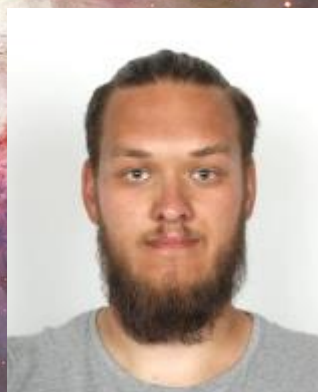


Základy astronomie I

podzim 2025

vyučující: doc. RNDr. Miloslav Zejda, Ph.D.

cvičící: Mgr. Matěj Bárta



<https://is.muni.cz/auth/el/sci/podzim2023/F1251>











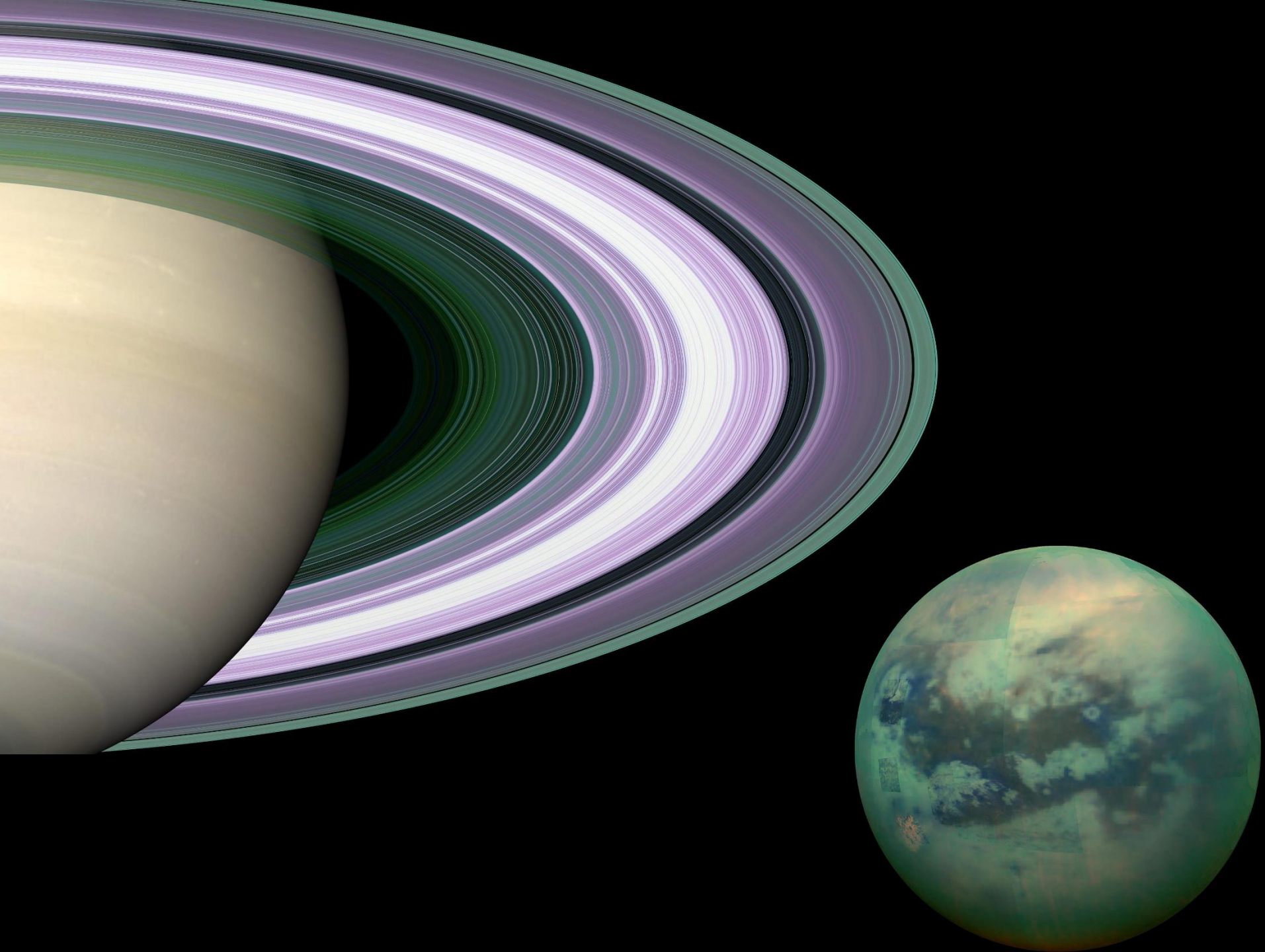


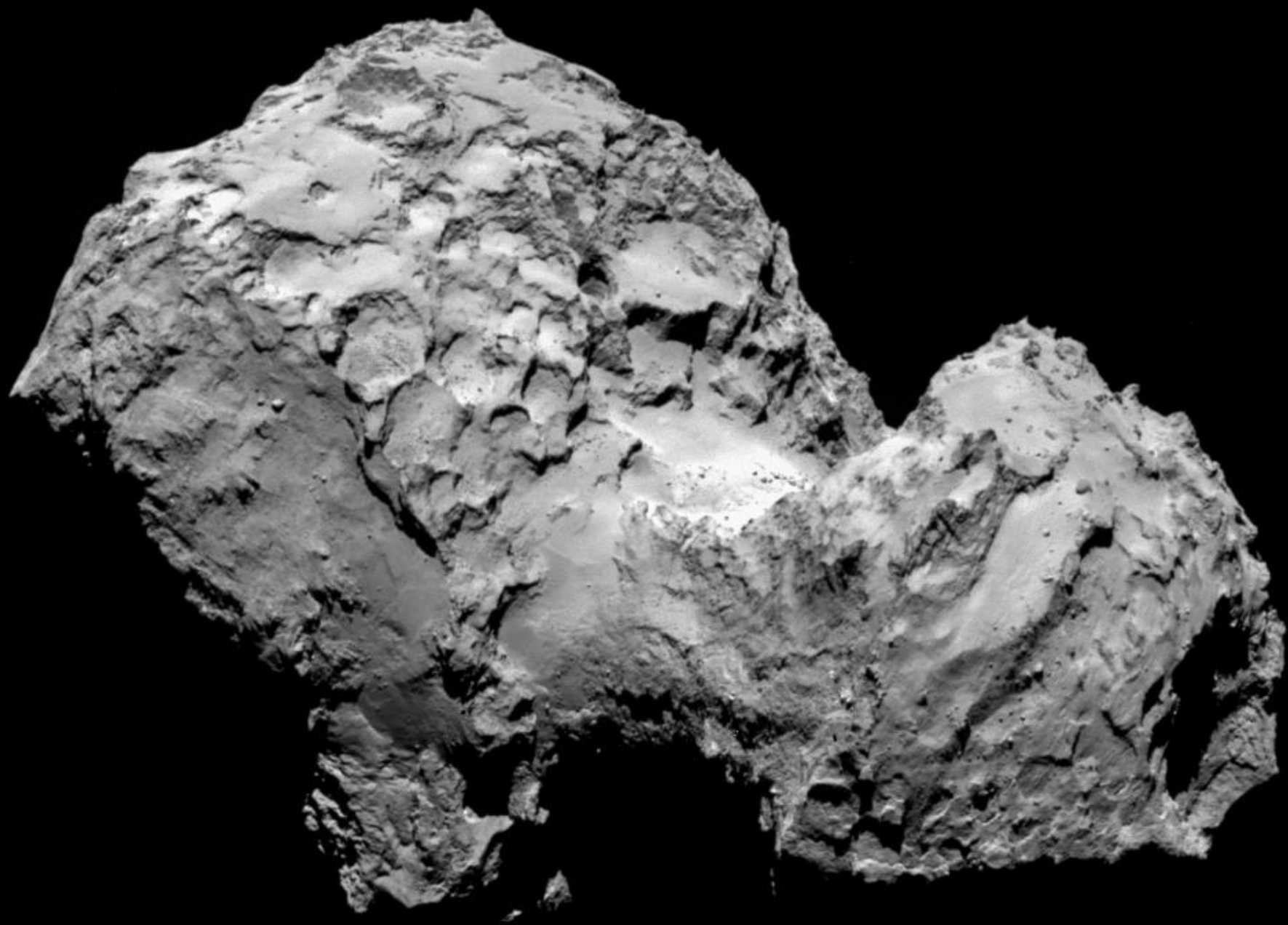
















Začínáme!

Bylo, nebylo...

Astronomie

(= *astron* + *nomos* = *hvězda* + *počítat, zákon*) – věda o vesmíru, jeho složkách, vzniku a vývoji

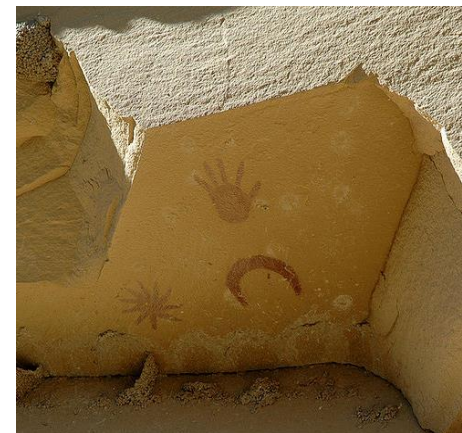
znalost oblohy, fází Měsíce, jasných hvězd, kalendáře předešla
písmo o tisíce let !

Astronomie - vznik před cca 6000 lety – nejstarší věda! - starší než literatura

PROČ? Čím astronomie přispěla lidstvu?

- **astronomie** = potřebná, praktická

- jediná věda v okolí člověka, která hledá zákonitosti a popisuje periodické děje na obloze a jejich střídání (den a noc, roční období, fáze Měsíce)
- zemědělství (Nil -heliaktický východ Síría)
- orientace, určování polohy, navigace
- měření času
- předpověď chování Slunce,
- internet (wifi), energetika ...



