

### Гарвардская классификация

Анджело Секки (1818-1878) – Ватиканская обсерватория.



### Гарвардская классификация

Анджело **Секки (1818-1878)** – Ватиканская обсерватория.

К **1868 г.** – им было изучено около 4000 звезд.

4 типа спектров, причем различия были и по цветам.

1. Белые или голубовато-белые – 4 сильные линии водорода и мало линий металлов.

2. Желтые – спектр как у Солнца.

3. Красные – в спектре темные полосы (Антарес).

4. Очень красные – в спектре широкие очень темные полосы.

### Гарвардская классификация

Генри Дрепер (1837-1882) – (первая фотография туманности в Орионе, спектр Веги 1872 г., первая фотография хвоста кометы, первый спектр ядра кометы) – щелевой спектрограф - начало массовых снимков спектров.

1886 г. – фонд вдовы Дрепера для спектральных исследований.



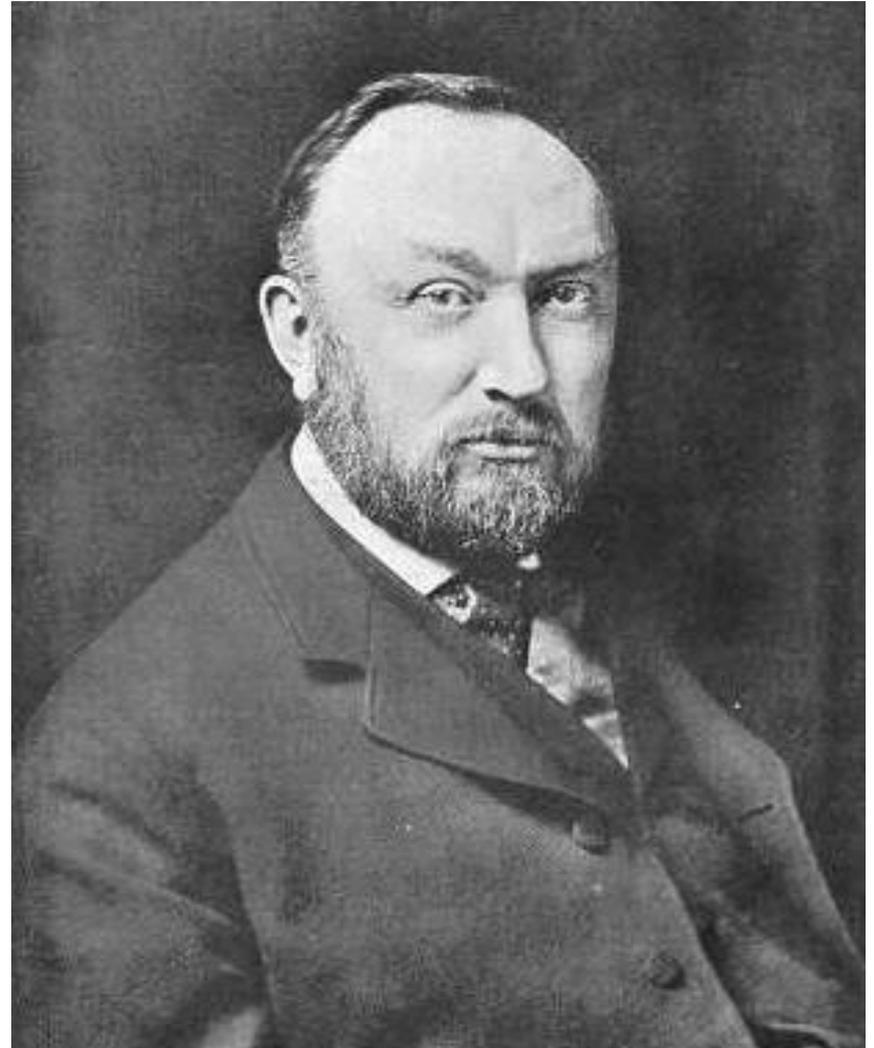
Henry Draper (1837-1882)

### Гарвардская классификация

Гарвардская обсерватория

Эдуард Чарльз Пикеринг  
(1846-1919)

Директор Гарвардской  
обсерватории с 1877 г.



История астрономии  
На пути к современной астрономии (начало XX века)

Гарвардская классификация



# История астрономии

## На пути к современной астрономии (начало XX века)

### Гарвардская классификация



### Гарвардская классификация

Вильямина  
Флеминг  
(1857-1911)

В Гарварде с  
1879 г.



Энн  
Кеннон  
(1863-194

Антониа  
Мори  
(1866-1952)

В Гарварде  
1888-1900  
гг.



### Гарвардская классификация



Генриетта  
Ливитт  
**(1868-1921)**  
В Гарварде  
с 1895 г.  
(северный пол.  
ряд)

## Гарвардская классификация

ANNALS OF HARVARD COLLEGE OBSERVATORY. VOL. LX. No. IV.

1908

### 1777 VARIABLES IN THE MAGELLANIC CLOUDS.

BY HENRIETTA S. LEAVITT.

sixth to one-tenth of the entire period. It is worthy of notice that in Table VI the brighter variables have the longer periods. It is also noticeable that those having

## Гарвардская классификация

HARVARD COLLEGE OBSERVATORY.

CIRCULAR 173.

---

PERIODS OF 25 VARIABLE STARS IN THE SMALL MAGELLANIC  
CLOUD.

The following statement regarding the periods of 25 variable stars in the Small Magellanic Cloud has been prepared by Miss Leavitt.

---

EDWARD C. PICKERING.

MARCH 3, 1912.

1912

### Гарвардская классификация

#### Цефеиды

has not been published hitherto. A remarkable relation between the brightness of these variables and the length of their periods will be noticed. In H.A. 60, No. 4, attention was called to the fact that the brighter variables have the longer periods, but at that time it was felt that the number was too small to warrant the drawing of general conclusions. The periods of 8 additional variables which have been determined since that time, however, conform to the same law.

