

# Kosmologie – Jak víme, že byl Velký třesk?

Vladimír Wagner

Ústav jaderné fyziky AVČR, 250 68 Řež, E\_mail: WAGNER@UJF.CAS.CZ, WWW: ojs.ujf.cas.cz/~wagner/

## 1. Úvod

## 2. Rozpínání vesmíru (stovky milionů let)

### 2.1 Žebříček vzdáleností

### 2.2 Využití supernov Ia

## 3. Tvorba prvků (3 minuty)

### 3.1 V raném vesmíru

### 3.2 Ve hvězdách

## 4. Reliktní záření (400 tisíc let)

### 4.1 Teplota reliktního záření

### 4.2 Fluktuace teploty reliktního záření

## 5. Evoluce hvězd i galaxií (stovky milionů let)

### 5.1 Ranné hvězdy bez uhlíku

### 5.2 Ranné velmi aktivní galaxie

## 6. Co bylo před „Velkým třeskem“?

## 7. Závěr



## James Peebles – Nobelova cena za fyziku 2019 (polovina)



Za vysvětlení původu vesmírného mikrovlnného záření jako pozůstatku horkého a hustého počátku našeho vesmíru

Předpověděl chování fluktuací tohoto reliktního záření a jeho využití pro poznání vlastností a vývoje vesmíru.

Předpověděl vlastnosti produkce prvků v raném vesmíru, hlavně neexistence těžkých prvků.

Jde o jednu z největších postav teoretické kosmologie i jeden z nejschopnějších popularizátorů kosmologického bádání

## Roger Penrose – Nobelova cena za fyziku 2020 (polovina)



Za objev, že existence černých děr je potvrzením i nástrojem pro testování obecné teorie relativity.

Trochu i cena pro již zesnulého Stephena Hawkinga.

Hledání kvantové teorie gravitace.

Nalezení specifických procesů a zákonitostí spojených s řešeními obecné teorie relativity vedoucími k černým díram.

Spojitost mezi černými děrami a entropií, Hawkingovo záření černých děr.

Existence černých děr potvrzena pomocí gravitačních vln (Nobelova cena 2017).



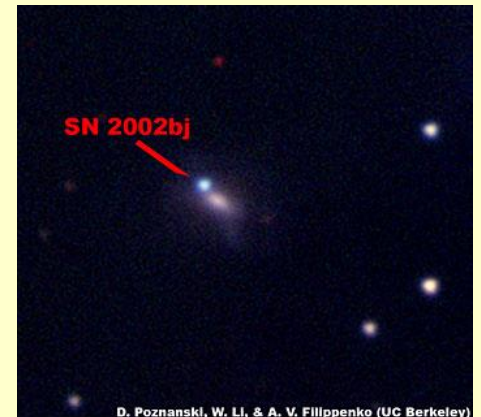
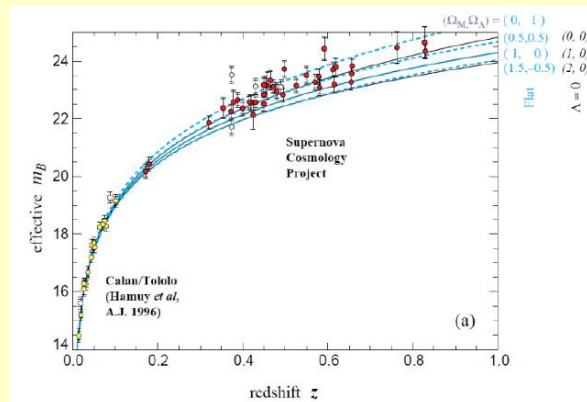
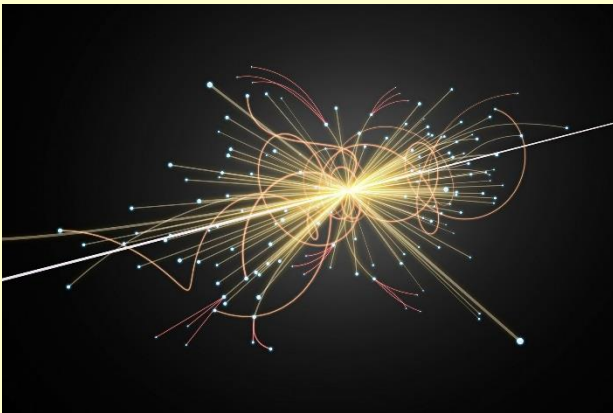
# Úvod

Klíčová pro budování kosmologických modelů a testování hypotéz, modelů a teorií jsou experimentální data – jejich co největší přesnost a spolehlivost

- Důležité události:
- 1) Zpracování obrovské množství přesných astrometrických dat z observatoře Gaia
  - 2) Zvyšování statistiky pozorování gravitačních vln – start nového běhu měření LIGO a VIRGO, start detektoru Kagra
  - 3) Nové experimentální období na LHC
  - 4) Zahájení měření hmotnosti neutrina experimentem KATRIN

**Standardní kosmologický model založen na platnosti Standardního modelu hmoty a OTR**

Zatím nová data spíše potvrzují platnost Standardního modelu hmoty a OTR  
Různé pozorované limity na projevy nové exotické fyziky spíše vyřazují stále další alternativní teorie



# Navázání na existující teorie a jejich zobecnění

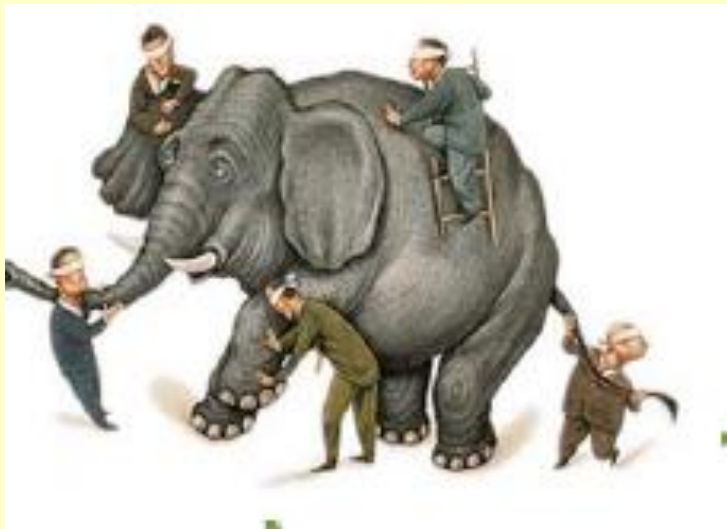
Přirozený přístup, který se osvědčil v minulosti – předpoklad platnosti stejné fyziky v různých místech i systémech.

Vychází se z platnosti stávajících teorií a hledají se odchylky, které nás přivedou k novým teoriím.

Předpoklad správnosti Standardního modelu hmoty a OTR

Platí koperníkovský princip (homogenita a izotropie na velkých škálách), nízká hustota  
Současný standardní kosmologický model – rozpory jsou vysvětleny chladnou temnou hmotou a temnou energií

Jako jediný dává jednotný, konzistentní popis komplexu známých experimentálních dat.



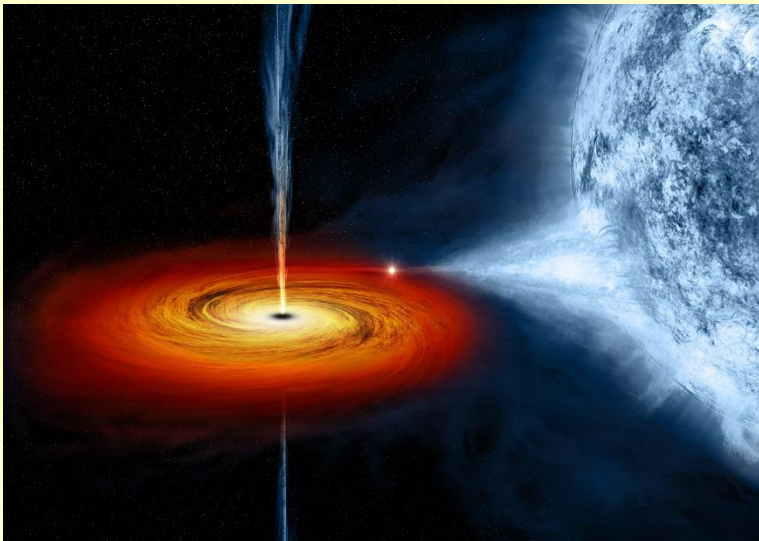
# Nutnost extrapolace

Pokud ze chceme dostat za hranice známého, musíme extrapolovat (extrapolace v čase, v rozměrech – extrémně malých či extrémně velkých, k extrémně velkým hodnotám intenzit různých polí, k extrémně malým hodnotám veličin)

**Přirozeně se vždy začíná s extrapolací známé ověřená teorie do oblasti nově otevřené** – ověřuje se, zda i v oblasti extrapolace funguje – v případě rozporu se hledá nová

**Pár příkladů:**

- 1) Extrapolace Newtonovy teorie na Sluneční soustavu – velmi úspěšné
- 2) Extrapolace klasické fyziky do mikrosvěta – objev kvantové fyziky



Extrémní intenzita gravitačního pole v blízkosti černých děr testuje gravitační teorie



LHC testuje extrémně malé rozměry a extrémní hustoty energie

# Hypotéza, model a teorie

Jednotlivé stupně lidského poznání:

**Hypotéza** - návrh hlavních předpokladů popisu, zatím neověřeno experimentálně  
příklad: Koperníkova hypotéza heliocentrické soustavy

**Model** - soubor pravidel umožňujících zjednodušený popis - příklad:  
Keplerův model Sluneční soustavy vypracovaný na základě pozorování  
Tycho Brahe

**Teorie** - soubor pravidel, který umožňuje kvantitativně popsat přesně a komplexně  
experimentální data - příklad:  
Newtonův popis Sluneční soustavy na základě Newtonovy teorie gravitace

**!!! SPRÁVNOST OVĚŘÍ JEN EXPERIMENT !!!**

**Dráhy všech současných meziplanetárních sond  
se počítají pomocí Newtonovy teorie gravitace**

**Obecnější teorie gravitace – Einsteinova obecná  
teorie relativity – je nutná až v „extrémnějších“  
podmínkách**

**Sonda New Horizons u Pluta**



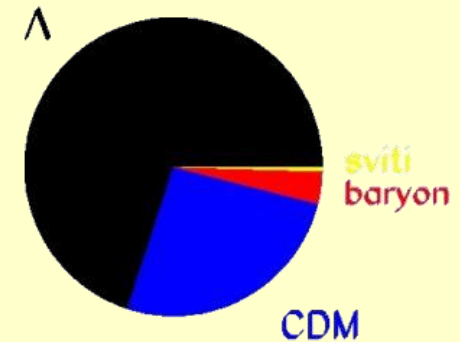
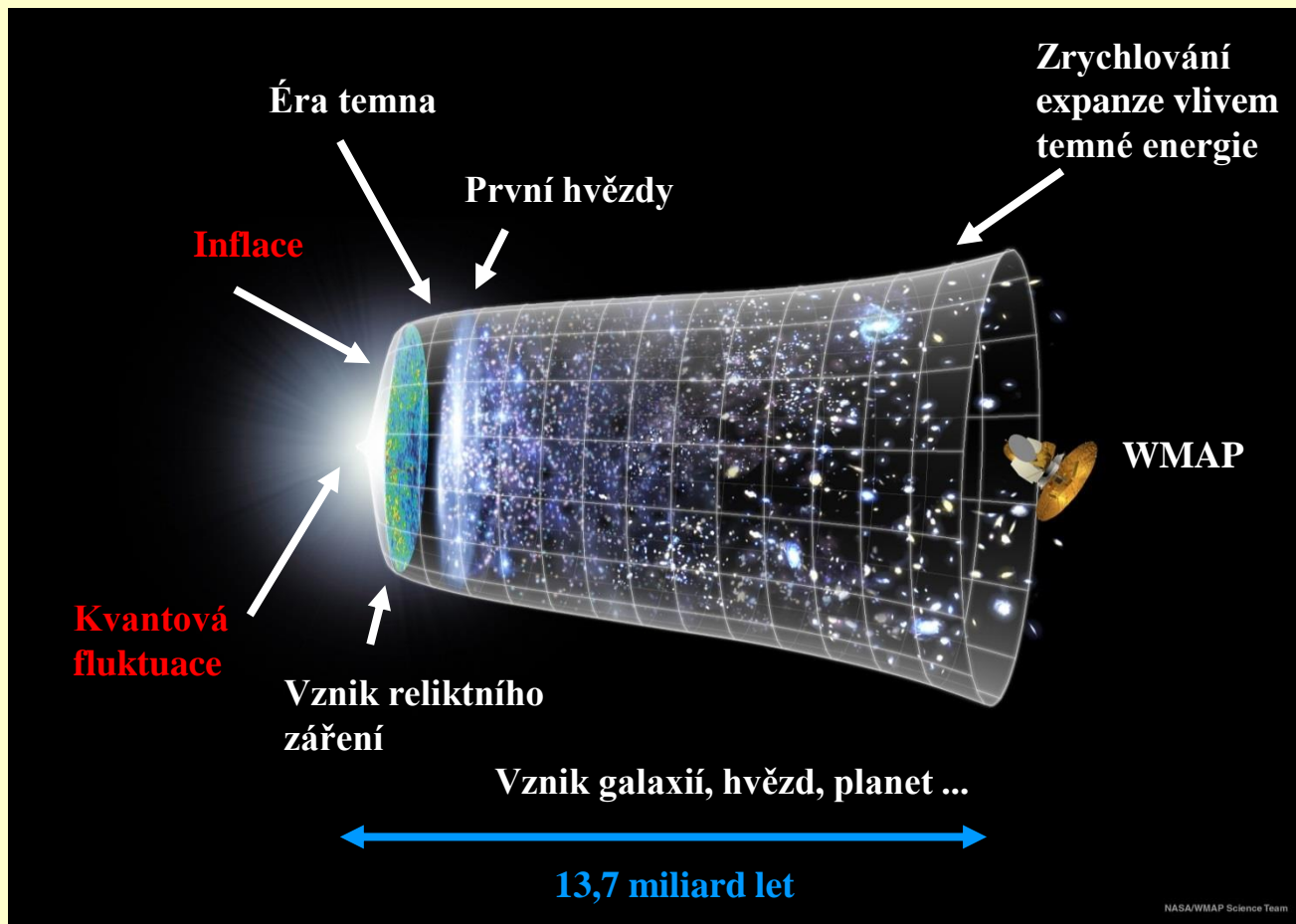


