

Byl opravdu Velký třesk?

(Novinky ze standardní a nestandardní kosmologie)

Vladimír Wagner

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

1. Úvod

2. Velký třesk a alternativy

2.1 Co je Velký třesk?

2.2 Jeho experimentální evidence

2.3 Alternativy – jak rozhodnout

3. První výsledky Webbova teleskopu

3.1 Pozorování galaxií těsně po reionizaci

3.2 „Green pea“ galaxie

3.3 Oblasti intenzivní tvorby hvězd

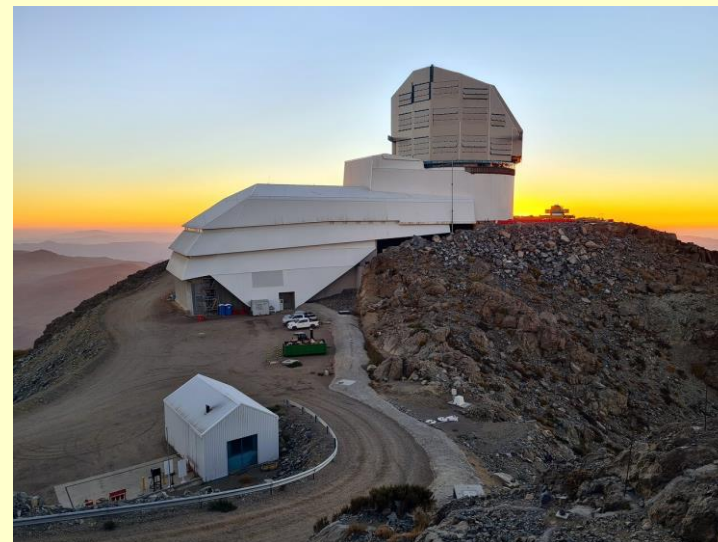
3.4 Studium hvězdných atmosfér

4. Co přinesou další budované velké přístroje

4.1 Observatoř Very C. Rubin

4.2 Plánované další vesmírné i jiné teleskopy

5. Závěr

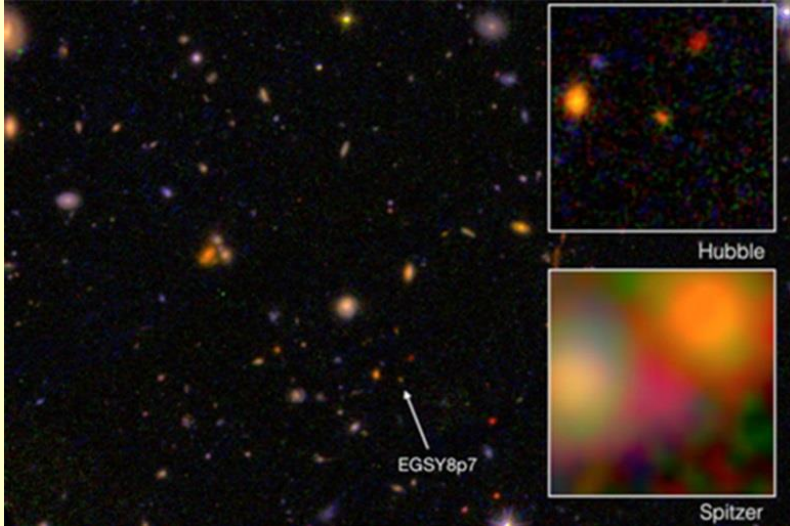


Co je to Velký třesk?

Představa, že vesmír byl v minulosti velmi horký a hustý a nyní se rozpíná

Jaká experimentální data ji potvrzují:

- 1) Vzdalování galaxií, kup galaxií ... (nová pozorování přesnější průběh)
- 2) Reliktní záření
- 3) Primordiální nukleosyntéza (množství helia) – (stále přesnější složení)
- 4) Evoluce vesmíru (staré galaxie, hvězdy mají jiné složení) – (stále blíže k počátku)



Jedna z nejvzdálenějších galaxií EGSY8p7
vzdálená 13,2 miliardy světelných let



Keckovy dalekohledy

Velmi horká jaderná hmota – počátek našeho vesmíru

Kam se kouká LHC?

Dosažená teplota:

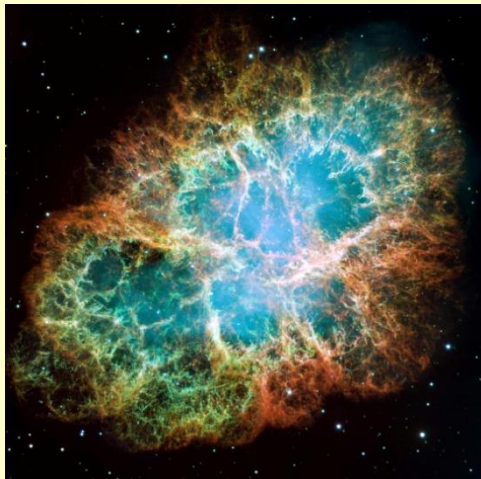
$$\sim 3 \times 10^{12} \text{ K}$$

(100 000krát více než v
nitru Slunce)

Dosažená hustota:

$$\sim 10^{18} \text{ kg/m}^3$$

Takové hustoty má i
hmota v nitru
supernovy a
neutronové hvězdy



$$1 \text{ ps} = 10^{-12} \text{ s}$$

Kvark-gluonové plazma

$$10 \text{ } \mu\text{s} = 10^{-5} \text{ s}$$

Hadronová hmota

V pozdější fázi jen nejlehčí
baryony – proton a neutron

$$3 \text{ min} = 1,8 \cdot 10^2 \text{ s}$$

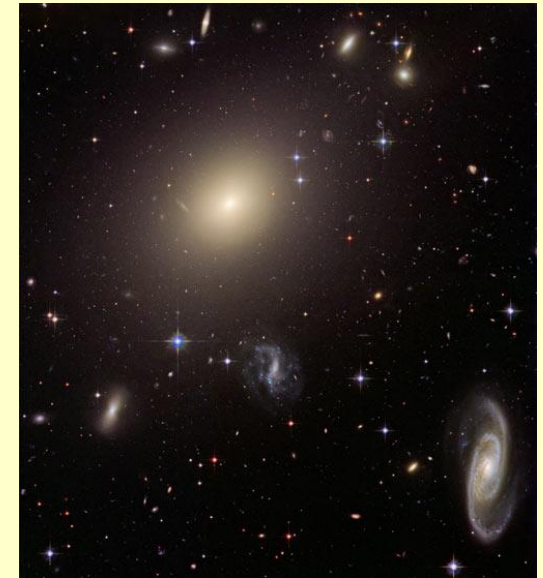
Atomová jádra – vodík, helium
a trochu těžších jader

$$400 \text{ 000 let} \sim 10^{13} \text{ s}$$

Reliktní záření

$$200 \text{ 000 000 let} \sim 10^{16} \text{ s}$$

Reionizace – první hvězdy



Jaké jsou alternativy a jak o nich lze rozhodnout?

Statický vesmír:

- Výzvy:** 1) Nutnost vysvětlení existence rudého posuvu
2) Nutnost vysvětlit existenci reliktního záření
3) Vysvětlit evoluci vesmíru a složení (primordiální lehké prvky)

Oscilující vesmír bez extrémně horké fáze:

- Výzvy:** 1) Nutnost vysvětlit reliktní záření (viz výše) – například jako tepelné záření mezigalaktického prachu
2) Nutnost vysvětlit změnu od smršťujícího se vesmíru na rozpínající v kontextu klasické fyziky (nejsou extrémní podmínky) bez nové fyziky
3) Vysvětlit evoluci vesmíru a složení (primordiální lehké prvky)



Současný Λ CMD model

Standardní kosmologický model založen na platnosti Standardního modelu hmoty a interakcí a obecná teorie relativity

V experimentálních datech vidíme rozdíly, které potřebují novou fyziku

Co je temná hmota a temná energie?

Fenomény, které popisují zmíněné odchylky od popisu vývoje vesmíru čistě Standardním modelem hmoty a interakcí a OTR. Možné vysvětlení:

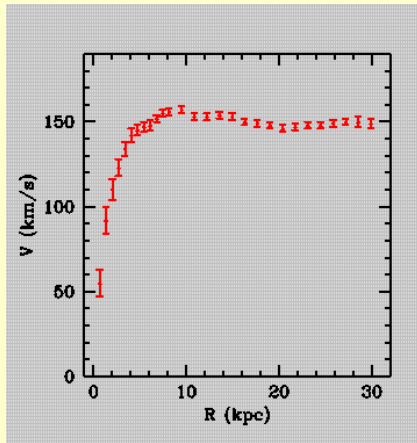
- 1) Temná hmota – exotické částice, Temná energie – vlastnosti vakua
- 2) Vliv neznalosti popisu gravitace na velké vzdálenosti



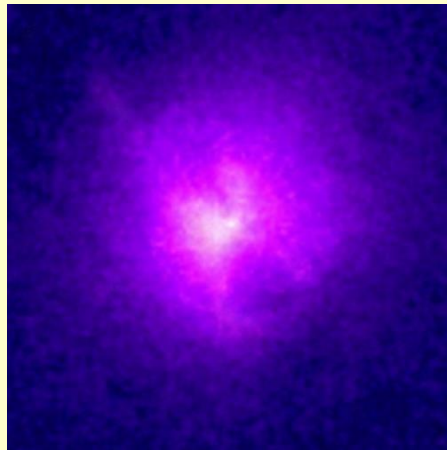
Sestava VLT – Very Large Telescope

Temná hmota – experimentální evidence

- 1) Studium oběžných pohybů hvězd → haló v galaxiích
galaxií → haló v galaktických kupách
kup galaxií → velkorozměrová hustota hmoty
- 2) Rentgenové záření horkého plynu - plyn s danou teplotou by už dávno galaxii (kupu galaxií) opustil
- 3) Gravitační čočky – určení hmotnosti a jejího rozložení pro kupu tvořící gravitační čočku (neodpovídá hmotnosti pozorované hmoty)
- 4) Velkoškálová struktura vesmíru a její pohyb – pozorujeme koncentrace hmoty, velká část neviditelná