- **astrologie** – víra, že děje na obloze určují lidský život a chod dějin

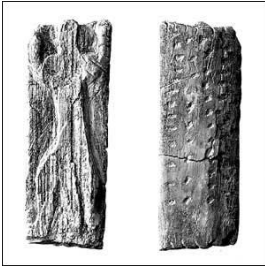
- potřeba – nutnost předvídat polohy hvězd, Slunce, Měsíce a planet na obloze



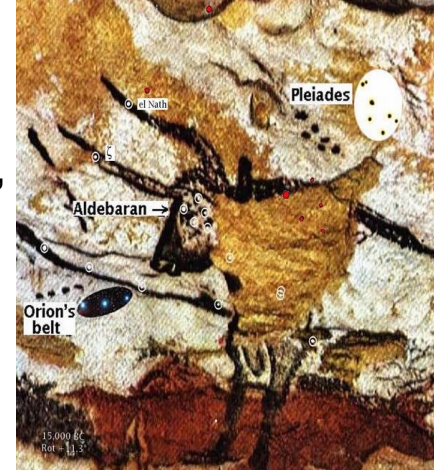
*“**Astrologie** si nezasluhuje, aby jí člověk věnoval svou pozornost, avšak lidé žijí v klamně představě, že k matematikovi patří” (Johannes Kepler)*

“Pravda, astrologie je bláznivá holčína, avšak, milý bože, kampak by se poděla její matka, vysoce rozumná astronomie, kdyby tuto bláznivou dcerku neměla!..., ...A příjmy matematiků jsou ostatně tak ubohé, že by matinka určitě hladověla, kdyby dceruška nic nevydělávala.” (Johanes Kepler)

kolem 30000(?) př.n.l. – nejstarší zaznamenaná astronomická



**pozorování (Orion na klu mamuta) (stáří 32-38 tis. let),
kresby v jeskyni Lascaux (13-15 tis. let)...**



kolem 9000 př.n.l. – vznik Göbekli Tepe (Turecko)

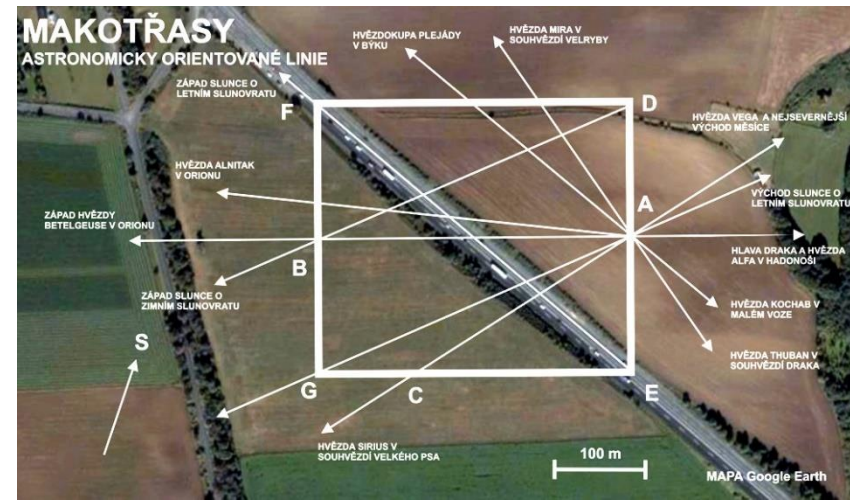


kolem 8000 př.n.l. – kalendář Warren Field (Skotsko)

kolem 5500 př.n.l. – první(?) použití gnómonu

3500 př.n.l. – kamenná observatoř

Makotřasy



kolem 3000 př.n.l. – první písemné materiály o astronomii (Egypt, Čína, Mezopotámie a Střední Amerika)

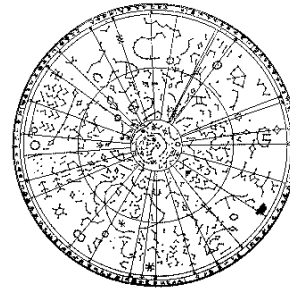


2697 př.n.l. - nejstarší zachovaný záznam o zatmění Slunce (Čína)

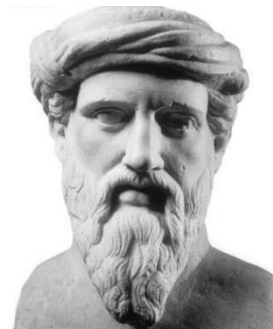
kolem 2000 př.n.l. - první slunečně-měsíční kalendáře v Egyptě a Mezopotámii

- svatyně Stonehenge (Anglie)

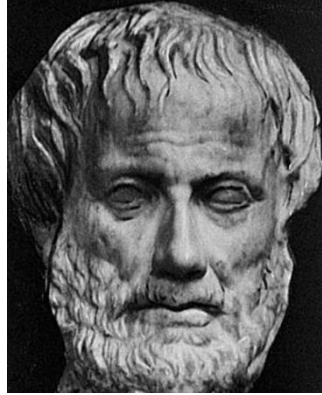
- poprvé vykreslená „suhvězdi“ starověkými astronomy



