

Сто часов астрономии – 2015

ГАИШ МГУ



08.10.2015

Цикл лекций по различным ключевым проблемам астрономии и космонавтики для преподавателей, учащихся старших классов и всех желающих Фестиваль науки — 2015, конференц-зал ГАИШ

В рамках проекта "100 часов астрономии - 2015" ГАИШ МГУ проводит в октябре цикл из восьми лекций (бесплатно и для всех желающих) по различным ключевым проблемам астрономии: "Астрономия XXI века". Лекции будут читать ведущие ученые ГАИШ, но при этом уровень лекций рассчитан на школьных преподавателей и учащихся старших классов.

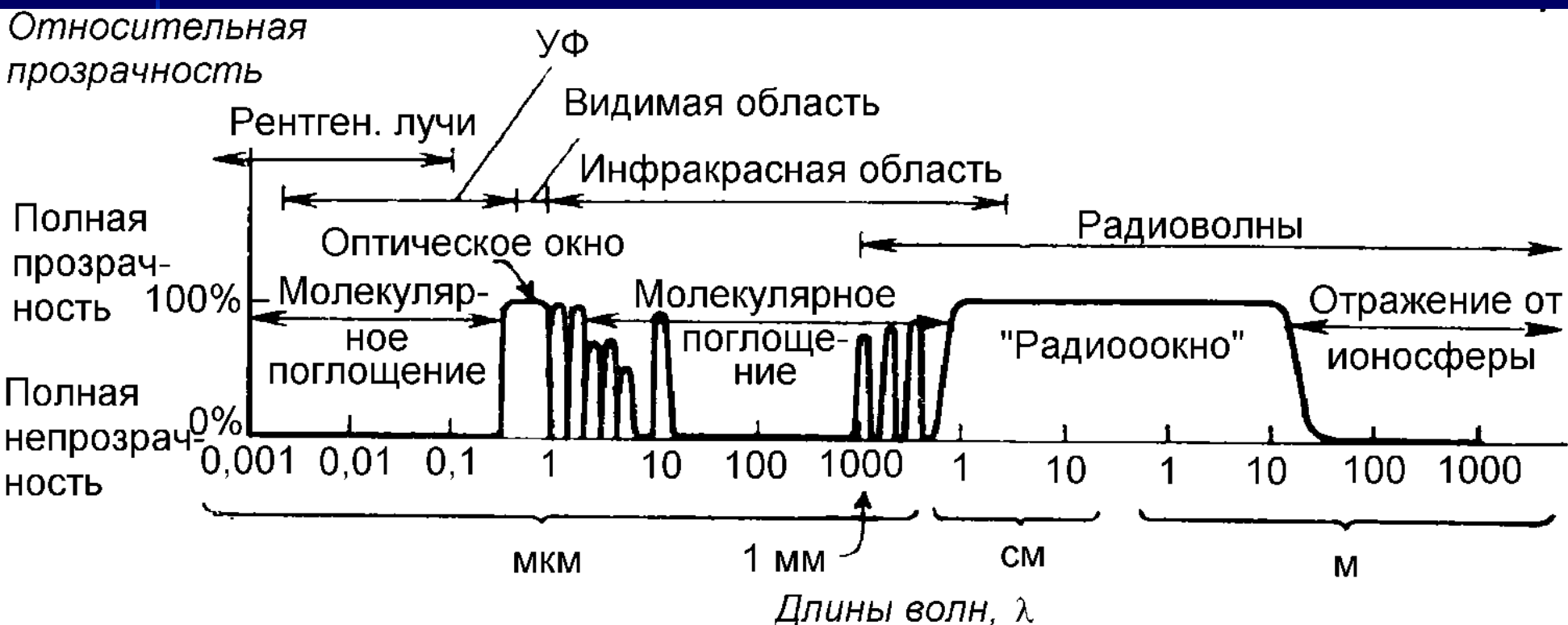
Расписание и темы лекций

N	Лектор	Тема	Дата	Время
1	Рудницкий Г.М.	Вещество в пространстве между звездами	8 октября,	18:30-19:30
2	Вибе Д.З.	Космические пылинки — от макромолекул до планет	8 октября,	19:30-20:30
3	Расторгуев А.С.	Цефеиды — маяки Вселенной	15 октября,	18:30-19:30
4	Маланчев К.Л.	Мир двойных звезд	15 октября,	19:30-20:30
5	Ксанфомалити Л.В.	Комета Чурюмова-Герасименко: миссия выполнима?	22 октября,	18:30-19:30
6	Постнов К.А.	Рождение звезд и планет	22 октября,	19:30-20:30
7	Засов А.В.	Необычные галактики	29 октября,	18:30-19:30
8	Самусь Н.Н.	Шаровые скопления — свидетели юности Галактики	29 октября,	19:30-20:30

Вещество в пространстве между звёздами

Рудницкий Г.М.
ГАИШ МГУ

Шкала электромагнитных волн



Относительная прозрачность земной атмосферы в электромагнитном спектре.

Галактика М74 (NGC 628)



Галактика М33



Строение Нашей Галактики



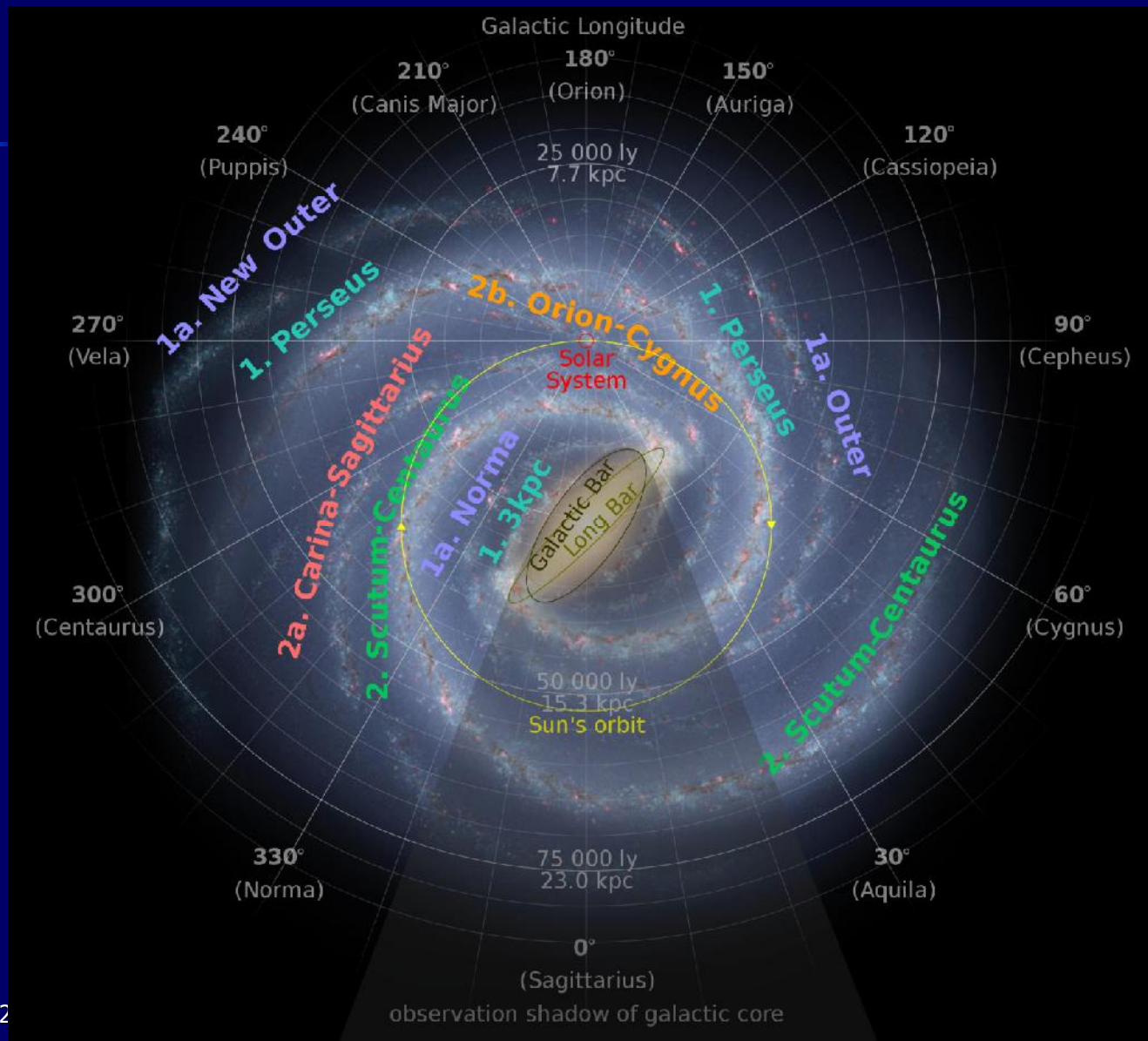
Наша Галактика вид с боку.

⌘ Размеры
Галактики:

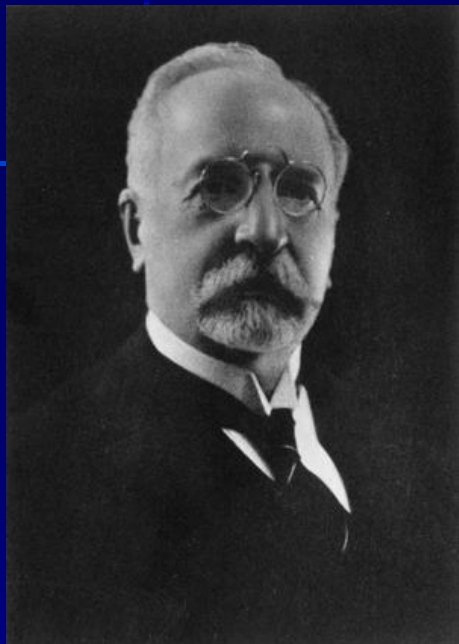
⌘ - диаметр диска
Галактики около 30
кпк (100 000
световых лет),

⌘ - толщина – около
1000 световых лет.

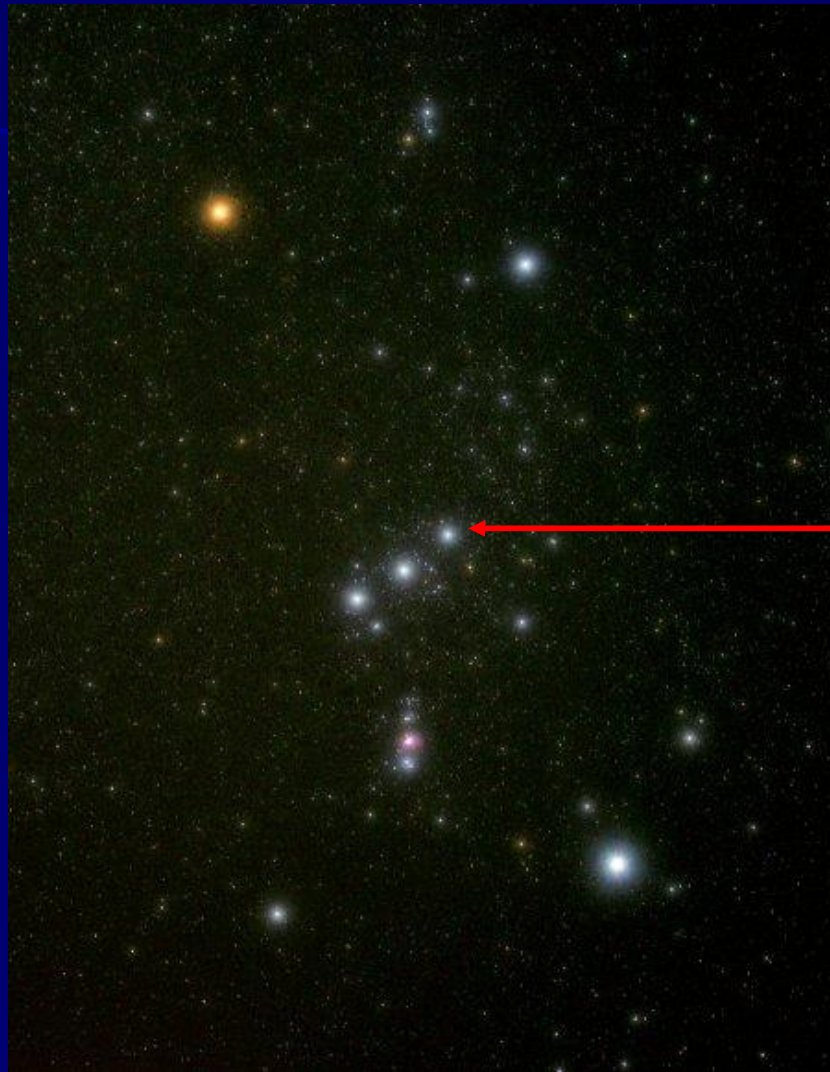
Схема Галактики Млечный Путь



Пространство между звёздами — не пустота



Йоханнес Хартманн
1865 - 1936



Созвездие Ориона

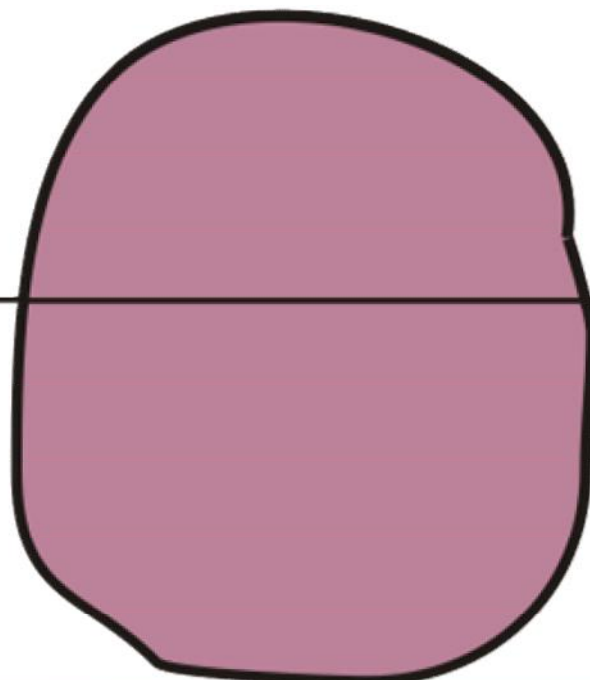
δ Ориона
Минтака
Двойная,
 $P = 5.7$ сут