# Standardní kosmologický model

Založený na standardním modelu hmoty a interakcí a obecné teorii relativity

Předpoklad homogenity a izotropie na dostatečně velkých škálách

Víme, že během vývoje vesmíru nastaly a nastávají podmínky, které nedokáží současné teorie popsat → **standardní model obsahuje prvky nezapadající do známých teorií** (jejich popis se teprve hledá) – víme tak o jeho limitech



**Baryony:** 4,9 %  
**Temná hmota:** 25,8 %  
**Temná energie:** 69,2 %

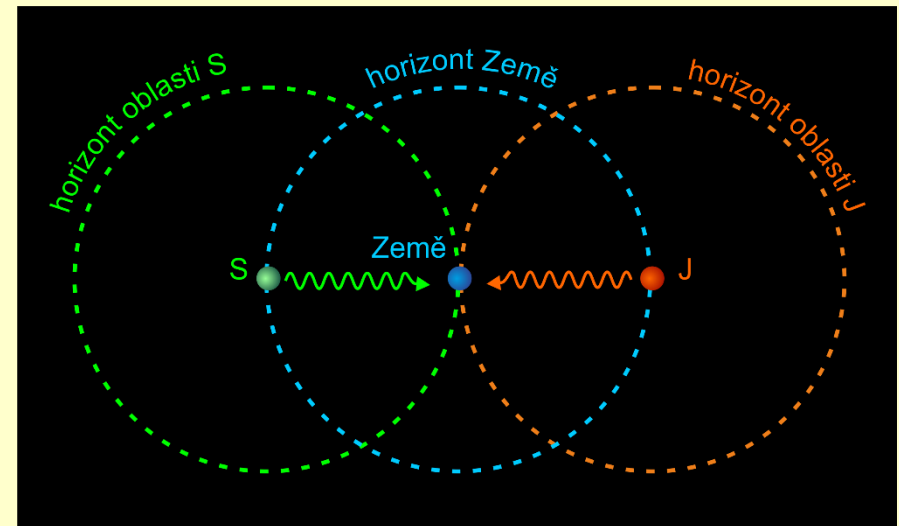
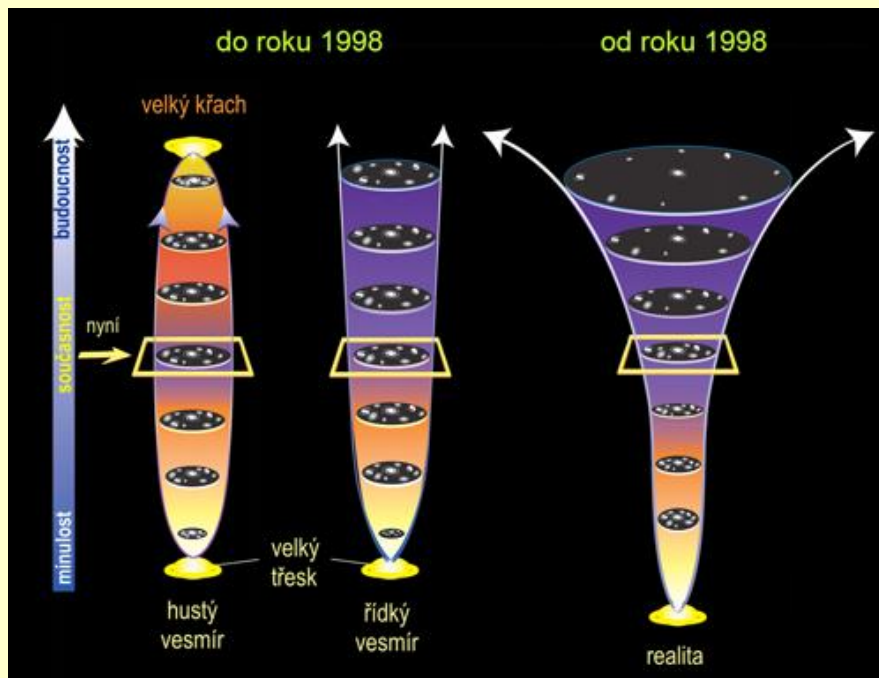
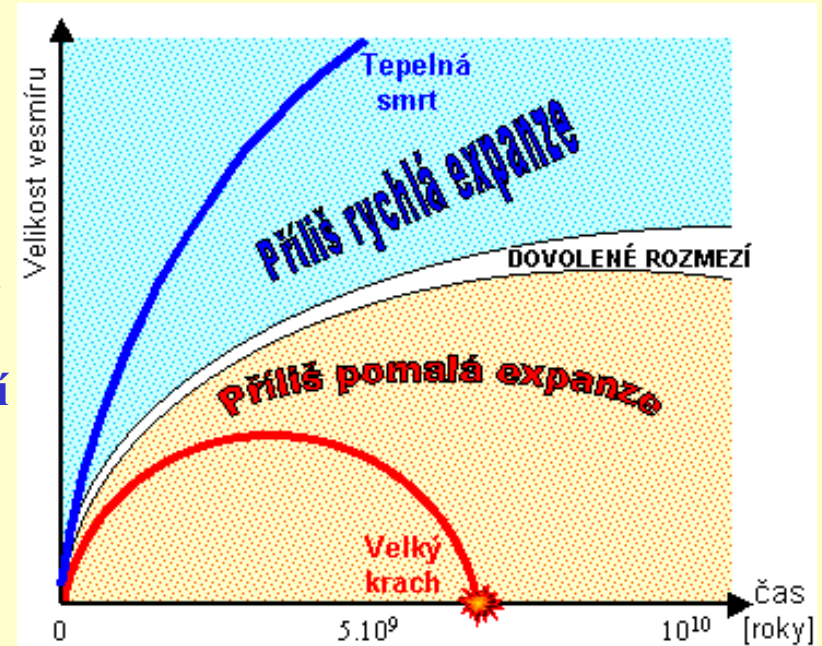
**Hubbleova konstanta:**  
 $70 \pm 3 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$

**Stáří vesmíru:**  
13,7 miliard let



# Rozpínání Vesmíru

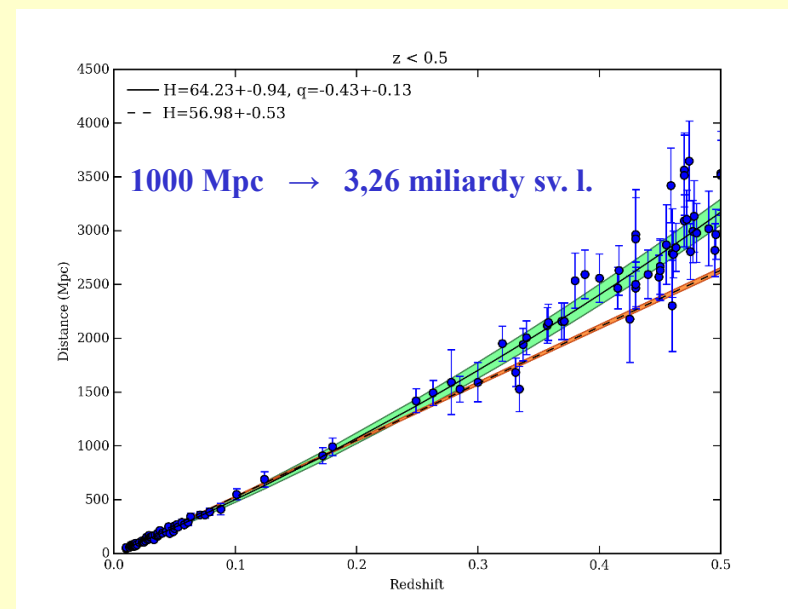
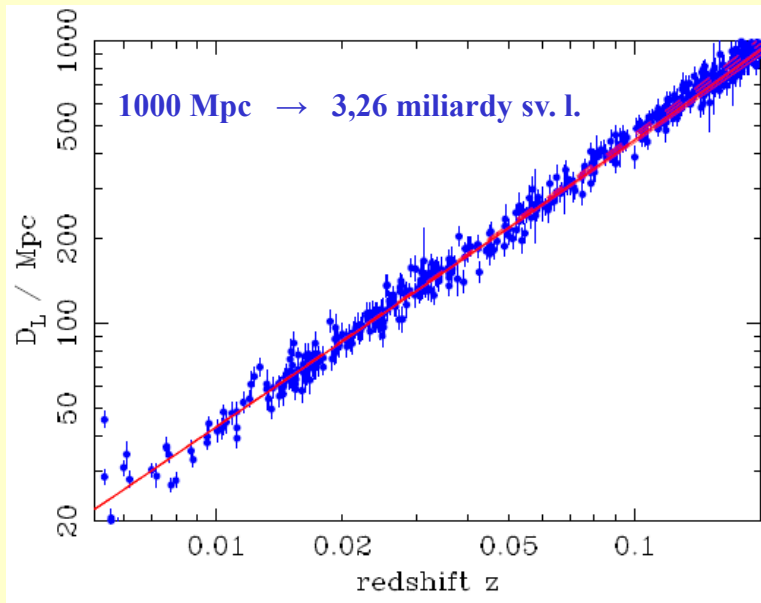
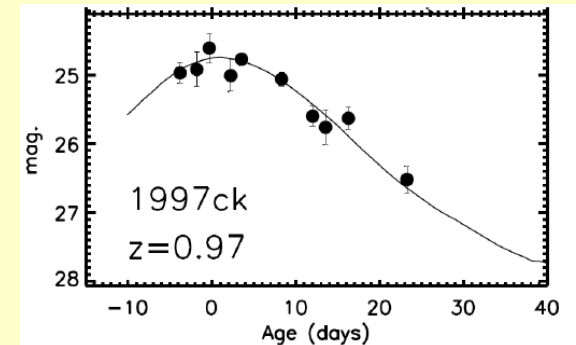
- 1) Vesmír může být konečný i nekonečný
- 2) Vesmír je neohraničený
  - a) povrch balónku je konečný a neohraničený
  - b) povrch nekonečné roviny je nekonečný a neohraničený
- 3) Rozšiřování prostoru – tělesa se nepohybují ale vzdalují se jeden od druhého



# Žebříček vzdáleností

Určování vzdálenosti:

- 1) Měření paralaxy - triangulační metoda, modelově nezávislá, družice Gaia (dosah ~30000 sv.l.)
- 2) Pomocí cefeid (do vzdálenosti až 60 milionů sv. let)
- 3) Pomocí supernov typu II - absolutní jasnosti se dost různí → dosah je třetina pozorovaného vesmíru
- 4) Pomocí supernov typu Ia - stejná absolutní jasnost →  
→ vysoká přesnost, je jich méně, dosah celý pozorovaný vesmír
- 5) Pomocí galaxií, gravitačních čoček, záblesků gama ...



Vztah mezi rudým posuvem a vzdáleností

# Měření poloh a rychlostí hvězd v Galaxii

Gaia (2013 – 2022?) → a dále

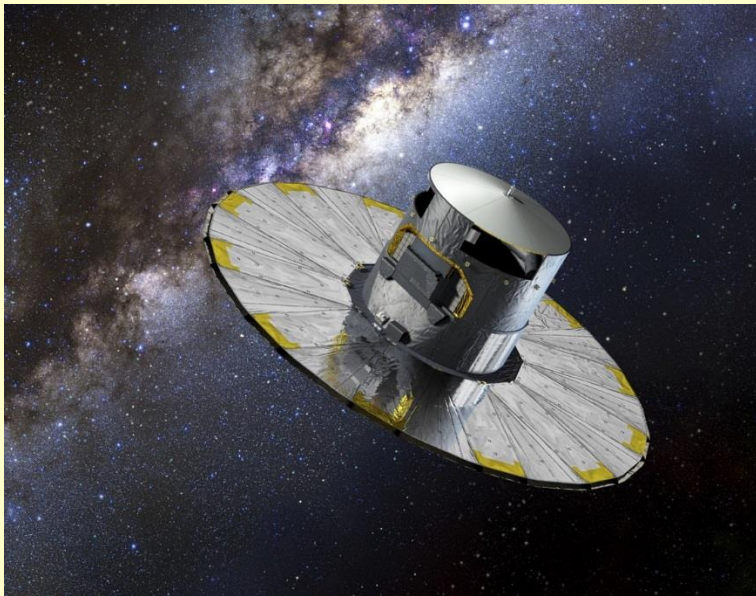
Pozorování okolo miliardy hvězd (1 % populace Galaxie), 20 milionů hvězd vzdálenost přesněji než 1 %, 200 milionů hvězd s přesností do 10 % (až po galaktický střed – 30 000 sv. l.)

