



V příspěvku představím kurz Kosmologie, který nabízíme studentům učitelství  
Kosmologie se vždy dotýkala témat, která jsou i doménou filozofie, matematiky a umění,

Patří k oblastem vědy, které obsahují výrazné sjednocující tendence a rychle přinášejí nové poznatky.

Současné poznatky a představy o vesmíru jsou postaveny na řadě zajímavých experimentů a odvážných modelů, byla za ně udělena řada Nobel.cen

Část Hypotéz ještě na svá ověření čeká. S každou uspokojivou odpovědí se objeví řada dalších otázek, to je příznivý terén pro ukázkou toho, jak pracuje věda a pro motivaci budoucí generace k práci na tomto poli...

Nejprve připomenu o čem kosmologie je

## Kosmologie - věda o vesmíru jako celku

### Základní kosmologické otázky:

- jaká je struktura kosmu
- jak vznikl, jak se vyvíjí a jaká bude jeho budoucnost)
- z čeho je složen
- jak je stár a velký

### Vývoj kosmolog. představ:

cesta od fantazií a spekulací k ověřeným poznatkům

Zformulování Einsteinovy teorie gravitace a propojení s fyzikou učinilo z kosmologie vědu - zvláštní povaha ověřování (1 vesmír a známe jen jeho malou část)

Dnes moderní věda opřena o relevantní pozorování

### Východisko kosmologie

vesmír je popsateľný na úrovni základních fyzikálních zákonů (?)

Platnost zákonů se ověřuje ze signálů z vesmíru a v pozemských laboratořích (?)

### Metody kosmologie

tvorba matematických modelů vesmíru, předpovědi a srovnání s pozorováním

Vývoj představ od spekulativní, často ideologiz. nauky se po formulaci OTR se změnila v moderní vědu opřenu o relevantní pozorování:

např. stáří vesmíru ( $13,7 \pm 0,2$ ) mld let dnes známe s přesností lepší než 2%!

Východisko kosmologie

• vesmír studujeme na úrovni základních fyzikálních zákonů (možná sporné, ale nic lepšího se nenabízí - vesmír obsahuje vše, z vesmíru známe jen malou část, její vlastnosti extrapolujeme na vesmír jako celek. \*\*\*

Platnost zákonů se ověřuje pozorováním na zemi a v laboratořích – zde se nepracuje s hlavní – temnou složkou vesmírné látky.

Metoda kosmologie

• tvorba matematických modelů vesmíru zachycujících formou diferenciálních rovnic jeho rozhodující vlastnosti – srovnání s pozorováním

\*\*\*

vesmír je popsateľný známými fyzikálními zákony- Hlavní argument pro toto tvrzení poskytuje spektroskopie. Podařilo se identifikovat spektrální čáry vysílané vše-možnými nebeskými objekty s příslušnými čarami látek zjištěnými v pozemských laboratořích. Z toho plyne, že pozorovaná vesmírná tělesa jsou složena z téže hmoty jako Země a sluneční soustava. I ve vzdálených hvězdách, galaxiích či kvasarech nacházíme stejné chemické prvky a sloučeniny. To znamená, že tam platí i stejné fyzikální zákony, jinak by struktura atomů a molekul (a tudíž i jejich spektra) byla odlišná. Samozřejmě, při extrapolaci „pozemských fyzikálních zákonů je nutná obezřetnost, zatím ale vše nasvědčuje tomu, že celý pozorovaný vesmír je pozoruhodně jednotný: je ovládán stejnými zákony

Nobelovy ceny uděleny za kosmologii.

za první detekci mikrovlnného kosmického pozadí z roku 1965.

za objevy dosažené při výzkumu mikrovlnného záření (COBE

za objev zrychlujícího se rozpínání vesmíru pozorováním vzdálených supernov

za teoretický a experimentální výzkum jaderných reakcí důležitých pro vývoj chemických prvků ve vesmíru

## Motivace

Nový kurz koncipovaný pro učitelská studia, modernizace obsahu přednášky i formy

Studijní opory: skripta, vidozáznamy, přednášky hostů, aktivizace

Výzkum: jaké předpoklady studenti potřebují pro kosmologii, jaké miskoncepce se objevují u veřejnosti v kosmologických tématech



ODPOVĚDNÍK

3

Obraz vesmíru se za poslední století díky novým poznatkům výrazně změnil. Připravujeme inovaci kurzu Kosmologie pro učitele, který by i laikovi umožnil základní vhled do vědeckého pojetí oboru. Základním výstupem - rozšíření a uzpůsobení předmětu Kosmologie potřebám učitelského vzdělávání.

Cílem inovace je rozšířit obsah kurzu natolik, aby umožnil studentům sledovat aktuální kosmologické poznatky, aby sami dokázali ve vhodné podobě tyto poznatky předávat svým žákům a kultivovaně prezentovat širší veřejnosti při popularizaci vědy

## Ukázky z otevřených otázek dotazníku

- ▶ Kdy a jakým způsobem byla poprvé změřena vzdálenost nejbližších hvězd?
- ▶ Jakým způsobem získáváme poznatky o vesmíru?
- ▶ Jaké jevy nám umožňují zjistit, že i mimo Sluneční soustavu existují planety?
- ▶ Je vzdálenost, do níž ve vesmíru „dohlédneme“, nějak principiálně omezena nebo se může se zlepšováním techniky stále zvětšovat?
- ▶ Je možné, že některé objekty, které zaznamenáváme již neexistují?
- ▶ Obsahuje vesmír prvky, které se na Zemi nevyskytují?
- ▶ Který prvek je ve vesmíru nejhojnější?
- ▶ Jak se uvádí v knihách o kosmologii, je vesmír ve velkém měřítku homogenní a izotropní. Odkud to víme? Je mezi homogenitou a izotropií nějaká souvislost?
- ▶ Věříte v existenci mimozemských civilizací? Jaké argumenty máte pro svůj názor?
- ▶ ...



vyplnění tohoto odpovědníku:

[http://is.muni.cz/el/1441/podzim2014/FY2BP\\_KOSM/odp/pruzkum-laicky.qref](http://is.muni.cz/el/1441/podzim2014/FY2BP_KOSM/odp/pruzkum-laicky.qref)

Otázky jsou otevřené

Kdy a jakým způsobem byla poprvé změřena vzdálenost nejbližších hvězd?

