

## Содержание

9 10.1. Планетограмма .....	2
9 10.2. Экваториальная тротуарка .....	6
10.3. Температуры .....	9
10.4. Энергия звезд .....	11
9 10 11.5. Солнечный круг .....	13
10.6. Скоро рассвет .....	16
10.7. Историческая астрофизика .....	19

## 9|10.1. Планетограмма

*В.Б. Игнатъев, М.В. Кузнецов*

Вам предоставлена диаграмма с моментами времени верхних кульминаций Солнца и больших планет при наблюдении с поверхности Земли в течении каждого дня на протяжении года. Определите, какие объекты зашифрованы под различными буквами. Расставьте эти объекты в порядке увеличения первой космической скорости с их поверхности.

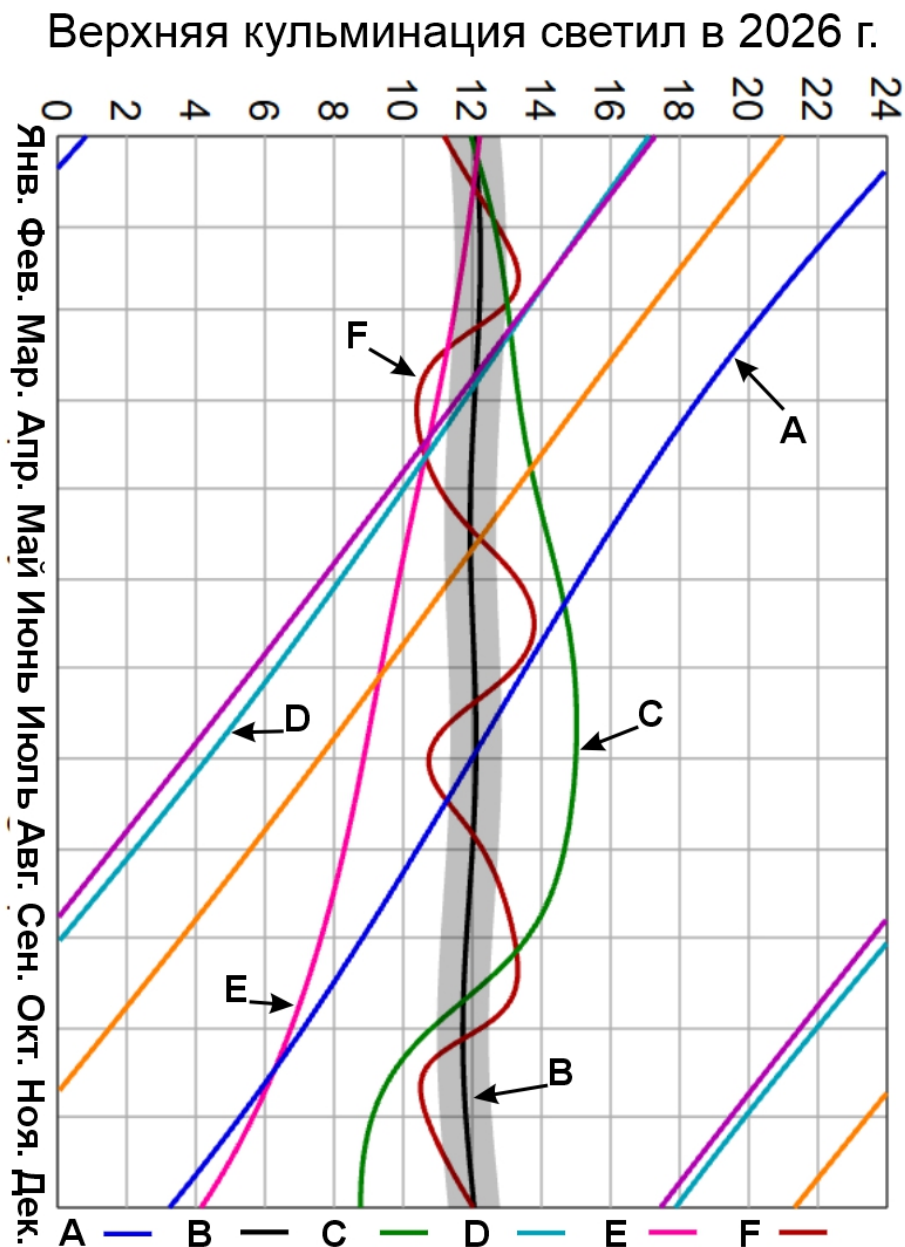


Рис. 1: Время верхней кульминации светил

**Решение.**

Начнем решение этой задачи с определения светил. Центральная, черная, почти вертикальная линия – это Солнце. Она неровная, поскольку работает уравнение времени. **В** – Солнце.

Два объекта находятся все время рядом с Солнцем, меняя стороны. Это внутренние планеты Венера и Меркурий. Венера отходит от Солнца на большее угловое расстояние, и, следовательно, может кульминировать заметно раньше или позже, чем Солнце. Также у Венеры больше синодический период, и, следовательно, линия Венеры реже пересекается с линией Солнца. Следовательно, **С – Венера, F – Меркурий**.

