



Přírodovědná gramotnost
Univerzita Karlova v Praze



Vývoj vesmíru

RNDr. Jiří Horák, Ph.D.

Astronomický ústav AV ČR, v.v.i.

jionji@volny.cz

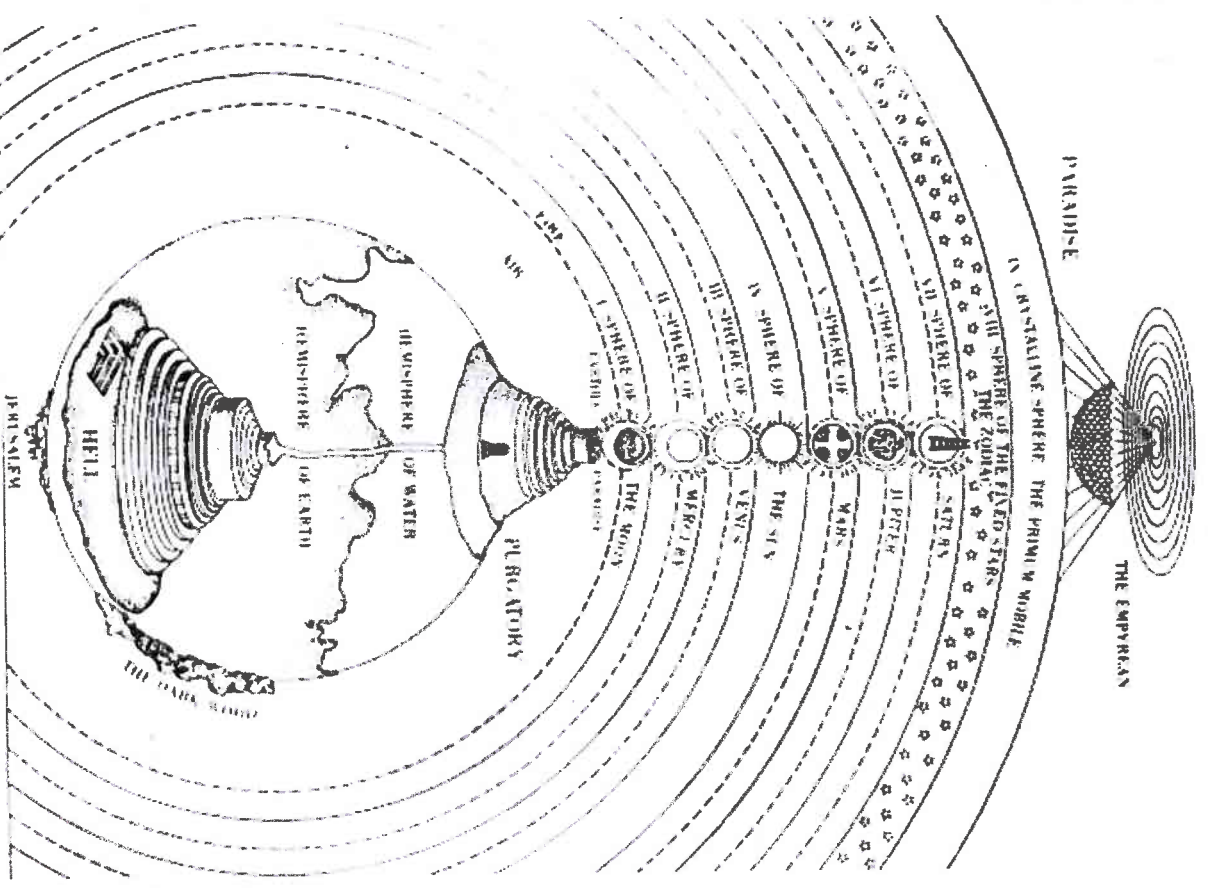
Realizace projektu je spolufinancována ze státního rozpočtu ČR, rozpočtu hlavního města Prahy
a Evropského sociálního fondu



I

ROZPÍŇÁNÍ VESMÍRU

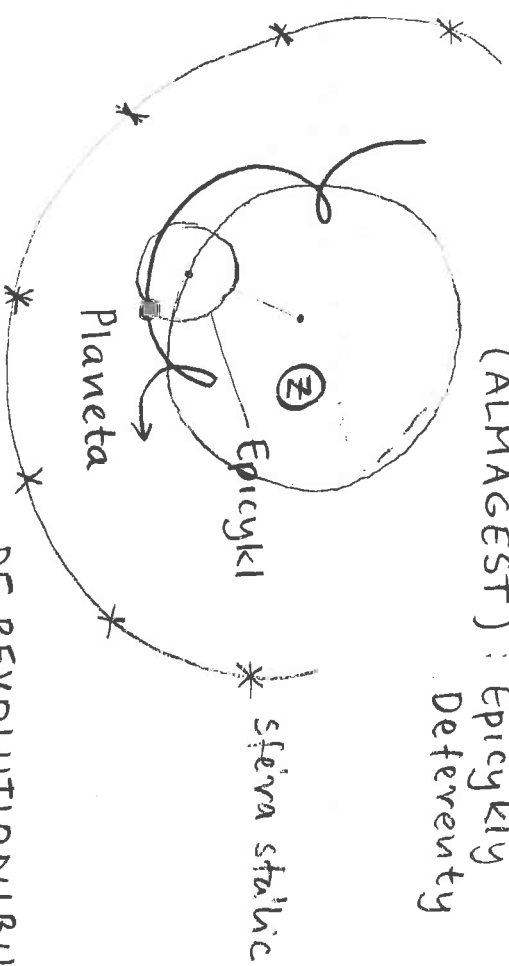
Před dávnými věky...



Již staří Řekové...