Došlo k tomu roku 1838. Vzdálenost zjistili zhruba současně tři astronomové na základě měření paralaxy – rozdílného úhlu, pod nímž je hvězda viditelná během roku.

Jak daleko jsou od nás nejvzdálenější objekty, které můžeme ve vesmíru pozorovat? Je-li stáří vesmíru asi 14 miliard let, znamená to, že tyto objekty jsou vzdáleny 14 miliard světelných let? Tak jednoduché to není, závisí to na kosmologickém modelu, který přijmeme. Ve skutečnosti jsou dnes (v kosmickém čase) tyto objekty značně vzdálenější. V době, kdy z nich vyšlo záření, které dnes pozorujeme, byly naopak značně bližší.

Jsou objekty, které pozorujeme v největší vzdálenosti, zároveň nejzazší (tj. za ně už nevidíme)?

Nikoliv, objekty, které jsou za nimi, můžeme vidět, jak vypadaly v době, kdy nám byly blíže než objekty v uvedeném smyslu nejvzdálenější.

Z dnešních poznatků o vesmíru vyplývá, že vesmír se rozpíná zrychleně. Znamená to, že na vzdálené objekty ve vesmíru působí síla, která roste se vzdáleností? Není takový závěh v rozporu s homogenní vesmíru?

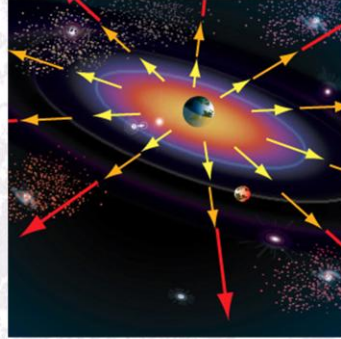
Ve vztažné soustavě, která se rozpíná spolu s vesmírem, zůstávají objekty na místě a žádná síla na ně nepůsobí. K rozporu s homogenní vesmíru proto nedochází

Jaké fyzikální jevy nám umožňují zjistit, že i mimo Sluneční soustavu existují planety?

Planety mohou ovlivňovat pohyb svých „sluncí“, což se projeví buď přímo z jejich pohybu vzhledem ke hvězdám nebo z Dopplerova jevu. Dnes je nejúčinnější cestou k objevu pozorování periodického zastínění hvězdy, které se projeví změnou její jasnosti.

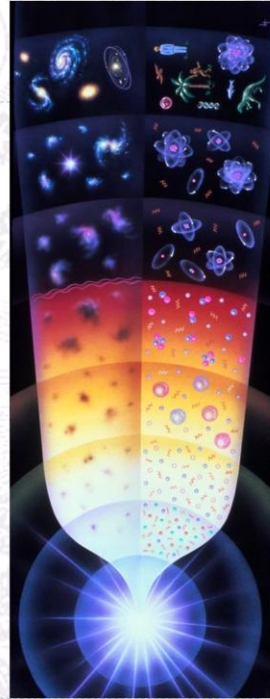
## Osnova kurzu

- ▶ Kosmologické hypotézy, modely a teorie
- ▶ Reliktní záření
- ▶ Teorie popisující hmotu a interakce
- ▶ Newton nebo Einstein?
- ▶ Střed nebo homogenita
- ▶ Plochosť nebo zakřivenost
- ▶ Zrychlování nebo stacionarita
- ▶ Jak daleko dohlédneme?
- ▶ Pozorování v kosmologii
- ▶ Antropický princip



## Aktivity ke kurzu

1. Práce s časovými osami a měřítky
2. Přiřazování – odhady velikostí, vzdáleností a stáří
3. Riskuj - opakování a zavedení pojmů a definic
4. **Vesmírná archeologie** – fotonový dopravník
5. **Střed homogenita**
6. Galerie převleků světla
7. Posun spektra – fólie, práce se spektry
8. **Reliktní záření** – omalovánka
9. Sestav si svůj Vesmír
10. **Jak se galaxie vzájemně pohybují**
11. Škálový faktor – expanzní funkce
12. Drakeova rce



## Úvodní aktivity časové osy

- ▶ Vývoj kosmologických představ a zásadních objevů  
kartičky - přiřazování na časovou osu
- ▶ Vývoj vesmíru  
Kosmický kalendář - přiřazování etap na provázek
- ▶ Obrázková galerie  
Mytologické představy  
vlastní tvorba



Obecný přehled	Reliktní záření	Kosmologie 1	Kosmologie 2	Kosmologie 3
<u>10</u>	<u>10</u>	<u>10</u>	<u>10</u>	<u>10</u>
<u>20</u>	<u>20</u>	<u>20</u>	<u>20</u>	<u>20</u>
<u>30</u>	<u>30</u>	<u>30</u>	<u>30</u>	<u>30</u>
<u>40</u>	<u>40</u>	<u>40</u>	<u>40</u>	<u>40</u>
<u>50</u>	<u>50</u>	<u>50</u>	<u>50</u>	<u>50</u>

**Otázka**

Jaké jsou vhodné jednotky vzdálenosti pro vesmír?

