

1. Считаем сверхновые

Статистика наблюдений сверхновых гласит, что в течение 18 месяцев в 2023–2024 годах было открыто 3156 сверхновых типа Ia и 869 сверхновых типа II. В то же время теоретическое моделирование показывает, что 24% вспышек сверхновых относятся к типу Ia, а 57% вспышек — к типу II. Можно считать, что в пределах одного типа сверхновых их абсолютная звездная величина в максимуме блеска одинакова, сверхновые распределены в пространстве равномерно и изотропно.

Воспользовавшись этими данными, определите, какие сверхновые ярче. На сколько звездных величин абсолютная звездная величина сверхновых подтипа Ia в максимуме блеска отличается от аналогичной величины для сверхновых типа II?

2. Зависит от точки зрения

Земляне проводят наблюдения астероида. Известно, что его орбитальный период составляет 8 лет, эксцентриситет орбиты равен 0.4, а ее наклон составляет 40° . Астероид наблюдается в афелии орбиты, расположенном симметрично относительно линии узлов (прямой, являющейся пересечением плоскостей орбит Земли и астероида). Какой может быть наблюдаемая (геоцентрическая) эклиптическая широта астероида в этот момент?

3. Усыхающий Нептун

Известно, что Нептун излучает в единицу времени в 2.5 раза больше энергии, чем получает от Солнца. Оцените, на какую величину изменяется радиус Нептуна за один его оборот вокруг Солнца, если известно, что вид зависимости плотности от радиуса у него при этом не изменяется. Радиус Нептуна равен 25 тыс. км, масса — $1.0 \cdot 10^{26}$ кг. Можно считать, что Нептун является абсолютно черным телом, а радиус его орбиты вокруг Солнца равен 30 а.е.

4. Не эта эпоха

Звезда Завийява (β Девы) на эпоху J2000.0 имеет экваториальные координаты $\alpha = 11^h 50^m 44^s$, $\delta = +1^\circ 45' 43''$. Ее собственное движение $\mu = 0''.7886/\text{год}$ с позиционным углом $\gamma = 110^\circ$ (позиционный угол отсчитывается от направления на Северный полюс мира в сторону увеличения прямого восхождения). Определите экваториальные координаты Завийявы для эпохи J2050.0. Нутацией пренебречь.

5. Спектральный вальс

Вам дано изображение газового диска, окружающего сверхмассивную черную дыру в центре галактики, а также два спектра, полученных для областей, отмеченных окружностями на изображении. Попавшая на спектры линия излучения — это линия [OIII] с лабораторной длиной волны 5007 \AA , в двух отмеченных областях (№1 и №2) ее длина волны достигает минимального и максимального значений для всего диска. Известно также, что угол между плоскостью диска и лучом зрения близок к 0° .

Зная, что угловые размеры приведенного изображения на небе составляют $5'' \times 5''$, определите массу черной дыры, выразив ее в массах Солнца. Пекулярную скорость галактики можно считать нулевой.