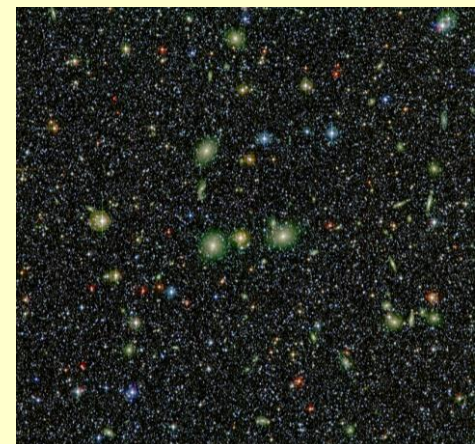
Rotační křivky galaxií



Rentgenovský snímek
kupy galaxií

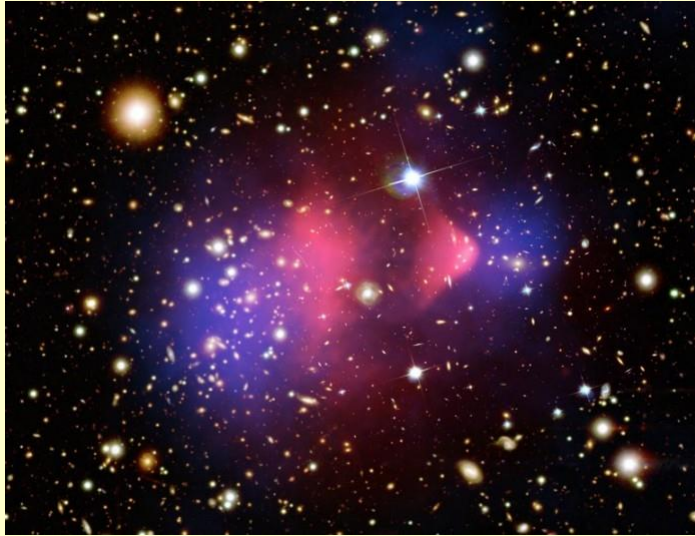


Čočkování kupy
galaxií CL 0024-1654



Kupa galaxií ACO 3627 u
středu Velkého Atraktoru

Srážky kup galaxií – vliv temné hmoty



Předchozí – nyní název kupy Kulka

Hmotnost 10^{15} sluncí

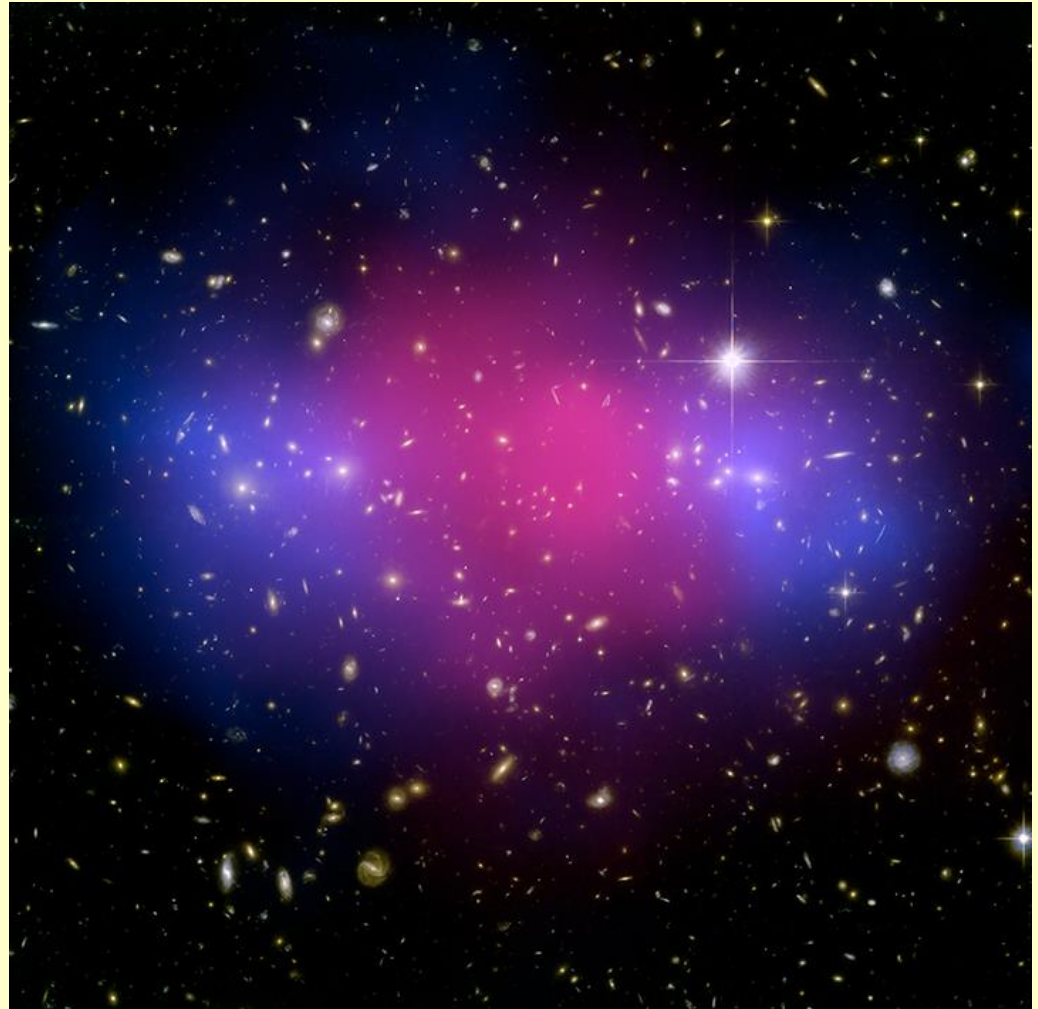
Ohřev plynu na 100 milionů stupňů

Modrá – hmotnost určená z čočkování

Fialová – horký plyn – CHANDRA

MACSJ0025.4-1222

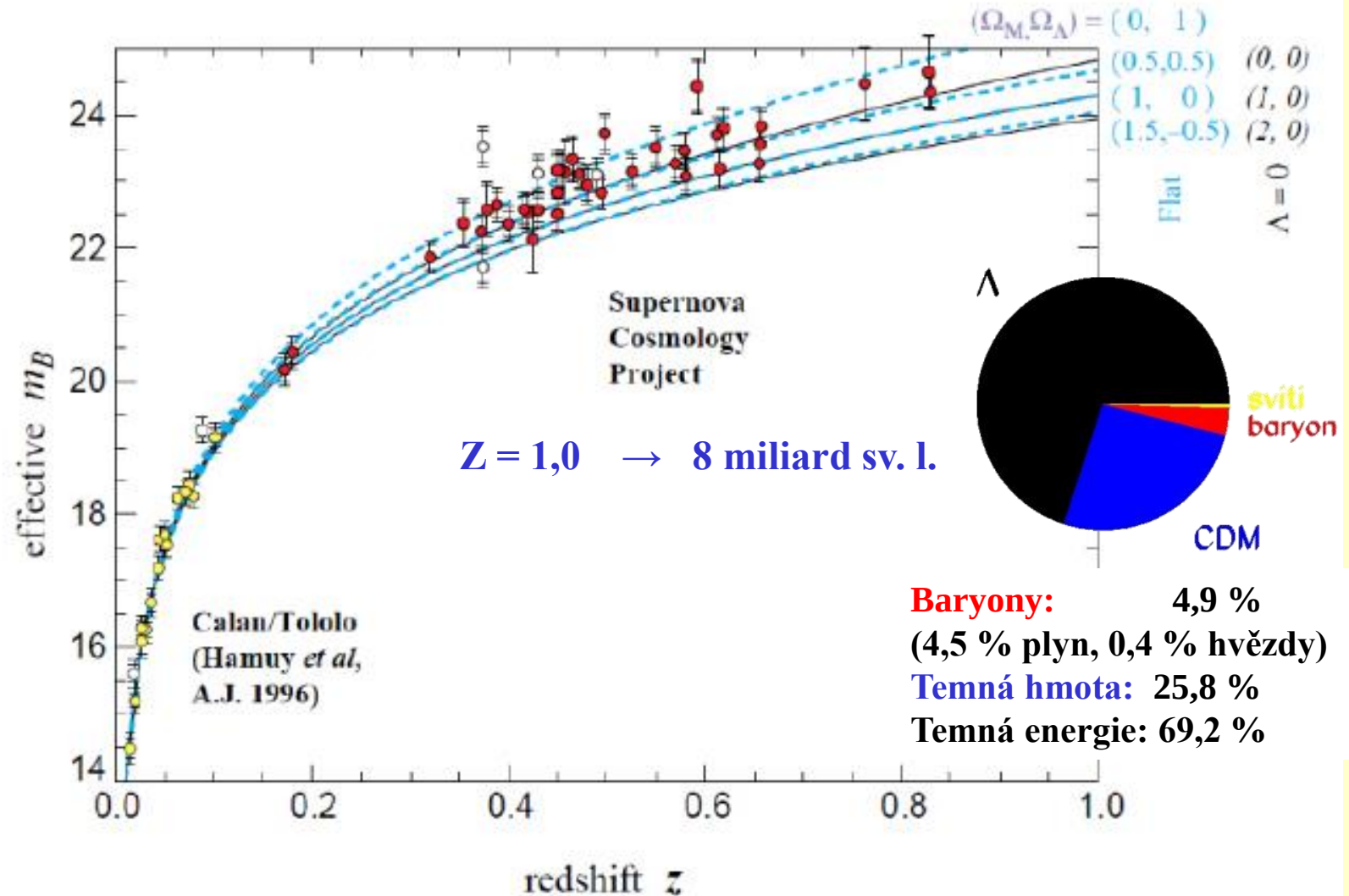
Vzdálenost 5,7 miliard sv.l.



*Kupa galaxií Credit: X ray (NASA/CXC/Stanford/S.Allen);
Optical/Lensing(NASA/STScI/UC Santa Barbara/M.Bradac)*

Evidence temné energie – urychlování rozpínání vesmíru

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



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

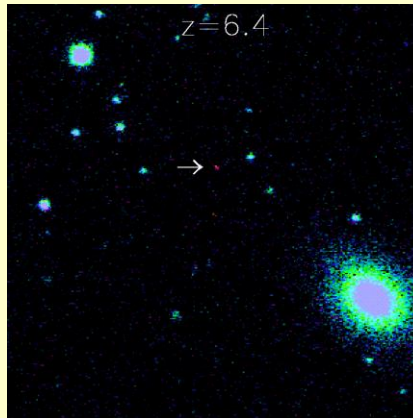
Galaxie ve vzdálených (mladých) oblastech jsou jiné než ty blízké

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

Studium pomocí Hubbleova teleskopu, v programu Sloan Digital Sky Survey a dalších přehlídek vzdálených galaxií a nyní ještě blíže k Velkému třesku Webbův teleskop



galaxie NGC1087



kvasar se $z=6.4$

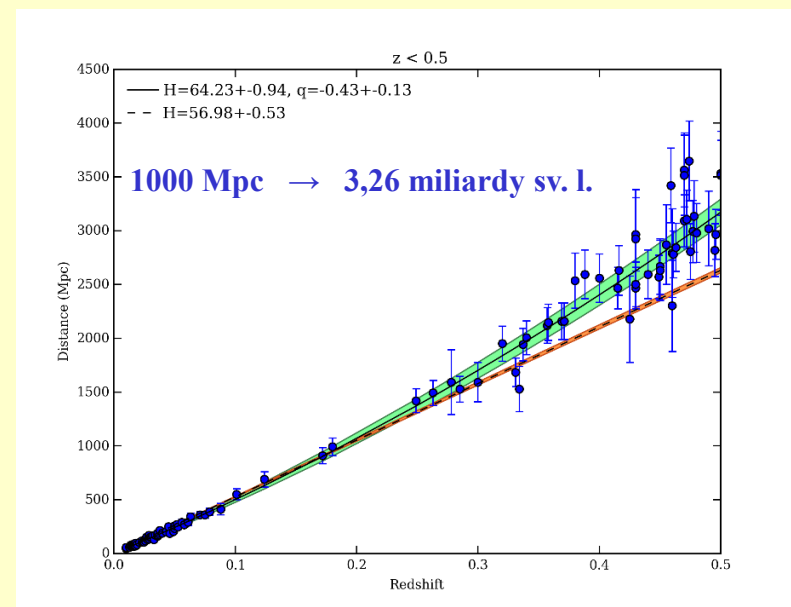
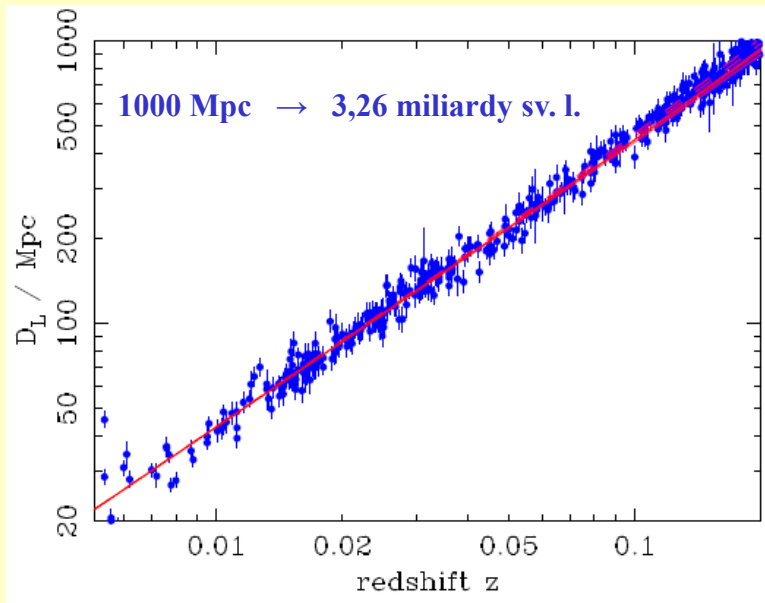
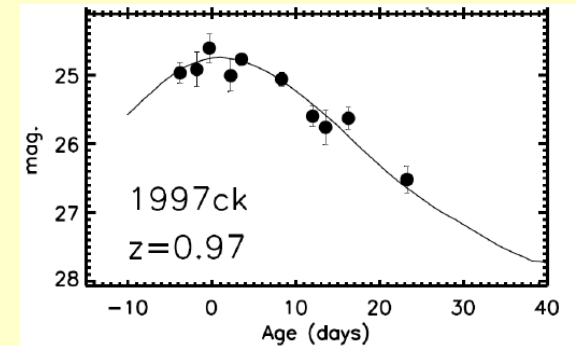


galaxie UGC03214

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 různé $\rightarrow$ dosah je třetina pozorovaného vesmíru
- 4) Pomocí supernov typu Ia - stejná absolutní jasnost $\rightarrow$
 $\rightarrow$ 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

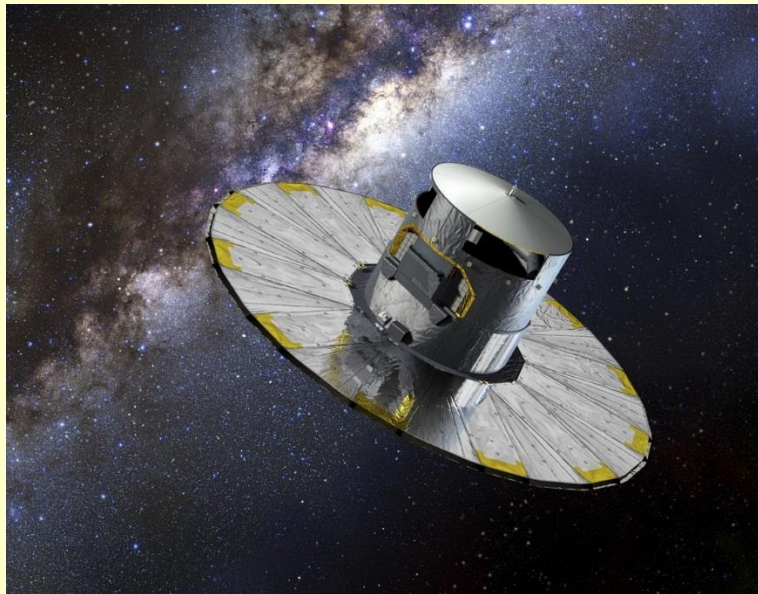
Gaia (2013 – 2022) → a dále

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

13. června 2022 – třetí souborné uvolnění získaných dat



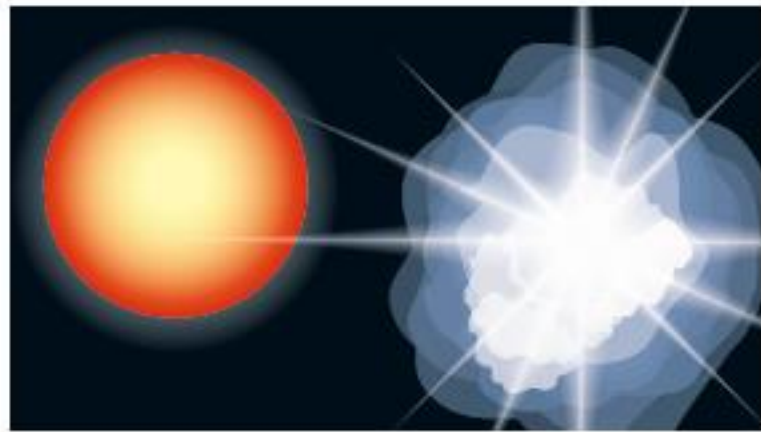
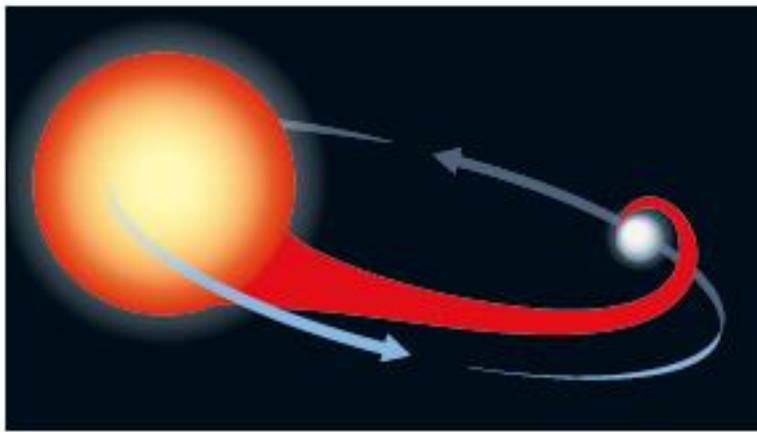
Evropská astrometrická observatoř Gaia



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

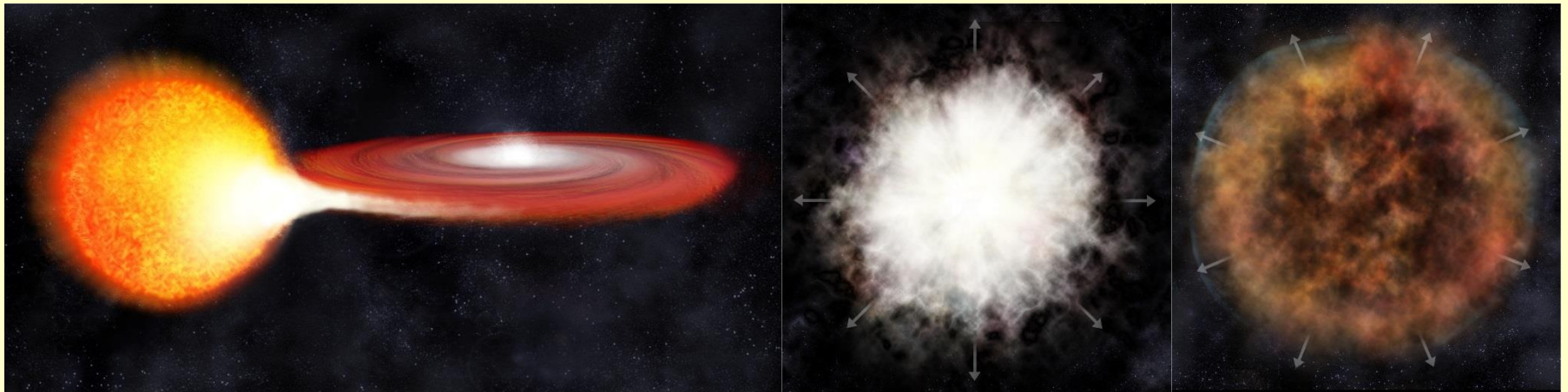
Existují i možnosti, že druhou hvězdou není rudý obr, ale jiná hvězda, včetně bílého trpaslíka. V tom případě mohou být odchylky od uvedené energie

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



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



Nejčastější představou zdroje je dvojhvězda rudého obra a bílého trpaslíka

Rozdíl mezi Hubbleovým teleskopem a Webbovým dalekohledem

Důležitost umístění ve vesmíru – voda v atmosféře pohlcuje infračervené záření,
Země sama vyzařuje tepelné infračervené záření

Viditelné světlo

(náš obraz vesmíru)

Průměr: 2,4 m

Plocha: 4,5 m²

Zrcadlo je jeden celek

Fungování: už přes 30 let

Vypuštěn: 25. dubna 1990

Umístění: Nízká oběžná dráha

Infračervená oblast (0,6 – 28 μm)

(tepelné záření) → nutnost chlazení

Průměr: 6,5 m

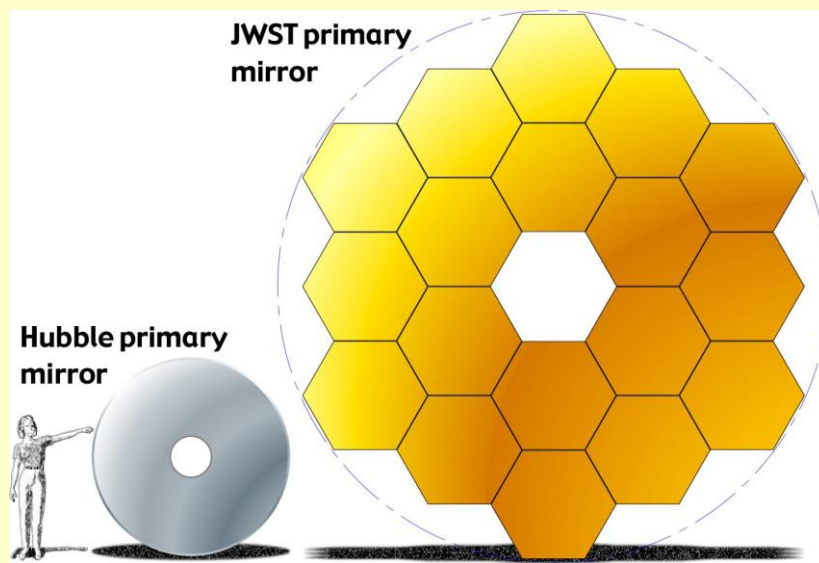
Plocha: 25 m²

Zrcadlo má 18 segmentů

Fungování: nejméně 5 let až 10 let

Vypuštěn: 24. prosince 2021

Umístění: Lagrangeův bod L2



Pozorování v infračervené oblasti vyžaduje efektivní chlazení a ochranu před ohřevem. Využívá štít, jeho vnější část směrem ke Slunci bude až 100°C, vnitřní pak -230°C.

