

Ультрафиолетовая Вселенная

Борис Шустов

Институт астрономии РАН
Научный руководитель проекта «Спектр-УФ»



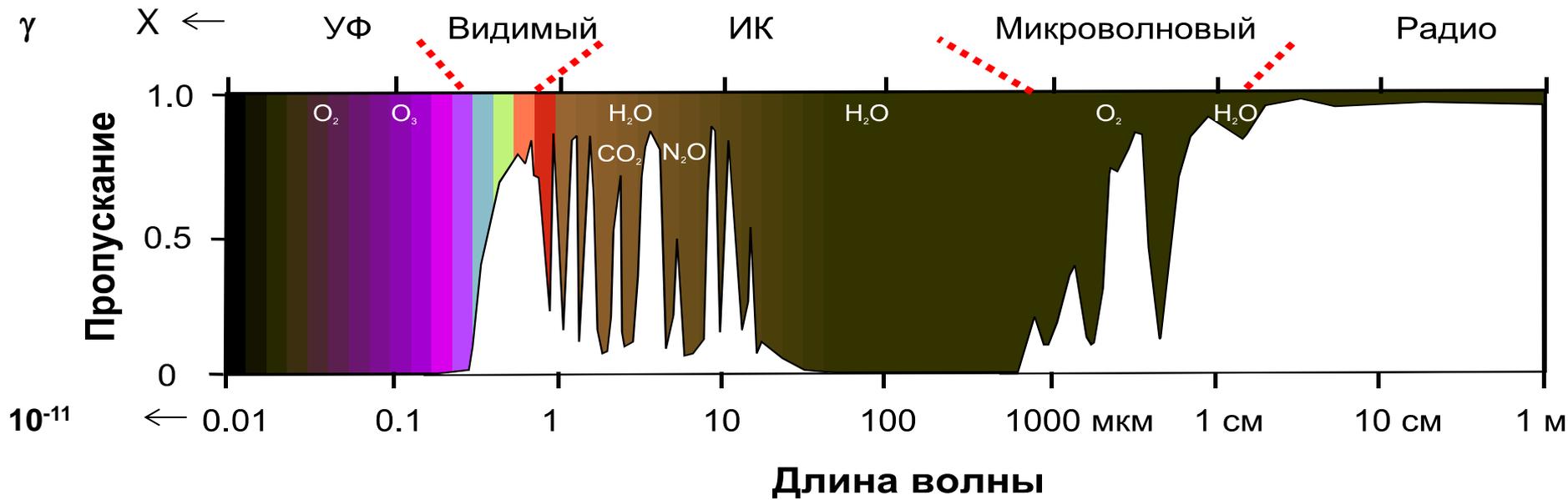
Что такое астрономия?

Исторически в системе науки и образования астрономия рассматривалась как одна из математических дисциплин, но, конечно, она по сути своей является наукой физической.

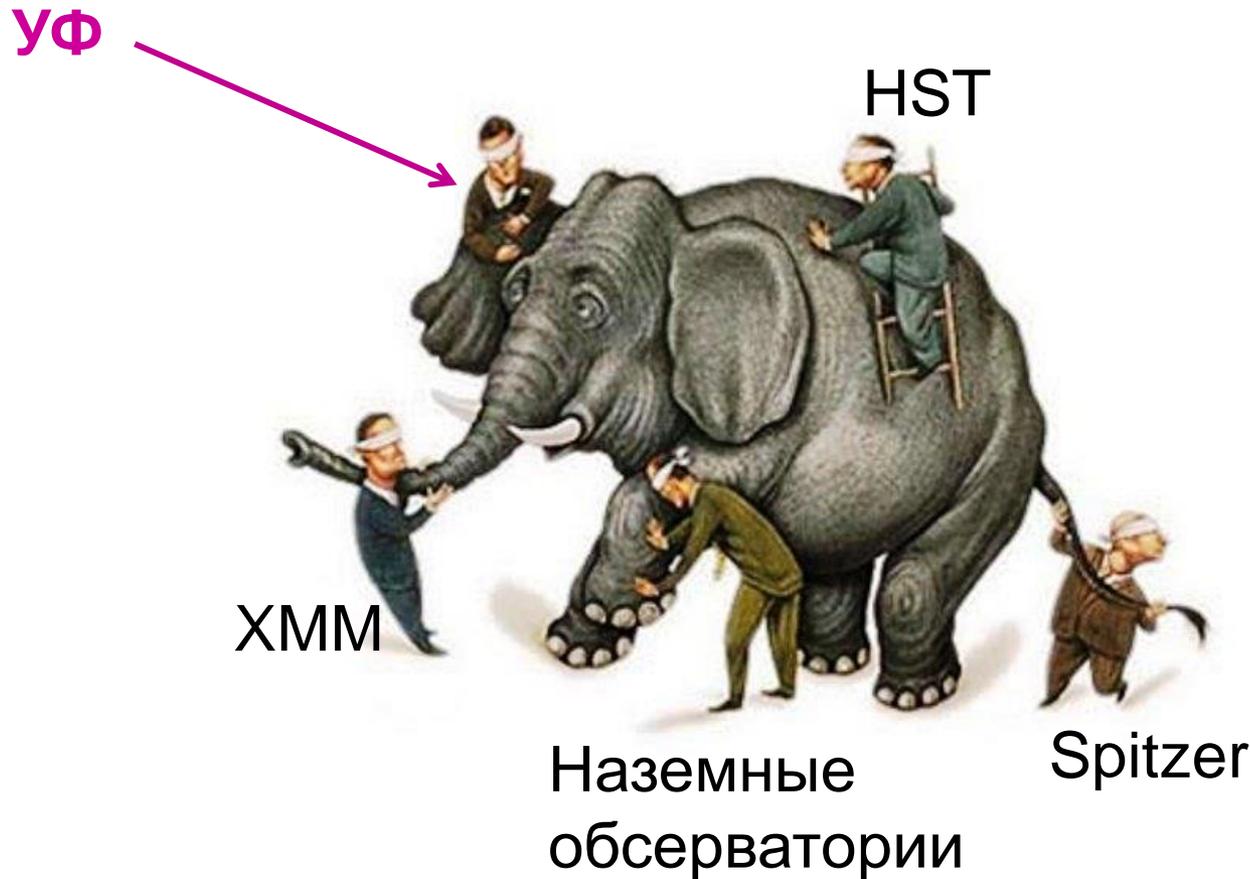
Само слово «физика» происходит от греческих слов φύσις, φυσικός - «природа, природный»,

а задачей астрономии как фундаментальной науки является изучение природы Вселенной, т.е. различных космических объектов и процессов, протекающих в космосе на различных пространственных и временных масштабах.

Атмосфера Земли – защита и шоры



О необходимости космических обсерваторий



- XMM-Newton – рентгеновское излучение,
- HST – ультрафиолет (УФ), оптика
- Spitzer – инфракрасное излучение (ИК)

Сколько существует астрономий?

Много (десятки)!

В частности, употребляется выделение «астрономий» по спектральному (энергетическому) диапазону и по технологии наблюдений: «гамма», «рентгеновская», «оптическая», «инфракрасная», «радио», «гравитационная» и т.д.

В этом ряду стоит и понятие **«ультрафиолетовая астрономия»** или **УФ-астрономия**

Входит в группу «внеатмосферная астрономия».

План лекции

1. Что такое УФ?
2. Почему так важны наблюдения в УФ?
3. Телескопы для наблюдений в УФ.
4. Проект «Спектр-УФ» («Всемирная космическая обсерватория - Ультрафиолет»).
5. О научных проблемах в УФ-астрономии.

1. Что такое УФ?

УФ-участки электромагнитного спектра

В обычной практике (например, в медицине) используется следующая классификация УФ:

- ⓐ A (UVA) – 400-315 nm
- ⓑ B (UVB) – 315-280 nm
- ⓒ C (UVC) – 280-100 nm

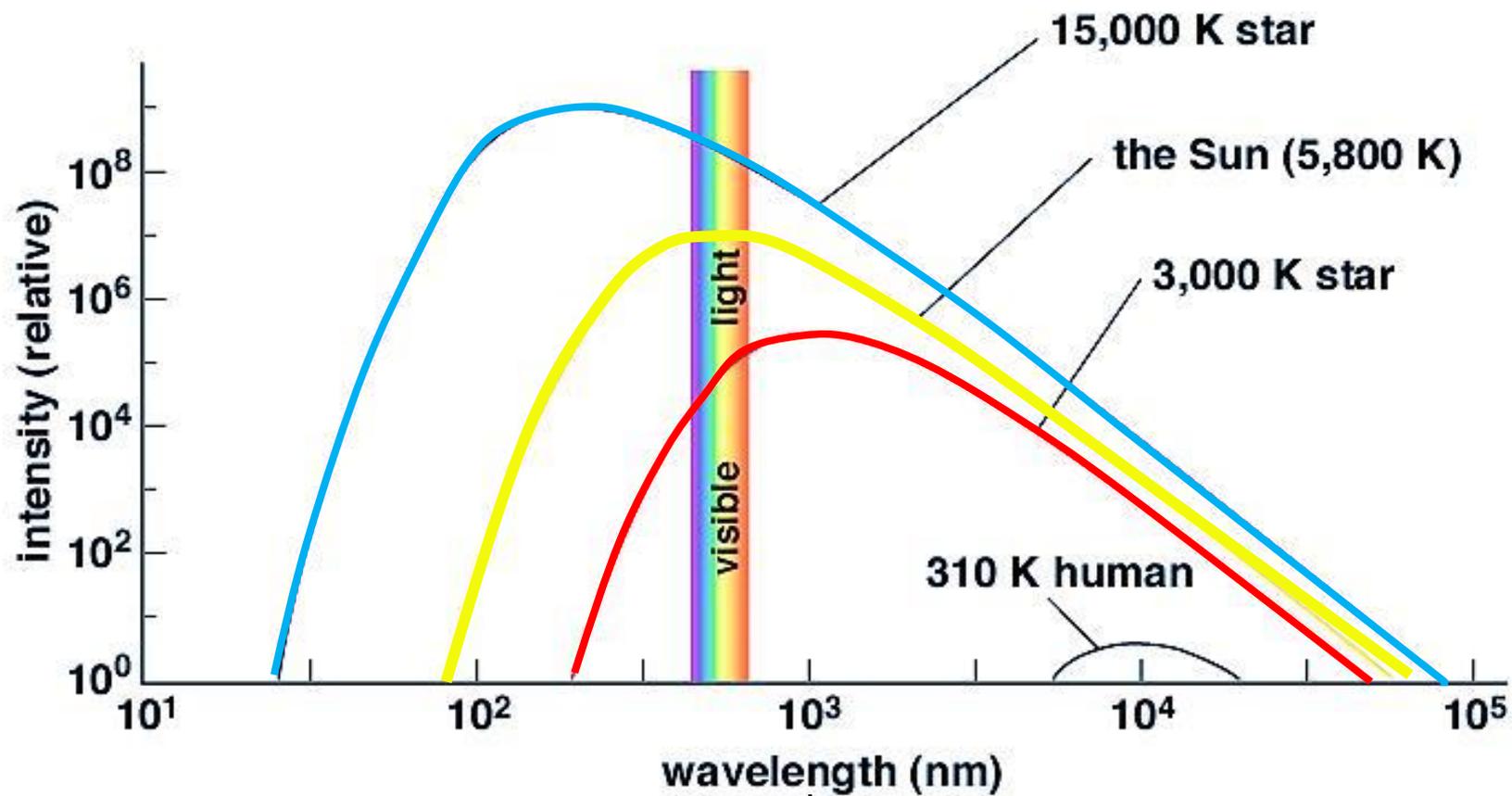
В физике УФ условно делится на атмосферный или ближний (200-400 нм) и дальний или вакуумный (10-200 нм).