### Гарвардская классификация Цефеиды

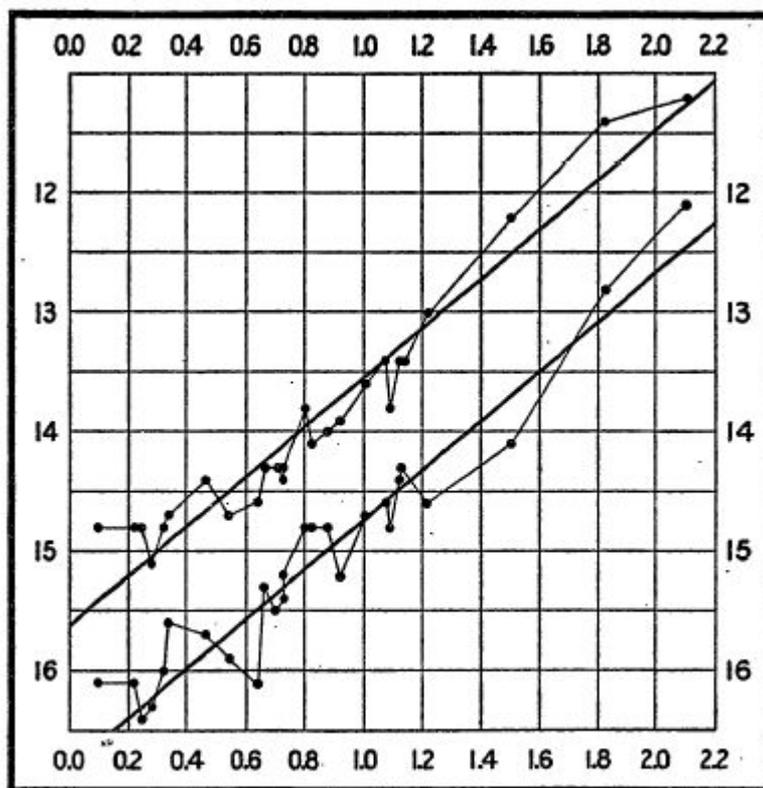


FIG. 2.

### Гарвардская классификация

#### Цефеиды

variables alike, is about 1.2 magnitudes. Since the variables are probably at nearly the same distance from the Earth, their periods are apparently associated with their actual emission of light, as determined by their mass, density, and surface brightness.

### Гарвардская классификация

Вильямина **Флеминг (1857-1911)** (Первоначально 16 классов – A, B, C, ..., Q).

Антониа **Мори (1866-1952)** (ширины линий – a, b, c).

(первые спектральные двойные – Мицар в **1889 г.** и  $\beta$  Aurigae в **1900 г.**)

## Гарвардская классификация

Энн Кэннон (1863-1941) – (O, B, A, F, G, K;

O1-10, B1-10,...). В 1910 г. система принята МАС.

Первый “Каталог Генри Дрепера” – 1890 г.

Каталог спектров звезд – “Каталог Генри Дрепера” - HD – 1918-1924 гг. – 9 томов – 225 300 звезд.

### Гарвардская классификация

**1885 г.** – Иоганн Бальмер (1825-1893) – линии  $H_{\alpha}$ ,  $H_{\beta}$ ,  $H_{\gamma}$  и  $H_{\delta}$  при  $n = 3, 4, 5, 6$

$$\lambda' = 3645,6 \frac{n^2}{n^2 - 4}$$

УФ спектры Веги и хромосферы Солнца (**Хёггинс** и **Дрепер**) – линии – при  $n = 7, 8, 9$  и т.д.

### Гарвардская классификация

**1896 г. – Пикеринг** – спектр  $\zeta$  Кормы - линии как в серии Бальмера, но с  $n = 3\frac{1}{2}, 4\frac{1}{2}, 5\frac{1}{2}$ ,

“Серия Пикеринга” – водород в необычных условиях.

**1913 г. Нильс Бор (1885-1962)** – модель атома – серия Пикеринга образуется атомами HeII.

### Гарвардская классификация

**1920 г. - М. Саха** – различия вызваны различиями температуры (разная степень ионизации).

Основопологающая работа была отклонена из ApJ.

**Сесилия Пейн-Гапошкина.** Звезды на 70% состоят из водорода и на 28% из гелия.

### Совершенствование спектральной классификации

**Диаграмма Герцшпрунга-Рессела**

Фотографические параллаксы с  
конца **XIX в.**

С **1903 г.** - Йеркская обсерватория  
– параллаксы →  $M$

**1910 г.** - Генри Норрис **Рессел**  
(**1877-1957**) – корреляция  
между спектральным классом  
звезды и ее светимостью  
(абсолютной звездной величиной;  
звезды в окрестности Солнца).



### Совершенствование спектральной классификации

#### Диаграмма Герцшпрунга-Рессела

**1905 г. - Эйнар Герцшпрунг**

**(1873-1967)** (Дания) – данные Гарвардской обсерватории – различия в ширинах линий одного и того же спектрального класса.



### Совершенствование спектральной классификации

#### Диаграмма Герцшпрунга-Рессела

**1905 г. - Эйна́р Герцшпру́нг**

Собственные движения.

О и В – собственные движения – малы.

Статистически у звезд с узкими линиями светимость больше, чем у звезд с широкими линиями – две разные последовательности в пределах одного спектрального класса (гиганты и карлики).

(m, CI) для Плеяд и Гиад.

## Совершенствование спектральной классификации

Диаграмма Герцшпрунга-Рессела

1910 г. - Генри Норрис Рессел.

Случайное открытие БК.

(Иванов, стр.2)

## Первые эволюционные модели

### Рессел

Эволюция за счет освобождения гравитационной энергии.

### Возраст звезд

**1904 г.** – Эрнест Резерфорд (1871-1937) – возраст горных пород (> 2 млрд. лет).

**1924 г.** – Эддингтон:  $L \sim M^3$  - для звезд ГП.

Устойчивая масса < 100 масс Солнца.

### Возраст звезд

Дж. Джинс – начальная масса Солнца – верхний предел. Далее она уменьшается за счет высвечивания энергии. Возраст – несколько **триллионов лет!**

Длинная и короткая шкалы.

Другие соображения – равномерное распределение по энергиям.

68 визуально-двойных звезд –  $e$  от 0.4 до 0.6 (позже В.А. Амбарцумян в 1937 г. опроверг этот вывод).

15 лет спор.