Kategorie 1 30

**Odpověď**

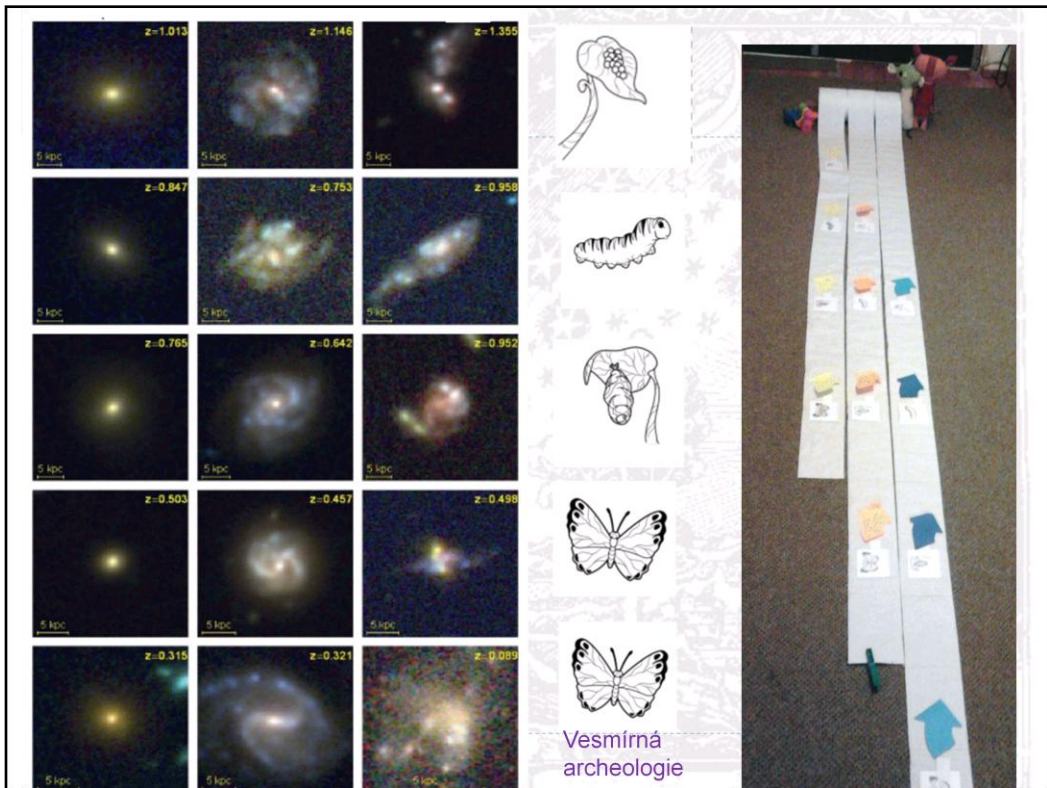
Astronomická jednotka – AU - vzdálenost Země-Slunce  
 $1,5 \cdot 10^8$  km

Světelný rok - ly - vzdálenost, kterou uletí fotony za 1 rok.  
 $1 \text{ ly} = 9,46 \cdot 10^{13} \text{ km} = 6,32 \cdot 10^4 \text{ AU}$

Parsek - pc - vzdálenost, z níž je vidět úsečka dlouhá 1 AU pod úhlem jedné obloukové vteřiny.  
 $1 \text{ pc} = 3,086 \cdot 10^{13} \text{ km} = 3,26 \text{ ly}$

Kategorie 1 30





### Fotonový dopravník

Když dělám pozorování ve vesmíru nesmím podléhat iluzi, že vidím jak Vesmír vypadá dnes.

Konečná rychlost světla způsobuje, že události vidíme zpožděně.

Události, které vidíme zároveň nemusejí být současné z hlediska toho, jak se v realitě odehrály..

11.11.1572 Tycho Brahe pozoroval supernovu v roce 1572 a popsal tento jev v díle De Nova Stella (O nové hvězdě). (byla vzdálená 8 000 ly)

9.10. 1604 Johannes Kepler uviděl supernovu v souhvězdí Hadonoše (13 000 ly).

16.8. 1680 John Flamsteed pozoroval supernovu v Mléčné dráze, šlo o poslední pozorovaný výbuch supernovy v naší galaxii ( 11 000 lly)

Která supernova vzplála ve skutečnosti nejdříve?

## Máte představu o velikosti, vzdálenosti a stáří různých objektů ve vesmíru?

Seřazování

- 1, Zkuste uspořádat snímky v pořadí podle skutečné velikosti objektů  
Nejmenší ----- největší
- 2, Zkuste seřadit snímky objektů od nejbližších po nejvzdálenější  
Nejbližší ----- nejvzdálenější
- 3, Zkuste uspořádat snímky podle stáří zobrazených objektů (nejdříve zformovaný, nejpozději zformovaný)  
Nejstarší ----- nejmladší

Měsíc

Kupa galaxií Hubbleova pole

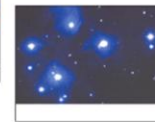
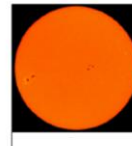
Hubbleův Teleskop

Slunce

Saturn

Plejády

Vírová galaxie



### **Jak jsou staří?**

Odpovědi, na nichž by se většina astronomů asi shodla:.....

Teleskop několik let (1990)  
Plejády 80 milionů let  
Měsíc 4.5 miliard let  
Saturn 4.5 miliard let  
Sun 4.5 4.5 miliard let  
Galaxie 10 miliard let  
Hubble kupa galaxií více než 10 miliard let

Na otázku je stanovení správné ho pořadí poněkud nejednoznačné, a je zároveň u řady objektů Vesmíru předmětem současného astronomický výzkumu.