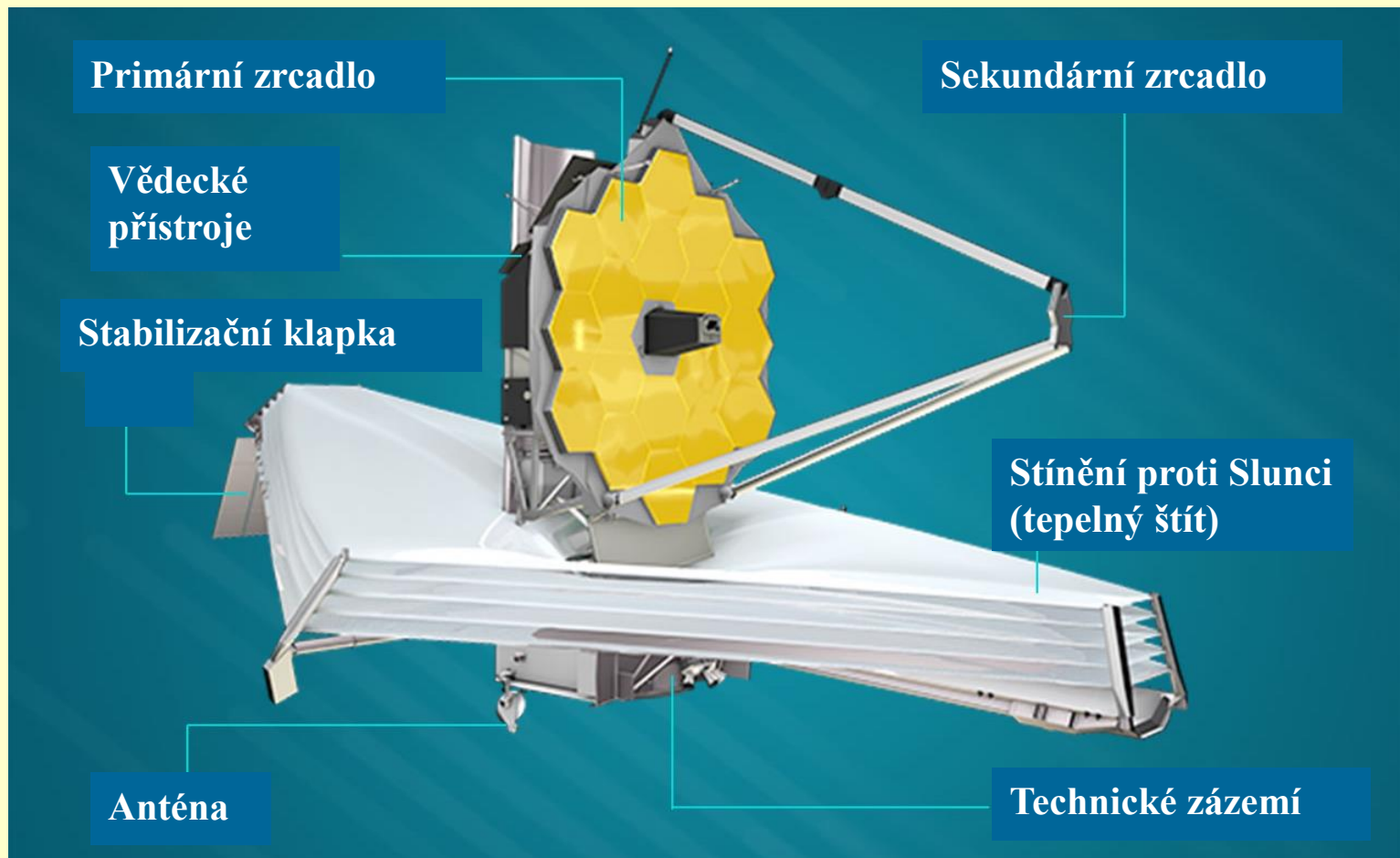
Čtyři přístroje umožňující pozorování dalekohledem v infračerveném oboru:

NIRCam (Near InfraRed Camera) – kamera pro blízkou infračervenou oblast (0,6 - 5 μm)

NIRSpec – (Near InfraRed Spectrograph) spektrograf pro blízkou infračervenou oblast

MIRI – (Mid-InfraRed Instrument) infračervená oblast střední a dlouhá (5 - 27 μm)

FGS/NIRISS – Spektrograf pro infračervenou oblast



Infračervená oblast – obrovský potenciál pro studium evoluce vesmíru

Pozorování vzdálených - mladých částí vesmíru: Vzdalování → putování v čase

Velký rudý posuv – vlnová délka záření hvězdy jde do infračervené oblasti, čáry vodíku i dalších kosmologicky významných atomů jsou také v infračervené oblasti

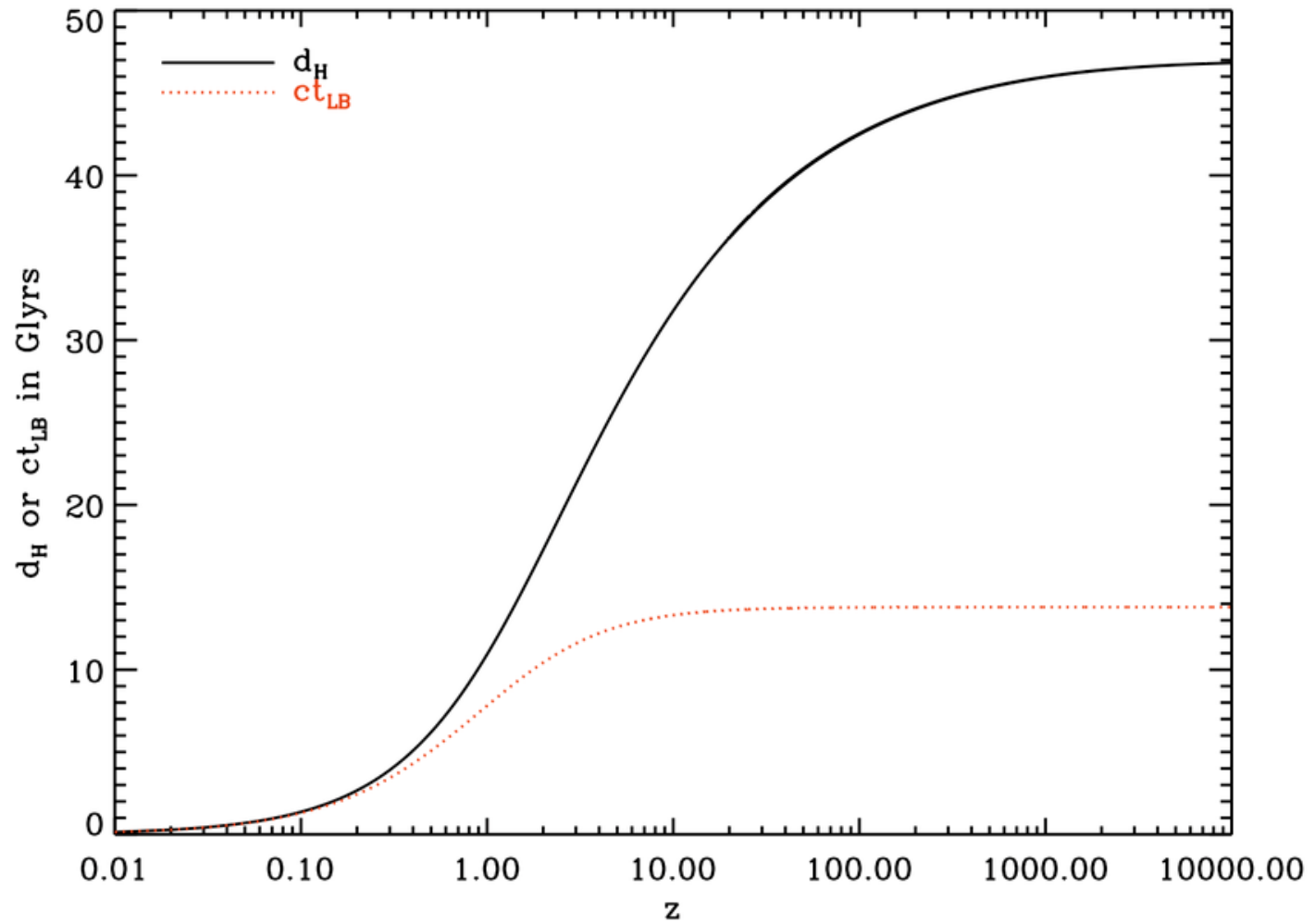
Infračervená oblast - zvýraznění velmi vzdálených galaxií s velkým rudým posuvem

Teleskop Jamese Webba:

- 1) Pozorování kup galaxií a jejich využití pomocí čočkování k přiblížení velmi vzdálených galaxií**
- 2) Hledání extrémně vzdálených galaxií blízkých době reionizace**



Na základě Λ CMD modelu

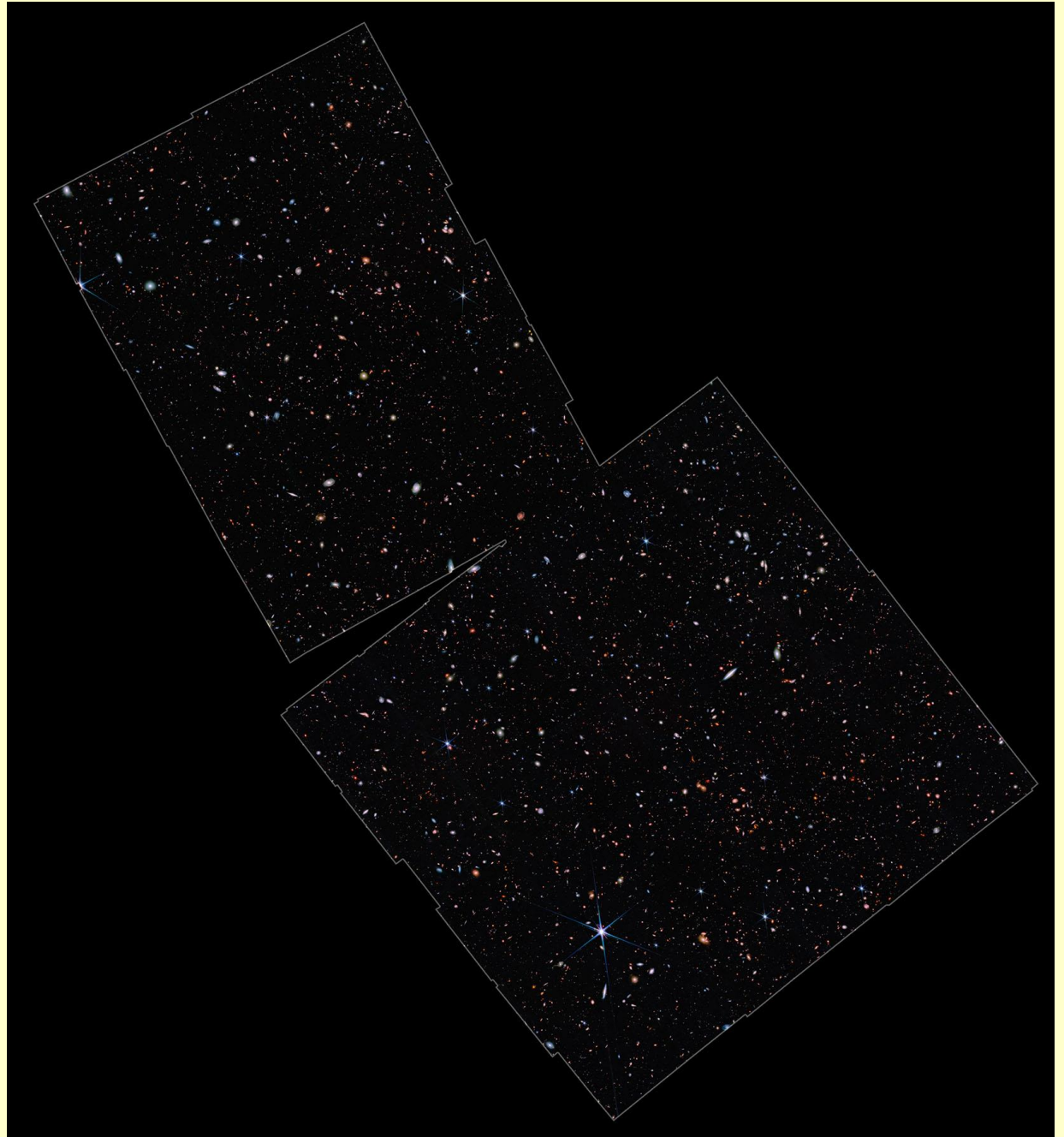


**JADES - JWST
Advanced Deep
Extragalactic Survey**

**Jde o rozšíření HST Ultra
Deep Field (HUDF)**

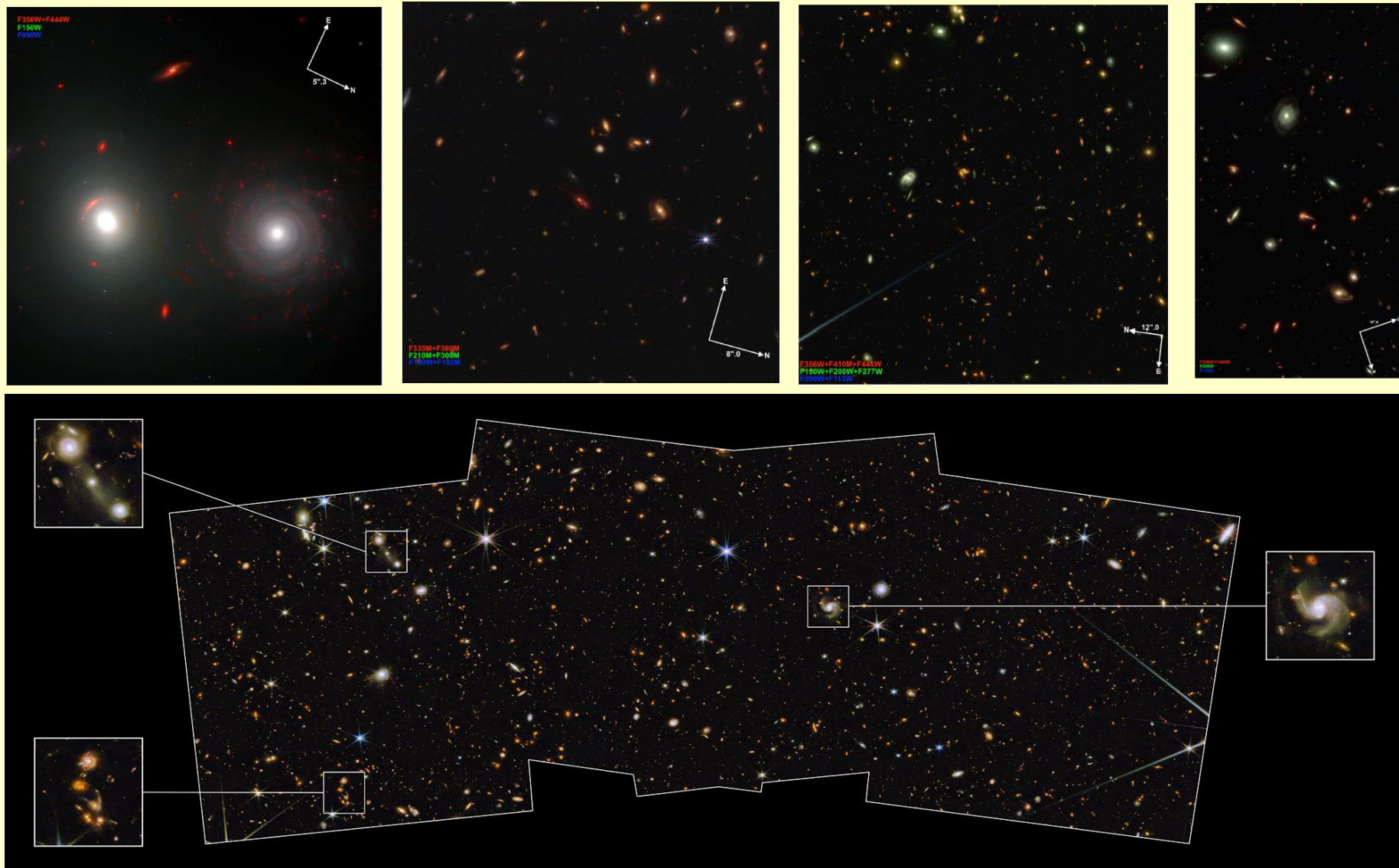
**Ve směru k pólu Galaxie
v souhvězdí Pece na jižní
obloze jihozápadně od
Oriona**