Klíčové pro přímé zjišťování vzdálenosti pomocí paralaxy a nastavení (kalibrace) vzdálenostních škál (třeba cefeid nebo dalších objektů)

Zlepšení přesnosti měření zakřivení světla hvězd v blízkosti Slunce

2018 – druhé uvolnění souhrnu získaných dat

2019 – s využitím dat s velkým dosahem získán 3D obraz galaktické příčky naší Galaxie



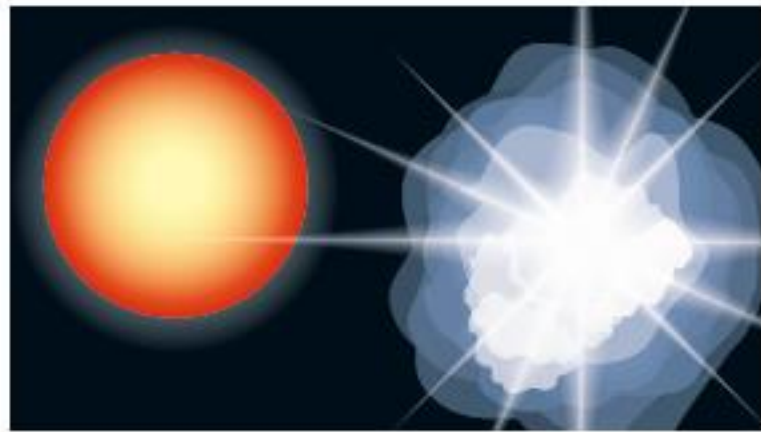
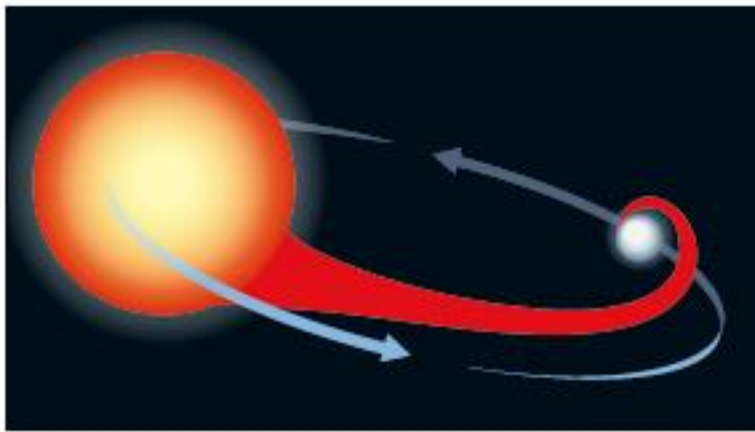
Evropská astrometrická observatoř Gaia



Model naší Galaxie – Gaia „zviditelnila“ její příčku

## Využití supernov 1a

Dvojhvězda složená z rudého obra a bílého trpaslíka, přetok hmoty z rudého obra na bílého trpaslíka, při **přesně definované hmotnosti** bílého trpaslíka překročení „Chandrasekharovy“ limity, zapálení **nekontrolovaných** termojaderných reakcí a exploze supernovy 1a



V takovém případě je poměrně přesně definovaná hodnota uvolněné energie  $1-2 \cdot 10^{44}$  J

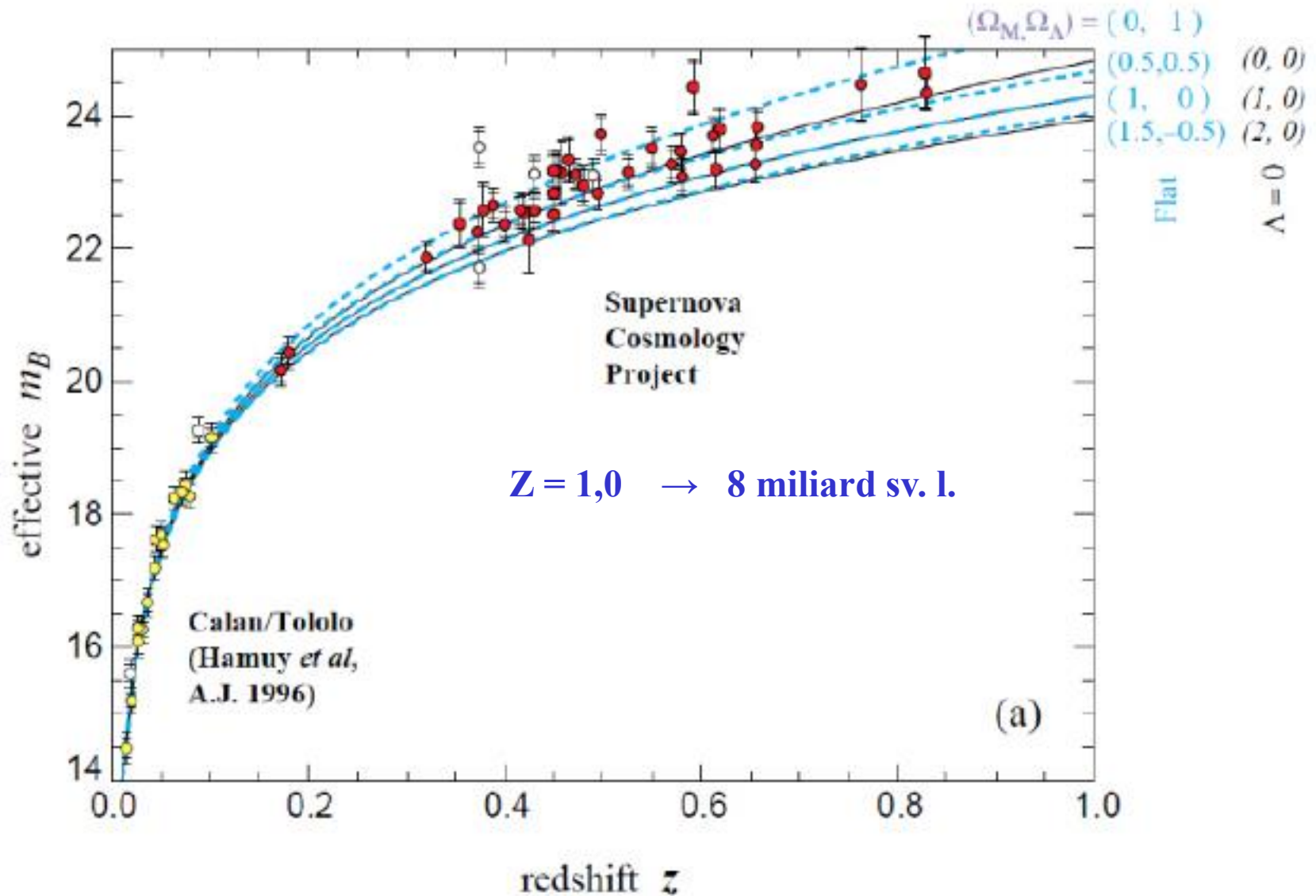
Existují i možnosti, že druhou hvězdou není rudý obr, ale jiná hvězda, včetně bílého trpaslíka. V tom případě mohou být odchylky od uvedené energie

Supernova SN 1994d v galaxii NGC 4526 a  
SN 2011fe v blízké galaxii M101



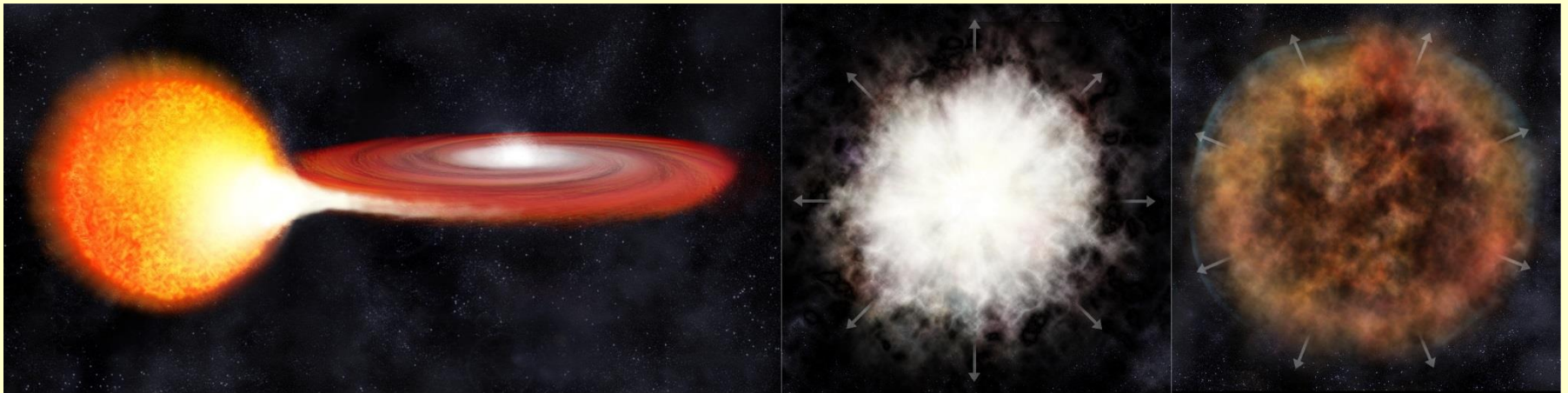


Pozorování vzdálených → mladých částí vesmíru – změny rozpínání v čase  
(pozorování supernov Ia → **zrychlování rozpínání** – ? temná energie vakua ?)



# Jak ovlivní evoluce supernov 1a množství temné energie?

- 1) Supernovy 1a jsou využívány jako standardní vesmírné svíčky
- 2) Využity k určení vývoje rozpínání vesmíru až do největších vzdáleností
- 3) Otevřenou otázkou je přesnost definice uvolněné energie
- 4) Více možných vlivů na střední intenzitu exploze:
- 5) Různý typ dvojhvězdných zdrojů jako původce supernovy 1a typu
- 6) Možnost změny poměrů mezi různými zdroji
- 7) Možné změny chemického složení
- 8) Možnost různého zastoupení prachu v různých galaxiích



Nejčastější představou zdroje je dvojhvězda rudého obra a bílého trpaslíka

# Extra velký dalekohled ELT a James Webb vesmírný dalekohled



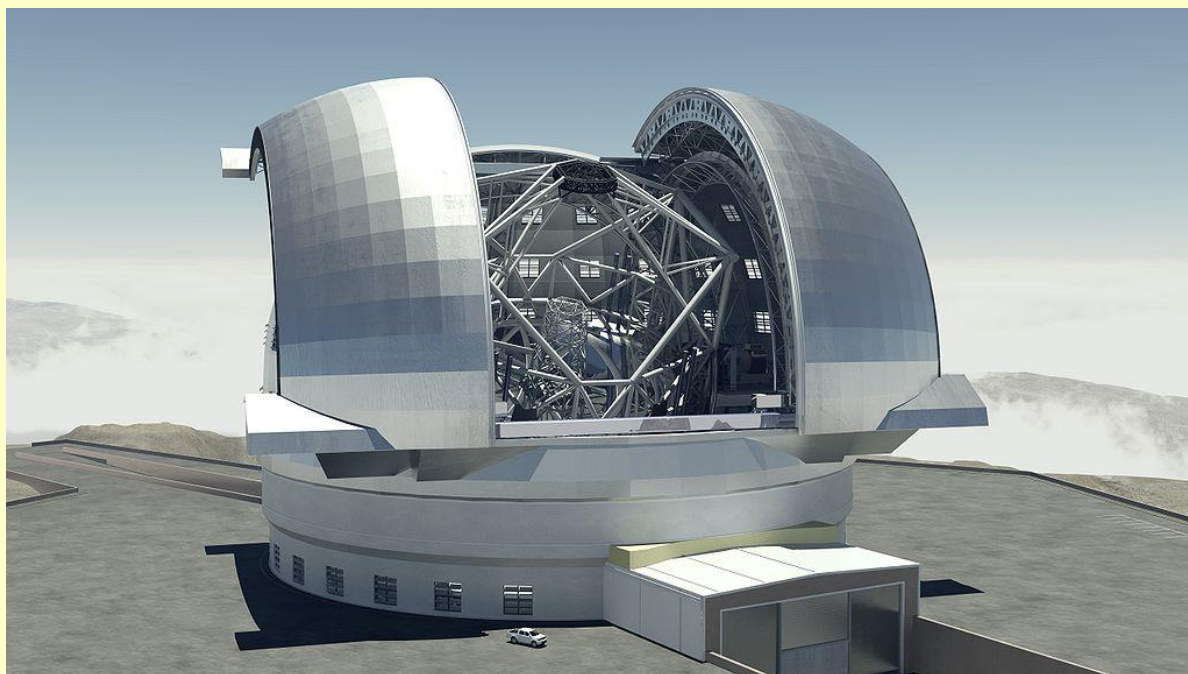
HST



VLT+AO



ELT



ELT – 2025  $d = 39,3$

Webb – 2021  $d = 6,5$  m

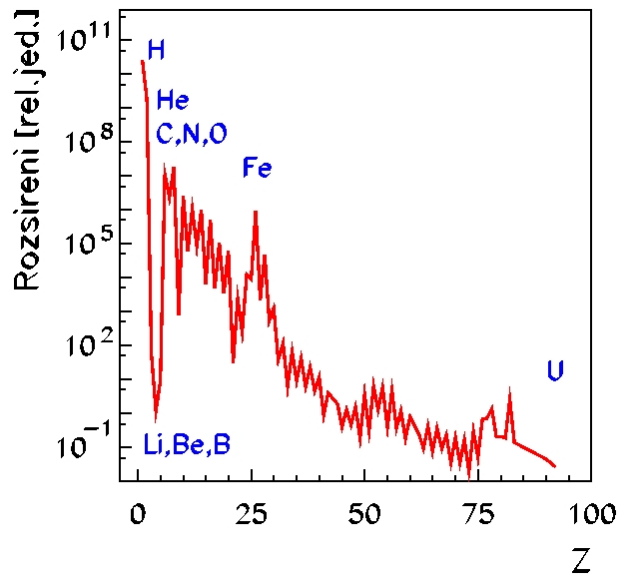




# Jaderné reakce – vysvětlení zdrojů energie a původu prvků

*"Teorie o vzniku chemických prvků musí vysvětlit rozšíření jednotlivých prvků ve vesmíru"*

