

Onderwerpen workshop vroege heelal

Deel 1

Geschiedenis

Kosmologische theorie

Oerknal

Deel 2

Tijdlijn vroege heelal

Waarnemingen met JWST

Kosmische evolutie

Evolutie van het heelal

[Chronology of the universe – Wikipedia](#)

Planck tijd: $5.4 \cdot 10^{-44}$ s
 Planck temperatuur: $1.4 \cdot 10^{32}$ K
 Planck energy: $1.22 \cdot 10^{19}$ GeV

In het begin domineert deeltjesfysica

Relativistisch: $\rho \propto \frac{1}{a^4}, \quad T \propto \frac{1}{a}, \quad T \propto t^{-\frac{1}{2}}$

$$a \propto \frac{1}{(z + 1)}$$

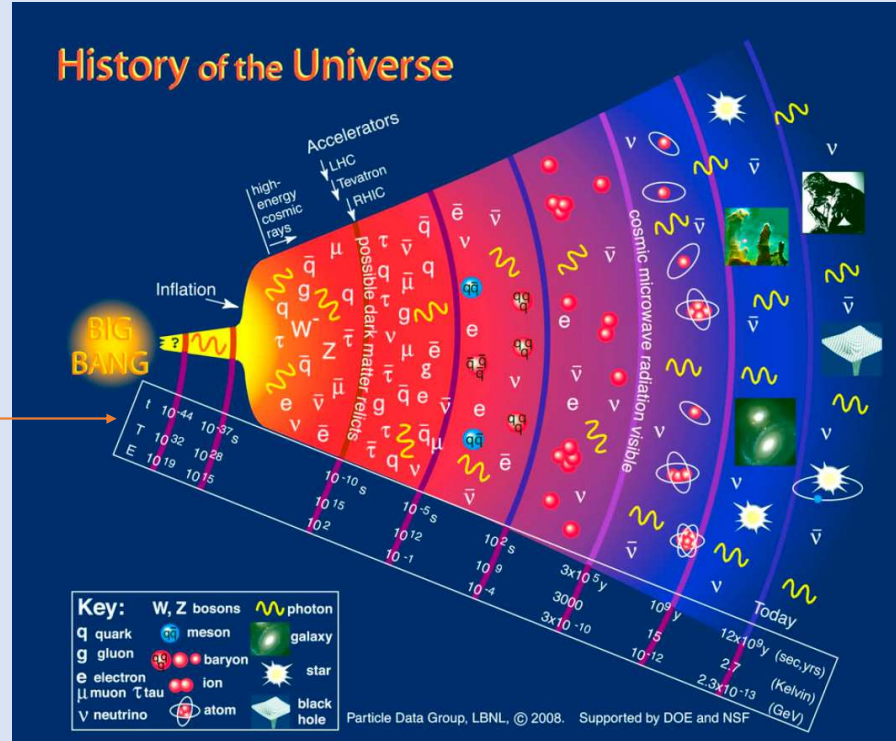
Niet-relativistisch: $\rho \propto \frac{1}{a^3}, \quad T \propto \frac{1}{a^2}, \quad T \propto t^{-\frac{4}{3}}$

Tijd
 Temperatuur
 Energie

$$E = k_B T$$

$$1 \text{ eV} = 11604 \text{ K}$$

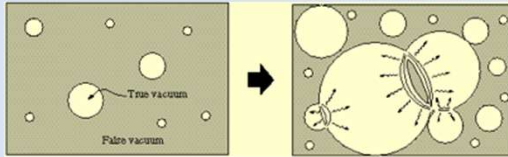
$$100 \text{ GeV} = 10^{15} \text{ K}$$



Eerste fase (onder voorbehoud)

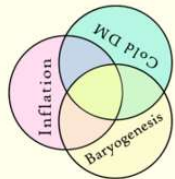
Fase overgangen bij afkoeling

uitvriezen van fysieke condities, constanten en deeltjes
(workshop Ralf Simons)



Botsende bubbels bij fase overgangen → gravitatie golven

Nieuwe fysica



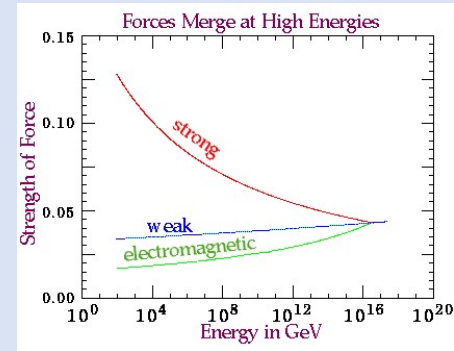
Quantum Effects in Inflation: common origin for
Baryogenesis & Cold DM

Baryogenesis:
Dominantie materie over antimaterie

Inflatie:
Versnelde uitdijning

GUTs (Grand unified theories)

Interacties tussen alle deeltjes bij
hoge energie dichtheden

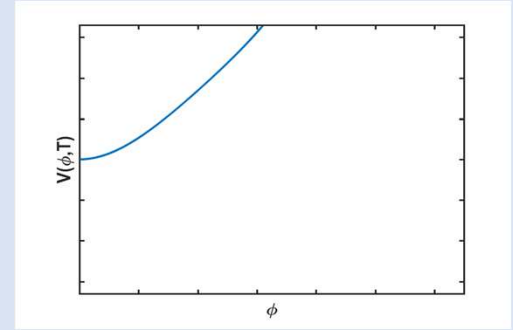
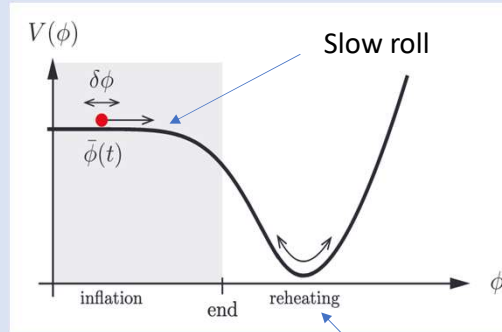
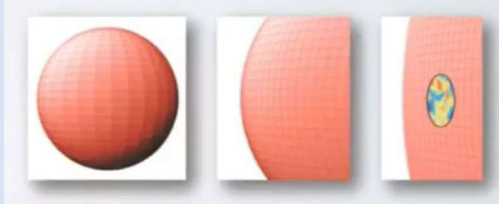


Extrapolatie van de huidige koppelingsconstanten

- Overgangen tussen leptons en quarks: X,Y bosonen
- Proton verval
- L & R neutrino's en neutrino massa's
- Donkere materie
- Baryogenesis
- En nog veel meer

Inflatie (na de GUT fase of verweven met de GUT fase)

Inflaton: scalaire velden net als dark energy



Waarom inflatie:

- Heelal is ontzettend vlak
- Heelal is ontzettend groot
- Heelal is isotroop en homogeen
- Horizon probleem
- Heelal expandeert

Nodig:

- Exponentiele expansie
- Expansie factor $> 10^{26}$
- Tijd 10^{-32} sec
- Kleine fluctuaties

Nog heel veel onzeker:

Eternal inflation?

Chaotic inflation?