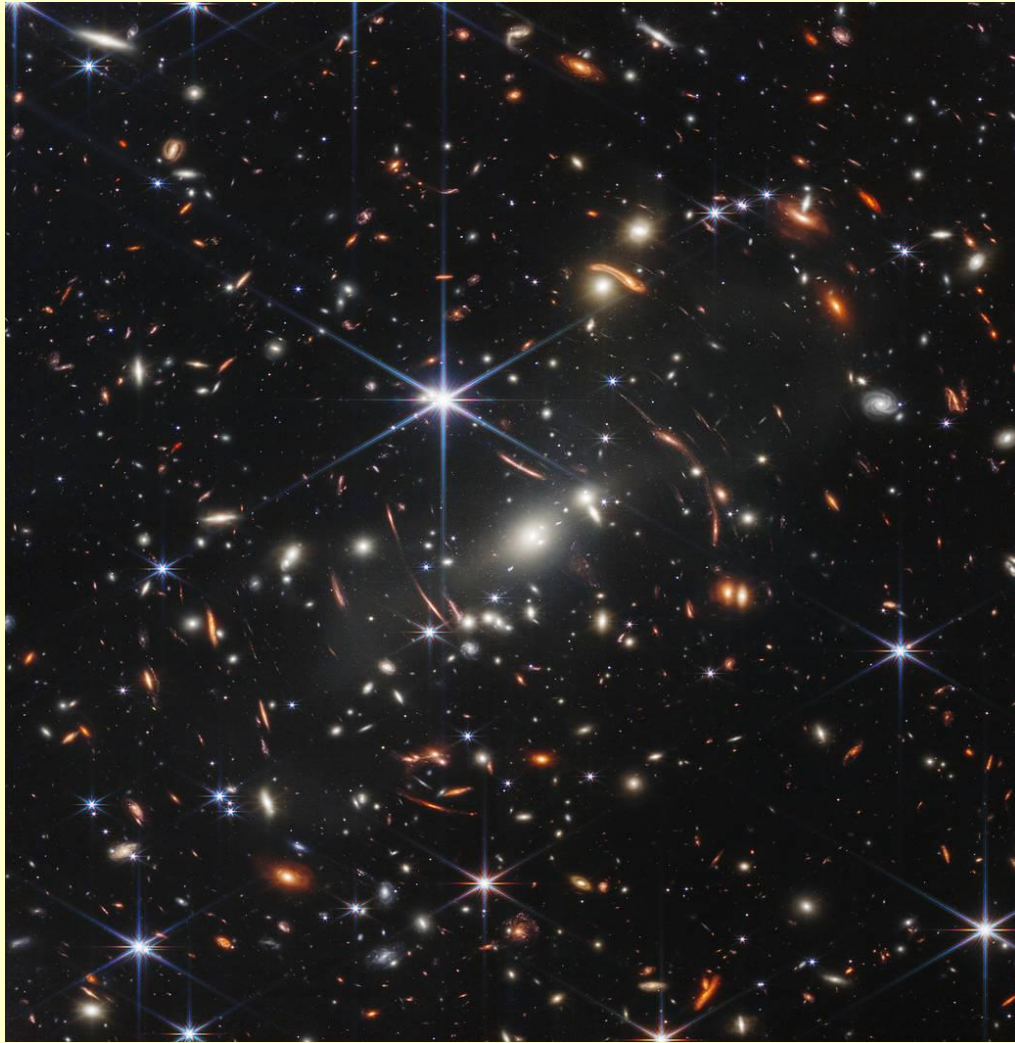
**Pole JADES je okolo
46 úhlových čtverečných
minut**



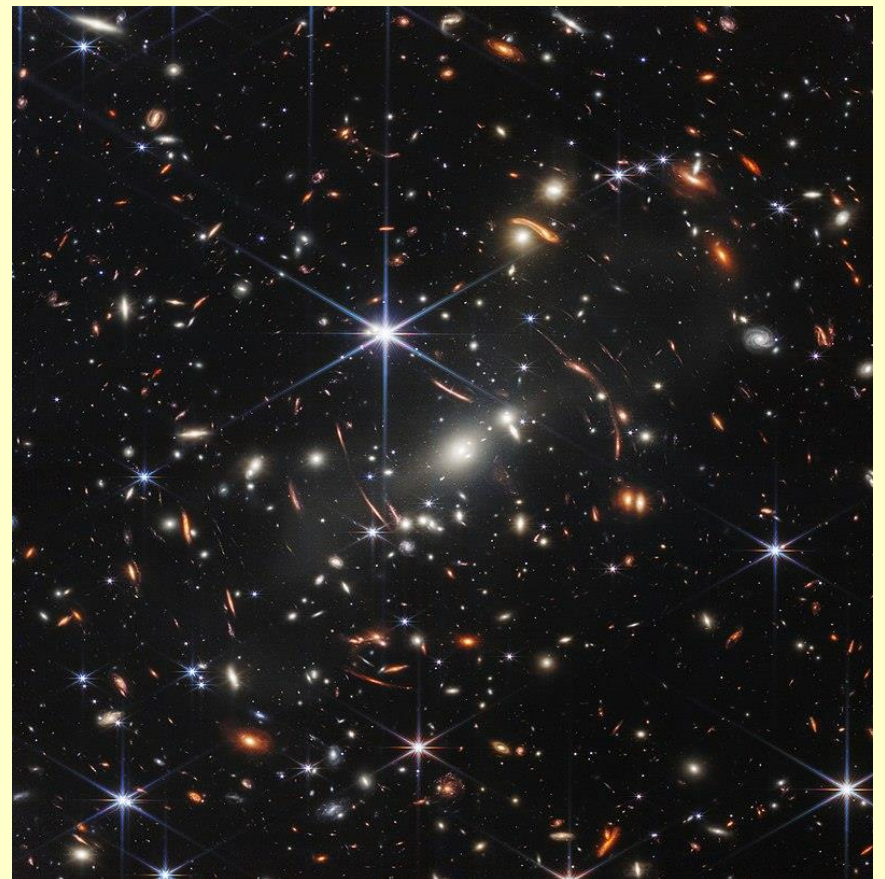
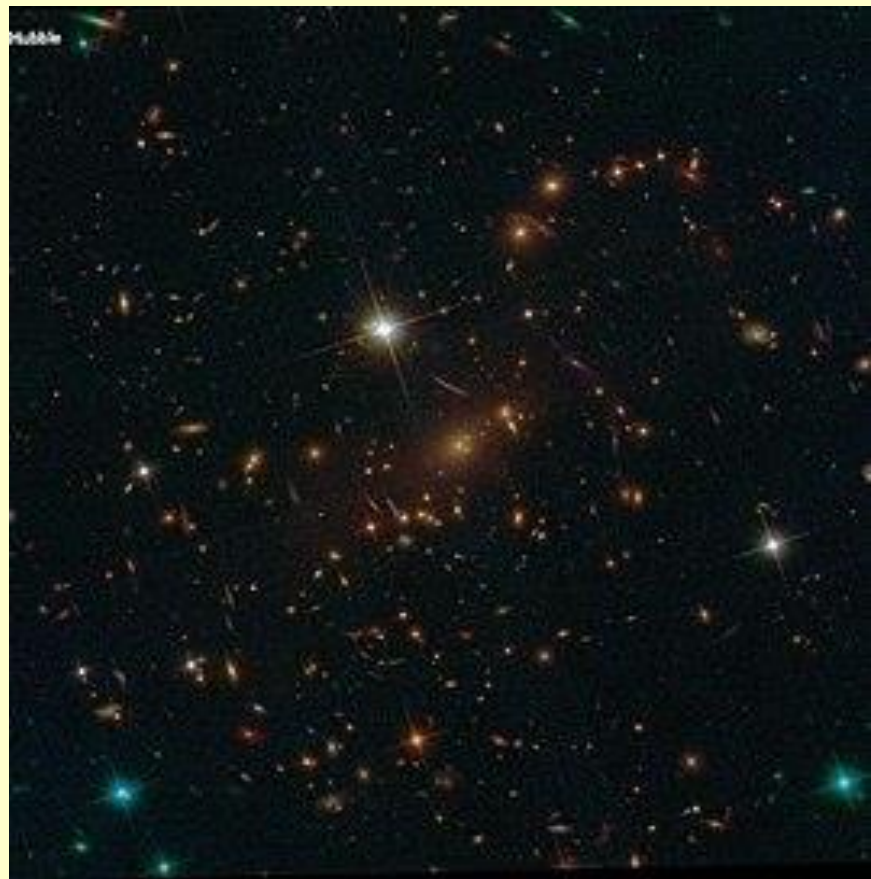
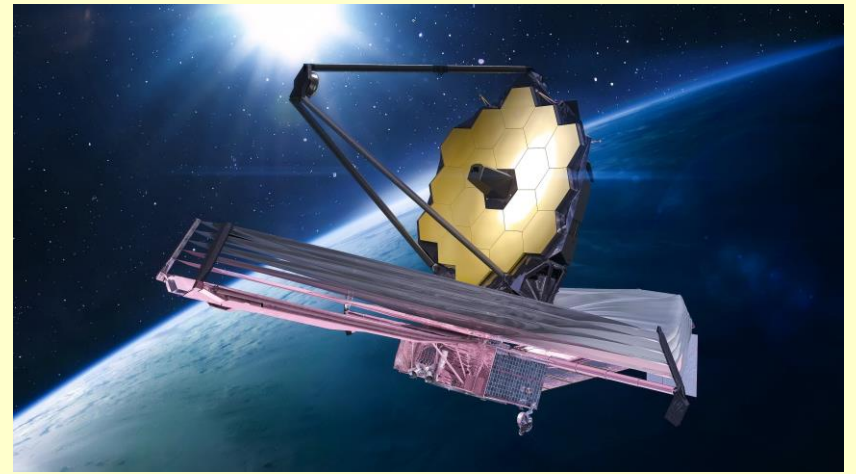
Severní pól ekliptiky (v souhvězdí Draka)

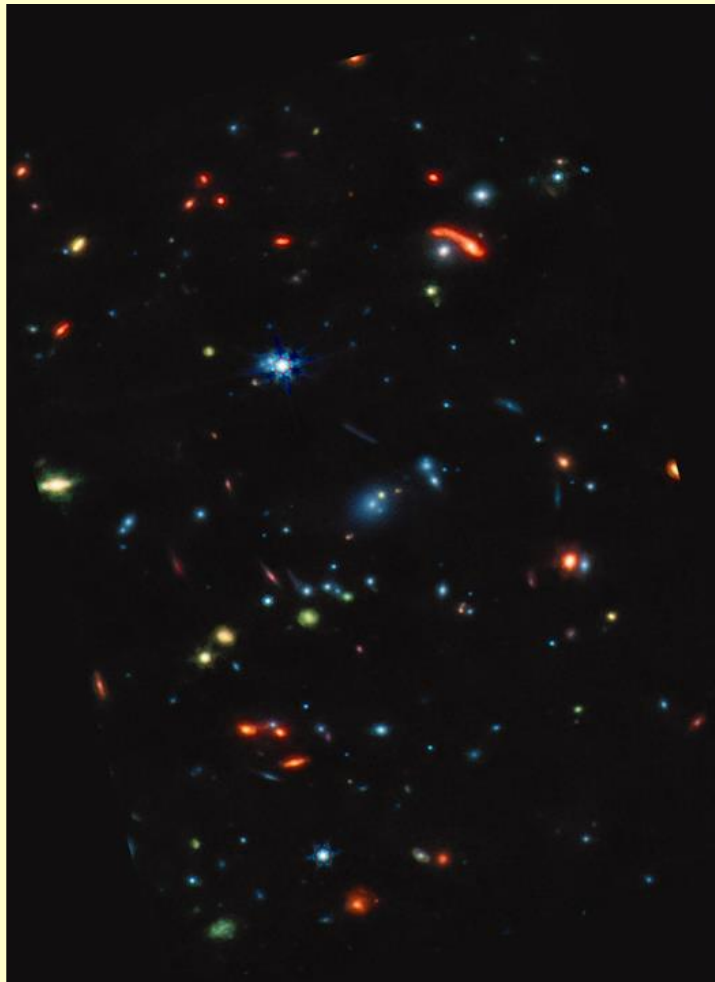
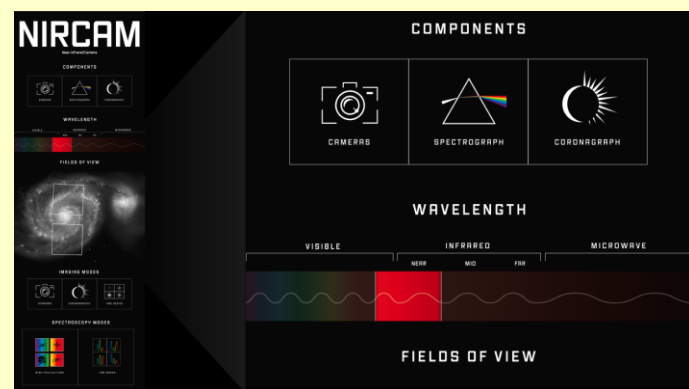
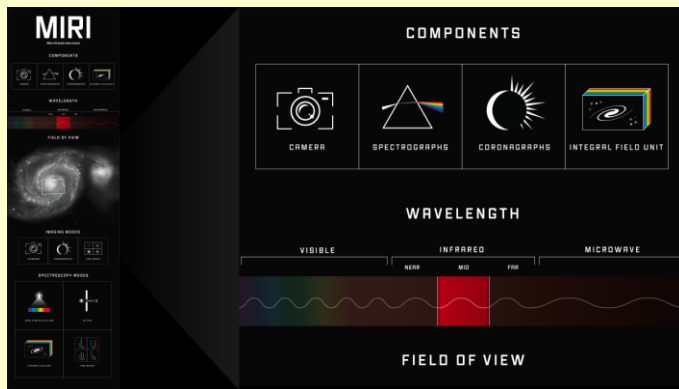
JWST PEARLS (Prime Extragalactic Areas for Reionization and Lensing Science)





Kupa galaxií SMACS 0723 (4,6 miliard sv.l.) – tisíce galaxií – červené (Dopplerův posuv) – kupa galaxií svou extrémní hmotností funguje jako gravitační čočka a zviditelňuje slabé vzdálené galaxie - ukazuje jasně potenciál Webbova teleskopu v oblasti zkoumání nejirannějších galaxií.

