

De vorming en evolutie van sterrenstelsels

Wouter Karman

heelal

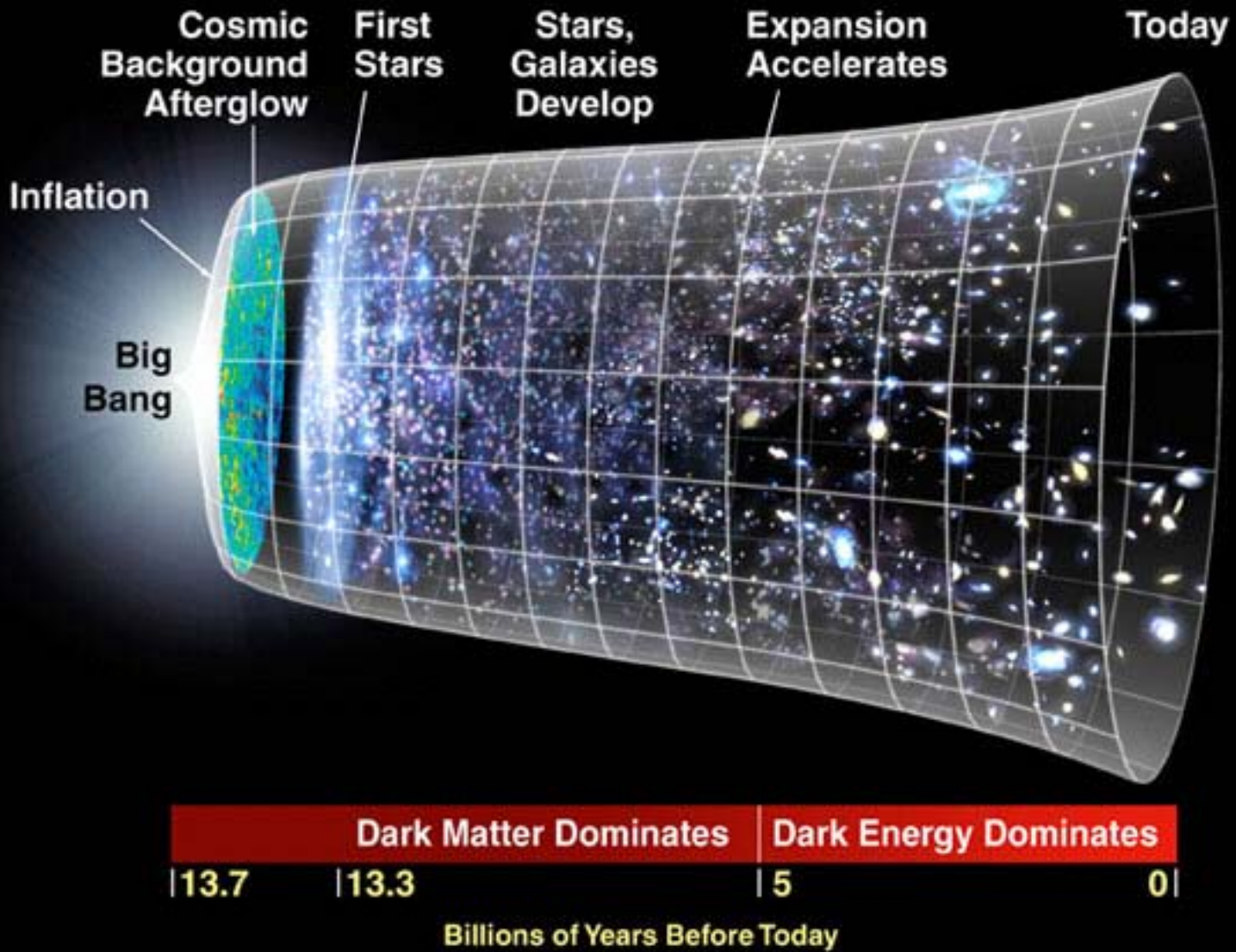
Overzicht

- Overzicht kosmologie
- Vorming sterrenstelsels
- Evolutie sterrenstelsels
- Waarnemingen
- Simulaties

Wat is een sterrenstelsel?