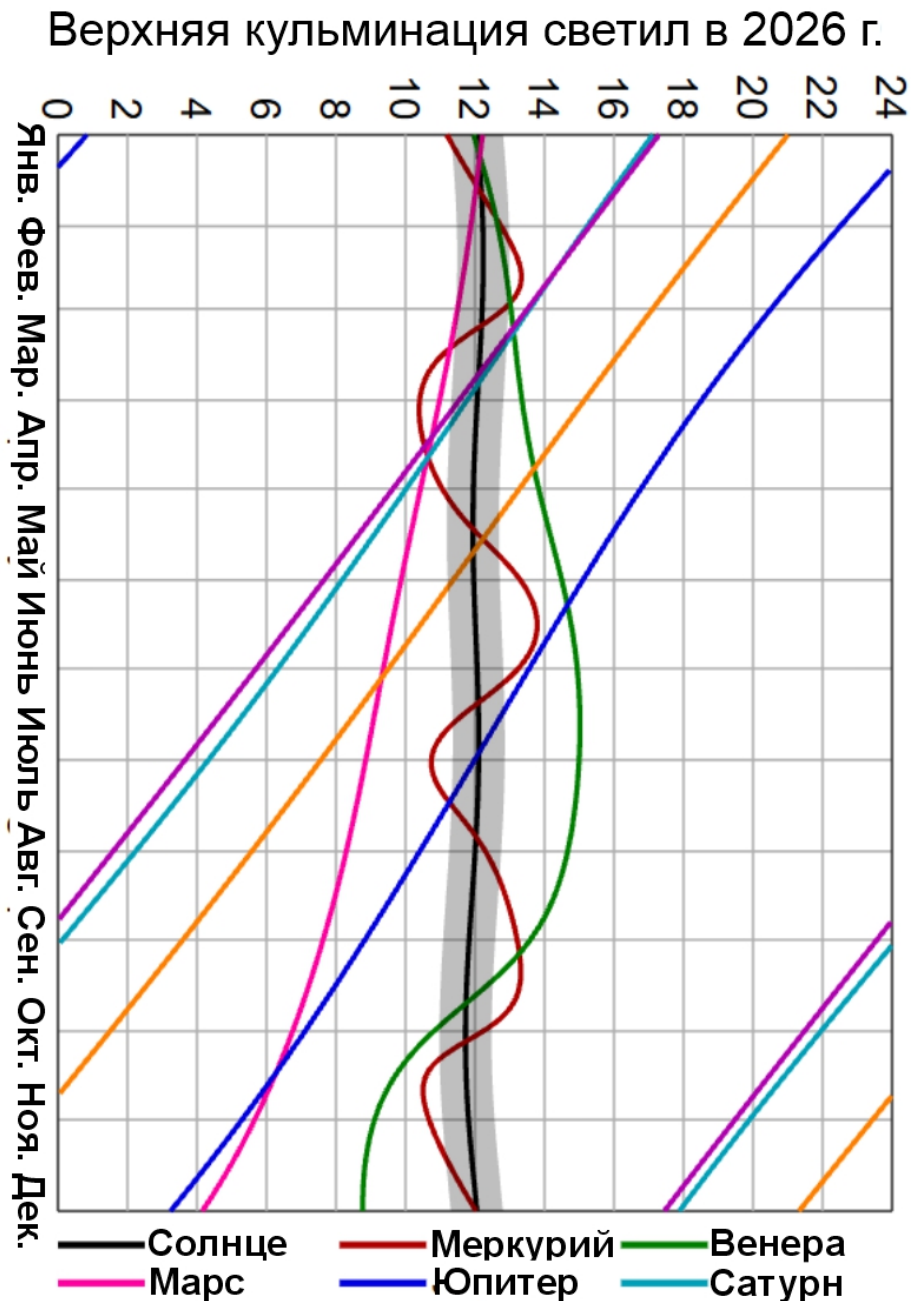


Рис. 2: Решение. Время верхней кульминации светил

Перейдем к внешним планетам. На планетограмме изображено пять планет, но в рамках задачи нужно отождествить всего три. Обсудим критерии для однозначного отождествления. У внешних планет синодический период больше года, то есть за один календарный год не получится дважды увидеть соединение с Солнцем. С другой стороны, почти для всех планет,

кроме Марса, синодический период меньше двух лет, и из графика можно получить значения половин синодических периодов – интервалов между противостоянием и соединением. Также можно рассматривать наклон линий планет к горизонтальной линии, который будет уменьшаться при увеличении большой полуоси. При этом стоит помнить, что для внешних планет синодический период монотонно уменьшается с увеличением полуоси.

Таким образом, **А – Юпитер, D – Сатурн, Е – Марс**. Оставшиеся две линии – оранжевая и голубая – это Уран и Нептун соответственно.

Теперь перейдем к финальной части задачи – отранжируем объекты по увеличению первой космической скорости.

Наибольшая первая космическая скорость будет у Солнца, за ней последуют планеты-гиганты – Юпитер и Сатурн. Чуть сложнее с планетами земной группы. Венера близка по параметрам к Земле и будет иметь наибольшую скорость из оставшихся планет.