- 620: Thales, Eratosthenes
- 384: Aristoteles - každé těleso má své místo...
- 230: Aristarchos - Heliocentrický model

+ 140: Ptolemaios - SYNTAXIS MEGALE (ALMAGEST) : Epicykly Deferenty



- 1544: Mikuláš Koperník DE REVOLUTIONIBUS ORBIUM COELESTIUM
- 1546-1601: Tycho de Brahe : "kompromisní soustava"
- 1571-1630: Johannes Kepler = ELLIPSY

... "Božská komedie", Dante Alighieri (1321)

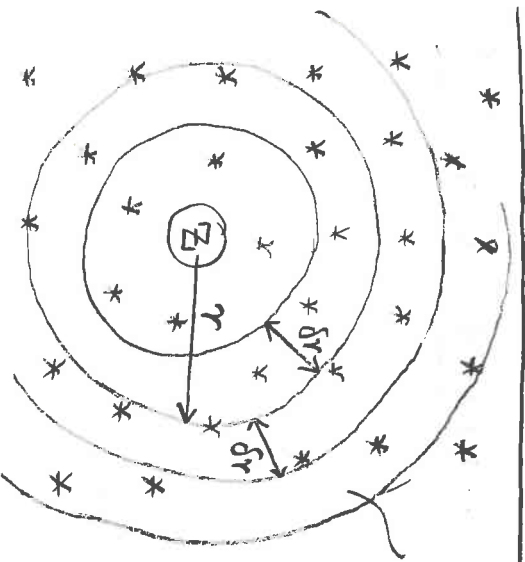
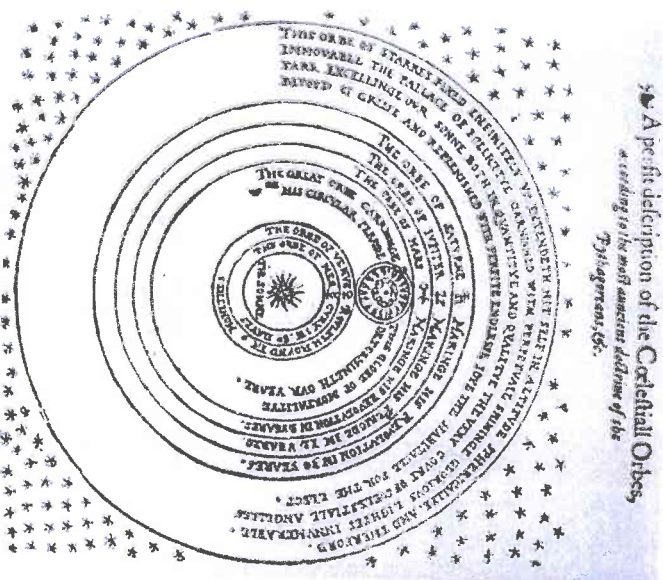
Nekonečný vesmír?

• Thomas Diggest (1576) "A perfect description of the coelestial Orbes"

• Kepler - "Rozpravy s hvězdným poslem" (1601):

→ "pokud je to pravda a pokud mají hvězdy stejnou povahu jako naše Slunce, proč tyto slunce nezáří dohromady mnohem více než naše Slunce?"

→ "tvrdíte, že jich je 10 000. Avšak čím víc jich je, tím je můj argument proti nekonečnosti vesmíru silnější"



tok z jedné hvězdy

$$\delta F = F_* \times (\text{počet hvězd ve slupce})$$

tok záření z jedné slupky

$$F = \frac{\text{energie}}{(\text{čas})(\text{plocha})}$$

$$= \frac{L_*}{4\pi r^2} \times 4\pi r^2 \Delta r M$$

$= L_* \Delta r N \Rightarrow$ Všechny slupky dávají stejný příspěvek

pokud jich je $\infty \Rightarrow$ Nekonečně jasna, !! obloha !!

Bližší hvězdy pokrývají záření ze vzdálenějších \Rightarrow celá obloha je pokryta hvězdami

\Rightarrow 10000000000 x jasnější než ve skutečnosti

$M =$ počet hvězd v jednotkovém objemu
 $L_* =$ luminosita hvězdy $L_* = \frac{\text{energie}}{\text{čas}}$



... myšlenka že vesmír má svůj konec ovšem také nebyla
zcela bez problému...

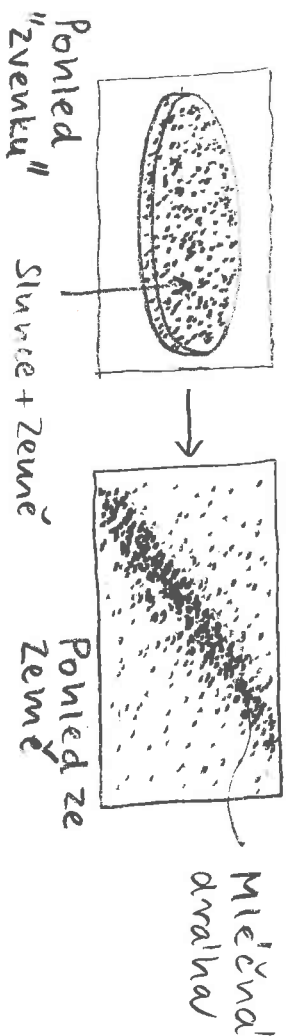


Rozložení hvězd ve vesmíru

1750: Thomas Wright (anglický výrobce nástrojů)

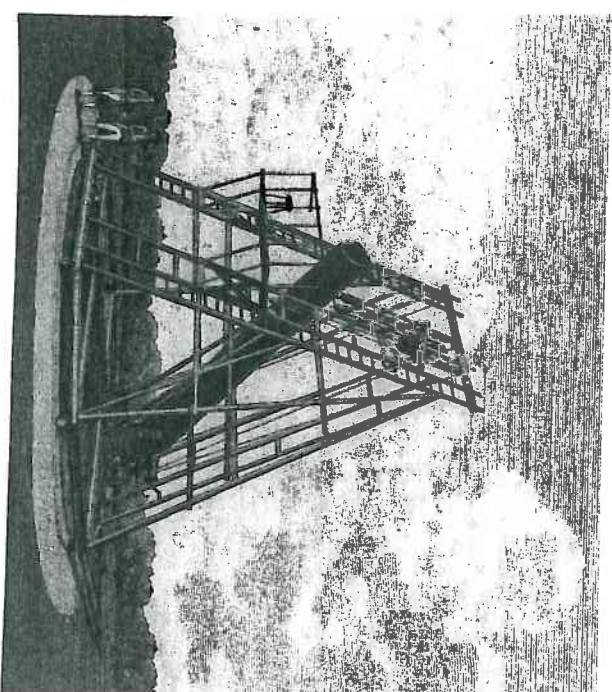
Mléčná dráha je tvořena hvězdami

Hvězdy leží v ploché desce konečné tloušťky



William Herschel (1738-1822)

