыми малыми изменениями — это самая далекая планета из списка, Уран, который тем самым соответствует кривой E. Последний оставшийся вариант — это Сатурн, F.

Еще два графика соответствуют Юпитеру и Нептуну, которые в задаче опознать не требовалось.

Ответ: CDABFE



Критерии оценивания. Каждая клетка ответа сравнивается с буквой верного ответа на той же позиции. Если буквы совпали — 1 первичный балл; иначе — 0. Пустая клетка всегда дает 0. Если в ответе какая-либо буква встречается более одного раза, все ее вхождения дают 0.

Таблица перевода первичного балла в итоговый:

первичный балл	балл за задачу
0	0
1	1
2	2
3	3
4	4
5, 6	5

11.2. Эксцентричная задача

А.В.Веселова

В таблице представлены удельные (в расчете на единицу массы) энергия и момент импульса для нескольких малых тел Солнечной системы. Упорядочите тела по увеличению эксцентриситета их траектории.

Обозначение	E , а. е. ² /год ²	L , а. е. ² /год
A	−4.93	7.54
B	−6.58	10.38
C	−7.89	8.16
D	5.63	13.16
E	13.16	18.49

Решение. Заметим, что в условии численные значения приведены в гауссовой системе единиц «а. е. — год — масса Солнца». В такой системе гравитационный параметр Солнца численно равен $4\pi^2$:

$$\frac{T^2}{a^3} = \frac{4\pi^2}{GM_\odot} \Rightarrow GM_\odot = 4\pi^2 \text{ а. е.}^3/\text{год}^2.$$

Полная удельная энергия астероида, движущегося по кривой второго порядка, составляет в гауссовой системе

$$E = -\frac{GM_\odot}{2a} = -\frac{2\pi^2}{a [\text{а. е.}]} \text{ а. е.}^2/\text{год}^2.$$

Отсюда

$$a = -\frac{2\pi^2}{E}.$$

Запишем выражение для удельного углового момента:

$$L = \sqrt{GM_\odot a(1 - e^2)} = 2\pi \sqrt{a [\text{а. е.}](1 - e^2)} \text{ а. е.}^2/\text{год}.$$

Отсюда

$$e = \sqrt{1 - \frac{L^2}{4\pi^2 a}} = \sqrt{1 + \frac{L^2 E}{8\pi^4}}.$$

Рассчитаем большую полуось и эксцентриситет для всех астероидов, внесем результаты в таблицу.

Обозначение	E , а. е. ² /год ²	L , а. е. ² /год	a , а. е.	e
A	−4.93	7.54	4.0	0.80
B	−6.58	10.38	3.0	0.30
C	−7.89	8.16	2.5	0.57
D	5.63	13.16	−3.5	1.50
E	13.16	18.49	−1.5	2.60

Ответ: BCADE

Критерии оценивания. Из ответа выбираются все упорядоченные пары букв (X, Y) , в которых X записана раньше Y . Пары одинаковых букв не учитываются. Если в ответе одновременно встречаются пары (X, Y) и (Y, X) для каких-то $X \neq Y$, обе такие пары удаляются (ответ сам себе противоречит). Каждой оставшейся паре приписывается вес из таблицы ниже; первичный балл равен сумме весов.

Веса пар (строка задает первую букву пары, столбец — вторую):

	..B	..C	..A	..D	..E
B..	—	1	1	1	1
C..	0	—	1	1	1
A..	0	0	—	1	1
D..	0	0	0	—	1
E..	0	0	0	0	—

Таблица перевода первичного балла в итоговый:

первичный балл	балл за задачу
0, ..., 5	0
6	1
7	2
8	3
9	4
10	5

Если перевернутый ответ участника совпадает с верным ответом, выставляется 1 компенсационный балл.

11.3. Цветовая дифференциация

М.В.Кузнецов

Вам даны несколько звезд. Расставьте их в порядке увеличения характерной температуры фотосферы.