Fase overgangen na inflatie:

Ontstaan fotonen, rust massa's
(Higgs, zwakke wisselwerking)

Quark gluon plasma

Binding van quarks in hadronen
(baryonen (n,p)/mesonen)

Neutrino decoupling
CNB vergelijkbaar met CMB
 $T_\nu = 1.95 K$

[Cosmic neutrino background - Wikipedia](#)

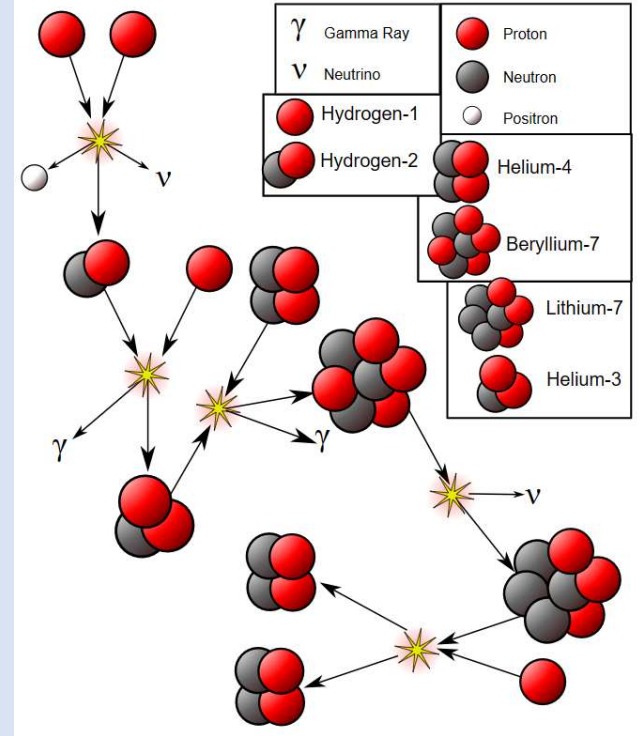
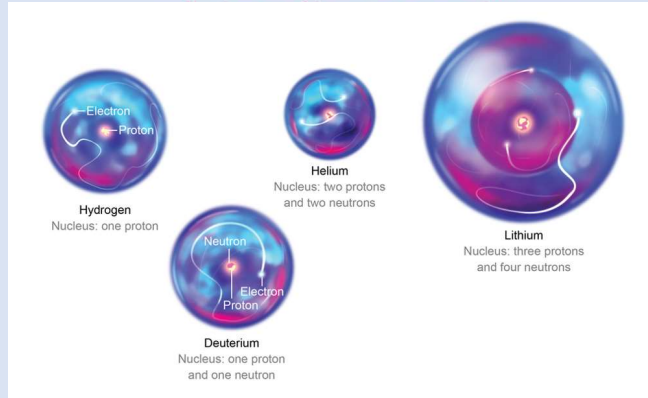
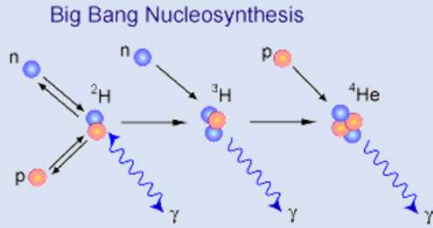
Uitvriezen p en n (eerst nog gelijk)
(na neutrino decoupling 6:1)

Epoch	Time	Redshift	Radiation temperature (Energy) <small>[verification needed]</small>
Planck epoch	$< 10^{-43}$ s		$> 10^{32}$ K ($> 10^{19}$ GeV)
Grand unification epoch	$< 10^{-36}$ s		$> 10^{29}$ K ($> 10^{16}$ GeV)
Inflationary epoch	$< 10^{-32}$ s		10^{28} K ~ 10^{22} K (10^{15} ~ 10^9 GeV)
Electroweak epoch			
Vanaf hier waarnemingen in deeltjesversnellers			
Electroweak epoch ends	10^{-12} s		10^{15} K (150 GeV)
Quark epoch	10^{-12} s ~ 10^{-5} s		10^{15} K ~ 10^{12} K (150 GeV ~ 150 MeV)
Hadron epoch	10^{-5} s ~ 1 s		10^{12} K ~ 10^{10} K (150 MeV ~ 1 MeV)

Neutrino decoupling	1 s		10^{10} K (1 MeV)
Lepton epoch	1 s ~ 10 s		10^{10} K ~ 10^9 K (1 MeV ~ 100 keV)
Big Bang nucleosynthesis	10 s ~ 10^3 s		10^9 K ~ 10^7 K (100 keV ~ 1 keV)
Photon epoch	10 s ~ 370 ka		10^9 K ~ 4000 K (100 keV ~ 0.4 eV)
Recombination	18 ka ~ 370 ka	6000 ~ 1100	4000 K (0.4 eV)
Dark Ages	370 ka ~ 150 Ma? (Only fully ends by about 1 Ga)	1100 ~ 20	4000 K ~ 60 K

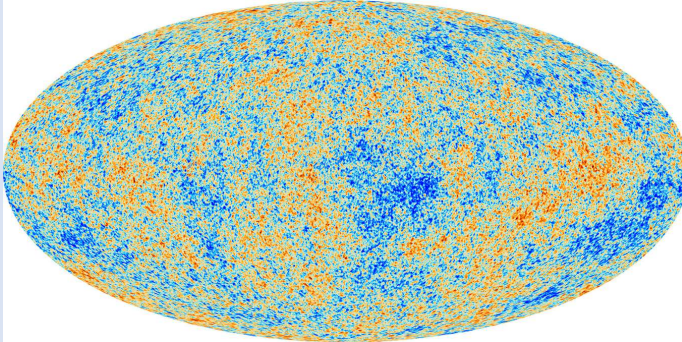
[Chronology of the universe - Wikipedia](#)

Kosmische nucleosynthese

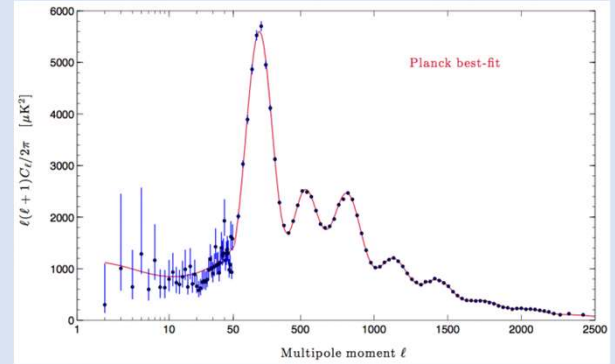


Recombinatie (CMB)

Planck satelliet (2009 -2013)



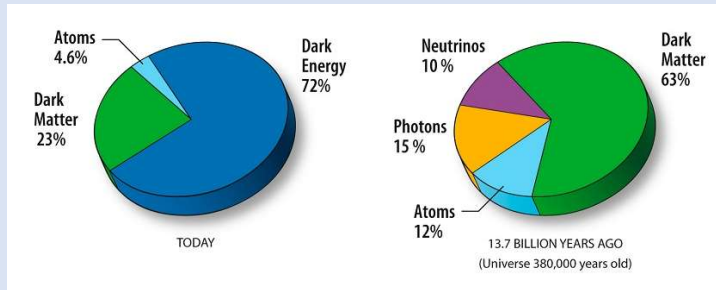
Kaart van de 3 Kelvin achtergrond straling (baby foto heelal)



