

## 6. Концентрат для Волос

Шаровое скопление состоит по количеству на 60% из звезд массы  $0.8 \mathcal{M}_{\odot}$  и на 40% из звезд массы  $1 \mathcal{M}_{\odot}$ , все звезды находятся на Главной последовательности. Закон распределения концентрации объектов от расстояния задается формулой

$$n(r) = \frac{n_0}{r^2}.$$

Известно, что полный радиус скопления составляет 12 пк, а число звезд в скоплении равно  $10^5$ , в любой части скопления соотношение числа звезд двух типов одинаково.

- А. Определите  $n_0$ , считая единицей расстояния 1 парсек.
- В. С какого максимального расстояния можно увидеть такое скопление невооруженным глазом, если наблюдается оно в созвездии Волос Вероники?
- С. Представим, что наблюдение скопления на максимальном расстоянии, при котором оно доступно для наблюдений невооруженным глазом, проводится на телескопе с диаметром объектива  $D = 15$  см и фокусным расстоянием  $F = 1.8$  м. Сколько пикселей будет занимать изображение скопления в фокальной плоскости объектива телескопа, если в ней установлена ПЗС-матрица с пикселями размера  $4 \text{ мкм} \times 4 \text{ мкм}$ ?

## 7. Водородный фонарь

Средняя плотность водорода (в любых видах) в межпланетной среде составляет  $2 \cdot 10^{-21} \text{ кг/м}^3$ . Известно, что  $1 \text{ км}^3$  невозбужденного атомарного водорода с концентрацией 1 атом/см<sup>3</sup> излучает всего 3 фотона в секунду. Оцените мощность излучения всего межпланетного невозбужденного атомарного водорода, находящегося в пределах радиуса 40 а.е. от Солнца. Можно считать, что массовая доля невозбужденного атомарного водорода составляет  $10^{-4}$  от общей массы водорода.

## 8. Еще одна точка зрения

Астероид движется в плоскости эклиптики по эллиптической орбите с большой полуосью  $a = 3$  а.е. и эксцентриситетом  $e = 0.4$ .

- А. Каким образом для гелиоцентрического наблюдателя зависит мгновенное собственное движение астероида от расстояния до астероида?
- В. В каких пределах для гелиоцентрического наблюдателя меняется собственное движение (выраженное в угловых секундах в секунду времени)?
- С. Представим, что неподвижный относительно Солнца наблюдатель долгое время находится вблизи перигелия орбиты астероида. Какое собственное движение будет для него иметь астероид в тот момент, когда пройдет ровно четверть длины орбиты от перицентра?

## 9. С Новым годом!

Изображенный на новогодней открытке Дед Мороз проводит наблюдения в  $00^h00^m$  истинного солнечного времени 1 января 2026 года. Определите примерные широту места наблюдения и координаты (прямое восхождение и склонение) наблюдаемого объекта, если известно, что наблюдения производятся в России. В каком созвездии находится наблюдаемый объект?



Рис. 1: Рисунок к задаче 9.

## 10. Сверхновая задача

У источника повторных быстрых радиовсплесков обнаружено крайне быстрое уменьшение меры дисперсии DM. Считается, что это связано с расширением остатка вспышки сверхновой и, тем самым, уменьшением плотности этого остатка.

Можно считать, что остаток сверхновой полностью ионизован и находится на стадии свободного расширения. Тогда изменение со временем меры дисперсии из-за расширения остатка можно выразить так:

$$DM = 260 \text{ пк/см}^3 \left( \frac{M}{10M_{\odot}} \right)^2 \left( \frac{E_0}{10^{44} \text{ Дж}} \right)^{-1} \times \left( \frac{t}{100 \text{ лет}} \right)^{-2},$$

где  $M$  — масса выброса,  $E_0$  — энергия взрыва, а  $t$  — время, прошедшее с момента вспышки.

Измерения меры дисперсии для этого источника приведены на рисунке.