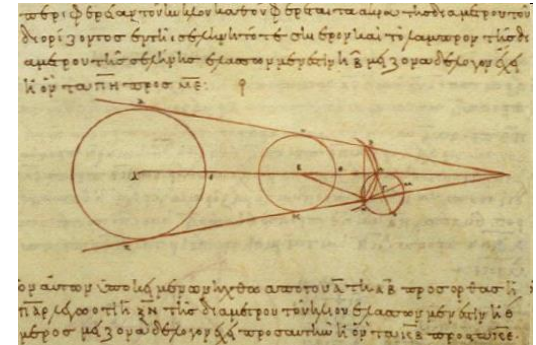
6. st. př.n.l. Pythagoras a Thales z Miletu
spekulují, že Země je koule



340 př.n.l. Aristoteles: O nebi



kolem 280 př.n.l. - Aristrachus ze Sámu předpokládá,
že Země obíhá kolem Slunce (*heliocentrismus*);
první odhad vzdálenosti Země-Slunce



kolem 240 př.n.l. - Eratosthenes měří obvod Země

kolem 130 př.n.l. Hipparchos objevuje precesi a sestavuje
první katalog hvězd (kolem 1000 nejjasnějších hvězd)



45 př.n.l. – zavedení juliánského kalendáře (čistě sluneční kalendář) v římské říši
(na radu řeckého astronoma Sosigena)

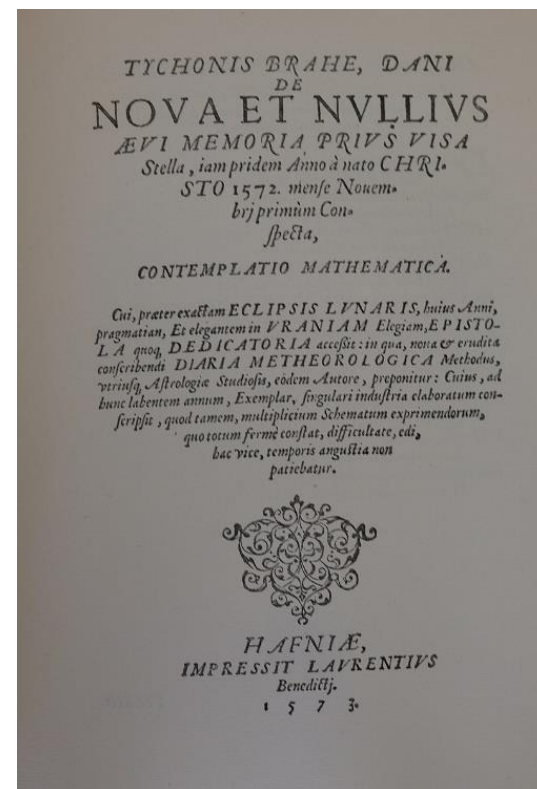
kolem 140 n.l. – Ptolemaios – teorie geocentrismu, Almagest



Svět hvězd se mění!

1572 – „Tychonova“ supernova v Kasiopěji – vyvrácení Aristotelovy podoby kosmu, zejména neměnnosti světa hvězd

Tycho Brahe



Tadeáš Hájek z Hájku



poč. 17. st. - vynález a použití dalekohledu v astronomii

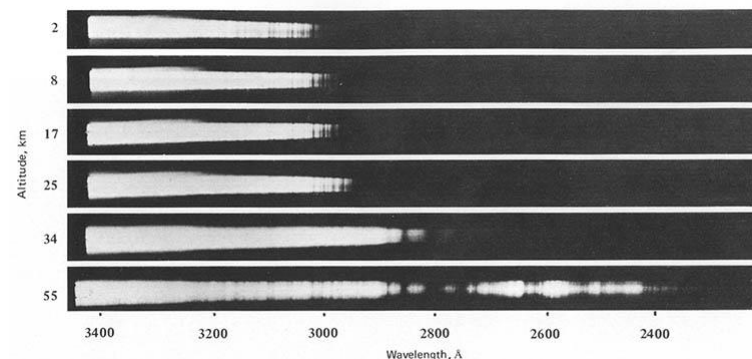


1609



1840

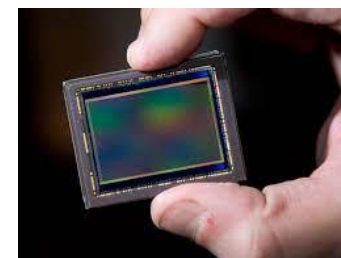
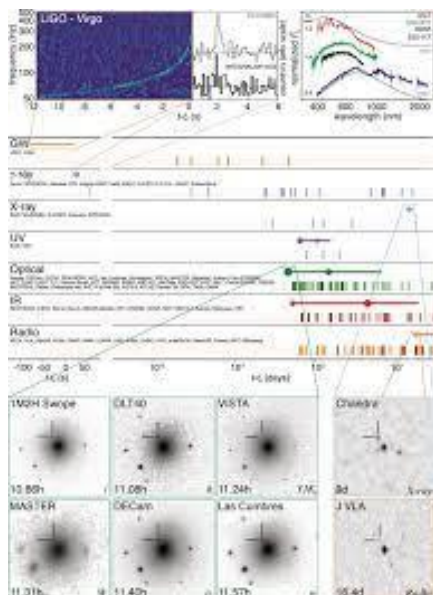
pol. 19. st. – vynález fotografie