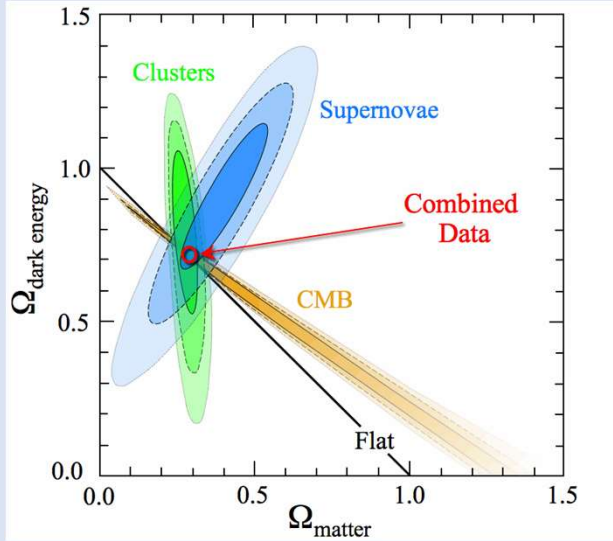
Piek 1: totale energie dichtheid

Piek 2: verhouding piek 2 over piek 1: baryonische materie

Piek 3: dichtheid donkere materie



Λ CDM (Cold Dark Matter) model



Planck waarneming
 Gevoelig voor inflatie en materie
 versus straling, niet zozeer
 donkere energie

Combineren diverse onafhankelijke
 waarnemingen met Planck

$$\Omega_{m,0} = 0.3$$

Gewone materie,
 (koude) donkere materie

$$\Omega_{\Lambda,0} = 0.7$$

donkere energie

$$\Omega_{r,0} \approx 0.0001$$

EM straling,
 neutrino's

$$\Omega_{k,0} = 0$$

$$1 = \Omega_{k,0} + \sum \Omega_{i,0}$$

$$E(z) = \sqrt{\Omega_{k,0}(1+z)^2 + \Omega_{r,0}(1+z)^4 + \Omega_{m,0}(1+z)^3 + \Omega_{\Lambda,0}}$$

$$H(z) = H_0 E(z)$$

Dark ages

$z < 1000$ & $z > 20$ (0.4 – 300 My) – expansie en afkoeling

H-atom 21 cm, (21 cm \rightarrow 2m, $z=10$)

LOFAR, 10–240 MHz $\rightarrow z \approx 100 - 5$



Eerste moleculen

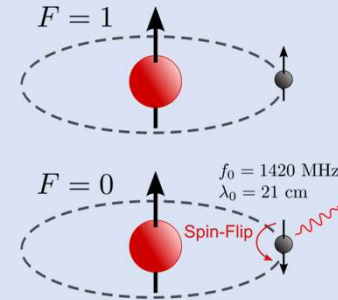
H_2 kan niet direct uit 2 neutrale H-atomen ontstaan

Voornamelijk 3 routes

(1) the H^+ route ($H + H^+ \rightarrow H_2^+ + h\nu$, $H_2^+ + H \rightarrow H_2 + H^+$), vooral bij $z \approx 400$

(2) the H^- route ($H + e^- \rightarrow H^- + h\nu$, $H^- + H \rightarrow H_2 + e^-$), vooral bij $z \approx 100$,

(3) stofdeeltjes, maar die zijn er nog niet



First stars & cosmic dawn ($z \approx 30-40 - 80\text{My}$)

Scenario's voor het eerste licht

Donkere materie (DM) domineert - DM klonten zijn de ruggengraat van de structuur - DM botst niet \rightarrow contractie door zwaartekracht \rightarrow "warme" fuzzy klont

Kunnen erg zware klonten zo ver samentrekken tot zwarte gaten (ZG), de centra van toekomstige sterrenstelsels?

Baryonische materie (gas) volgt de DM \rightarrow zware zwarte gaten en type III stars (100-250 zonsmassa's)

Gas botst en kan koelen als er wrijving is door niet elastische botsingen (straling) \rightarrow meer contactie en eerder fragmentatie - kleinere massa (type III) sterren.



First stars Type III

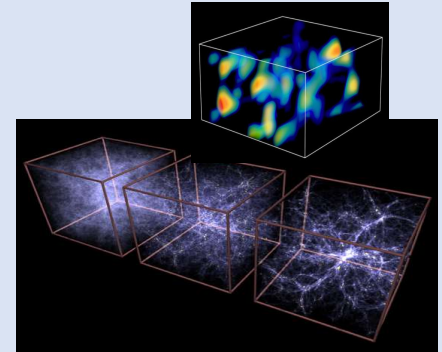
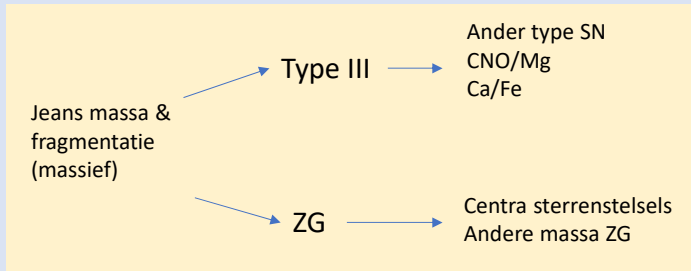
[Stellar population - Wikipedia](#)

[Population III Stars - an overview](#)

[Cosmology, Population III \(caltech.edu\)](#)

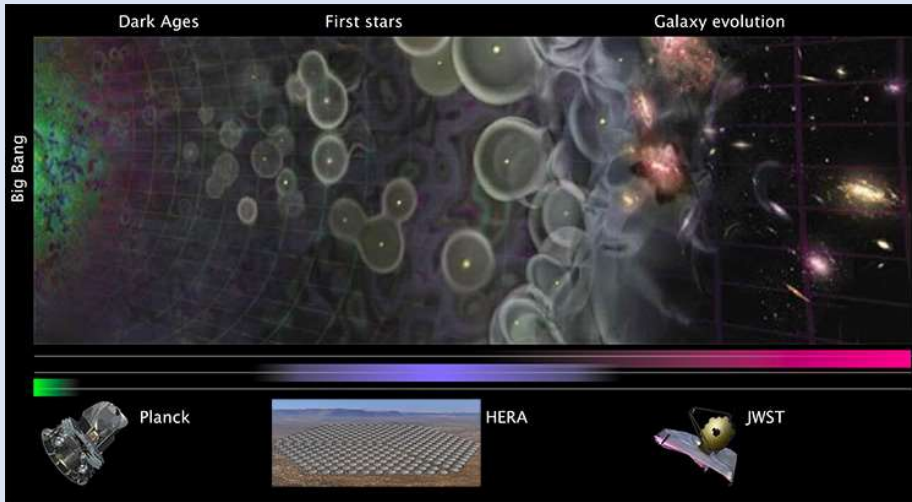
[Pair-instability supernova](#)

[Fallback Supernovae](#)



Dark stars?