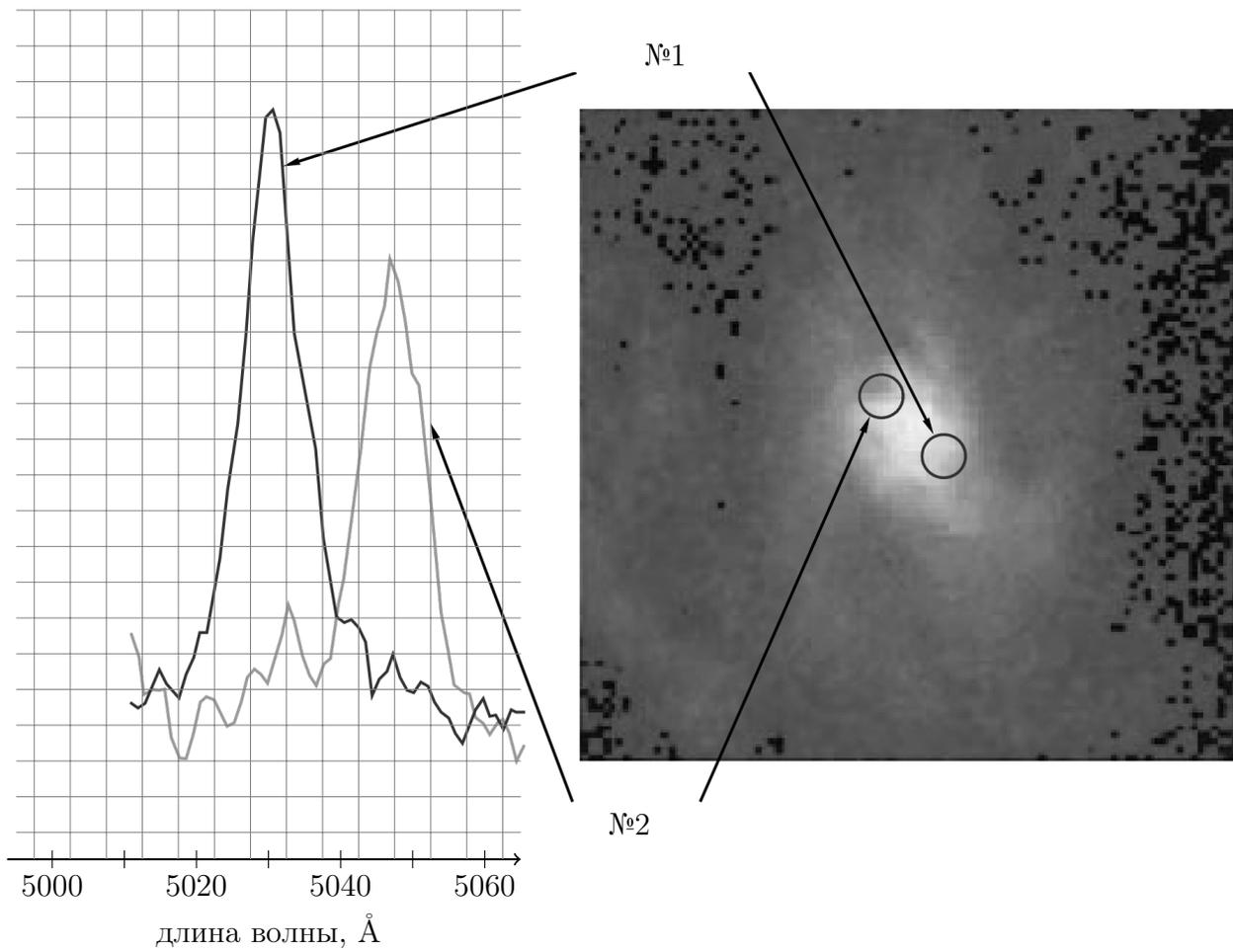


Рис. 1: Изображение к задаче 5.

6. Концентрат для Волос

Шаровое скопление состоит по количеству на 60% из звезд массы $0.8 M_{\odot}$ и на 40% из звезд массы $1 M_{\odot}$, 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 км^3 невозбужденного атомарного водорода с концентрацией 1 атом/см³ излучает всего 3 фотона в секунду. Оцените мощность излучения всего межпланетного невозбужденного атомарного водорода, находящегося в пределах радиуса 40 а.е. от Солнца. Считайте, 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. Как 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 проводятся в России. В каком созвездии находится наблюдаемый объект?



Рис. 1: Рисунок к задаче 9.

10. Сверхновая задача

У источника повторных быстрых радиовсплесков обнаружено рекордно 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.

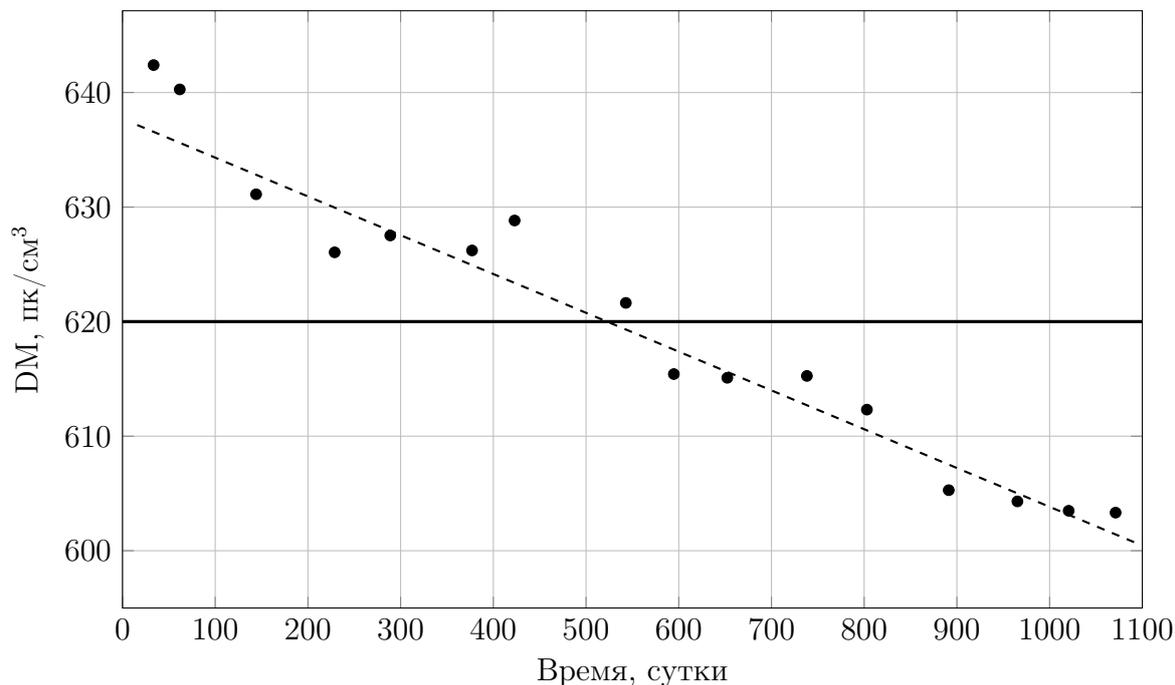


Рис. 2: Рисунок к задаче 10.

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 см^2 и измеряется в астрономии в единицах пк/см³:

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

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