Индекс	Объект
A	Гранатовая звезда Гершеля
B	Проксима Центавра
C	Звезда Вольфа-Райе
D	Сириус A
E	Сириус B

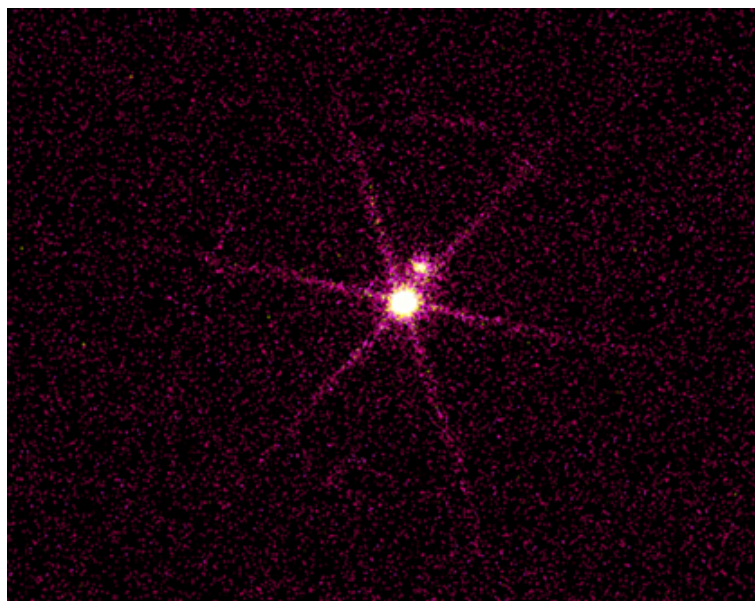
Решение. Вспомним цвет поверхности звезд и другую полезную информацию. Проксима Центавра — ближайший к нам красный карлик, причем довольно позднего спектрального подкласса (M5.5), температура около 3000 К.

Гранатовая звезда Гершеля — одна из наиболее ярких звезд в Галактике, но при этом ее название может ввести в заблуждение: она горячее Проксимы Центавра, ее температура $3500 \div 3700$ К и принадлежит она спектральному классу M2. Звезда находится от нас на расстоянии около 1 кпк в плоскости диска Галактики — межзвездное поглощение велико, показатель цвета $B - V$ заметно больше, чем у Проксимы, поэтому для земного наблюдателя звезда выглядит насыщенно-красной.

Звезды Вольфа-Райе — массивные звезды на поздней стадии эволюции, лишившиеся водородной оболочки. Для таких звезд характерны крайне высокие температуры, более 25 тысяч К. Такой объект — самый высокотемпературный из представленных в списке.

Сириус A — звезда спектрального класса A с температурой около 10 000 К. Поскольку Сириус довольно близок к Солнцу, межзвездное поглощение не вносит существенного воздействия, поэтому видимый цвет неплохо соотносится с истинным.

Сириус B — один из самых известных белых карликов, при этом один из наиболее массивных, с температурой поверхности около 25 000 К. Для лучшего понимания различия нагретости компонентов Сириуса можно посмотреть снимок рентгеновской обсерватории Chandra:



— в мягком рентгеновском диапазоне белый карлик выглядит гораздо ярче нормальной звезды.

Ответ: BADEC

Критерии оценивания. Из ответа выбираются все упорядоченные пары букв (X, Y) , в которых X записана раньше Y . Пары одинаковых букв не учитываются. Если в ответе одновременно встречаются пары (X, Y) и (Y, X) для каких-то $X \neq Y$, обе такие пары удаляются (ответ сам себе противоречит). Каждой оставшейся паре приписывается вес из таблицы ниже; первичный балл равен сумме весов.

Веса пар (строка задает первую букву пары, столбец — вторую):

	..B	..A	..D	..E	..C
B..	—	1	1	1	1
A..	0	—	1	1	1
D..	0	0	—	1	1
E..	0	0	0	—	1
C..	0	0	0	0	—

Таблица перевода первичного балла в итоговый:

первичный балл	балл за задачу
0, ..., 5	0
6	1
7	2
8	3
9	4
10	5

Если перевернутый ответ участника совпадает с верным ответом, выставляется 1 компенсационный балл.

