



## Vzdálenosti ve vesmíru

### Proč je dobré, abychom je znali?

Protože nám udávají :

- **Výchozí bod pro astrofyziku:** Vzdálenosti jakéhokoli objektu ve vesmíru je rozhodující parametr k pochopení mechanismu tvorby jeho energie. „Nejistota dvou faktorů ve vzdálenostech může vést až k nejistotě čtyř faktorů ve výsledné energetické znalosti.“
- **Výchozí bod pro kosmologii:** Vzdálenosti jsou nutné k tomu, abychom mohli určit strukturu, vývoj a věk neustále expandujícího vesmíru.

### Co to je "žebříček vzdáleností"?

Je to procedura používaná k měření postupně se zvětšujících vzdáleností ve vesmíru. Objekty s dobře známými vlastnostmi jsou využity k vyměrování větších, jasnějších a více vzdálených objektů, které pak mohou sloužit opět stejnému účelu pro ještě vzdálenější tělesa. Uplatníme –li takových kroků několik, můžeme měřit vzdálenosti ve vesmíru.

### Kosmická pravítka a jednotky délky:

Kilometr, praktický pro měření délek na Zemi, se ve vesmíru stává velice malou jednotkou. Proto astronomové používají ve vesmíru dvě zcela odlišné jednotky.

První z nich je velmi praktická uvnitř sluneční soustavy: **Astronomická jednotka (AU)**: je to střední vzdálenost středu Země od středu Slunce.

**1 AU = 149 597 870 691 m (149.6 miliónů km) = 499.005 světelných sekund.**

Jedna **světelná sekunda** je vzdálenost uražená světlem za 1 sekundu nebo také 299 792 km.

Další jednotka, nutná pro mnohem delší kosmické vzdálenosti je **světelný rok (ly)**. To je vzdálenost, kterou urazí světlo za jeden rok:

**1 světelný rok (ly) = 63 240 AU = 9.450 10<sup>12</sup> km**

Astronomové také používají třetí jednotku, **parsec (pc)**

### Vzdálenosti ve sluneční soustavě:



Obrovská planeta Saturn ve vzdálenosti 1209 miliónů km (8.08 AU). Fotografie je složena ze snímků provedených ve dvou blízkých infračervených pásmech (H and K) a ukazují složitou, páskovou strukturu saturnovské atmosféry spolu s prstenci. (ESO VLT NAOS-CONICA Adaptive Optics instrument 8 prosince, 2001).

## Jak měříme vzdálenosti?

**Historicky:** Poté, co Kepler objevil své zákony, mohli astronomové určit relativní vzdálenosti ve sluneční soustavě. Nicméně, abychom mohli získat skutečné rozměry naší soustavy, musíme znát vzdálenost alespoň jedné planety v absolutních číslech, např. v kilometrech. Brzy si však uvědomili, že jedna z možností jak to provést je určit hodnotu AU pozorováním přechodu Venuše.

**V dnešní době** zajišťují měření vzdáleností radary a lasery s přesností na několik metrů.

## Jak daleko jsou planety?

Země - Měsíc	0.003 AU
Slunce - Merkur	0.387 AU
Slunce - Venuše	0.723 AU
Slunce - Země	1.000 AU
Slunce - Mars	1.524 AU
Slunce - Jupiter	5.20 AU
Slunce - Saturn	9.54 AU
Slunce - Uran	19.18 AU
Slunce - Neptun	30.06 AU
Slunce - Pluto	39.44 AU
Oortovo mračno	3000 - 135000 AU

## Hvězdy a Mléčná dráha



*Impozantní spirální galaxie NGC 1232, která se podobá Mléčné dráze, ve které žijeme. Vzdálená je zhruba 100 miliónů světelných let. Fotografie je složená ze tří snímků v různých vlnových pásmech (barvách). (ESO VLT FORS2 multi-mode instrument; 1998).*

## Jak měříme vzdálenosti v Mléčné dráze?

Mléčná dráha, ve které žijeme, je velmi rozlehlý systém. Pokud bychom ji mohli vidět z vnějšku, připomínala by nám spirální galaxii NGC 1232 vyfocenou na obrázku (viz výše).

Aby mohli astronomové měřit vzdálenosti blízkých hvězd, vymysleli metodu zvanou **triangulace**. Výsledkem pohybu Země po své orbitě kolem Slunce během roku je to, že blízké hvězdy, jejichž pozici pozorujeme, charakterizují je mírná elipsa na nebeské kouli. Hlavní poloosa této elipsy se nazývá roční paralaxa ( $p$ ). Čím je hvězda dále od Země, tím menší je elipsa a tím i paralaxa.