В астрофизике

- ⓐ EUV – 10-91.2 nm Крайний УФ
- ⓑ FUV – 91.2-200 nm Дальний УФ
- ⓒ NUV – 200 – 320 nm Ближний УФ
- ⓐ λ_c (Å) – 3580, WNM (Å) – 550 U полоса в системе **UBV**

2. Почему так важны наблюдения в УФ?

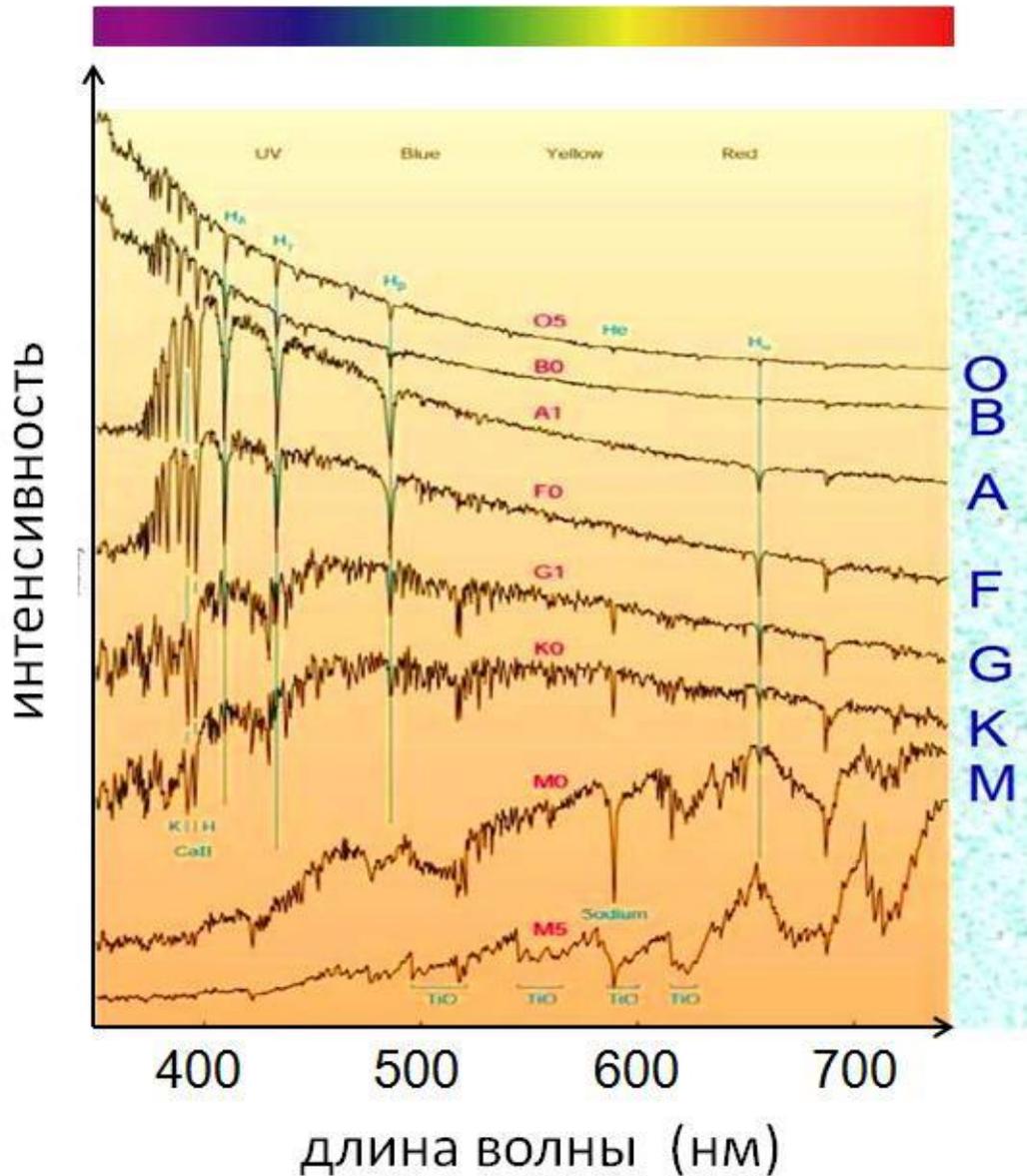
Спектр и температура излучения



Copyright © Addison Wesley

1 микрон

Спектры звезд



Спектры звёзд
Главной
последовательности
различных
спектральных
классов

В УФ много линий, много информации

В УФ множество сильных (резонансных) переходов распространенных химических элементов - H, D, He, C, N, O, Mg, Si, S, Fe.

Уникальные (т.е. недублируемые никакими другими методами!) возможности предоставляет УФ-спектроскопия:

- ☉ линий $L\alpha$ водорода,
- ☉ дейтерия,
- ☉ ионов O VI, C IV, N V, C III, C IV

Электронные переходы наиболее обильных в космосе молекул: H_2 , CO, OH, CS, C_2 .

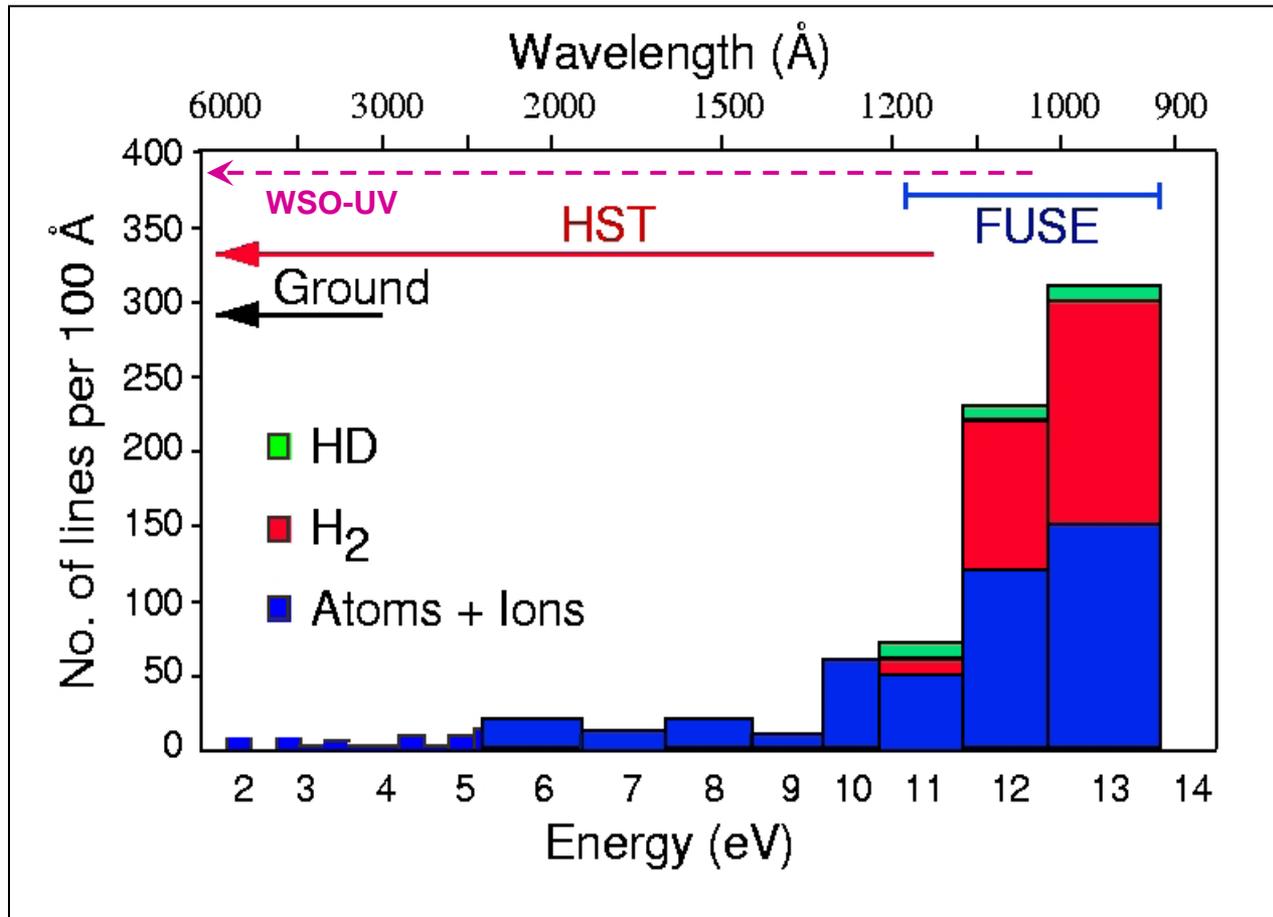
В УФ-диапазоне лежат также наиболее сильные полосы таких экзотически больших молекулярных комплексов как полиароматические углеводороды (ПАУ).

В УФ много линий, много информации

В УФ-диапазоне наиболее велика плотность астрофизической информации о звездах и газе. Эта информация содержится и в непрерывном спектре астрофизических источников и, особенно, в линиях различных химических элементов.