11.4. Энергия звезд

В.Б.Игнатьев

Вам дан список различных механизмов энерговыделения, которые для разных объектов являются основными источниками энергии. Сопоставьте механизмы энерговыделения и объекты.

Индекс	Источник энергии
A	Радиоактивный распад
B	Термоядерный синтез гелия
C	Энергия вращения
D	Гравитационная энергия сжатия
E	Тепловая энергия

Порядок ответов:

1. Протозвезды
2. Оболочки сверхновых типа Ia
3. Белые карлики
4. Радиопульсары
5. Звезды на стадии Главной последовательности

Решение.

Разберем каждый из видов энергии.

Термоядерный синтез гелия в ядре происходит в звездах на стадии Главной последовательности.

Гравитационная энергия является источником излучения на стадии протозвезды.

Радиоактивный распад является источником свечения разлетающейся оболочки сверхновой типа Ia.

Энергия вращения — это источник энергии для радиопульсаров.

Тепловая энергия высвечивается горячими объектами, в которых не идет выделение энергии по другим каналам. В имеющемся списке это белые карлики.

Ответ: DAECB

Критерии оценивания. Каждая клетка ответа сравнивается с буквой верного ответа на той же позиции. Если буквы совпали — 1 первичный балл; иначе — 0. Пустая клетка всегда дает 0. Если в ответе какая-либо буква встречается более одного раза, все ее вхождения дают 0.

Таблица перевода первичного балла в итоговый:

первичный балл	балл за задачу
0	0
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5

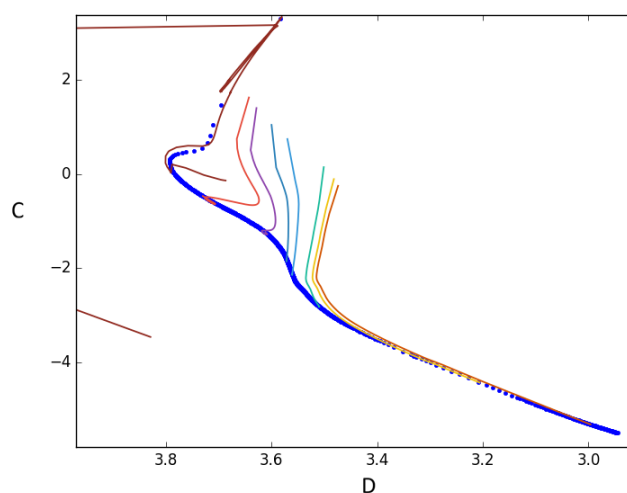
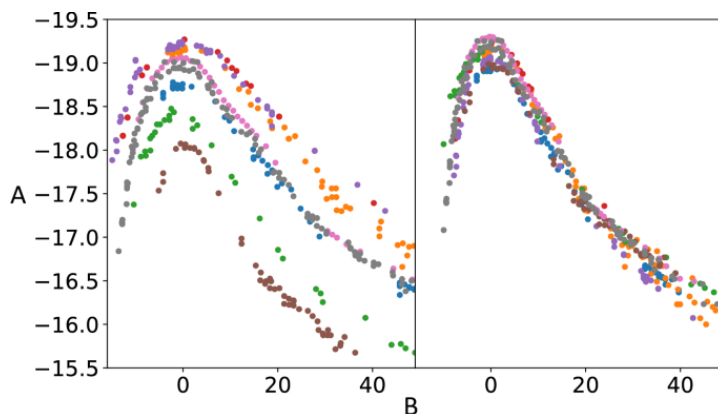
11.5. Скоро рассвет