**V průběhu vývoje vesmíru se zastoupení různých prvků mění**



Pozorované rozšíření prvků ve vesmíru  
(C.A. Barnes et al: *Jaderná astrofyzika*,  
Camb. University Press 1983)

**Pochopení přesného průběhu vzniku prvků ve hvězdách**

**Nutno znát přesné hodnoty pravděpodobností reakcí**

**Zkoumání pomocí přímých i nepřímých metod**

**Využití cyklotronu ÚJF AV ČR i reaktoru nebo  
neutronových zdrojů**

**Počáteční podmínky - chemické prvky vzniklé  
ve Velkém třesku**

**Chemické prvky vzniklé v průběhu života hvězd**

**Nejlehčí (vodík, helium) – Velký třesk**

**Lehčí – hvězdy slunečního typu**

**Těžší až po železo – velmi hmotné hvězdy**

**Nejtěžší (zlato, uran) – výbuch supernovy, splynutí  
neutronových hvězd**

**Silně závisí na pravděpodobnostech různých  
jaderných reakcí**





# Prvotní tvorba prvků

**Primordiální nukleosyntéza** - vysvětlí pozorované množství hélia, deuteria a lithia – 23 % baryonové hmoty tvoří  $^4\text{He}$  – může vznikat v reakcích přes mezistupeň D, T a  $^3\text{He}$ :

Většina nukleosyntézy  $T \approx 10^9 \text{ K} \rightarrow t \approx 200 \text{ s}$

**! zastoupení  $^4\text{He}$  nelze nijak objasnit z nekosmologických zdrojů !**

je to informace ze zatím nejzaššího období alespoň nepřímo dostupného

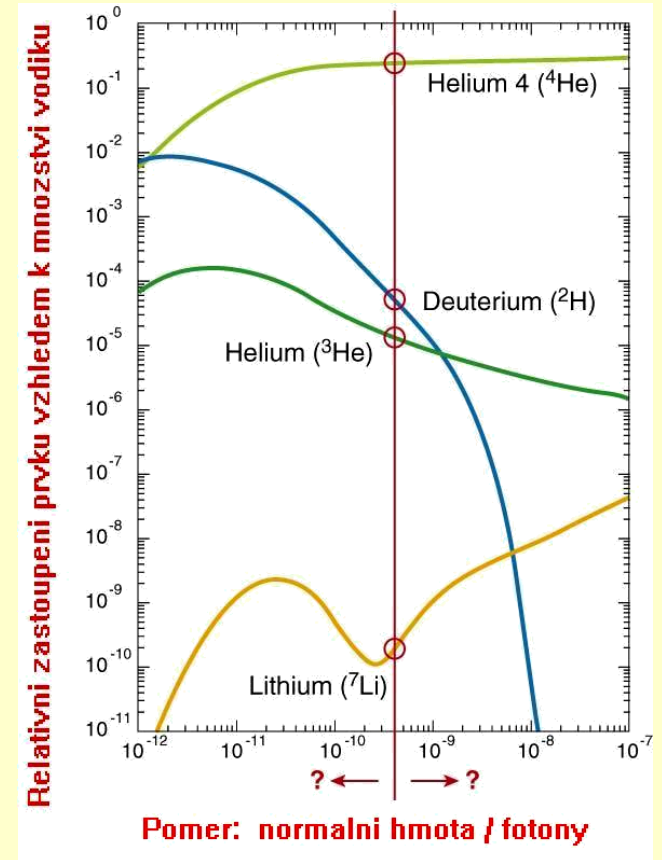
zastoupení ještě těžších jader  $^6\text{Li}$ ,  $^7\text{Li}$ ,  $^9\text{Be}$  a  $^{11}\text{B}$  může být ovlivněno i průběhem hadrosyntézy



Snímek ve směru středu Galaxie



Spektrometr AMS-02  
Návrat sondy Genesis

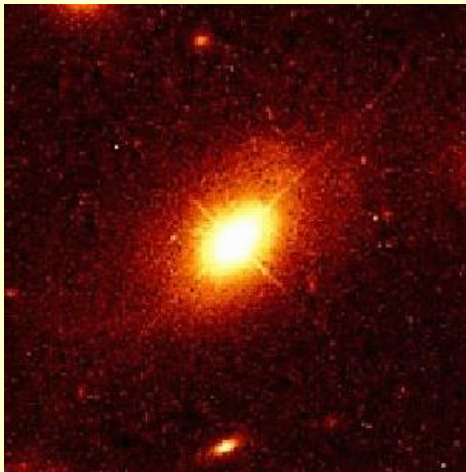


Zastoupení lehkých prvků  
(převzato ze stránek NASA)

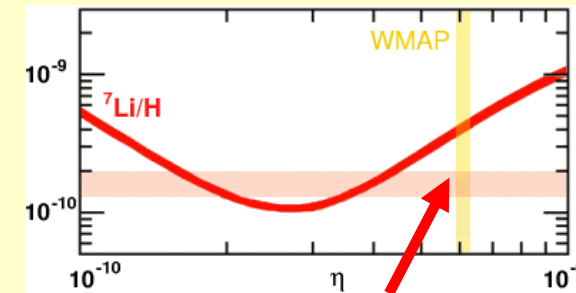
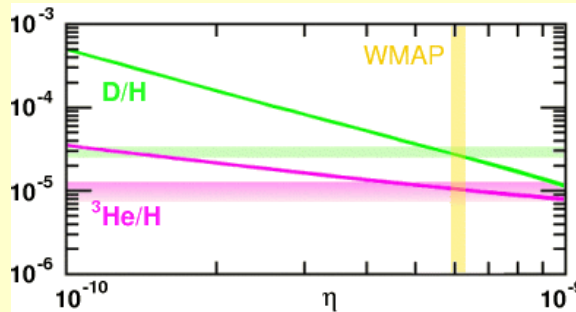
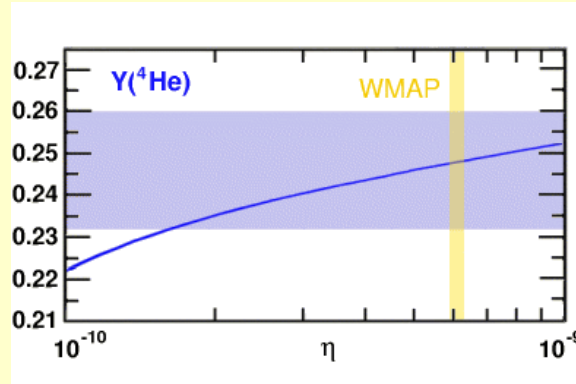
# Pozorované množství jednotlivých prvků



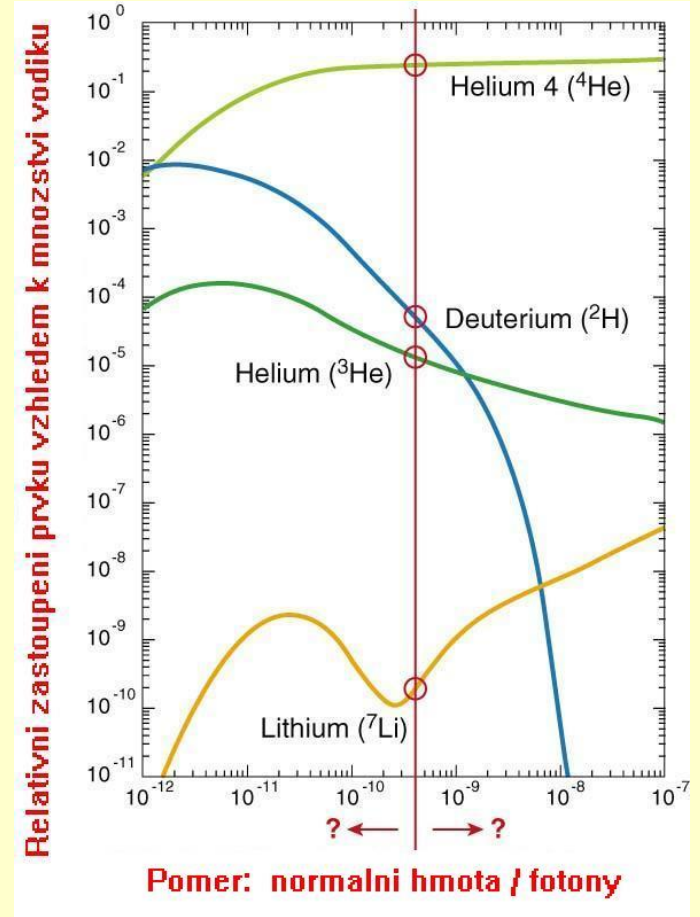
Trpasličí galaxie slouží k určení množství  $^4\text{He}$  (foto Hubble)



Vzdálené kvazary ukazují složení ranného vesmíru



Diskrepance mezi teorií a experimentem pro  $^7\text{Li}$



Složení hmoty ve vesmíru:

- 1) Baryonová hmota 0,045(1)
- 2) Nebaryonová 0,30(10)
- 3) Energie vakua 0,8(2)

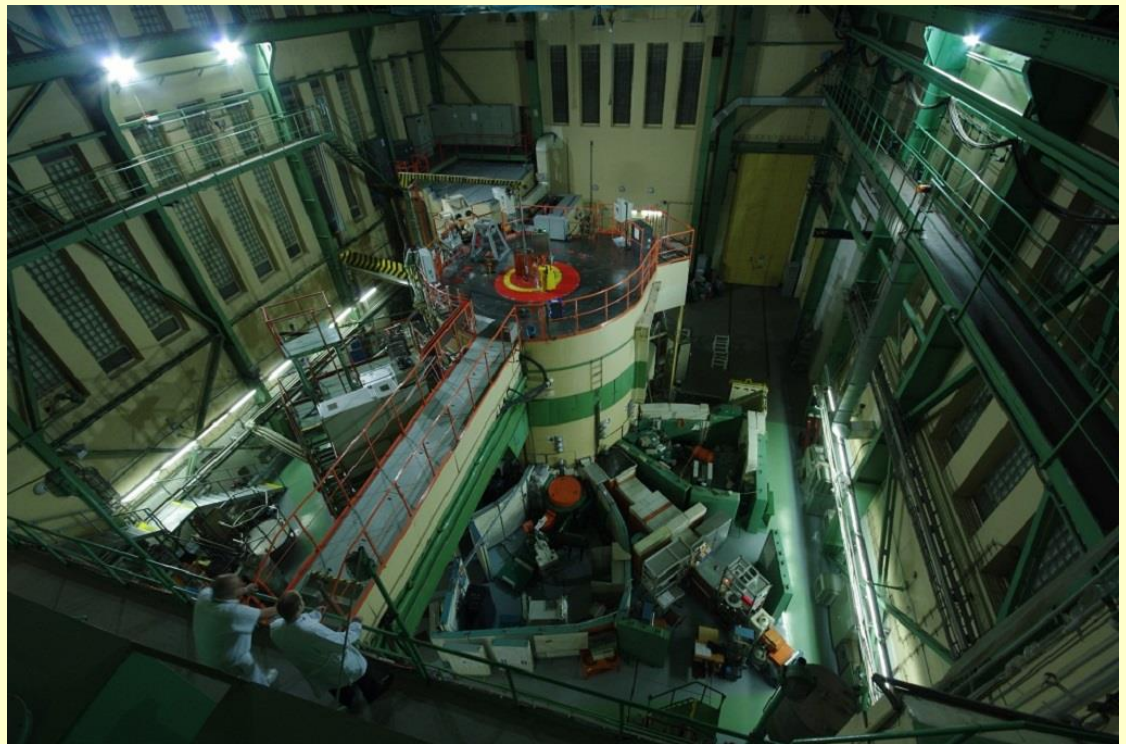
# Kosmologická produkce lithia ${}^7\text{Li}$

Důležitým prvkem nejistoty je neznalost pravděpodobností neutronů s nízkými energiemi s beryliem  ${}^7\text{Be}$  – tedy reakce  ${}^7\text{Be}(n,p){}^7\text{Li}$

Experiment s určením účinného průřezu termálních neutronů s využitím kanálu reaktoru LVR-15 v Řeži

Určená hodnota účinného průřezu termálních neutronů s beryliem  ${}^7\text{Be}$  je velmi důležitá testovací hodnota pro normalizaci závislosti pravděpodobnosti této reakce na energii v rozmezí teplot dané etapy Velkého třesku.