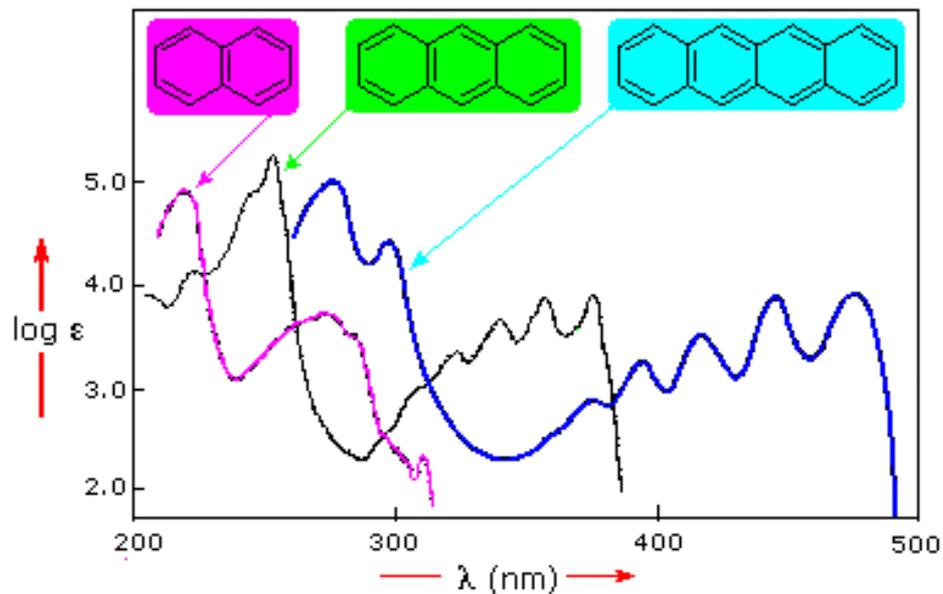
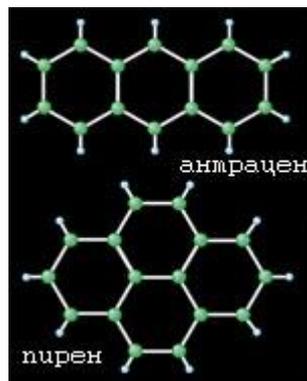
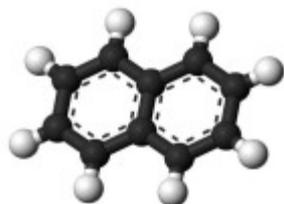
УФ-спектроскопия – важнейший канал получения информации о космических объектах.

В УФ много линий, много информации



Число линий поглощения на интервал длин волн шириной 10 нм в зависимости от длины волны (энергии) фотонов. (*FUSE*).

Пример: спектры ПАУ

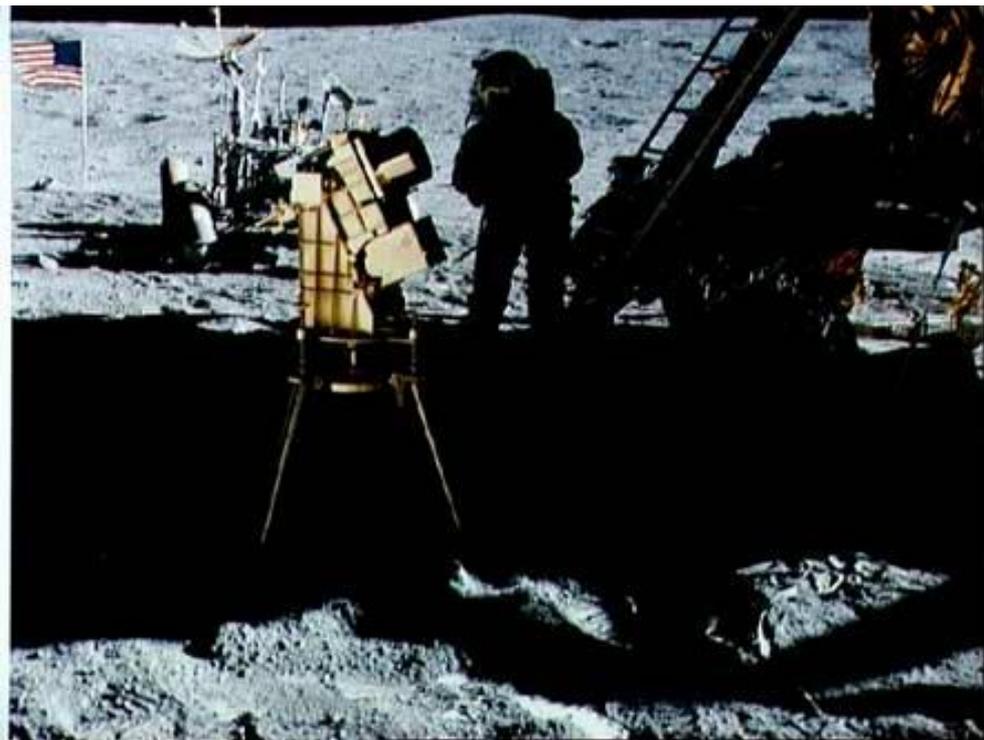


ПАУ – органические вещества, содержащие несколько углеродных колец. Распространенные органические загрязнители, содержащиеся в автомобильном выхлопе, нефти, сигаретном дыме. Некоторые из них канцерогенны. Но! Сходные структуры лежат в основе нуклеотидов ДНК и РНК, они существовали на Земле 4,5 млрд. лет назад, когда на ней зарождалась жизнь. ПАУ могли сыграть важную роль в генезисе первых организмов.

УФ-изображения в астрономии

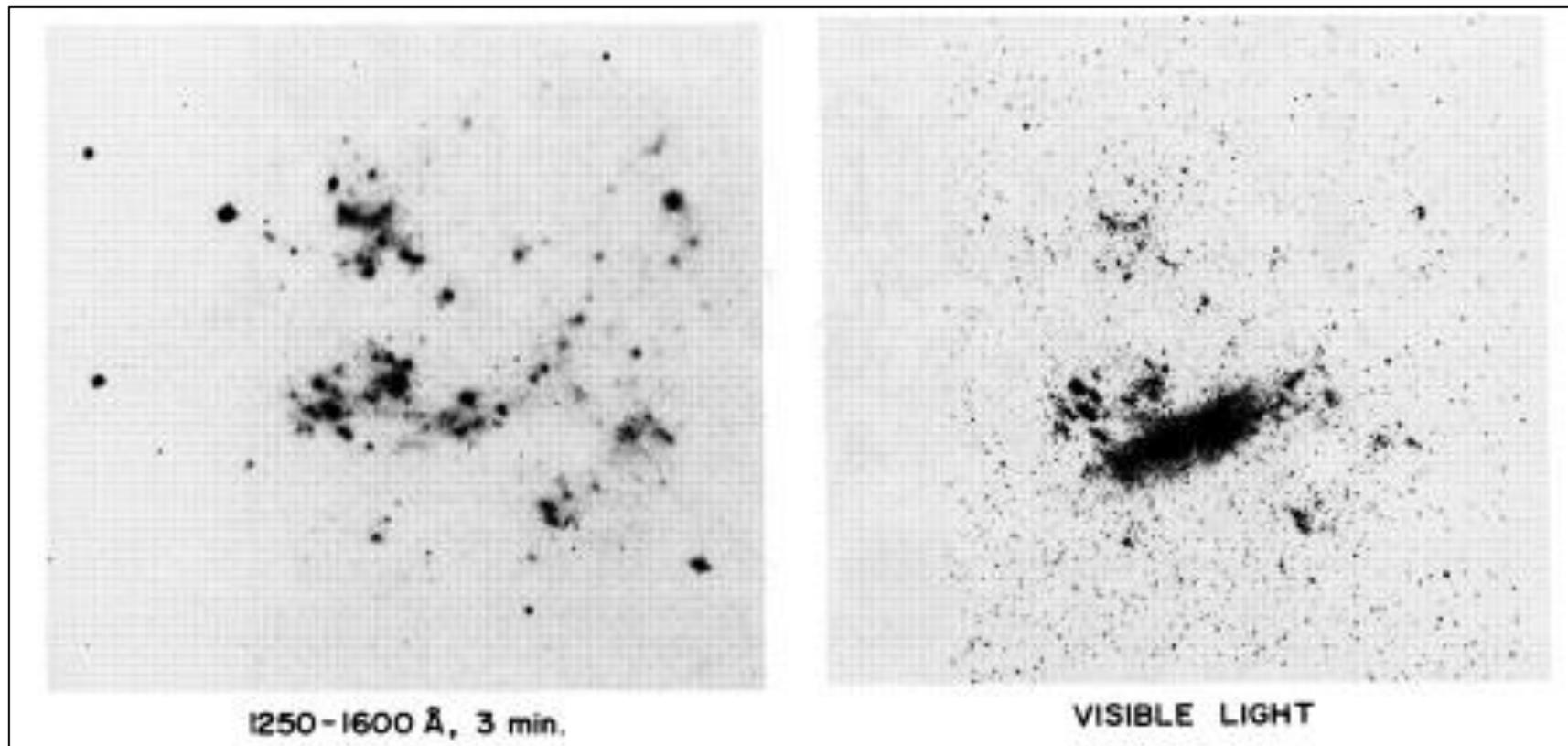
УФ-изображения позволяют проводить тонкий структурный анализ УФ-излучающих объектов: зон звездообразования, аврор и т.д.

Один из первых примеров применения УФ-фотографии в астрофизике

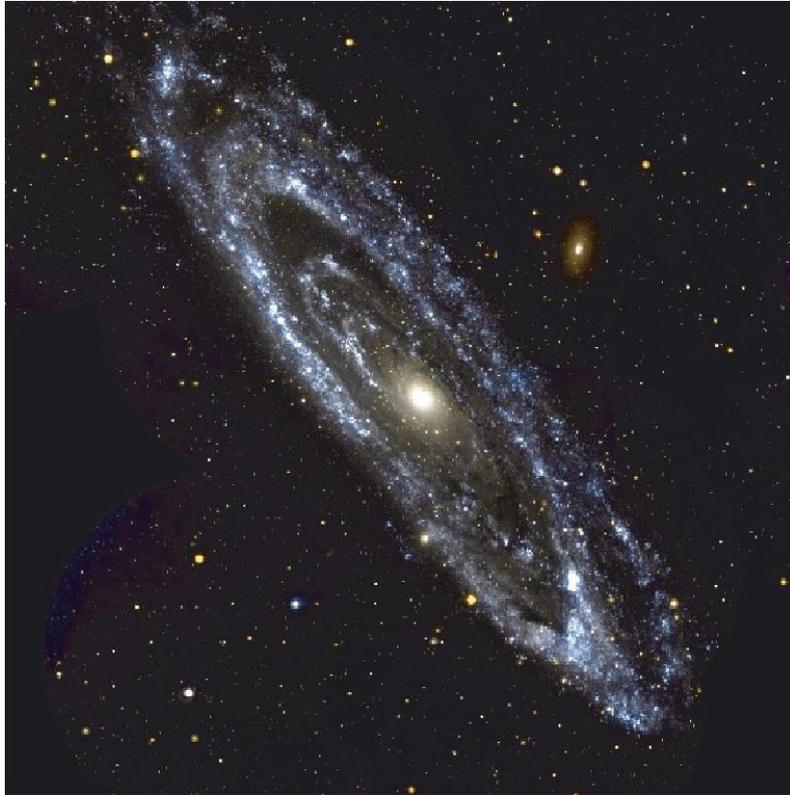


S-201 UV camera, Apollo 16: 1st lunar observatory (0.075-m telescope, 20° FOV). Astronaut Young pointed it at the LMC.