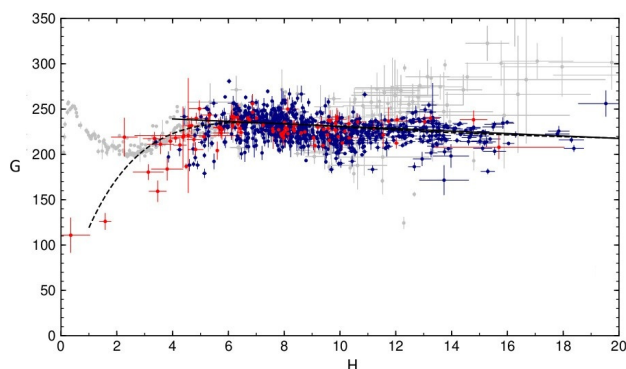
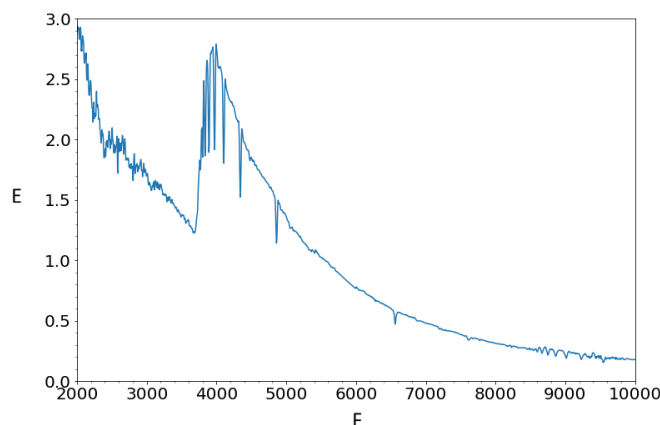
С.Г.Желтоухов

Вам даны (на следующей странице) 4 астрономических графика с потерянными единицами измерения по осям. Восстановите их, учитывая что единицы не могут повторяться.

Порядок ответов:

1. Длина волны, $\text{\AA}$
2. Время, сутки
3. Логарифм эффективной температуры
4. Расстояние, кпк
5. Абсолютная звездная величина
6. Скорость, км/с
7. Логарифм светимости в светимостях Солнца
8. Относительный поток





Решение. Для начала нужно определить, что изображено на графиках. На первом из них показана кривая блеска, и по оси ординат величины около -20 , что похоже на абсолютные величины сверхновых ($A - 5$). Характерный период изменения блеска сверхновых составляет порядка месяцев, откуда получаем $B - 2$.

