

1 Блок. Базовые понятия.

1.1 Основные задачи астрофизики и объекты исследований, наблюдательная астрофизика.

Астрофизика – раздел астрономии, изучающий физические свойства космических объектов и происходящие в них процессы на основе общих физических законов.

Что изучает астрофизика:

- Строение и эволюция звёзд;
- Экзопланеты;
- Межзвёздная среда;
- Галактика;
- Эволюция галактик;
- Космология.

Основные задачи астрофизики:

- Изучение структуры и эволюции звезд:
 1. Понимание процессов, происходящих внутри звезд, их жизненного цикла, от рождения до смерти.
 2. Исследование звездных классификаций, спектральных типов и их физических свойств.
- Исследование галактик:
 1. Изучение структуры, динамики и эволюции галактик.
 2. Исследование активных галактических ядер и квазаров.
 3. Понимание процессов звездообразования и взаимодействия галактик.
- Космология:
 1. Изучение происхождения, структуры и эволюции Вселенной.
 2. Исследование темной материи и темной энергии.
 3. Понимание космического микроволнового фона.

- **Планетарные системы:**
 1. Изучение состава, структуры и динамики межзвездного газа и пыли.
 2. Исследование молекулярных облаков и процессов звездообразования.
- **Высокоэнергетические явления:**
 1. Изучение сверхновых, гамма-всплесков, нейтронных звезд и черных дыр.
 2. Исследование космических лучей и высокоэнергетических частиц.

Наблюдательная астрофизика играет ключевую роль в понимании Вселенной, предоставляя данные, которые позволяют астрофизикам тестировать и уточнять теоретические модели.

1.2 Используемые инструменты, методы и источники информации об исследуемых объектах.

Наблюдательная астрофизика использует широкий спектр инструментов, методов и источников информации для изучения различных астрономических объектов. **Инструменты наблюдательной астрофизики:**

- **Оптические телескопы:**
 1. **Наземные телескопы:** Большие оптические телескопы, такие как Keck, VLT (Very Large Telescope), и Subaru, используются для наблюдений в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах.
 2. **Космические телескопы:** Хаббл (Hubble Space Telescope) и Джеймс Уэбб (James Webb Space Telescope) предоставляют высококачественные изображения и спектры без атмосферных помех.
- **Радиотелескопы:**
 1. **Наземные радиотелескопы:** ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array), VLA (Very Large Array), и LOFAR (Low-Frequency Array) используются для наблюдений в радиодиапазоне.
 2. **Космические радиотелескопы:** Радиотелескопы на орбите, такие как Spektr-R, позволяют избежать атмосферных помех.
- **Инфракрасные телескопы:**
 1. **Наземные инфракрасные телескопы:** IRTF (Infrared Telescope Facility) и UKIRT (United Kingdom Infrared Telescope).
 2. **Космические инфракрасные телескопы:** Spitzer Space Telescope и Herschel Space Observatory.
- **Ультрафиолетовые телескопы:**

1. **Космические ультрафиолетовые телескопы:** GALEX (Galaxy Evolution Explorer) и Swift.
- **Рентгеновские телескопы:**
 1. **Космические рентгеновские телескопы:** Chandra X-ray Observatory и XMM-Newton.
- **Гамма-телескопы:**
 1. **Космические гамма-телескопы:** Fermi Gamma-ray Space Telescope.
 2. **Наземные гамма-телескопы:** Cherenkov Telescope Array (CTA) и HESS (High Energy Stereoscopic System).

Методы наблюдательной астрофизики:

- **Фотометрия:**
 1. Измерение яркости небесных объектов в различных диапазонах спектра.
 2. Используется для определения светимости, температуры и расстояния до объектов.
- **Спектроскопия:**
 1. Анализ спектров небесных объектов для определения их состава, температуры, скорости и других физических параметров.
 2. Используется для изучения химического состава звезд, галактик и межзвездной среды.
- **Интерферометрия:**
 1. Использование нескольких телескопов для создания виртуального телескопа с высоким разрешением.
 2. Применяется в радиоастрономии (VLBI) и оптической астрономии (VLTI).
- **Поляриметрия:**
 1. Измерение поляризации света от небесных объектов.
 2. Используется для изучения магнитных полей и структуры межзвездной среды.

Приёмники излучения используются для обнаружения и анализа ЭМ излучения от объектов. В зависимости от диапазона спектра, применяются различные типы приёмников.

Источники информации об исследуемых объектах:

- Электромагнитное излучение;
- Нейтрино;
- Гравитационные волны;
- Космические лучи.

1.3 Электромагнитное излучение, основные характеристики и единицы измерений.

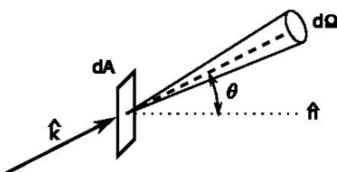
Основным источником информации о небесных телах остаётся ЭМ излучение. Спектральный состав характеризуется длиной волны излучения λ или частотой ν .