А вот значения первой космической скорости для Меркурия и Марса отличаются всего на 20%.

$$v_I^2 = \frac{GM}{R} \sim \frac{M}{R} \sim \rho R^2$$

При отсутствии справочных данных участник с большей вероятностью сможет оценить плотность Меркурия (она близка к плотности Земли), чем вспомнить его массу. Плотность Меркурия ( $\rho \approx 5500 \text{ кг/м}^3$ ) больше, чем плотность Марса ( $\rho \approx 4000 \text{ кг/м}^3$ ). Но эффект от радиуса (Марс  $\approx 3400 \text{ км}$ , Меркурий  $\approx 2500 \text{ км}$ ) приводит к тому, что самая маленькая космическая скорость будет у Меркурия.

Тогда итоговый ответ: Меркурий – Марс – Венера – Сатурн – Юпитер – Солнце. Или, в буквах, FECDAВ.

Ответ.  $F E C D A B$

**Критерии оценивания.**

**5**

Верный ответ: FECDAВ.

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.

Вес пар (строка задаёт первую букву пары, столбец — вторую):

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

Таблица перевода первичного балла в итоговый:


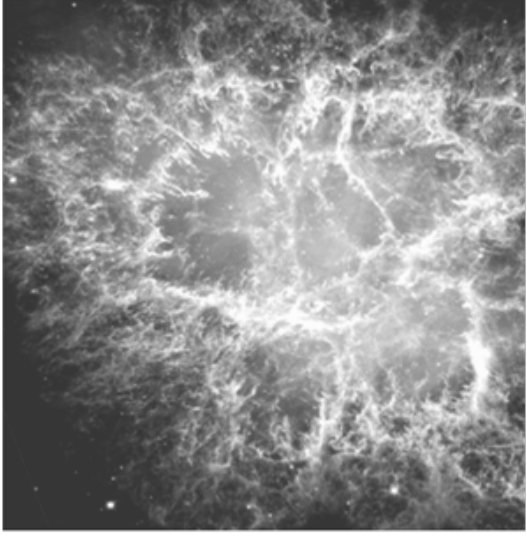
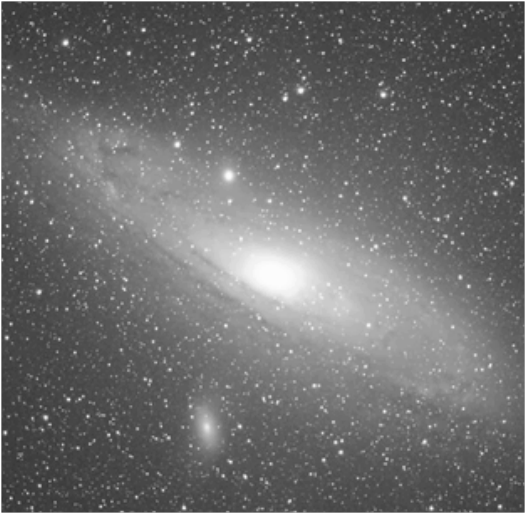
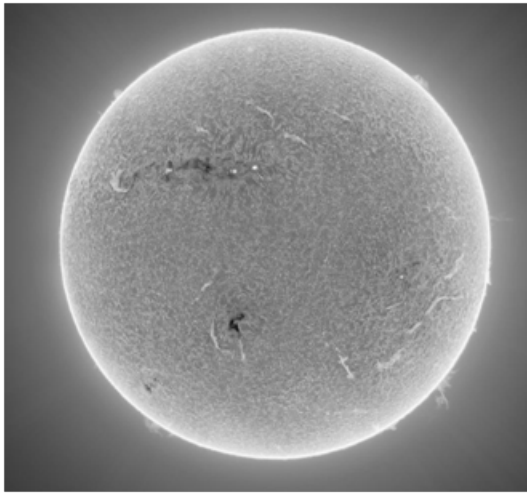
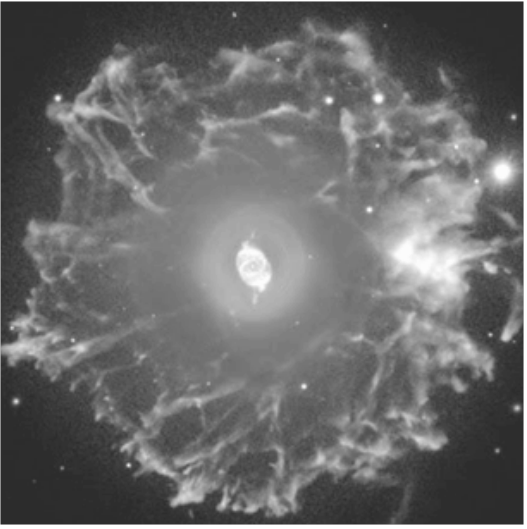
первичный балл	балл за задачу
0, ..., 8	0
9	1
10, 11	2
12	3
13, 14	4
15	5

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

## 9|10.2. Экваториальная тротуарка

*О. Ю. Голубева*

Расположить объекты по мере увеличения максимальной высоты их верхней кульминации для наблюдателя на экваторе

A. 	B. 
C. 	D. 
E. 	

**Решение.**

Сначала расшифруем полученные объекты и укажем их склонение.