**(Климишин, стр.270)**

### Источники энергии Солнца

**1837 г.** – Джон Гершель и Клод Пулье – независимые оценки солнечной постоянной (Гершель – теплоты, получаемой Землей за год, хватит, чтобы растопить на ней слой льда толщиной в 36 м - оценка была занижена)!

Вопрос: откуда Солнце черпает столько энергии (на Землю попадает  $1/2000\ 000\ 000$  часть).

### Источники энергии Солнца

Вопрос: откуда Солнце черпает столько энергии (на Землю попадает  $1/2000\ 000\ 000$  часть).

Роберт **Майер** – **1842 г.** – закон сохранения энергии. И именно он поставил вопрос об источниках солнечной энергии.

Он же выдвинул гипотезу о нагреве Солнца за счет энергии падающих метеоритов.

### Источники энергии Солнца

**1854 г.** – Герман **Гельмгольц** – Солнце излучает энергию, освобождающуюся при его непрерывном сжатии.

Количественно была разработана Кельвином, но получаемые времена противоречили данным геологии.

### Источники энергии звезд

**1845 г.** - Роберт **Майер (1814-1878)** – источник энергии – падающие метеориты.

**1854 г.** – Герман **Гельмгольц (1821-1894)** – гравитационная энергия.

**1896 г.** – открытие явления радиоактивности (в **1926 г.** Дж. **Джинс** настаивал на этом).

**1897 г.** – открытие электрона. Аннигиляция материи (Дж. **Лармор** – **1900 г.**; Дж. **Джинс** – **1904 г.**).

### Начало теоретической астрофизики: теория внутреннего строения звезд

**1920–е гг.** - Артур Эддингтон (1882-1944) – основы теории строения звезд.

Звезды – газовые шары в состоянии равновесия. Высокая температура. Учитывал еще и уравнение энергетического равновесия.

**1920-1930-е гг.** доказал непригодность гравитационного сжатия как основного источника энергии.

Считал, что необходимую энергию могут дать ядерные реакции.

**(Ефремов, стр. 46)**

## Начало теоретической астрофизики: теория белых карликов

Субрахманьян Чандрасекар (1910-1995).

Зависимость масса-радиус. 1929 г.

### Исследования туманностей и межзвездной среды

Процессы взаимодействия между веществом и излучением (аппарат квантовой механики).

Планетарные туманности (ПТ). Линии небулия.

**1928 г.** – Айра **Боуэн (1898-1973)** - две из линий небулия  $N_1$  и  $N_2$  – запрещенные переходы [OIII]. При маленькой плотности газа и маленькой плотности излучения.

### Исследования туманностей и межзвездной среды

Свен **Росселанд** (1894-1985) – присутствие эмиссионных линий в спектрах ПТ – флюоресценция

**1931 г.** - теорема Росселанда -  $1 \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow 1$  чаще в туманностях, подсвечиваемых звездой, чем  $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 1$

**Занстра** – метод определения температуры звезды, ионизирующей газ.

**В.А. Амбарцумян** – массы туманностей и температура газа (30-е гг.).

### Исследования туманностей и межзвездной среды

**1904 г.** – Иоганнес Гартман (1865-1936) – спектр двойной звезды  $\delta$  Ориона - линии H и K (Ca II) не сдвигаются.

Межзвездное облако.

**1919 г.** – межзвездные линии натрия.

**1937 г.** – калий, железо, титан и т.д.

**1930 г.** – Роберт Трюмплер (1886-1956) – по статистике размеров рассеянных скоплений – межзвездное поглощение.

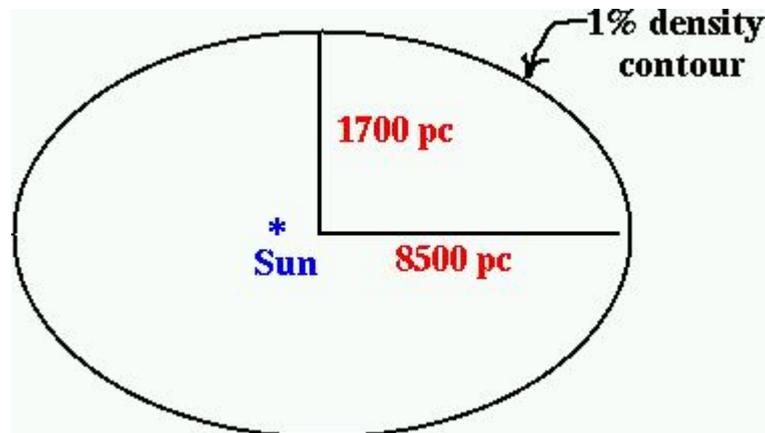
### Пространственное распределение звезд в Галактике

Якоб Каптейн (1851-1922)

1906 г. - план избранных площадок неба.