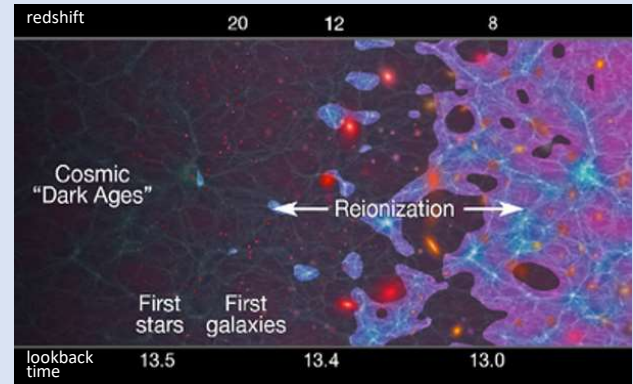
Reionisation



LOFAR, HERA, 21 cm \rightarrow 2m, $z=10$

$z \approx 15-5$

Leeftijden 250 miljoen jaar – 1 miljard jaar



En nu de waarnemingen (JWST) !!!





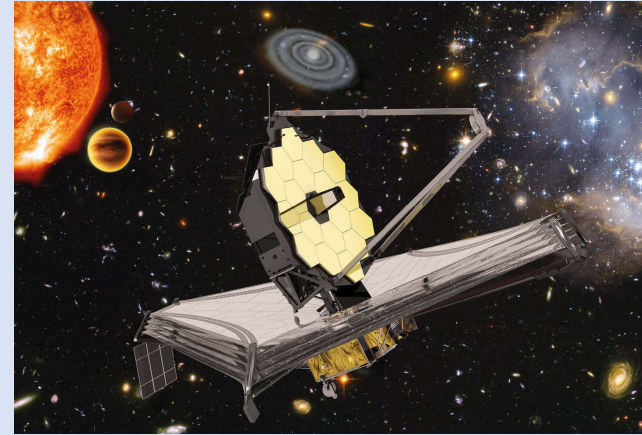
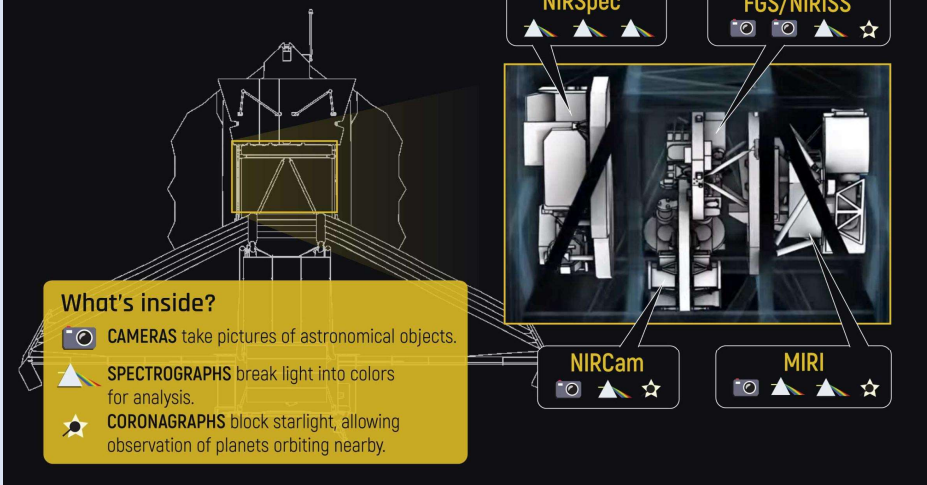
Pauze

JWST instrumenten (near infrared en mid-infrared)

Webb has four science instruments:

- Near-Infrared Camera (NIRCam),
- Near-Infrared Spectrograph (NIRSpec),
- Mid-Infrared Instrument (MIRI),
- Guidance sensor (NIRISS)/(FGS)

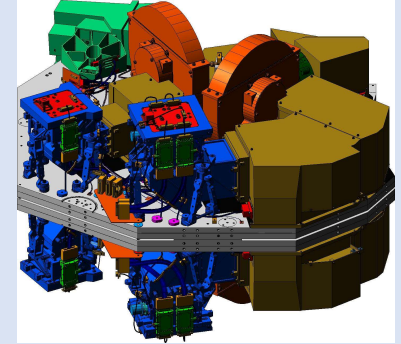
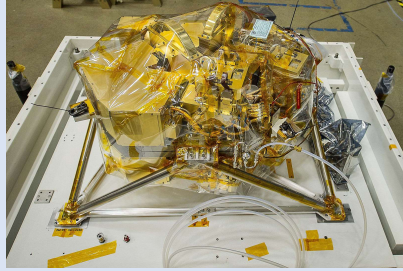
Webb's Science Instruments



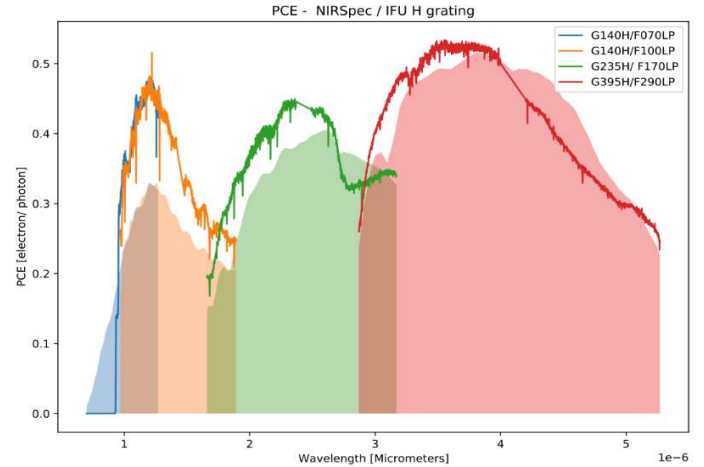
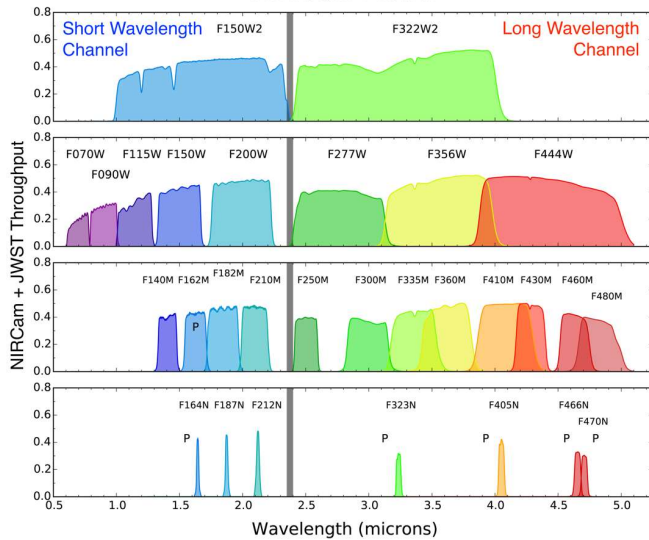
Infrared sensitivity of Webb's instruments



JWST instrumenten (NIRCam & NIRSpec)



NIRCam Filters



Op grond van de infrarood kleubanden is een stelsel op $z=17$ ingeschat

Dit is erg hoog.