Облако межзвёздного газа

Наблюдатель



Звезда

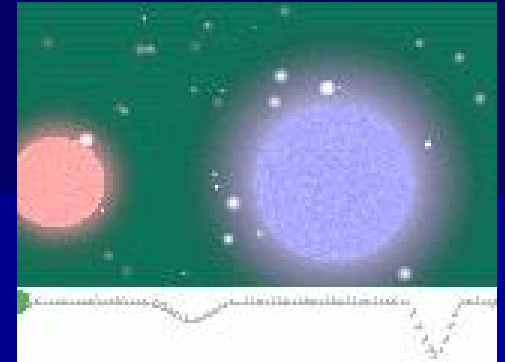


Эффект Доплера



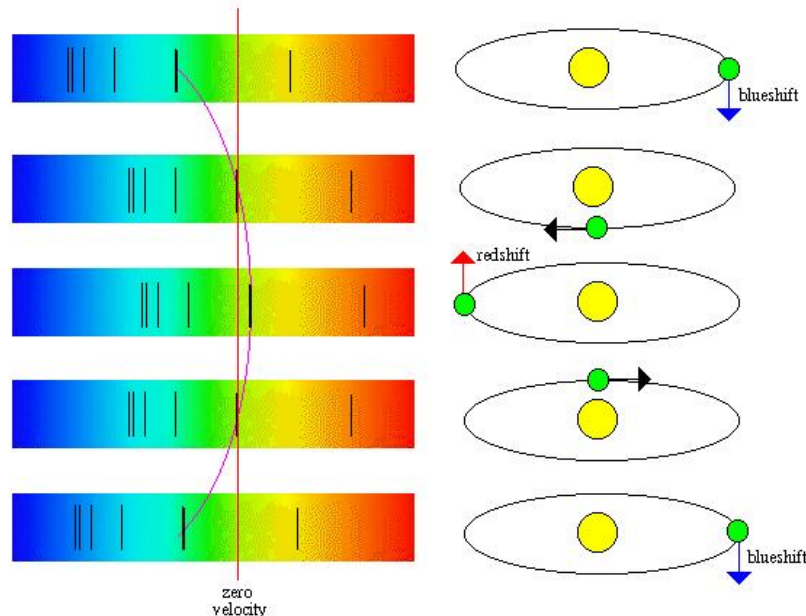
Кристиан Доплер
1803 - 1853

$$\Delta\lambda = \lambda_0 \frac{V}{c}$$



Spectroscopic Binary

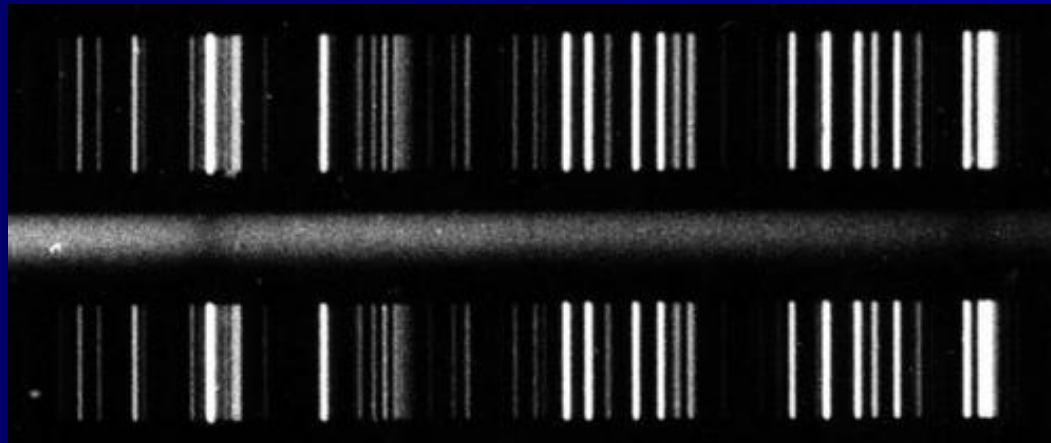
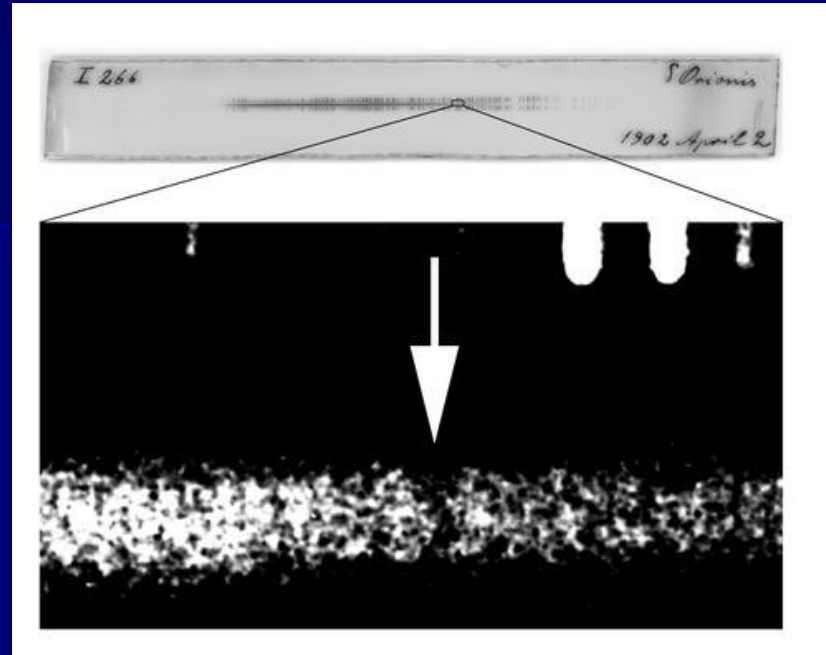
A spectroscopic binary is where there is evidence of orbital motion in the spectral features due to the Doppler effect



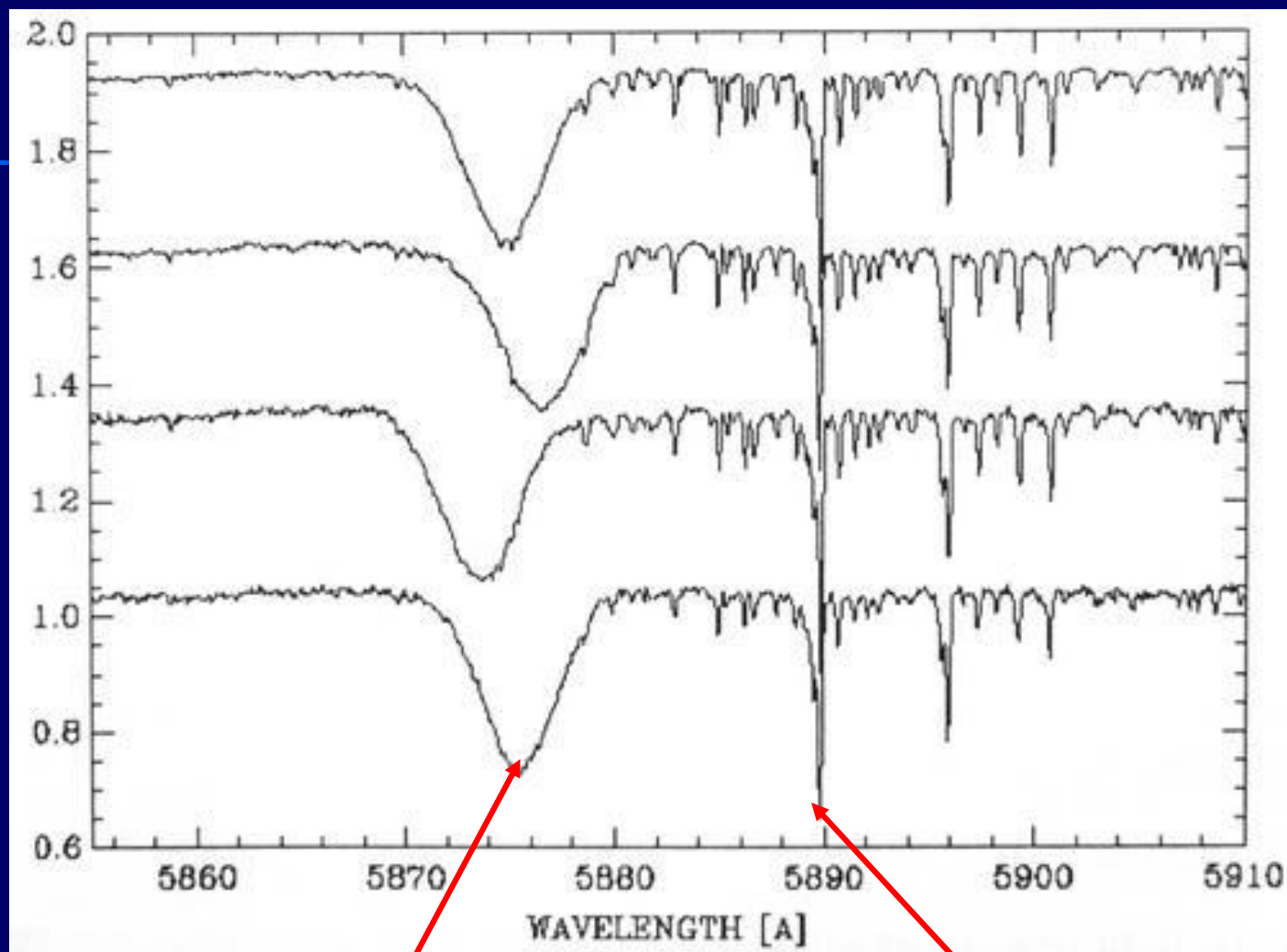
Двойная звезда

Что открыл Хартманн в 1904 году

Линии ионизованного кальция
 $\lambda = 3968$ и $3933 \text{ \AA}$



Спектры звезды δ Ориона



Линия гелия

Линии натрия

**В оптических спектрах звёзд обнаружены
межзвёздные линии поглощения,
принадлежащие различным атомам и
молекулам:**

**Ca, Na, Si, N, S,...CH, CH⁺, CN.
Самый распространённый элемент
во Вселенной – водород.**

H и H₂

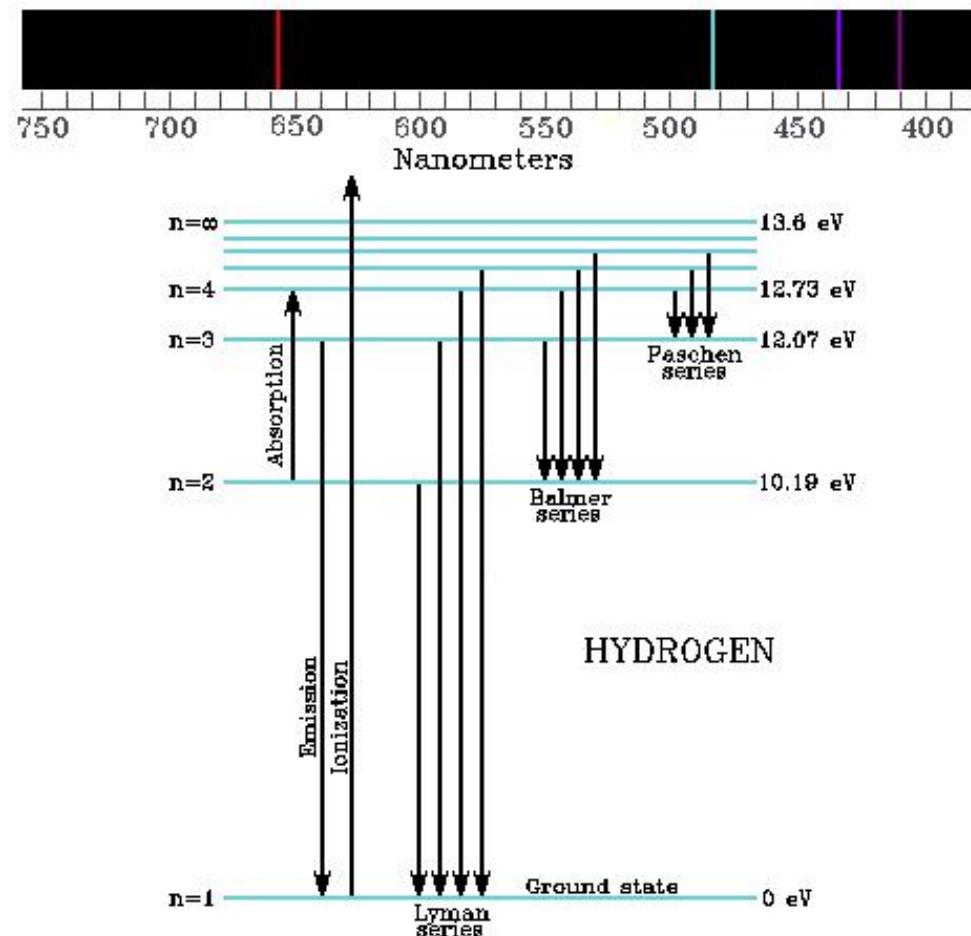
**В видимой области спектра не имеет
спектральных линий.**

В ультрафиолетовой области: Атомарный водород – линия Лайман-альфа ($\text{Ly}\alpha$) $\lambda = 1216 \text{ \AA}$.

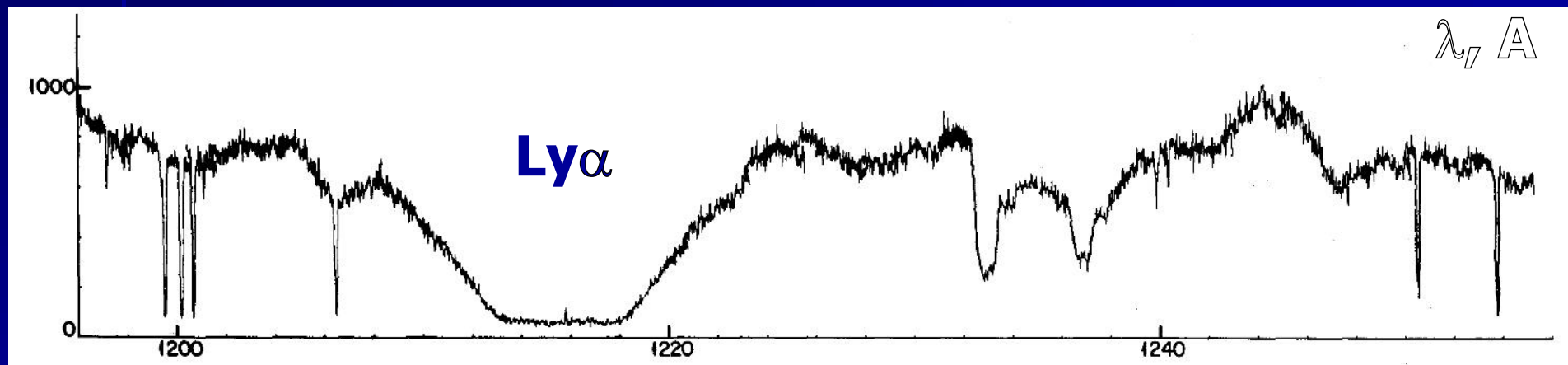


Теодор Лайман
1874-1954

Electron Energy Levels in Hydrogen



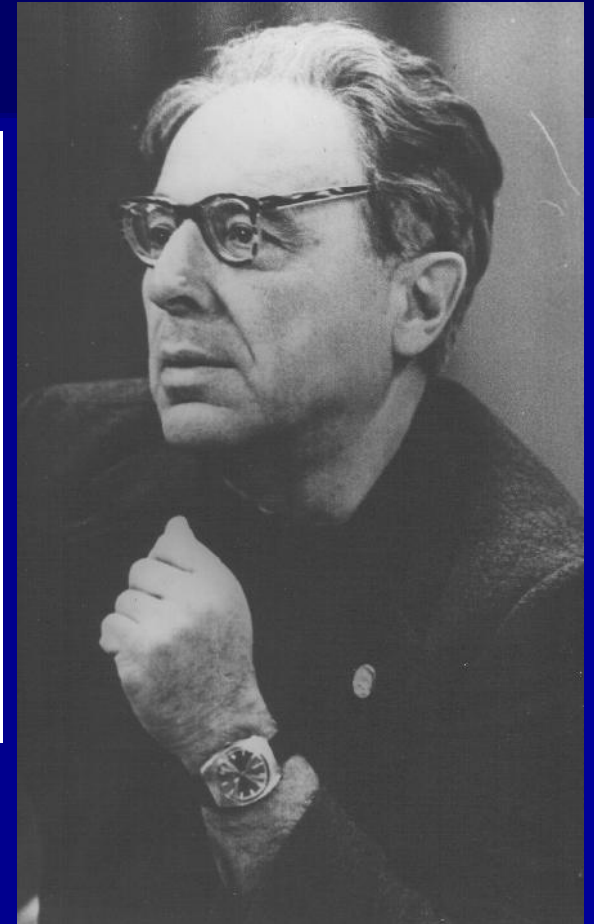
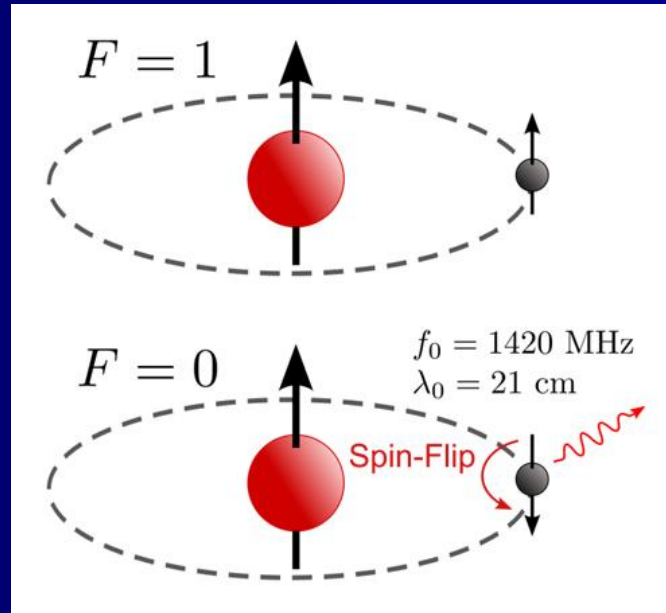
Ультрафиолетовый спектр звезды ζ Змееносца
(данные спутника *Copernicus*)