Диапазон	Энергия($h\nu$)	Температура ($h\nu/k$)
Гамма лучи	10^5 эВ	10^9 К
Х	10^3 эВ	10^7 К
УФ	10 эВ	10^5 К
Видимый	1 эВ	10^4 К
ИК	0.1 эВ	10^3 К
Микроволновый	10^{-3} эВ	10 К
Радио	10^{-6} эВ	0.001 К

dQ – энергия от источника. **Поток излучения** - энергия, протекающая через площадку dA за время dt .

$$F = \frac{dQ}{dt}$$

Измеряется в эрг/с или других единицах мощности, например в ваттах.



Освещенность или плотность потока – пото с единичной площадки dS :

$$E = \frac{dF}{dS}$$

Измеряется в эрг/с/см²

Интенсивность точечного источника

$$I = \frac{dF}{d\Omega}$$

$$d\Omega = \frac{dS}{r^2}$$

Характеризует излучательные свойства источника, и не зависит от того, на каком расстоянии от него поместить элементарную площадку.

Поверхностная яркость протяженного источника:

$$B = \frac{I}{\sigma}$$

σ – проекция площадки на плоскость, перпендикулярную направлению распространения света, измеряется в эрг/с/стерад/см²

Удельная плотность потока измеряется в ватт/м²/Гц, Янский (1 Ян = 10⁻²⁶ ватт/м²/Гц)
Переход от ν к λ :

$$\lambda E_\lambda = \nu E_\nu$$

Пример: Удельная освещенность на 10⁸ Гц ($\lambda = 300$ см) составляет $E_\nu = 17 \cdot 10^{-23}$ вт/м²/Гц.

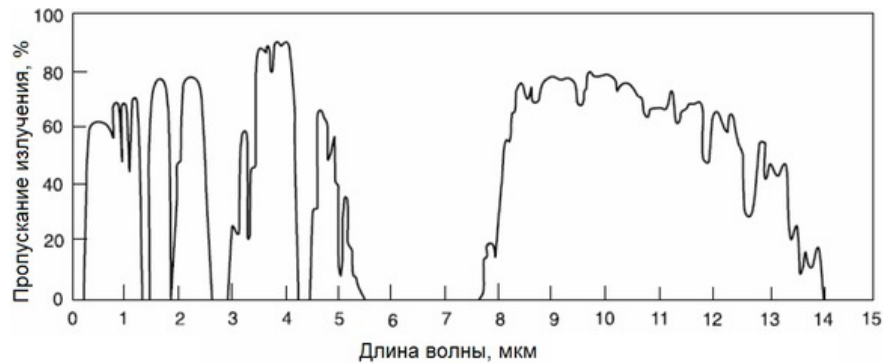
1.4 Земная атмосфера, её влияние, условия наблюдений, внеатмосферные источники искажений.

Земная атмосфера оказывает значительное влияние на наблюдения в астрономии, как в оптическом, так и в других диапазонах электромагнитного спектра.

Земная атмосфера:

- Поглощение и рассеяние света:

1. **Поглощение:** Молекулы и аэрозоли в атмосфере поглощают свет определенных длин волн, что приводит к ослаблению сигнала от астрономических объектов. Например, озон в атмосфере поглощает ультрафиолетовое излучение, а водяной пар поглощает инфракрасное излучение.
2. **Рассеяние:** Рассеяние света на молекулах и частицах в атмосфере (так называемое рассеяние Рэля) приводит к уменьшению яркости объектов и ухудшению контраста изображений.



Рассеяние света: на молекулах воздуха, коэффициент рассеяния пропорционален $\sim \lambda^{-4}$, на аэрозоле коэффициент пропорционален $\sim \lambda^{-\alpha}$, где $\alpha \approx 0.8$;

- **Атмосферная помутненность:** Турбулентность в атмосфере вызывает колебания плотности воздуха, что приводит к искажению волнового фронта света, проходящего через атмосферу. Это явление называется атмосферной помутненностью и ограничивает угловое разрешение наземных телескопов.
- **Атмосферная дисперсия:** Различные длины волн света преломляются в атмосфере по-разному, что приводит к хроматической аберрации и искажению изображений.

Условия наблюдений:

- **Высокогорные обсерватории:** Расположение обсерваторий на высоких горах (например, Мауна-Кеа на Гавайях) снижает влияние атмосферы, так как количество атмосферы над телескопом уменьшается.
- **Сухие и стабильные климатические условия:** Обсерватории часто строятся в пустынных или полупустынных районах с низкой влажностью и стабильной погодой, что снижает влияние водяного пара и атмосферной турбулентности.