- А. Большая туманность Ориона (M42) —  $\delta \approx -5.4^\circ$
- В. Крабовидная туманность в созвездии Тельца (M1) —  $\delta \approx +22^\circ$
- С. Туманность Андромеды (M31) —  $\delta \approx +41.3^\circ$
- Д. Солнце —  $\delta$  меняется от  $-23.5^\circ$  до  $+23.5^\circ$ , максимальная высота достигается при  $\delta = 0^\circ$  (в дни равноденствий)
- Е. Туманность «Кошачий Глаз» в созвездии Дракона (NGC 6543) —  $\delta \approx +66.6^\circ$

Для наблюдателя на экваторе ( $\varphi = 0^\circ$ ) высота светила в верхней кульминации равна  $h = 90^\circ - |\delta|$ . Таким образом, чем больше абсолютное значение склонения, тем ниже максимальная высота. Расположим объекты по возрастанию модуля склонения (т.е. по убыванию высоты):

$|\delta_5| > |\delta_3| > |\delta_2| > |\delta_1| > |\delta_4|$ , где  $\delta_4 = 0^\circ$  (максимальная высота Солнца). Следовательно, порядок объектов от наименьшей высоты к наибольшей:

5 (Кошачий Глаз) → 3 (Андромеда) → 2 (Краб) → 1 (Орион) → 4 (Солнце).

В обозначениях рисунков это соответствует последовательности: E → C → B → A → D.

Ответ.  $\boxed{E C B A D}$

**Критерии оценивания.**

**5**

Верный ответ: ECVAD.

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.

Весы пар (строка задаёт первую букву пары, столбец — вторую):

	..E	..C	..B	..A	..D
E..	—	1	1	1	1
C..	0	—	1	1	1
B..	0	0	—	1	1
A..	0	0	0	—	1
D..	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 перевёрнутый ответ участника совпадает с верным ответом, выставляется 1 компенсационный балл.

### 10.3. Температуры

*М. В. Кузнецов*

Расставьте звезды по увеличению характерной температуры их фотосферы.

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

**Решение.** Определим характерные температуры фотосфер для каждого объекта:

Для корректного ранжирования необходимо знать тип и примерную температуру фотосферы каждого объекта:

- A. 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 – 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.
- B. Проксима Центавра** — ближайший к нам красный карлик, причем довольно позднего спектрального подкласса (M5.5), температура около 3000 К.
- C. Звезда 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.
- D. Сириус-А** — 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.
- E. Сириус-В** — 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

(<https://chandra.harvard.edu/photo/2000/0065/index.html>): в мягком рентгеновском диапазоне белый карлик выглядит гораздо ярче нормальной звезды.

Ответ. B A D E C

**Критерии оценивания.**

**5**

Верный ответ: BADEC.

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.

Весы пар (строка задаёт 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 перевёрнутый ответ участника совпадает с верным ответом, выставляется 1 компенсационный балл.

## 10.4. Энергия звезд

*В.Б. Игнатьев*

Вам дан список различных механизмов энерговыделения для звезд и объектов, связанных со звездной эволюцией. Определите объекты, для которых, соответствующий механизм является основным источником энерговыделения. Расставьте источники энерговыделения в порядке увеличения характерных размеров, соответствующих им объектов.

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

**Решение.** Сначала определим, для каких объектов каждый из механизмов является основным источником энерговыделения:

- A. Радиоактивный распад** — основной источник энергии для разлетающейся оболочки сверхновой типа Ia (распад  $^{56}\text{Ni} \rightarrow ^{56}\text{Co} \rightarrow ^{56}\text{Fe}$ ). Характерный размер оболочки через некоторое время после взрыва:  $\approx 10^2\text{--}10^5$  а.е.
- B. Термоядерный синтез гелия (водорода в гелий)** — основной источник энергии для звезд главной последовательности (например, Солнце). Характерный размер:  $\approx 10^6$  км (радиус Солнца  $\approx 7 \cdot 10^5$  км).
- C. Энергия вращения** — основной источник для пульсаров (нейтронных звезд). Характерный размер:  $\approx 10$  км.
- D. Гравитационная энергия сжатия** — основной источник на стадии протозвезды перед началом термоядерных реакций. Размер протозвезды:  $\approx 10^7$  км;
- E. Тепловая энергия** — основной источник свечения белых карликов на стадии остывания, когда другие механизмы энерговыделения уже не работают. Размер белого карлика:  $\approx 10^4$  км (сравним с Землей).

Расположим источники в порядке увеличения характерных размеров соответствующих объектов:

Для объектов, где источником является тепловая энергия ( $E$ ), берем характерный размер белого карлика (как более крупный из двух, чтобы упорядочить все индексы):

$$R_C \approx 10 \text{ км} < R_E \text{ (WD)} \approx 10^4 \text{ км} < R_B \approx 10^6 \text{ км} < R_D \approx 10^7 \text{ км} < R_A \approx 10^2\text{--}10^5 \text{ а.е.}$$

Ответ. *C E B D A*

**Критерии оценивания.**

**5**

Верный ответ: *CEBDA*.

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.