Спектральная линия атомарного водорода на волне 21 см

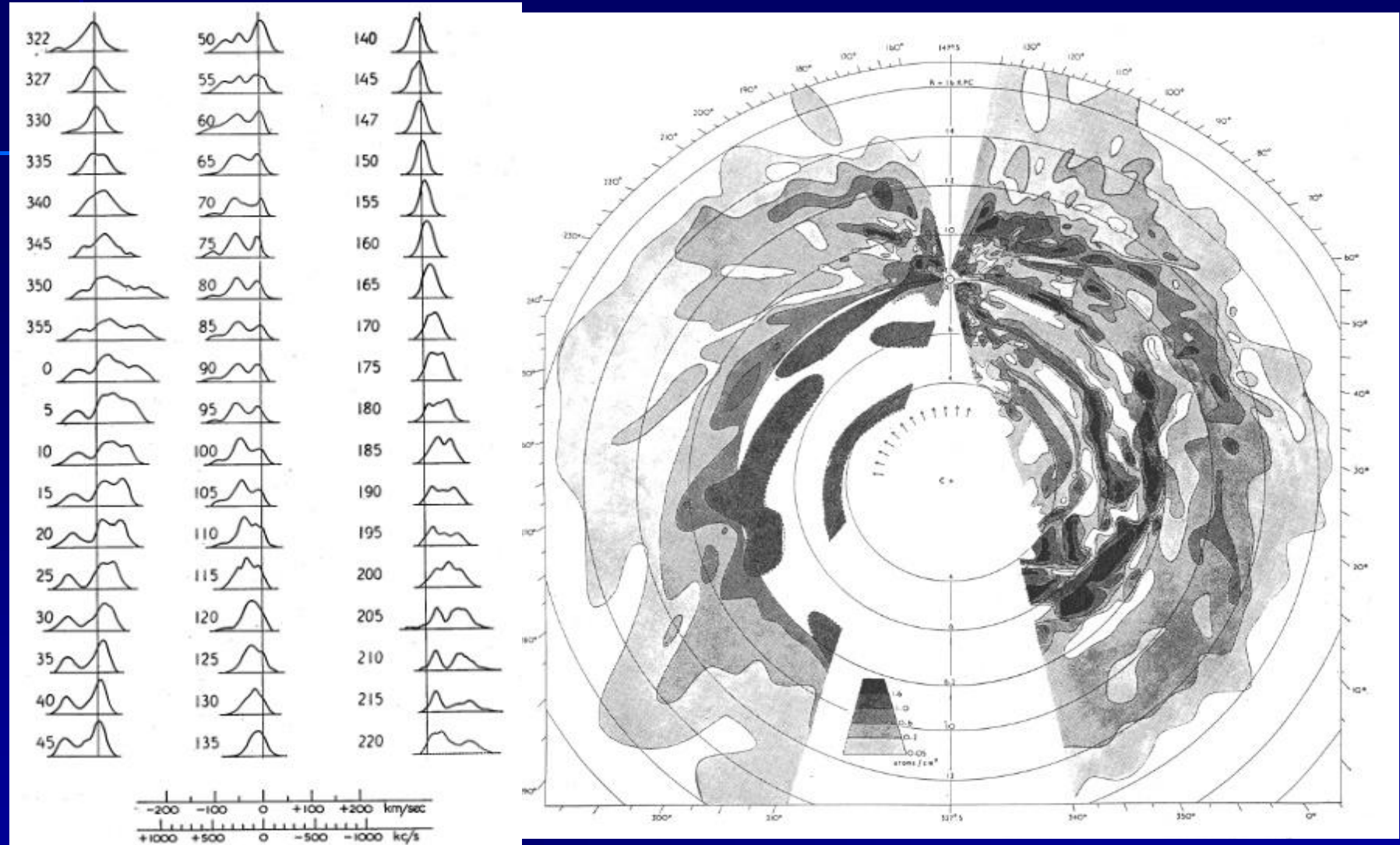


Хендрик ван де Хюлст
1918 - 2000

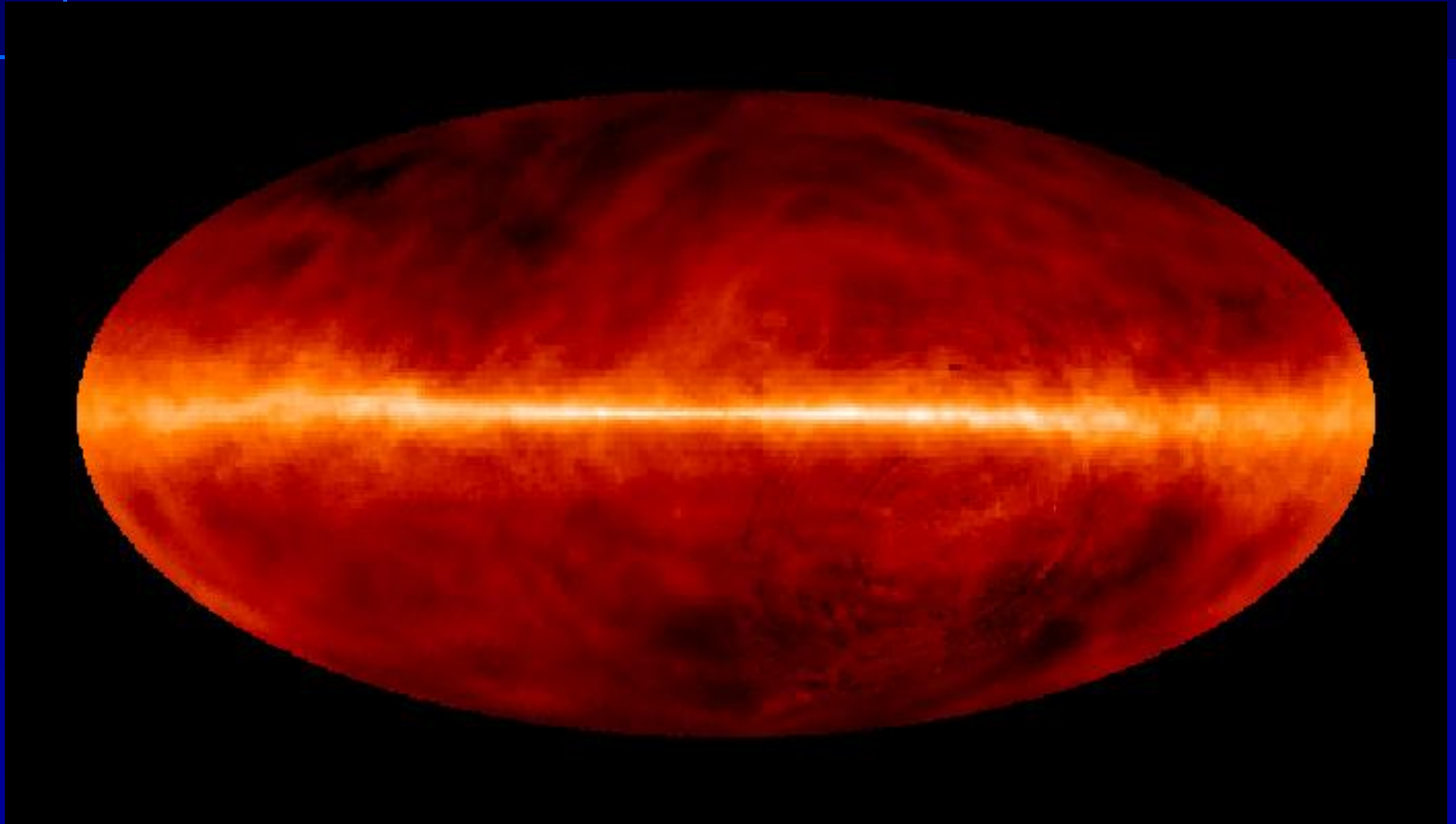


И.С. Шкловский
1916 - 1985

Профили линии 21 см в разных направлениях и карта распределения нейтрального водорода в Галактике

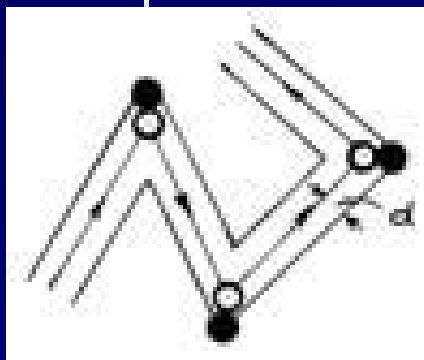


Карта неба в линии 21 см



Межзвёздный газ — не вакуум!

Длина свободного пробега частиц в газе



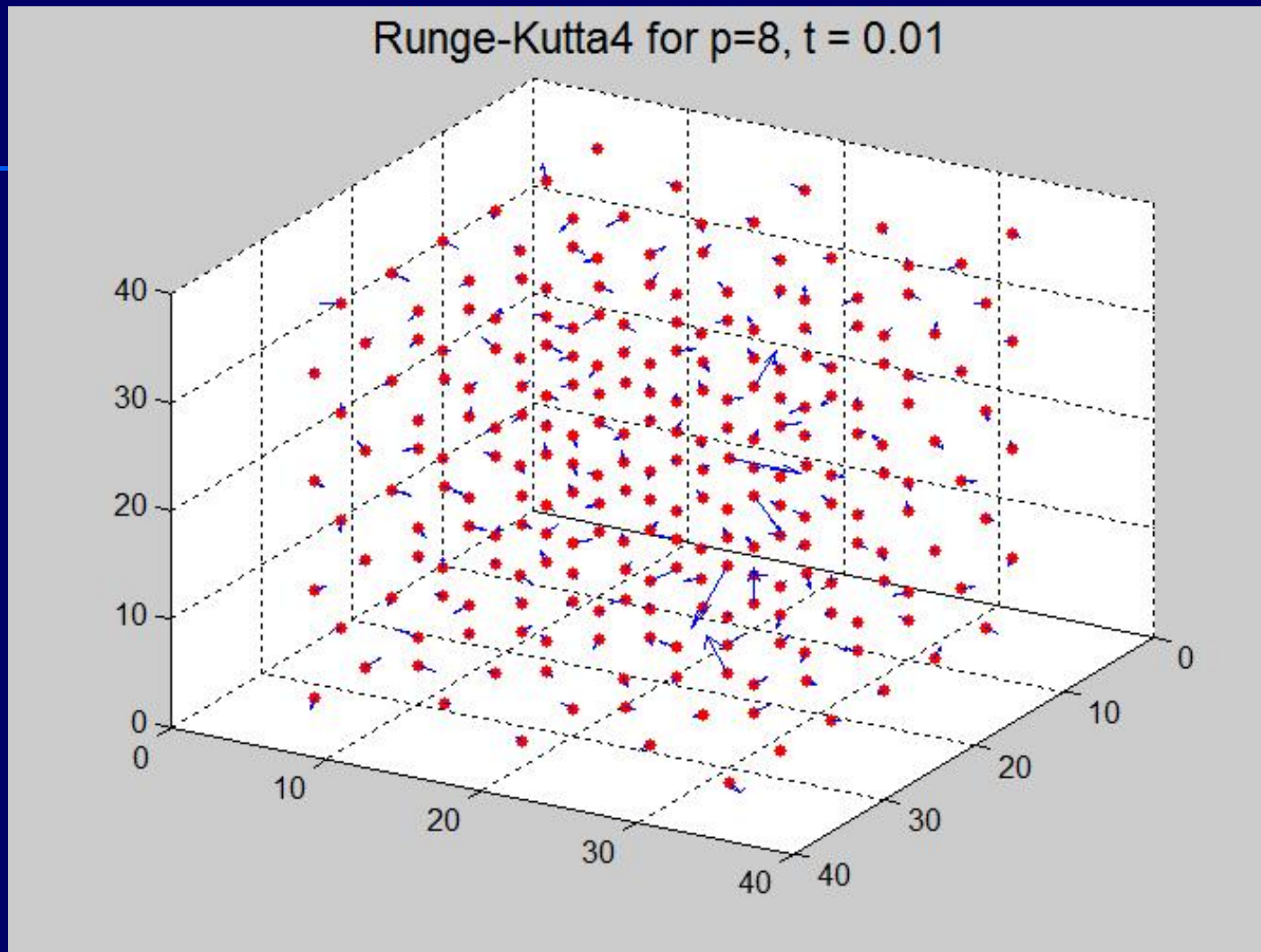
$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2} n d^2}, \quad d \approx 10^{-8} \text{ см}, \quad \sqrt{2} \pi d^2 \approx 10^{-15} \text{ см}^2$$

в земных условиях: $n \approx 2.7 \times 10^{19} \text{ см}^{-3}$, $\lambda \approx 9 \times 10^{-6} \text{ см}$

в Галактике: $n \approx 1 \text{ см}^{-3}$, $\lambda \approx 10^{15} \text{ см}$

Вакуум - если $\lambda \gg L$

Разреженный газ в лабораторных условиях – вакуум (анимация)



Составляющие межзвёздной среды

Фаза	Температура (К)	Концентрация (см ⁻³)	Масса облаков ($M_{\odot}$)	Размер (пк)	Доля занимаемого объёма	Способ наблюдения
Корональный газ	$\sim 5 \cdot 10^5$	$\sim 0,003$	-	-	$\sim 0,5$	Рентген, линии поглощения металлов в УФ
Яркие области HII	$\sim 10^4$	~ 30	~ 300	~ 10	$\sim 10^{-4}$	Яркая линия H_{α}
Зоны HII низкой плотности	$\sim 10^4$	$\sim 0,3$	-	-	$\sim 0,1$	Линия H_{α}
Межоблачная среда	$\sim 10^4$	$\sim 0,1$	-	-	$\sim 0,4$	Линия Ly_{α}
Тёплые области HI	$\sim 10^3$	~ 1	-	-	$\sim 0,01$	Излучение HI на $\lambda=21$ см
Мазерные конденсации	< 100	$\sim 10^{10}$	$\sim 10^5$	$\sim 10^{-5}$		Мазерное излучение
Облака HI	≈ 80	~ 10	~ 100	~ 10	$\sim 0,01$	Поглощение HI на $\lambda=21$ см
Гигантские молекулярные облака	~ 20	~ 300	$\sim 3 \cdot 10^5$	~ 40	$\sim 3 \cdot 10^{-4}$	
Молекулярные облака	≈ 10	$\sim 10^3$	~ 300	~ 1	$\sim 10^{-5}$	Линии поглощения и излучения молекулярного водорода в радио- и инфракрасном спектре.
Глобулы	≈ 10	$\sim 10^4$	~ 20	$\sim 0,3$	$\sim 3 \cdot 10^{-9}$	Поглощение в оптическом диапазоне.