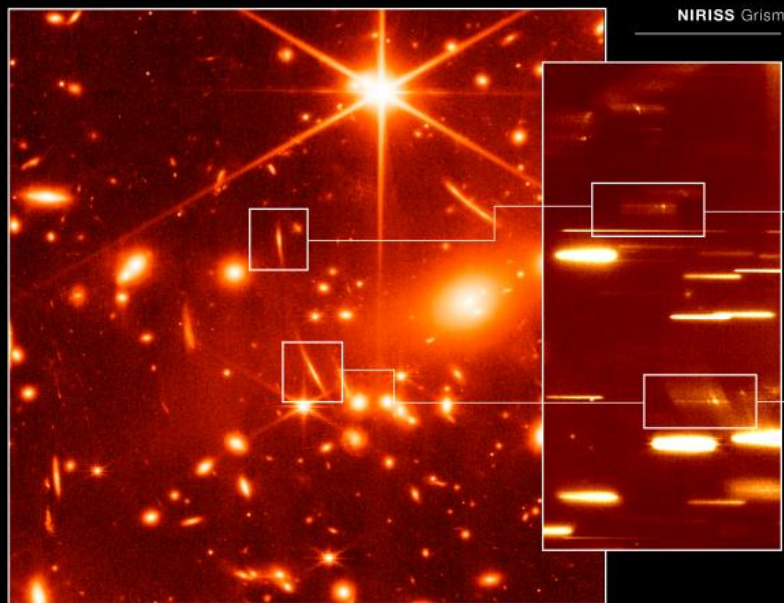




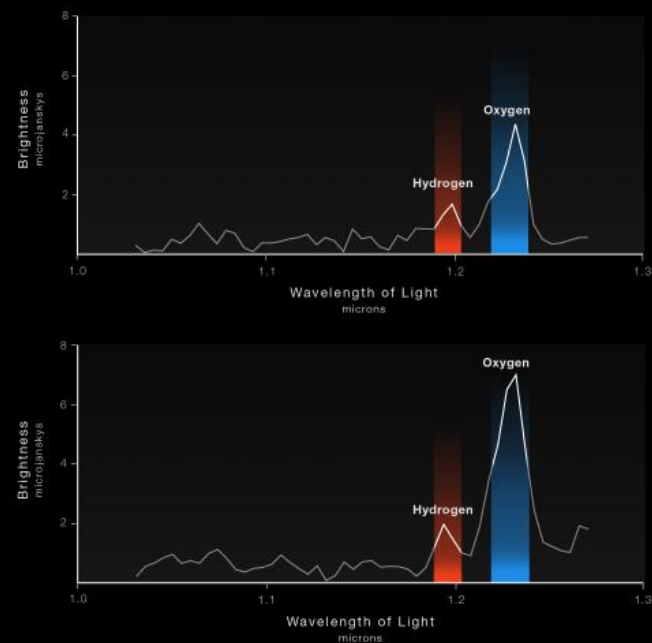
GALAXY CLUSTER SMACS 0723

WEBB SPECTRA CONFIRM TWO ARCS ARE THE SAME GALAXY

NIRISS Imaging



NIRISS Wide Field Slitless Spectroscopy



WEBB
SPACE TELESCOPE

Zkoumání spekter potvrzuje, že oblouky jsou zobrazeny čočkováním stejné galaxie

Kupa galaxií RX J2129 ve Vodnáři



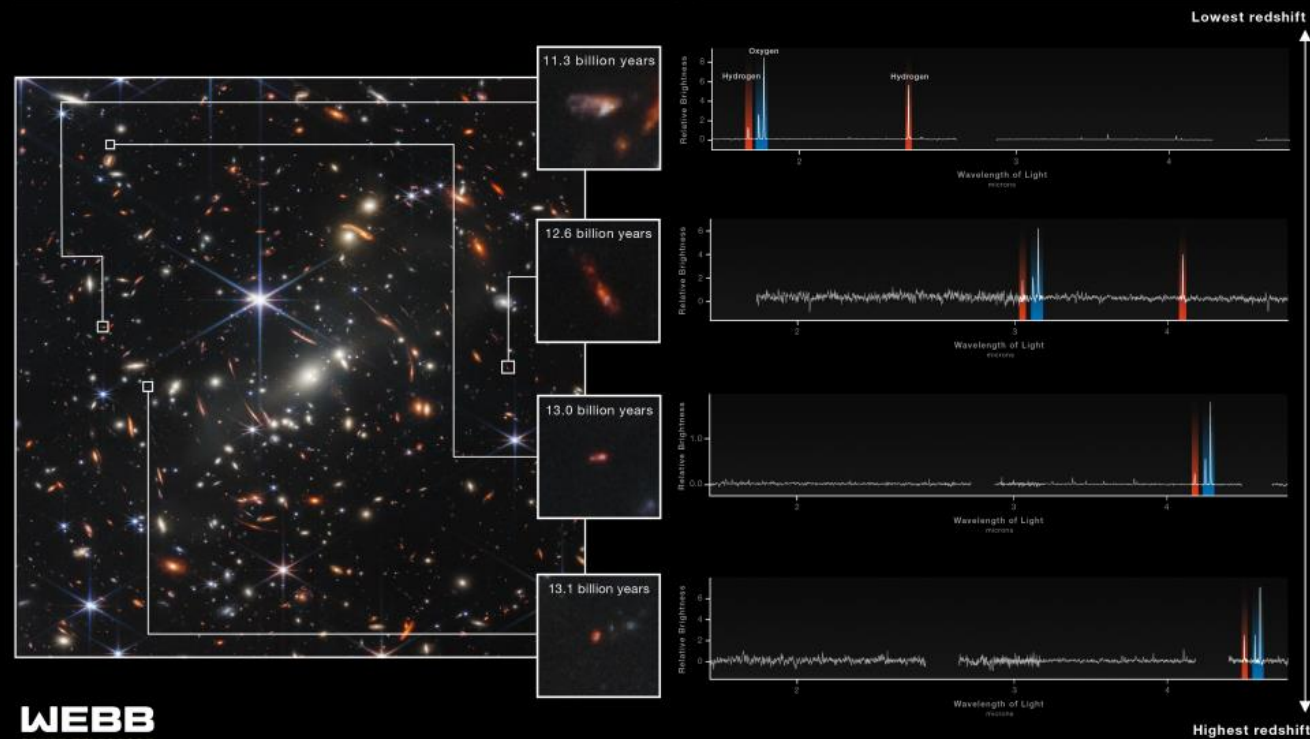
Kupa ve vzdálenosti 3,2 miliard sv. let gravitačně čočkuje vzdálenou galaxii se supernovou typu Ia (AT 2022riv – 4. 6. - 7. 8. 2022) do tří obrazů,

GALAXY CLUSTER SMACS 0723

WEBB SPECTRA IDENTIFY GALAXIES IN THE VERY EARLY UNIVERSE

NIRCam Imaging

NIRSpec Microshutter Array Spectroscopy



Dopplerův posuv ukazuje vzdálenost galaxií – vidíme stále vzdálenější galaxie

Hledání „Green pea“ galaxií v blízkosti období reionizace

Jde o tzv.

„Green pea“
(Hrachové) galaxie –
kompaktní malé
modré velmi svítivé
galaxie s intenzivní
tvorbou hvězd.

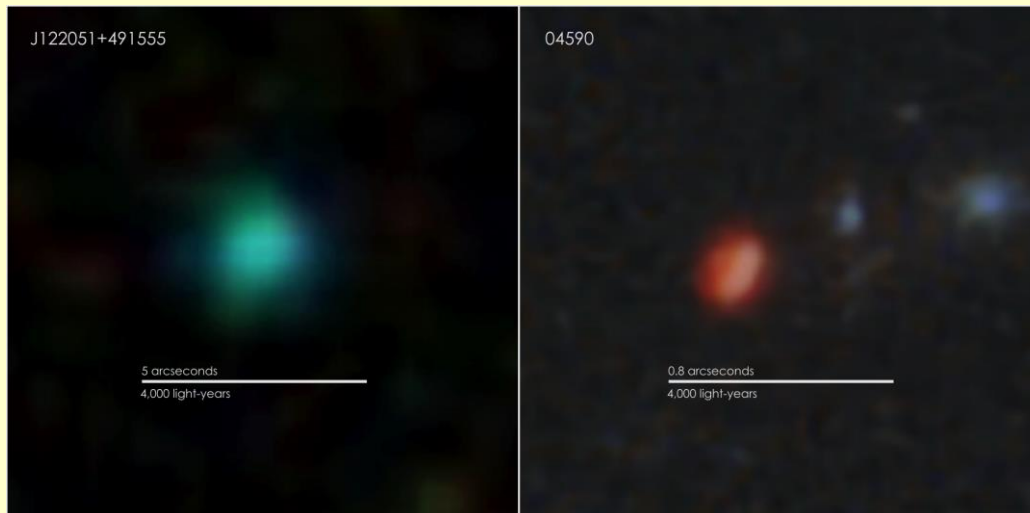
Velmi vzácné v
našem okolí, tedy v
pozdějších fázích
vývoje vesmíru, jen
0,1 % v Sloan
přehledu.

Pozorované mladé
galaxie vzniklé v
době blízké období
reionizace.

Svítivé a hmotné
hvězdy.

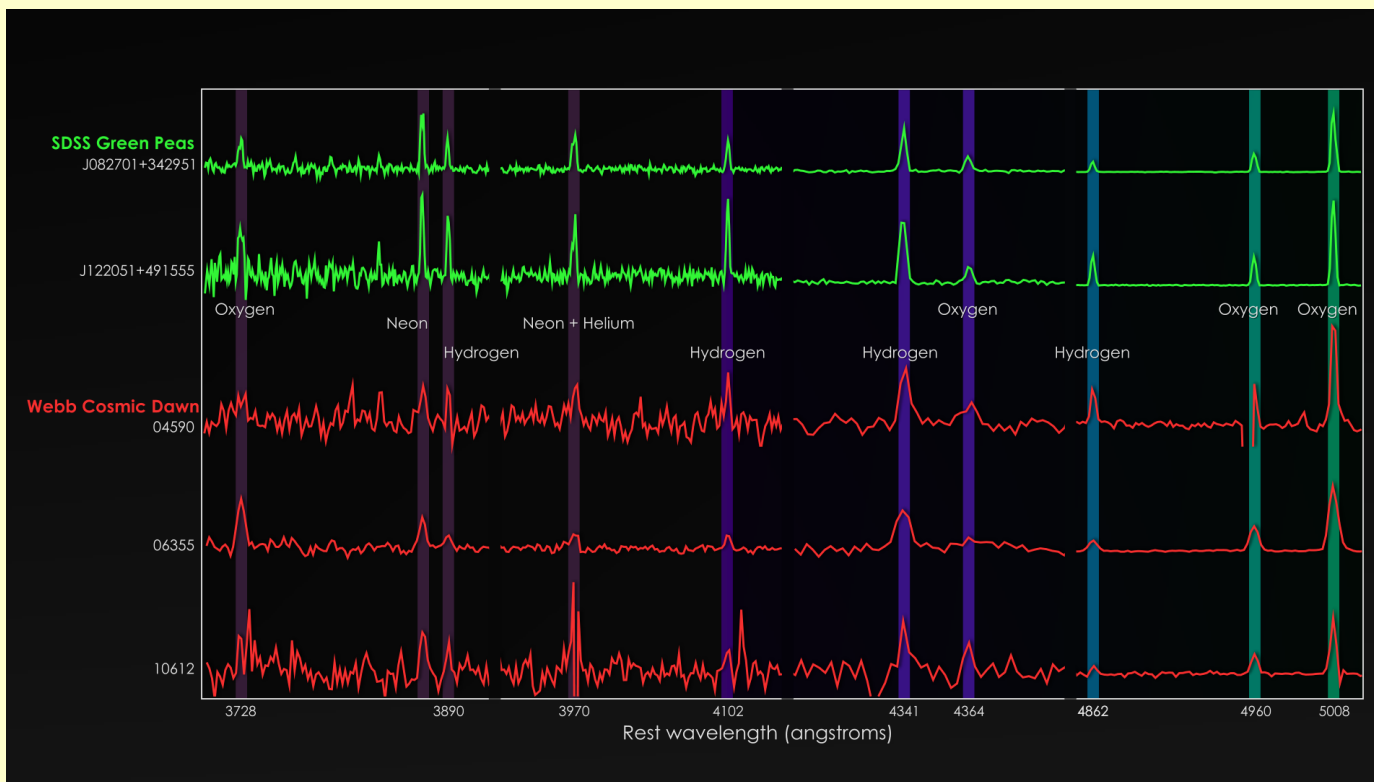
Pomocí gravitačního
čočkování byly za kupou
SMACS 0723 pozorovány
extrémně vzdálené galaxie





Časová vzdálenost přes
13 miliard sv. l. – blízko času
reionizace a prvních hvězd i
galaxii (Z je 7,5 – 8,6)

Jen 20 % kyslíku oproti naší
Galaxii, nejvzdálenější jen 2 %



$Z = 0,012$

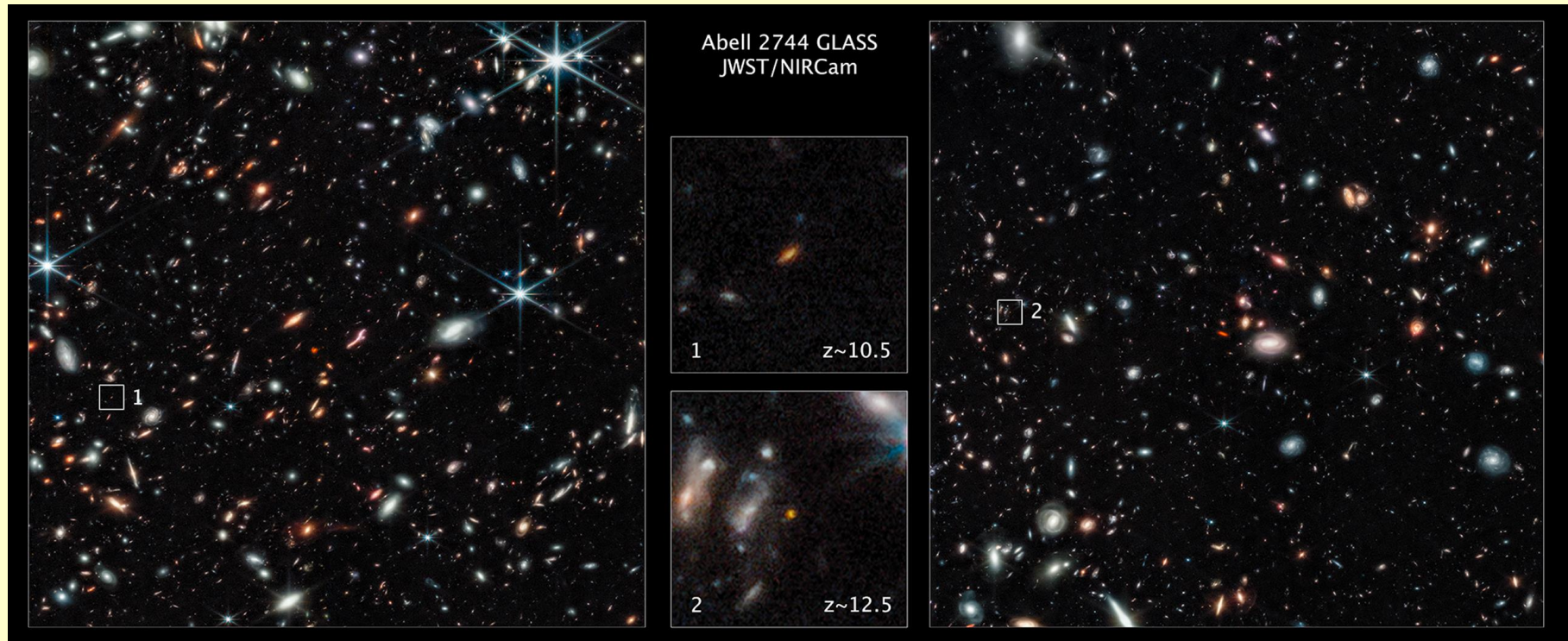
$Z = 0,085$

$Z = 8,495$

$Z = 7,664$

$Z = 7,659$

Abell 2744, přezdívaná Pandořina kupa, je obří kupa galaxií, která je výsledkem současného nahromadění nejméně čtyř samostatných menších kup galaxií, které se odehrálo v rozpětí 350 milionů let a nachází se přibližně 4 miliardy světelných let od Země. Galaxie v kupě tvoří méně než pět procent její hmoty.



Pandorina kupa umožňuje svým gravitačním čočkování pozorovat tisíce extrémně vzdálených galaxií – pomocí daného snímku lze studovat okolo 50 000 extrémně vzdálených galaxií (po obrázku z NIRCcam se zaměří na zajímavé objekty spektrometr)

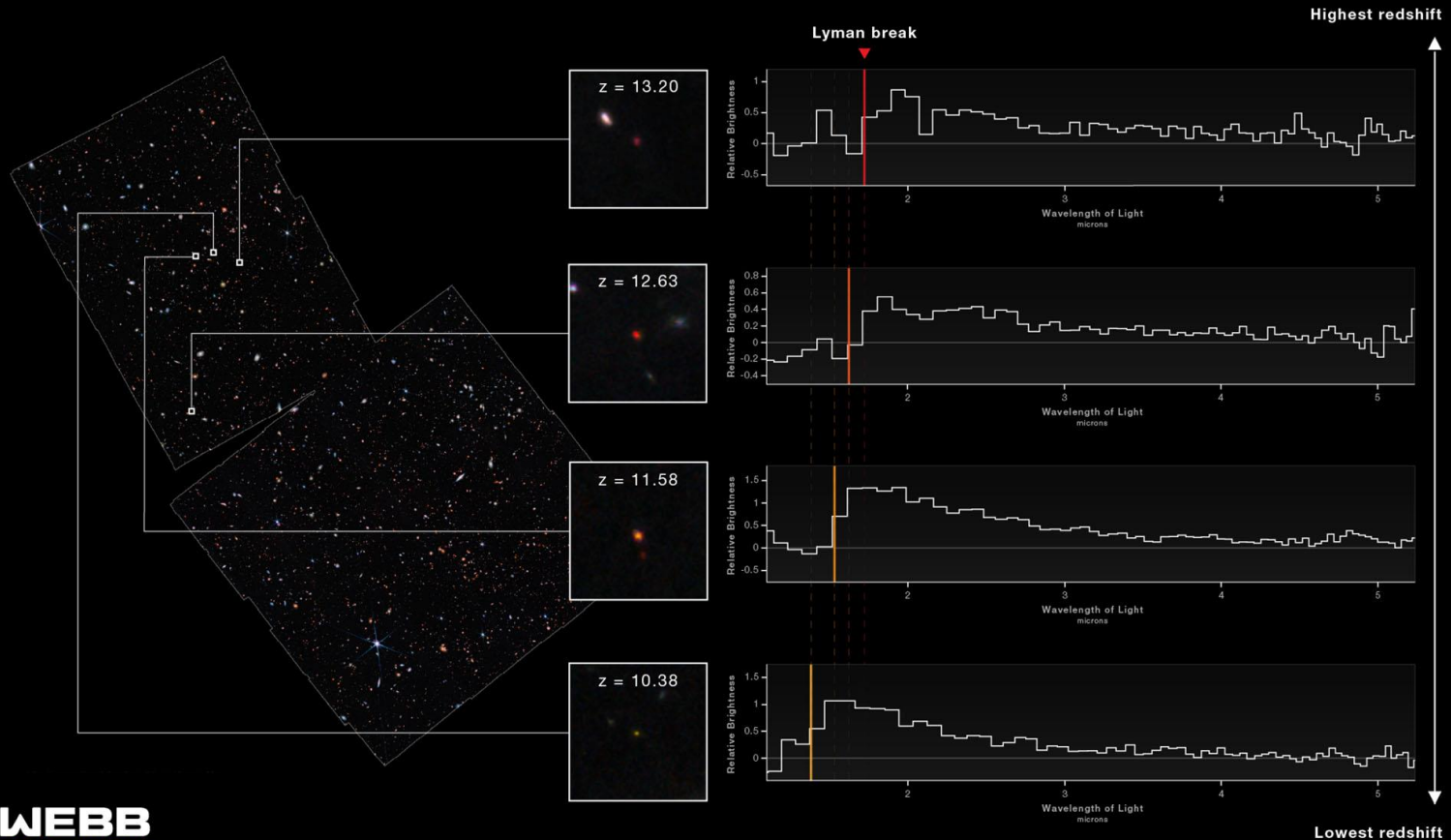


JWST ADVANCED DEEP EXTRAGALACTIC SURVEY (JADES)