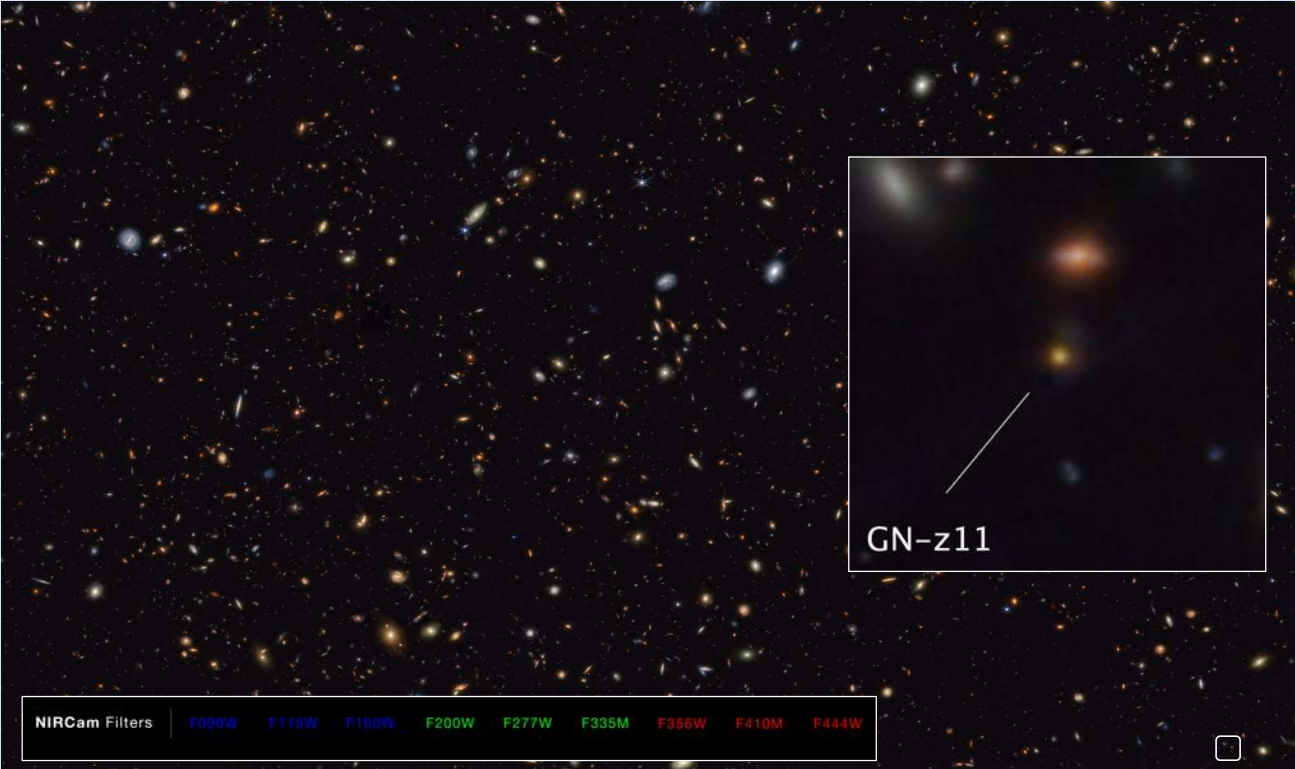
Wat kan er aan de hand zijn?

Erg stoffig bij $z=5$?

Stoffigheid geeft verodding

JWST: observation programs (surveys) JADES, EIGER, CEERS, GLASS, FRESCO, UNCOVER....

JWST Advanced Deep Extragalactic Survey (JADES)



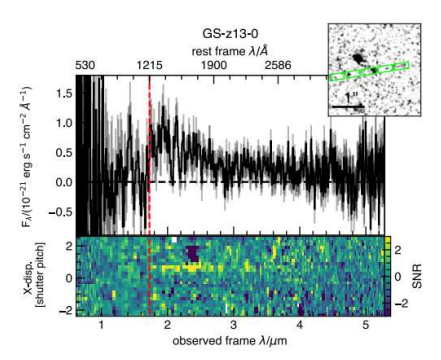
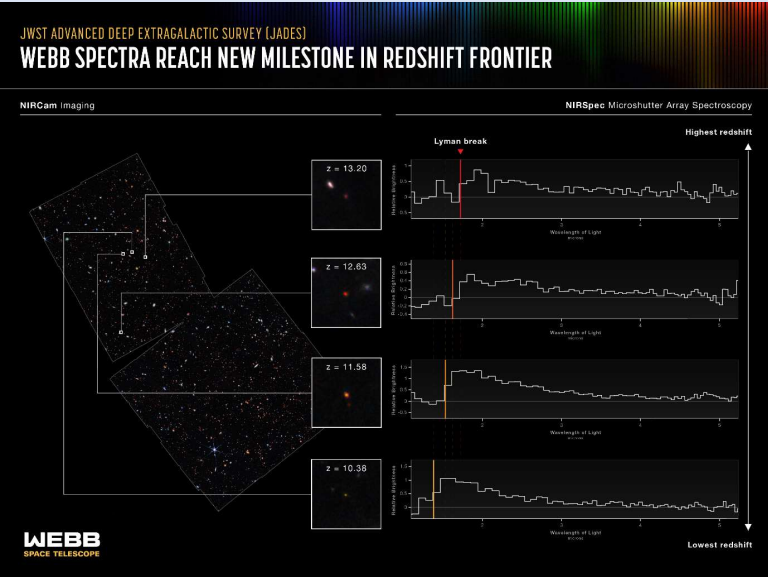
Stukje deep field
GOODS-north

Great Observatories
Origins Deep Survey
(GOODS)

JWST: observation programs (surveys) JADES, EIGER, CEERS, GLASS, FRESCO, UNCOVER....

[Webb Spectra Reach New Milestone in Redshift Frontier](#)
[Frontier | Webb \(webbtelescope.org\)](http://webbtelescope.org)

JWST Advanced Deep Extragalactic Survey (JADES)



Meest verre stelsels ontdekt (bevestigd)
 Leeftijd heelal 350 miljoen jaar

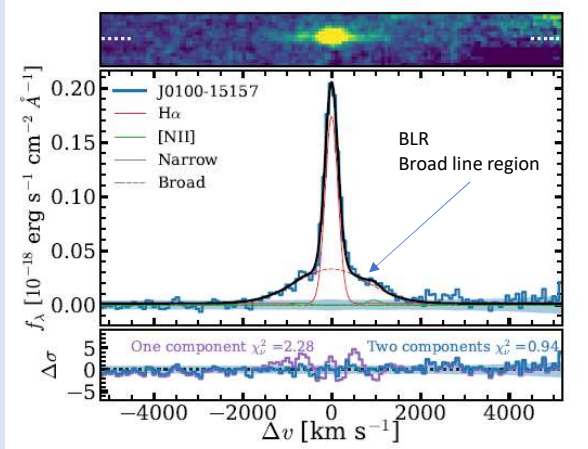
Little red dots

Waarnemingen: JWST

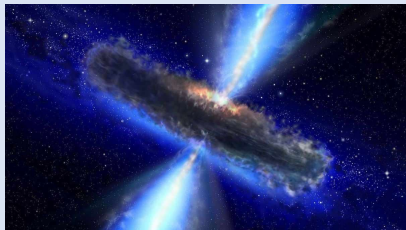
Te helder en
dus te groot?

Verhoogde
stervorming?