**Účinný průřez:**  
43 000 (1 600) barn



Reaktor LVR-15 patří CVŘ s.r.o. v Řeži

I. Tomandl et al: Measurement of the  ${}^7\text{Be}(n,p)$  cross section at thermal energy, Phys. Rev. C 99 (2019), 014612



# Destrukce beryllia v reakci ${}^7\text{Be}(n,\alpha){}^4\text{He}$

Konkurenční reakce k předchozí – také silně ovlivňuje konečné množství  ${}^7\text{Li}$

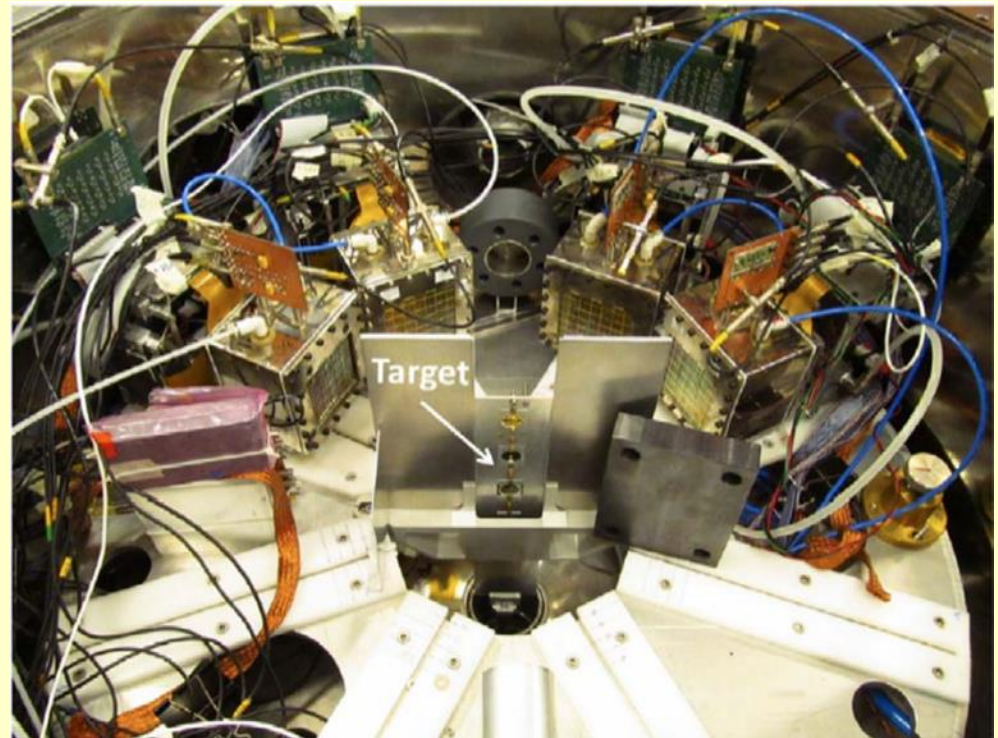
Velký problém získání neutronů s přesně definovanou nízkou energií, při využití nabitých částic je problém s **překonáním coulombovského odpuzování**

Využívá se nepřímé metody, zde se využila metoda Trojského koně

Reakce  ${}^7\text{Be}(d, p)\alpha{}^4\text{He}$



Cyklotron U-120M



Komora využitá k měření



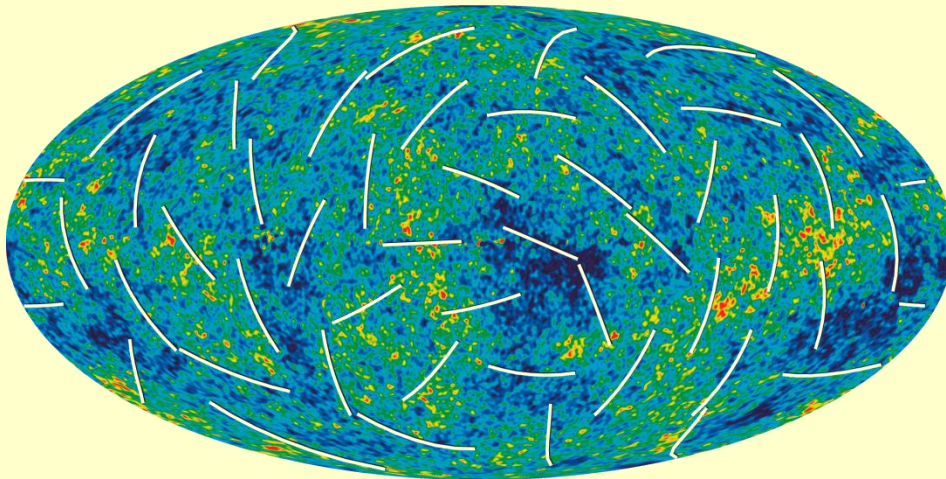
# Reliktní mikrovlnné záření

mikrovlnné záření s teplotou 2,7 K

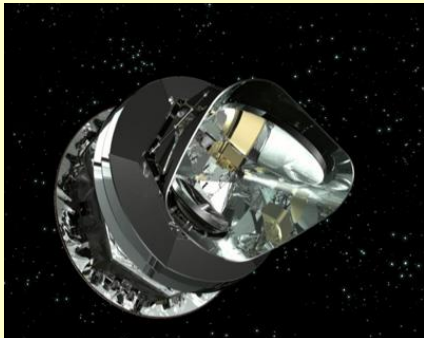
izotropní – malé odchylky teploty odpovídají prvotním nehomogenitám

vznik při  $T \approx 4000$  K (0,3 eV – energie ionizace atomu H)  $\rightarrow t \approx 384\,400$  let

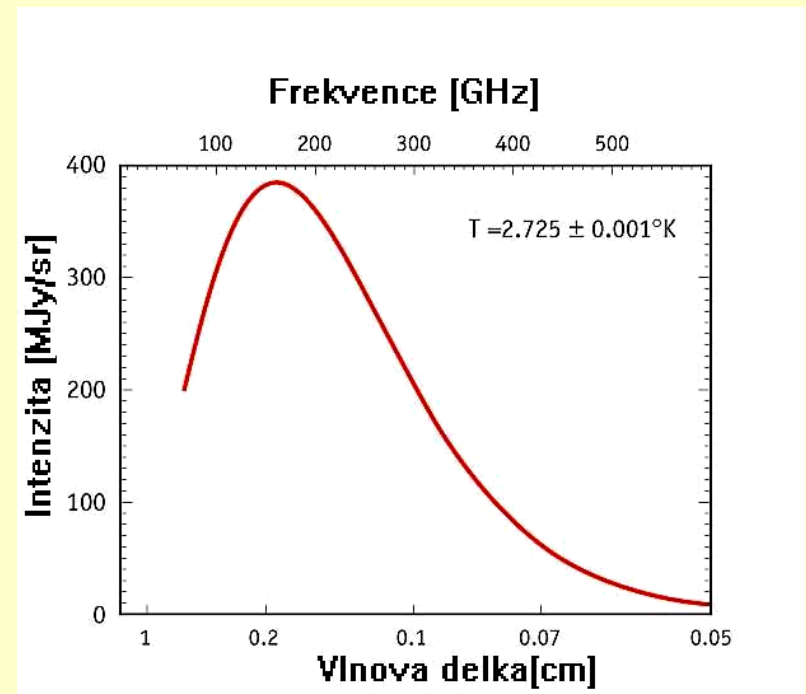
pokles teploty  $T \sim R^{-1}$  (energie fotonů klesá s rozpínáním  $h\nu \sim R^{-1}$ )



Výsledná mapa reliktního záření po třech letech činnosti sondy WMAP



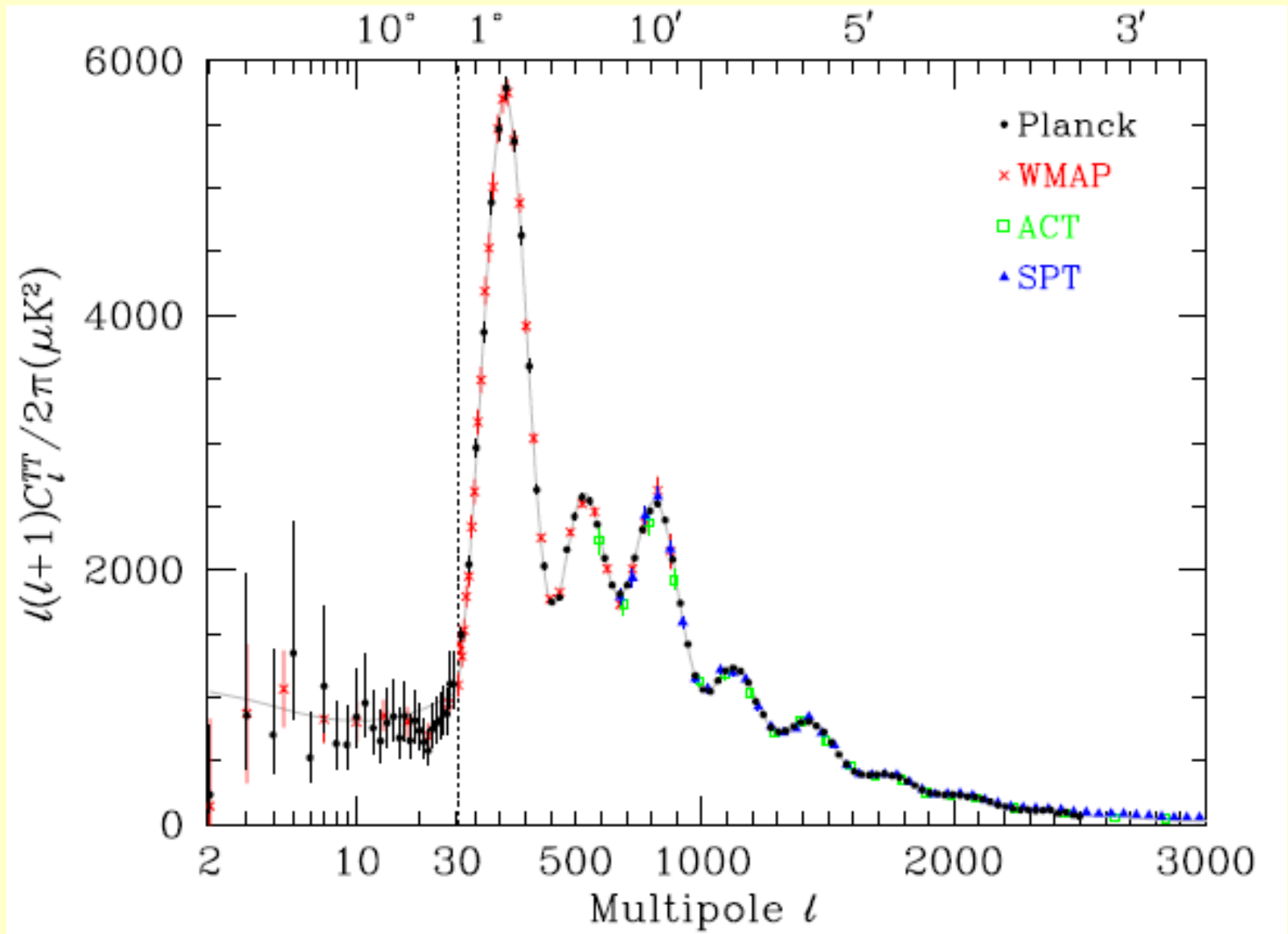
Sonda Planck



Spektrum reliktního záření získané pomocí sondy COBE. Převzato ze zdrojů NASA.

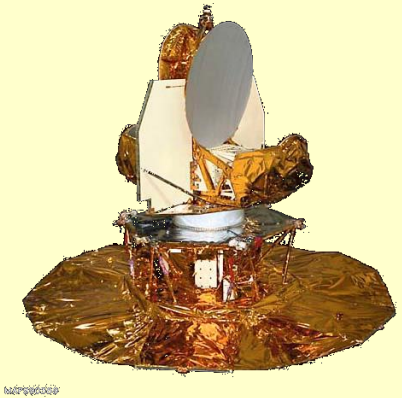
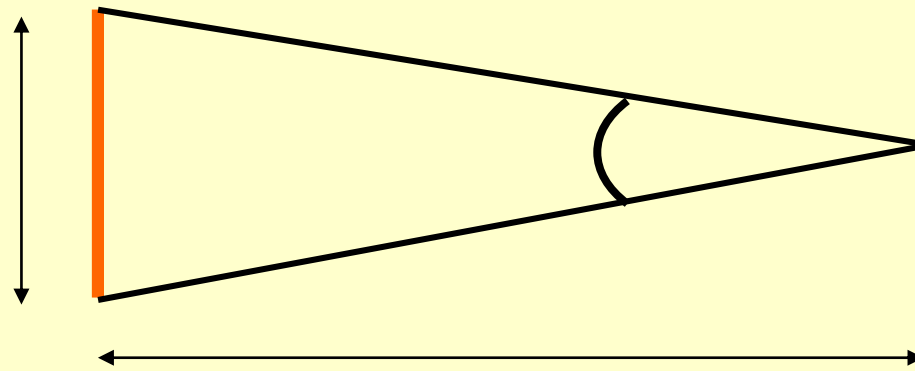
Odpovídá Planckově vyzařovacímu zákonu černého tělesa s teplotou T.