Местная межзвёздная среда

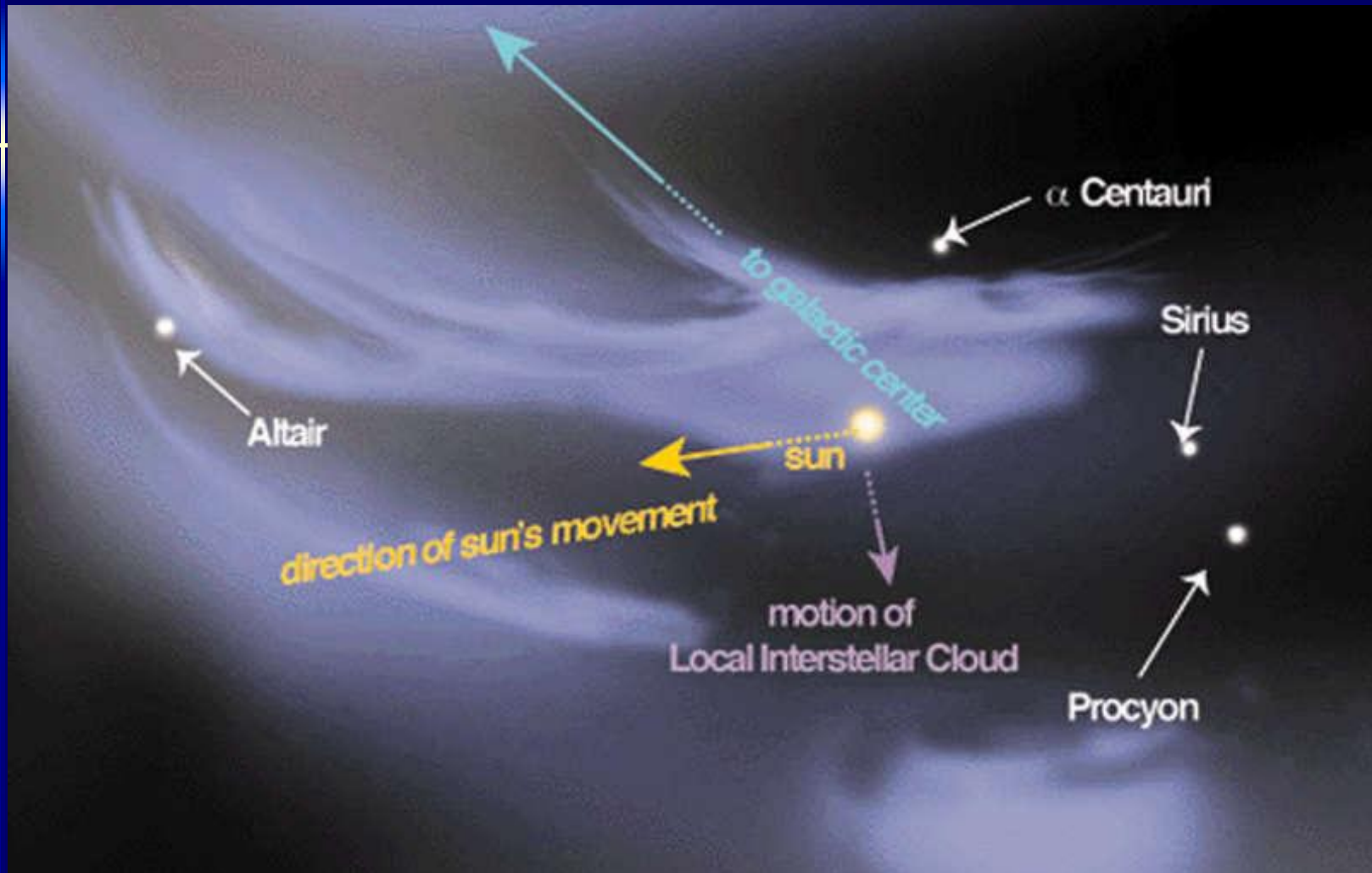




Схема уровней молекулы гидроксила

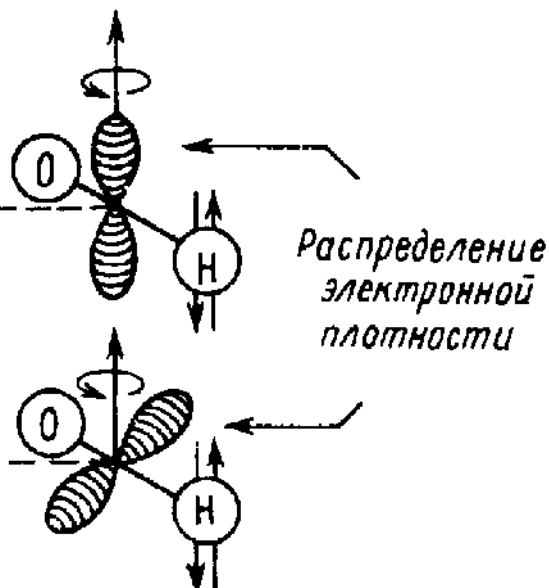
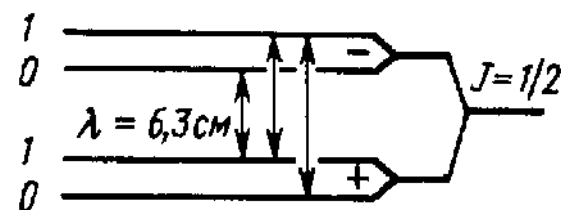
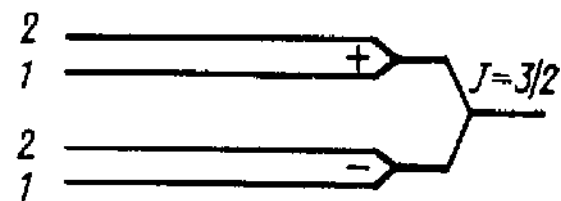
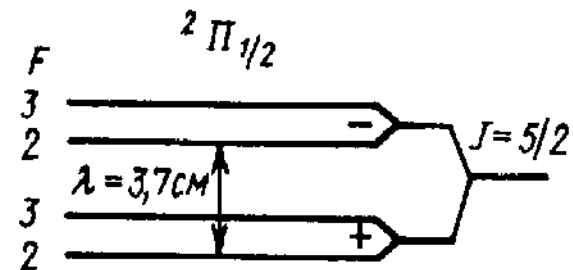
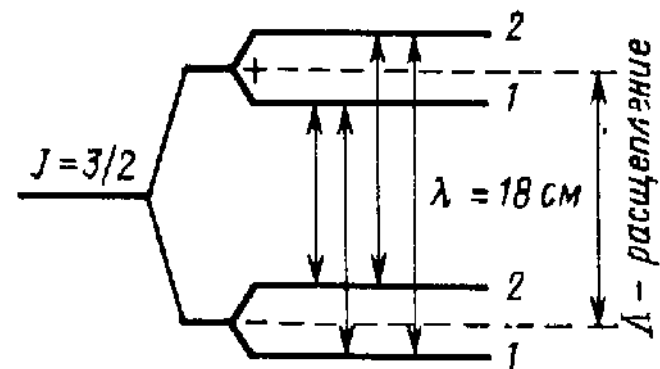
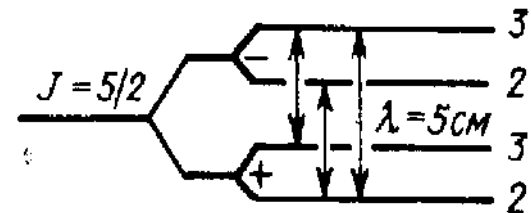
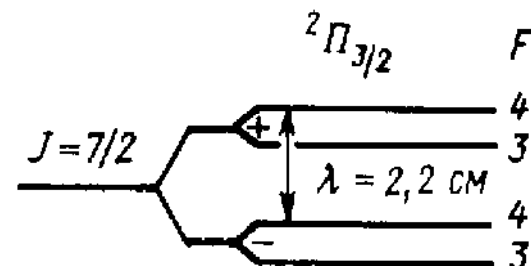
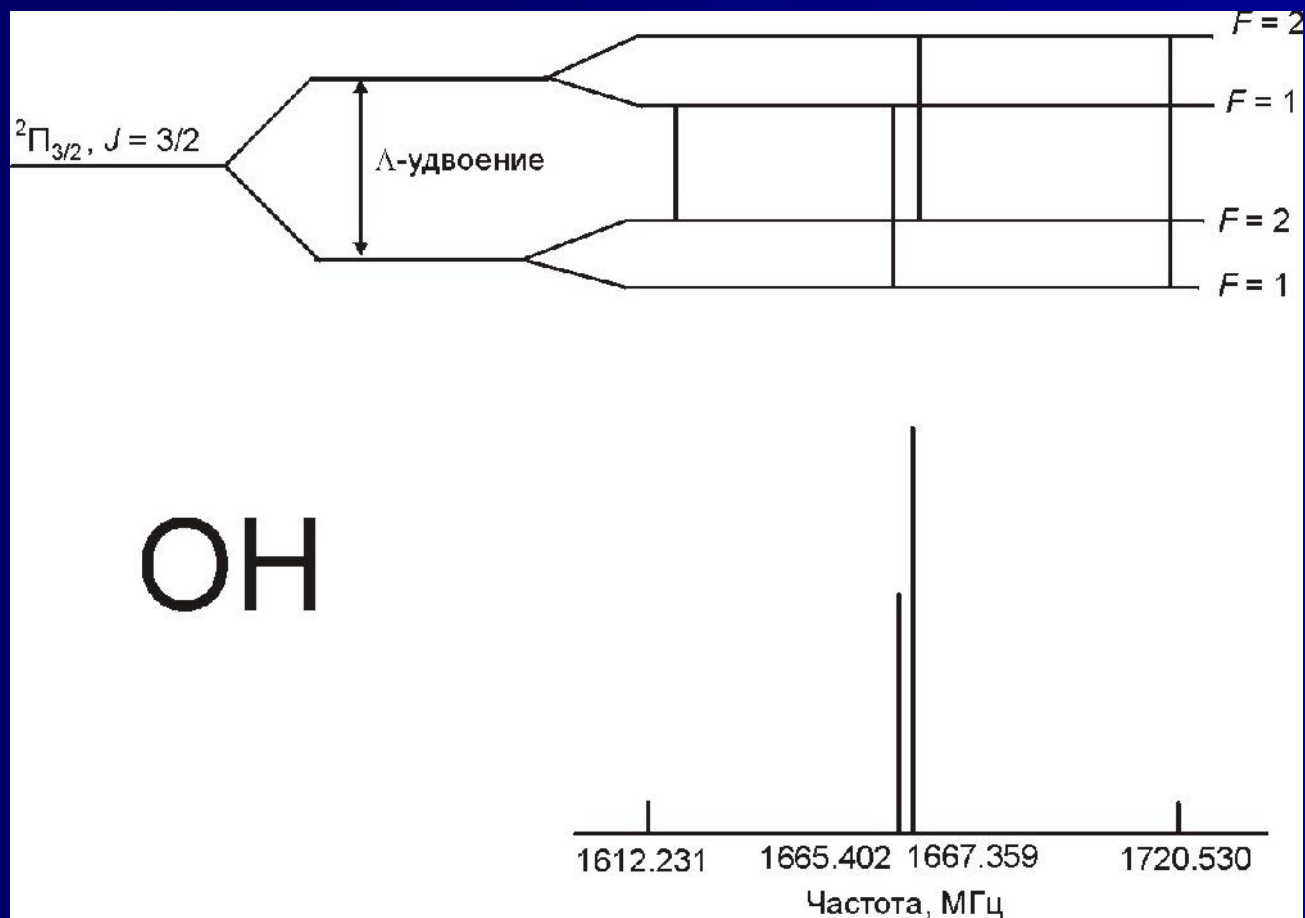
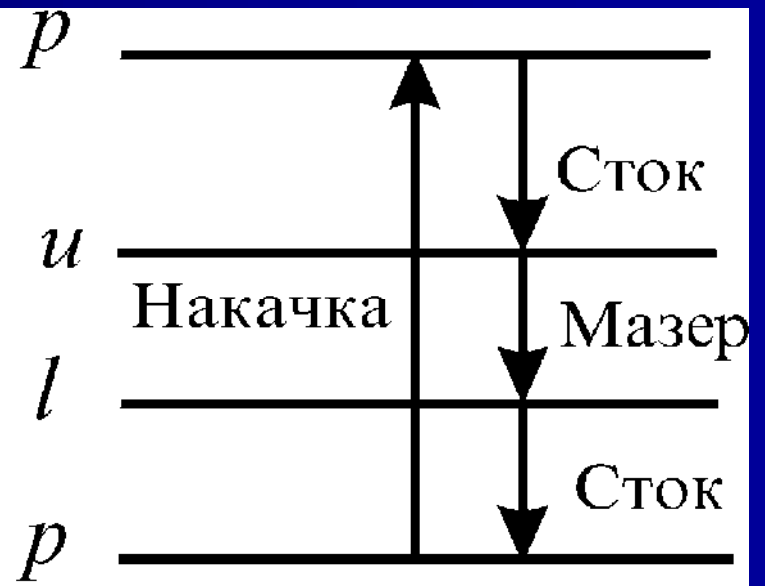
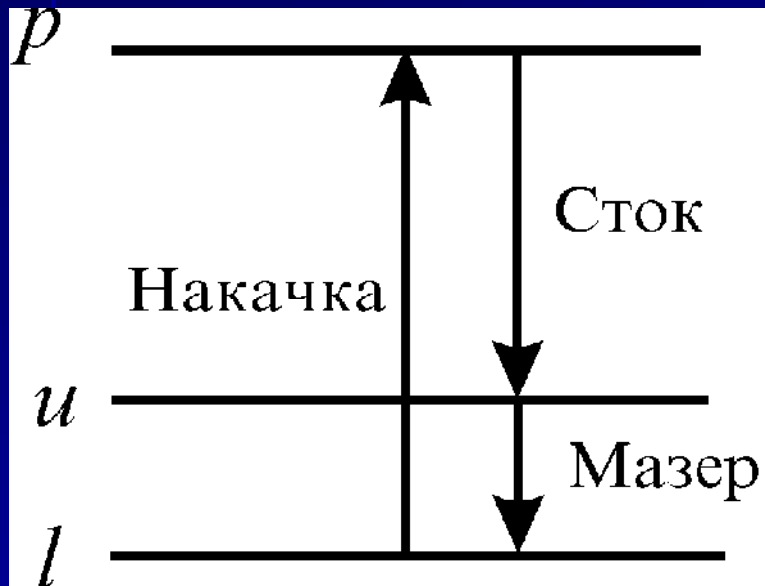


Схема уровней молекулы гидроксила



Мазер



Молекулярные мазеры

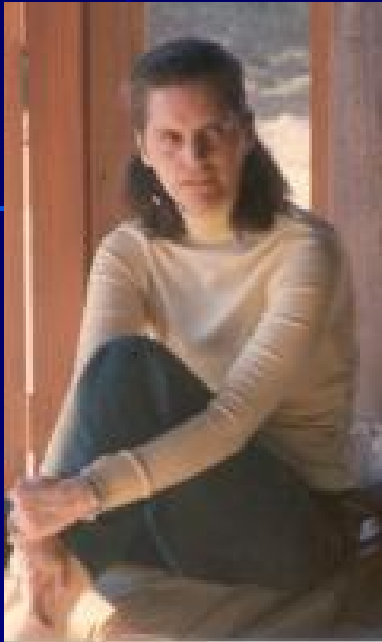
№. 5005 October 2, 1965

NATURE

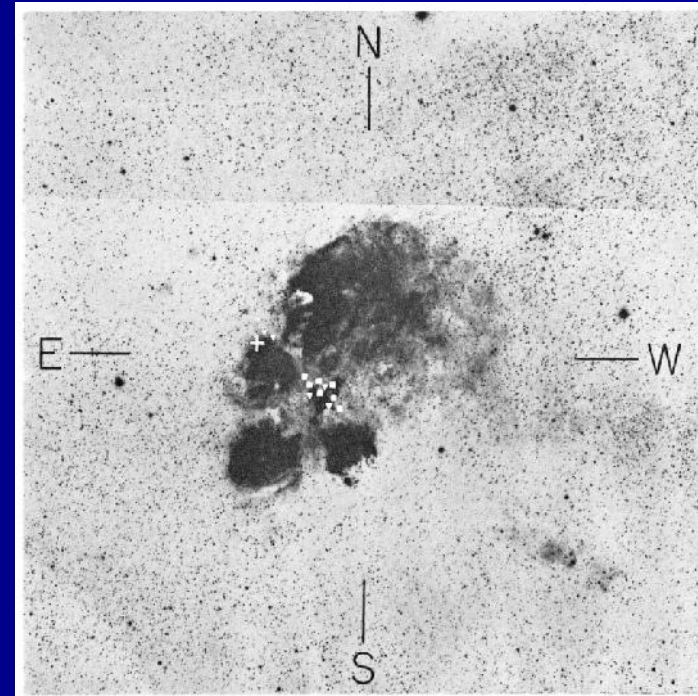
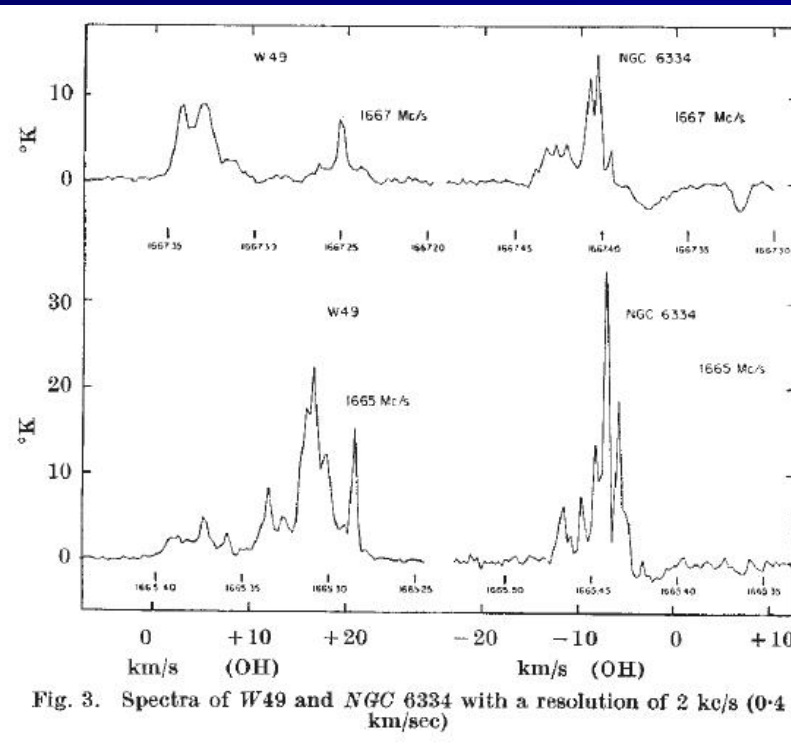
29