Lezing KNAW
Nov 2023
Anna de Graaff



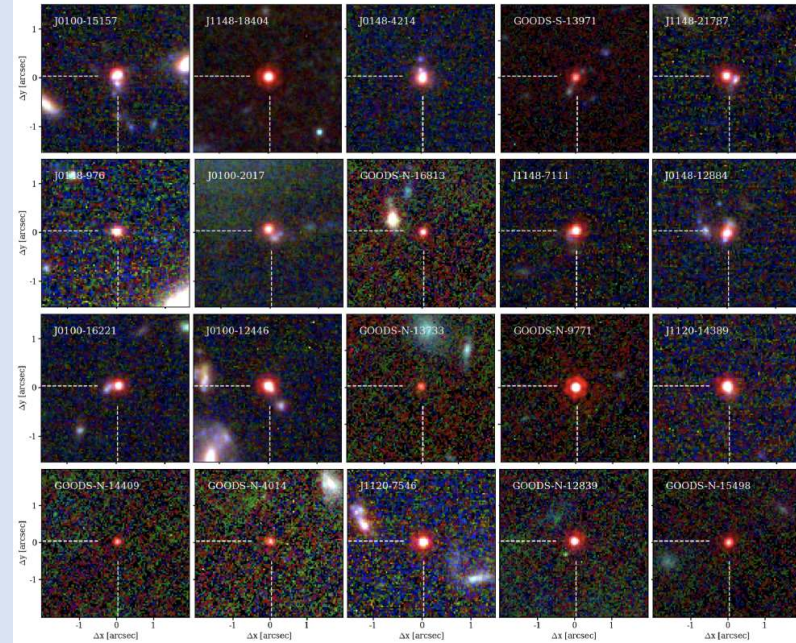
RUBIES is a spectroscopic program with JWST/NIRSpec targeting several thousand galaxies at cosmic noon and beyond



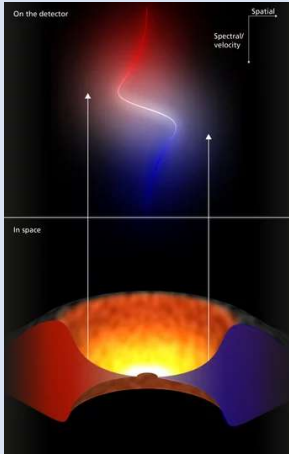
Zwarte gaten in het
centrum?

Sterrenstelsels al na 1 miljard jaar

Little Red Dots: an abundant population of faint AGN at $z \sim 5$ revealed by the EIGER and FRESKO JWST surveys (Matthee et al, 2023)
 $z \sim 5 \rightarrow 1$ miljard jaar oud



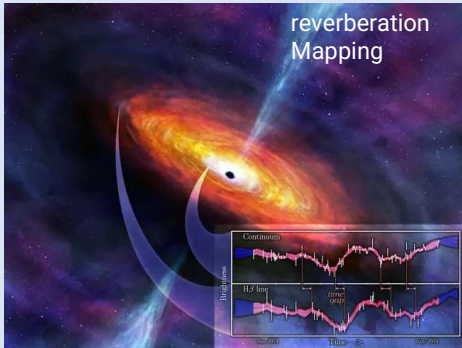
Black holes



Spectroastrometry

BH mass of $\sim 2 \times 10^6 M_{\odot}$

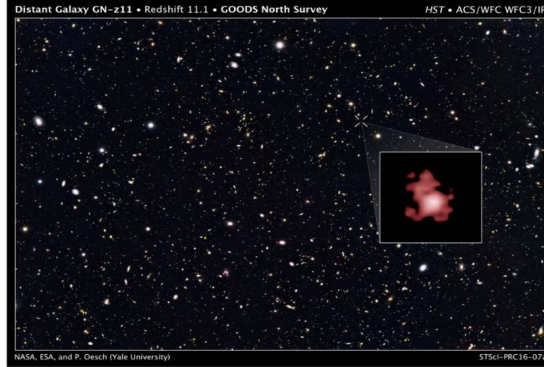
Bepalen massa zwart gat



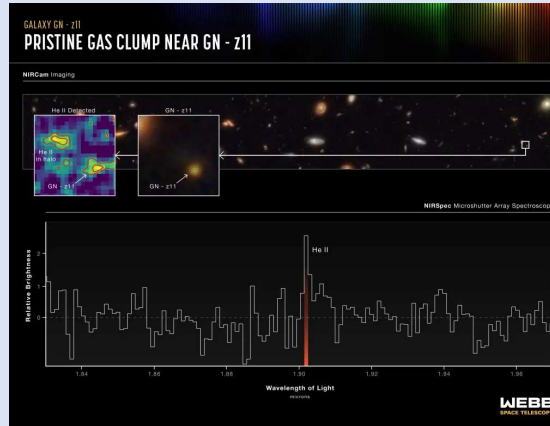
reverberation Mapping

GN-z11 BH

Astronomen ontdekken oudste zwarte gat dat ooit is gezien



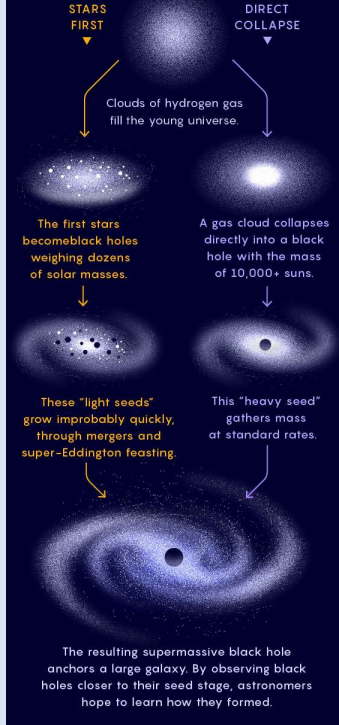
GN-z11 13.4 miljard jaar oud, 400 My na de oerknal



Zuiver helium in gaswolk in GN-z11's Halo

How Supermassive Black Holes Are Born

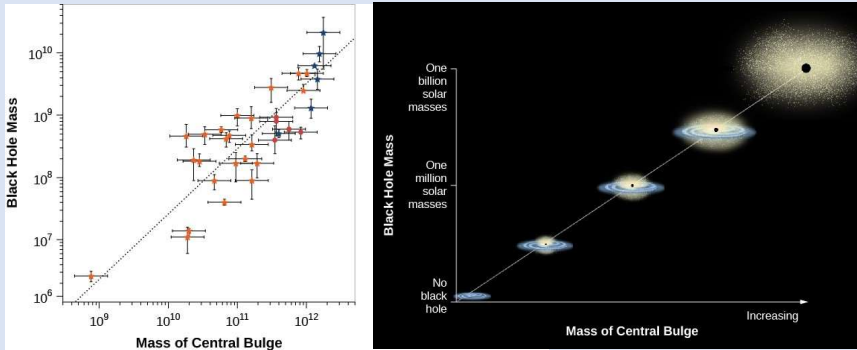
The heart of most Milky Way-like galaxies holds a black hole weighing billions of solar masses. Astrophysicists have two main ideas for how these monstrosities got so huge.