Большое Магелланово облако



M31 в УФ

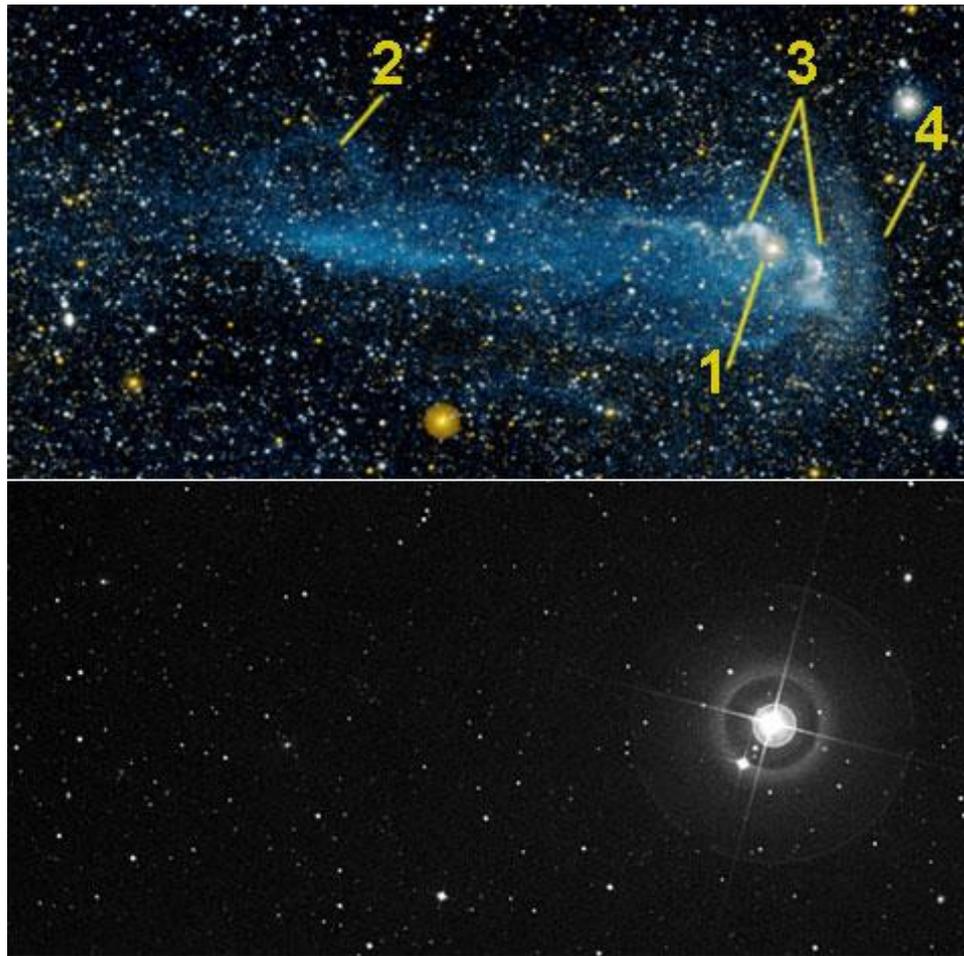


Изображение, полученное при помощи УФ-телескопа миссии GALEX.



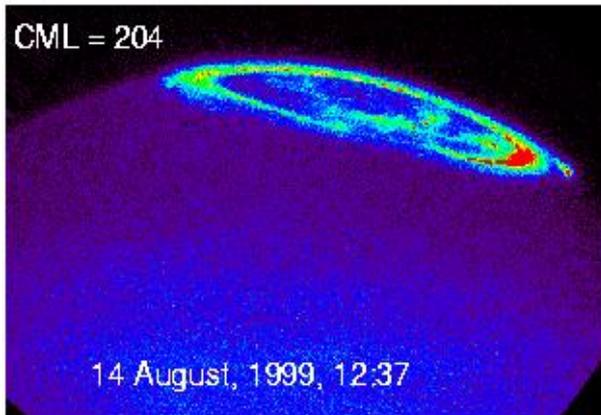
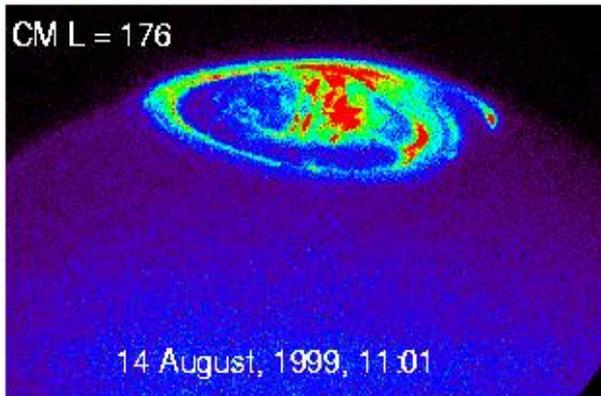
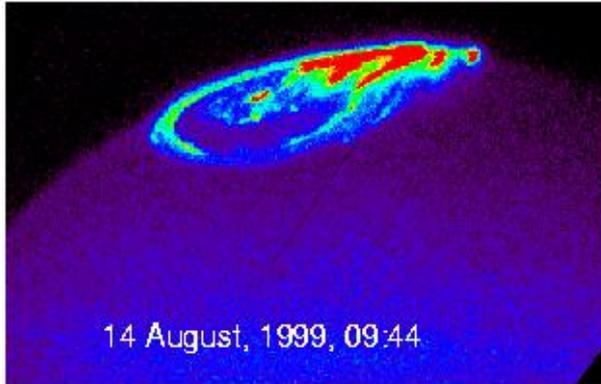
Снимок получен на наземном оптическом телескопе.

Мира Кита



УФ-изображение газового хвоста у звезды Мира Кита, полученное с помощью КА GALEX (вверху). Для сравнения та же область неба в видимом участке спектра. (внизу).

Юпитер



Авроральные эмиссии на Юпитере (Ly_α и H_2). Снимки получены на КТХ в 1999 г.

3. Телескопы для наблюдений в УФ

УФ- обсерватории

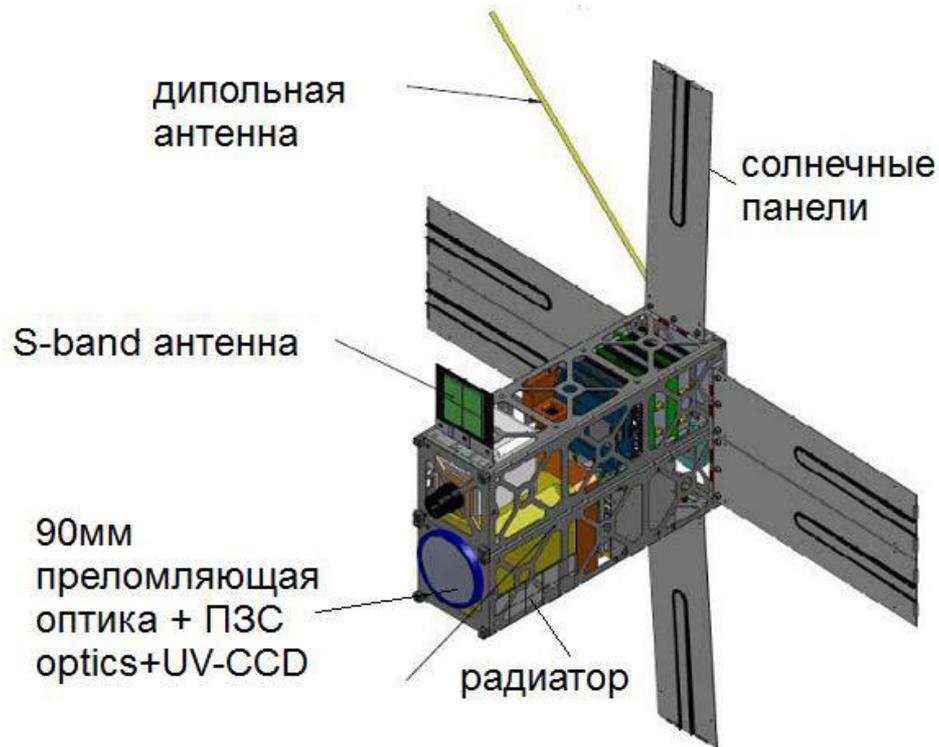
Обсерватория	Год и месяц запуска и завершения	Апертура инструмента см	Режим наведения	Режим наблюдения	λ Å
OAO-2	1968.12 - 1973.01	20	sp	is	1000-4250
TD-1A	1972.03 - 1974.05	28	s	is	1350-2800+
OAO-3	1972.08 - 1981.02	80	p	s	900-3150
ANS	1974.08 - 1977.06	22	p	s	1500-3300+
IUE	1978.01 - 1996.09	45	p	s	1150-3200
<u>ASTRON</u>	1983.03 - 1989.06	80	p	s	1100-3500+
EXOSAT	1983.05 - 1986.	2x30	p	is	250+
ROSAT	1990.06 - 1999.02	84	sp	i	60- 200+
HST	1990.04 – 2018?	240	p	isp	1150-10000
EUVE	1992.06 - 2001.01	12	sp	is	70- 760
ALEXIS	1993.04 - 2005.04	35	s	i	130- 186
MSX	1996.04 - 2003	50	s	i	1100-9000+
FUSE	1999.06 - 2007.07		p	s	905-1195
CHIPS	2003.01		sp	s	90- 260
GALEX	2003.04		sp	is	1350-2800
FIMS	2003.09		s	s	900-1750
SWIFT	2004.11		p	i	1700-6500

Проект «Астрон»



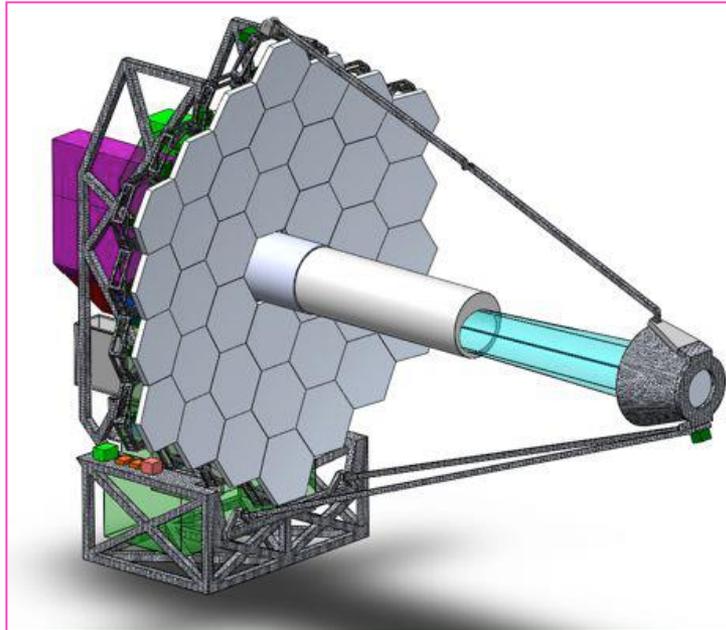
Ведущие конструкторы А.А. Моишеев, О.Г. Ивановский и руководитель космического эксперимента "Астрон" А.А. Боярчук возле макета телескопа "Спика", установленного на борту космической обсерватории "Астрон« (1983-1989 гг).