1946

pol. 20. st. - astronomie z kosmu

konec 20. st. – „křemíková“ astronomie



1976

21. st. - víceborová astronomie (2017)

Abychom si rozuměli

Obloha a hvězdná obloha



směr = polopřímka, spojující oči, kterými sledujeme svět kolem sebe, s daným objektem

obzor = krajina, kterou obzíráme, v našem dohledu (budovy, stromy, kopce)

obloha = množina všech směrů mířících nad obzor (vycházejí z 1 bodu, z pozorovatele);
na obloze lze pozorovat objekty:

- pozemské (mraky, letadla) – pohyb libovolným směrem
- kosmické (Slunce, Měsíc, hvězdy...) - pohyb od východního obzoru
k západnímu (neoznačovat jako zdánlivý!)

Slunce, Měsíc, planety se *nepohybují přesně stejně rychle* jako hvězdy.

hvězdná obloha – vzdálená kulisa, síť, k níž vztahujeme pohyby blízkých objektů
(Slunce, Měsíce, planet...)



Venuše

Jupiter

letadlo

Měsíc

mraky



Abychom si rozuměli

Obloha x hvězdná obloha

obloha = všechny směry, kterými
se díváme nad krajinu

hvězdná obloha – síť tvořená
vzdálenými hvězdami



Pohyb Měsíce na obloze a hvězdné obloze



na obloze – za několik hodin od východu na západ

na hvězdné obloze – o několik stupňů vůči hvězdnému pozadí



Abychom si rozuměli

Dvě nejčastější otázky laiků:

- jak je to jasné?
- jak je to daleko?

Jak je to jasné?

pomocí veličiny **hvězdná velikost** m – jednotka

1 **magnituda** [mag]

při rozdílu hvězdných velikostí 5 mag, je jeden objekt 100krát jasnější

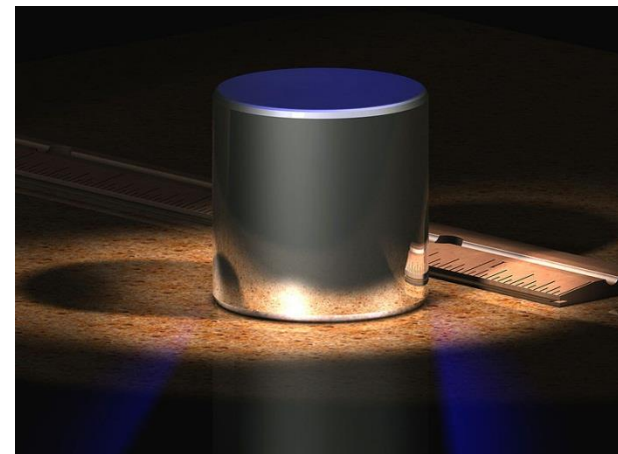
$$m_1 - m_2 = -2,5 \log \frac{F_1}{F_2} \quad \text{resp.} \quad \frac{F_1}{F_2} = 10^{-0,4(m_1 - m_2)}$$



Abychom si rozuměli

Otázky zasvěcených:

- jakou to má hmotnost?
- jaký to má zářivý výkon?



Jednotky hmotnosti, výkonu

1 kg – nová definice od 20. 5. 2019 (pomocí Planckovy konstanty)

Kilogram je jednotka hmotnosti v SI. Je definována fixací číselné hodnoty Planckovy konstanty h , aby byla rovna $6,626\,070\,15 \times 10^{-34}$, je-li vyjádřena jednotkou $J\,s$, rovnou $kg\,m^2\,s^{-1}$, kde metr a sekunda jsou definovány pomocí c a $\Delta\nu_{Cs}$.

Sekunda, značka „s“, je jednotka času v SI. Je definována fixací číselné hodnoty cesiové frekvence $\Delta\nu_{Cs}$, tedy frekvence přechodu mezi hladinami velmi jemného rozštěpení neporušeného základního stavu atomu cesia 133, aby byla rovna $9\,192\,631\,770$, je-li vyjádřena jednotkou Hz , rovnou s^{-1} .

$$1\,(GM)_{\odot}^N(2015) = 1,327\,124\,4 \times 10^{20} \text{ m}^3\text{s}^{-2}$$

$$G(2014) = (6,674\,08 \pm 0,000\,31) \times 10^{-11} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}\text{s}^{-2}$$

$$\Rightarrow 1\,M_{\odot}(2015) = 1,988\,475 \times 10^{30} \text{ kg}$$

$$\text{Obdobně: } 1\,(GM)_{\text{E}}^N = 3,986\,004 \times 10^{14} \text{ m}^3\text{s}^{-2}$$

$$1\,(GM)_{\text{J}}^N = 1,266\,865\,3 \times 10^{17} \text{ m}^3\text{s}^{-2}$$

$$1\mathcal{L}_{\odot}^N = 3,828 \times 10^{26} \text{ W (nominální)}$$

Jak je to daleko?