Black holes

In het huidige heelal:

- Massa van een centraal zwart gat is 0.2 procent van de totale massa van een stelsel



[Quasars as Probes of Evolution in the Universe | Astronomy](#)

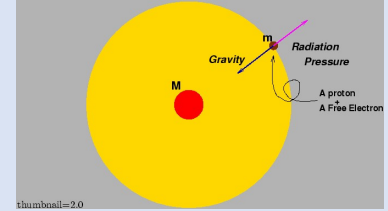
JWST:

- Sterrenstelsels in vroege heelal zijn minder massief
- De zwarte gaten zijn dan wel 10 tot 100 keer te zwaar, mogelijk wel 1000 keer
- Relatie massa centrale zwart gat groeit dan naar de vaste waarde van 0.2 procent?

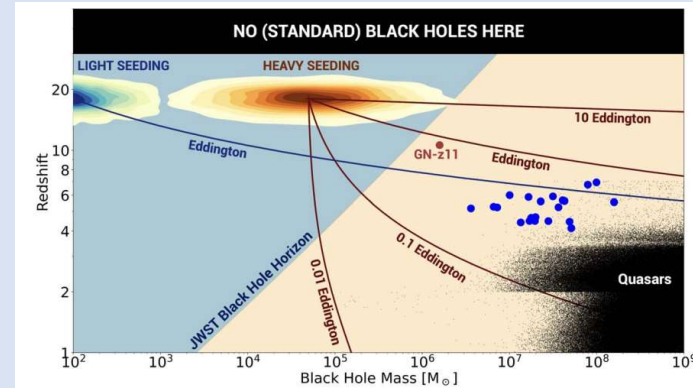
[Unexpectedly Massive Black Holes Dominate Small Galaxies in the Distant Universe](#)

[JWST Finds Strange Harmony in Early Galaxies and Black Holes | Scientific American](#)

$$L_{\text{Edd}} = \frac{4\pi GMm_p c}{\sigma_T}$$



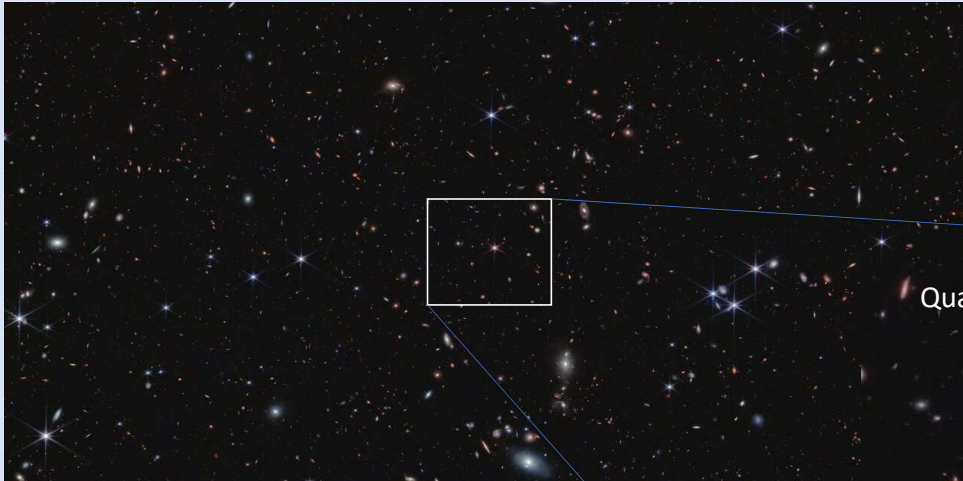
[Eddington luminosity - Wikipedia](#)



[JWST CEERS and JADES Active Galaxies at \$z = 4-7\$ Violate the Local \$M_{\bullet} \propto M_{\star}\$ Relation at \$>3\sigma\$: Implications for Low-mass Black Holes and Seeding Models](#)

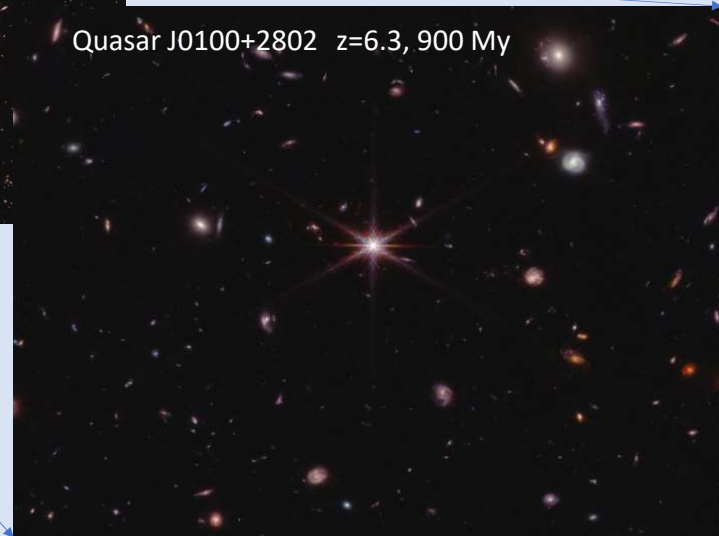
UH1 en GN-z11 voorbeelden van heavy seeding?

Kosmische evolutie: reionisatie & vroege starburst stelsels



[Quasar J0100+2802 \(NIRCam Image\) | Webb \(webbtelescope.org\)](#)

Quasar J0100+2802 $z=6.3$, 900 My



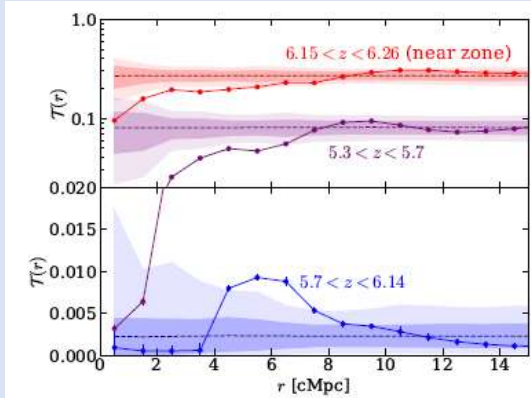
Webb opname van 20,000 stelsels.
Veld tussen sterrenbeeld vissen en Andromeda.

[Emission-line galaxies and Intergalactic Gas in the Epoch of Reionization \(EIGER\)](#),

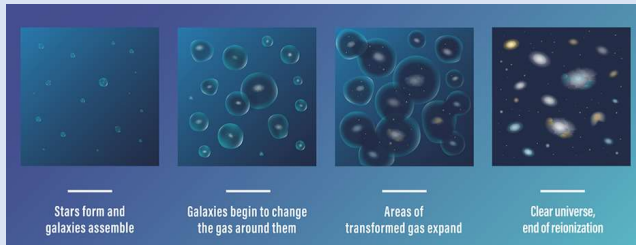
Kosmische evolutie: reionisatie & vroege starburst stelsels

[NASA's Webb Proves Galaxies Transformed the Early Universe - NASA](#)

Starburst stelsels die voor de quasar liggen met [OIII] lijn in 3 z-intervallen



Transmissie van quasar licht ($\text{Ly}\alpha$) versus afstand tot OIII stelsels



Distant Galaxy Samples near Quasar J0100+2802 (NIRCam Image)

