

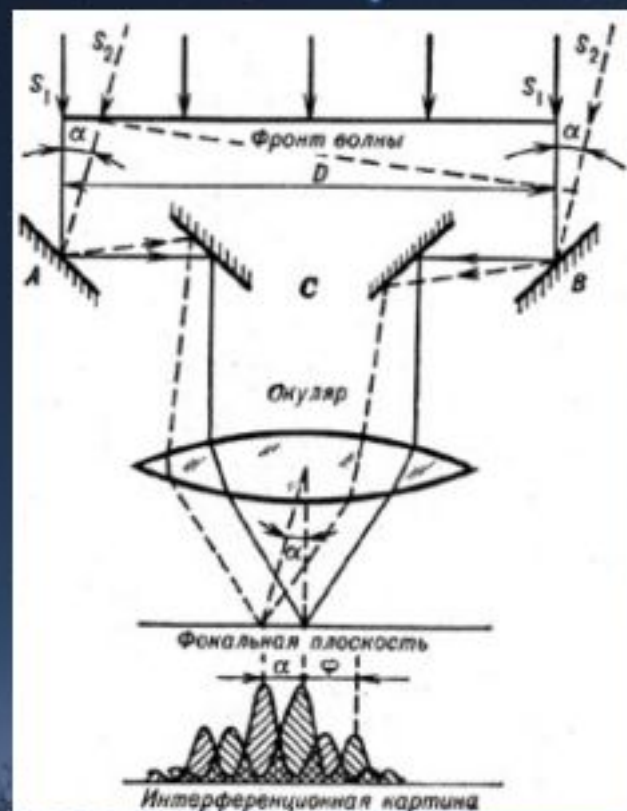
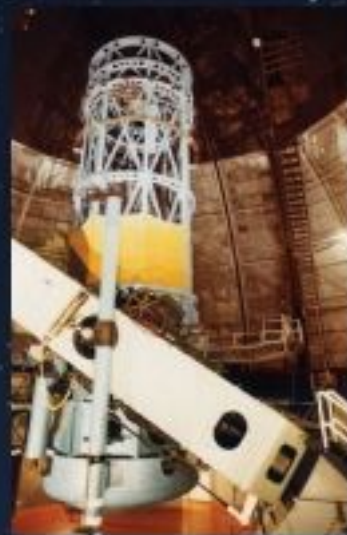
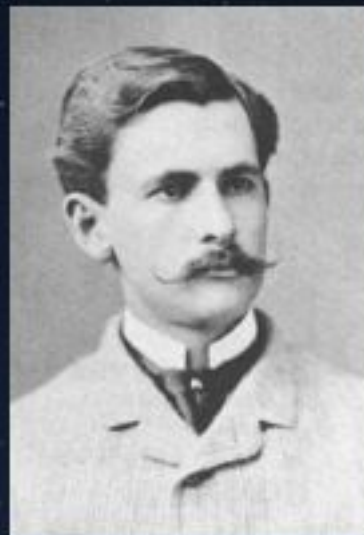
The background of the slide is a deep blue night sky filled with numerous stars of varying brightness and colors, including white, yellow, and blue. The stars are scattered across the entire frame, creating a sense of vastness and depth.

# **Размеры, массы и температуры звезд**

# Размеры звезд

## История открытий

- В 1920 г. известный американский физик Альберт Абрахам Майкельсон (1852-1931) провёл эксперимент по измерению углового размера звёзд. Для этого он использовал интерферометр с длиной плеч 6 м.
- Свет от интерферометра посылался при помощи зеркал на вход крупнейшего в то время 254-сантиметрового телескопа обсерватории Маунт Вилсон.
- Вместе со своим сотрудником Френсисом Пизом (1881-1938) Майкельсон в период с 1920 по 1930 определил угловые размеры 9 звезд.
- Их угловые размеры оказались ничтожно малыми: наибольший у Миры Кита ( $0,056''$ ) и наименьший у Альфа Кита ( $0,009''$ ).



# Размеры звезд

## История открытий



- В 1967 г. В обсерватории Нараби (Австралия) вступил в строй интерферометр Брауна и Твисса.
- Он состоит из кольцевого (диаметром 180 м) ж-д рельса, по которому могут двигаться два мозаичных зеркала диаметром до 6,6 м с фотоэлементом в фокусе каждого из них.
- Диаметр звезды определяется по корреляции колебаний яркости света звезды, собираемого этими двумя зеркалами при различных расстояниях между ними.
- Интерферометр мог измерить угловые диаметры звезд не слабее 2,5m. На каждое измерение затрачивалось несколько десятков часов.
- За 10 лет наблюдений таким образом были измерены угловые диаметры 50 звезд.
- Наименьшим оказался диаметр звезды  $\epsilon$  Ориона из пояса Ориона ( $0,00072''$ )