- А. Определите по графику скорость изменения меры дисперсии.
- В. Определите возраст остатка сверхновой в годах.
- С. Определите скорость расширения оболочки сверхновой, считая ее постоянной. Примите  $E_0 = 2 \cdot 10^{44}$  Дж.
- Д. Определите радиус остатка в данный момент в парсеках.

На графике приведены данные, относящиеся только к остатку вспышки сверхновой, все другие факторы, вносящие вклад в наблюдаемое значение DM, вычтены.

На рисунке показана эволюция меры дисперсии примерно за 3 года наблюдений, начиная от некоторого момента в недавнем прошлом. По оси абсцисс отложены непрерывные

отсчеты времени в сутках. По оси ординат — мера дисперсии DM. Горизонтальная жирная линия отмечает среднее значение меры дисперсии на показанном промежутке. Также на графике проведена пунктирная линия, соответствующая наилучшей линейной модели для определения скорости уменьшения DM на данном промежутке времени.

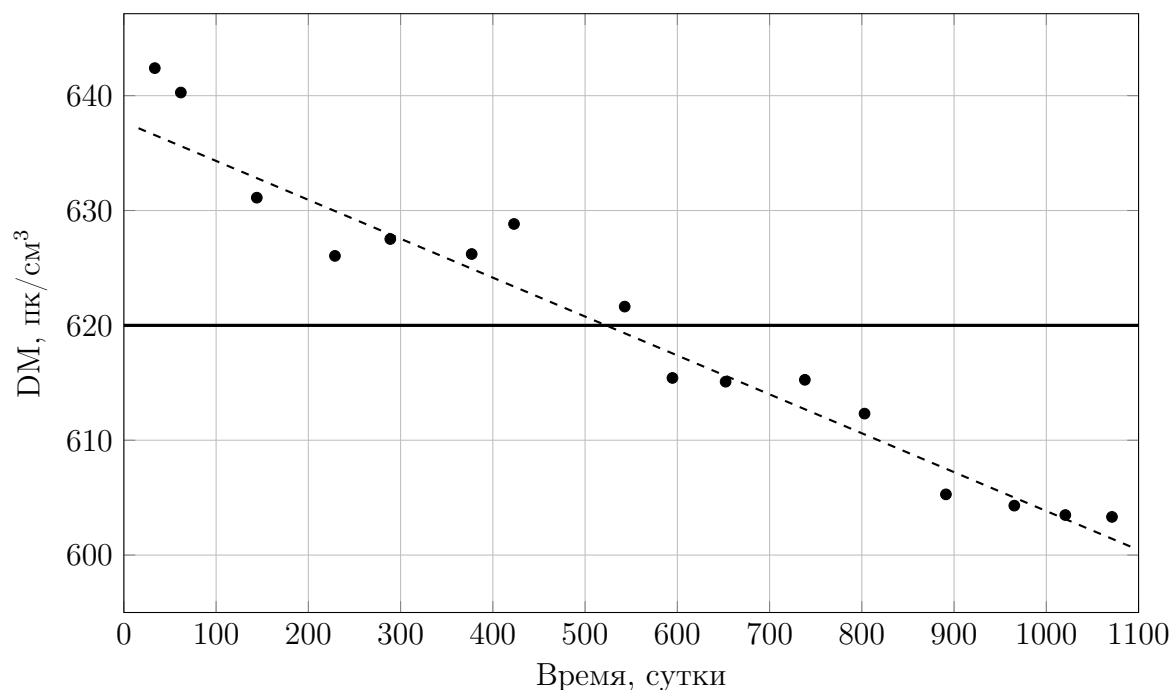


Рис. 2: Рисунок к задаче 10.

*Для справки.* Мера дисперсии DM — это характеристика среды, через которую проходит излучение, определяющая разное время прихода сигналов к наблюдателю на разных частотах. Мера дисперсии равна полному числу электронов на луче зрения в столбе сечением  $1 \text{ см}^2$  и измеряется в астрономии в единицах пк/см<sup>3</sup>:

$$\text{DM} [\text{пк/см}^3] = \langle n_e \rangle r,$$

где  $\langle n_e \rangle$  — средняя концентрация электронов на луче зрения и  $r$  — расстояние до источника.