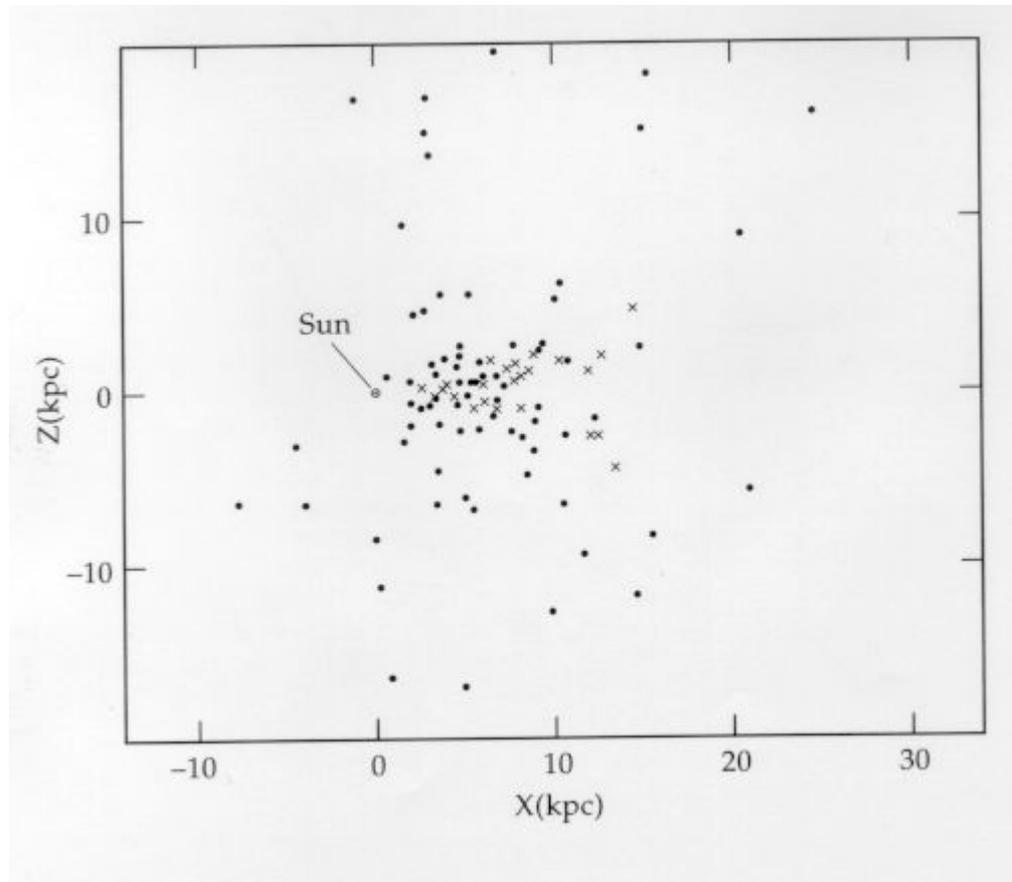
206 площадок. 1 град x 1 град.

Звездные подсчеты, собственные движения, лучевые скорости, расстояния – по стат. зависимостям.



### Структура Галактики

1918-1919 гг. - Шепли



## **Спор о природе туманностей**

**26 апреля 1920 г. – Great Debate - Куртис - Шепли**

### Кинематика и динамика Галактики

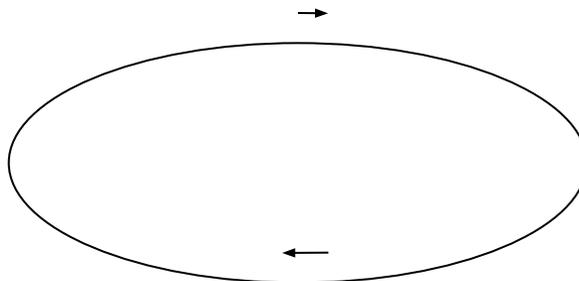
Бертил Линдблад (1895-1965)

**1926 г.** – по асимметрии распределения скоростей и собственных движений звезд – вращение Галактики.

Скорости ШС – оценка массы Галактики.

Понятие подсистем. Связь между структурой и кинематикой.

Объяснил существование двух потоков; эллипсоид скоростей.



## Кинематика и динамика Галактики

**Ян Оорт (1900-1999)**

**1927 г.** – по пространственному распределению лучевых скоростей звезд и собственным движениям – вращение дифференциальное.

Открыл балдж Галактики.

## Крупные телескопы

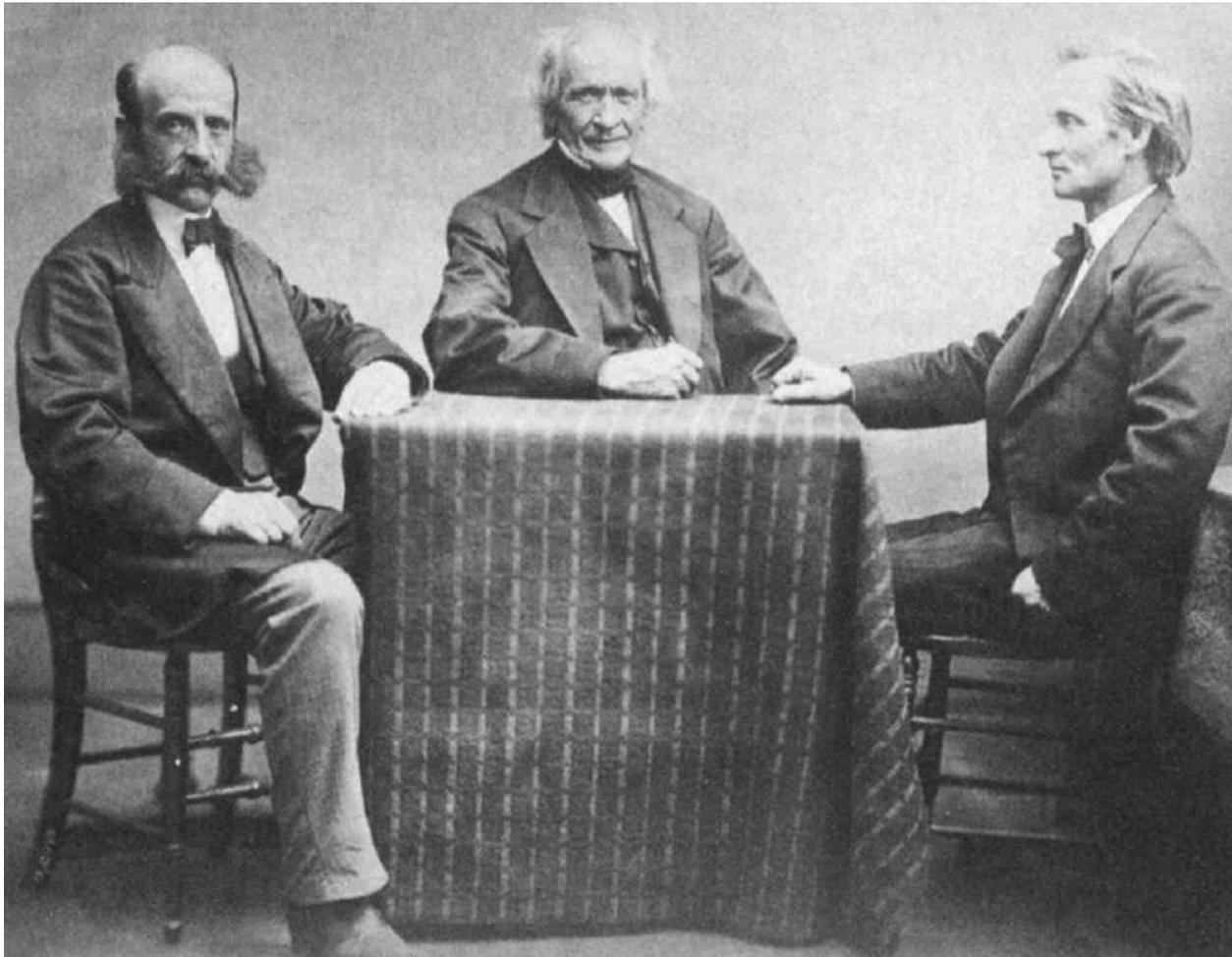
**XVII в.** – длиннофокусные рефракторы (хроматическая aberrация).