# Размеры звезд

## Угловые размеры ярких звезд

|            |                       |                                               |
|------------|-----------------------|-----------------------------------------------|
| Канопус    | $\alpha$ Киля         | $0^{\circ}00'686'' \pm 0^{\circ},00041''$     |
| Сириус     | $\alpha$ Большого Пса | $0,00612^{\circ} \pm 0^{\circ},00010^{\circ}$ |
| Процион    | $\alpha$ Малого Пса   | $0,00571^{\circ} \pm 0,00039^{\circ}$         |
| Вега       | $\alpha$ Лиры         | $0,00347^{\circ} \pm 0,00016^{\circ}$         |
| Альтаир    | $\alpha$ Орла         | $0,00297^{\circ} \pm 0,00015^{\circ}$         |
| Ригель     | $\epsilon$ Ориона     | $0,00269^{\circ} \pm 0,00015^{\circ}$         |
| Фомальгаут | $\alpha$ Южной Рыбы   | $0,00209^{\circ} \pm 0,00014^{\circ}$         |
| Ахернар    | $\alpha$ Эридана      | $0,00193^{\circ} \pm 0,00008^{\circ}$         |
| Регул      | $\alpha$ Льва         | $0,00138^{\circ} \pm 0,00007^{\circ}$         |
| Беллатрикс | $\gamma$ Ориона       | $0,00076^{\circ} \pm 0,00005^{\circ}$         |
|            | $\epsilon$ Ориона     | $0,00072^{\circ} \pm 0,00005^{\circ}$         |

- Самый крупный объект в этом списке — звезда Канопус, видимая только в южных широтах — вторая по яркости после Сириуса. Ее диск имеет такой же угловой диаметр, какой имел бы помещенный на Луне диск поперечником в 12,5 м. Наименьший объект — *эпсилон* Ориона — не превышает видимых размеров, которые имела бы большая автомобильная шина, перенесенная на Луну!
- Линейный диаметр Сириуса найден равным  $1,76 \pm 0,04 D_{\odot}$ , или 2 445 680 км.

# Размеры звезд

## Определение размеров звезд

- Для звезд с известным расстоянием  $r$  и угловым диаметром  $\Theta$  линейный радиус:

$$R = r \sin \Theta/2$$

$$R = \frac{1}{2} r \Theta / 206265 \quad (\Theta \text{ в секундах дуги, а } r - \text{ в парсеках})$$

но т.к.  $1 \text{ Пк} = 206265 \text{ а.е.}$ , а  $1 \text{ а.е.} = 149600000 \text{ км}$

$$R = 7,48 * 10^7 \Theta r \quad (\text{в км})$$

Зная радиус Солнца  $R_{\odot} = 6,96 * 10^5 \text{ км}$ , а  $r = 1/\pi$

$$R = 107,5 \Theta / \pi \quad (\text{в радиусах Солнца, где } \Theta \text{ и } \pi \text{ измеряются в сек. Дуги})$$

- Радиусы звезд оказались очень различными – от  $0,003 R_{\odot}$  у белых звезд-карликов до  $1000 R_{\odot}$  ( $4,65 \text{ а.е.}$ ) у красных сверхгигантов (например, у Бетельгейзе-Альфа Ориона).



Наблюдатель  
с Земли

# Размеры звезд

## Определение размеров звезд

- Радиусы звезд с неизвестными угловыми диаметрами могут быть вычислены по их светимости и температуре из закона Стефана -Больцмана  $E = \sigma T_e^4$  (мощность излучения энергии с единицы нагретого тела пропорциональная 4 степени его абсолютной температуры).

Мощность излучения со всей поверхности звезды:

$$I = 4\pi R^2 \sigma T_e^4 \text{ а у Солнца } I_{\odot} = 4\pi R_{\odot}^2 \sigma T_{\odot}^4$$

Разделив первое на второе получим светимость звезды

$$L = R^2 (T/T_{\odot})^4, \text{ откуда получим радиус звезды}$$

$$R = L^{1/2} (T/T_{\odot})^2$$

Можно найти радиус звезды, зная ее показатель цвета (B-V) и вычислив ее абс. зв. величину  $M_v$

$$R = 0,72 (B - V) - 0,2 M_v + 0,51$$

# Температуры звезд

## Эффективная температура звезд

• Закон Стефана-Больцмана  $E = \sigma T_e^4$  позволяет определить эффективную температуру звезд с известными радиусами.