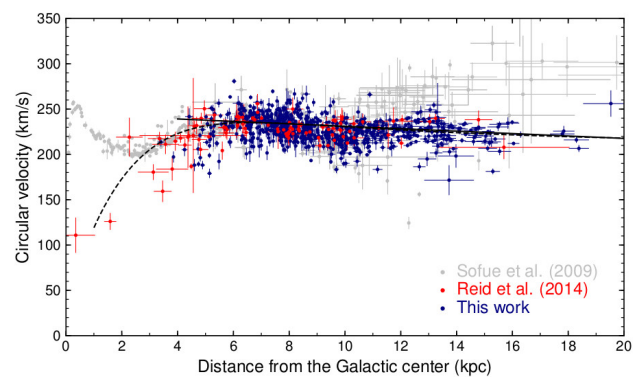
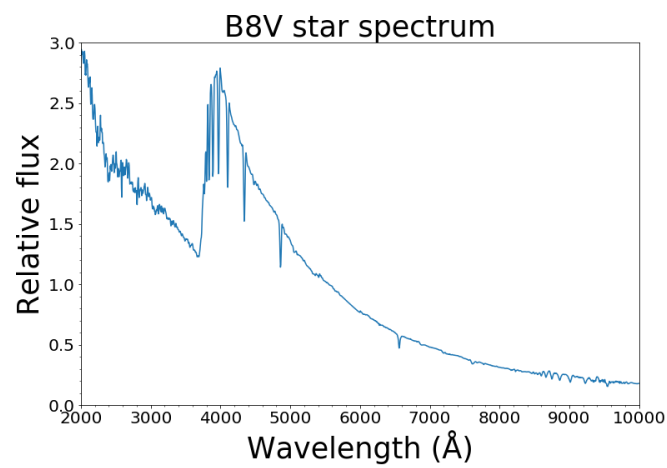
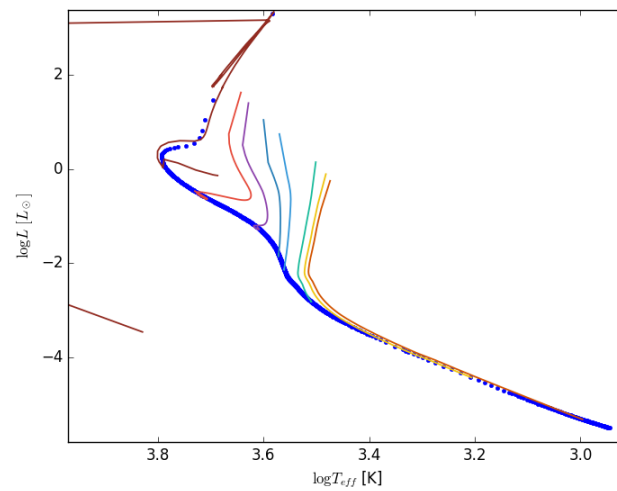
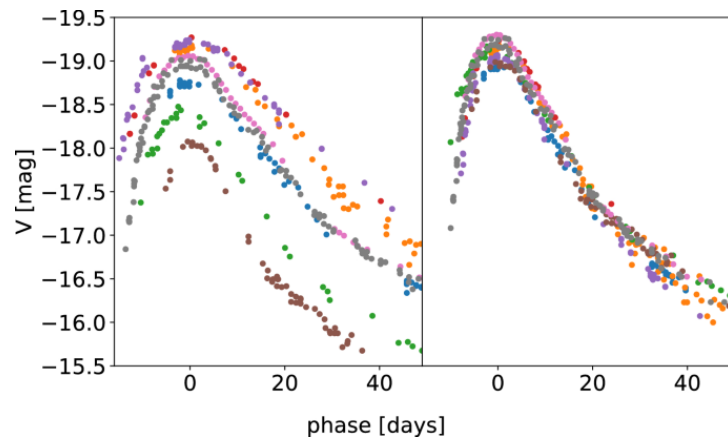
Далее можно заметить, что на третьем графике классический спектр звезды. В наличии есть только одни единицы, связанные с длиной волны или энергией фотона ($F - 1$). Это же подтверждает хорошо видимый бальмеровский скачок на длине волны $3646 \text{ \AA}$. Для единиц по оси ординат подходит относительный поток ($E - 8$).

У нас остались $\log T_{\text{eff}}$, $\log L/L_{\odot}$, расстояние в кпк и скорость в км/с. Первые две оси подозрительно напоминают диаграмму Герцшпрунга – Рассела, которая и изображена на втором графике ($C - 7$, $D - 3$).

Тогда на последнем, четвертом графике изображена плоская кривая вращения спиральной галактики ($H - 4$, $G - 6$).

Далее на рисунке приведены графики с оригинальными подписями.

Ответ: FBDHAGCE



Критерии оценивания. Каждая клетка ответа сравнивается с буквой верного ответа на той же позиции. Если буквы совпали — 1 первичный балл; иначе — 0. Пустая клетка всегда дает 0. Если в ответе какая-либо буква встречается более одного раза, все ее вхождения дают 0.