WEBB SPECTRA REACH NEW MILESTONE IN REDSHIFT FRONTIER

NIRCam Imaging

NIRSpec Microshutter Array Spectroscopy

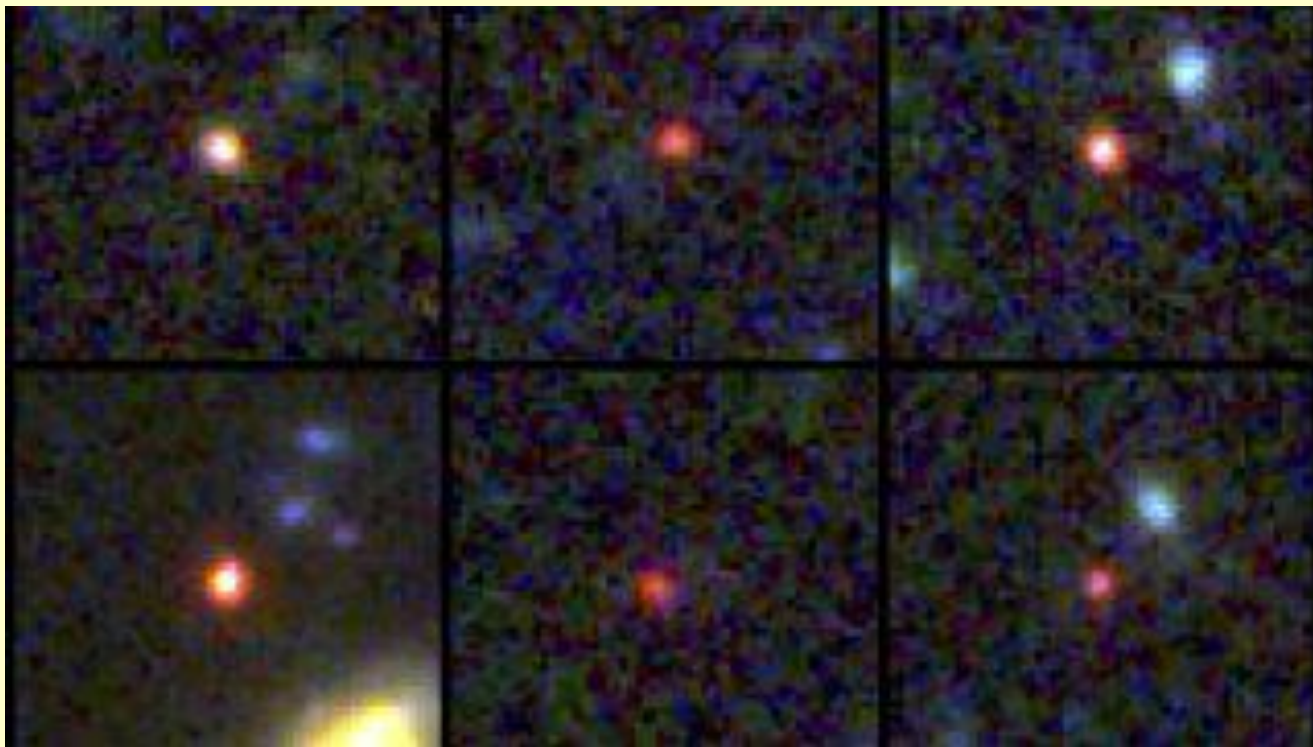


WEBB
SPACE TELESCOPE

JWST ulovil čtyři extrémně vzdálené galaxie, jsou mladší než 400 milionů let po Velkém třesku (až okolo 350 milionů sv. l. – už velmi blízko těm prvním hvězdám a galaxiím). (Z je větší než 10)

Extrémně vzdálené masivní galaxie

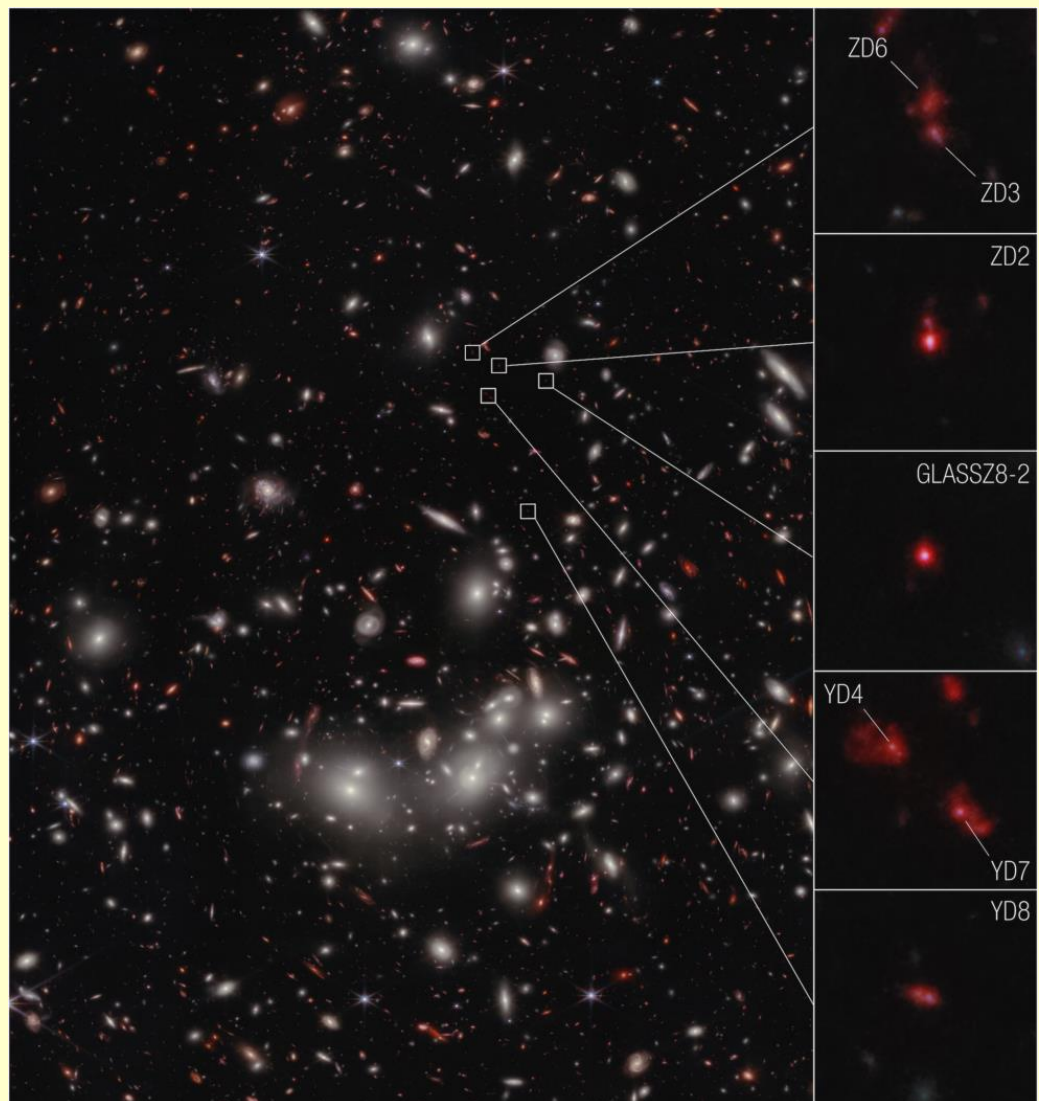
(Článek Nature 22. 2. 2023)



K určení hmotnosti se využívá hrana Balmerovy série ve spektru vodíku. Posunuta až k délce větší než $2,5 \mu\text{m}$. Možno pozorovat jen

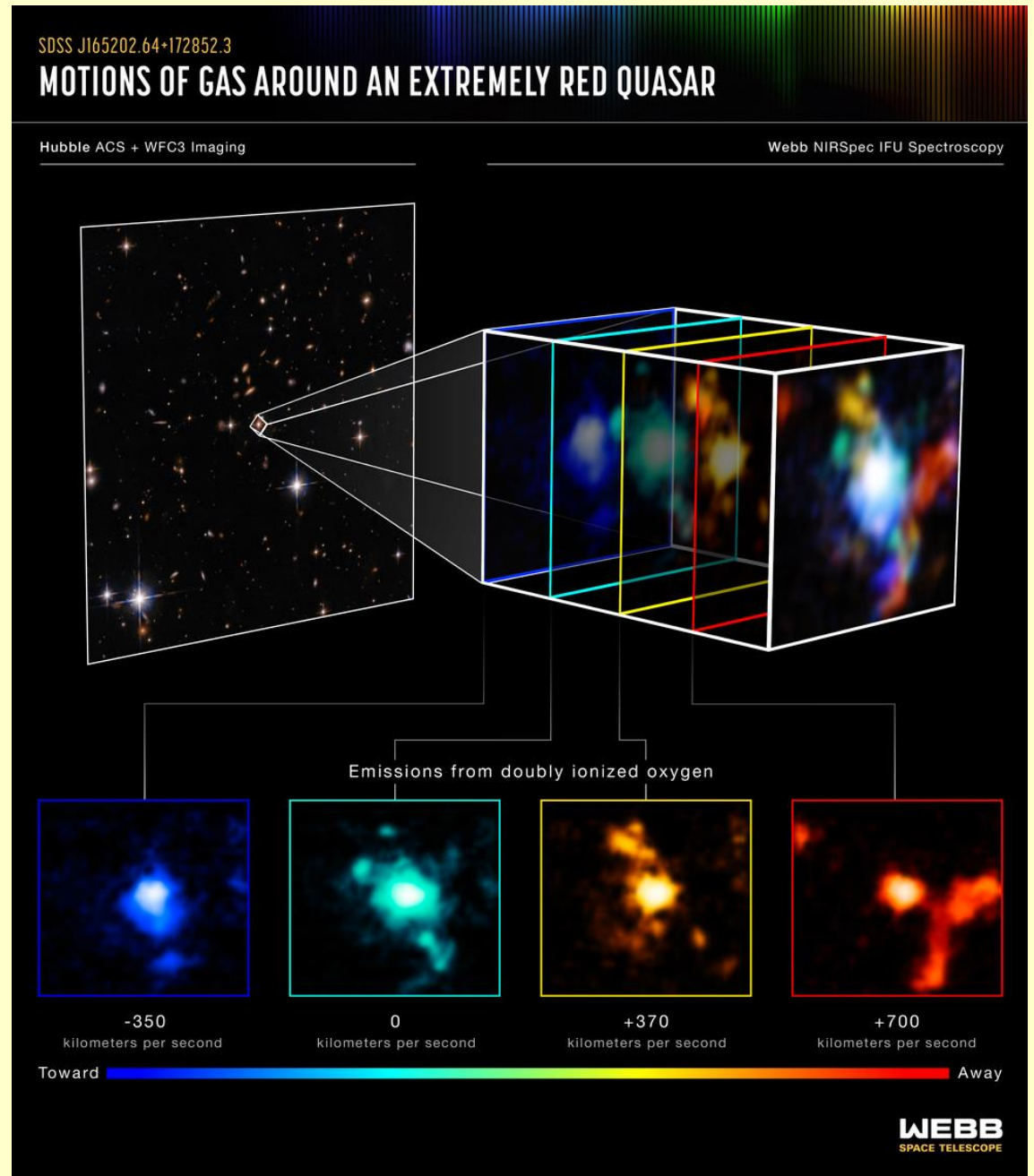
Pozorování extrémně vzdálených galaxií, které mají velkou hmotnost. Podle současných klasických představ vývoje galaxií by měla evoluce probíhat od menších galaxií k větší.

Šest galaxií s hmotností větší než $10^{10} M_{\odot}$ (jedna hmotnost až $10^{10} M_{\odot}$) s rudým posuvem mezi 7,4 až 9,5 (jen 500 -700 milionů let po Velkém třesku)



Čočkování protokupy sedmi galaxií se $z = 7,9$ (okolo 650 milionů let po Velkém třesku), porovnání rychlostí ukazuje na to, že jde o vázaný systém

Pohyb plynu v kupě
(protokupě) galaxií v okolí
velmi vzdáleného kvazaru
SDSS J165202.64+172852.3.
Nalevo snímky z Hubbleova
teleskopu a napravo nové z
Webbova teleskopu





Stephanův kvintet (Pegas)– tanec pěti galaxií vzdálených 290 mil. sv.l., gravitace silně zamává plynem a prachem, které je tvoří při průniku galaxie NGC 7318b tímto systémem. Výsledkem rázových vln jsou oblasti s intenzivní tvorbou hvězd



Splynutí dvou galaxií vede k vytvoření oblastí intenzivní tvorby hvězd. Jde o systém II ZW 96, který je v souhvězdí Delfína 500 milionů sv. l.



Mlhovina Carina v Lodním kýlu - kolébky hvězdné tvorby – infračervené záření zviditelní rané hvězdy – jsou vidět i skrz vrstvy prachu a plynu



Webbův dalekohled pozoroval „Pilíře stvoření“, kde dochází v průběhu tisíciletí k intenzivní tvorbě hvězd. Mlhovina Orel 6 500 sv. l. Poprvé pozorovány v roce 1995 pomocí Hubbleova dalekohledu.



**Pozorování zrodu deseti tisíce nových hvězd v mlhovině 30 Doradus (Tarantule)
(161 tisíc sv.l.) – jedna z kolébek velmi intenzivní produkce hvězd**



Protohvězda uvnitř temné prachové a plynové mlhoviny L1527, pozorování zrodu hvězdy a pravděpodobně i planetárního systému

Naopak pozorování zániku masivní hvězdy

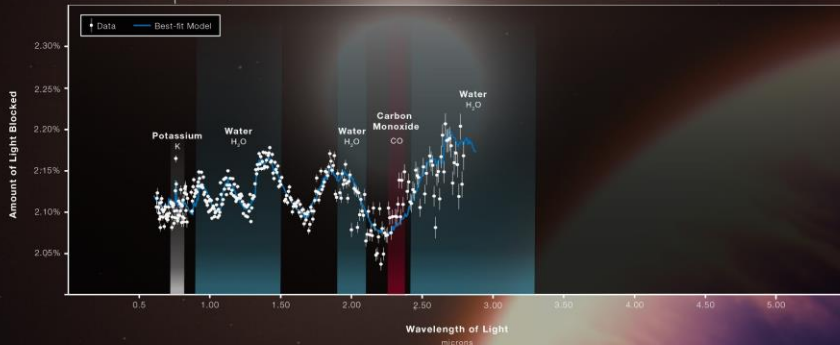


Pozorování konečné fáze vývoje velmi hmotné hvězdy - Wolf-Rayetova hvězda WR 124 je předzvěstí budoucí exploze supernovy – bouřlivé vyvrhování hmoty je zdrojem těžkých prvků pro další generace hvězd a planet.

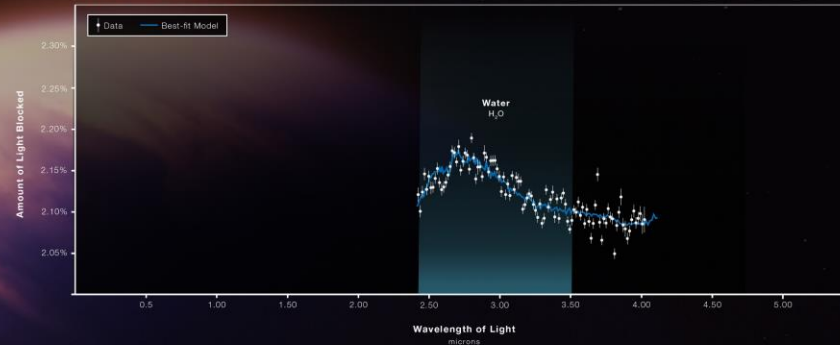
HOT GAS GIANT EXOPLANET WASP-39 b ATMOSPHERE COMPOSITION

WASP 39b: $R = 1,27 R_J$, $M = 0,28 M_J$

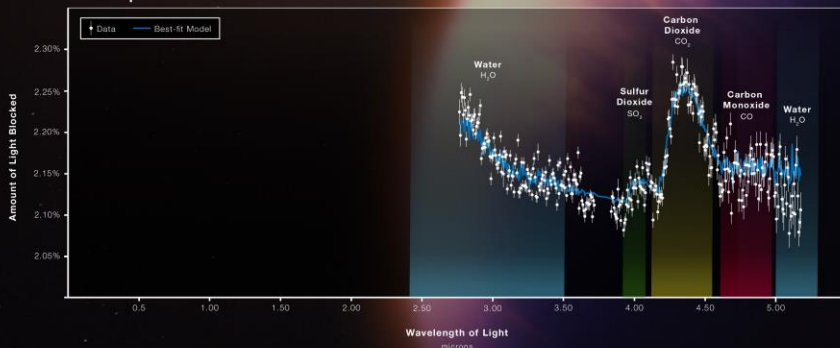
NIRISS | Single Object Slitless Spectroscopy