Весы пар (строка задаёт первую букву пары, столбец — вторую):

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

Таблица перевода первичного балла в итоговый:

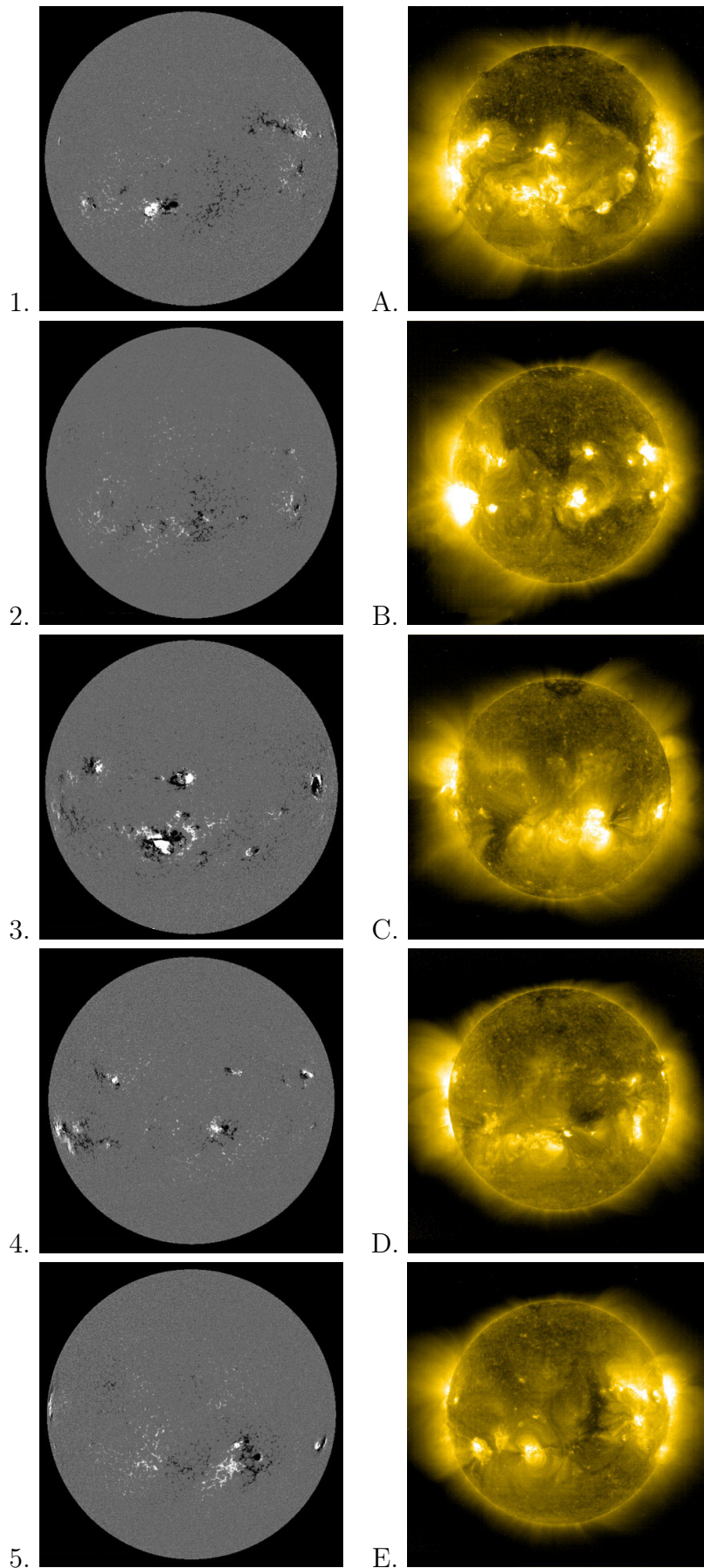
первичный балл	балл за задачу
0, ..., 5	0
6	1
7	2
8	3
9	4
10	5

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

**9|10|11.5. 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.** E D A B C

### Критерии оценивания.

5

Верный ответ: EDABC.

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

Таблица перевода первичного балла в итоговый:

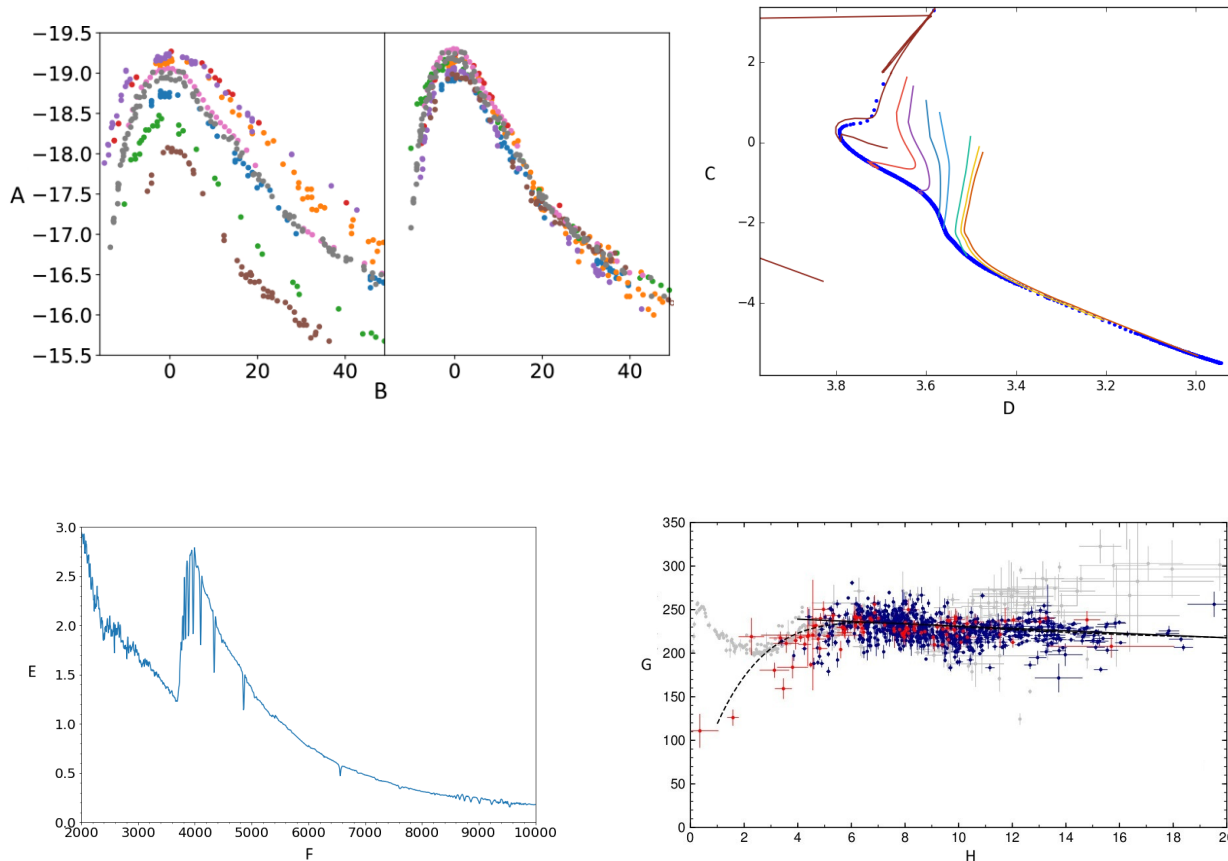
первичный балл	балл за задачу
0	0
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5