Звезда излучает за секунду энергию  $I = 4\pi R^2 \sigma T_e^4$

На расстоянии  $r$  Земли от звезды на единицу площади поверхности падает

$$E = 4\pi R^2 \sigma T_e^4 / 4\pi r^2 = \sigma T_e^4 (R/r)^2$$

Угловой диаметр звезды в секундах дуги  $\Theta = 206265'' \cdot 2 R/r$  Тогда:

$$T_e = 642,3 (E/\sigma \Theta^2)^{1/4}$$

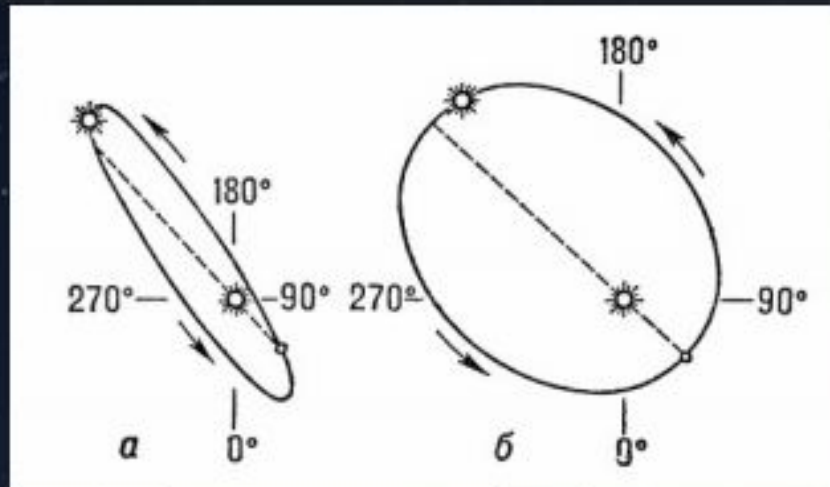
• Значение  $E$  определяется по болометрической звездной величине звезды  $m_b$  и Солнца  $m_{b\odot} = -26,86$ , а также солнечной постоянной  $E_\odot$ .

Так как  $\lg E/E_\odot = 0,4 (m_{b\odot} - m_b)$ , откуда  $\lg T_e = 2,718 - 0,1 m_b - 0,5 \lg \Theta$

• Эффективная температура Сириуса равна  $10\,380^\circ \text{K} \pm 180^\circ$ , Регула -  $13000^\circ$ ; Веги -  $9500^\circ$ ; Фомальгаута -  $9300^\circ$ ; Альтаира -  $8250^\circ$ ; Прокциона -  $6450^\circ$ .

# Массы звезд

## Двойные и кратные звезды



- Среди двойных звезд есть и такие, компоненты которых расположены далеко друг от друга и просто проецируются для земного наблюдателя поблизости друг от друга. Такие двойные звезды называются **оптическими двойными**.
- Многие из открытых визуально-двойных звезд оказались **физическими двойными** – компоненты которых обращаются вокруг общего центра масс.
- Существуют также **кратные системы**, состоящие из трех и более звезд.
- Примером четырехкратной системы является звезда Эпсилон Лиры. Одна тесная пара ее состоит из звезд 5,1m и 6,0m на взаимном расстоянии 2,7'' (180 а.е.), а вторая пара – из звезд 5,1m и 5,4m на расстоянии 2,4'' (160 а.е.). Расстояние между парами составляет 208'' (1390 а.е.)
- Если число звезд в системе превышает 10, они называются **скоплениями**.
- В настоящее время изучено более 70000 визуально двойных и кратных звезд, но возможно, во Вселенной двойные системы встречаются чаще, чем одиночные..

# Массы звезд

## Двойные звезды и массы звезд

• Если известен годичный параллакс двойной (бинарной) системы, легко можно вычислить большую полуось ее орбиты.

$$a_{\text{а.е.}} = a'' / \pi'' \quad a_{\oplus}$$

где  $a_{\oplus} = 1 \text{ а.е.}$ ,  $a''$  = угол между компонентами бинарной системы, а  $\pi''$  - паралактический угол.

• Зная большую полуось орбиты бинарной системы и период  $T$  обращения звезды-спутника, по третьему обобщенному закону Кеплера можно найти суммарную массу системы:

$$T^2(M_1 + M_2) / T_{\oplus}^2 (M_{\odot} + M_{\oplus}) = a^3 / a_{\oplus}^3 \text{ откуда при } M_{\odot}=1 \text{ и } T_{\oplus}=1 \text{ г.}$$

$$M_1 + M_2 = a^3 / T^2$$

Вычислив из наблюдений значения больших полуосей орбит каждого из компонентов  $a''_1$  и  $a''_2$  и помня, что центр масс двух тел расположен обратно пропорционально массам тел  $M_1/M_2 = a''_2/a''_1$ , находим массы компонентов.