- hudebník z Hannoveru
- za sedmileté války odešel do V. Británie (Bath)
- 1781: Objev URANU (*hvězda krále Jiřího *)
Georgium Sidus
- Vyráběl vlastní dalekohledy
- (1789 - 12m s průměrem zrcadla 1.2 m)

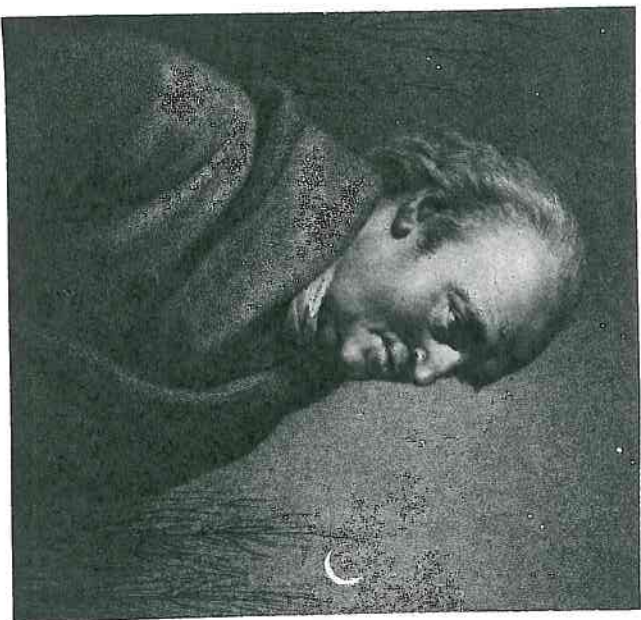


Měření vzdálenosti hvězd: (porovnáním jasnosti)

$$F_* = \frac{L_*}{4\pi r^2} \Rightarrow \frac{F_1}{F_2} = \frac{L_1}{L_2} \left(\frac{r_2}{r_1} \right)^2 \Rightarrow \frac{r_2}{r_1} = \sqrt{\frac{F_1}{F_2}} \leftarrow \text{SIRIUS}$$

"SIRIOMETR"

≈ 1 (PŘEDPOKLAD)



HERSCHELŮV VÝSLEDEK

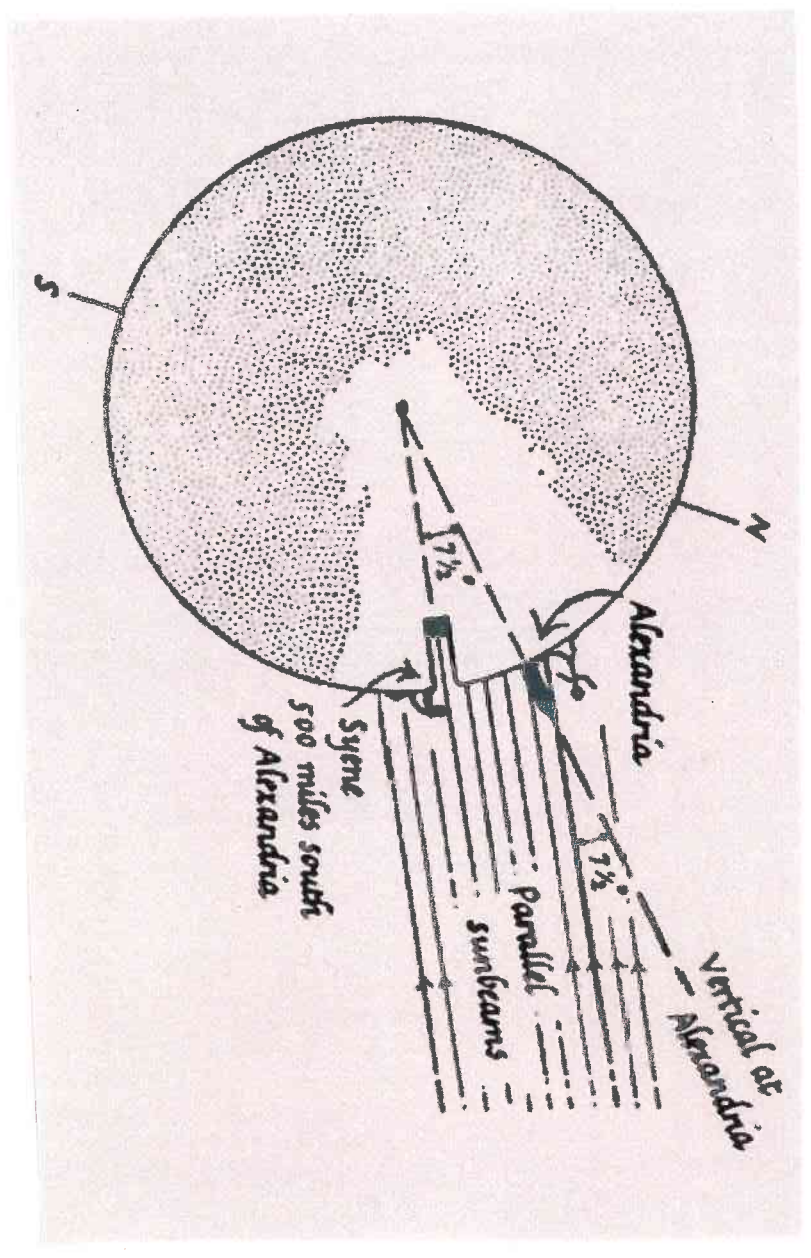
HVĚZDY JSOU V DISKU O PRŮMĚRU 1000 SRIOMETRŮ
A TLOUŠŤCE 100 SRIOMETRŮ



Kolik je 1 sriometr ?!

Měření vzdáleností ve vesmíru

I. krok : Poloměr Země (Eratosthenes , 235 př. K)



V poledne letního slunovratu je Slunce přesně v nadhlavníku v Asuánu, ale v Alexandrii (800 km severně) vrhá stín v úhlu 7.5°...