Délkové jednotky v astronomii

hlavní jednotka SI:

1 m – nová definice od 20.5.2019

Metr, značka „m“, je jednotka délky v SI. Je definována fixací číselné hodnoty rychlosti světla ve vakuu c , aby byla rovna 299 792 458, je-li vyjádřena jednotkou $m\ s^{-1}$, kde sekunda je definována pomocí cesiové frekvence $\Delta\nu_{Cs}$.



(vedlejší) jednotky: astronomická jednotka, světelný rok, parsek

a ještě (nominální) poloměr Slunce $1 R_{\odot}^N = 6,957 \times 10^8\ m$

https://www.iau.org/static/resolutions/IAU2015_English.pdf

http://www.iau.org/publications/proceedings_rules/units/

astronomická jednotka (au, dříve také AU, a.j.) - střední vzdálenost Země od Slunce

1 au (a.j.) = 149 597 870 700 m (přesně) (GA IAU 2012)

- pamatovat přibližnou hodnotu 150 milionů km

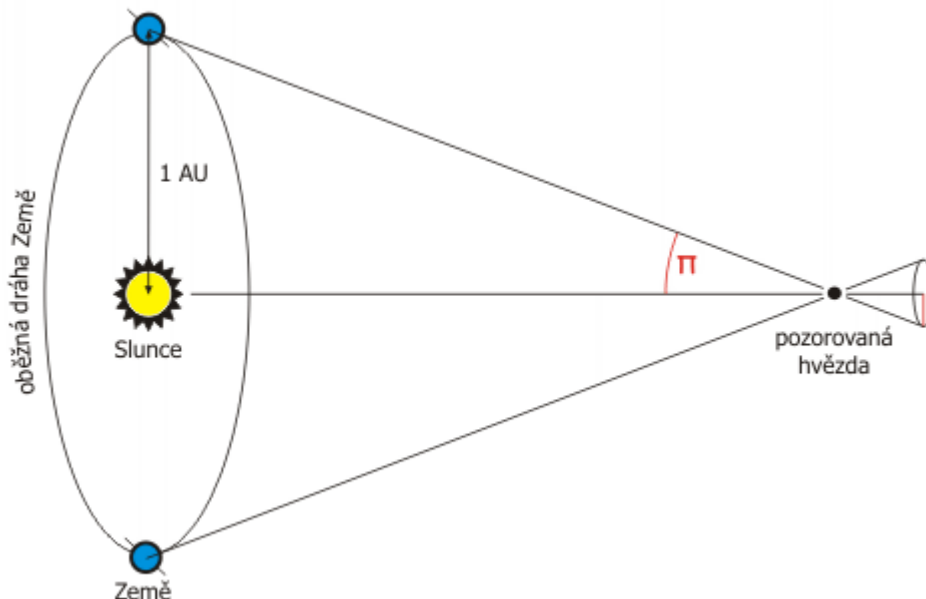
použití – Sluneční soustava, planetární soustavy, ale také dvojhvězdy

Délkové jednotky v astronomii

světelný rok (ly, dříve také sv.r.) - vzdálenost, kterou světlo šířící se vakuem urazí za 1 rok; výjimečně i světelný den, světelná hodina ...
použití – hvězdný vesmír

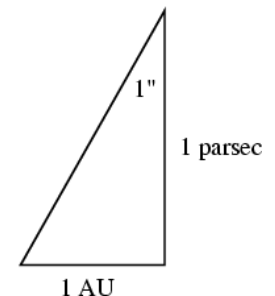


parsek - vzdálenost, ze které je vidět úsečku o délce 1 au (postavenou kolmo k zornému paprsku) pod úhlem $1'' \equiv$ paralaxa objektu, vzdáleného 1 pc je $1''$
použití – hvězdná a galaktická astronomie; kpc, Mpc, Gpc