Při řešení této zdánlivě jednoduché otázky, se studenti potýkají s důležitými poznatky formování sluneční soustavy, životní cykly hvězd a vývoje vesmíru!

Máme tendenci si myslet, hvězd jako by existovaly vždy nebo po velmi dlouhou dobu. Ve skutečnosti, naše Slunce je miliardy let staré. Ale nové hvězdy, stejně jako ty, které v Plejád, jsou neustále rodí. Pleiades hvězdy jsou jen asi 80 milionů let staré.

Což je starší, Slunce nebo Hubbleovy galaxie HST?

Záleží na tom, co myslíme tím "věkem."

Slunce je asi 4,5mld let. Ale galaxie HST patří mezi nejstarší a nejvzdálenější objekty na obloze.

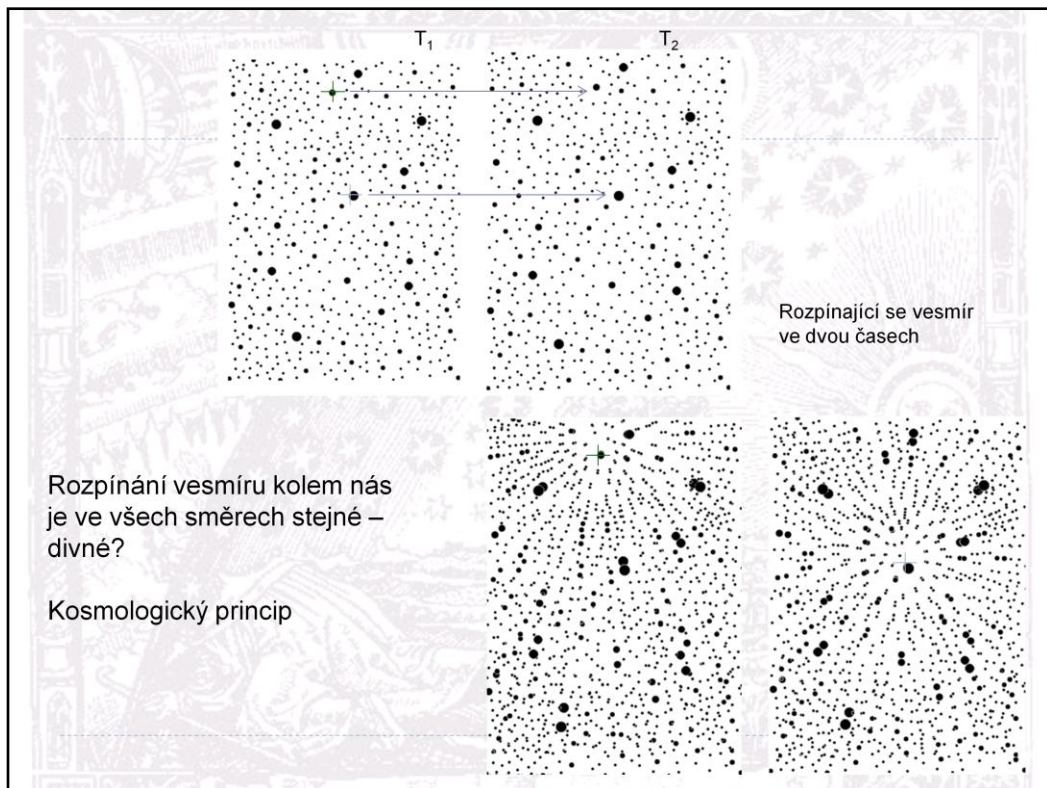
Světlu od nich trvalo 10 miliard let než doletělo k nám.

A tak se narodila dlouho před naším Sluncem.

Na druhé straně, Hubble galaxie jsou mladé galaxie!

Vidíme, tyto galaxie, jaké byly, když se tvořily, jen pár miliard let po velkém třesku.

Mnoho hvězd v galaxiích v tomto snímku, může být mladších než je naše Slunce.



Koperník ukázal, že země nemá výjimečné postavení --- zobecněně ani naše sl. Soustava není vyjimečná. Nezáleží na volbě vztažného bodu  
 Jakmile se hovoří o rozpínání máme pocit, že se od nás na všechny strany všechno rozlétá ... Pocit, že jsme ve středu dění.  
 Ukážeme si, že tento pocit bude mít každý, kdo ve vesmíru žije na jakémkoliv místě, každý bude mít pocit, že je ve středu..

základní kosmologické paradigma, **kosmologický princip**:

**Žádný bod v prostoru nemá privilegované postavení !**

Platnost kosmologického principu podporuje naději, že vesmír lze poznat i když z něj známe jen jeho nepatrnou část: vesmír opakuje a my známe jak jeho dostatečně velkou část, tak i zákony, jimiž se řídí.

Kosmologický (též koperníkovský) princip není jen filozofickou proklamací, ale má řadu zcela konkrétních, v principu ověřitelných důsledků.