**XVIII в.** – рефлекторы (зеркало из металла).

**XIX в.** – двухлинзовые ахроматические объективы (Доллонд – 1757 г., Фраунгофер).

### Крупные телескопы

Альван Кларк и сыновья



### Крупные телескопы

Альван Кларк и сыновья

**1862 г.** – 43 см – 18” (спутник Сириуса).

**1873 г.** – 66 см – 26” Вашингтонская обсерватория

(**1877 г.** – Холл спутники Марса).

**1885 г.** – 76 см – 30” Пулковская обсерватория.

**1888 г.** – 91 см – Ликская обсерватория (19 попыток).

**1896 г.** – 102 см (40 дюймов) – Йеркская обсерватория.

### Крупные телескопы

1896 г. – 102 см (40 дюймов) – Йеркская обсерватория



### Крупные телескопы

**1845 г.** – Уильям Парсонс (лорд Росс) (1800-1867) – 183 см (72 дюйма), фокусное расстояние 15.8 м – металлическое зеркало.

**1856 г.** – Юстус Либих (Германия) - химический способ серебрения зеркал рефлекторов – **новая эра в телескопостроении** (1929 г. – Д. Стронг – США – алюминирование зеркал).

**1879 г.** - 91 см. Англия. **1885 г.** – телескоп приобрел любитель астрономии Э. Кроссель. **1895 г.** – Ликкская обсерватория (первая горная).

# История астрономии

На пути к современной астрономии (начало XX века)

## Крупные обсерватории Обсерватория Маунт-Вилсон 1904

MOUNT WILSON OBSERVATORY



История астрономии  
На пути к современной астрономии (начало XX века)

**Крупные обсерватории**  
**Обсерватория Маунт-Вилсон**  
**Джордж Хейл (1868–1938)**



### Крупные обсерватории

Джордж Хейл (1868–1938)

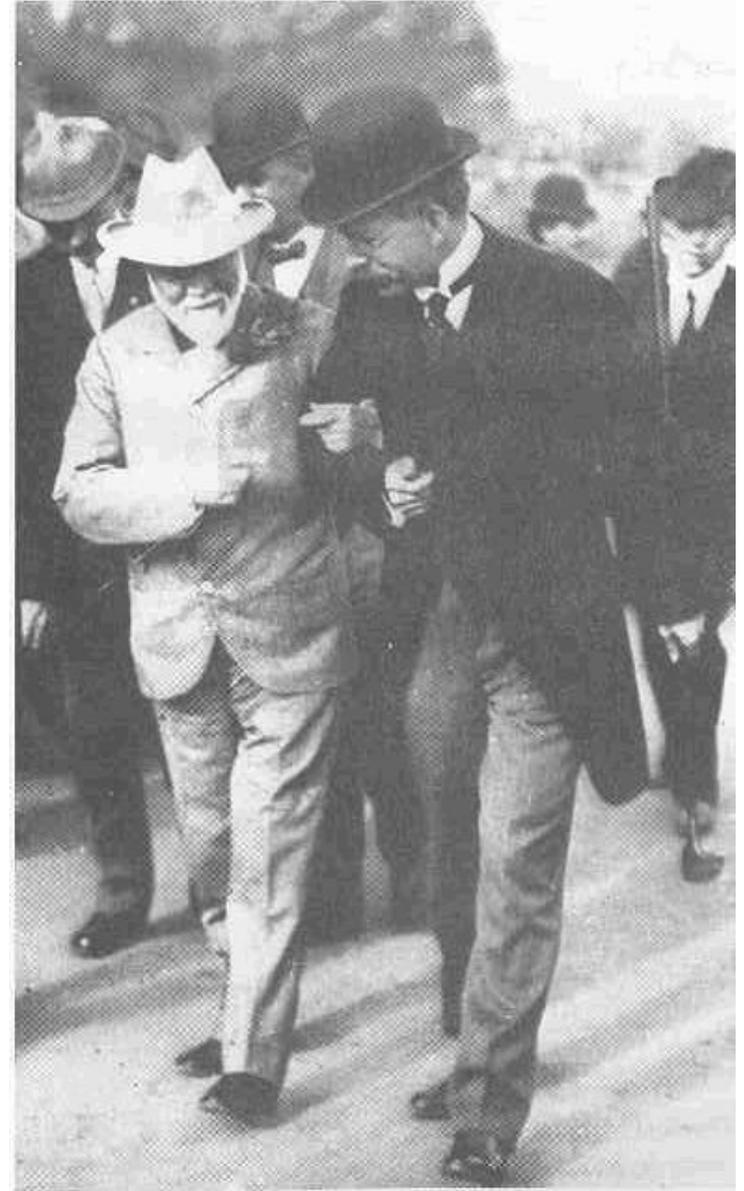
**1889 г.** - спектрогелиограф – прибор, позволяющий фотографировать хромосферу Солнца (фотографии в спектральной линии – 2 щели).

**1892 г.** – первые фотографии протуберанцев.

Предположение о наличии сильных магнитных полей в солнечных пятнах (доказал по зеемановскому расщеплению спектральных линий - **1908**).

Первые эксперименты по обнаружению общего магнитного поля Солнца.