## 10.6. Скоро рассвет

*С. Г. Желтоухов*

Перед вами 4 астрономических графика с потерянными единицами измерения по осям. Восстановите их, учитывая что единицы не могут повторяться.

- 1 Длина волны, ангстрем
- 2 Время, дни
- 3 Логарифм эффективной температуры
- 4 Расстояние, кпк
- 5 Абсолютная звездная величина
- 6 Скорость, км/с
- 7 Логарифм отношения светимости к светимости Солнца
- 8 Относительный поток

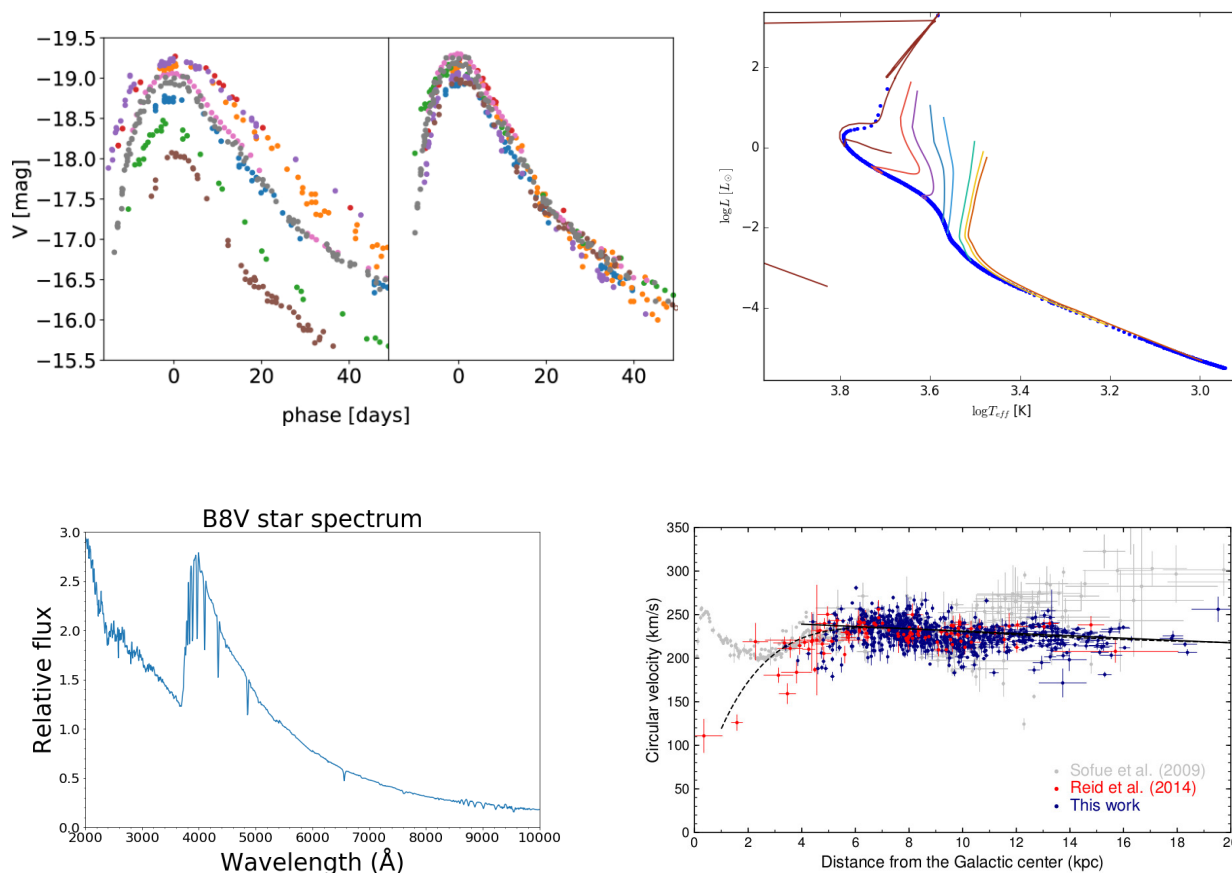


**Решение.** Для начала нужно определить, что изображено на графиках. На первом из них показана кривая блеска, и на оси  $y$  приведены величины порядка  $-20$ , что похоже на абсолютные звездные величины сверхновых ( $A - 5$ ). Характерный период изменения блеска сверхновых составляет порядка месяцев,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

Далее на графике 3 можно узнать классический спектр звезды. Также это подтверждает хорошо заметный видимый бальмеровский скачок на длине волны  $3646\text{\AA}$ . В перечне есть только одна единица, связанная с частотой, длиной волны или энергией фотона (F – 1). Для единиц по оси  $y$  подходит относительный поток (E – 8).

У нас остались  $\log T_{eff}$ ,  $\log L/L_s$ , расстояние в кпк и скорость в км/с. Первые две единицы подозрительно напоминают оси диаграммы Герцшпрунга – Рассела, которая и изображена на графике 2. (C – 7, D – 3). На последнем, графике 4, изображена плоская кривая вращения спиральной галактики. (H – 4, G – 6).

Далее на рисунках приведены графики с оригинальными подписями осей.



Следовательно, правильный ответ:

1. Длина волны, ангстрем — F.
2. Время, дни — В.
3. Логарифм эффективной температуры — D.
4. Расстояние, кпк — H.
5. Абсолютная звездная величина — A.
6. Скорость, км/с — G.
7. Логарифм отношения светимости к светимости Солнца — C.

8. Относительный поток — E.

Итоговая последовательность — FBDHAGCE.

Ответ.  $\boxed{F B D H A G C E}$

**Критерии оценивания.**

5

Верный ответ: FBDHAGCE.

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

## 10.7. Историческая астрофизика

*В. С. Гораджанов*

Для каждой пары исторических открытий или событий отметьте то, которое наступило раньше.