**Vesmír pak musí být homogenní a izotropní !**

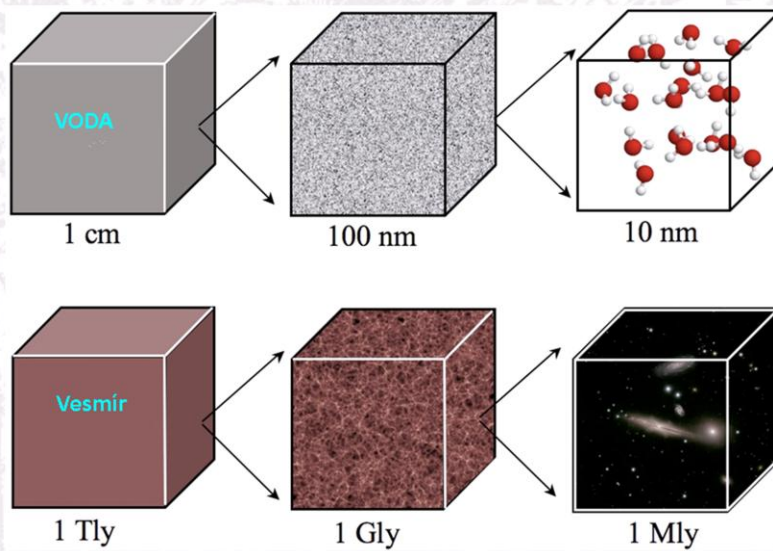
**Homogenita a izotropie vesmíru**

s naší zkušeností na první pohled se nesrovnávají – pohled na oblohu: naše vesmírné okolí silně nehomogenní (hvězdy a prázdnota mezi nimi, galaxie a pustý mezegalaktický prostor, kupy galaxií, buněčná struktura vesmíru), a anizotropní (Mléčná dráha, Supergalaxie).

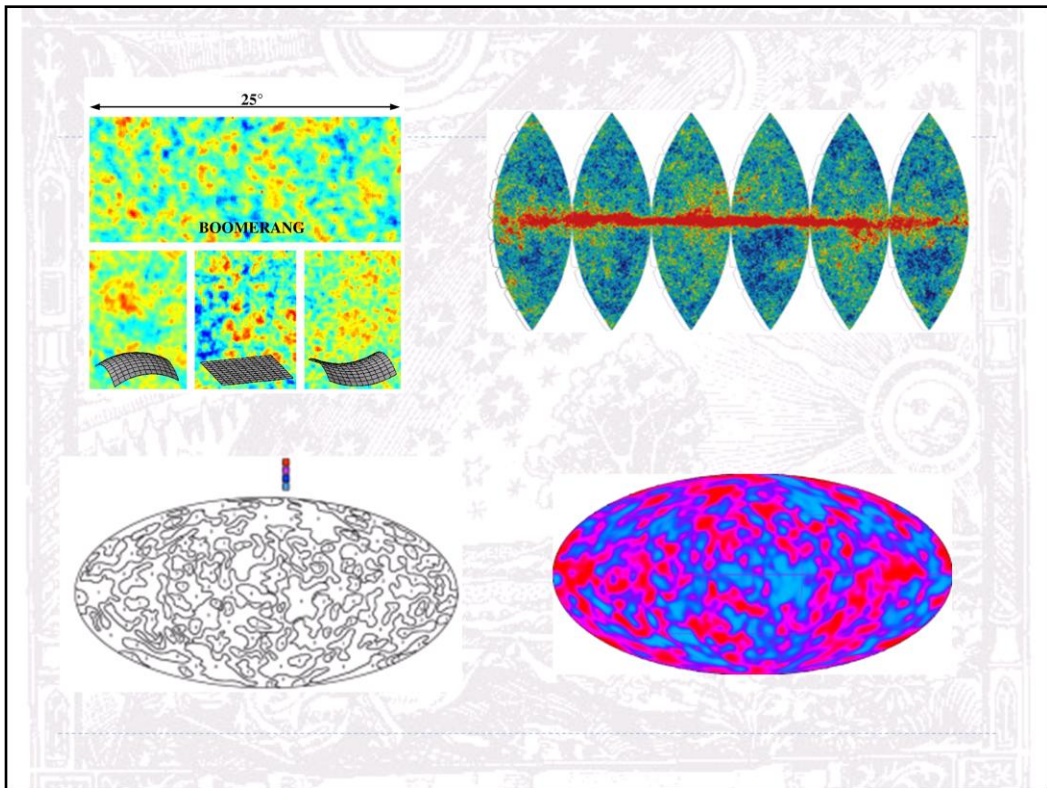
Záleží však na měřítcích – od  $10^8$  pc nahoru ale již homogenitu vesmíru konstatujeme. Kostka o hraně cca 200 milionů sv. let – reprezentativní vzorek vesmíru, takových leží v našem dohledu milion!

Ukažte kde se nachází střed pozorované expanze? Kde leží epicentrum výbuchu? Ve všech směrech – reliktní záření – nejstarší záření ve vesmíru k nám přichází izotropně

Hvězdy, galaxie jsou rozloženy rovnoměrně  
(na kosmologických škálách, tzn. v měřítku asi 1 Gly je  
vesmír homogenní)

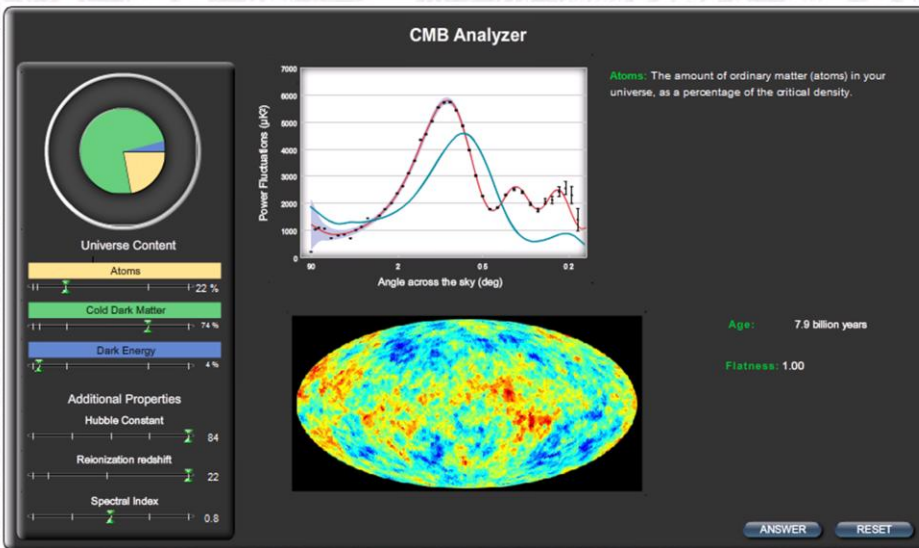


N



Změny hustoty

## Sestav si svůj vesmír



[http://map.gsfc.nasa.gov/resources/camb\\_tool/index.html](http://map.gsfc.nasa.gov/resources/camb_tool/index.html)

Fotony si nesou ve své paměti, jak byla "hmota - plazma - vesmíru" rozložena v okamžiku oddělení.