# Nehomogenita, asymetrie a polarizace reliktního záření zdroj kosmologických informací

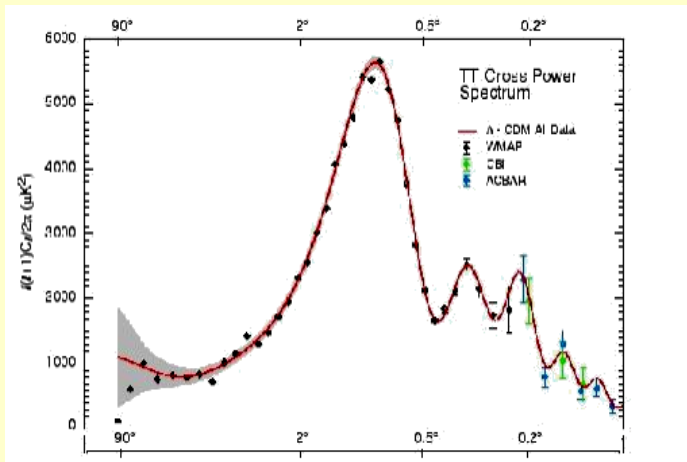


# Určování kosmologických parametrů z fluktuací reliktního záření

- 1) **Určení zakřivení vesmíru** - poměr rozměru zvukového horizontu (známe z vlastností materiálů) a vzdálenosti, kterou mikrovlnné záření urazilo (dáno rozdílem jeho teplot v době vzniku a nyní), je ve vztahu k úhlovému rozměru zvukového horizontu (daný polohou maxima a minima prvního akustického píku) buď euklidovském nebo neeuklidovském.



- 2) **Určení podílu baryonové hmoty** - baryony mají velkou hmotnost → ovlivňují akustické vlny → poměr mezi maximy a minimy akustických vln určují poměr baryonů
- 3) **Určení doby reionizace (světlem prvních hvězd)** - světlo hvězd ionizovalo okolní plyn, vzniklé horké oblasti vyhlazovaly rozdíly v teplotě reliktního záření. Velikost úhlu, do kterého jsou akustické píky potlačeny, určuje dobu, kdy začaly svítit hvězdy (galaxie, kvasary)
- 4) **Určení podílu temné energie** - plochost vesmíru z reliktního záření + zrychlování rozpínání z pozorování supernov → podíl temné energie - velikost kosmologické konstanty



**Závislost velikosti fluktuace na úhlové vzdálenosti – čím větší úhel, tím dříve přestala být ovlivňována velikost fluktuací**

## Polarizace a závislost fluktuací na vlnové délce

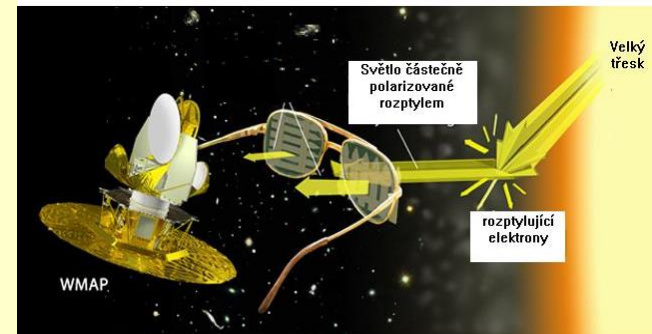
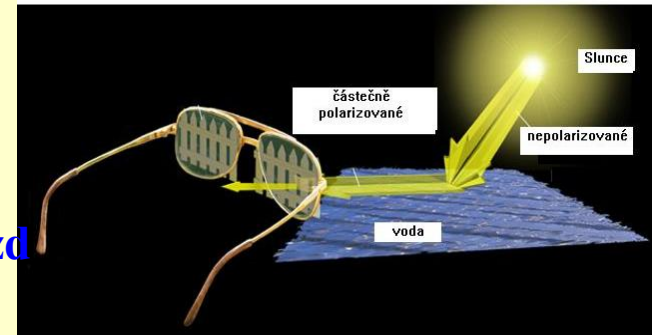
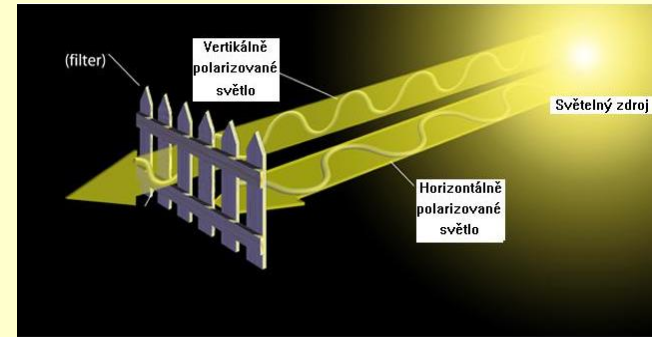
### Polarizace reliktního záření:

- 1) citlivá ke gravitačním vlnám (odlišení fluktuací daných gravitačním smršťováním a gravitačními vlnami)
- 2) nezávislý údaj o reionizaci a době vzniku prvních hvězd
- 3) upřesnění dalších kosmologických parametrů.

### Závislost fluktuací reliktního záření na vlnové délce:

Mohlo by rozlišit inflační a ekpyrotický vesmír

Vysvětlení polarizace reliktního záření





# Evolve vesmíru

Pozorování vzdálených - mladých částí vesmíru:

Vzdalování → putování v čase

První tvorba hvězd - reionizace - ~ 200 milionů let

Mladé oblasti:

- 1) pouze vodík a primordiální helium
- 2) více hmotnějších a zářivějších hvězd

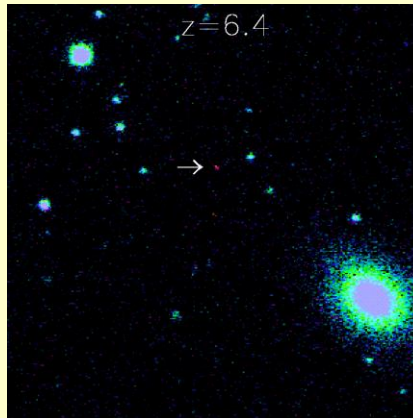
Galaxie ve vzdálených (mladých) oblastech jsou jiné než ty blízké

- 1) Zářivější, více aktivní, živější tvorba hvězd, více hmotnějších hvězd ...
- 2) Liší se hustota kvasarů, aktivních jader galaxií

Studium pomocí Hubblova teleskopu, v programu Sloan Digital Sky Survey a dalších přehlídek vzdálených galaxií



galaxie NGC1087



kvasar se z=6.4



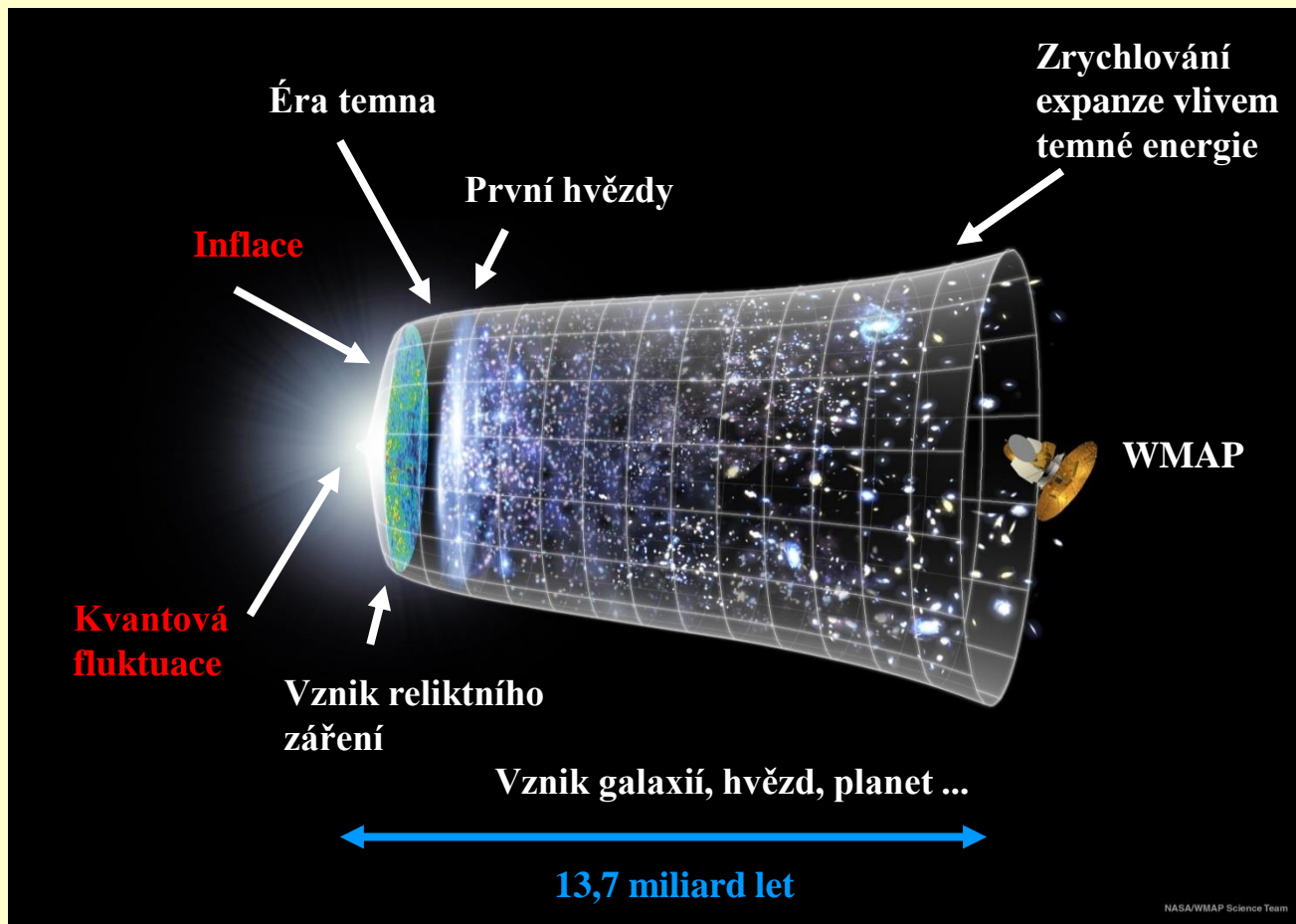
galaxie UGC03214

# Standardní kosmologický model

Založený na standardním modelu hmoty a interakcí a obecné teorii relativity

Předpoklad homogenity a izotropie na dostatečně velkých škálách

Víme, že během vývoje vesmíru nastaly a nastávají podmínky, které nedokáží současné teorie popsat → **standardní model obsahuje prvky nezapadající do známých teorií** (jejich popis se teprve hledá) – víme tak o jeho limitech



**Baryony:** 4,9 %  
**Temná hmota:** 25,8 %  
**Temná energie:** 69,2 %

**Hubbleova konstanta:**  
 $70 \pm 3 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$

**Stáří vesmíru:**  
13,7 miliard let

# Singularita je známkou limity platnosti teorie

Standardní model – bodové částice → nekonečné hustotu hmoty a náboje → singularita

Černá díra – nic nezastaví v černé díře kolaps do bodu → nekonečná hustota → singularita

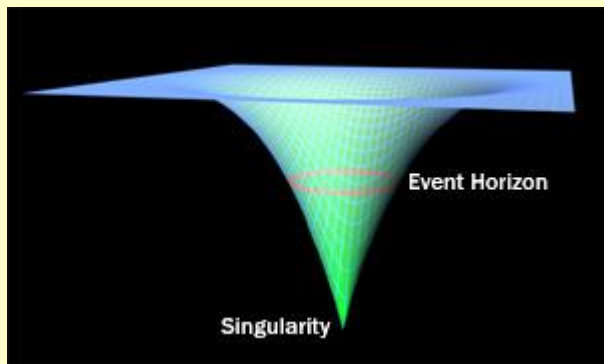
**Jak standardní model hmoty a interakcí, tak obecná teorie relativity mají své limity**

Pro podmínky blízké vzniku singularity (extrémně malý rozměr, extrémní intenzita gravitačního pole) nutno nalézt obecnější teorii

Obecnější teorie musí zahrnovat tu původní (platí pro „normální“ podmínky)

**Příklady:**

- 1) Newtonova teorie → vysoké rychlosti → nefunguje → **speciální teorie relativity**
- 2) Newtonova teorie → silná gravitace → nefunguje → **obecná teorie relativity**
- 3) Obecná relativita → extrémní gravitace → nefunguje → **kvantová gravitace?**
- 4) Standardní model → extrémní hybnosti → nefunguje → **supersymetrie, struny?**



Singularita reálně neexistuje



Na kvantové gravitaci pracuje Hawking

# Temná hmota

Nesrovnalost mezi odhadem množství hmoty ve vesmíru na základě studia svítící hmoty a studia gravitačního vlivu hmoty (veškeré) → temná hmota – nevyzařuje ani neabsorbuje světlo, interaguje pouze gravitačně.

## Možnost zkoumání:

- 1) Studium oběžných pohybů hvězd → haló v galaxiích  
galaxií → haló v galaktických kupách  
kup galaxií → velkorozměrová hustota hmoty
- 2) Rentgenovské záření horkého plynu v galaktickém halo – teplota dána rychlostí atomů – menší než úniková rychlost – rychlost je větší, než jaká odpovídá pozorované hmotě
- 3) Gravitační čočky – určení hmotnosti a jejího rozložení pro kupu tvořící gravitační čočku

Čím větší škála – tím větší podíl temné (skryté) hmoty.  
V kupách galaxií nejméně 90% skrytá hmota.