- Gravitationeel gebonden systeem waar stervorming plaats vindt

THE EXPANDING UNIVERSE: A CAPSULE HISTORY



Introductie

Hubble Space Telescope



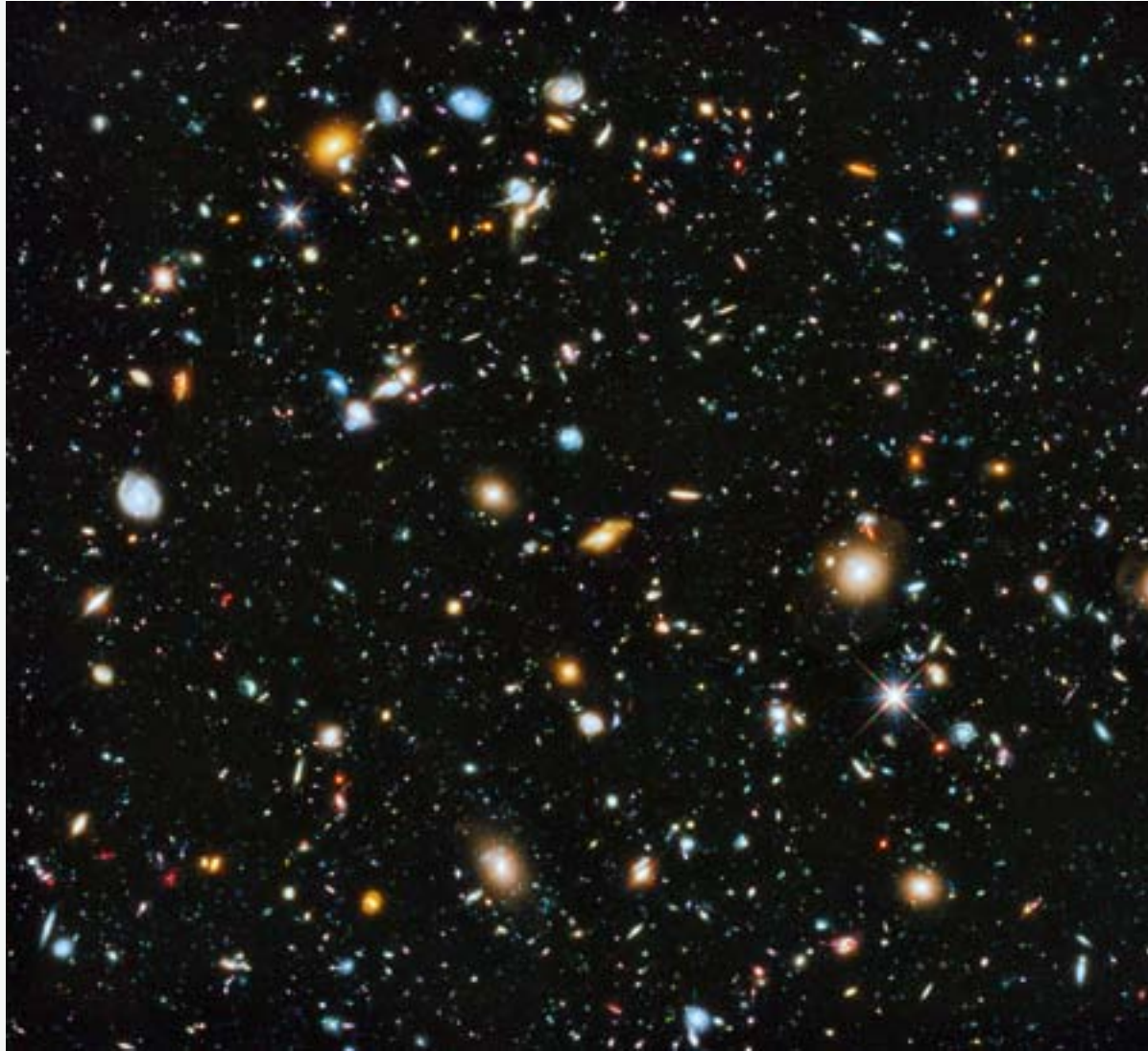