### Крупные обсерватории Обсерватория Маунт-Вилсон



### Крупные обсерватории Обсерватория Маунт-Вилсон



### Крупные обсерватории

#### Обсерватория Маунт-Вилсон

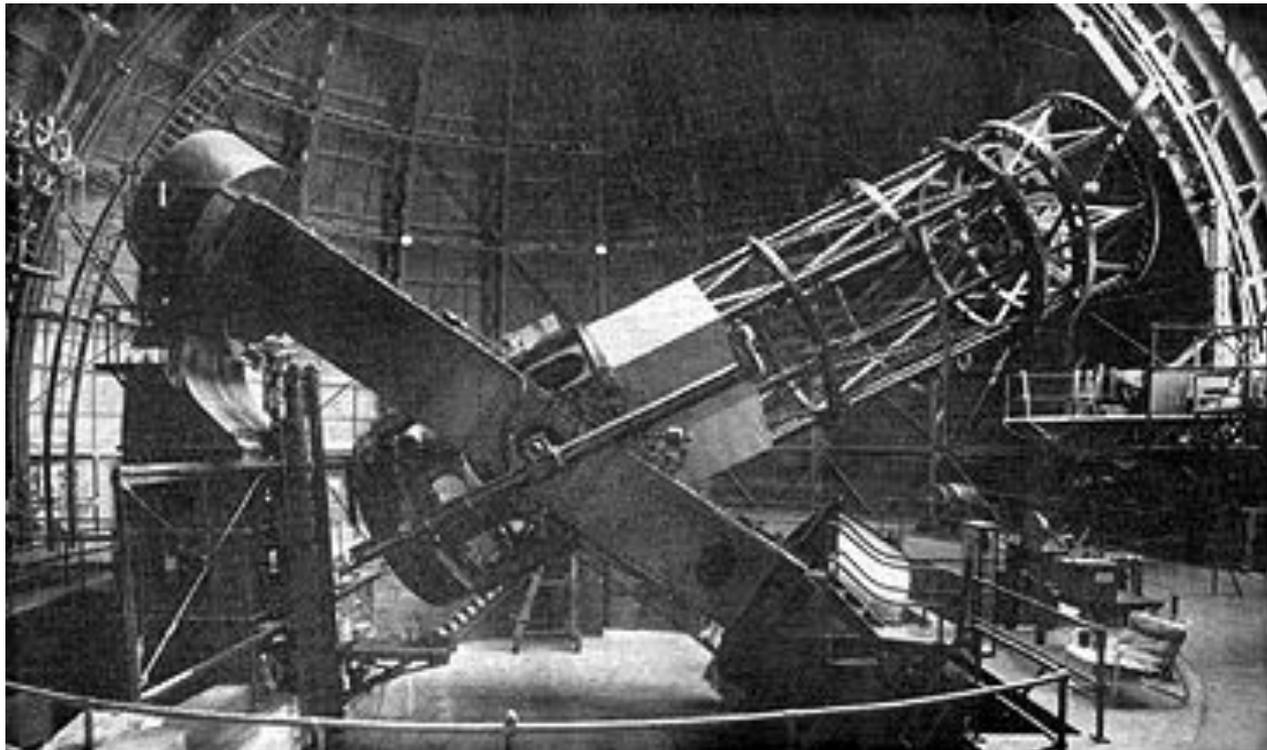
**1908 г.** - 150 см (60 дюймов). Диск – во Франции.  
Шлифовка – Джордж Уиллис Ричи (1864-1945).

(Климишин, стр. 257 - 1)

**1918 г.** – 2.5 м (100 дюймов). Телескоп Гукера (сначала были деньги только на 84 дюйма).

(Климишин, стр. 257 - 2)

### Крупные обсерватории Обсерватория Маунт-Вилсон



## Начало внегалактической астрономии

Эдвин Пауэлл Хаббл (1889–1953)



### Начало внегалактической астрономии

Эдвин Пауэлл **Хаббл** (1889–1953)

Мир туманностей (The Realm of the Nebulae, **1936**);

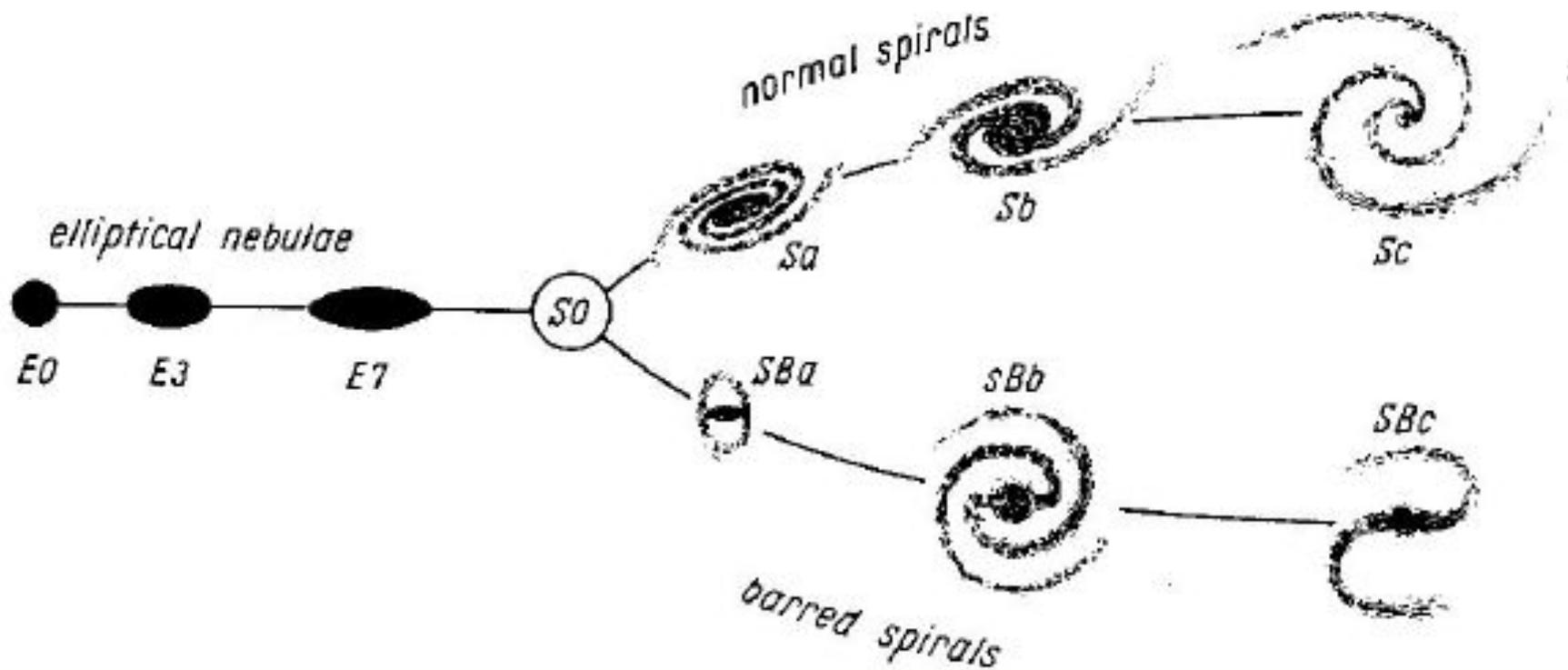
Наблюдательный подход к космологии (The Observational Approach to Cosmology, **1937**).