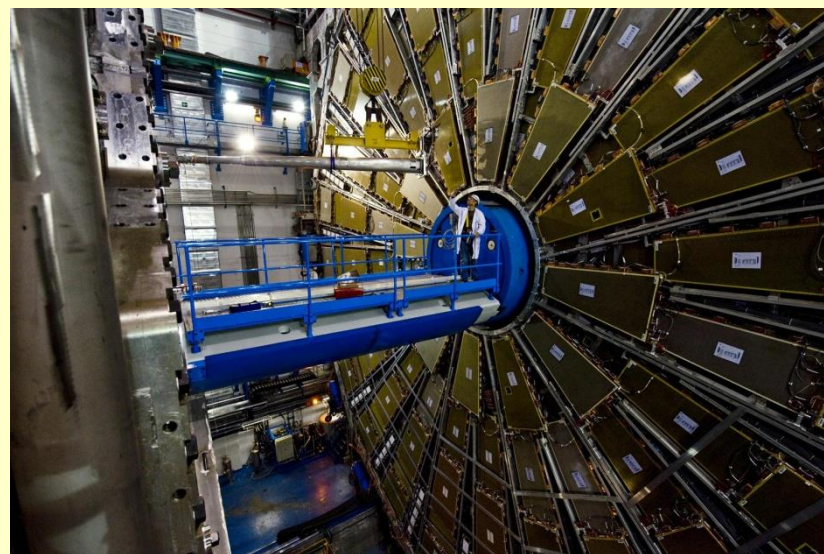
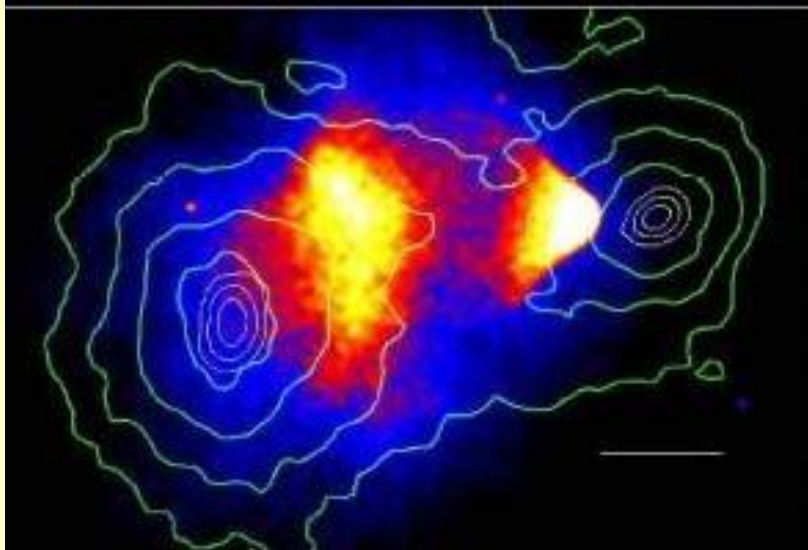
# Jaká je podstata temné hmoty?

Je jí šestkrát více než normální hmoty

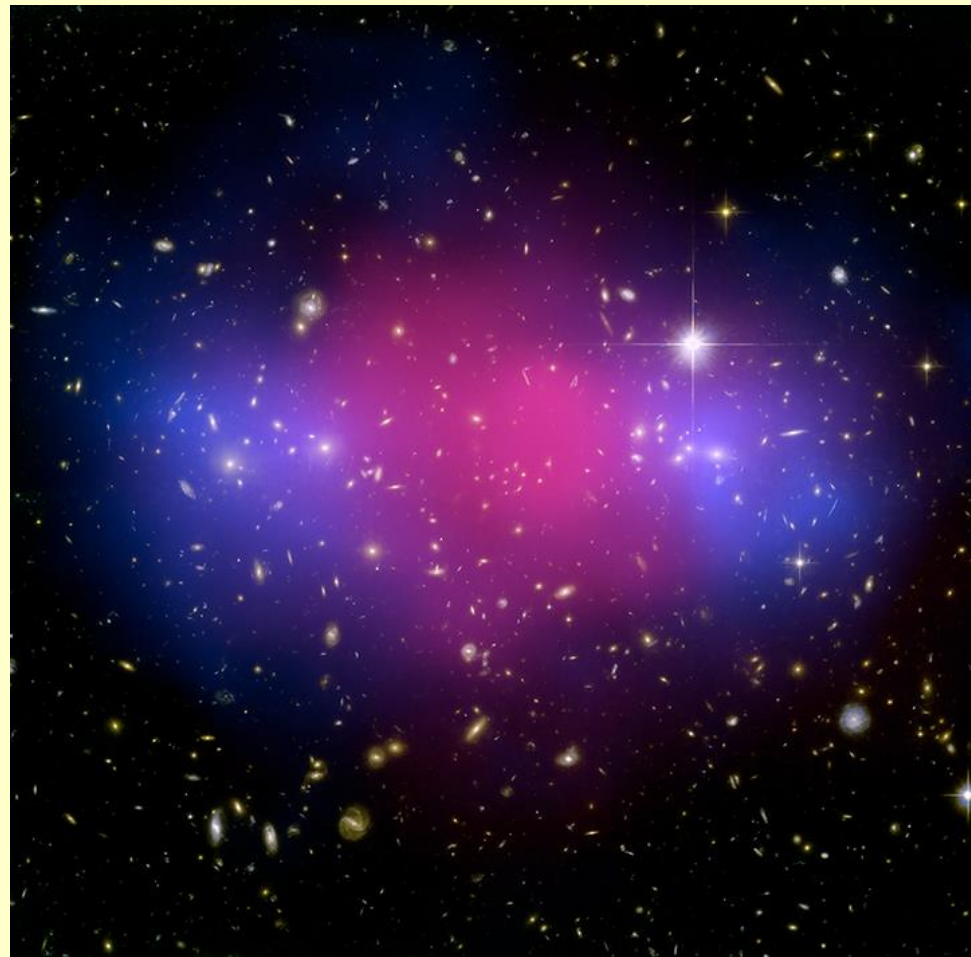
Srážky kup galaxií – důkaz, že nejde o modifikaci gravitačního zákona, ale o hmotné objekty

Nejspíše jde o nové částice

**! Zkusme je objevit pomocí urychlovače !**



Experiment ATLAS bude lovit supersymetrické částice



**Hmotnost v řádu  $10^{15}$  sluncí**

**Ohřev plynu na 100 milionů stupňů**

**Modrá – hmotnost určená z čočkování**

**Fialová – horký plyn – CHANDRA**



# Je to s temnou hmotou opravdu jisté?

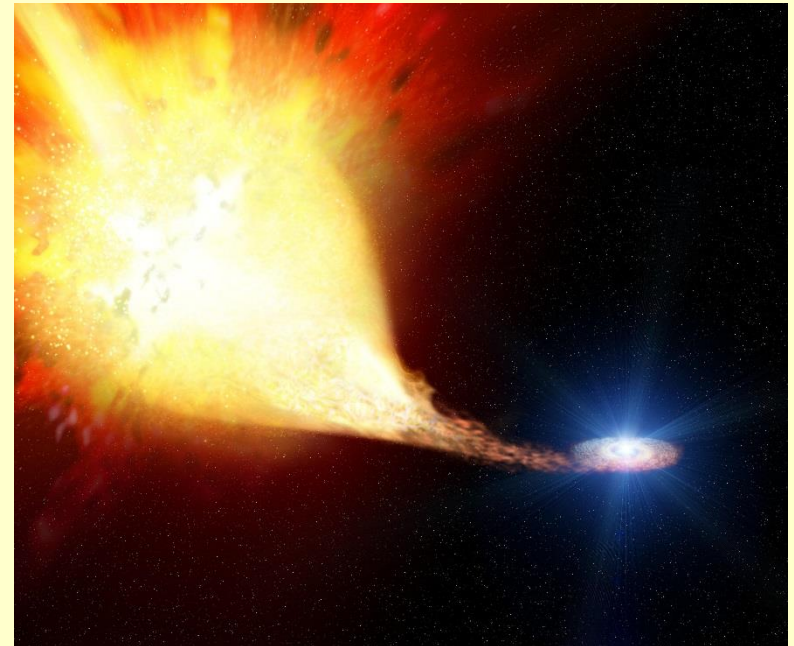
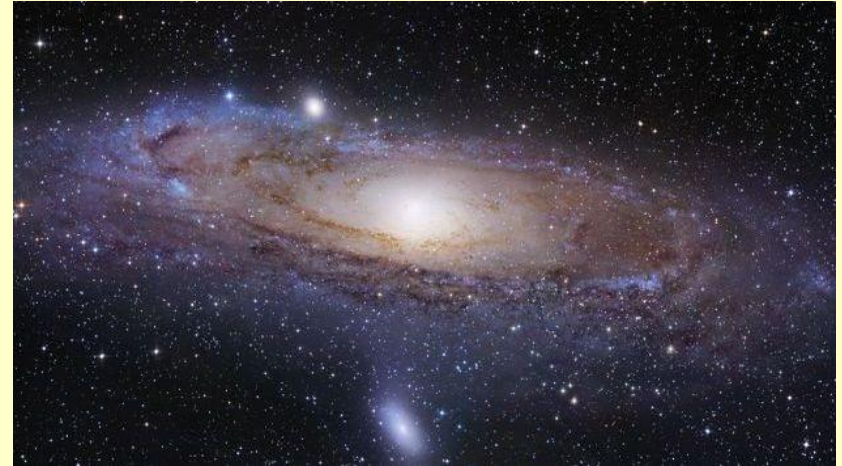
Stále diskuze:

Nedávná analýza rotačních křivek galaxií – korelace jejich průběhu s množstvím normální hmoty

## A s temnou energií?

Stále přesnější měření vzdálených supernov, stále větší statistika, nedávná nová analýza ukazuje na menší rozdíl od modelu bez kosmologické konstanty – temné energie

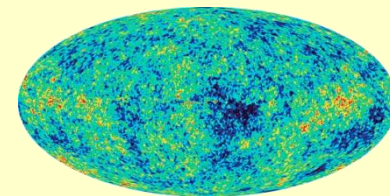
Je třeba přesnější měření extrémně vzdálených objektů – extrémně velký dalekohled ESA (E-ELT) – další skok



# Proč inflační model?

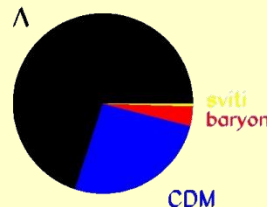
Standardní model popisuje vesmír až od jistého okamžiku, nastavení jeho počátečních podmínek musí vysvětlit jiný model:

1) **Vysokou stejnorodost a izotropnost vesmíru.** Je třeba vysvětlit, proč jsou hustota látky ve vesmíru i teplota reliktního záření velmi stejnorodé na velké úhly a vzdálenosti.



2) Současně **vznik jisté nehomogenity**, které umožní formování velkoškálové struktury vesmíru, galaxií i hvězd.

4) **Poměr mezi jednotlivými složkami hmoty.**



5) **Vznik přebytku hmoty nad antihmotou (baryonovou asymetrii).** Zjistit, jak se vlastně stalo, že vůbec existujeme.



6) **Absence pozorovatelných topologických singularit** (např. magnetických monopolů).

7) **Řešení problému počáteční singularity** - zároveň vysvětlit, jak došlo k horkému a hustému počátku.



# Vlastnosti inflačního modelu

Hypotéza inflace: Čas  $10^{-35}$ s - existence fáze velmi rychlého rozpínání vesmíru.  
Zvětšení objemu dnes viditelného vesmíru faktorem nejméně  $10^{25}$  z  $10^{-27}$ m na 1 cm.

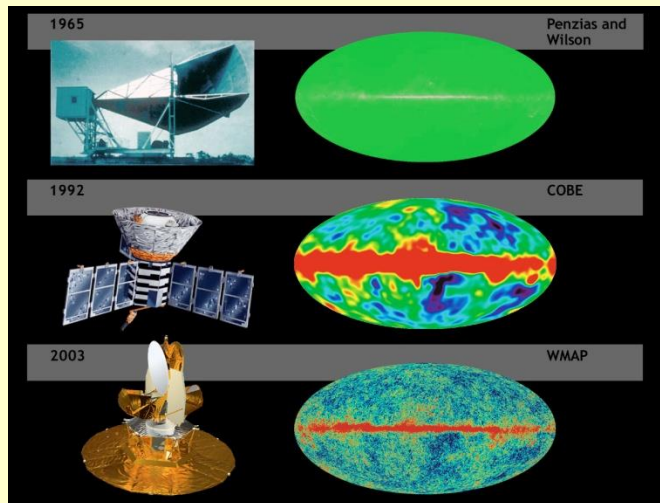
Inflace (jedna nebo několik) skončila(y) v čase  $10^{-32}$ s.

Je spojená s fázovými přechody při oddělování jednotlivých interakcí za ochlazování předpovídaného v popisu sjednocování interakcí (oddělení silné a elektroslabé interakce).

**Vysvětlí:** A) Automaticky: 1) homogenitu a izotropii  
2) plochost - ve spojení s antropickým principem  
3) neexistenci topologických defektů

B) V závislosti na modelu a sjednocené teorii interakcí:

- 1) Charakter fluktuací a strukturu vesmíru
- 2) Poměr mezi různými formami hmoty
- 3) Počáteční singularitu
- 4) Poměr hmoty a antihmoty



Detailní pozorování mikrovlnného pozadí →  
cesta od hypotézy inflace k inflačnímu modelu →  
výběr správného inflačního modelu

Např: závislost fluktuací na vlnové délce záření,  
charakter polarizace.