Introductie

Hubble Space Telescope

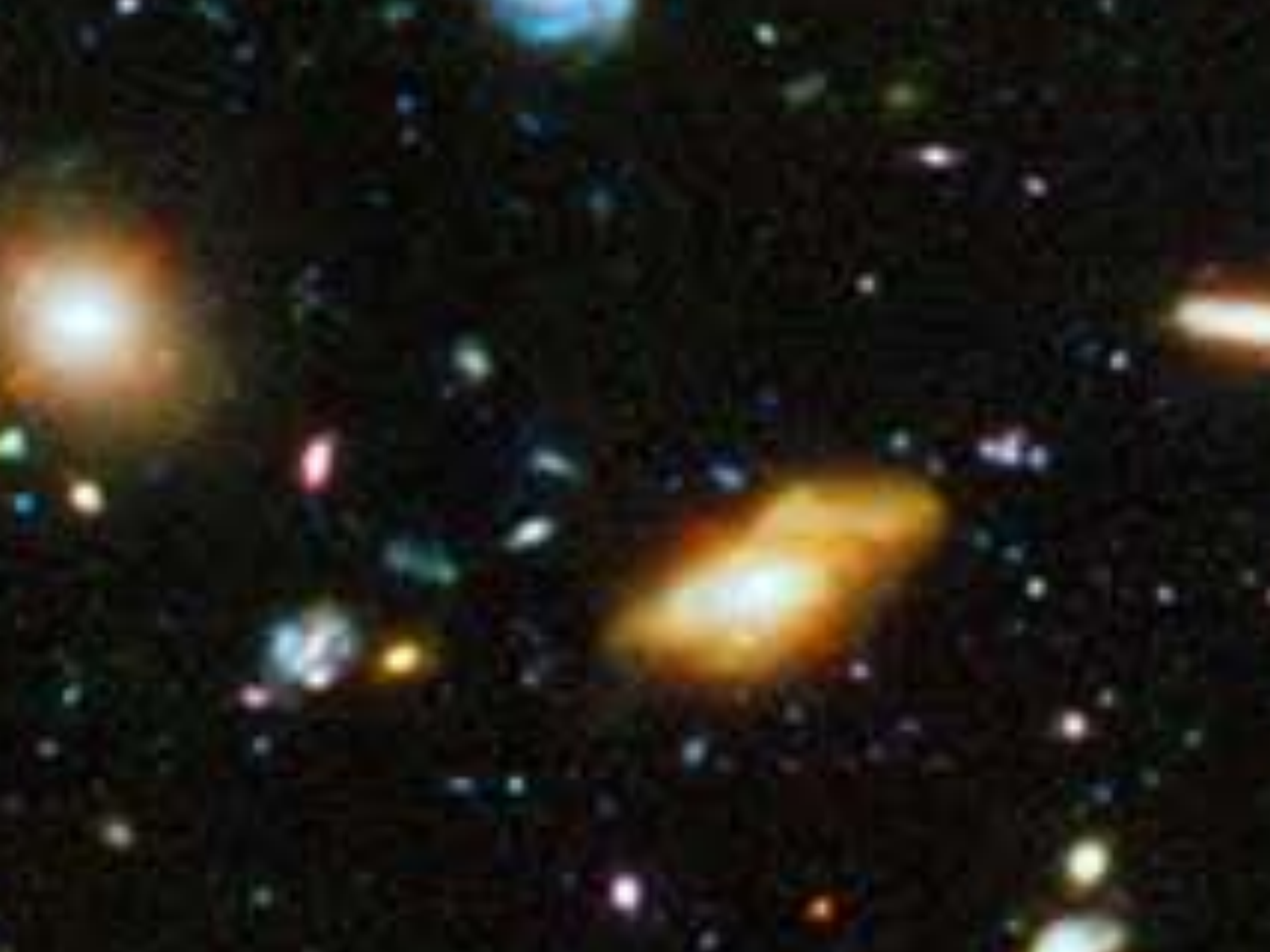
- 559 km hoogte
- 27000 km/uur
- blikveld zo groot als een stuiver op 20m afstand
- 11 dagen op 1 punt gericht