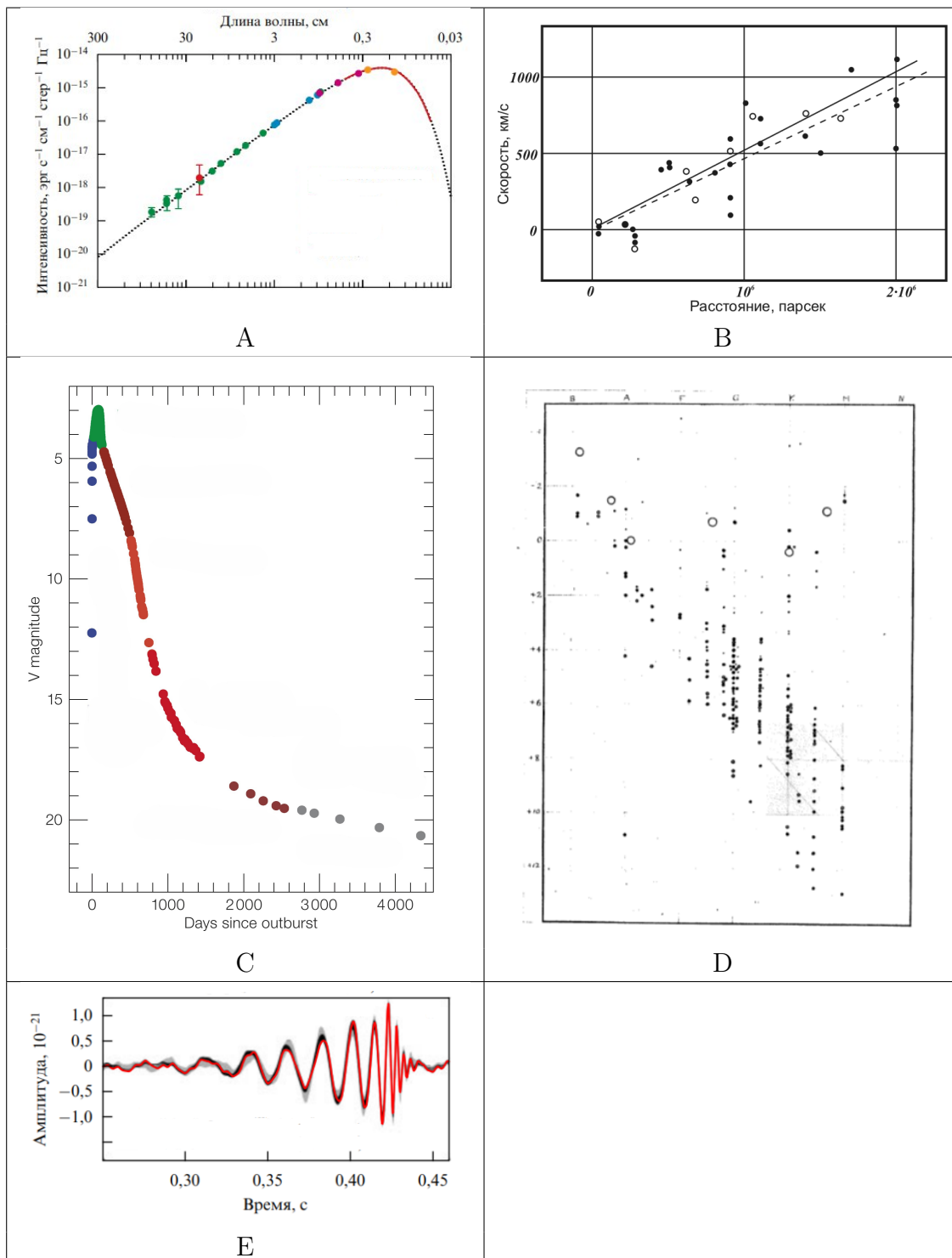
Таблица перевода первичного балла в итоговый:

первичный балл	балл за задачу
0	0
1, 2	1
3	2
4, 5	3
6	4
7, 8	5

11.6. Астрономические вехи

В.Б.Игнатъев

Вам даны различные зависимости, обнаружение которых привело к прорыву в развитии астрономии. Расставьте соответствующие графикам открытия в хронологическом порядке, от самых ранних до самых поздних.



Решение. Опишем графики по порядку.

А. Это спектр черного тела. При этом оно черное с очень хорошей точностью, то есть это не звезда или туманность. В астрофизике наиболее точная реализация спектра АЧТ это реликтовое излучение. Перед нами изображен спектр реликтового излучения, которое обнаружили в **1963** году.