V případě, že se v okamžiku oddělení foton nacházel v hustší části prostoru, musel část své energie upotřebit na vymanění se z gravitačního působení, čímž se stal o něco chladnější.

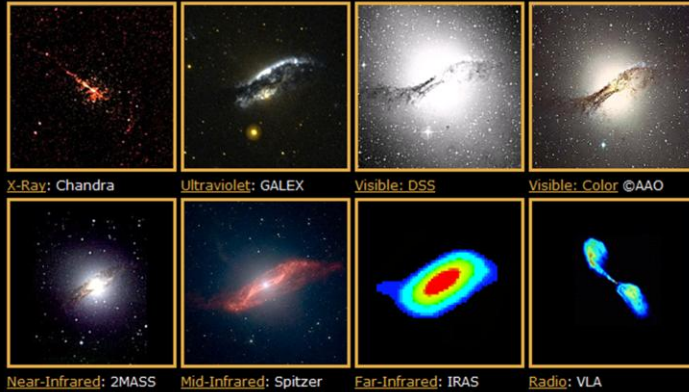
Fotony, které se nacházely v poněkud méně husté části vesmíru, ztratily méně energie než jiné fotony, tak objevují jako o něco teplejší, než je průměr.

Tak lze výkyvy teplot fotonů v reliktním záření považovat za odraz formování prvotních struktur, přítomných v raném vesmíru.

## Centaurus A

Distance: 11,000,000 ly light-years (3.4 Mpc)

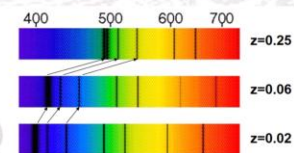
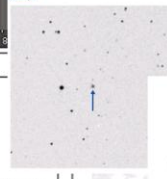
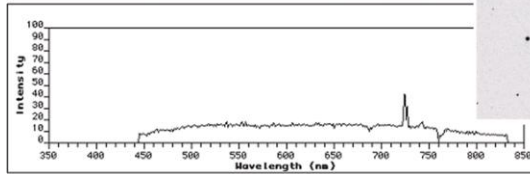
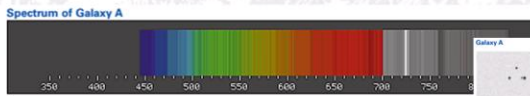
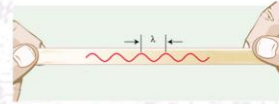
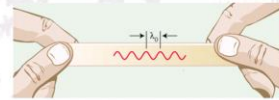
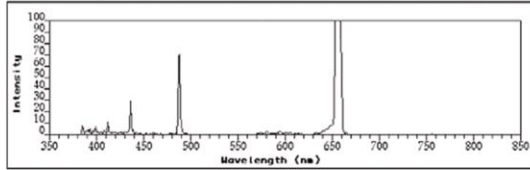
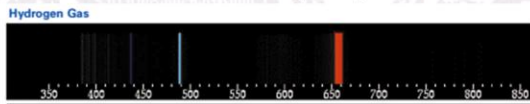
Visual Magnitude = 7.0



**Pekuliární galaxie** jsou galaxie po kolizi. Vznikají obyčejně vlivem vzájemného gravitačního působení těsných dvojic nebo skupin galaxií.  
optický obraz ukazuje velkou galaxii s pruhem prachu uprostřed  
infra ukazuje jasné centrum  
radio velké laloky plynu  
rtgx světlý pruh ukazující výtrysk plynu



## Práce se spektry



Spektrum Galaxie A má vodíkovou čáru na 724nm, hodnota na zemi je 656nm, rozdíl je 68nm, t.j.asi 10%.  
Rychlost pohybu Galaxie A je 10% c - tedy asi 30 000km/s.

$$z = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0}; \quad v = z \cdot c; \quad v = H \cdot r.$$

Spektrum Galaxie A má vodíkovou čáru na 724nm, hodnota na zemi je 656nm, rozdíl je 68nm, t.j.asi 10%.

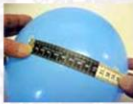
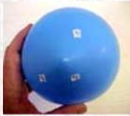
Tedy rychlost pohybu galaxie je 10% c - tedy asi 30000km/s.