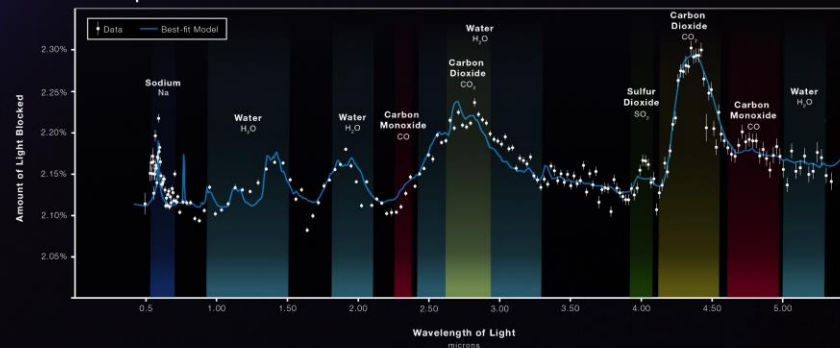
NIRCam F322W2



NIRSpec G395H



NIRSpec PRISM



WEBB
SPACE TELESCOPE

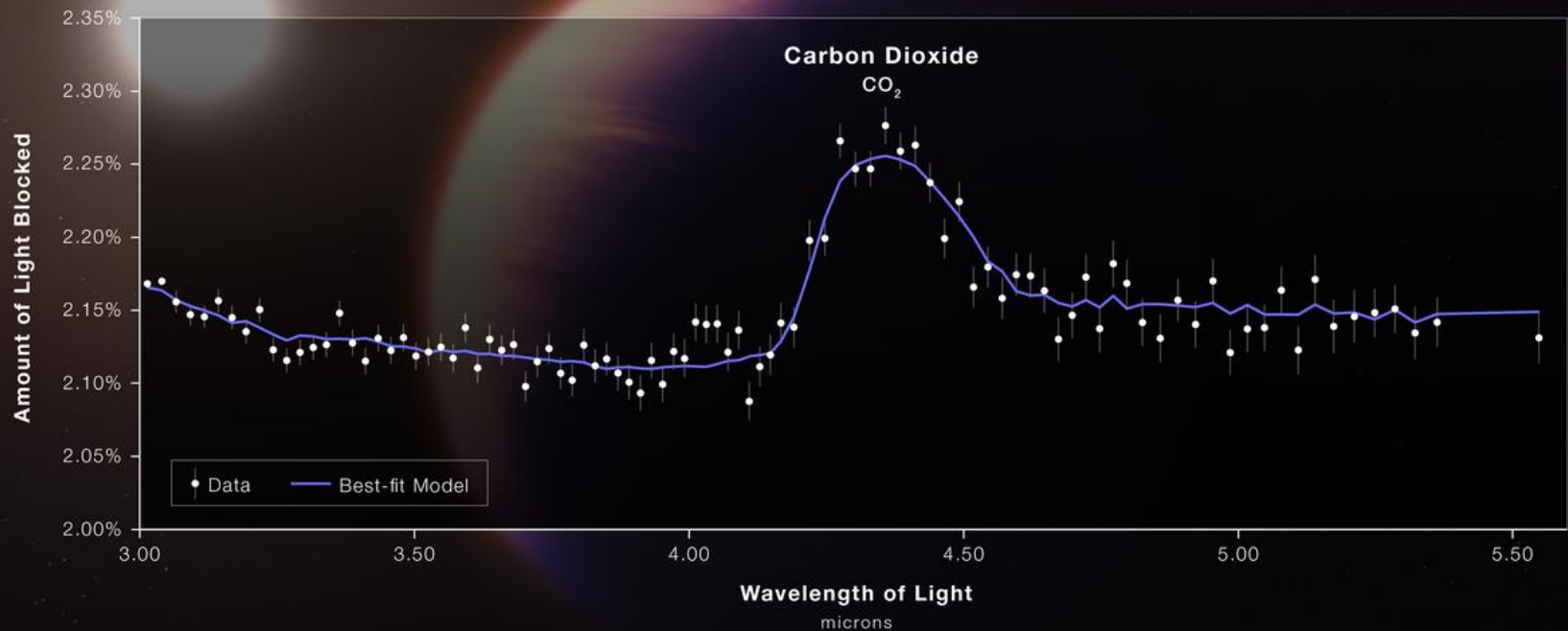
WASP – 39 b – Bocaprins (700 hv.l. v souhvězdí Pana) – planeta hmotnosti Saturna v blízkosti hvězdy – horký Saturn – první komplexní měření složení atmosféry a oblačnosti. Pozorovány byly SO₂, Na, K, H₂O, CO₂, CH₄, CO, H₂S ...

Hvězda WASP-39 (Malmok) o chlup menší než Slunce spektrální třídy G, planeta je devětkrát blíže mateřské hvězdy, než je Merkur, doba oběhu 4 dny, teplota 900°C.

HOT GAS GIANT EXOPLANET WASP-39 b

ATMOSPHERE COMPOSITION

NIRSpec | Bright Object Time-Series Spectroscopy

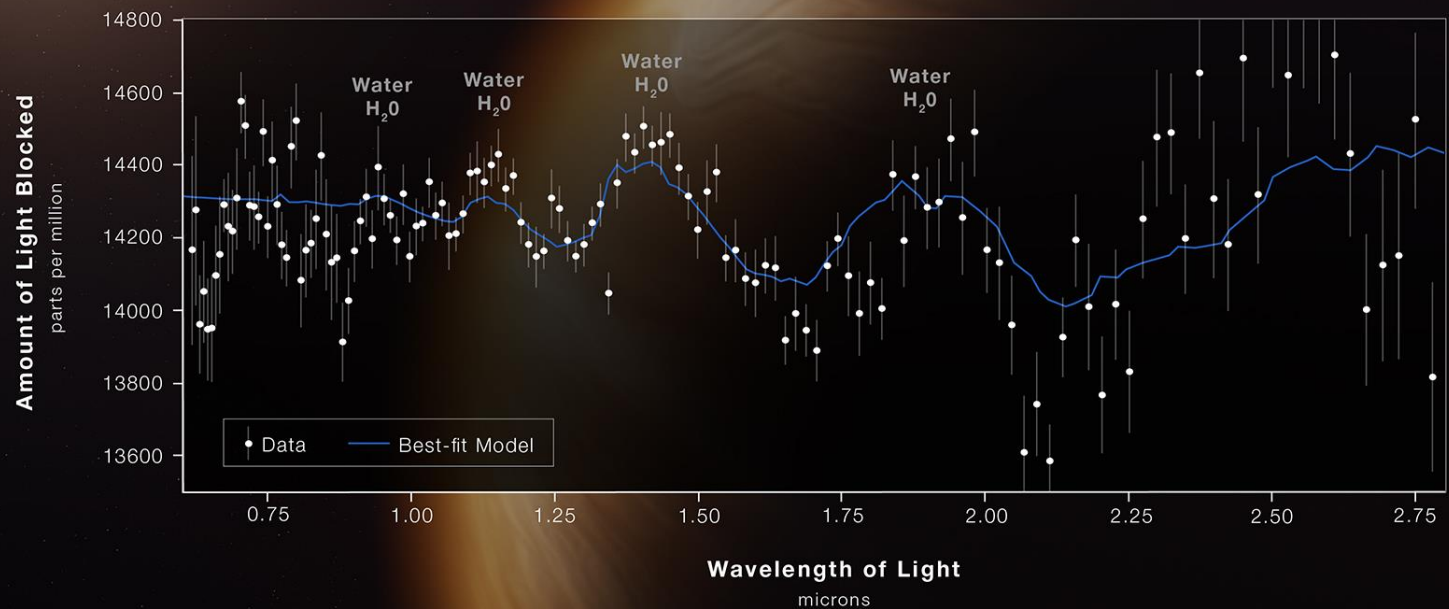


WEBB
SPACE TELESCOPE

HOT GAS GIANT EXOPLANET WASP-96 b

ATMOSPHERE COMPOSITION

NIRISS | Single-Object Slitless Spectroscopy



WEBB
SPACE TELESCOPE

Na co se můžeme díky Webbovi těšit?

- 1) Velkou statistiku pozorování raných galaxií v blízkosti období reionizace.
- 2) Evoluce galaxií a kup galaxií v prvních obdobích vývoje vesmíru.
- 3) Intenzivní využití velmi hmotných kup a gravitačního čočkování
- 4) Rozložení galaxií, kup galaxií, vývoj rozpínání vesmíru v čase
- 5) Vývoj tvorby hvězd v galaxiích a gravitačně interagujících skupin galaxií
- 6) Vývoj exoplanetárních atmosfér
- 7) "Důležité je, že dané jevy budou pokryty s velkou stále rostoucí statistikou



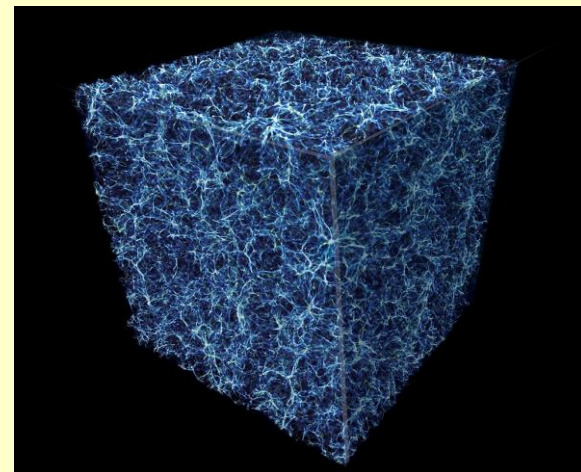
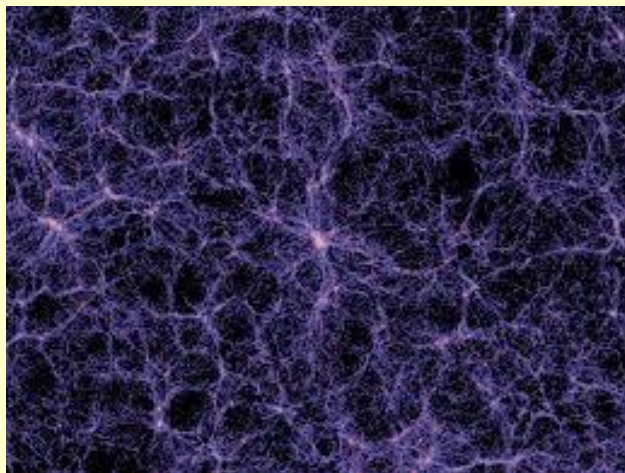
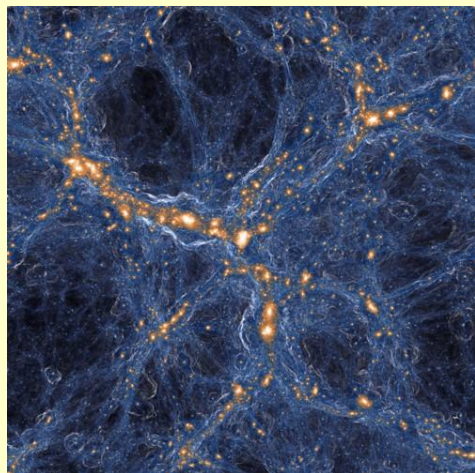
Temná hmota a temná energie

Vyřešení otázky o podstatě temné hmoty bude možné na základě stále přesnějších měření rozložení a pohybu hmoty ve vesmíru. Jde tak o studium velkoškálové struktury vesmíru na co největších vzdálenostech a pohybu galaxií a kup galaxií (Velký atraktor).

Nutné studium rozložení velmi vzdálených galaxií v celooblohovém režimu (oblasti vzdálenější od galaktického rovníku).

Studium pohybu galaxií a rozložení hmoty v kupách galaxií, studium rotačních křivek a rozložení hmoty v galaxiích (důležitá co největší statistika).

Velkoškálová struktura vesmíru - rozložení gravitační hmoty (i té temné)



Numerická simulace velkoškálové struktury

Observatoř Very C. Rubin

(Velký celooblohový dalekohled)

Během roku 2022 se dokončoval a začal uvádět do provozu teleskop Very C. Rubin – plný provoz v roce 2023 a 2024

Průměr zrcadla 8,4 m, širokoúhlá kamera, největší dalekohled pro celooblohovou přehlídku:

CCD kamera o průměru 64 cm, rozlišení 3 Gpixel, pokrytí 8,5 čtverečných stupňů (chlazení – 100°C)

22. srpna 2022 – instalace ComCam (menší verze s rozlišením 0,144 Gpixel)



Vera Rubin 1928 – 2016
(studium rychlosti rotace Galaxie)