OBSERVATIONS OF A STRONG UNIDENTIFIED MICROWAVE LINE AND OF EMISSION FROM THE OH MOLECULE

By PROF. HAROLD WEAVER, DR. DAVID R. W. WILLIAMS, DR. N. H. DIETER and W. T. LUM
Radio Astronomy Laboratory, University of California, Berkeley



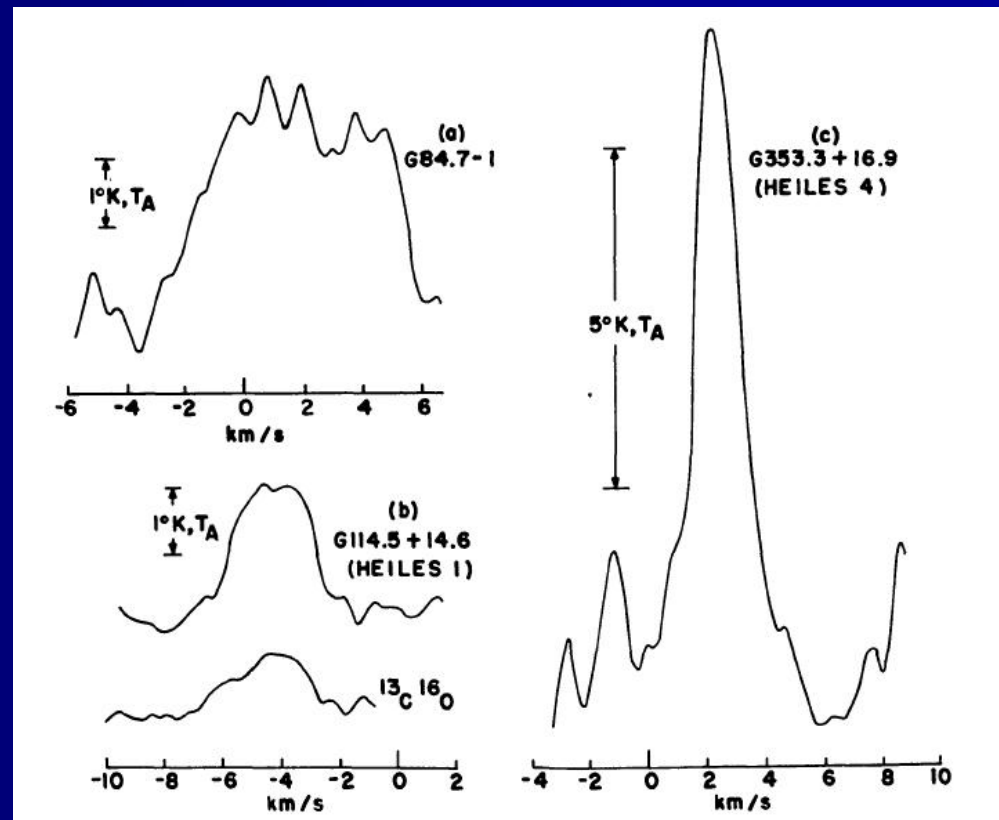
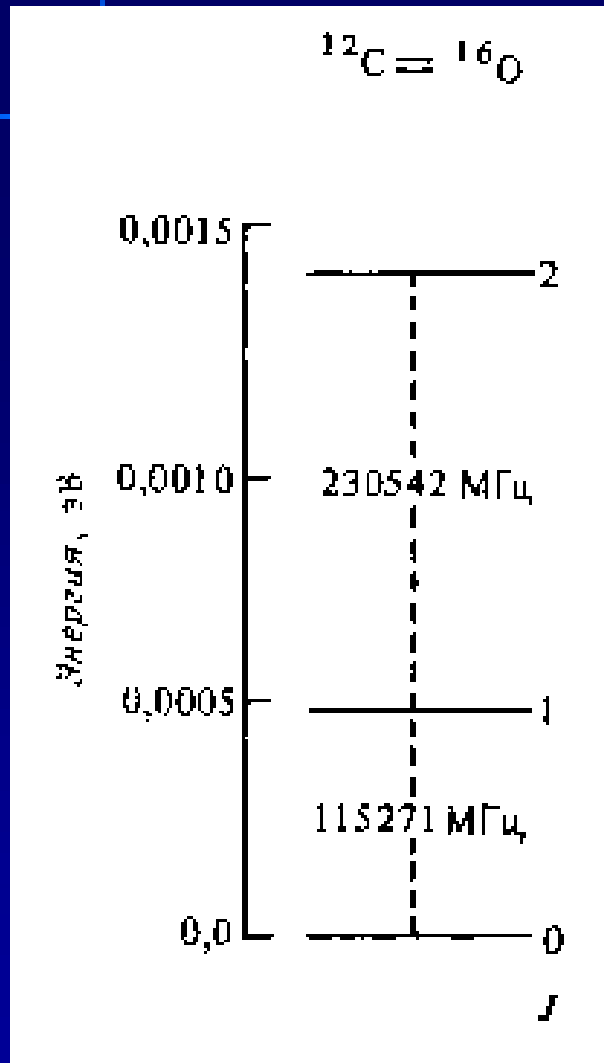
Нэн Дитер
(1926-2014)



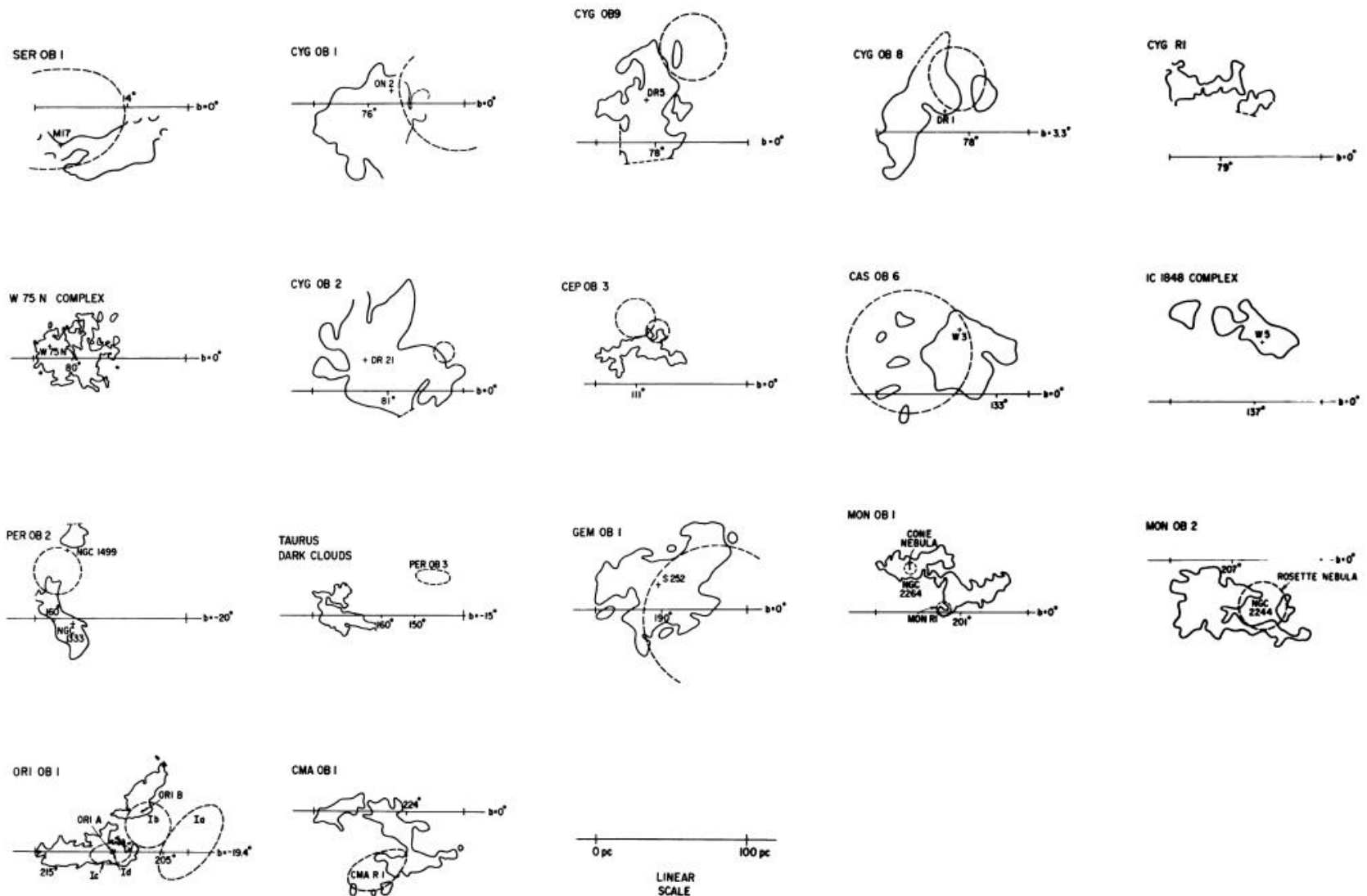
Обнаружены мазеры на молекулах гидроксила (OH), воды (H_2O), метанола (CH_3OH), окиси кремния (SiO) и других.

Схема уровней молекулы CO

CO, $J = 1-0$ ($\lambda = 2.6$ мм)

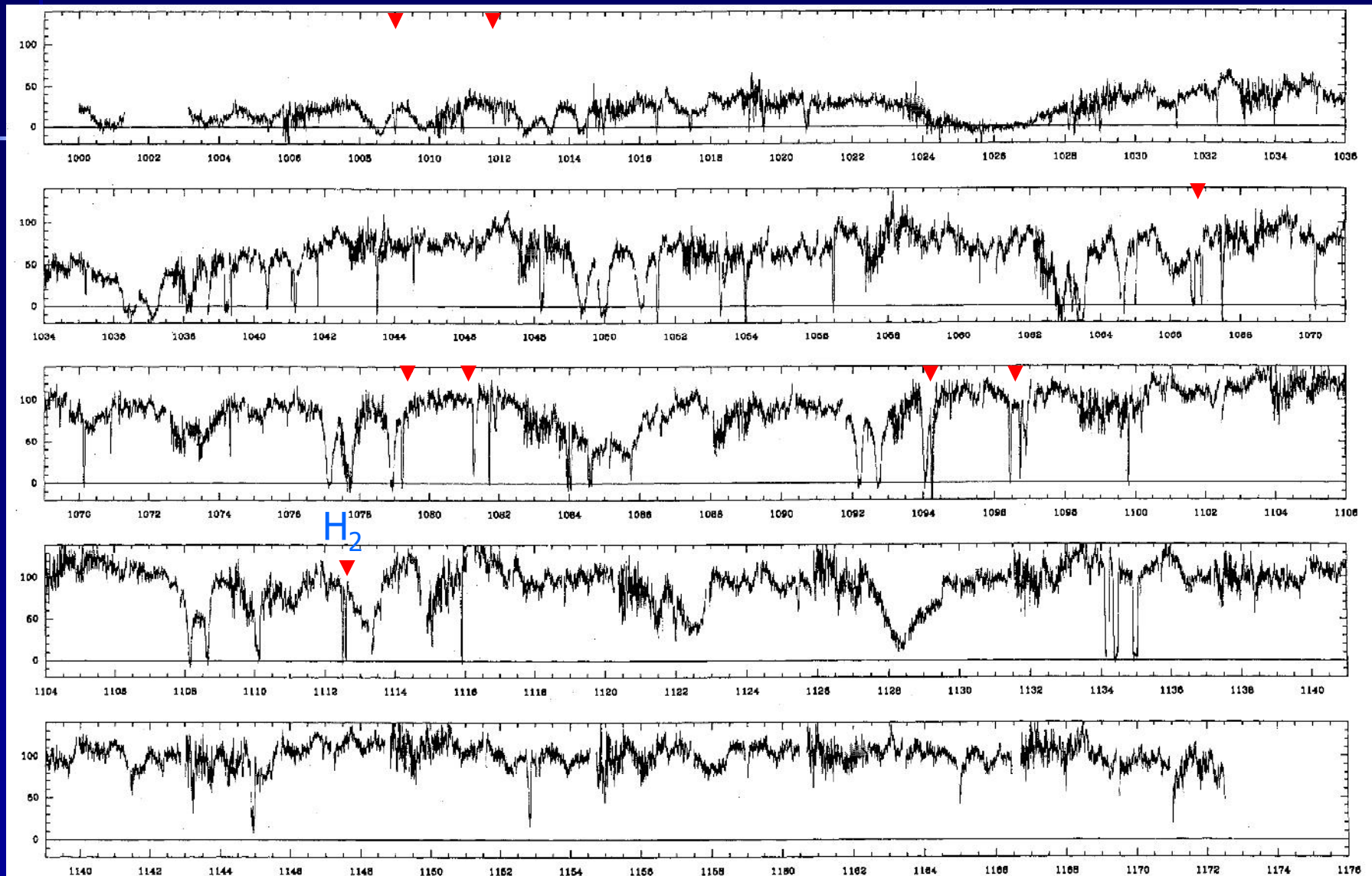


Гигантские молекулярные облака (по наблюдениям в линии молекулы CO) Размеры – десятки парсек, массы – до 10^5 масс Солнца Места образования звёзд



Ультрафиолетовый спектр звезды π Скорпиона

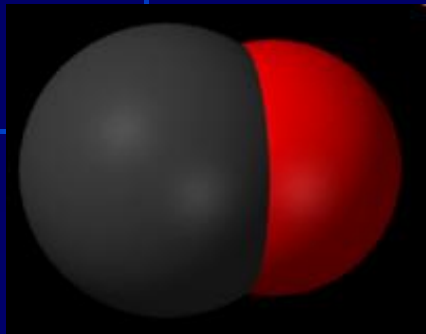
Отмечены межзвёздные линии молекулы H_2



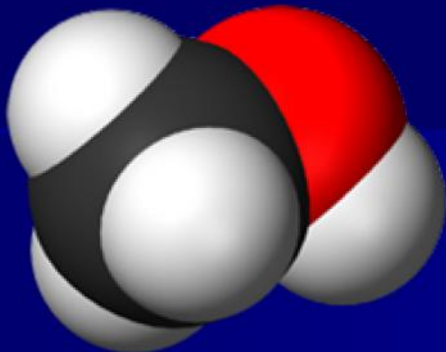
Межзвёздные молекулы

Число атомов							
2	H ₂ C ₂ OH	CO CS HCl	SiO SiS NaCl	NO NS KCl	CN PN AlCl	SO SO ⁺ AlF	CH CH ⁺
3	H ₂ O H ₂ S SO ₂ H ₃ ⁺	HNO HCO SiC ₂ N ₂ H ⁺	HCN HCO ⁺ C ₂ S NaOH	HNC HOC ⁺ C ₂ H O ₃	OCS HCS ⁺ CH ₂		
4	NH ₃ C ₂ H ₂ C ₃ O	H ₂ CO H ₂ CS C ₃ N	HNCO HNCS C ₃ S	HCO ⁺ HCN ₂ ⁺ C ₃ H			
5	HC ₃ N HCOOH	NH ₂ CN SiH ₄	CH ₂ NH CH ₄	CH ₂ CO C ₃ H ₂	C ₄ H		
6	CH ₃ CN NH ₂ HCO	CH ₃ OH C ₂ H ₄	CH ₃ SH C ₅ H				
7	HC ₅ N CH ₃ C ₂ H	CH ₂ CHCN CH ₃ NH ₂	C ₆ H CH ₃ HCO				
8	CH ₃ C ₃ N	HCOOCH ₃					
9	HC ₇ N C ₂ H ₅ OH	CH ₃ C ₄ H C ₂ H ₅ CH	CH ₃ OCH ₃				
10	CH ₃ C ₅ N						
11	HC ₉ N						
13	HC ₁₁ N						