Měřením přesné hodnoty paralaxy můžeme tedy nalézt skutečnou vzdálenost hvězdy od Země. Díky pozorování mnoha teleskopů na Zemi, stejně tak i Hubbleovým teleskopem ve vesmíru či astrometrickým satelitem Hipparcos, jsme nyní schopni měřit paralaxy hvězd vzdálených až 1000 světelných let.

**Parsek (pc)** je další jednotka používaná pro hvězdy a galaxie, která byla odvozena přímo ze zmiňované paralaxy. Jeden parsek je totiž vzdálenost, ze které je hlavní poloosa orbity Země viděna pod úhlem 1 úhlové vteřiny. Jeden stupeň má 3600 úhlových vteřin a 360 stupňů tvoří jeden „kruh“, tudíž je patrné, že 1 úhlová vteřina je velice malý úhel. Změříme-li paralaxu  $p$ , pak vzdálenost  $d = 1/p$  [vyjádřeno v pc].  $1 \text{ pc} = 3.26 \text{ ly}$ .

Nejbližší hvězda, **Proxima Centauri**, má paralaxu 0.77233 úhlové vteřiny, což odpovídá vzdálenosti 1.2931 pc, či 4.22 ly.

Další metoda je založena na zdánlivé jasnosti (kterou vidíme na obloze) a na svítivosti (skutečná jasnost) hvězdy. Astronomové určují typ hvězdy (spektrální typ) na základě pozorovaného spektra a z toho pak odvozují její svítivost. Jelikož zdánlivá jasnost hvězdy klesá s druhou mocninou její vzdálenosti, porovnáním svítivosti a zdánlivé jasnosti vede k určení vzdálenosti hvězdy.

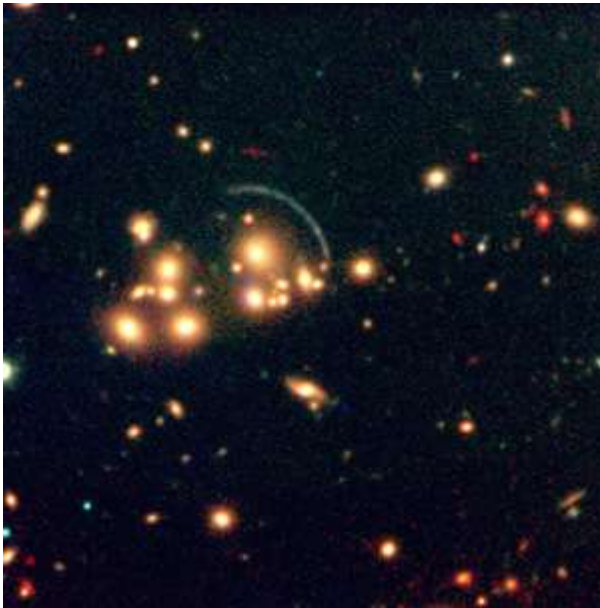
Existuje ještě další metoda, jak určit vzdálenost, založená na daném typu hvězdy - **Cepheidy** – nestabilní obrovské hvězdy spektrálního typu F-G, které pulsují s periodou 2-40 dnů. V roce 1912 americká astronomka, paní Henrietta Leavitt, studovala mnoho stovek takových cepheid v Megallonově mračně a přišla na to, že existuje vztah mezi periodou a zdánlivou jasností. Protože byly všechny tyto hvězdy ve stejné (malé) galaxii a tudíž byly v přibližně stejné vzdálenosti, objevila tak něco, co se dnes nazývá „vztah periodické luminiscence pro cepheidy“. Čím je pulsování pomalejší, tím je hvězda více svítí. Tato základní astronomická relace byla později upravena jinými astronomy, včetně Walthera Baadeho (1950).

Proto platí, že určením periody cepheidy a použitím vztahu periodické luminiscence, můžeme odbržet svítivost dané hvězdy. Jak jsme již zmínili, porovnáním pozorované zdánlivé jasnosti a svítivosti, můžeme získat vzdálenost. V současnosti jsou nejspolehlivější kalibrací vztahu pro periodickou luminiscenci určité galaktické cepheidy se známou trigonometrickou paralaxou a ty, které se nachází v Megallonové mračnu.

### Jak daleko jsou hvězdy v naší Galaxii?

Nejbližší hvězdy	Několik světelných let
Kulová hvězdokupa M13 v Herkulovi	26 světelných let
<b>Velikost Mléčné dráhy</b>	
Zploštělý disk s přibližně 150 000 milióny hvězd	Průměr 100 000 světelných let
halo	Průměr zhruba 200 000 světelných let
Vzdálenost Slunce od středu galaxie	Zhruba 300 000 světelných let

## Mezgalaktické vzdálenosti:



Vzdálená kupa galaxií známá jako "Cl2244-02". Dlouhý oblouk je "gravitační oblouk", tj. zakřivený obraz galaxie viděný z našeho směru, ale umístěný daleko za onou kupou. Zakřivení je způsobeno gravitačním polem kupy. Jedna metoda k určování vzdáleností je založena na tomto efektu. Fotografie je složena ze tří snímků v různých viditelných a infračervených pásmech. (ESO VLT Test Camera + ISAAC multi-mode instrument; 1998).