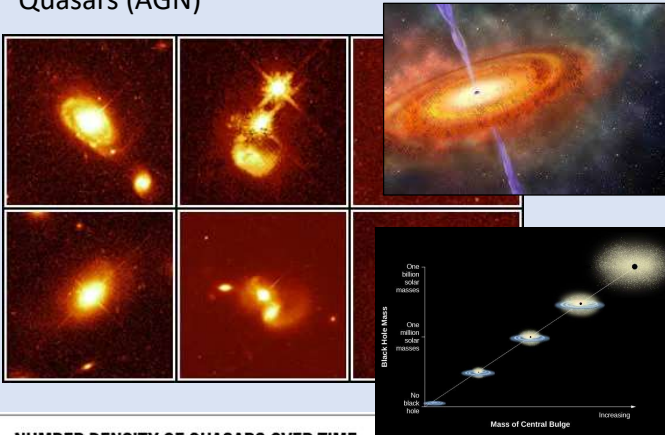


Galaxies that existed 900 million years after the big bang
 $z = 5:33 - 6:93$, centered upon the $z = 6.3$ quasar J0100+2802

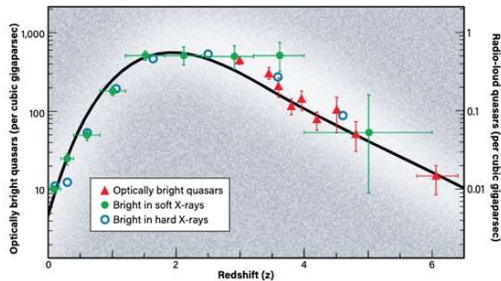
Cosmic noon (evolutie van quasars & starburst galaxies)

Botsingen tussen sterrenstelsels spelen hier een belangrijke rol

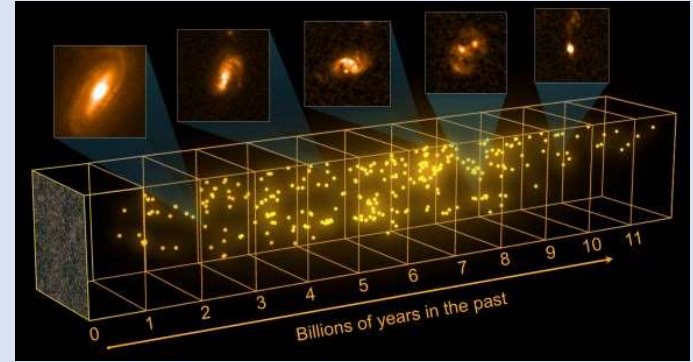
Quasars (AGN)



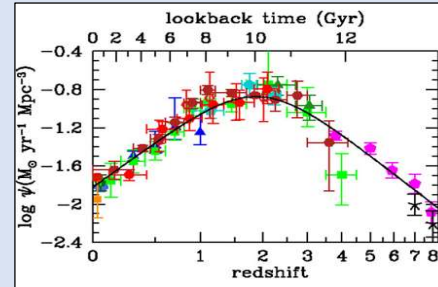
NUMBER DENSITY OF QUASARS OVER TIME



Starbursts



Hubble images of SB found with Herschel (dusty galaxies, high FIR/VIS, $z \leq 2$)



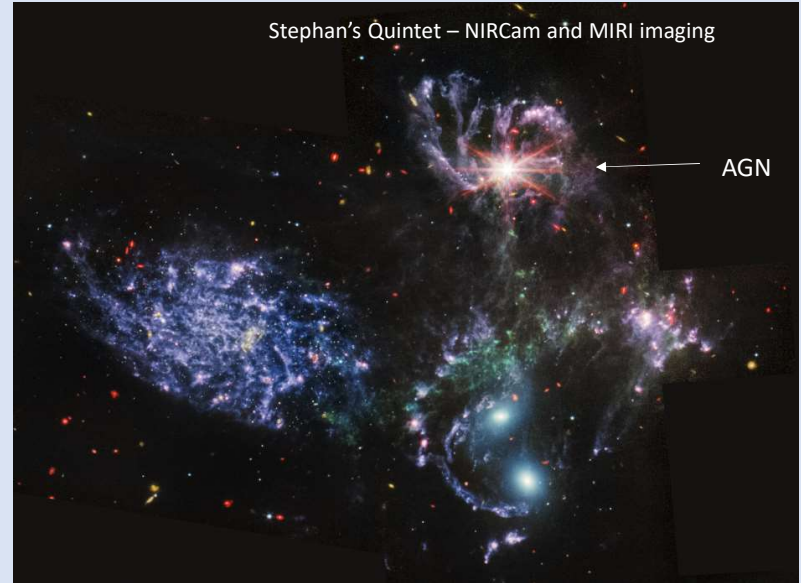
Star formation rates

Nabije mergers, starbursts en AGNs

Hubble



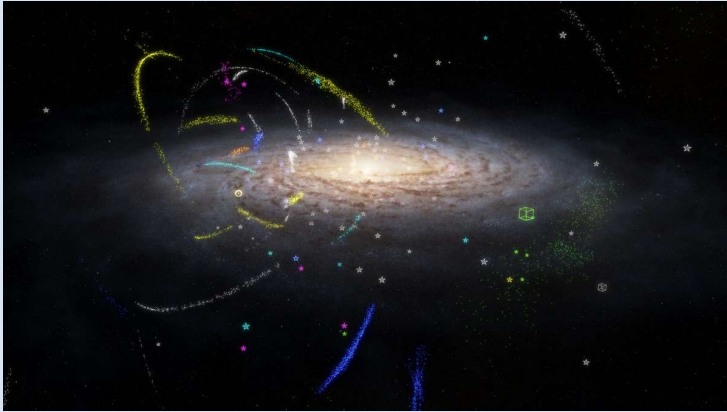
[ESA - Webb sheds light on galaxy evolution, black holes](#)



[ESA - Stephan's Quintet –
MIRI imaging](#)

Lokale situatie

Geschiedenis van de Melkweg (Gaia)

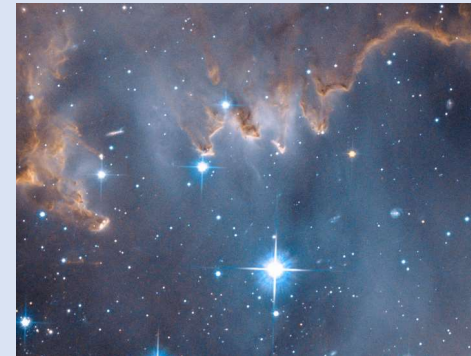
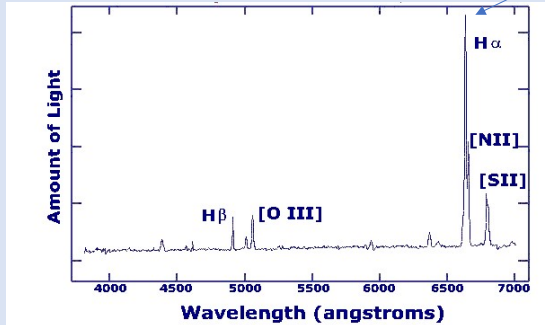


[Milky Way mergers](#)



Spiraal armen
Andromeda

N90 star-forming
region (SMC)



Alan Guth:

I find it amazing how much we understand about cosmology, and equally amazing how much we don't