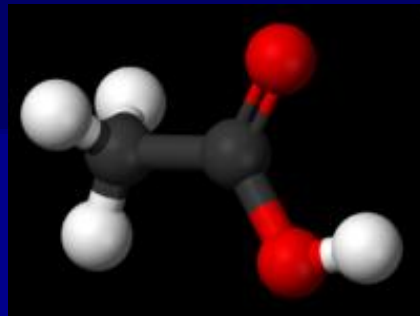
В межзвёздной среде обнаружено более 100 видов молекул



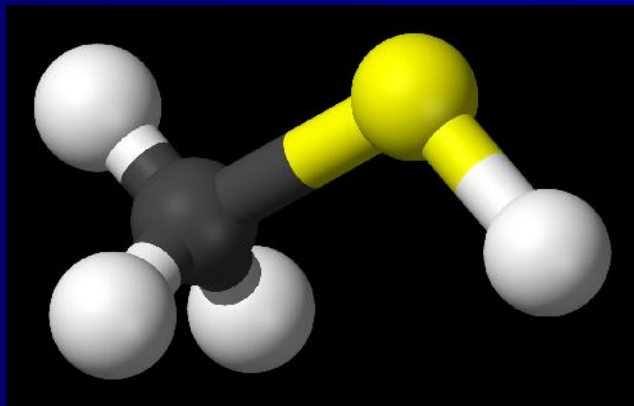
CO



CH₃OH



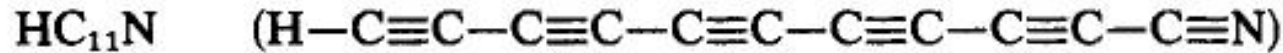
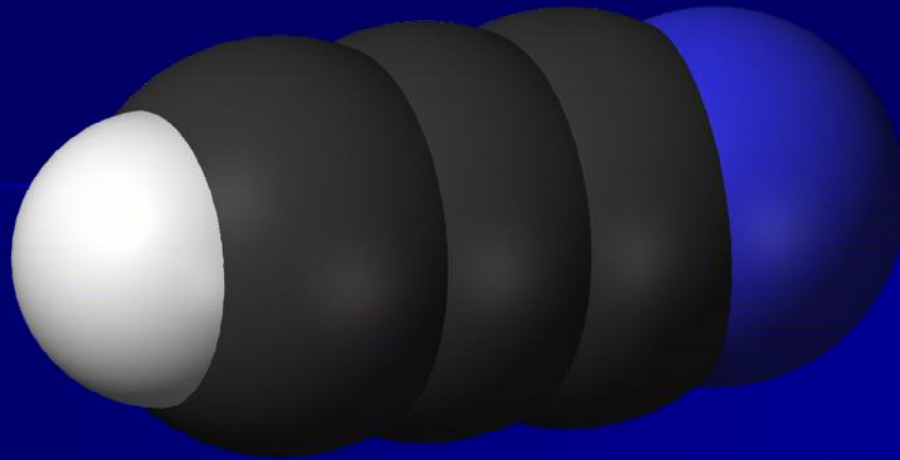
CH₃COOH



CH₃SH

Cyanopolyynes $\text{H}-(\text{C}\equiv\text{C})_n-\text{C}\equiv\text{N}$, $n = 0, 1, 2, \dots, 5$

HC_3N



Bell et al. 1982

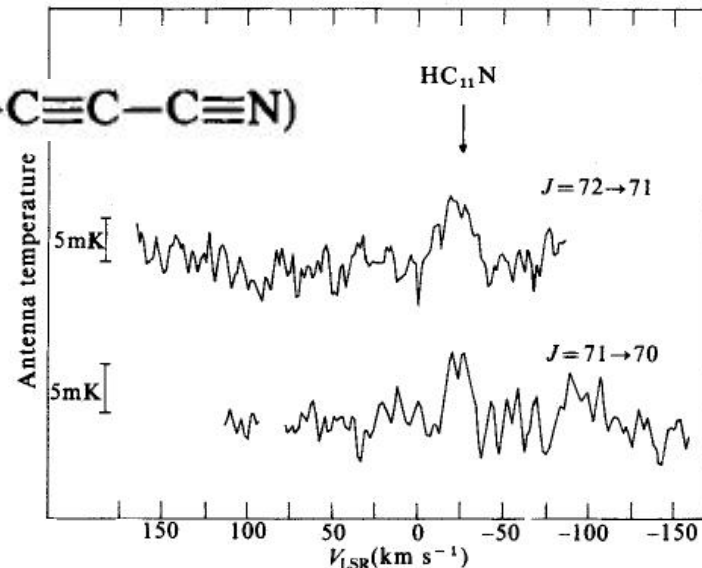
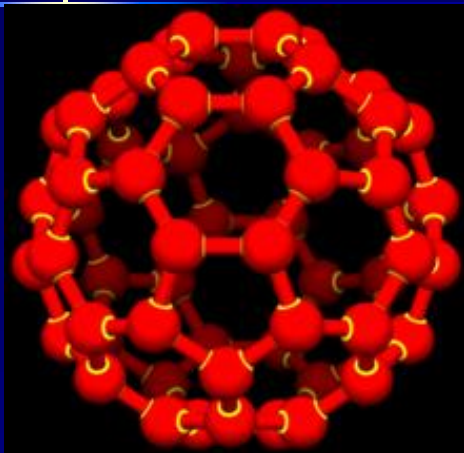
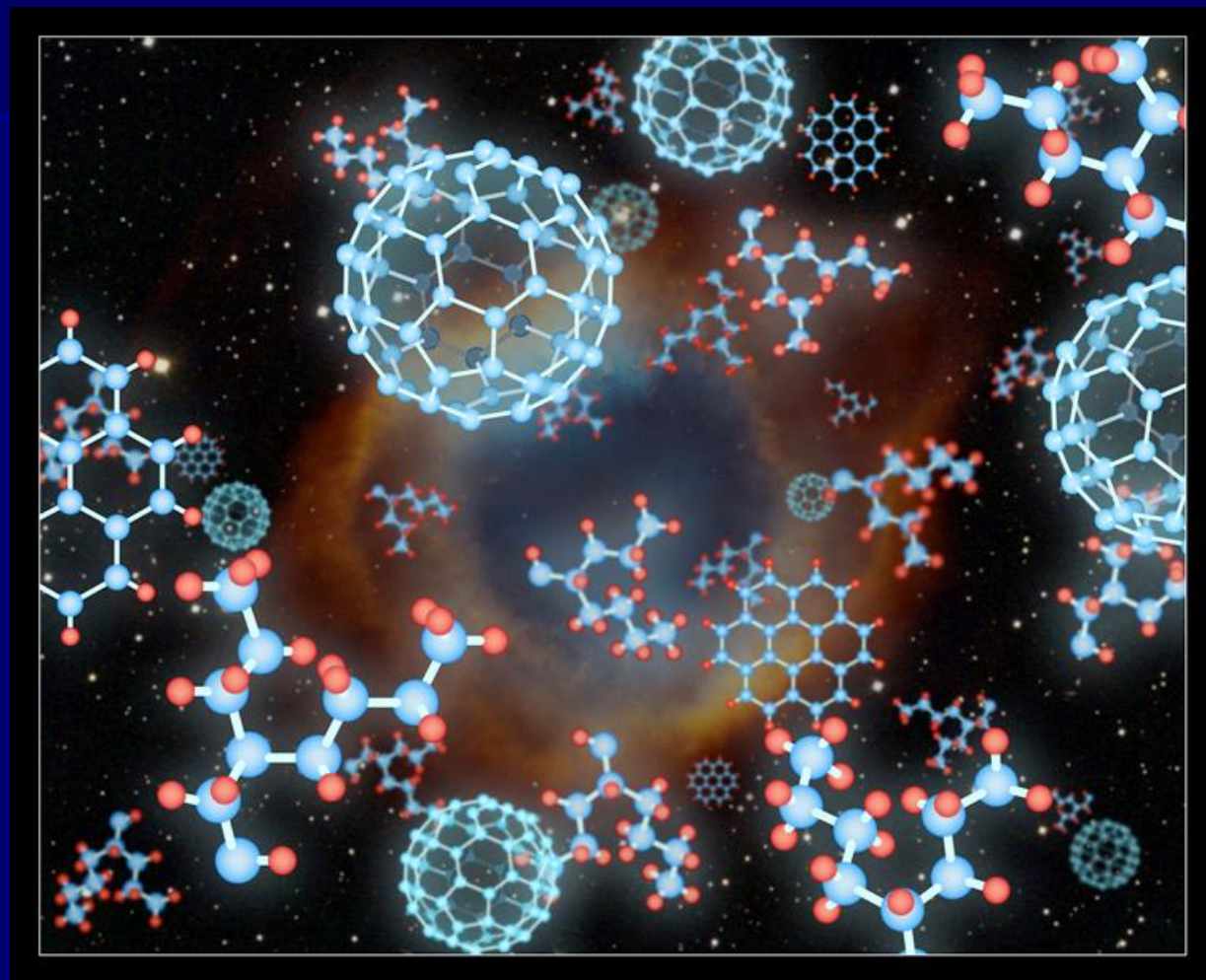


Fig. 2 Two adjacent transitions of HC_{11}N in the spectrum of IRC+10°216. The features have been aligned on a common velocity scale using the rest frequencies given in Table 1. The antenna-temperature scales are indicated on the left of the figure. Other details are as for Fig. 1.

В межзвёздной среде обнаружены ещё более сложные молекулы



Фуллерены



Жизненный путь звёзд с различной начальной массой

Конечные стадии эволюции

Звёзды

Время "жизни"