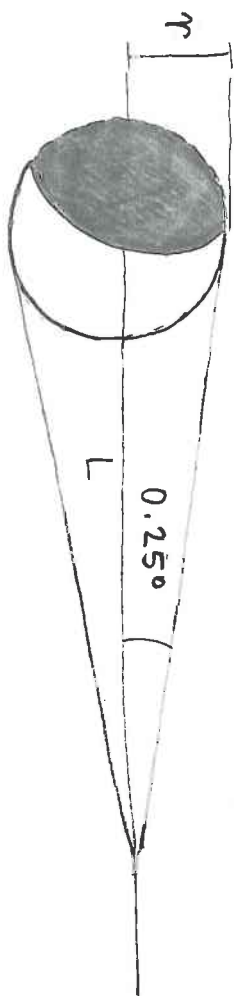
⇒ 7.5° → 800 km (5000 stadií)

360° → 40000 km

$$R = \frac{40\,000 \text{ km}}{2\pi} \approx 6\,000 \text{ km}$$

$$\pi = 3.1$$

II) Krok : Určení vzdálenosti Země – Měsíc (Aristarchos, 230 př. K)



úhlová velikost Měsíce $\sim 0.5^\circ$

Vzdálenost Měsíce v Měsíčních poloměrech:

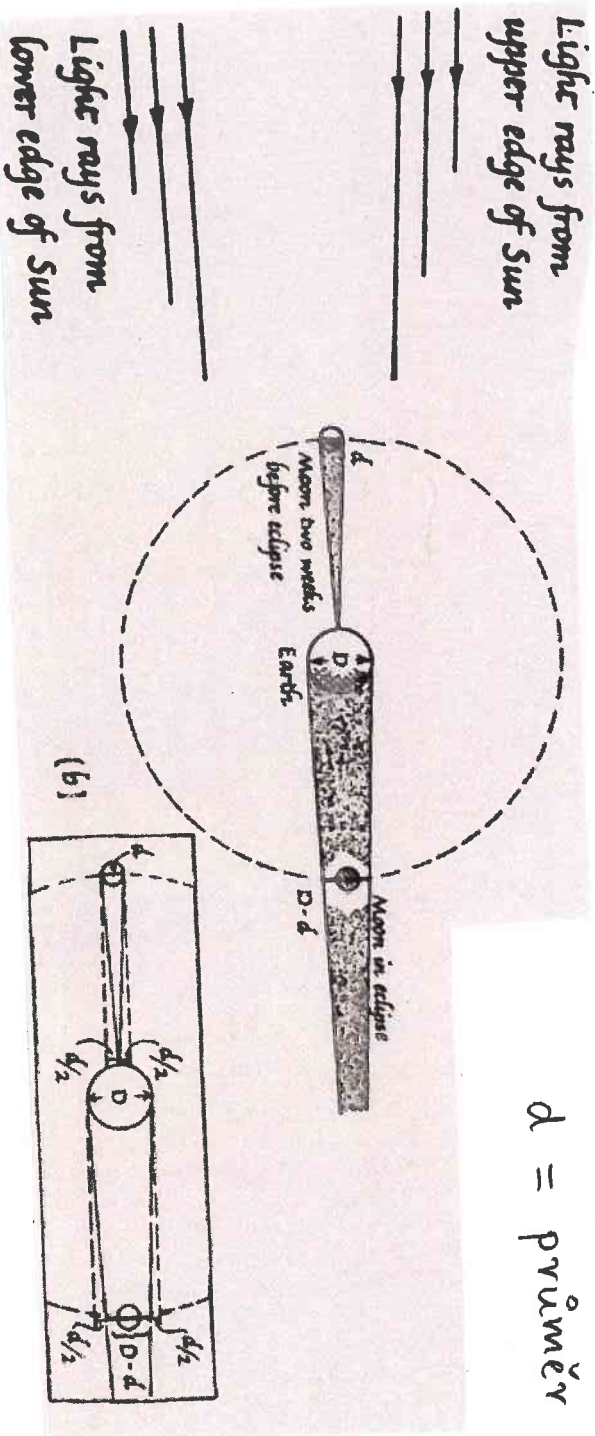
$$L = \frac{r}{\sin(0.25^\circ)} \approx 220 r = 110 d$$

průměr Měsíce

Poloměr Měsíce lze zjistit z pozorování zatmění:

$D =$ průměr Země

$d =$ průměr Měsíce



$$D - d = 2.7 d$$



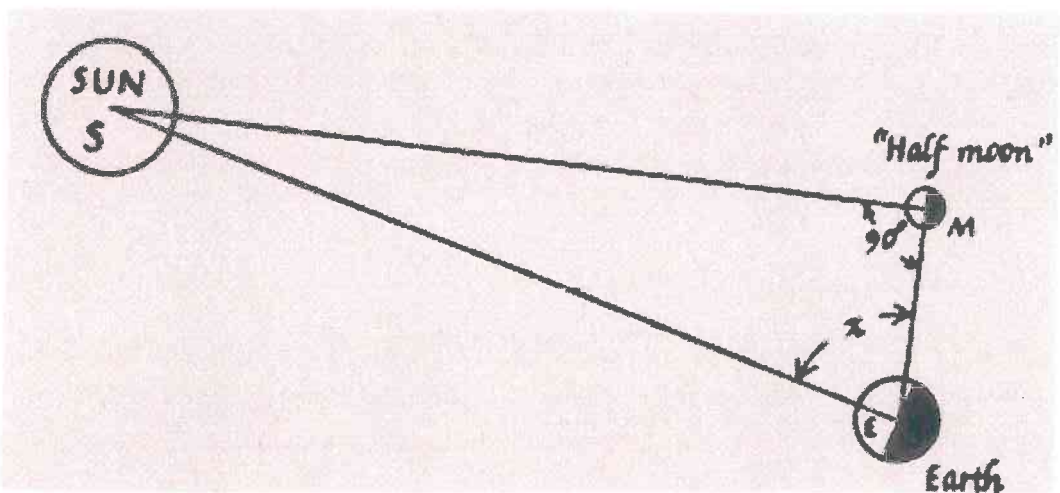
120000 km

$$L = 110 d \approx 30 D$$

$$= 400\,000 \text{ km}$$

III

Krok : Vzdálenost Země - Slunce (Aristarchos, 230 př. K)



→ Když je Měsíc v první nebo třetí čtvrti

→ Úhel Slunce - Měsíc - Země je pravý

⇒ Stačí změřit úhel mezi Sluncem a Měsícem:

Aristarchos : $87^\circ \Rightarrow$ Slunce je 20x dale než Měsíc

Ve skutečnosti $89^\circ 50'$ \Rightarrow Slunce je 400x dale než M.