№1. Что было установлено раньше?	<b>А.</b> Млечный путь вращается <b>В.</b> Расширение Вселенной
№2. Что было измерено раньше?	<b>А.</b> Скорость света <b>В.</b> Расстояние до ближайших звезды (не Солнца)
№3. Что было выполнено раньше?	<b>А.</b> Спектральный анализ звезды (не Солнца) <b>В.</b> Фотография звезды (не Солнца)
№4. Что было открыто раньше?	<b>А.</b> Первые спутники Юпитера <b>В.</b> Кольца Сатурна
№5. Что было обнаружено раньше?	<b>А.</b> Рентгеновское излучение <b>В.</b> Космические рентгеновские источники
№6. Что было измерено раньше?	<b>А.</b> Масса звезды (не Солнца) <b>В.</b> Радиус звезды (не Солнца)
№7. Что было измерено раньше?	<b>А.</b> Расстояние до Туманности Андромеды (M 31) <b>В.</b> Скорость её приближения к нам
№8. Что было произошло раньше?	<b>А.</b> Обнаружение радиоизлучения из космоса <b>В.</b> Радиолокация Луны

**Решение.**

**Вопрос 1.**

**А.** Оорт установил дифференциальное вращение Галактики в 1927 г., анализируя лучевые скорости и собственные движения звёзд (постоянные Оорта).

**В.** Закон Хаббла опубликован в 1929 г. Разница – всего два года. Контринтуитивно: казалось бы, «местное» вращение должно быть известно намного раньше, чем глобальное расширение, но оба факта потребовали точных измерений расстояний и скоростей, ставших доступными лишь в 1920-х гг. Ответ А.

**Вопрос 2.**

**А.** Оле Рёмер представил результат Парижской академии наук 21 ноября 1676 г. Наблюдая затмения спутника Юпитера Ио, он заметил, что они систематически запаздывают, когда Земля удаляется от Юпитера, и наступают раньше при сближении. Х. Гюйгенс из данных Рёмера получил значение около 230 000 км/с (77% от истинного). Аберрация звёзд, обнаруженная Дж. Брэдли в 1729 г., независимо подтвердила конечность скорости света.

**В.** Первый звёздный параллакс измерил Ф. В. Бессель в 1838 г. (61 Лебедя, гелиометр Фраунгофера, результат  $0.314 \pm 0.020$  угл. сек.). Почти одновременно параллакс определили Ф. Струве (Вега) и Т. Хендерсон (Альфа Центавра).

Такой большой временной разрыв обусловлен тем, что углы параллакса невероятно малы — менее 1 угл. секунды даже для ближайших звёзд. Определение скорости света, напротив, требовала лишь хороших часов и многомесячных наблюдений Юпитера. Ответ А.