УФ-обсерватории будущего: нано КА



UV-cubesat
Сверхмалый
космический аппарат
с 90 мм УФ камерой.

УФ-обсерватории будущего: мега КА



ATLAST. Многоволновая обсерватория ATLAST - набор концепций обсерваторий с диаметром главного инструмента в 8-16-м, что позволит выполнить некоторые из самых сложных наблюдений и ответить на некоторые самые важные, в том числе "Есть ли жизнь в другом месте в Галактике?"

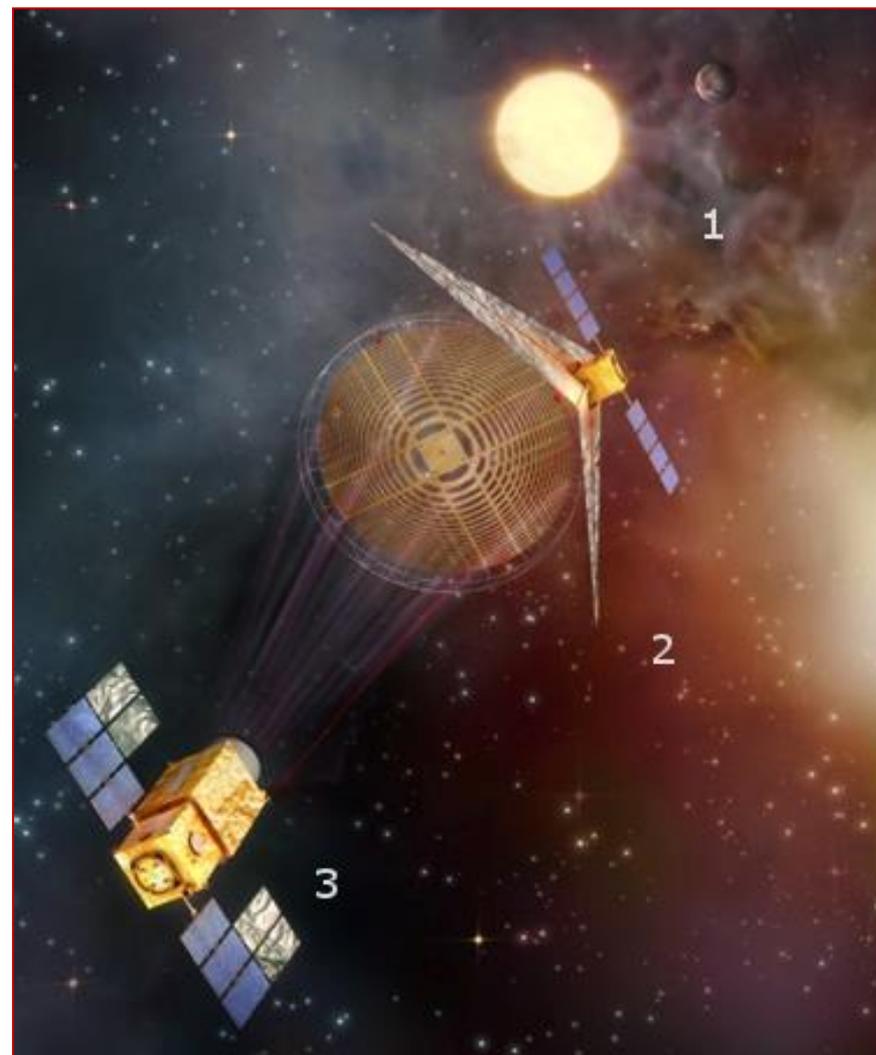
Телескоп Fresnel

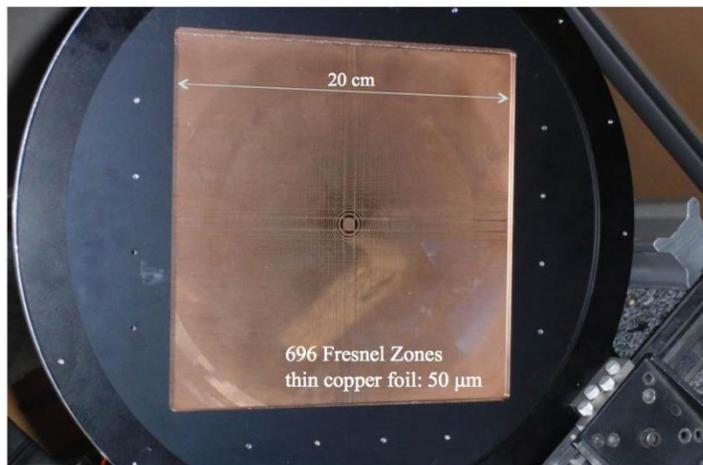
Дифракционный
телескоп Френеля.

1- источник (звезда +
планета),

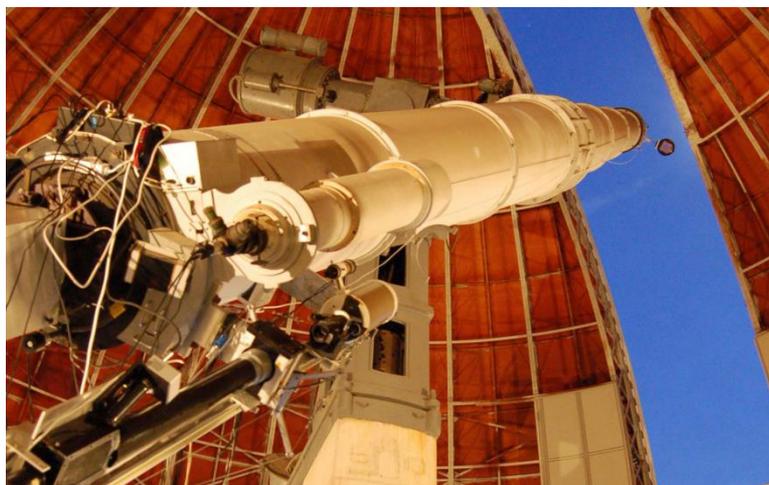
2 – пластина Френеля,
установленная на
автономной платформе,

3 – фокальный узел,
также установлен на
отдельной платформе.





Наземная отработка телескопа (камеры) Френеля



4. Спектр-УФ или Всемирная Космическая Обсерватория – УльтраФиолет

Спектр-УФ

Обсерватория «Спектр-УФ» или ВКО-УФ предназначена для спектроскопии астрономических источников в УФ и построении изображений в УФ и оптическом участках.

Проект «Спектр-УФ» реализуется в рамках Федеральной космической программы на 2016-2025 гг.

Проект «Спектр-УФ» является на период 2020- 2030 гг главной и единственной российской и международной перспективой иметь широкое «ультрафиолетовое окно» во Вселенную.

Кооперация в проекте «Спектр-УФ»

Телескоп: Т-170М, Россия.
1.7 m, f/10,

Спектрографы:
УФЭС, ВУФЭС , $R \approx 5-6 \times 10^4$;
СДЩ, $R \approx 1000$, Россия.

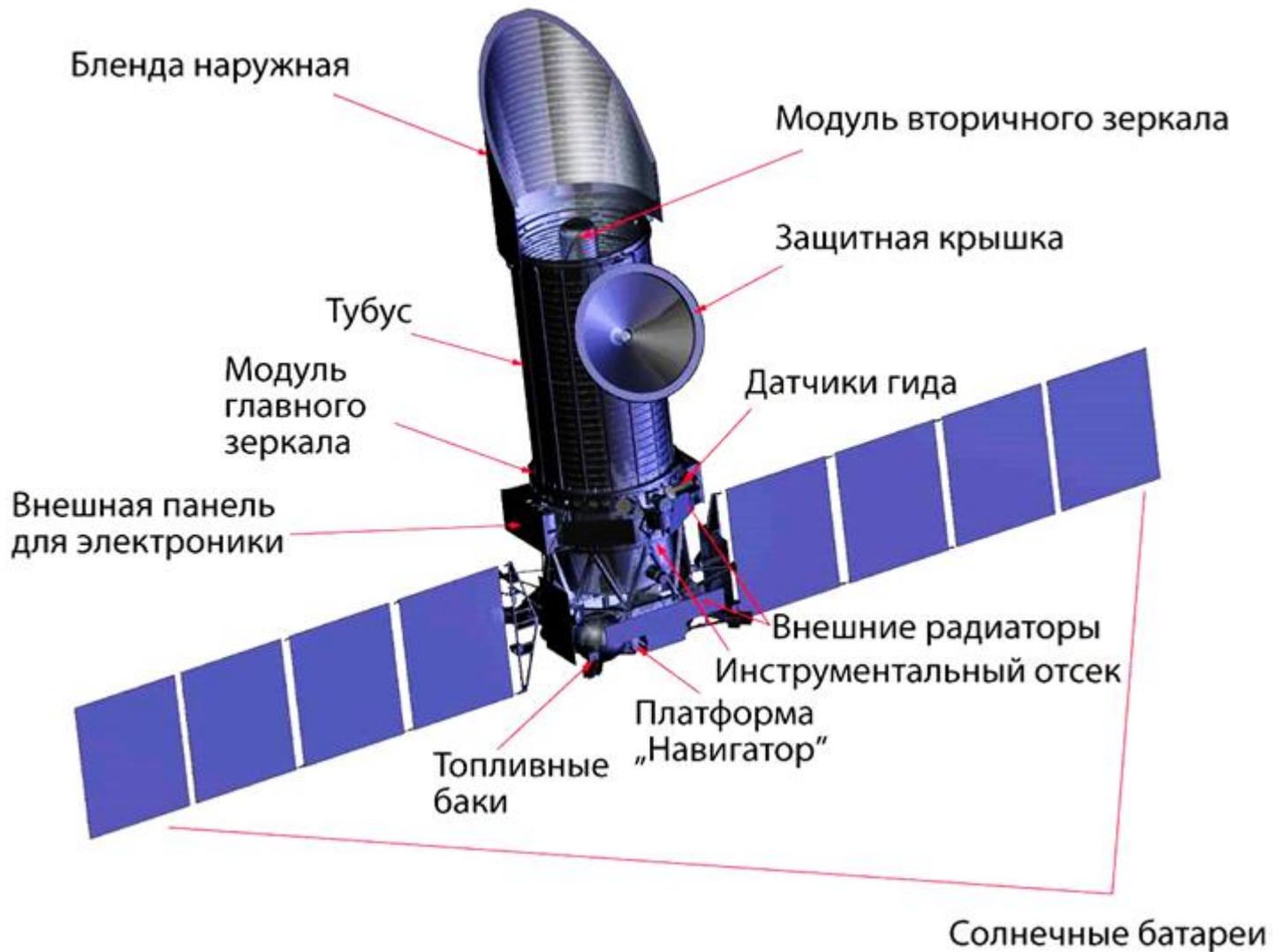
Камеры: Россия, Испания

Платформа: «Навигатор», Россия

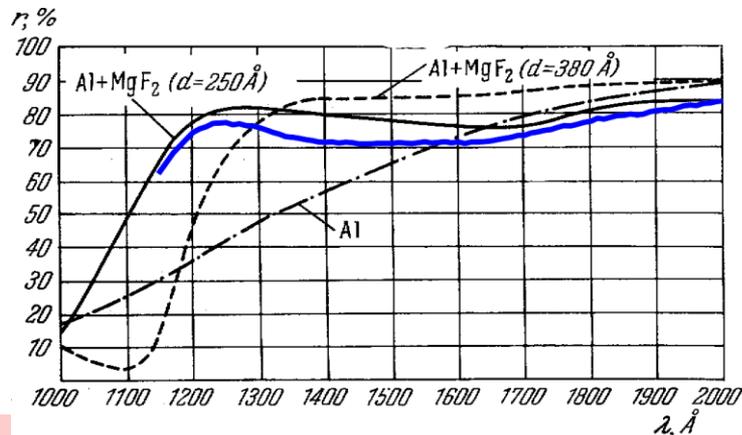
Носитель, запуск: “Протон”, Россия

Наземный сегмент: Испания, Россия.