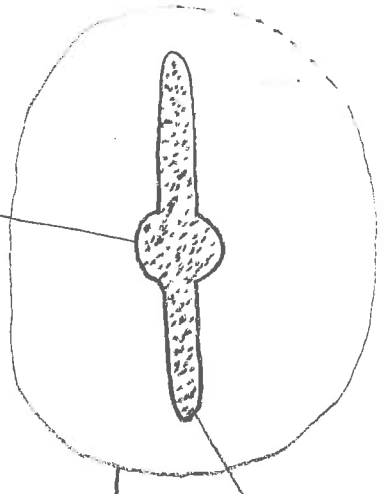
Pozn: Tycho Brahe (1582) byl schopen svým kvadrantem
na Uraniborgu měřit úhly s přesností 30"

Nezávislé měření: Jeremiah Horrocks (24. 11. 1639)

- Přechod Venuše \Rightarrow Sluneční disk je $\sim 33x$ větší než Venuše
- Venuše $\sim 1,4x$ blíže než Země (je $45^\circ \Rightarrow$ Maximální úhel mezi Z a V)
 $\frac{15V}{1SZ} \approx \frac{1}{\sqrt{2}}$
- Venuše je stejně velká jako Země (PŘEDPOKLAD!)
/naštěstí pravda/

$\Rightarrow 1SZ \approx 150\,000\,000\text{ km} \equiv 1 \text{ Astronomická jednotka (AU)}$

NAŠE GALAXIE - MLÉČNÁ DRÁHA



výdut (BULGE)

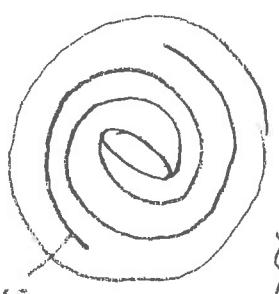
Disk - poloměr ~ 50 000 světelných let
 tloušťka ~ 1 000 světelných let (200 - 400) mlrd. hvězd

Halo - poloměr \approx 180 000 světelných let
 (Magellanova oblaka)

TEMNÁ HMOTA

SPÍRALNÍ RAMENA:

Persens, Norma + Cygnus, Scutum - Crux,
 Carina + Sagittarius, Orion



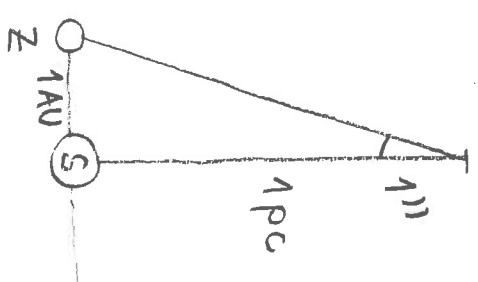
spirální ramena

= HUSTOTNÍ VLNY

Poloha Slunce

- Spirální rameno Orionu
- 7.62 kpc od středu
- Oběžná doba: 225×10^6 let (20 oběhů)
- Oběžná rychlost: 220 km/s

$1 \text{ pc} = 3.26 \text{ světelných let} = 30.85 \times 10^{12} \text{ km}$



Podstata mlhovin

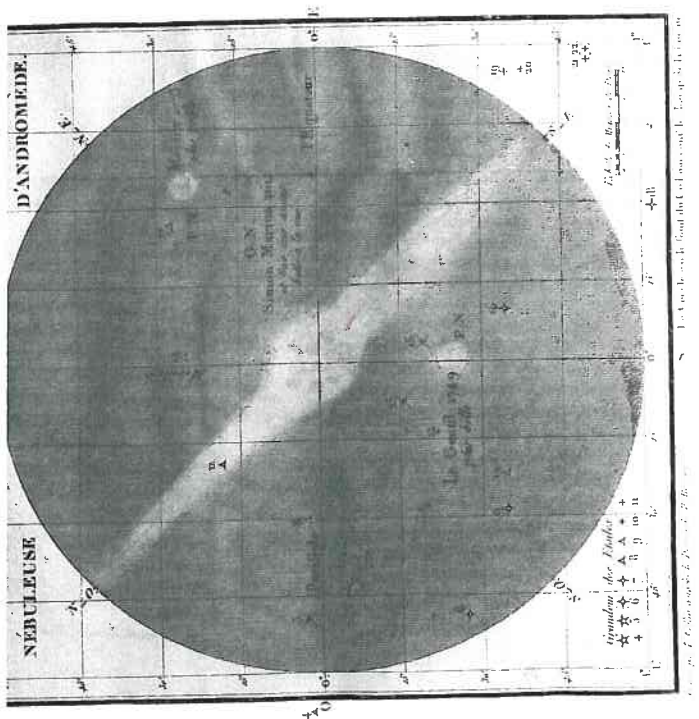
- Starověcí astronomové pozorovali několik mlhovin
964 - Abdarrahmán al-Sufi: KNIHA STÁLIC
(obsahuje např. mlhovinu v Andromedě)

1781 - Charles Messier: (soustředil se na komety)

HVĚZDY A MLHOVINY

→ katalog 103 mlhovin

→ dodnes se používá označení Messierovskými čísly
M1 = Krabí mlhovina
M31 = Mlhovina v Andromedě



M31 v Andromedě / Messierův katalog /

Herschel - pozoroval asi 2500 mlhovin

- mlhoviny = mrhade hvězdy + prach → zhušťováním vytváří planety

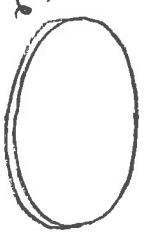
?

