

D1. Все бегут, а он им светит

В файле `V_BV.tsv` приведены наблюдаемые видимые звёздные величины V и показатели цвета $(B - V)$ звёзд рассеянного скопления. По оценкам, расстояние до скопления равно 4.3 кпк, а средний избыток цвета $E(B - V) = 0.12$.

- Постройте диаграмму Герцшпрунга — Рассела для этого скопления в осях «температура (К) — светимость в полосе V (L_{\odot})».
- Постройте гистограмму распределения масс объектов скопления со светимостью не выше $10L_{\odot}$.

Справка

— В модели F. J. Ballesteros (2012) температура абсолютно чёрного тела определяется по показателю цвета как

$$T = 4600 \text{ К} \cdot \left\{ [0.92 \cdot (B - V) + 1.7]^{-1} + [0.92 \cdot (B - V) + 0.62]^{-1} \right\}.$$

Это далеко не лучшая зависимость: например, не учитывается металличность и ускорение свободного падения в фотосфере. Однако из фотометрических данных указанные параметры не определяются.

— Для болометрических поправок существуют подробные таблицы. Для упрощения задачи воспользуемся формульным видом зависимости BC_V от эффективной температуры T_{eff} из работы Flower (1996) в версии Torres (2010). В этой работе болометрическая поправка представлена отрезком ряда по степеням логарифма температуры:

$$BC_V = k_0 + k_1 \lg T_{\text{eff}} + k_2 \lg^2 T_{\text{eff}} + k_3 \lg^3 T_{\text{eff}} + k_4 \lg^4 T_{\text{eff}} + k_5 \lg^5 T_{\text{eff}} + \dots$$

Звёзды разделены на три «температурных» класса (таблица 1). Коэффициенты k_{order} для каждого класса приводятся в таблице `Teff2BCv.csv`.

В реальности болометрическая поправка зависит ещё по крайней мере от класса светимости объекта. Светимость исследуемой группы объектов не превышает $10L_{\odot}$, что частично снимает эту проблему.

Таблица 1: К задаче D1

Метка класса	Диапазон
class1	$\lg T_{\text{eff}} < 3.70$
class2	$3.70 < \lg T_{\text{eff}} < 3.90$
class3	$\lg T_{\text{eff}} > 3.90$

— Для перехода от светимостей к массам воспользуйтесь зависимостью «масса – светимость» в форме

$$\frac{L}{L_{\odot}} = \begin{cases} 2.3 \cdot 10^{-1} \left(\frac{M}{M_{\odot}} \right)^{2.3}, & \frac{M}{M_{\odot}} < 0.43; \\ 1.0 \cdot 10^0 \left(\frac{M}{M_{\odot}} \right)^{4.0}, & 0.43 < \frac{M}{M_{\odot}} < 2; \\ 1.4 \cdot 10^0 \left(\frac{M}{M_{\odot}} \right)^{3.5}, & 2 < \frac{M}{M_{\odot}} < 20; \\ 3.2 \cdot 10^3 \left(\frac{M}{M_{\odot}} \right)^{1.0}, & \frac{M}{M_{\odot}} > 20. \end{cases}$$

D2. Останусь светом вдалеке

Файл `trails.jpg` представляет собой снимок звёздного неба с длинной выдержкой, полученный где-то на поверхности Земли. Известно, что экспозицию запустили 5 февраля в 20:20 UT. Считайте, что верхняя и нижняя границы кадра строго горизонтальны.

Определите координаты места наблюдения и время выдержки.

Справка. Используйте атлас звёздного неба `atlas.pdf`.

D3. Там увидишь в окнах свет

В вашем распоряжении:

- две фотографии `photo{1,2}.jpg`, сделанные в один момент;
- увеличенный фрагмент первой фотографии `photo1_scaled.jpg`, на котором видны три здания с «горящими» из-за отражения солнечного света окнами;
- фрагмент аэрофотосъёмки `aero.jpg` участка поверхности с этими зданиями.

Координаты некоторых пунктов приведены в таблице 2.

Определите с наибольшей разумной точностью:

- а) высоту труб ТЭЦ (здание с тремя трубами на второй фотографии);
- б) фазовый угол Луны;
- в) долю «горящих» окон (по трём зданиям в совокупности);
- г) среднеквадратичную угловую ошибку установки окон в зданиях.

Погрешности оценивать не требуется.

Считайте, что строители умеют пользоваться уровнем: окна установлены строго вертикально, то есть ошибка выражается в азимутальном отклонении от плоскости фасада здания и подчиняется нормальному закону распределения.

Подсказка. Функция плотности вероятности нормального распределения имеет вид $f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-x_0}{\sigma}\right)^2\right]$.

Таблица 2: К задаче D3

Пункт	Широта, °	Долгота, °	Высота, м
Место съёмки	55.929588	37.523612	40
ТЭЦ	55.940414	37.565294	
Аэрофотосъёмка			
верхняя левая точка	55.910917	37.403556	
нижняя правая точка	55.908073	37.406904	

D4. What spring is like on Mars

В файле `ephemeris.dat` приводятся эфемериды Марса с мая 2023 г. до середины 2028 г. Описание формата файла см. в таблице 3.

- a) Определите кеплеровы элементы орбиты Марса на 1 сентября 2023 г.
- b) Верно ли, что при прочих равных создаваемая Марсом освещённость прямо пропорциональна его фазе?

Орбиту Земли считайте круговой. В 2023 году равноденствие наступило 20 марта в 21:25 UT.

Таблица 3: К задаче D4

№	Столбец	Значение	Формат
1	Date	Дата, 0 ^h UT	YYYY-MM-DD
2	RA	Прямое восхождение	hh:mm:ss
3	Dec	Склонение	+dd:mm:ss
4	Mag	Видимая звёздная величина	+x.x
5	d	Расстояние до Земли, а. е.	x.xxxx
6	r	Расстояние до Солнца, а. е.	x.xxxx

Разделитель столбцов — символ табуляции \t