- В. Это оригинальный график из работы Эдвина Хаббла, опубликованной в **1929** году, в которой был опубликован закон Хаббла. В своей работе Хаббл получил значение постоянной Хаббла 500 км/с/Мпк , так как данные по расстояниям до галактик были очень плохого качества и напрямую не измерялись.
- С. Это кривая блеска сверхновой 1987А (вспыхнувшей в **1987** году). Мы видим характерный вид кривой блеска сверхновой, а видимые звездные величины, отложенные по оси ординат, показывают, что ее прекрасно было видно невооруженным глазом. За последние 400 лет была только одна сверхновая, которую можно было наблюдать глазом без телескопа.
- Д. Так выглядела всем известная диаграмма Герцшпрунга–Рассела в пионерской работе Рассела в **1913** году.
- Е. Это гравитационно-волновой сигнал, полученный при слиянии двух черных дыр звездных масс. Наблюдение произошло в **2014** году.

Ответ: DBACE

Критерии оценивания. Из ответа выбираются все упорядоченные пары букв (X, Y) , в которых X записана раньше Y . Пары одинаковых букв не учитываются. Если в ответе одновременно встречаются пары (X, Y) и (Y, X) для каких-то $X \neq Y$, обе такие пары удаляются (ответ сам себе противоречит). Каждой оставшейся паре приписывается вес из таблицы ниже; первичный балл равен сумме весов.

Веса пар (строка задает первую букву пары, столбец — вторую):

	..D	..B	..A	..C	..E
D..	—	1	1	1	1
B..	0	—	1	1	1
A..	0	0	—	1	1
C..	0	0	0	—	1
E..	0	0	0	0	—

Таблица перевода первичного балла в итоговый:

первичный балл	балл за задачу
0, ..., 5	0
6	1
7	2
8	3
9	4
10	5

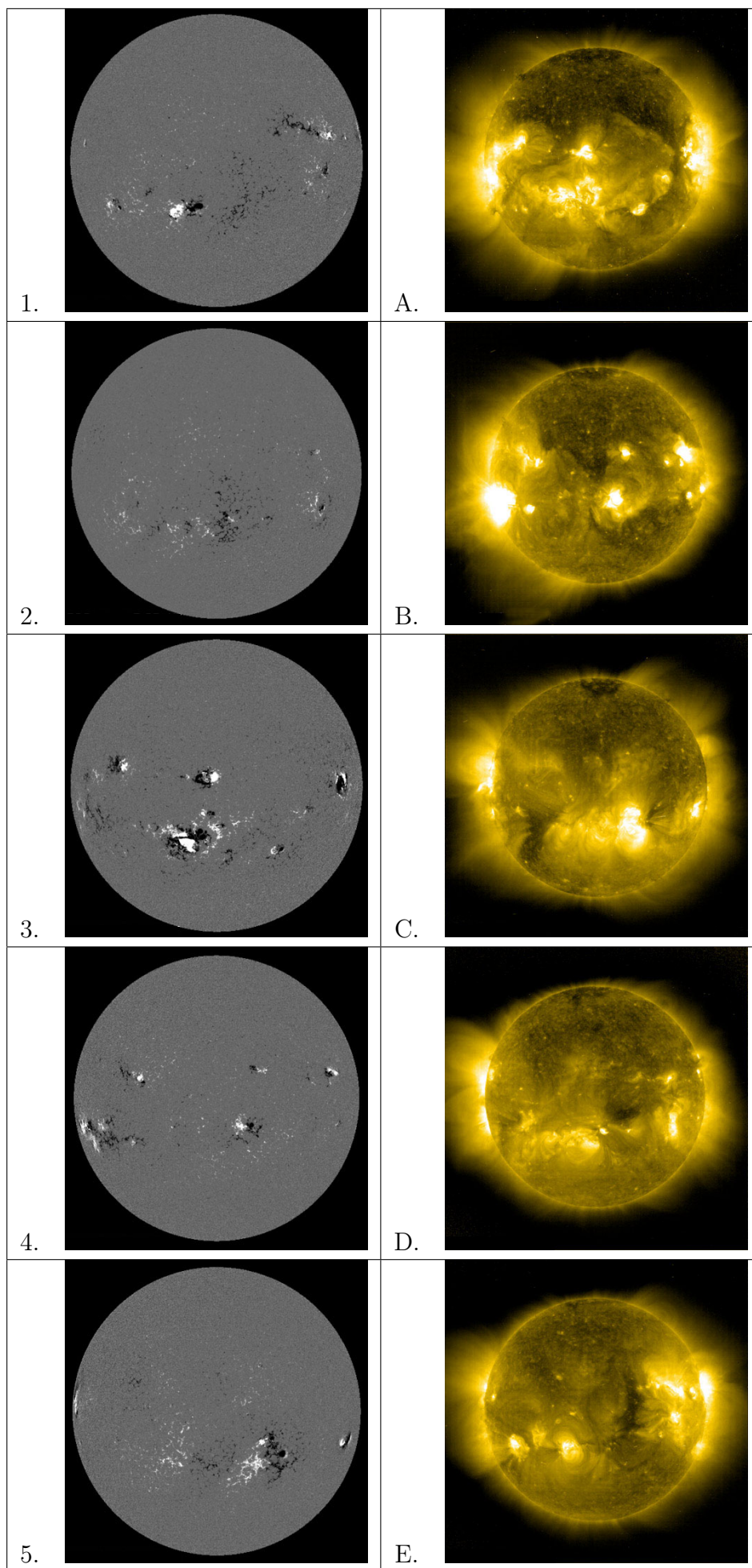
Если перевернутый ответ участника совпадает с верным ответом, выставляется 1 компенсационный балл.