Immanuel Kant - mlhoviny jsou samostatná seskupení hvězd podobně naší Galaxii

- většina mlhovin má eliptický tvar



- Bůh je všemocný takže vesmír by měl být jak věčný, tak i nekonečně bohatý na galaxie



Velká debata



Harlow Shapley

→ Mlhoviny leží uvnitř
Mléčné dráhy

- Mlhoviny nejsou v rovině
Mléčné dráhy (vždy nad
nebo pod)
- Objev novy v M31



Heber Curtis

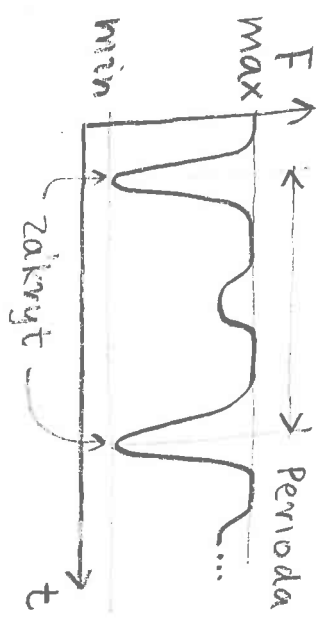
→ Mlhoviny jsou nezávislé galaxie
mimo Mléčnou dráhu

- = Mlhoviny jsou rozestry všude rovnoměrně
(v rovině Galaxie je jejich světlo zastíněno
mezihvězdným prachem)
- = Vzdávka → většina nov je mnohem slabší

1920, Washington

Proměnné hvězdy

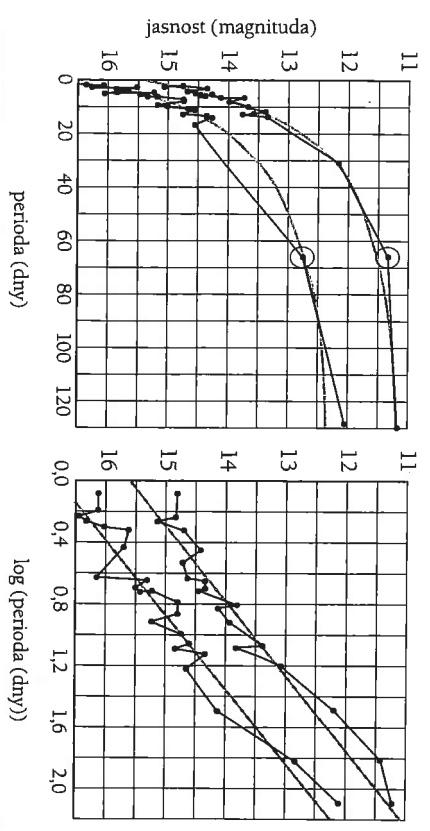
1783 - John Goodricke : Hvězda Algol v souhvězdí Persea ("Mrkající ďábel")



1912 - Henrietta Leavittová :

→ Souvislost mezi periodou CEFEID a jejich absolutní svítivostí

→ Měření jasnosti a period 25 cefeid v Malém Magellanově oblaku (přibližně stejná vzdálenost (!) => porovnání absolutní jasnosti)



Jak daleko je M31?

- Pozorování cefeid umožňuje určit absolutní vzdálenost

$$\frac{r_2}{r_1} = \frac{L^2}{L_1} \sqrt{\frac{F_1}{F_2}}$$

↳ lze určit z periody cefeidy

- 4.11.1923 - Edwin Powell Hubble - pozorování mlhoviny v Andromedě (3 novy?)
- 6.11.1923 - lepší pozorovací podmínky, 65 minutová expozice