Обнаружение цефеид в М 33 и М 31 – **1924** г. (первая цефеида в М 31 в **1923** г.).

(Расстояние до М 31 – 285 кпк).

### Начало внегалактической астрономии

Камертон Хаббла (1925 г.)



### Начало наблюдательной космологии

#### Открытие красного смещения

С **1912 г.** Вестон **Слайфер (1875-1969)** (Ловелловская обсерватория в Флагстаффе) – систематические определения лучевых скоростей спиральных туманностей (опорные точки – движение Солнца вокруг центра Галактики).

**1914 г.** – **первое** определение лучевой скорости туманности Андромеды (24 дюйма – Ловелловская обсерватория).

К **1925 г.** – спектры 41 объекта. Почти все удаляются со скоростями от 375 до 1125 км/с, некоторые приближаются (M 31, M 33).

### Начало наблюдательной космологии

#### Открытие красного смещения

**1919 г.** – К. Лундмарк – расстояние до туманностей по угловым размерам (оценив расстояние до М 31).

**1924 г.** – Курт Виртц (1876-1939) – чем меньше угловые размеры, тем больше скорость (согласуется с моделью де Ситтера). (коэффициент корреляции **-0.455 !!!**)

**1925 г.** – Лундмарк и Стрёмгрен не подтверждают.

### Начало наблюдательной космологии

#### Открытие красного смещения

**Хаббл** – расстояния по сходным объектам (цефеиды, ярчайшие звезды, новые в максимуме блеска).

Скорости измерял Милтон **Хьюмасон (1891-1972)**.

**1929 г.** – 18 ближайших галактик.

### Начало наблюдательной космологии

#### Открытие красного смещения

Хаббл - 1929 г. –

18 ближайших  
галактик

$$v \propto r$$

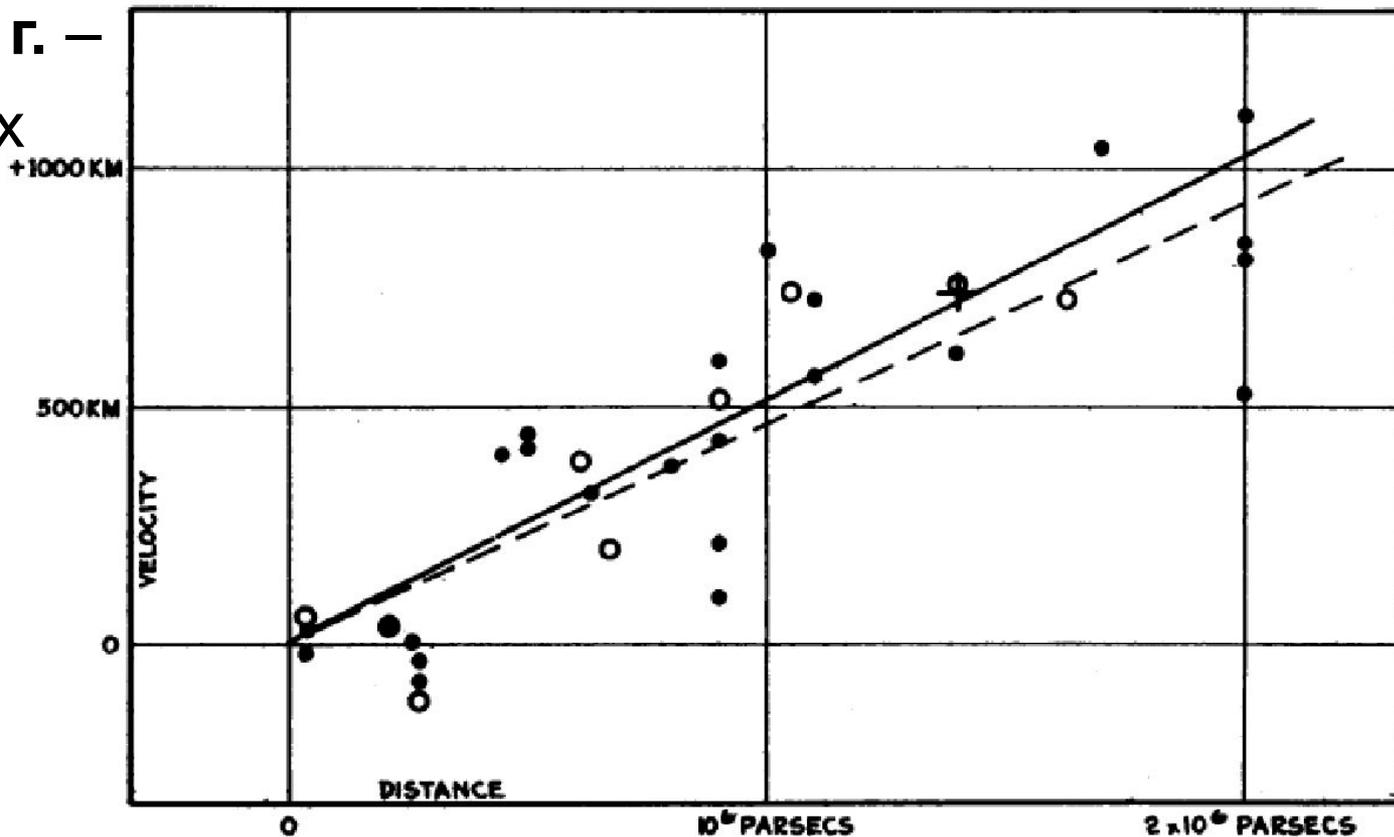


FIGURE 1

Velocity-Distance Relation among Extra-Galactic Nebulae.