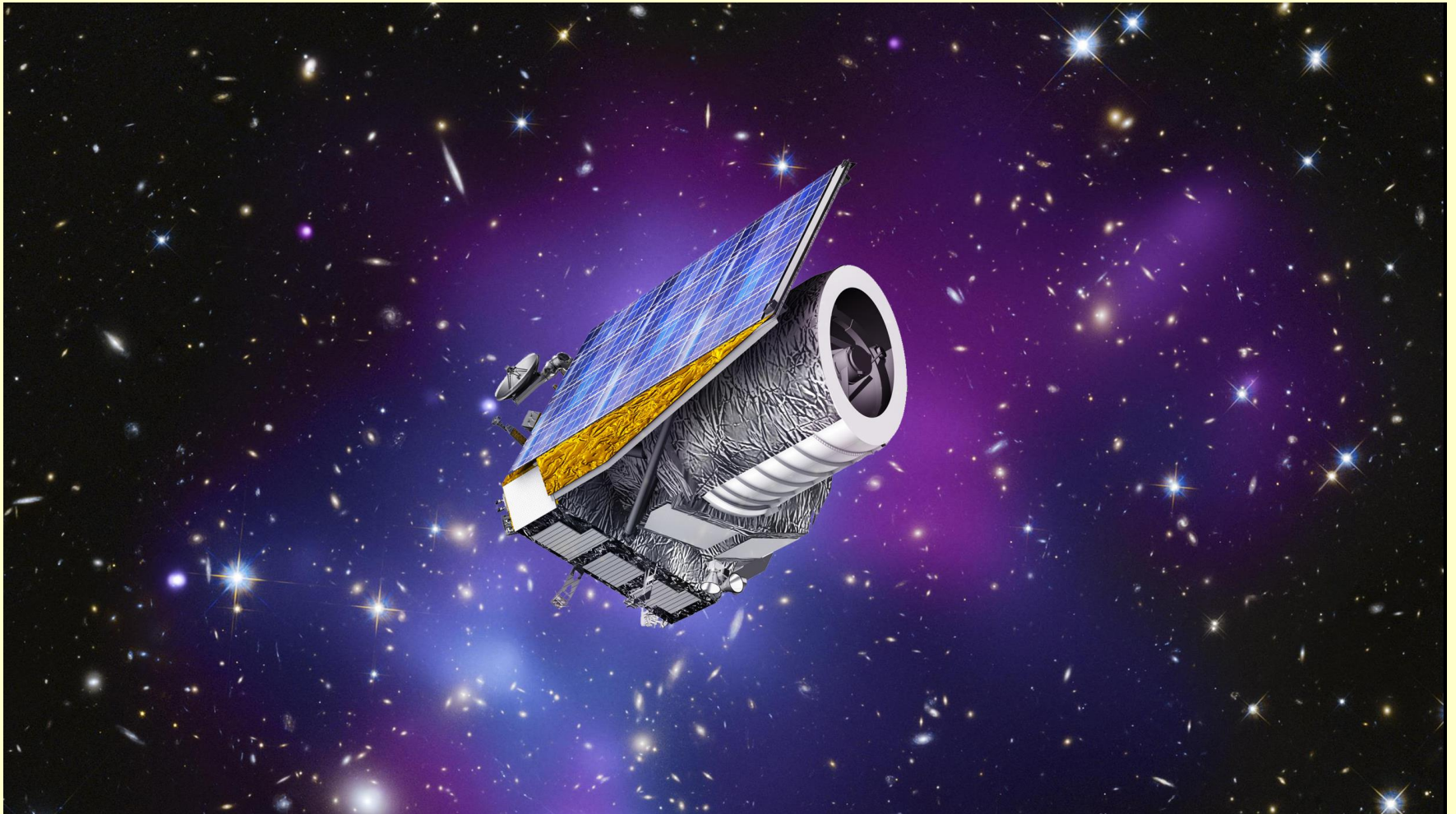
Observatoř na hoře El Peñón v Čile



Samotný dalekohled

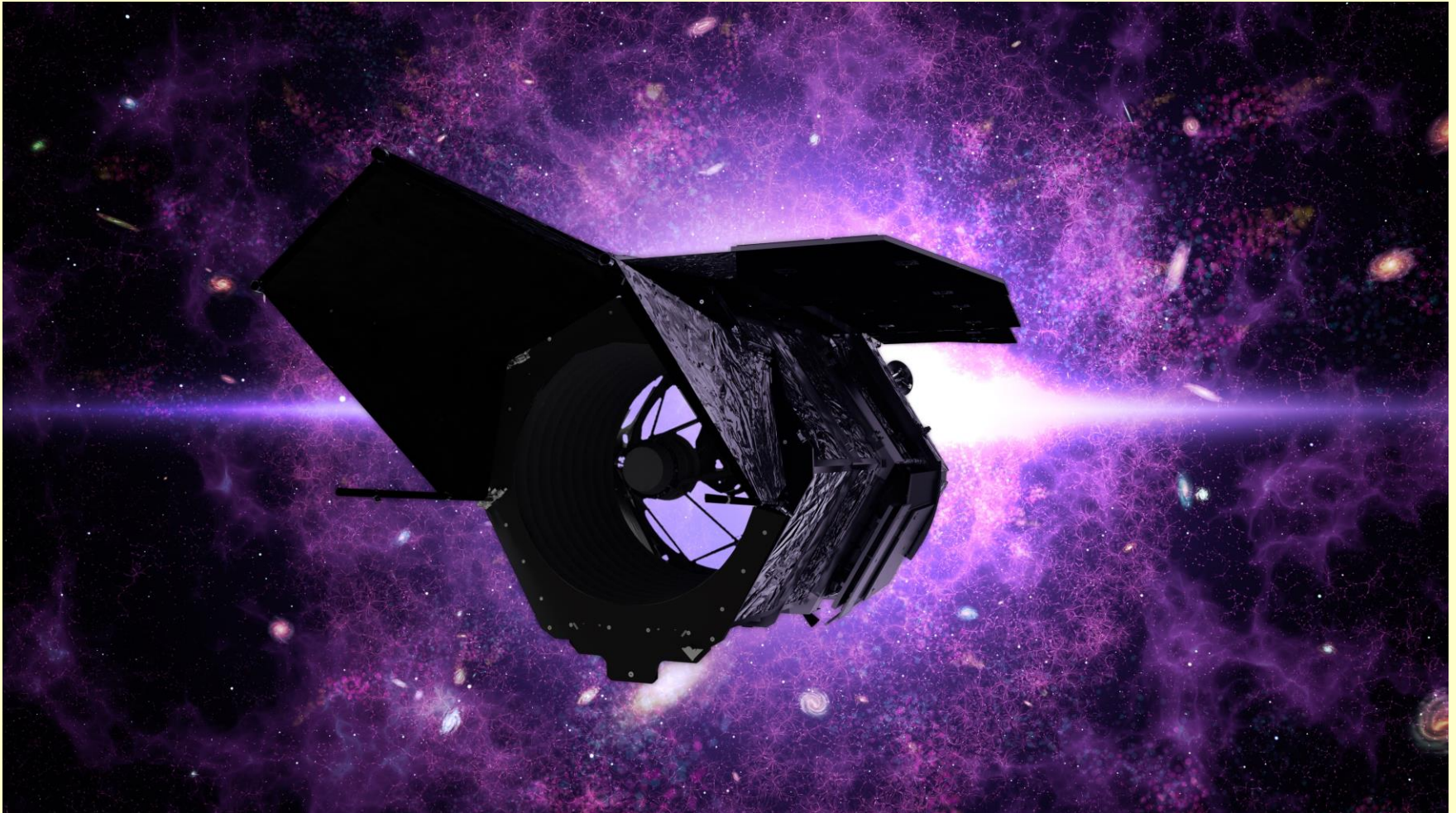
Euklidův teleskop

Infračervený vesmírný teleskop ESA, vypuštění plánováno v roce 2023, průměr zrcadla 1,2 m. Bude mít kameru ve viditelné oblasti a blízké infračervené ($0,5 - 2,0 \mu\text{m}$)



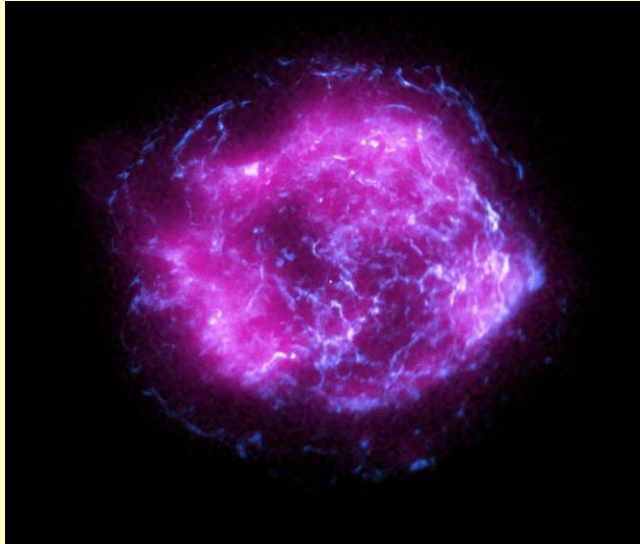
Vesmírný teleskop Nancy Grace Romanové

Opět dalekohled určený pro studium infračervené oblasti spektra. Vypuštění plánováno na rok 2027. Průměr zrcadla 2,6 m.



Observatoř IXPE (Imaging X-ray Polarimetry Explorer)

Nově vypuštěná rentgenová observatoř (8. prosince 2021) – měření polarizace rentgenového záření -



Observatoř IXPE a její první snímek pozůstatku supernovy Cassiopea A

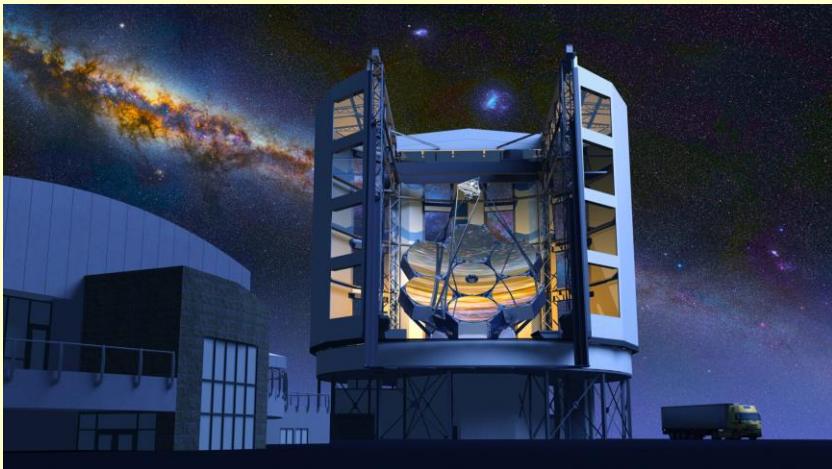
Budoucí extrémně velké pozemní teleskopy



Třicetimetrový teleskop



Velmi velký teleskop (Čile Atakama)



Gigantický Magellanův teleskop

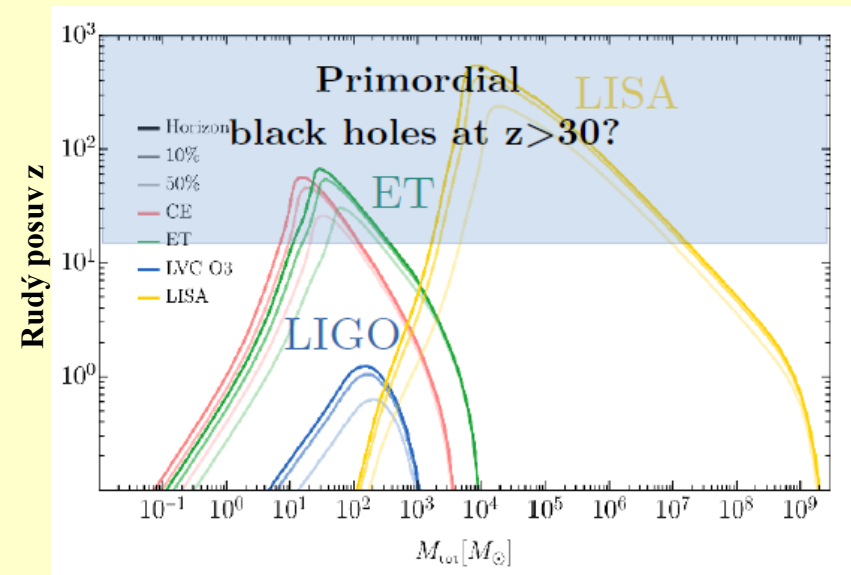
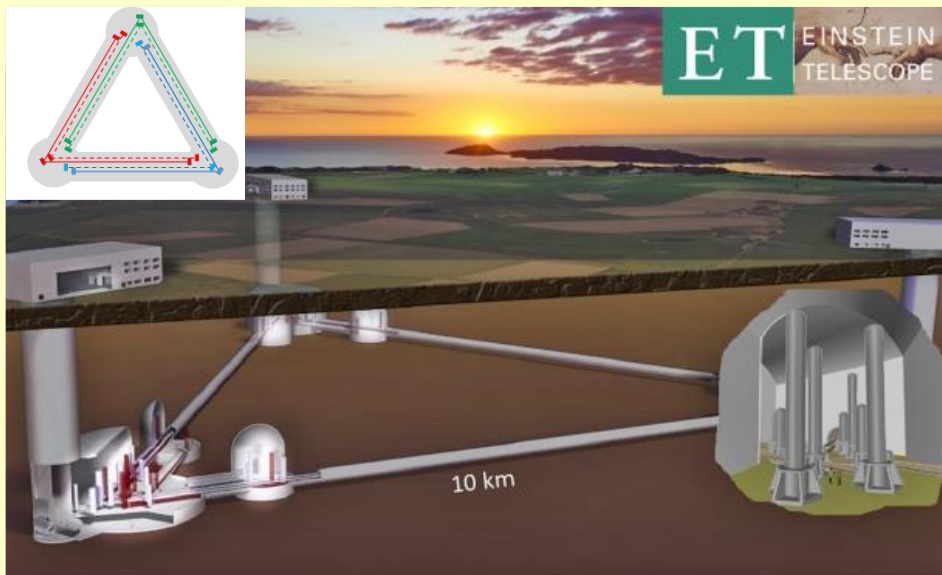
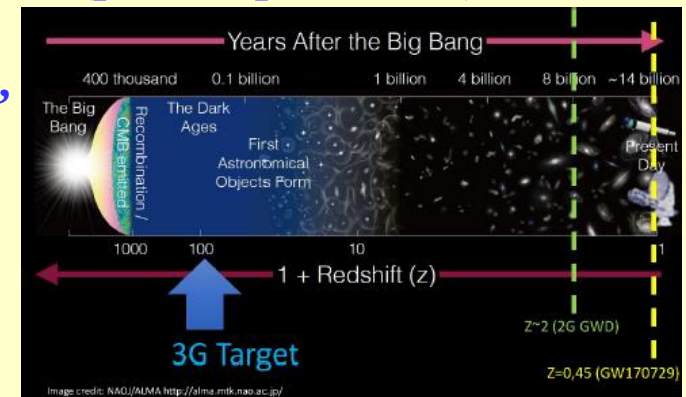
Probíhá příprava a už i budování několika extrémně velkých dalekohledů. S těmi, které se rozběhly v poslední době jsou předzvěstí dramatických zlomů v kosmologii

Einsteinův teleskop gravitačních vln

Jednalo by se o detekční systém gravitačních vln III. generace – kryogenický, umístěn pod zemí, ramena 10 km – postupné vylepšování a životnost nejméně půl století. Citlivost minimálně desetkrát větší, dramatické zlepšení pro frekvence Hz – 10 Hz – středně těžké černé díry, jedno zařízení umožní lokalizaci (pomocí polarizace)

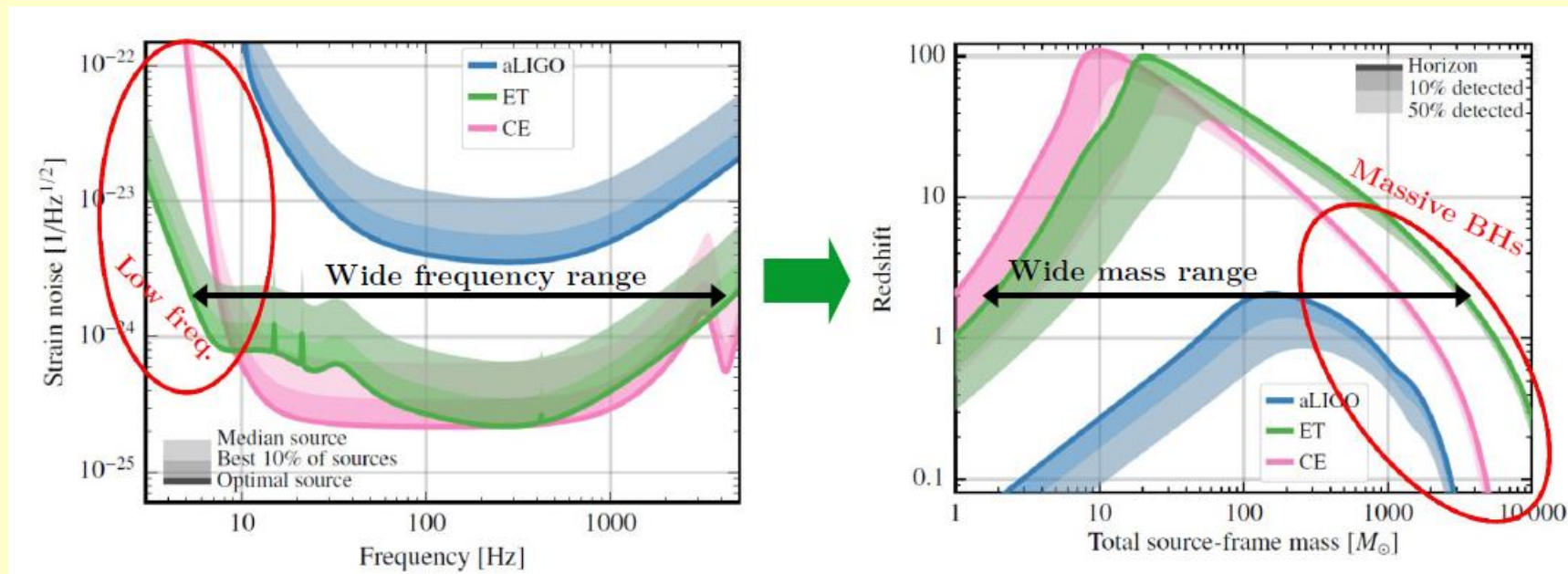
Evropská infrastruktura (FP7) – ustaveno konsorcium, příprava projektu a výběr místa (Nizozemí??)

Červen 2022 – vypracování konečnějšího návrhu Einsteinova teleskopu

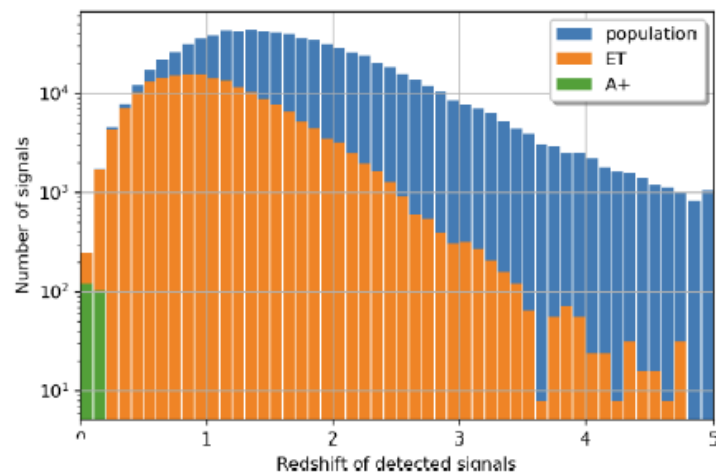


Pozorování 10^5 případů ročně, případ detekce každých pět minut

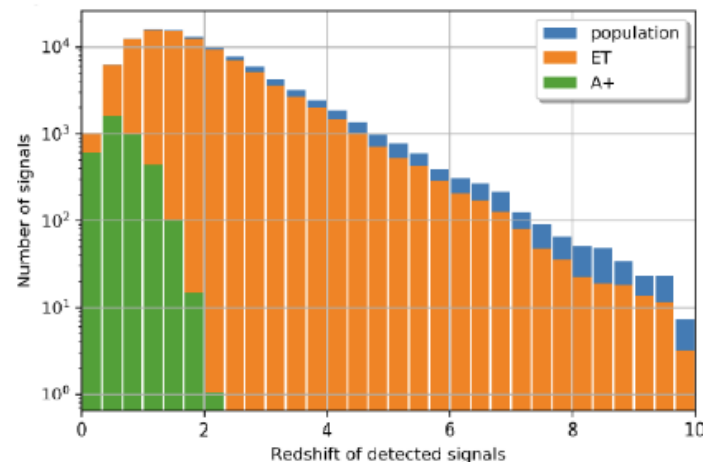
Dramatické zvýšení počtů splynutí neutronových hvězd s pozorováním elmg signálu (velká část krátkých záblesků gama bude doprovázena detekcí gravitačních vln)



BNS mergers



BBH mergers



Závěr

- 1) Velký třesk je teorie, že náš vesmír byl v minulosti extrémně horký a hustý
- 2) Mezi různými hypotézami můžou rozhodnout pouze experimentální pozorování
- 3) Přesný popis extrémně raných období vesmíru potřebuje novou fyziku
- 4) Nová data poskytují nové přístroje
- 5) Úspěšné vypuštění dalekohledu Jamese Webba zahájilo novou éru kosmologie
- 6) Pohled na první generace galaxií po reionizaci – 350 milionů let
- 7) Pozorování evoluce galaxií – malé kompaktní modře svítící galaxie, jiné složení
- 9) Studium míst intenzivní produkce hvězd, atmosféry planet ...



Dalekohled Jamese Webba by nám díky infračervenému záření měl ukázat první hvězdy a galaxie