КА «Спектр-УФ»



Изготовление оптики телескопа Т-170М



32

Испытания телескопа Т-170М



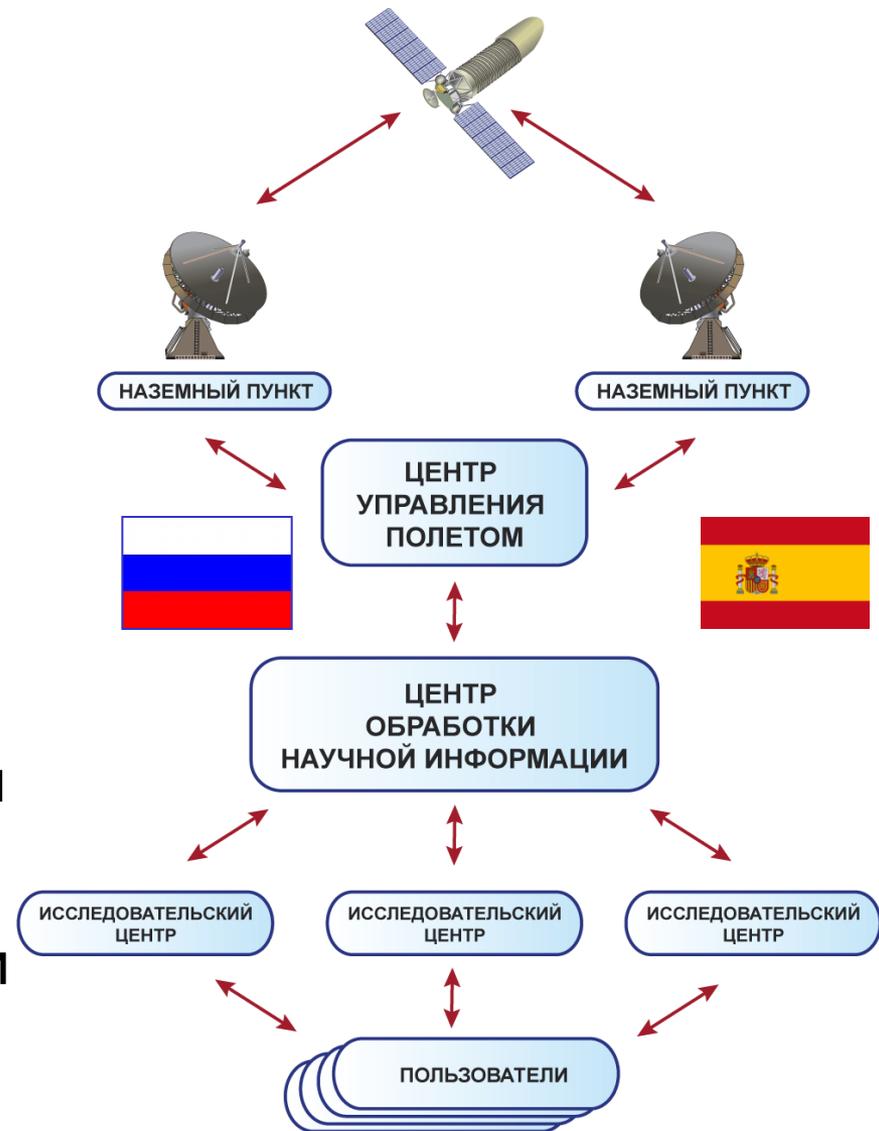
Телескоп Т-170М в НПО им. С.А.Лавочкина

Наземный сегмент

Включает в себя наземный комплекс управления (НКУ) и наземный научный комплекс (ННК). НКУ включает Центр управления полетом и наземные пункты.

Основа ННК - Центр обработки научной информации (ЦОНИ). К ЦОНИ могут быть подключены различные исследовательские центры (институты, университеты и т.д.).

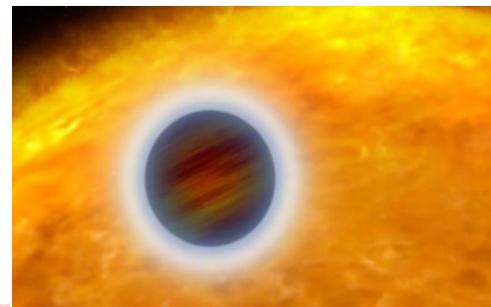
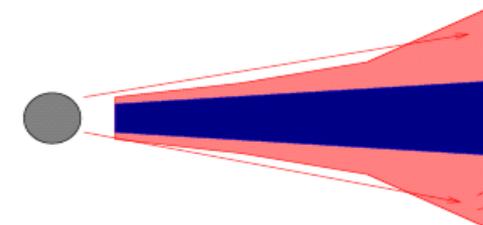
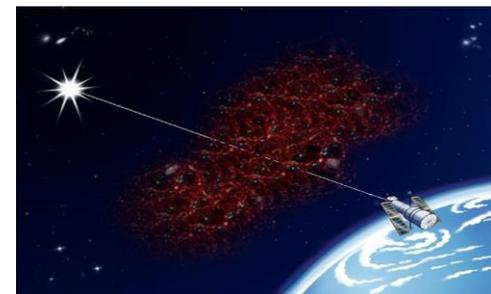
Пользователи смогут через линии связи (например, Интернет) осуществлять связь с ЦОНИ.



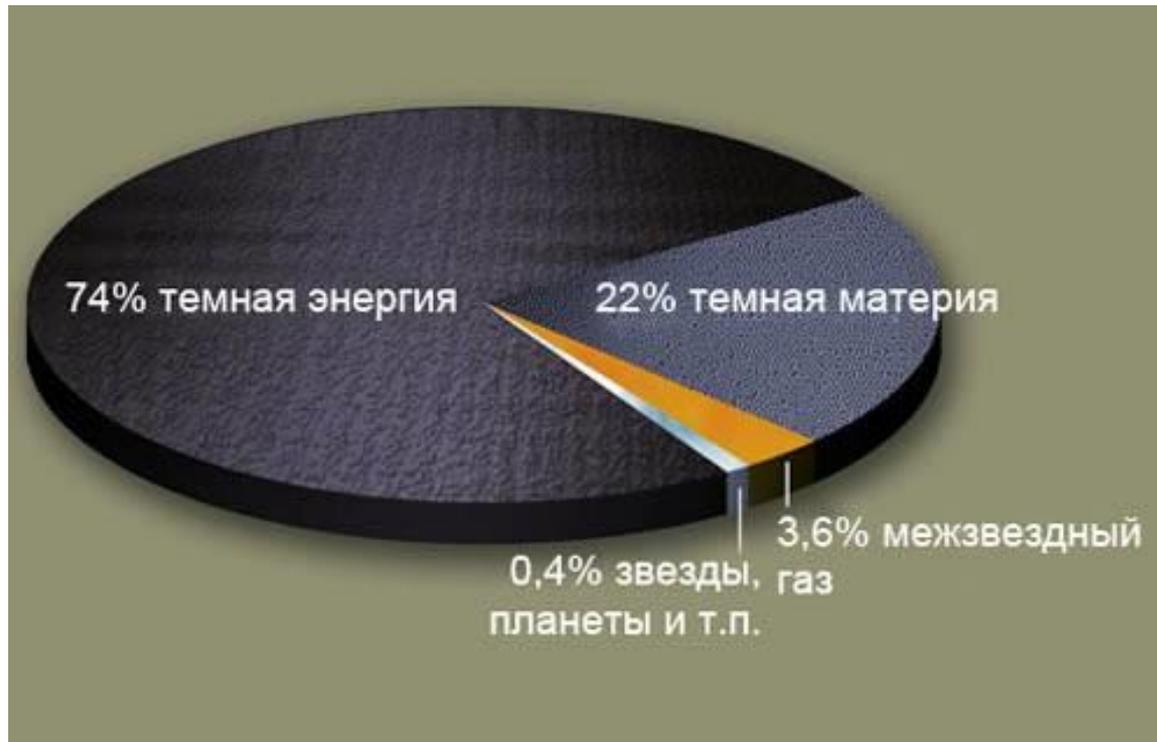
5. О некоторых научных проблемах в УФ-астрономии

Основные научные задачи

- ④ Исследование эволюции Вселенной (в т.ч. истории реионизации Вселенной, изучение химической эволюции Вселенной, поиск скрытого диффузного барионного вещества);
- ④ Физика аккреции и истечений (the astronomical engines);
- ④ Изучение ранней эволюции звезд типа Солнца и протопланетных дисков;
- ④ Изучение физико-химического состава планетных атмосфер и астрохимия в поле УФ излучения.