$$\pi = 1/r$$

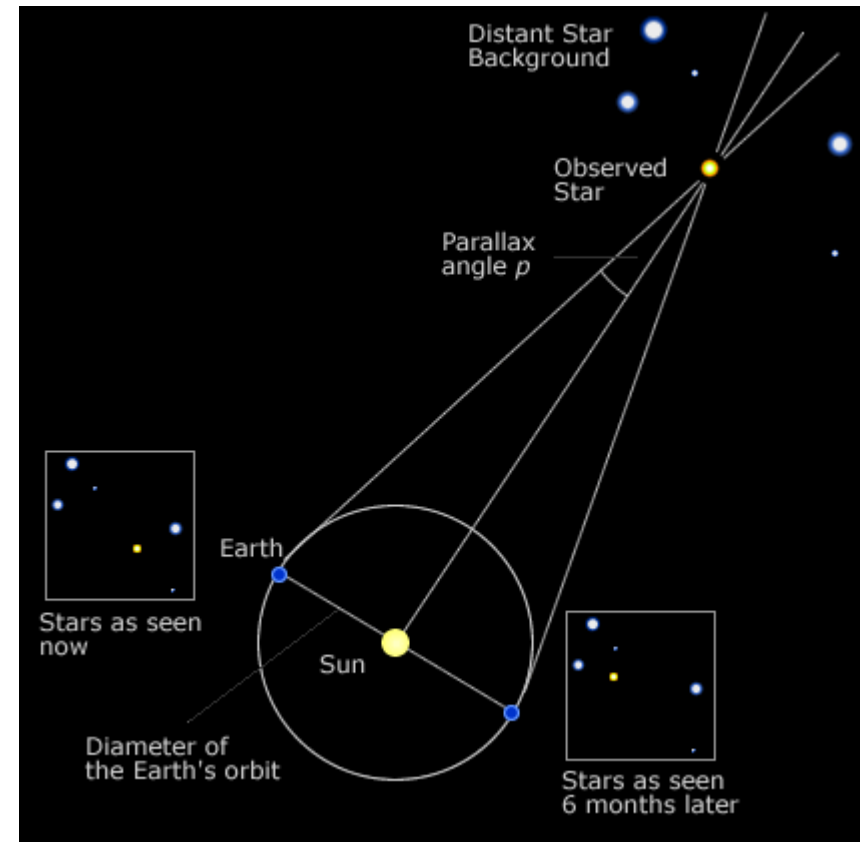
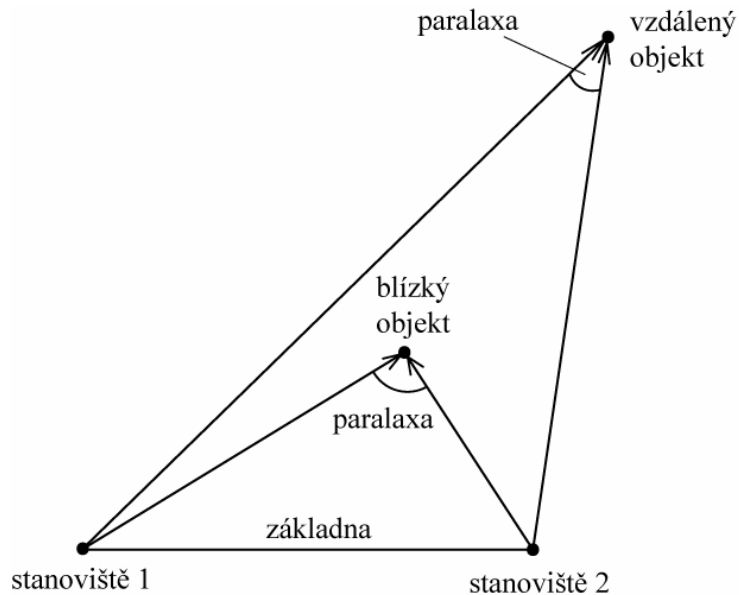
$$\tan(1'') = \frac{1 \text{ AU}}{1 \text{ pc}}$$



Paralaxa

lidský zrak – pár očí 7 – 8 cm od sebe => do 30 - 50 m - prostorový vjem

- u blízkých předmětů – pohled ze dvou různých směrů; úhel mezi těmito směry = ***paralaxa***



Odhad vzdálenosti

na Zemi – do cca 50 m, lze využít paralaxu (člověk s oběma očima)

- nad 50 m - paralaxa malá, prostorový vjem se ztrácí;

odhad vzdálenosti na základě zkušenosti, pomáhá atmosféra (zamlžený obzor, známé velikosti, vzdálenosti)



Prostý odhad nestačí

přímá měření vzdáleností – jen pro blízké objekty (triangulace, radiolokace)

pro vzdálenější objekty kvalifikovaný odhad vzdáleností – ale POZOR!