Голубые сверхгиганты класса W с массой до $100 M_{\odot}$

Голубовато-белые звезды класса O с массой до $50 M_{\odot}$

Бело-голубые звезды класса B с массой до $10 M_{\odot}$

Белые звезды класса A с массой до $5 M_{\odot}$

Желтоватые звезды класса F с массой до $3 M_{\odot}$

Желтые звезды класса G, $M \sim 1 M_{\odot}$

Оранжевые звезды класса K, $M < 1 M_{\odot}$

Красные звезды класса с массой до $0,5 M_{\odot}$

Коричневые карлики, $M < 0,01 M_{\odot}$

10^6 лет

10^7 лет

10^8 лет

10^9 лет

10^{10} лет

10^{11} лет

10^{12} лет

Взрыв Сверхновой звезды

Черная дыра

Волокнистая туманность

Нейтронная звезда

Планетарная туманность

Белый карлик

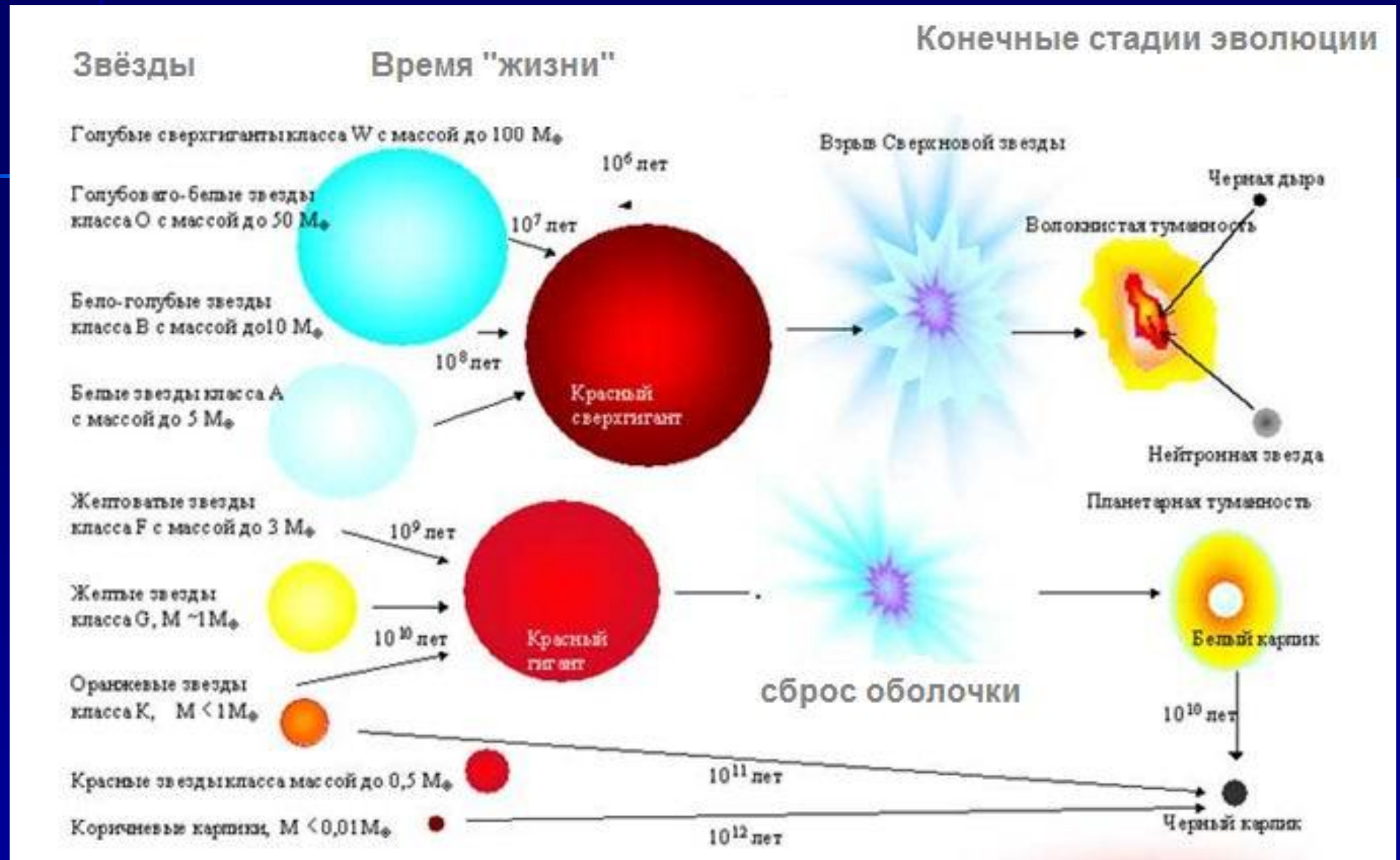
10^{10} лет

Черный карлик

Красный
сверхгигант

Красный
гигант

сброс оболочки

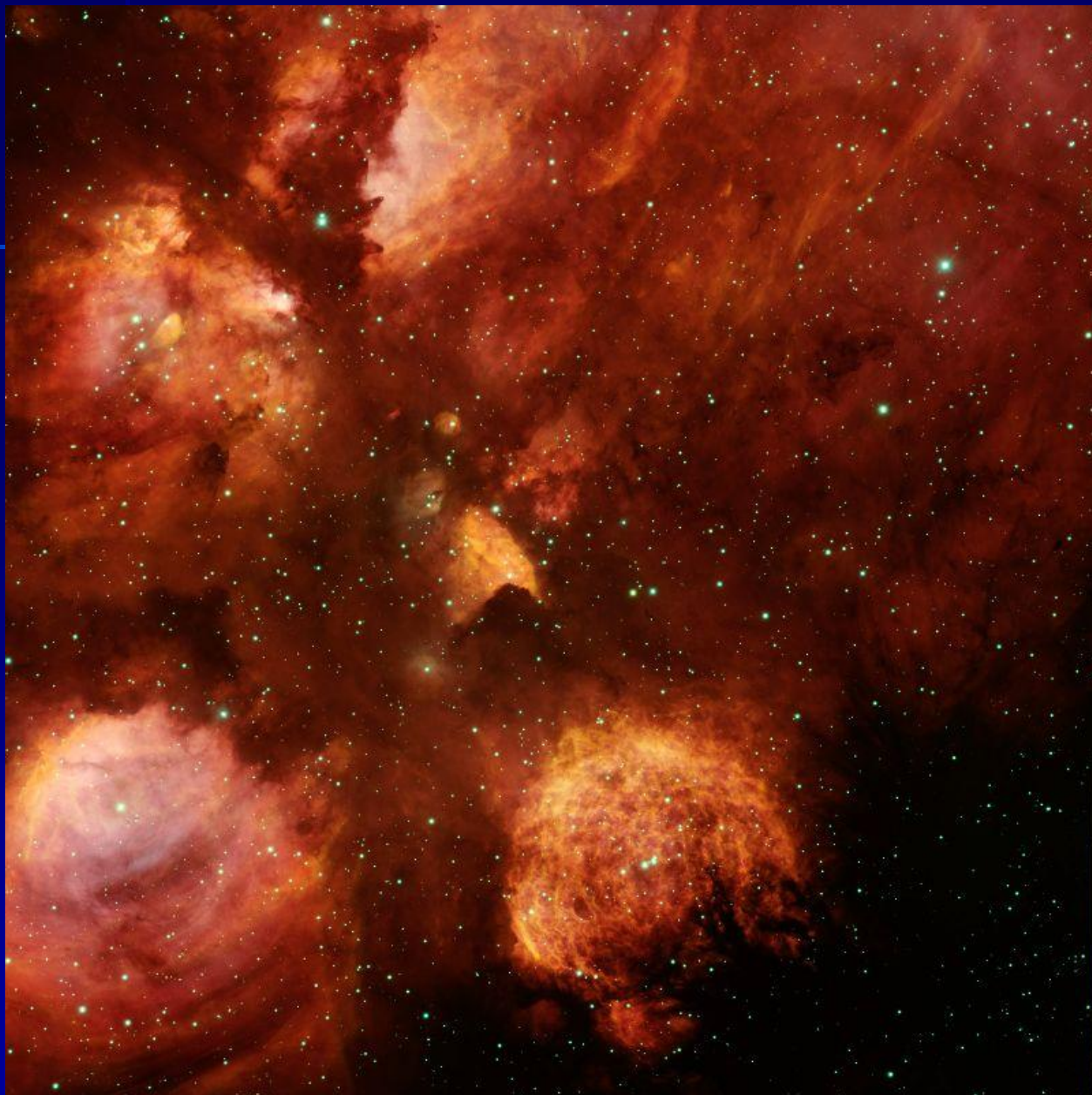


Области ионизованного водорода вокруг горячих звёзд (зоны HII)



*Туманность Ориона
- близкая зона HII*





*Туманность
NGC 6334
(«Кошачья
лапа»)*

Планетарные туманности – ионизованные оболочки, сброшенные звёздами – красными гигантами



M57



«Медуза»



«Улитка»



Abell 39

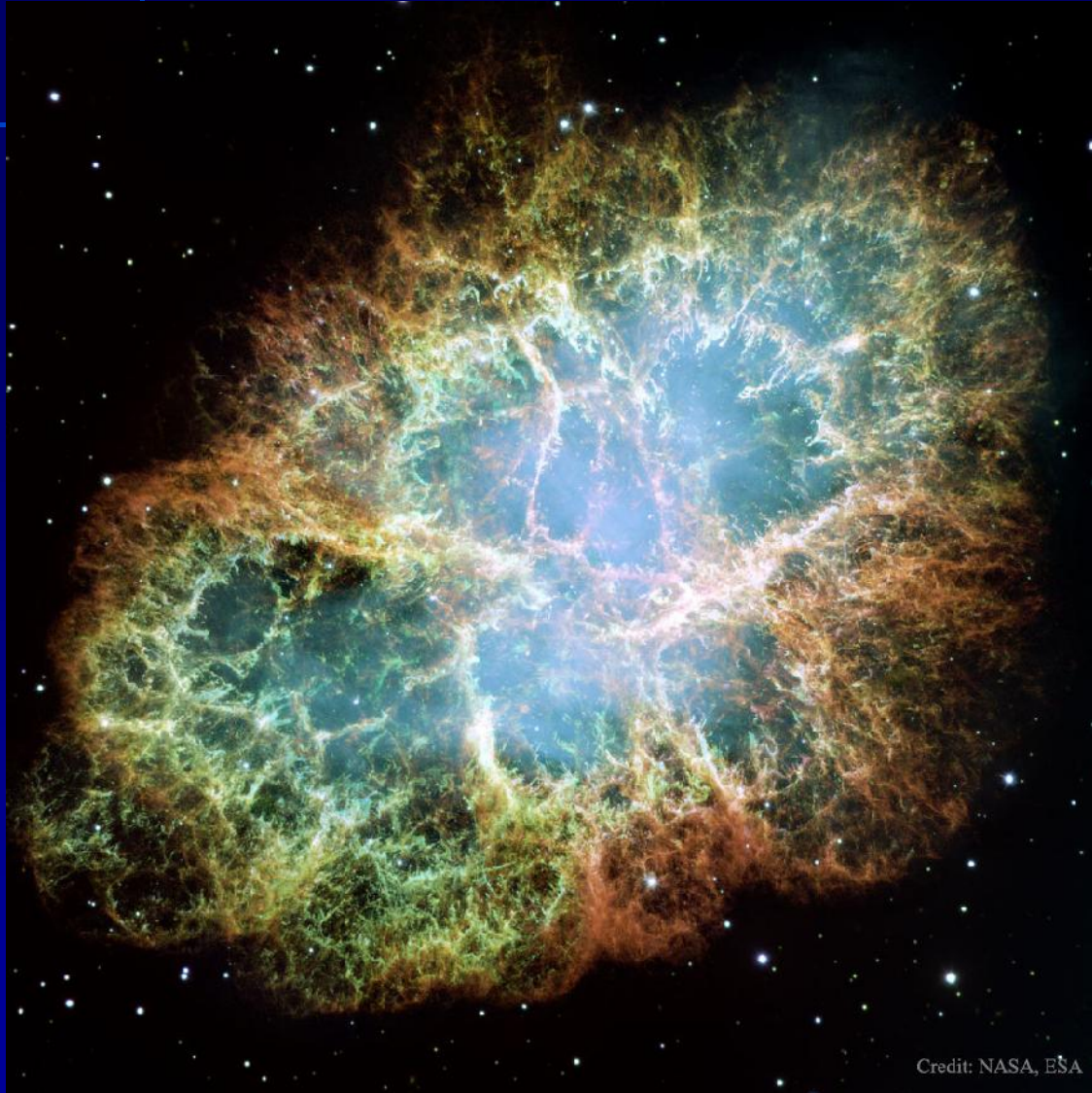


«Кошачий глаз»



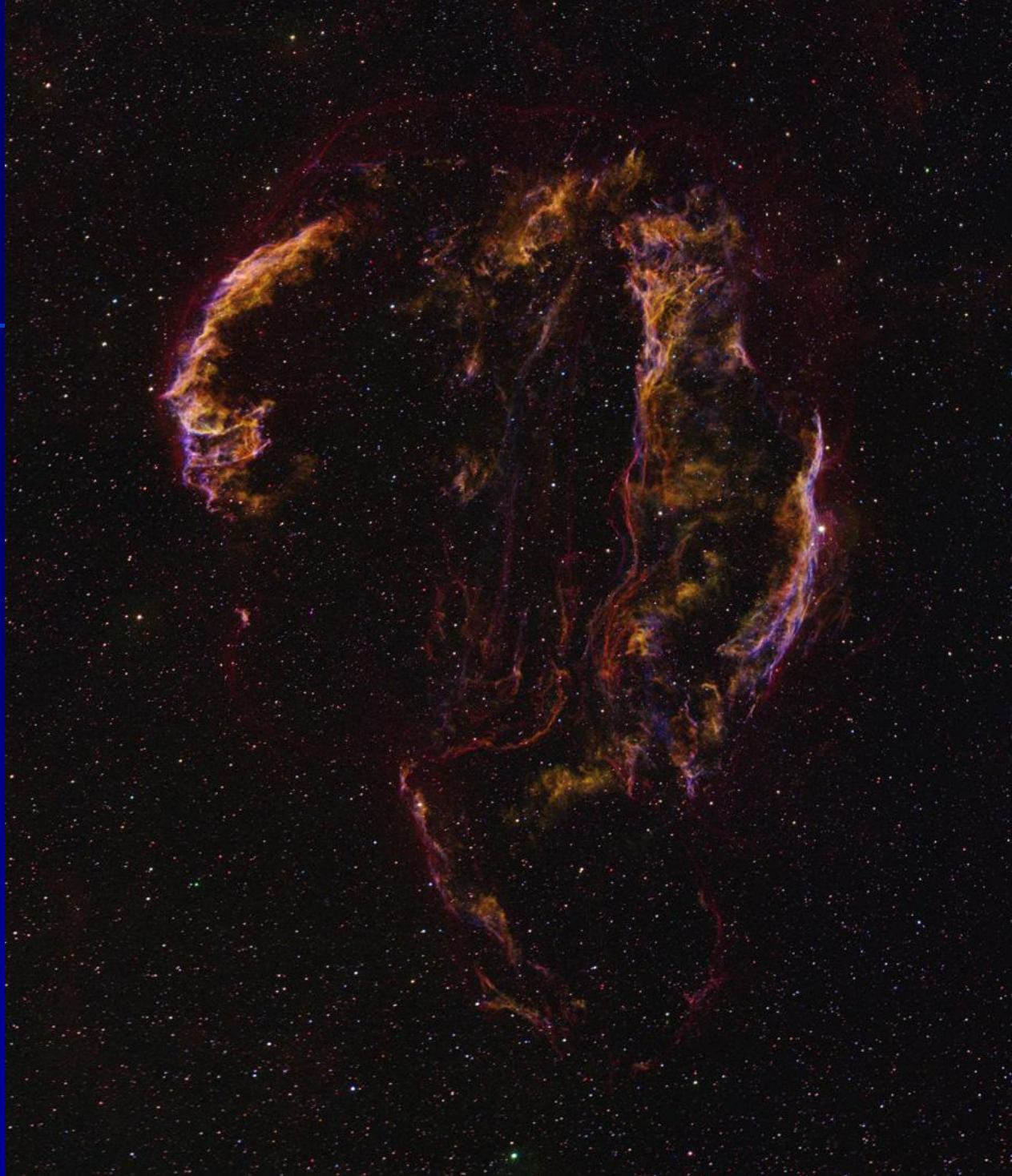
«Бабочка»

Остатки вспышек сверхновых



Крабовидная Туманность
Остаток вспышки
Сверхновой 1054 года

Credit: NASA, ESA



**Туманность Петля
в Лебеде –
остаток
Сверхновой,
вспыхнувшей 9000
лет назад**

Ещё составляющие межзвёздной среды:

Межзвёздная пыль

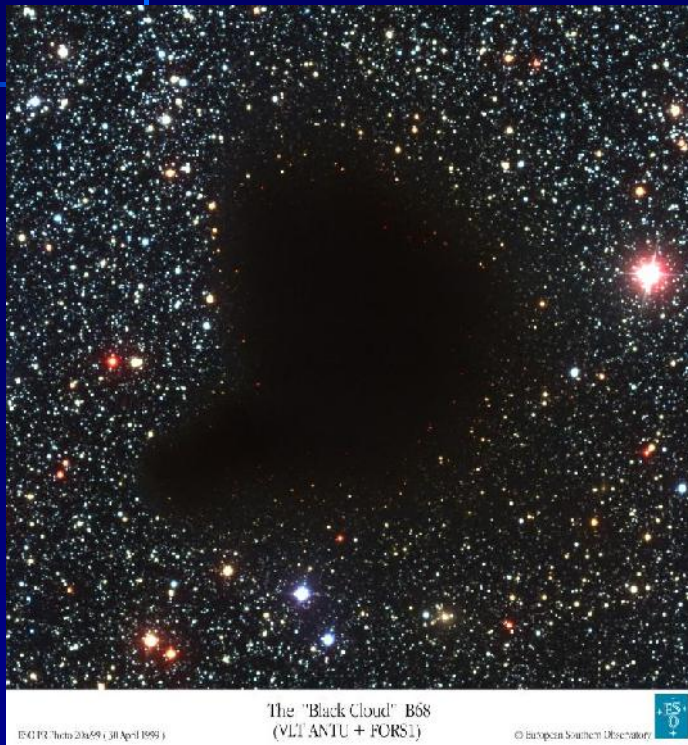
Магнитные поля

Космические лучи

Межзвёздная пыль

Межзвёздное поглощение света:

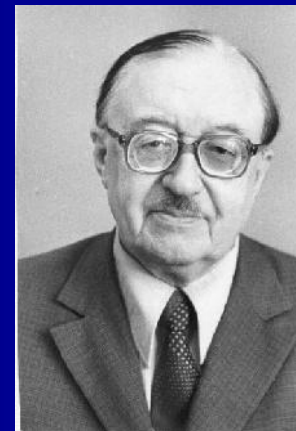
2 зв. величины на 1 килопарсек
(1 парсек = 3.26 св. года =
 $= 3 \times 10^{16}$ км)