## Jak se galaxie ve vesmíru pohybují ve vztahu k sobě navzájem?

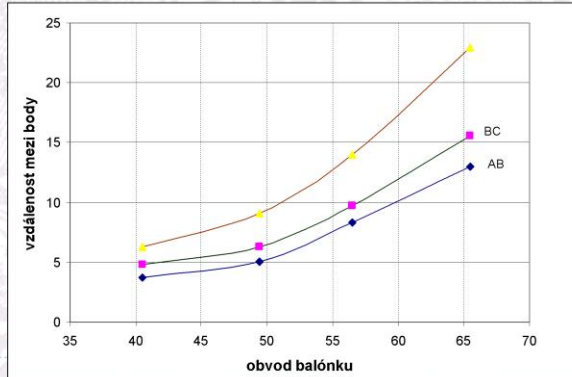
### Modelové analogie

#### Experiment 1 – rozpínání vesmíru Balónkový vesmír

Balónek	obvod cm	AB	BC	CA
stav 1	40,5	3,7	4,8	6,3
stav 2	49,4	5,1	6,3	9,1
stav 3	56,5	8,3	9,7	14
stav 4	65,5	13	15,6	23



Změny ve vzdálenostech mezi galaxiemi při rozpínání vesmíru

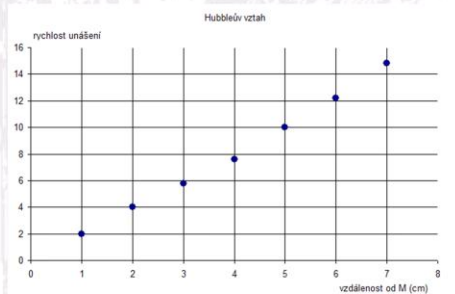


Byl to Edwin Hubble (1923), kdo jako první zjistil, že vzdálené objekty na noční obloze nejsou pouhé mlhoviny, ale obrovské galaxie hvězd. Díky jeho pozorování se ukázalo, že vesmír je rozsáhlejší, než si lidé do té doby představovali. Při zkoumání pohybu Galaxie vzhledem k poli nejbližších galaxií a zjistil, že červený posuv z spektrálních čar je zhruba přímo úměrný vzdálenosti galaxií. Tedy, že od pozorovatele vzdálenější galaxie se pohybují rychleji. Prokázal, že se vesmír neustále rozpíná, což je jeden z nejvýznamnějších objevů minulého století. Díky jeho zjištění se začala formovat moderní kosmologie, založená na Einsteinově teorii gravitace a zákonech světa atomů.

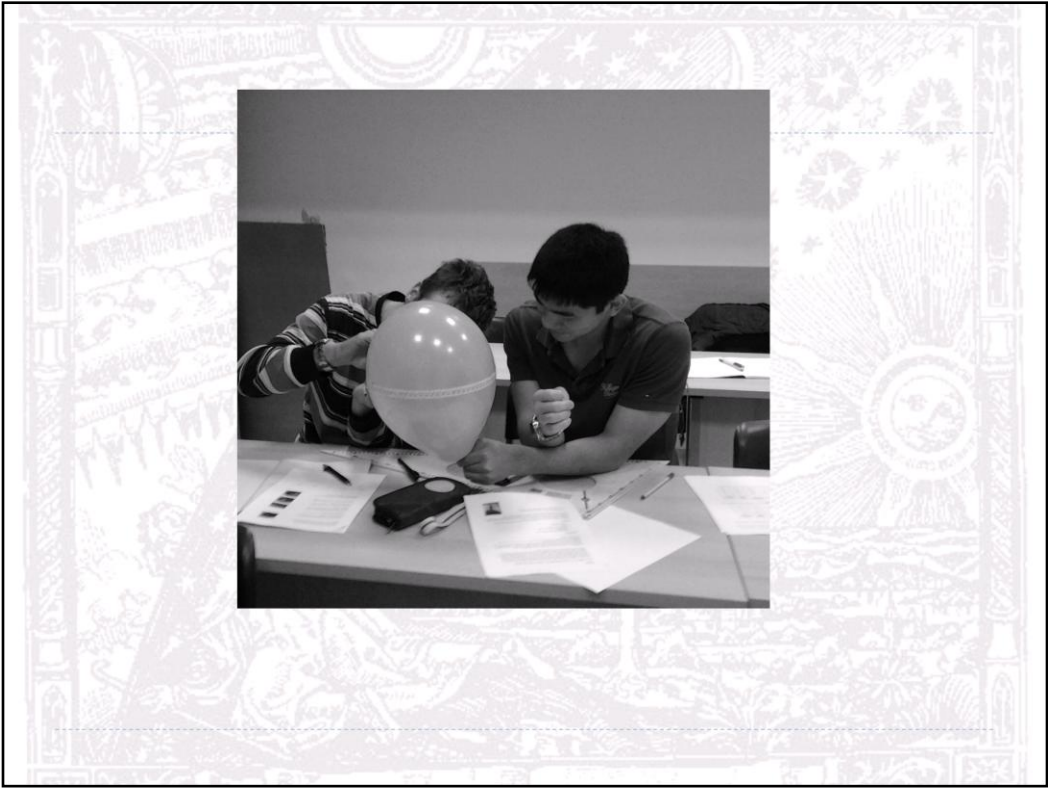
## Experiment 2 – běh na trati Vliv vzdálenosti na rychlosti vzdalování galaxií



Vyneste graf závislosti vypočtené rychlosti galaxií na jejich vzdálenosti od M.

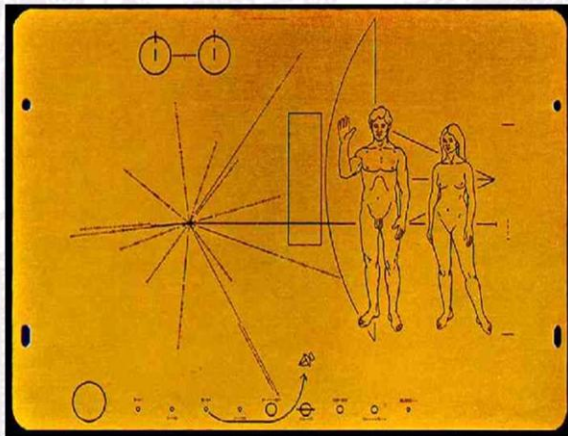


Galaxie	Původní vzdálenost od M (cm)	Vzdálenost od M po natažení (cm)	posun oproti původní poloze (cm)	Galaxie
				rychlost unášení (cm/s)
A	1	2	1	2
B	2	4	2	4
C	3	5,9	2,9	5,8
D	4	7,8	3,8	7,6
E	5	10	5	10
F	6	12,1	6,1	12,2
G	7	14,4	7,4	14,8