výběrový efekt – předpoklad – slabší hvězdy jsou od nás dál

utajené předpoklady - *všechny hvězdy jsou stejné*

- *zeslabování* (tzv. *extinkce*) světla hvězd



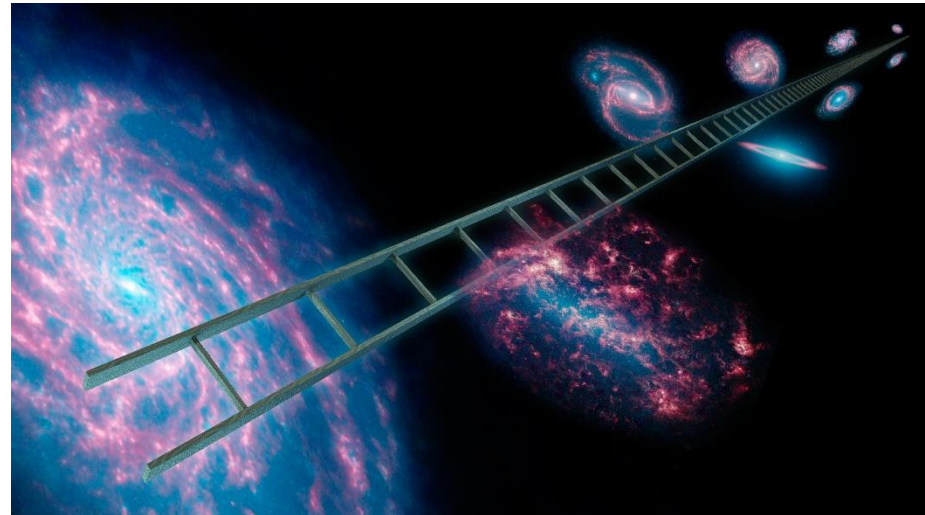
ve vesmíru se nelze spoléhat na odhady vzdáleností, nelze uplatnit zkušenosti ze Země – ani ve volném prostoru, ani na vesmírných tělesech!

=> musíme vzdálenosti měřit, určovat

nepřímé zjišťování vzdáleností

kosmický „žebříček vzdáleností“

- měření postupně se zvětšujících vzdáleností ve vesmíru;
- pro různé vzdálenosti různé metody – jedna slouží ke kalibraci následující



Metody měření vzdáleností

triangulační metoda - současné měření směrů ze 2 stanovišť => rozdíl směrů = paralaxa => paralaxa + vzdálenost stanovišť => **vzdálenost**
stanoviště – místa na Zemi, Země v různých časech, objekty Sluneční soustavy

radiolokace - ve Sluneční soustavě; měření doby mezi vysláním a příjmem rádiového impulsu (rychlost = c) => vzdálenost „terče“

cefeidy – zvláštní typ proměnných hvězd v Galaxii i cizích galaxiích

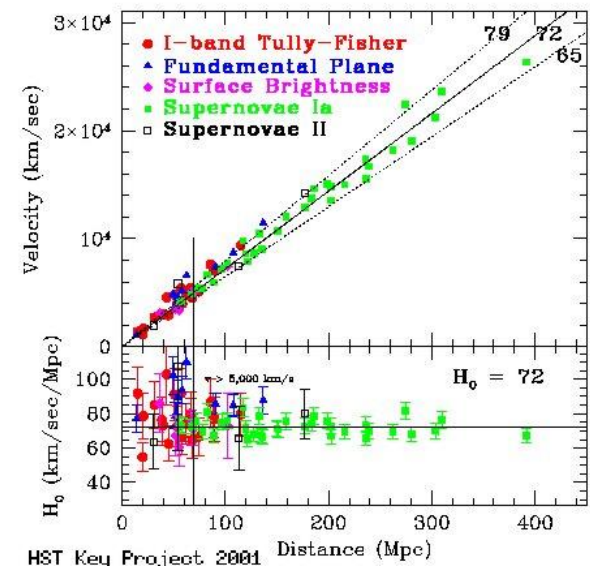
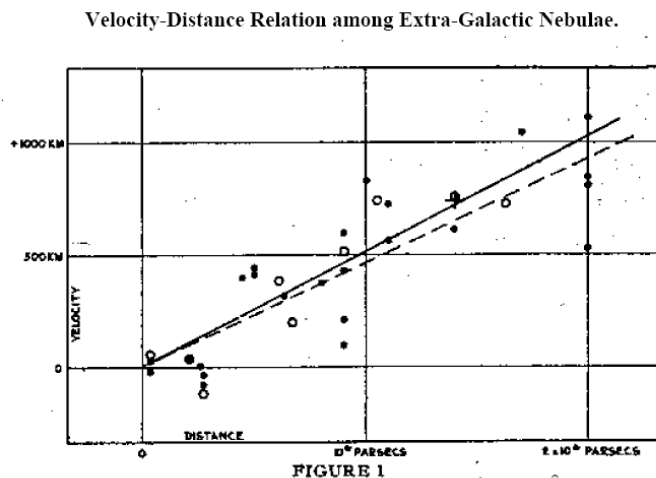
standardní svíčky – supernovy, zákrytové dvojhvězdy – vzdálenosti (extra)galaktické

Hubbleův-Lemaîtreův vztah

1929 Edwin Hubble - rychlost vzdalování objektů v je úměrná vzdálenosti r

Hubbleův-Lemaîtreův vztah $v = H \cdot r$, H = Hubbleova konstanta.

Platí pouze ve světě galaxií!



Typické velikosti a vzdálenosti objektů

Objekt	Typická velikost	Typická vzdálenost
kvarky	10^{-18} m	
elementární částice	10^{-15} m	
atom	10^{-10} m	
molekula	10^{-9} m	
člověk	1 m	
planeta	$10^7 - 10^8$ m	řádově au
hvězda	$10^8 - 10^9$ m	řádově pc
galaxie	10^4 pc	řádově 10^5 pc