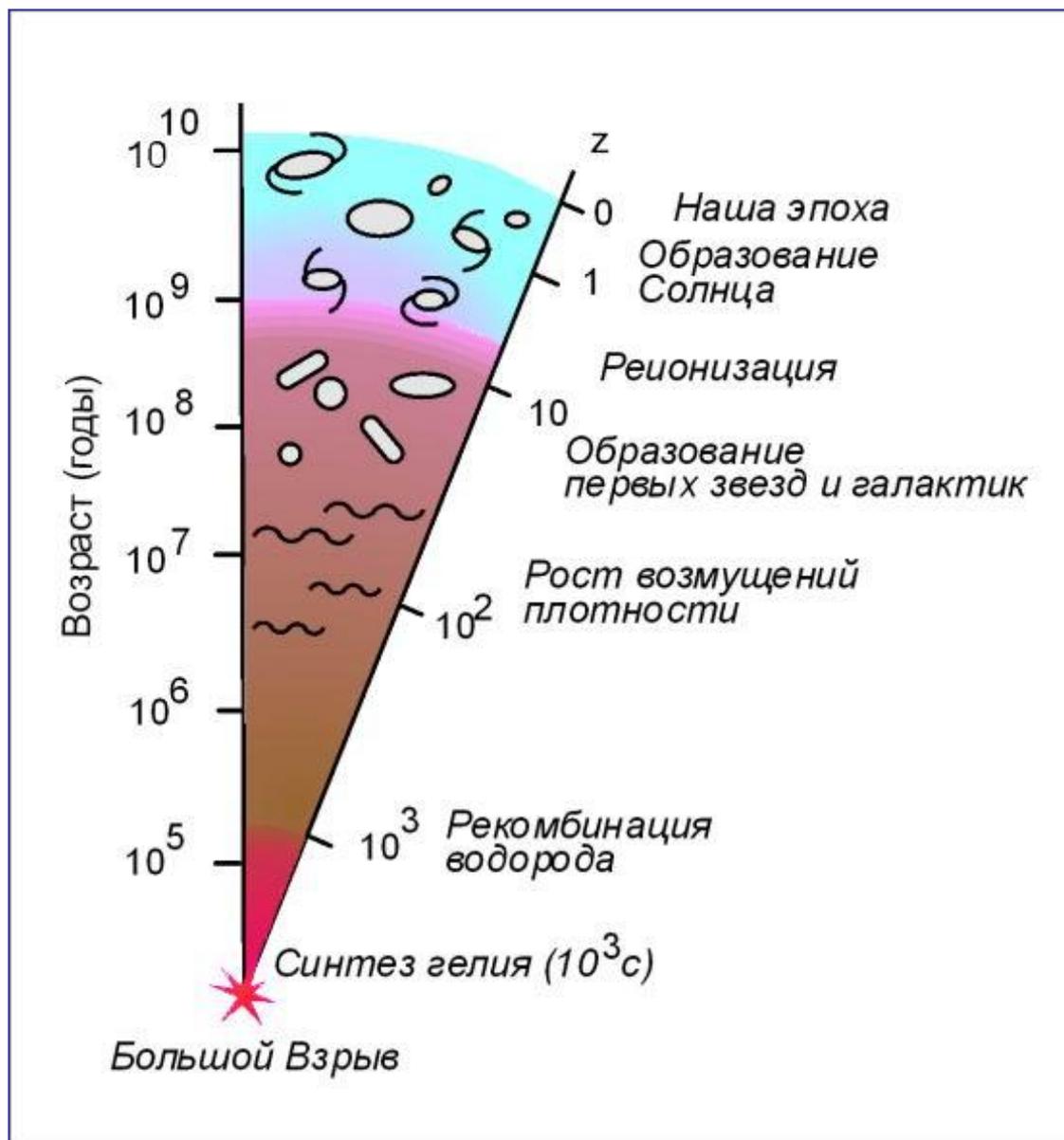


Из чего состоит Вселенная



Современные данные наблюдений флуктуаций температуры микроволнового фона, обзоров галактик на больших z , исследования межгалактической среды по линиям квазаров и удаленных сверхновых типа Ia позволили определить космологические параметры с очень высокой точностью.

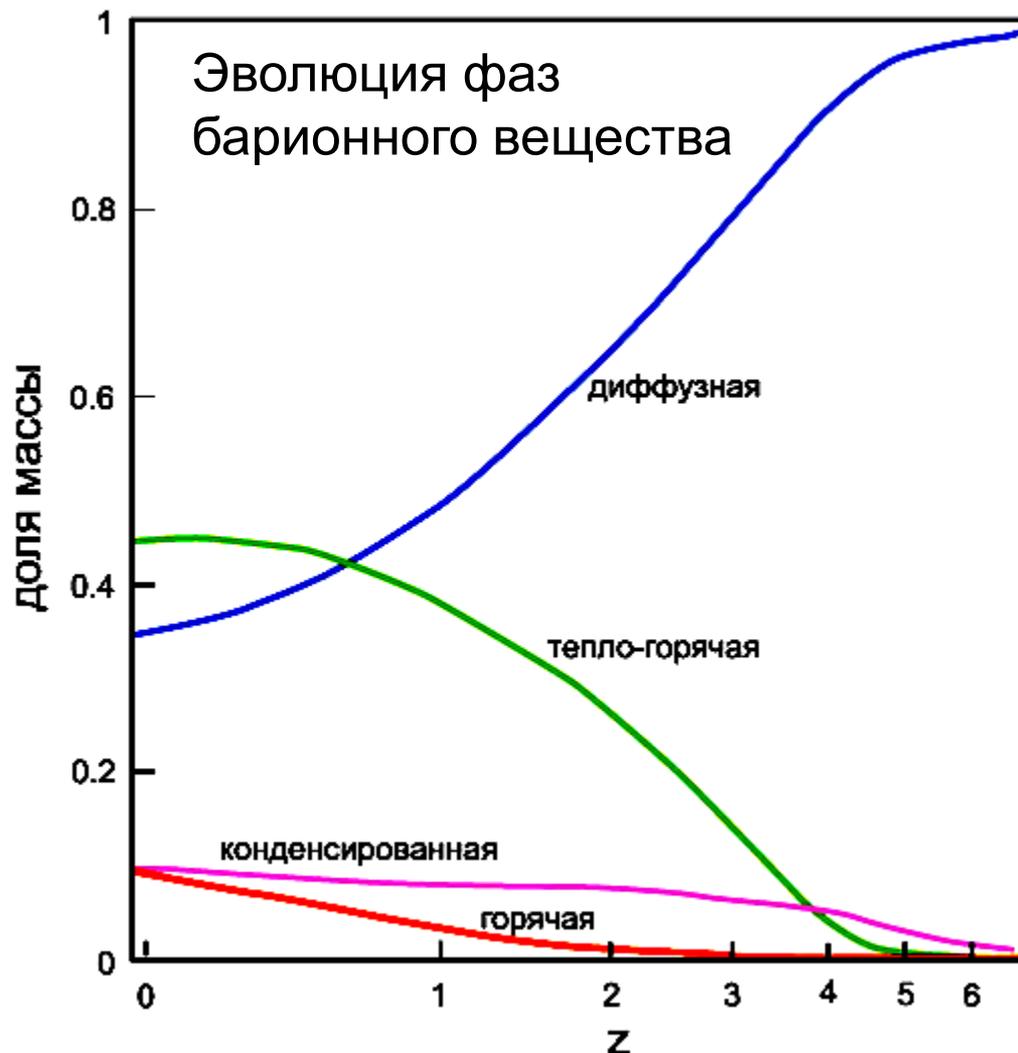
Эволюция Вселенной



Проблема: поиск барионного вещества

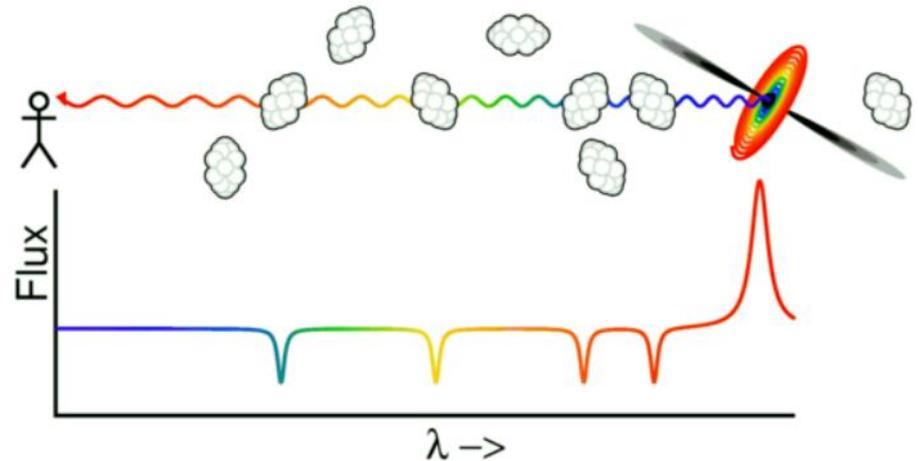
Мы наблюдаем лишь
30% – 50%
барионного вещества

Где, в какой форме, в
какой фазе
находится остальное
вещество?

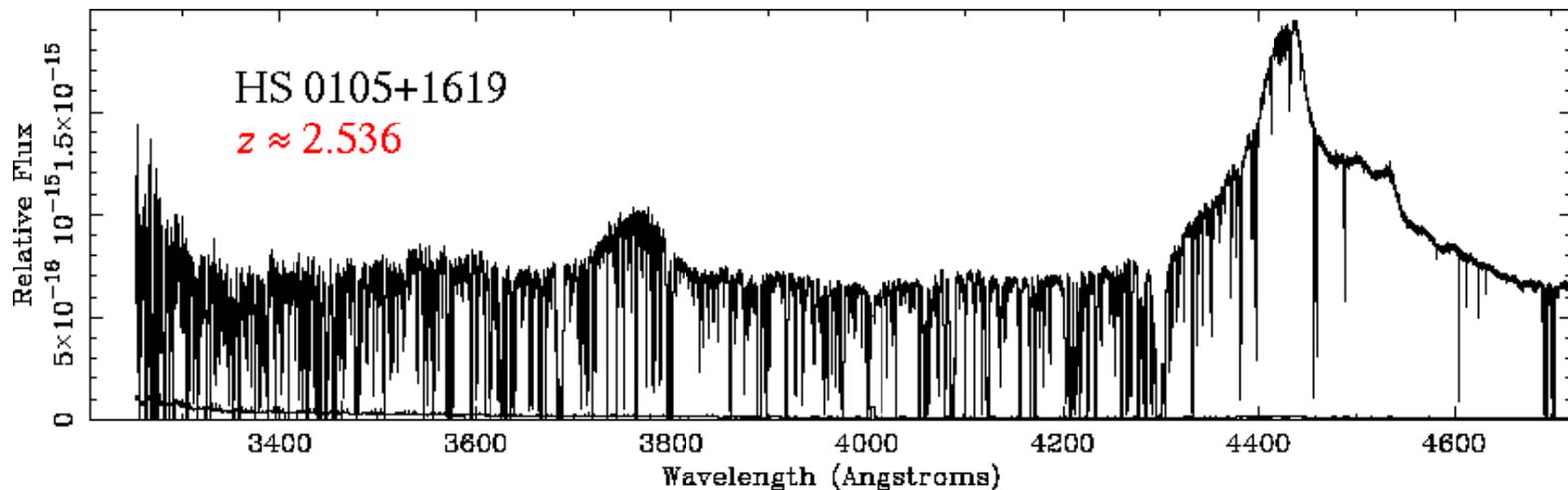


Диффузная фаза: Лайман-альфа лес

Схема образования
«Лайман-альфа леса»