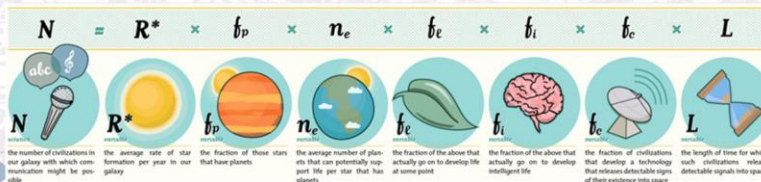


## Pionner 10 destička s poselstvím a zpáteční adresou

Zpáteční adresa



Země  
Sluneční soustava  
Spirální rameno  
Mléčná dráha  
Místní soustava galaxií  
Místní galaktická nadkupka  
Vesmír



Pioneer 10, který měl jako první lidmi vyrobené těleso opustit Sluneční soustavu. Pioneer 10 upozornit na lidskou civilizaci.

Navrhli umístit na něj destičku s poselstvím a zpáteční adresou.

Zpráva předpokládá několik věcí, které by případný inteligentní nálezce měl znát.

Nejprve je to binární tedy dvojková soustava, kterou využívají počítače. Z matematického hlediska je nejjednodušší.

Dále musí potenciační čtenář znát pulsary. Pulsary jsou extrémně husté, rychle rotující neutronové hvězdy, které ve velmi přesných intervalech vysílají charakteristické signály.

A nakonec zpráva předpokládá znalost frekvence vysílání neutrálního vodíku, jejíž vlnová délka činí 21 cm. Pod vlnovou délkou 18 cm rychle vzrůstá pohlcování elektromagnetických vln vodními parami. Kdežto nad vlnovou délkou 21 cm (což je frekvence vodíku) prudce vzrůstá přirozený rádiový šum. K mezihvězdné rádiové komunikaci se tak jeví jako nejlepší tzv. vodní díra 18-21 cm.

Pioneer 10 směřuje ven ze [sluneční soustavy](#) a míří ke hvězdě [Aldebaran](#) v souhvězdí [Býka](#) rychlostí 2,6 [AU](#) za rok., poslední signál r.2003, 12 miliard km

Výsledná zpráva zněla takto:

Autoři této zprávy žijí v místě určeném nejbližšími pulsary. Jejich planetární systém se skládá z devíti planet a vzdálenosti mezi jednotlivými planetami jsou různé.

Tato sonda byla vytvořena na třetí planetě.

Inteligentní bytosti žijící na třetí planetě mají dvě pohlaví. Jejich obrazy lze velikostně porovnat s obrazem této automatické sondy. K rádiové komunikaci nabízíme vlnovou délku 21 cm.

Poloha Sluneční soustavy v naší Galaxii je určena 14 pulsary a je vyobrazena v levé části obrazu.

Spojnice jednotlivých pulsarů s výchozím bodem ve dvojkové soustavě vyjadřují počet kmitů záření neutrálního vodíku na jeden kmit pulsaru v době startu. Délka čar pak představuje relativní vzdálenosti pulsarů od Slunce. Frekvence pulsarů s časem pravidelně klesá a tak bude možné vypočítat také čas startu sondy s přesností přibližně sto let.

Záření atomů vodíku, jejichž dva typy, charakterizované rotací částic, jsou zakresleny vlevo nahoře, tedy slouží jako jakési univerzální hodiny. Patnáctá čára bez binárního kódu, které vede přímo doprava, představuje relativní vzdálenost Slunce od středu Galaxie.

Ve spodní části obrazu je vyobrazeno Slunce a jeho devět planet. Vzdálenosti mezi jednotlivými tělesy jsou opět uvedeny ve dvojkové soustavě. Naznačená dráha sondy pak vyjadřuje, na které planetě žijí její tvůrci.

## Závěrem

Pochopení některých aspektů kosmologie je pro hlubší porozumění našemu světu, v němž žijeme důležité.

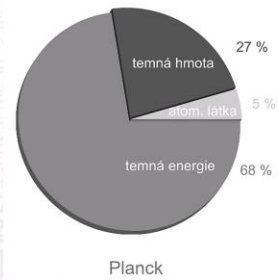
Mnohé z kosmologických přístupů pomůže porozumět problémům z jiných oborů fyziky.

Kosmologie umožňuje formulovat zajímavé, dobře definované problémy, které pomáhají rozvíjet schopnosti kreativního i kritického myšlení.



## Stručný souhrn poznatků

- ▶ vesmír je na největších rozměrech uniformní
- ▶ vesmír jako celek se rozpíná
- ▶ vesmír má specifické zastoupení chemických prvků
- ▶ vesmír vyplňuje reliktní mikrovlnné záření
- ▶ existují nepatrné anizotropie reliktního záření
- ▶ přítomnost „temné hmoty a temné energie“
- ▶ Zpřesnění:
  - Hubbleova konstanta  $67 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$
  - Stáří vesmíru  $13,8 \cdot 10^9$  let
  - Oddělení záření od hmoty  $\sim 380\,000$  let po BB



stručný přehled základním faktů o vesmíru, nepůjde nám o chronologický popis zjištěných skutečností, ale o jejich shrnutí z pohledu soudobé kosmologie

V diskusích a v kuloárech se můžeme k nim vrátit podrobně

Baryony

Hubble ST