11.7. Солнечный круг

М.В.Костина

Рассеянный ученый скачал из архива космической солнечной обсерватории пары «изображение Солнца в дальнем ультрафиолете + магнитограмма», сделанные в 5 разных дней. Не долго думая, файлы с ультрафиолетовыми изображениями он назвал буквами А–Е, а магнитограммы — цифрами 1–5, и конечно же они перепутались. Укажите обозначения ультрафиолетовых изображений, соответствующих порядку магнитограмм 1,2,3,4,5.

На магнитограммах черным и белым обозначены области разной полярности, а на ультрафиолетовых снимках более интенсивное излучение выглядит более светлым. Изображения размещены на следующей странице.



Решение. На магнитограммах и ультрафиолетовых изображениях пятна активных областей должны соответствовать друг другу: солнечная активность связана с состоянием магнитного поля Солнца, в частности, солнечные пятна соответствуют выходам трубок магнитного поля из фотосферы, солнечные вспышки связаны с поведением плазмы при сжатии в магнитном поле, протуберанцы представляют собой плотные сгустки вещества, удерживаемые магнитным полем над поверхностью Солнца.

Попробуем сопоставить изображения по ярким особенностям снимков. На изображении 3 видны три активные области вдоль почти горизонтального диаметра и одна, самая крупная, область под центром. Левая часть изображения при этом немного похожа на улыбающуюся «мордочку». Такая же расстановка активных областей видна на УФ-изображении А.

На изображении 4 можно также заметить три области вдоль диаметра и две яркие области ниже, самая крупная — у лимба левее середины. Такому расположению областей в ультрафиолете соответствует изображение В.

На изображении 5 мы наблюдаем яркую область правее и ниже центра, а также две почти диаметрально противоположные области близ лимба. Аналогичное расположение активных областей видим на изображении С.

На изображении 1 видна компактная яркая область ниже и левее центра, протяженная почти горизонтальная область выше и правее центра, а также намечена область на лимбе справа. Похожим образом распределены активные области снимка Е, обратите внимание именно на правую часть снимка.

Изображение 2 показывает наиболее спокойное Солнце. Можно выделить протяженную горизонтальную область ниже центра и двухкомпонентную вертикальную в правой части снимка. Такие же области просматриваются на снимке D.

Ответ: EDABC

Критерии оценивания. Каждая клетка ответа сравнивается с буквой верного ответа на той же позиции. Если буквы совпали — 1 первичный балл; иначе — 0. Пустая клетка всегда дает 0. Если в ответе какая-либо буква встречается более одного раза, все ее вхождения дают 0.

Таблица перевода первичного балла в итоговый:

первичный балл	балл за задачу
0	0
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5