### Начало наблюдательной космологии

*A RELATION BETWEEN DISTANCE AND RADIAL VELOCITY  
AMONG EXTRA-GALACTIC NEBULAE*

BY EDWIN HUBBLE

MOUNT WILSON OBSERVATORY, CARNEGIE INSTITUTION OF WASHINGTON

Communicated January 17, 1929

The outstanding feature, however, is the possibility that the velocity-distance relation may represent the de Sitter effect, and hence that numerical data may be introduced into discussions of the general curvature of space. In the de Sitter cosmology, displacements of the spectra arise from two sources, an apparent slowing down of atomic vibrations and a general tendency of material particles to scatter. The latter involves an acceleration and hence introduces the element of time. The relative importance of these two effects should determine the form of the relation between distances and observed velocities; and in this connection it may be emphasized that the linear relation found in the present discussion is a first approximation representing a restricted range in distance.

### Первые космологические модели

ОТО – Альберт Эйнштейн – 1906-1915 гг.

**1917 г.** – “Вопросы космологии и общей теории относительности”. Плотность и давление в каждой точке пространства Вселенной неизменны. Уравнения ОТО этому противоречили –  $\Lambda$ -член.

**1917 г.** (два месяца спустя) – В. де Ситтер – модель “пустой” Вселенной.

### Первые космологические модели

**1925 г.** - Ж. Леметр - расширение непустой Вселенной

**1927 г.** - Ж. Леметр - "Однородная Вселенная постоянной массы и возрастающего радиуса, объясняющая радиальные скорости внегалактических туманностей". (В **1931 г.** по инициативе Эддингтона статья Леметра была перепечатана в "Monthly Notices" и стала с тех пор широко цитироваться)

**1922 г.** – А.А. Фридман (1888-1925) – “О кривизне пространства”.

**1923 г.** – “О возможности мира с постоянной отрицательной кривизной”. Нестатические модели.

### Начало наблюдательной космологии

#### Открытие красного смещения

$$v \propto r$$

$H = 500$  км/(с Мпк) – 1929 г.

$H = 535$  км/(с Мпк) – 1935 г. (по 29 галактикам, в том числе в Деве – скорости до 1100 км/с).

$t = 1.8$  млрд. лет (1929 г. Белопольский – “старение” фотонов).

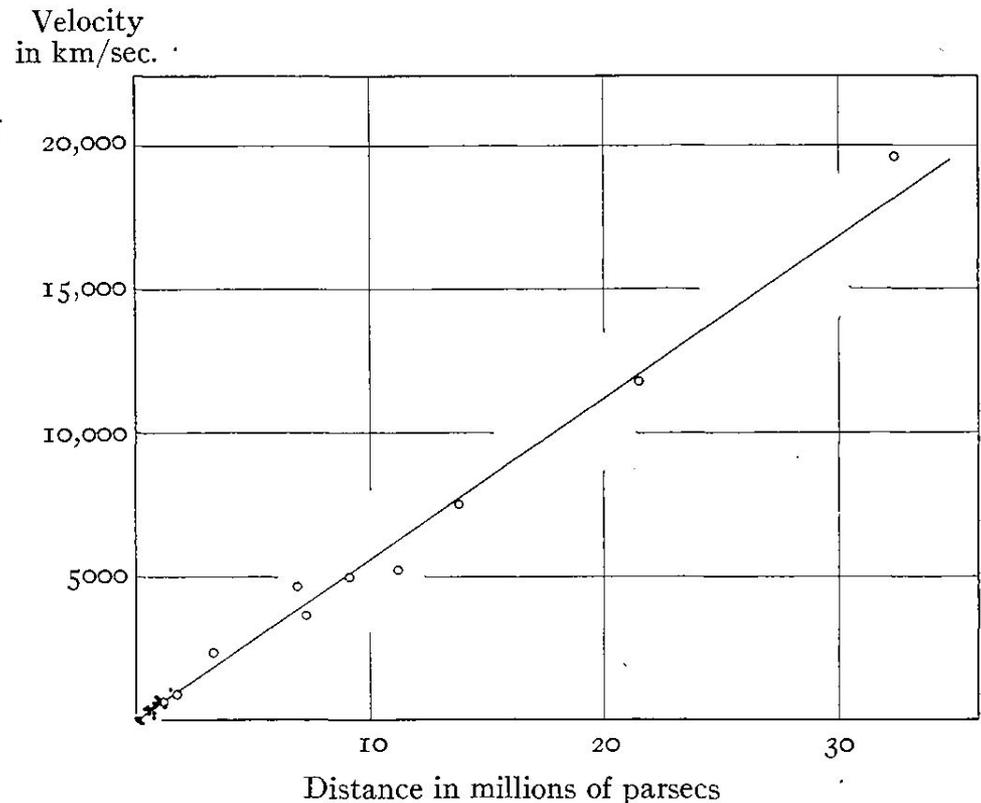
### Начало наблюдательной космологии

#### Открытие красного смещения

THE VELOCITY-DISTANCE RELATION AMONG  
EXTRA-GALACTIC NEBULAE<sup>1</sup>

By EDWIN HUBBLE AND MILTON L. HUMASON

CARNEGIE INSTITUTION OF WASHINGTON  
MOUNT WILSON OBSERVATORY  
March 1931



### Начало наблюдательной космологии

#### Открытие красного смещения

$t = 1.8$  млрд. лет (1929 г. Белопольский – “старение” фотонов).

(Климишин, стр. 290 – хаббловская зависимость лучевая скорость-расстояние)

### Начало наблюдательной космологии

#### Открытие красного смещения

Хаббл понимал значение своего открытия (эффект де Ситтера), но вскоре потерял уверенность.

**(Ефремов, стр. 209)**

### Изучение природы тел Солнечной системы – комет и астероидов

Открытие Плутона (1930 г.)

**Применение в астрометрии атомных часов,  
установление неравномерности вращения  
Земли, движения полюсов**