Внеатмосферные источники искажений:

- **Космические лучи:** Высокоэнергетические частицы, попадающие в атмосферу Земли, могут создавать фоновый шум и искажения в детекторах.
- **Солнечный свет:** Рассеянный солнечный свет может создавать фоновый шум, особенно при наблюдениях в дневное время или в сумеречное время.
- **Ионосфера:** Ионосфера Земли может исказить радиосигналы, особенно на низких частотах.

Способы избежать влияния атмосферы:

1. **Космические телескопы:** Размещение телескопов на орбите Земли позволяет полностью избежать влияния атмосферы. Примеры космических телескопов включают Хаббл (Hubble Space Telescope) для оптических и ультрафиолетовых наблюдений, Чандра (Chandra X-ray Observatory) для рентгеновских наблюдений и Спитцер (Spitzer Space Telescope) для инфракрасных наблюдений.
2. **Баллонные и высотные наблюдения:** Использование воздушных шаров и высотных самолетов позволяет поднять телескопы на большие высоты, где влияние атмосферы минимально. Примеры включают SOFIA (Stratospheric Observatory for Infrared Astronomy), который размещен на борту самолета.

2 Блок. Оптические телескопы и инструменты.

2.1 Функции телескопа, его основные характеристики и ограничения.

Телескоп является основным инструментом в наблюдательной астрофизике, позволяя астрономам собирать свет от далеких объектов и анализировать его для получения информации о Вселенной.

Задачи телескопа: Прием и анализ излучения осуществляется с помощью телескопа.

1. Собрать и направить на приемник излучения как можно большее количество световой энергии;
2. Отделить положения изображений источников (или отдельных деталей) друг от друга;

3. Выделить сигнал от отдельного источника среди естественного шума.

Функции телескопа:

1. Увеличение угла зрения (увеличение видимых размеров объекта и разрешения близко расположенных объектов) – по существу приближение объекта.
2. Увеличение плотности потока (и, тем самым, проникающей силы).
3. Направление излучения от объекта на приёмник.

Характеристики телескопа:

1. Угловое увеличение (Увеличение одиночной линзы).
Равнозрачковое увеличение: $g = D/\delta$, D – диаметр зеркала, δ – диаметр зрачка.
2. Масштаб изображения – какой линейный размер в фокальной плоскости будет соответствовать угловому расстоянию на небе. $L = F \operatorname{tg} \alpha$, $\operatorname{tg} \alpha \approx \alpha$, $L \approx F\alpha''/206265''$
3. Поле зрения – угловой размер области неба, которую телескоп может качественно отобразить на приёмнике излучения.
 - Зеркально – линзовые телескопы системы Шмидта и Максутова – максимальное поле зрения $5^\circ - 6^\circ$
 - Рефлекторы – 1°
 - Визуальные наблюдения – ограничения окуляра.
 - Относительное отверстие телескопа – $A = D/F$ (светосила)
 - Разрешение – способность различать мелкие детали. (человеческий глаз $\sim 1'$)
 - Теоретическое разрешение $\alpha[\operatorname{rad}] = 1.22\lambda/D$
 $a = F\alpha = 1.22\lambda F/D$ – линейный радиус кольца.
 - Разрешающая сила телескопа – При Δ между двумя звёздами меньше 2α частичное наложение дифракционных дисков; Предел разрешающей силы телескопа: $\Delta'' = 0.85\alpha$
 - Проникающая сила – способность телескопа регистрировать слабые объекты. (Для глаза – $5^m - 6^m$)

$$m = 2 + 5 \lg D[mm]$$

- 2.2 Основные типы телескопов, классические оптические схемы, aberrации оптических систем, потери и ограничения.
- 2.3 Конструкция телескопов и типы монтировок. Тонкие и сегментированные зеркала. Активная и адаптивная оптика.
- 2.4 Солнечные телескопы. Целостат, внезатменный коронограф и космические солнечные телескопы.
- 2.5 Особенности ИК-телескопов. Телескопы для далекого ультрафиолета и рентгеновского излучения, космические ИК/УФ/Х телескопы.
- 2.6 Оптические интерферометры. Интерферометр Фабри - Перо.
- 2.7 Фотометры, поляриметры, светофильтры.
- 2.8 Спектрографы. Оптическая схема, призмы и дифракционные решётки. Мультизрчковый и мультиобъектный спектрографы.

3 Блок. Приёмники излучения.

- 3.1 Основные типы и основные характеристики и ограничения приемников излучения, типы шумов.
- 3.2 Приемники излучения, работающие на внешнем фотоэффекте.
- 3.3 Одноканальные приемники на внутреннем фотоэффекте. Тепловые приемники.
- 3.4 ПЗС и ПЗС-матрицы.
- 3.5 Приёмники УФ и рентгеновского диапазонов, способы определения направления излучения.
- 3.6 Приёмники и способы регистрации гамма-квантов, способы определения направления излучения
- 3.7 Регистрация космических лучей.
- 3.8 Нейтринные детекторы, способы регистрации гравитационных волн.