$$T = 31,415 \text{ dne}$$

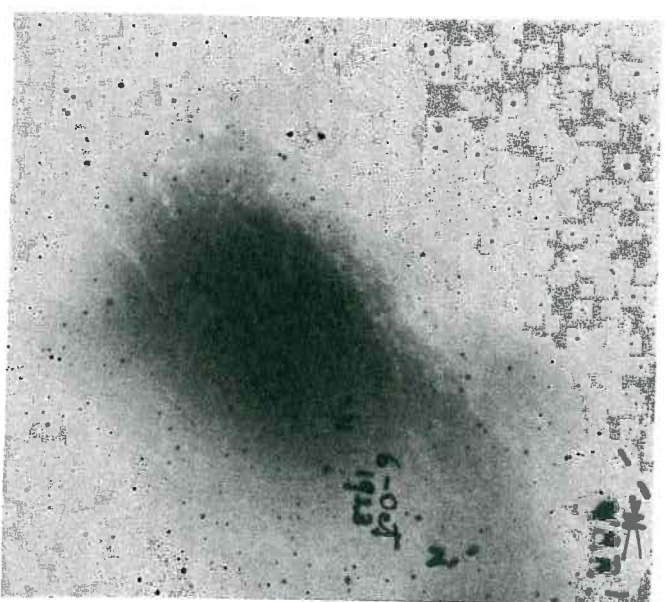
$$L = 7000 L_{\odot}$$



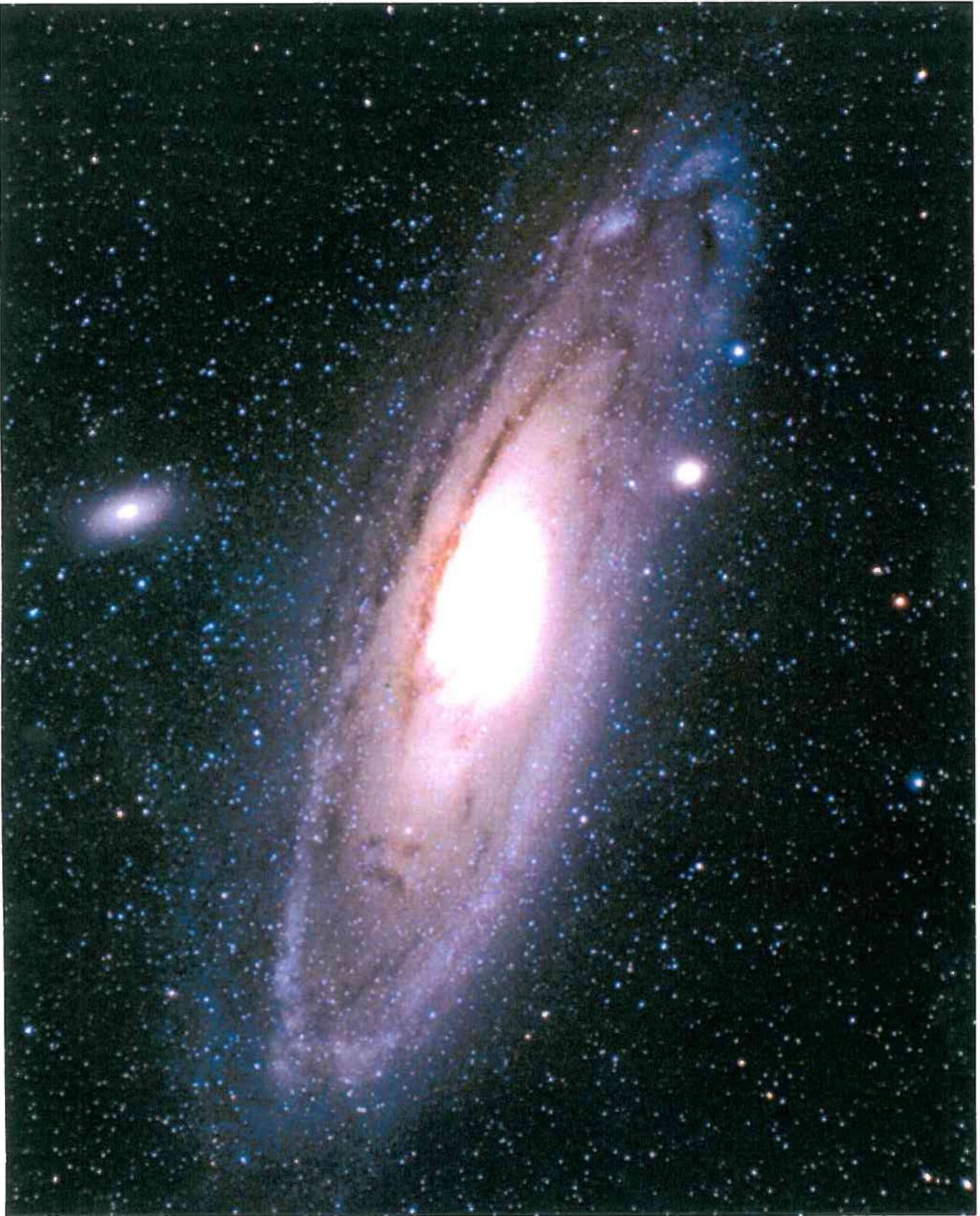
$$D = 900\,000 \text{ světelných let}$$



M31 je vzdálená galaxie



Galaxie M31 v Andromedě je vzdálená 2.2 milionů světelných let



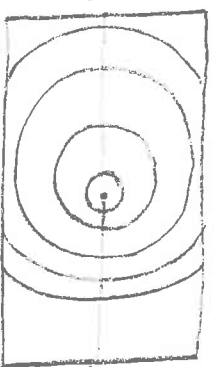
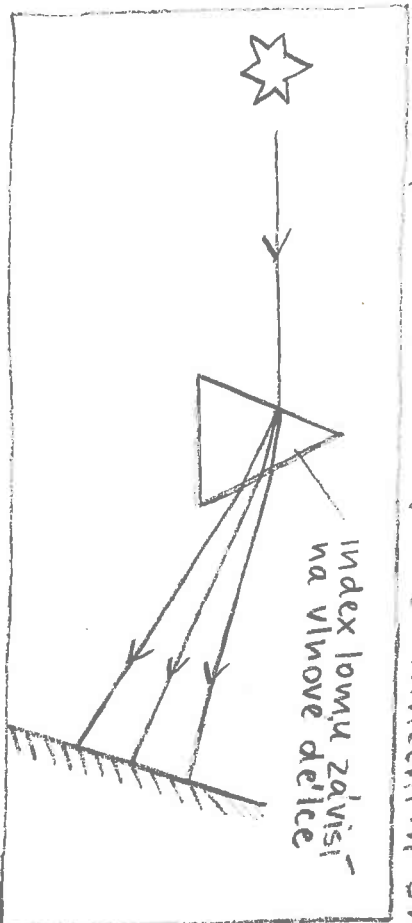
Vesmír v pohybu

1842 - Johann Christian Doppler : červený posuv (PRAHA)

1845 - Ch. H. D. Ballot - experimentální ověření

1814 - 1815 : Joseph Fraunhofer

Objev spektrálních čar ve slunečním světle a některých hvězd



$$\lambda > \lambda_0$$

$$\lambda < \lambda_0$$

William Huggins (1868)

Spektrální čary některých hvězd jsou nepatrně posunuty \Rightarrow DOPPLER

\Rightarrow Velmi přesné měření radialních rychlostí



Pozn

"Vlastní pohyb" Barnardovy hvězdy

$$v = 89 \text{ km.s}^{-1}$$

$$\dot{\varphi} = 0.003^\circ / \text{rok}$$

$$56 \times 10^{12} \text{ km}$$

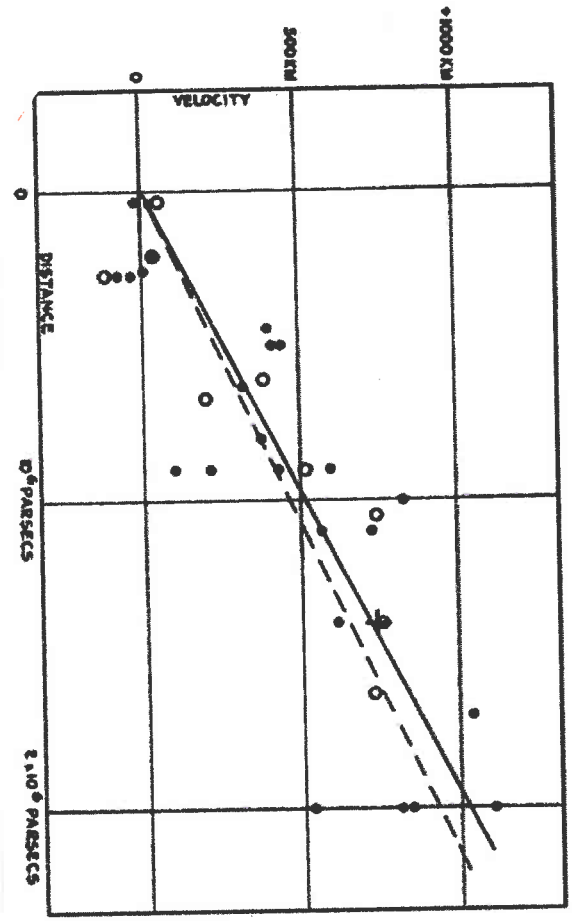
Hubbleův zákon

1910 - 1920 V. M. Slipher \equiv Spektrální čáry mnoha mlhovin jsou posunuty \equiv

Doppler(?) \Rightarrow M31 : 300 km \cdot s⁻¹ (směrem k nám)