**Вопрос 3.**

**А.** В 1814 г. Й. Фраунгофер закартировал более 574 тёмных линий поглощения в солнечном спектре. В том же году, используя малый теодолитный телескоп, он наблюдал три широкие полосы поглощения в спектре Сириуса — первое спектроскопическое наблюдение звезды помимо Солнца. К 1823 г. он исследовал спектры Сириуса, Кастора, Поллукса, Капеллы, Бетельгейзе и Проциона. Кирхгоф и Бунзен создали теоретическую базу в 1859 г., а У. Хаггинс начал химический анализ звёзд в 1863 г.

**В.** Первая фотография звезды (Вега) — дагеротип У. К. Бонда и Дж. А. Уиппла 17 июля 1850 г. (Гарвардская обсерватория, 15-дюймовый рефрактор, выдержка  $\sim 90$  с). Контринтуитивно. Разалось бы, «сфотографировать» проще, чем «разложить свет на спектр». Но Фраунгоферу нужна была лишь призма и телескоп, а фотография потребовала светочувствительных химических процессов и длинных экспозиций через большие телескопы. Ответ А.

**Вопрос 4.**

**А.** 7 января 1610 г. Галилей увидел три «звезды» вблизи Юпитера. К 13 января обнаружил все четыре спутника (Ио, Европа, Ганимед, Каллисто). 15 января Галилей понял, что они обращаются вокруг планеты. Опубликовано в *Sidereus Nuncius* 13 марта 1610 г. В июле 1610 г. Галилей увидел Сатурн как «тройную планету» с непонятными «ушами». В 1612 г. кольца исчезли (оказались ребром к наблюдателю), и он написал: «Неужели Сатурн проглотил своих детей?» Х. Гюйгенс, используя более мощный 50-кратный телескоп, в 1655 г. предложил гипотезу кольца (опубликована сначала как анаграмма). Полное объяснение — в *Systema Saturnium* (1659 г.): «Планету окружает тонкое плоское кольцо, нигде не касающееся тела планеты, наклонённое к эклиптике.» Галилей увидел оба явления в одном и том же году (1610), но спутники Юпитера понял сразу, а кольца Сатурна — нет. Потребовались лучшая оптика и полный 29.5-летний орбитальный цикл Сатурна. Ответ А.

**Вопрос 5.**

**А.** В. К. Рентген обнаружил рентгеновское излучение 8 ноября 1895 г. в Вюрцбурге: он заметил, что экран из платиносинеродистого бария флуоресцирует при работе катодной трубки на расстоянии, недоступном для катодных лучей. Статья «О новом виде лучей» — 28 декабря 1895 г. За это открытие Рентген получил первую Нобелевскую премию по физике в 1901

г.

**В.**Первый космический рентгеновский источник — Скорпион X-1 — обнаружен 18 июня 1962 г. командой Р. Джаккони (ракета Аегорее 150, Уайт-Сэндс, Нью-Мексико). Счётчики Гейгера, предназначенные для поиска рентгеновского отражения от Луны, вместо этого зафиксировали мощный источник в Скорпионе. За это открытие была присуждена Нобелевская премия Джаккони в 2002 г. Ответ А.

#### Вопрос 6.

**А.**У. Гершель идентифицировал гравитационно-связанные двойные звёзды к 1803 г. Ф.Савари вычислил первую орбиту двойной (Кси Большой Медведицы, 1827 г.). Это была первая проверка ньютоновой гравитации за пределами Солнечной системы. После измерения звёздных параллаксов (с 1838 г.) стало возможно определять массы по третьему закону Кеплера. Надёжные оценки масс визуальных двойных — с 1840–1850-х гг.

**В.**Первый радиус звезды (не Солнца) измерили А. Майкельсон и Ф. Пиз 13 декабря 1920 г. с помощью 20-футового звёздного интерферометра на 100-дюймовом телескопе Маунт-Вилсон: угловой диаметр Бетельгейзе — 0.047 угл. сек. (~ 900 диаметров Солнца). Ответ А.

#### Вопрос 7.

**В.**Лучевую скорость Андромеды (около  $-300$  км/с, приближение) измерил В. Слайфер спектроскопически по доплеровскому смещению в 1912 г. Расстояние до неё определил Э. Хаббл лишь в 1924 г., обнаружив в ней цефеиды и применив зависимость «период — светимость». Метод раннего измерения — спектроскопия (эффект Доплера). Ответ В.

#### Вопрос 8.

**А.**Карл Янский (Bell Labs), исследуя радиопомехи трансатлантической связи, в 1932–1933 гг. обнаружил «устойчивый шум», который достигал максимума каждые 23 ч 56 мин (звёздные сутки) — источник в направлении центра Галактики. Первый полноценный радиотелескоп построил Грот Рёбер во дворе своего дома в 1937 г. и около десяти лет он оставался единственным радиоастрономом в мире.

**В.**Радиолокация Луны — проект «Диана», 10 января 1946 г. (Дж. Девитт, лагерь Эванс, Нью-Джерси): модифицированный радар SCR-271 послал импульсы на Луну, эхо вернулось через 2,5 с. Венгерский физик З. Бай получил тот же результат независимо 6 февраля 1946 г. Ответ А.

**Итоговый ответ АААААВА**

**Критерии оценивания.****5**

Верный ответ: ААВААВА.

Каждая клетка ответа сравнивается с буквой верного ответа на той же позиции. Если буквы совпали — 1 первичный балл; иначе — 0. Пустая клетка всегда даёт 0.

Таблица перевода первичного балла в итоговый:

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