## Jak měříme vzdálenosti ke galaxiím?

Astronomové mají nyní několik metod s různou schopností jak měřit vzdálenosti za hranicemi Mléčné dráhy.

Metoda **Cepheid**, kdy se využívají obrovské pozemní teleskopy a Hubbleův vesmírný teleskop, umožňuje získávat celkem přesné výsledky měření až do vzdálenosti zhruba 100 milionů světelných let (Mly).

Světelné vlny supernov v jiných galaxiích jsou podobné světelným vlnám supernov v naší galaxii. A mezi luminiscencí a rychlostí, se kterou jejich světlo po výbuchu „bledne“ existuje vztah.

Pozorujeme –li pozorně úbytek jasnosti po výbuchu supernovy, můžeme z toho určit její svítivost. Srovnání její svítivosti a zdánlivé jasnosti udává její vzdálenost.

**Supernova** je velice důležitý indikátor vzdálenosti, díky její obrovské svítivosti. Mohou být totiž viděny z obrovských vzdáleností. Vypadá to, že vrchol luminiscence supernov zvaných Ia je zhruba stejný u všech explozí. Předpokládáme –li, že je to tak, jak jsme právě zmínili, pak pozorovaná zdánlivá jasnost takové supernovy nám dovoluje spočítat její vzdálenost. tato metoda pracuje spolehlivě do 1 000 milionů světelných let. Nejpoužívanější metoda pro galaxie s ještě většíma vzdálenostma je nazvána „Hubbleův vztah“. Ten se zaměřuje na měření tzv. rudého posunu, který udává jak moc se spektrální vlny galaktického světla posunuly z jejich původní (laboratorní) vlnové délky na vlny o delší vlnové délce. V roce 1929, americký astronom Edwin Hubble, přišel na to, že spektra galaxií vykazují rudý posun úměrný jejich vzdálenosti. Dneska víme, že tento efekt je způsoben expanzí vesmíru.

Galaxie vzdálená 1 milion světelných let má rychlost zhruba 20 km/s (hodnota Hubbleovy konstanty), zatímco galaktokupa Virgo ve vzdálenosti zhruba 60 milionů světelných let se vzdaluje rychlostí 60 krát větší (=1200 km/s).

Toto jsou jen nejdůležitější metody, avšak existují i další, založené na charakteristické velikosti, nebo jasnosti, mraků s ionizovaným vodíkem ("H II oblasti") či celých galaxií, spirálních ramen nebo dokonce na jejich pohybu. Existují dokonce promyšlenější metody využívající jasnosti galaktokup či principu gravitačních čoček.

## Jak daleko jsou galaxie?

Magellanovo mračno - dvě malé satelitní galaxie naší Mléčné dráhy	160 000 světelných let
Galaxie v Andromedě (M 31) – nejbližší objekt pozorovatelný pouhým okem	2 milióny světelných let
Galaktikupa Coma	325 miliónů světelných let

## Problémy

Každá ze zmíněných metod určující vzdálenost ve Vesmíru má své limity a nejistoty. Astronomové musí být opatrní a musí počítat s nepřesnostmi způsobenými velkým počtem různých doprovodných efektů, např. svítivosti galaxií, jejich chem. složení. Všechna měřená jasnost musí být upravována kvůli efektu zvaným „mezihvězdné rudnutí“, což je absorpce světla mezihvězdným plynem a prachem.

## Rychlý výlet skrze Vesmír na paprsku světla

Předpokládejme, že jsme poslali paprsek světla ze Země. Jak dlouho pak bude trvat tomuto světlu – pohybující se maximální možnou rychlostí dle teorie relativity (299 792 km/s) – než doputuje k různým objektům ve Vesmíru? Následující tabulka ukazuje některé možnosti:

Měsíc	1.2 s
Slunce	8 min 20 s
Planeta Pluro	5.3 hod
Proxima Centauri – nejbližší hvězda	4.2 let
Sirius – nejjasnější hvězda na obloze	8.6 let
Polárka (Polaris)	432 let
Střed naší Galaxie	30 000 let
Galaxie Andromeda	2 miliónů let
Galaktikupa Virgo	60 miliónů let
3C273 - kvasar	2 500 miliónů let