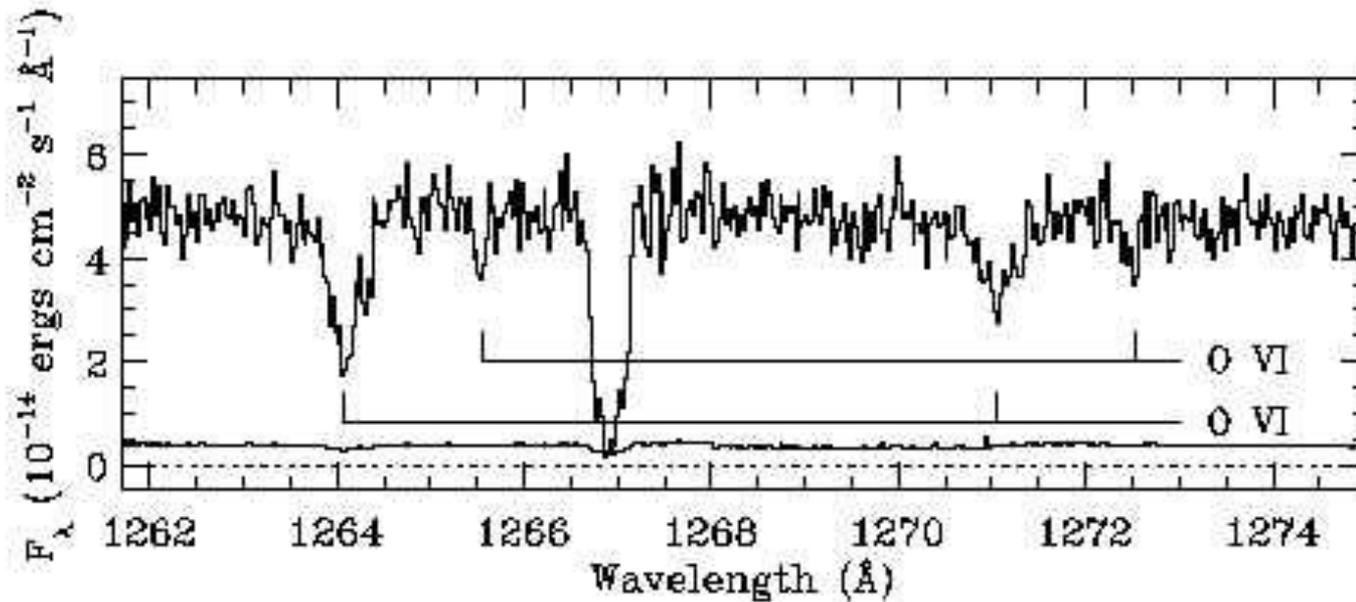


$$\lambda_{\text{наблюденное}} = (1+z) \lambda_{\text{излученное}}$$



Ключевой вопрос - какова масса малых облаков, которые мы не наблюдаем?

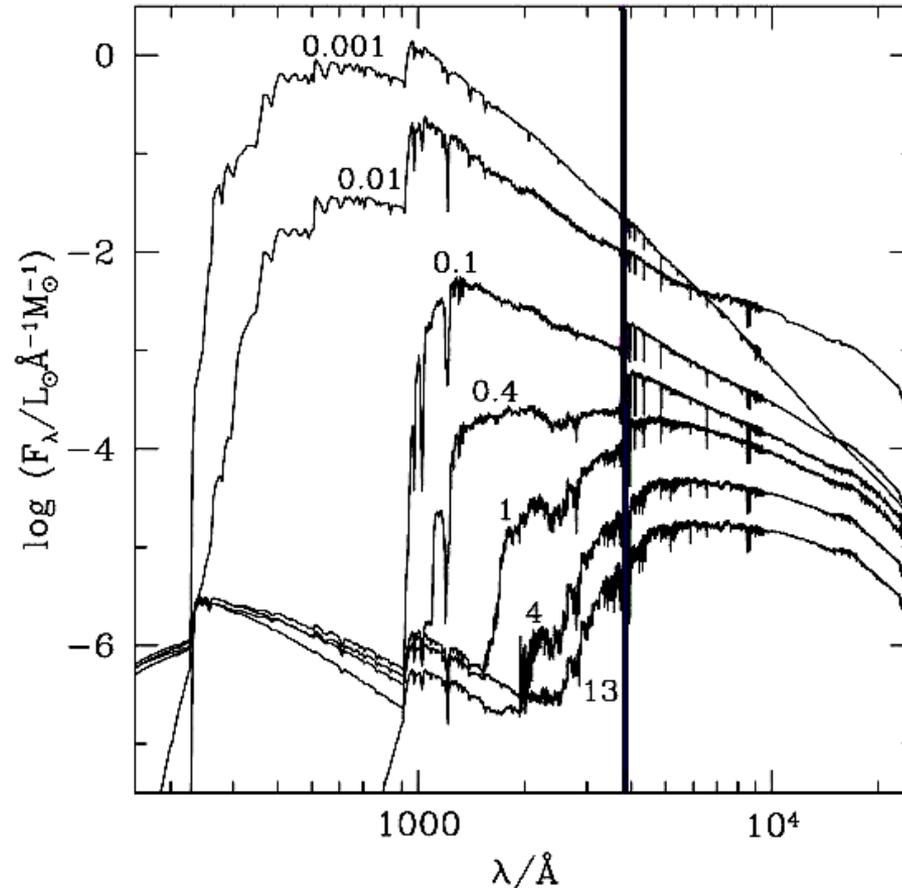
Тепло-горячая (warm-hot) фаза



Спектр квазара N1821+643 с линиями поглощения облаками OVI на $z = 0.22497$ и $z = 0.22637$.

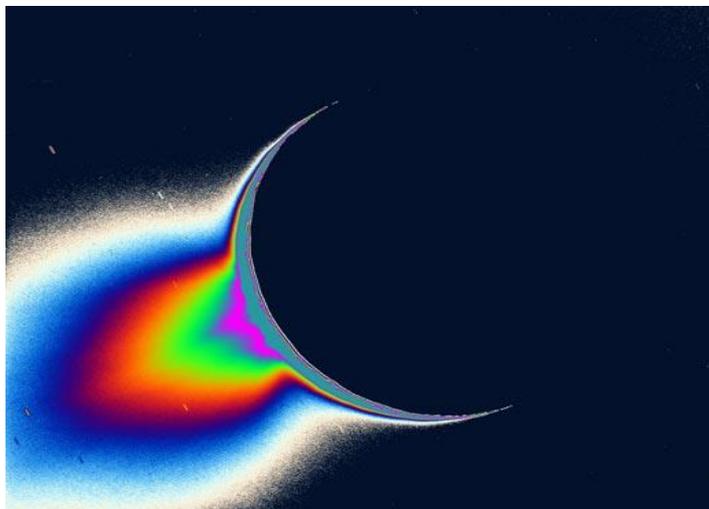
Теплогорячая фаза наблюдается преимущественно в в УФ. Гипотеза: скрытые барионы будут обнаружены УФ-обсерваториями.

Определение возрастов галактик



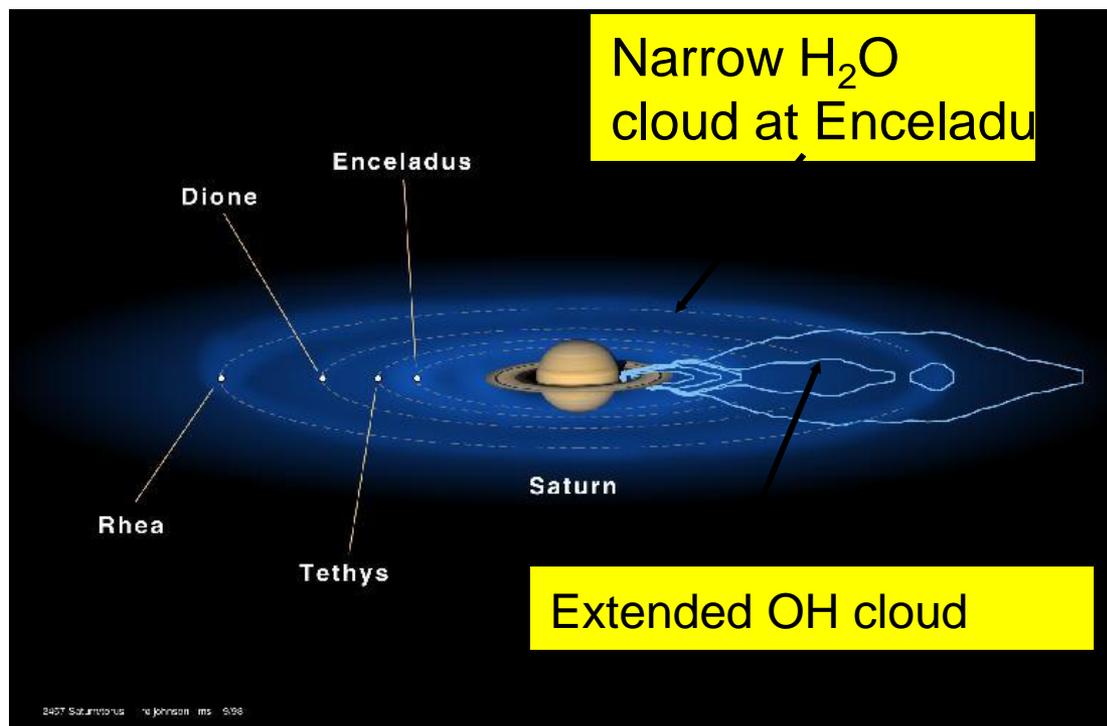
Теоретическая эволюция распределения энергии в спектре галактики. Возрасты галактики, соответствующие кривым распределения, указаны в млрд. лет. По УФ-спектру можно определить возраст молодой галактики.

Нейтральные облака в системах планет-гигантов

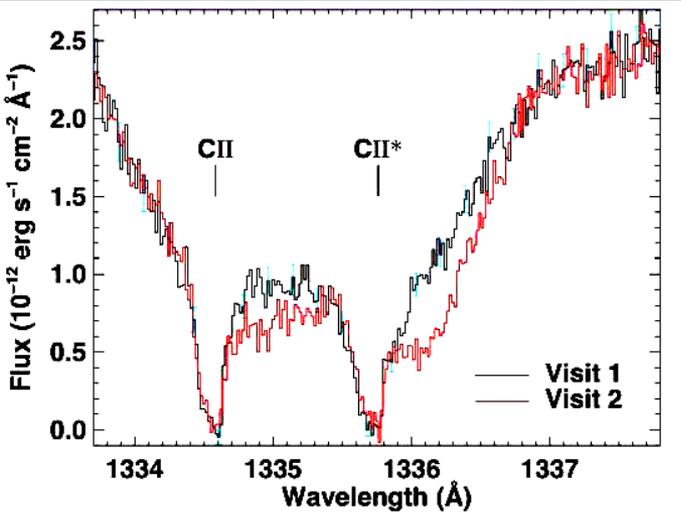


H₂O «хвост» от южного полюса Энцелада (наблюдения с «Кассини»).

Нейтральные H₂O, OH, and O облака в системе Сатурна.
Такие структуры наблюдаются в УФ.



Экзокометы в УФ



Уже открыто более 1500 кометных событий (экзокомет) в системах других звезд! Впервые открытия сделаны именно в УФ.



<http://wso.inasan.ru/>