\Downarrow Virgo : 1000 km \cdot s⁻¹ (od nás)

1929 - Edwin Hubble - Souvislost mezi vzdáleností rychlostí galaxie a její



Hubbleův zákon

$$v = H D$$

Rychlost vzdálenost

Hubbleova konstanta

$$H \approx 550 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} / \text{Mpc}$$

Galaxy	Distance in light-years	Redshifts
Virgo	78,000,000	1,200 km s ⁻¹
Ursa Major	1,000,000,000	15,000 km s ⁻¹
CORONA BOREALIS	1,400,000,000	22,000 km s ⁻¹
Bootes	2,500,000,000	39,000 km s ⁻¹
Hydra	3,960,000,000	61,000 km s ⁻¹

STĀŘÍ VESMÍRU

$$\tau = \frac{D}{v} = \frac{D}{HD} = \frac{1}{H}$$

pro všechny galaxie vyjde stejně

Hubble : $H \doteq 550 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} / \text{Mpc} = 550 \text{ s}^{-1} \frac{\text{km}}{\text{Mpc}} =$

$$= \frac{550}{3 \times 10^{19}} \text{ s}^{-1} = 1.8 \times 10^{-17} \text{ s}^{-1} \quad \underbrace{\text{Mpc}}_{\text{asi } 3 \times 10^{19} \text{ km}}$$

$$\tau = 5.5 \times 10^{16} \text{ s} = \underline{\underline{1.7 \times 10^9 \text{ let}}}$$

Pozn : Staří Země podle radio-karbonové metody $\tau_{\frac{1}{2}} = 4.6 \times 10^9 \text{ let}$
(Rutherford - zastoupení izotopu Uranu)

Baot (1940s)

↓

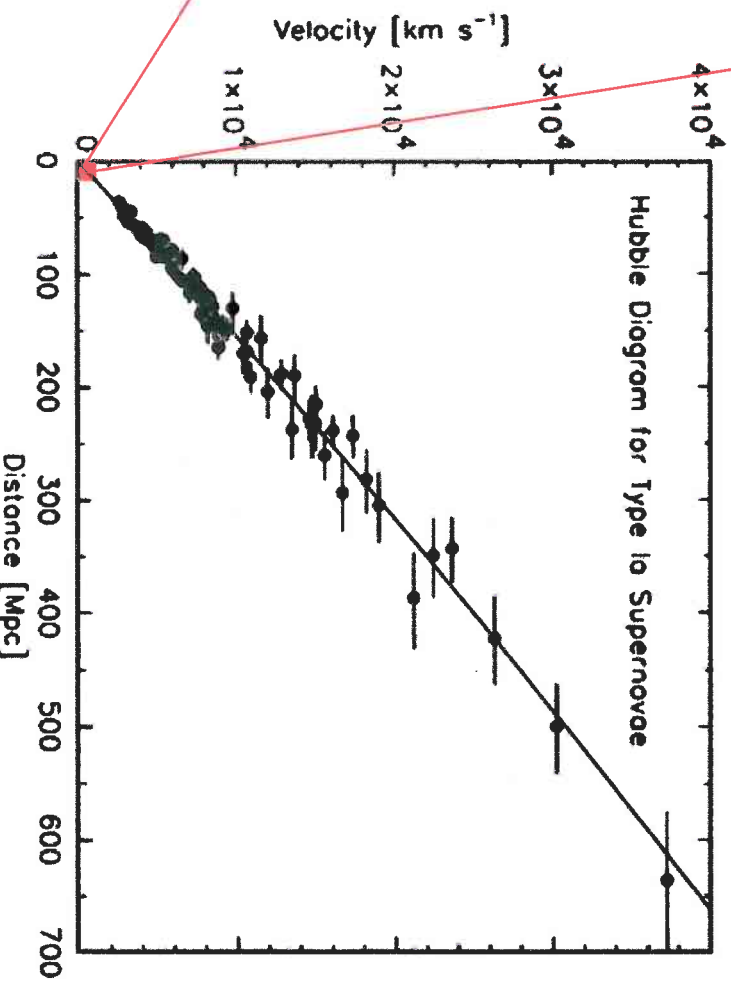
Sandage : $H \doteq 50 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} / \text{Mpc} \Rightarrow \tau \doteq 20 \times 10^9 \text{ let}$
(1950s)

τ je novní odhad staří vesmíru \Leftarrow Galaxie se vzájemně přitahují

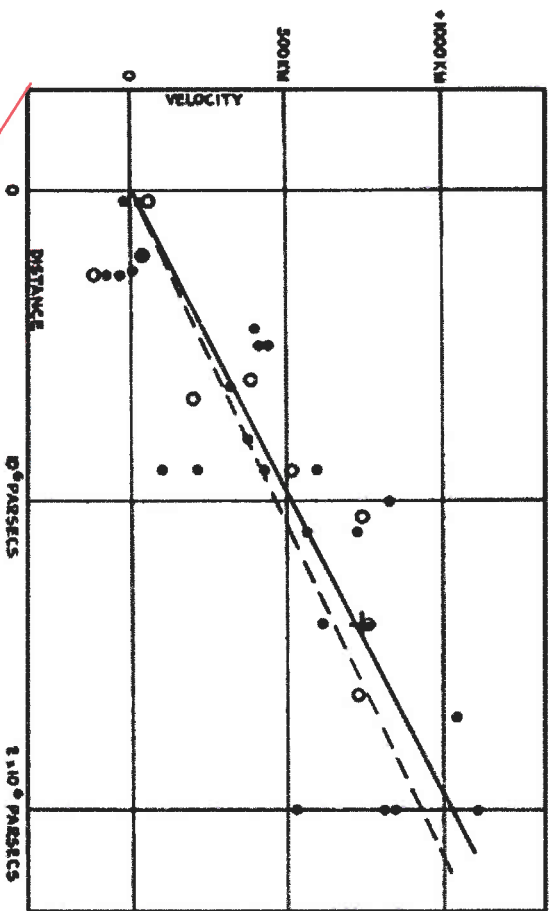
Dnešní odhad $H \approx 70 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} / \text{Mpc}$

Současna' pozorovani'
Hubbleuv zakon potvrzuji

Modern data using supernovae (2002)



Hubble's data (1929)





*“Every time I see Edwin Hubble,
he’s moving rapidly away from me!”*