# Neinflační možnosti

**Hypotéza ekpyrotického vesmíru:**

**vychází z M-teorie:**

**Srážka dvou třírozměrných bran (čtvrtý rozměr je čas) pohybujících se v pátém rozměru (ostatních šest rozměrů je svinuto)**

**Brány musí být ploché, homogenní a vzájemně paralelní.**

**Vlastnosti výhodné pro nahrazení hypotézy inflace:**

- 1) Při srážce vzniká dostatečná teplota pro start Velkého třesku.**
- 2) Teplota je dostatečně nízká, aby nevznikaly topologické defekty.**
- 3) Nehomogenity dány kvantovými fluktuacemi.**
- 4) Neexistuje prvotní singularita (nekonečné hustoty a teploty).**
- 5) Vysvětluje homogenost a izotropii vesmíru.**

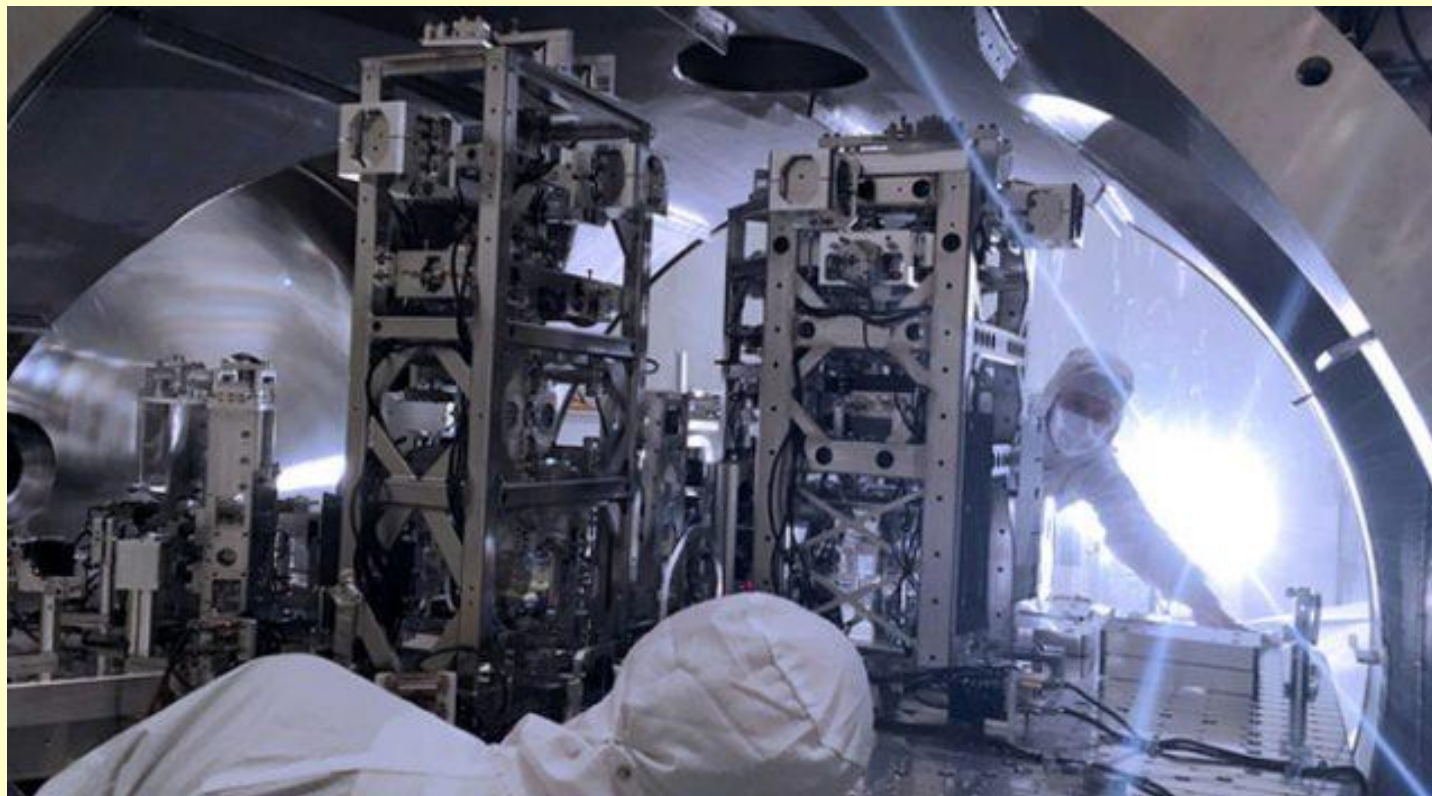
**Představa vzájemné oscilace bran a periodické srážky:**

**Náš vesmír je částí jedné z bran, vznikne ve srážce, postupně se nehomogenity vyhladí, energie vyrovná (na nulovou hodnotu), a to až do příští srážky.**

# Roste počet pozorování gravitačních vln

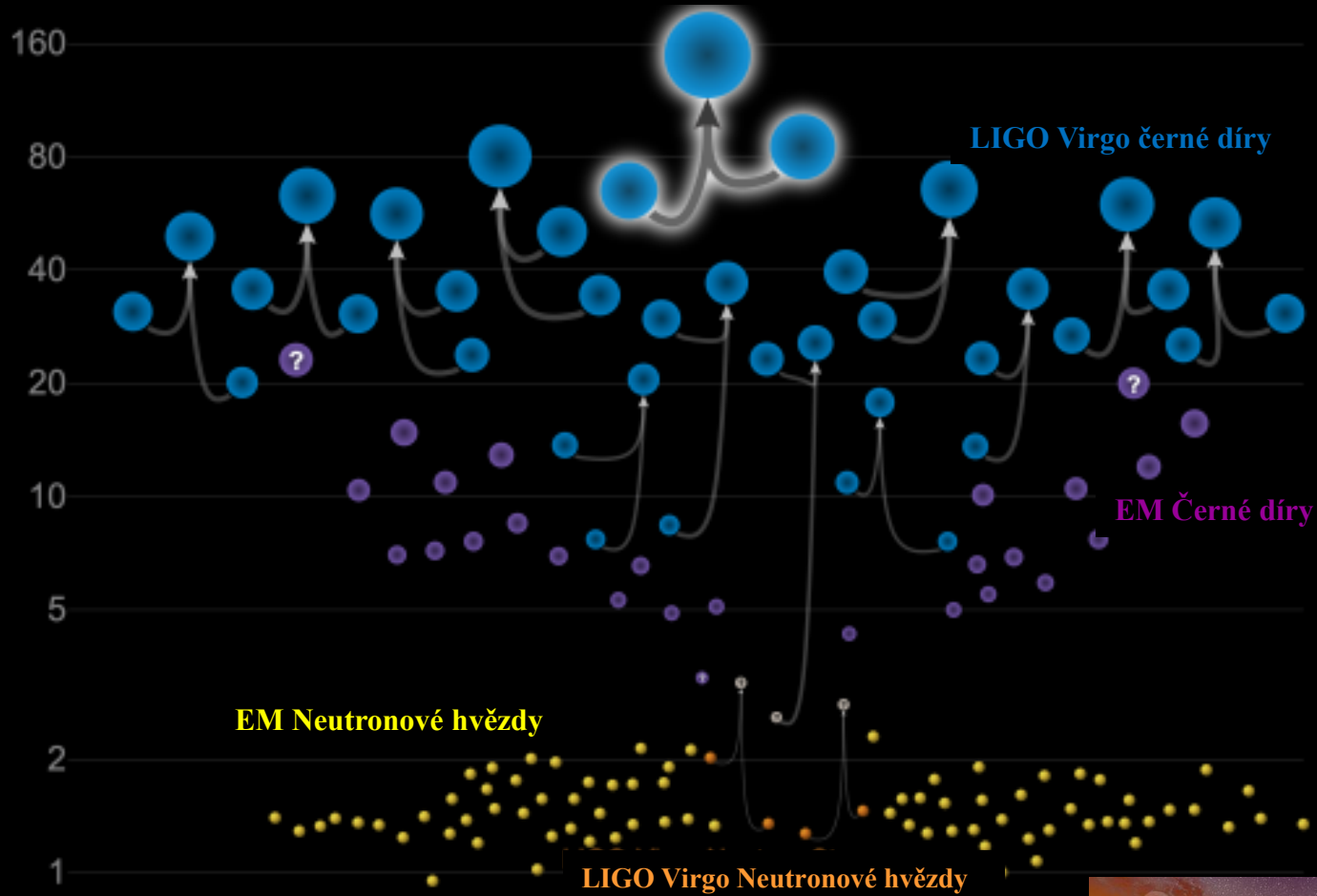
Zlepšení citlivosti detektorů pro jejich třetí společnou periodu měření znamená zvýšení počtu zaznamenaných případů gravitačních vln na více než pět měsíčně – nyní i případy kombinace neutronové hvězdy a černé díry.

Kip Thorn na návštěvě v Praze



# Hmotnosti ve hvězdném hřbitově

v hmotnostech Slunce



EM Neutronové hvězdy

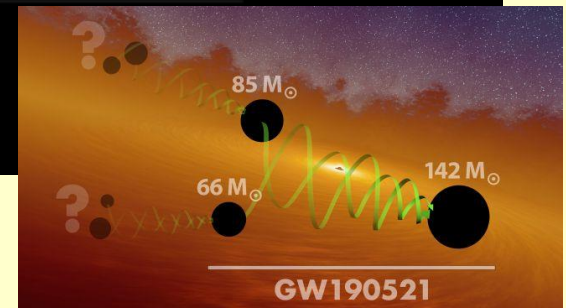
LIGO Virgo černé díry

EM Černé díry

LIGO Virgo Neutronové hvězdy

Updated 2020-09-02

LIGO-Virgo | Frank Elavsky, Aaron Geller | Northwestern



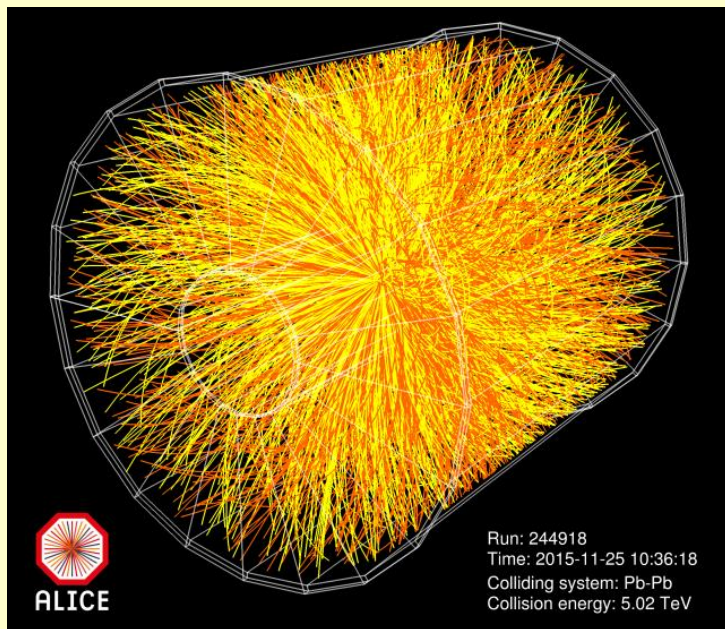
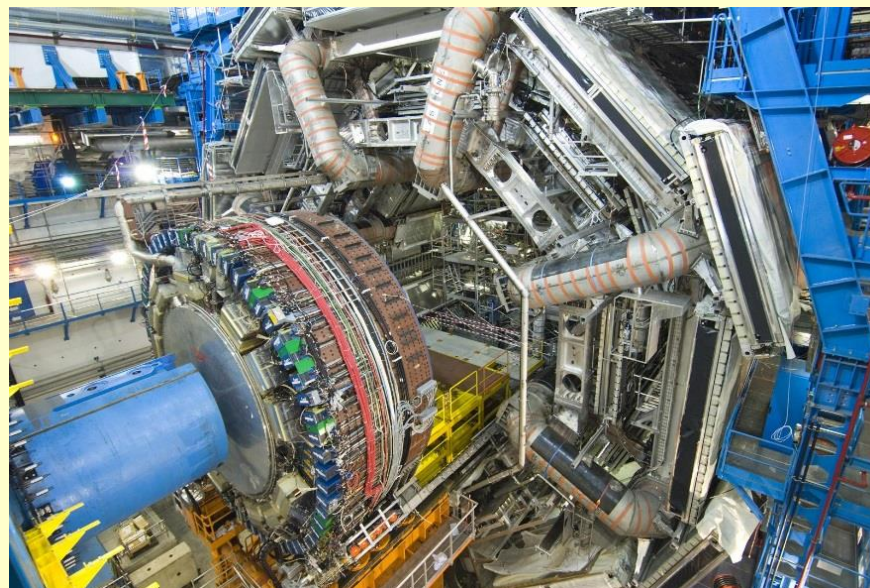


# Hmota a fyzika z počátku Velkého třesku v laboratoři

Částice a jádra urychlená na velmi vysoké energie s rychlostmi velmi blízkými rychlosti světla.

Vznikají srážky při extrémní energii – nové částice, nové jevy, nová fyzika

Srážky jader – velmi hustá a horká hmota – ta z počátku vesmíru



# Závěr

- 1) Probíhá zlatá éra astrofyzikálních a kosmologických měření
- 2) Klíčová je nutnost stále přesnějších měření
- 3) Detailní měření průběhu rozpínání vesmíru
- 4) Zpřesňování pochopení a popisu primordiální a hvězdné nukleosyntézy
- 5) Stále přesnější měření vlastností reliktního záření
- 6) Přesná pozorování umožňující studovat evoluci vesmíru
- 7) Standardní model Velkého třesku je potvrzován řadou experimentálních skutečností
- 8) Nejranější stádia – singularity v klasické fyzice – hledání nové fyziky
- 9) Pozorování gravitačních vln,



**Velký pokrok při ověřování kosmologických modelů přináší velké dalekohledy a urychlovače**