Тёмная туманность
Barnard 68

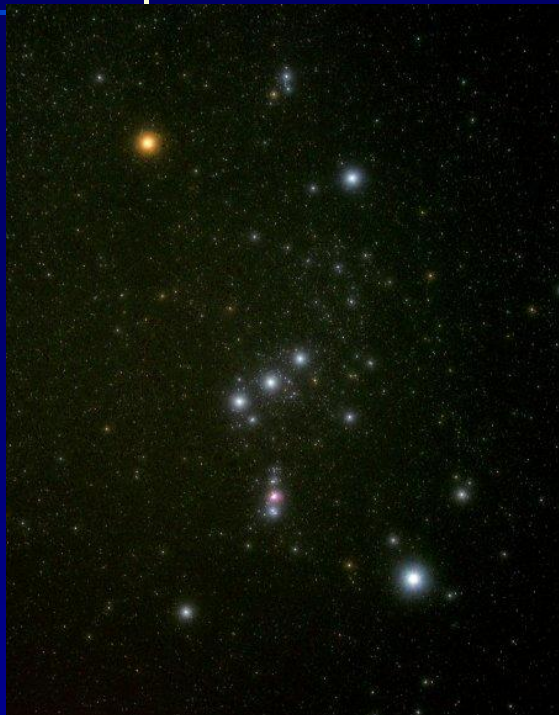


Роберт Трюмплер
1886 - 1956

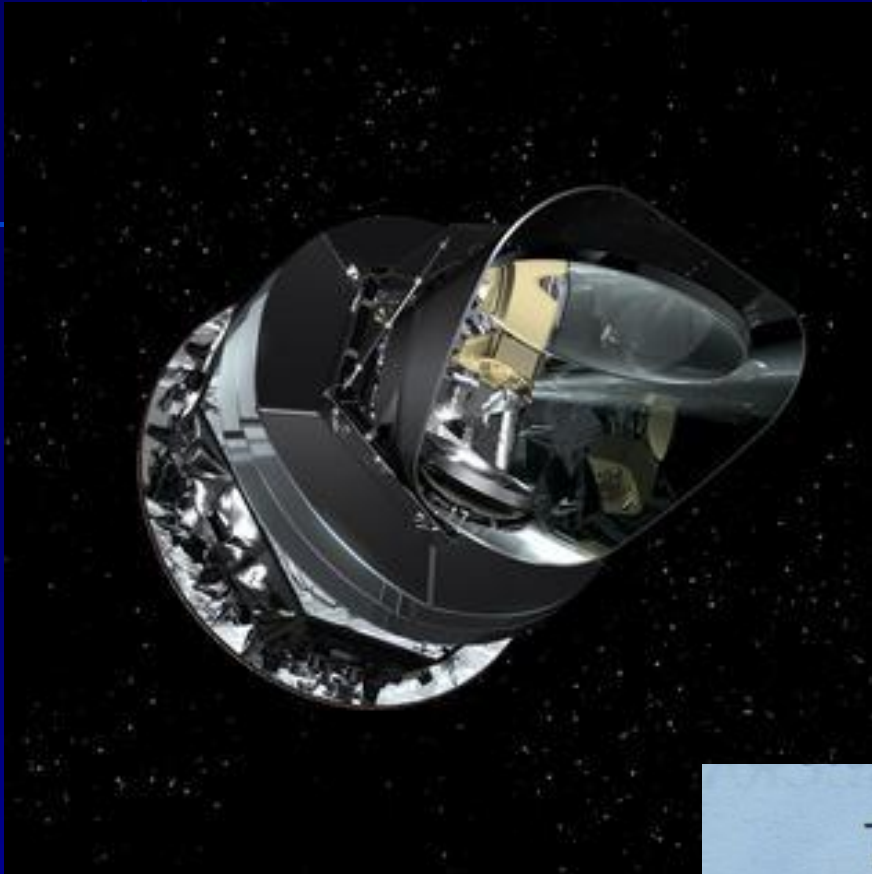


Б.А. Воронцов-Вельяминов
1904 - 1994

Тёмная туманность «Конская голова» в Орионе

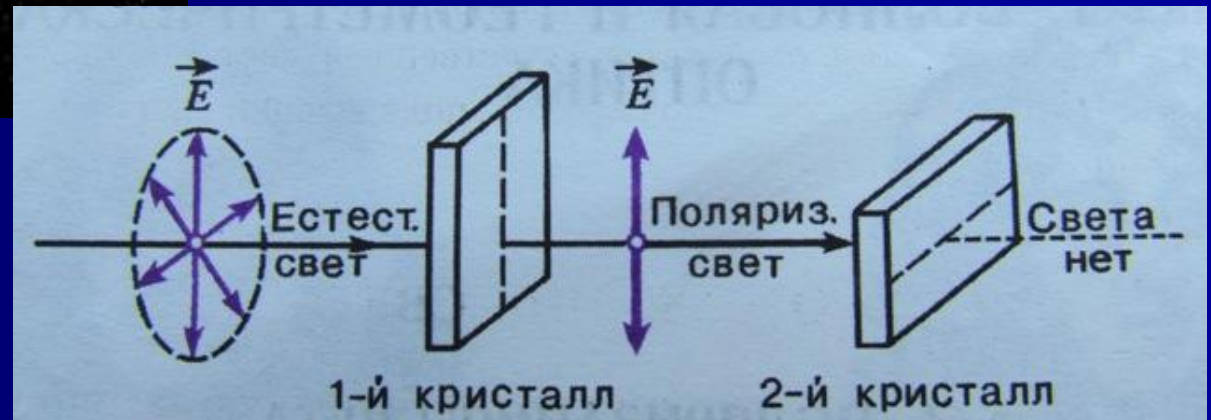


Космический аппарат Planck (Европейское космическое агентство), 2009-2013 гг.

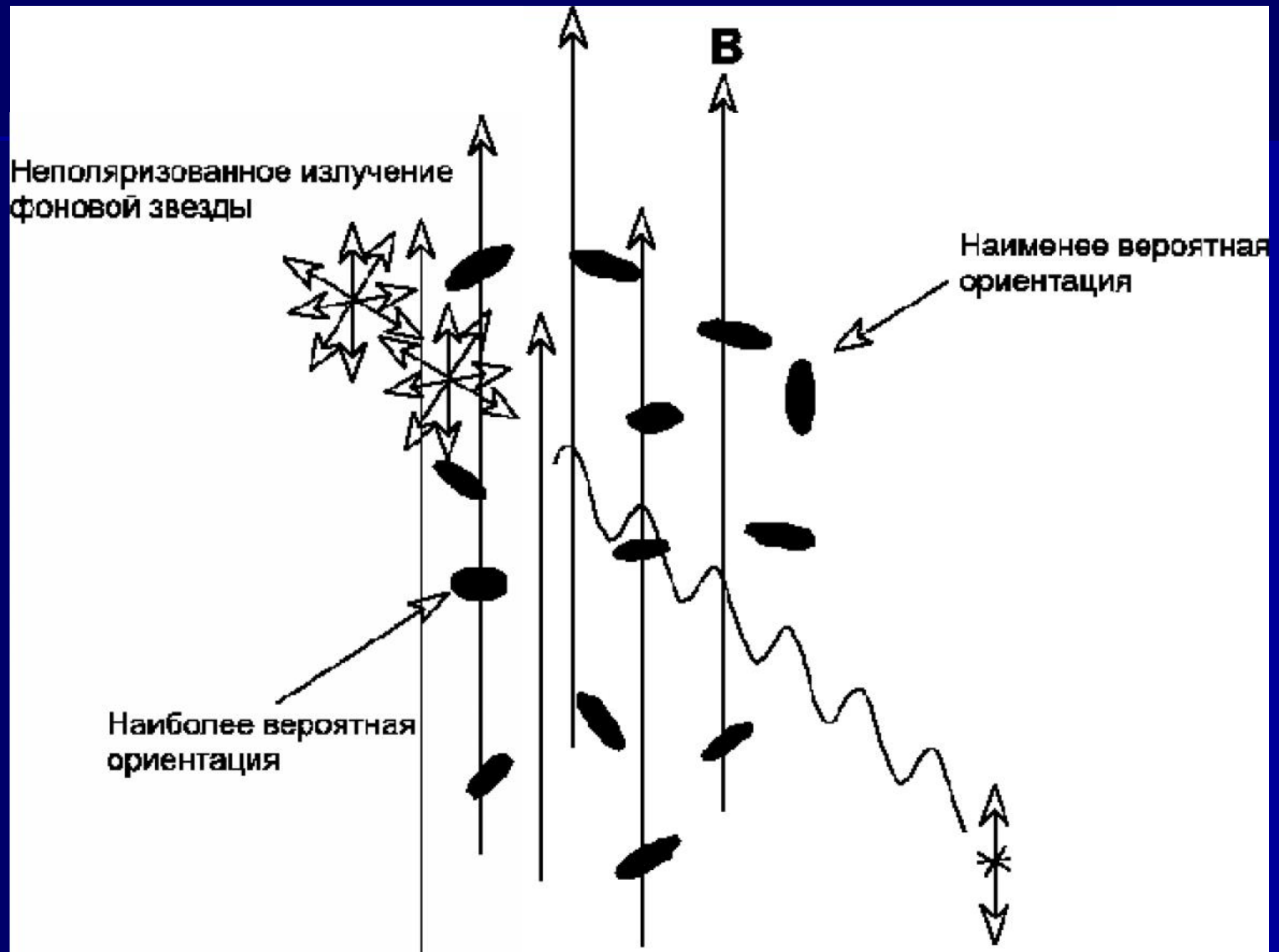
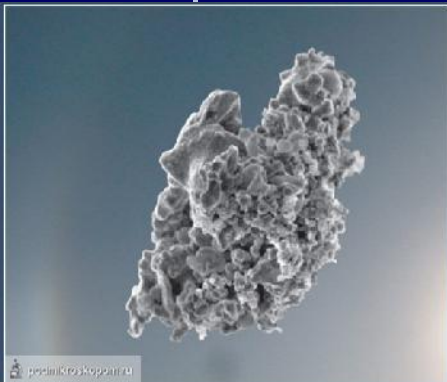


Волны от 1 см до 0.35 мм (350 мкм)

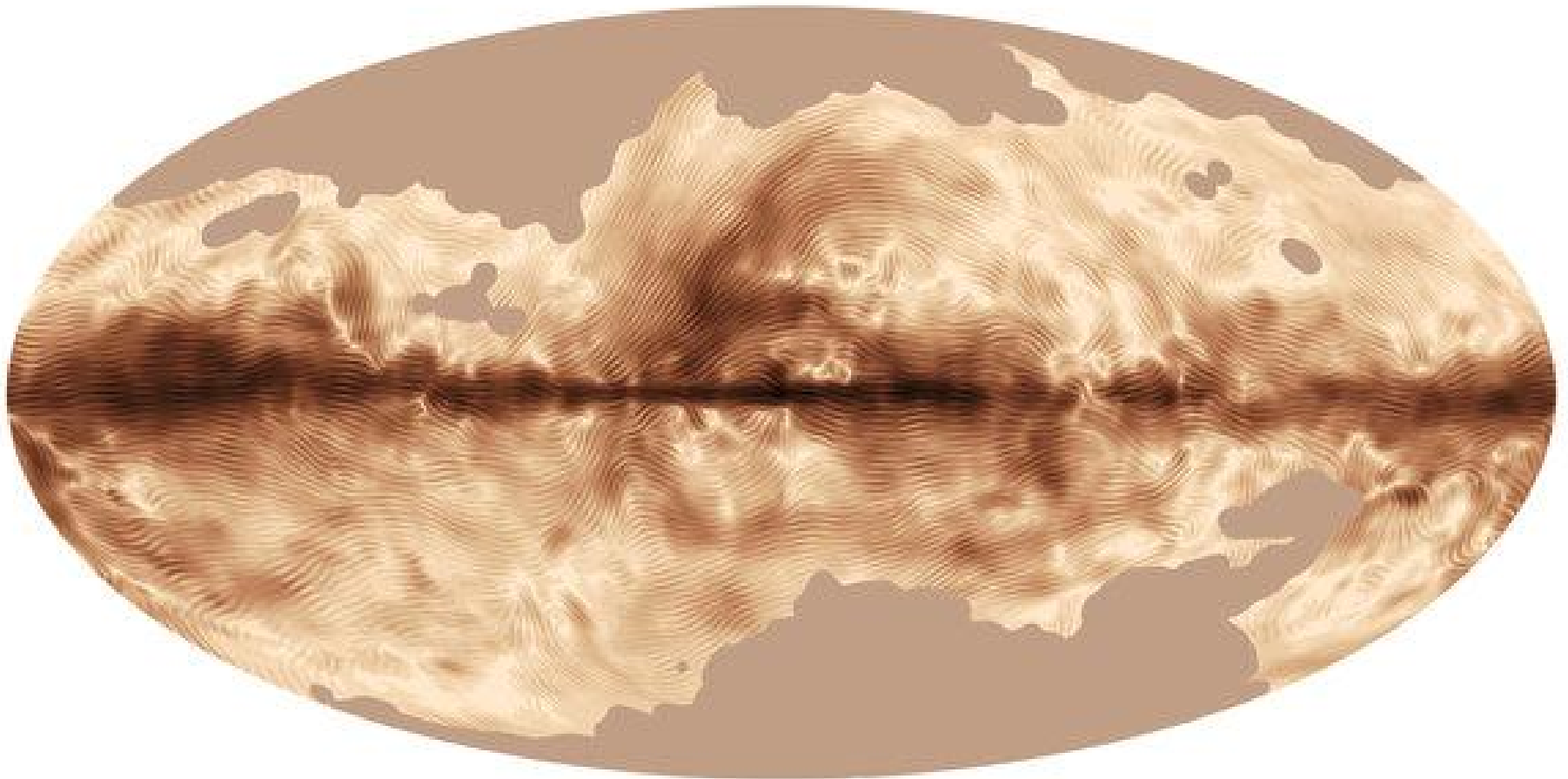
Поляризация света

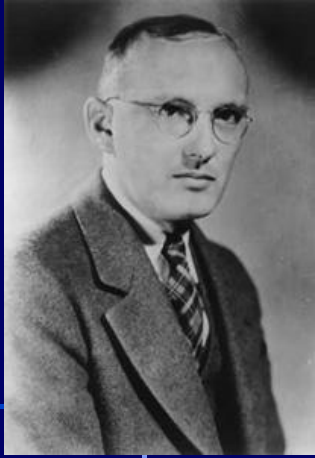


Поляризация света межзвёздной пылью

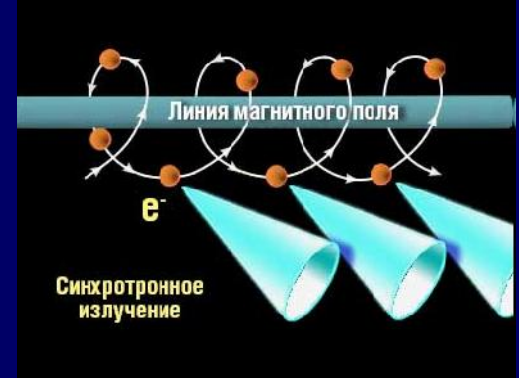


Распределение межзвёздного магнитного поля Млечного Пути

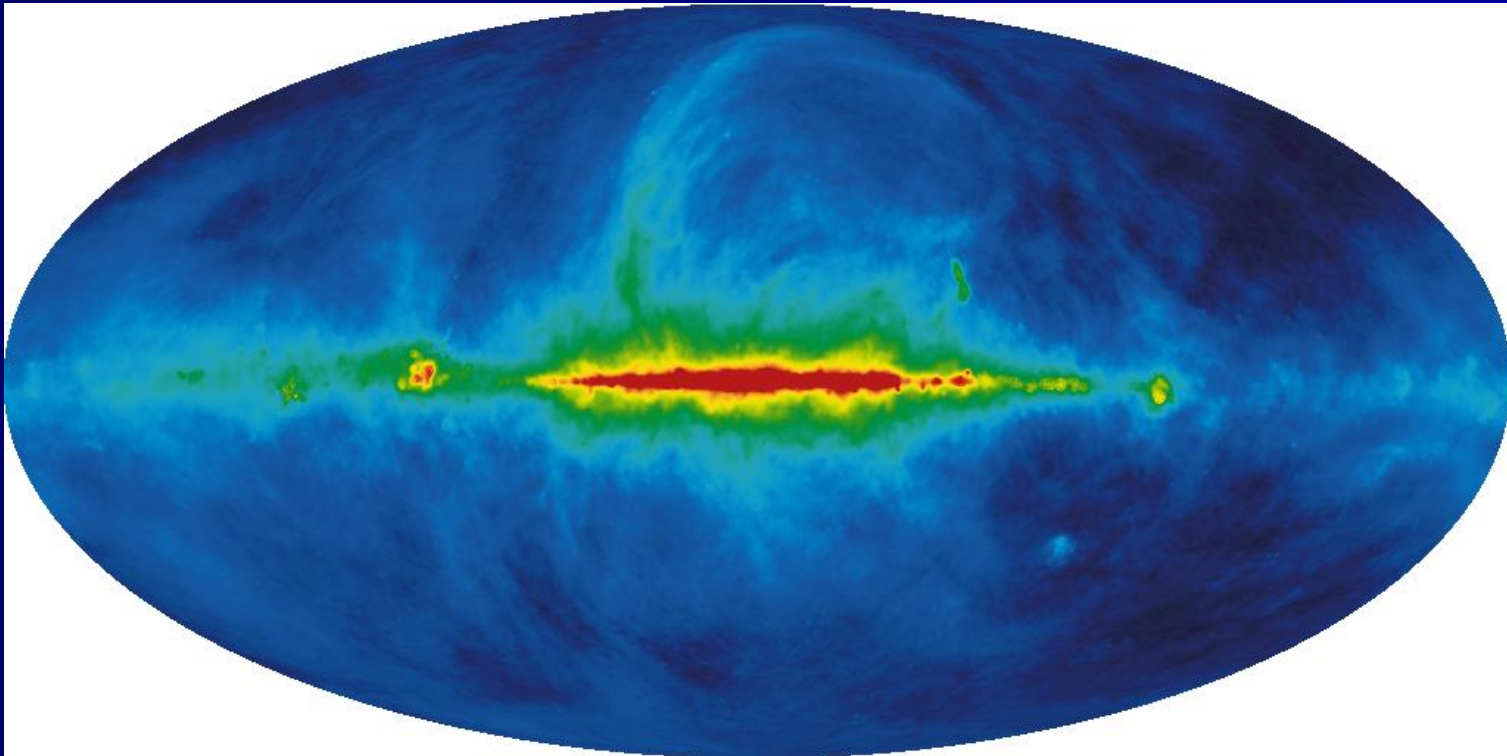




Карл Янский
1905 - 1950



Радиокарта неба на частоте 408 МГц



Излучение релятивистских электронов
($E \sim 10\text{-}30$ МэВ)
в межзвёздном магнитном поле ($H \sim 10^{-5}$ Гс)