Hubble Ultra Deep Field



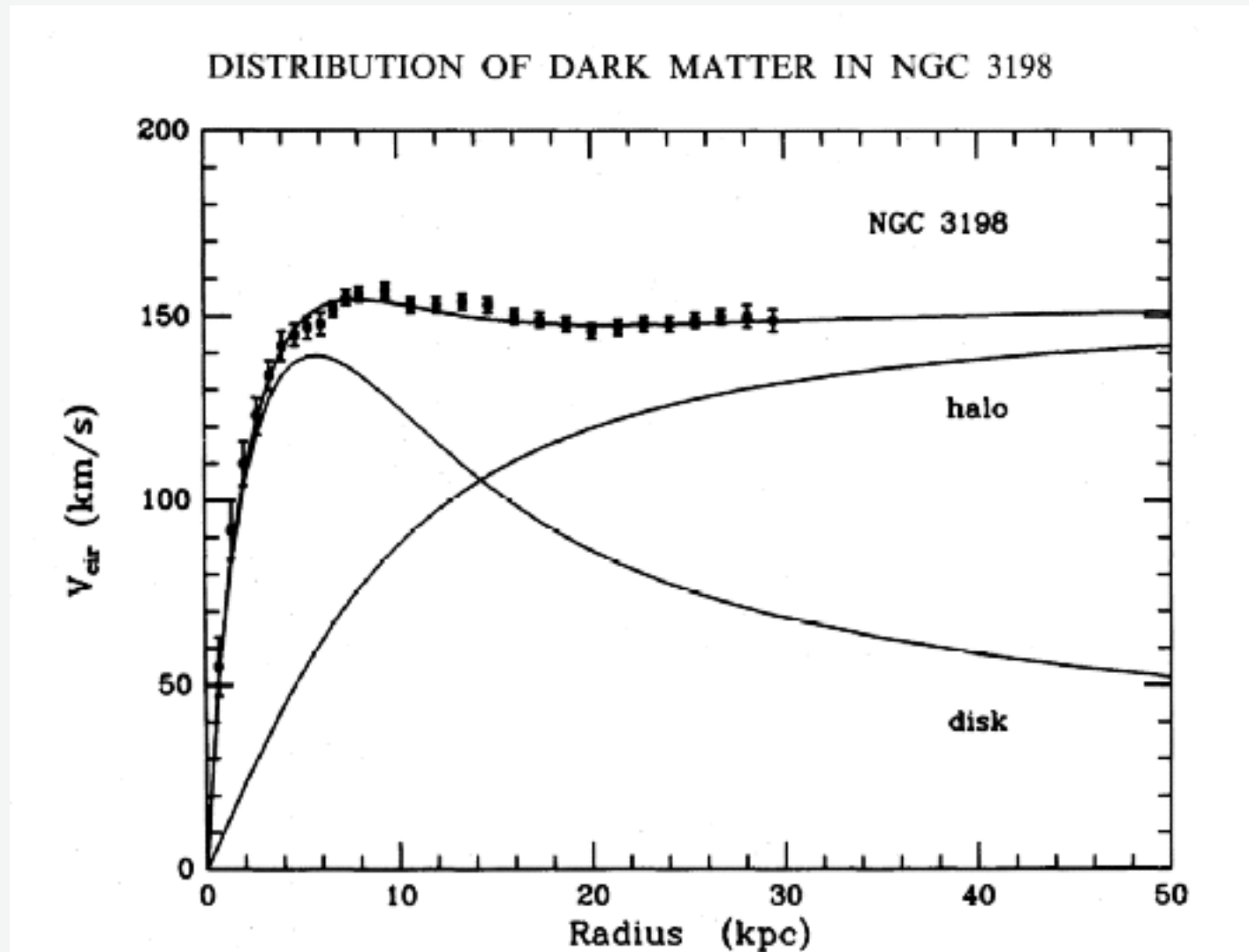
Introductie



Uitdijend heelal

- Λ CDM Universum
- Universum dilt uit door donkere energie (Λ)
- De ruimte tussen twee punten groeit
- Golflengte wordt ook langer (roodverschuiving)
- Big bang: $z = \infty$, nu: $z = 0$

Donkere materie

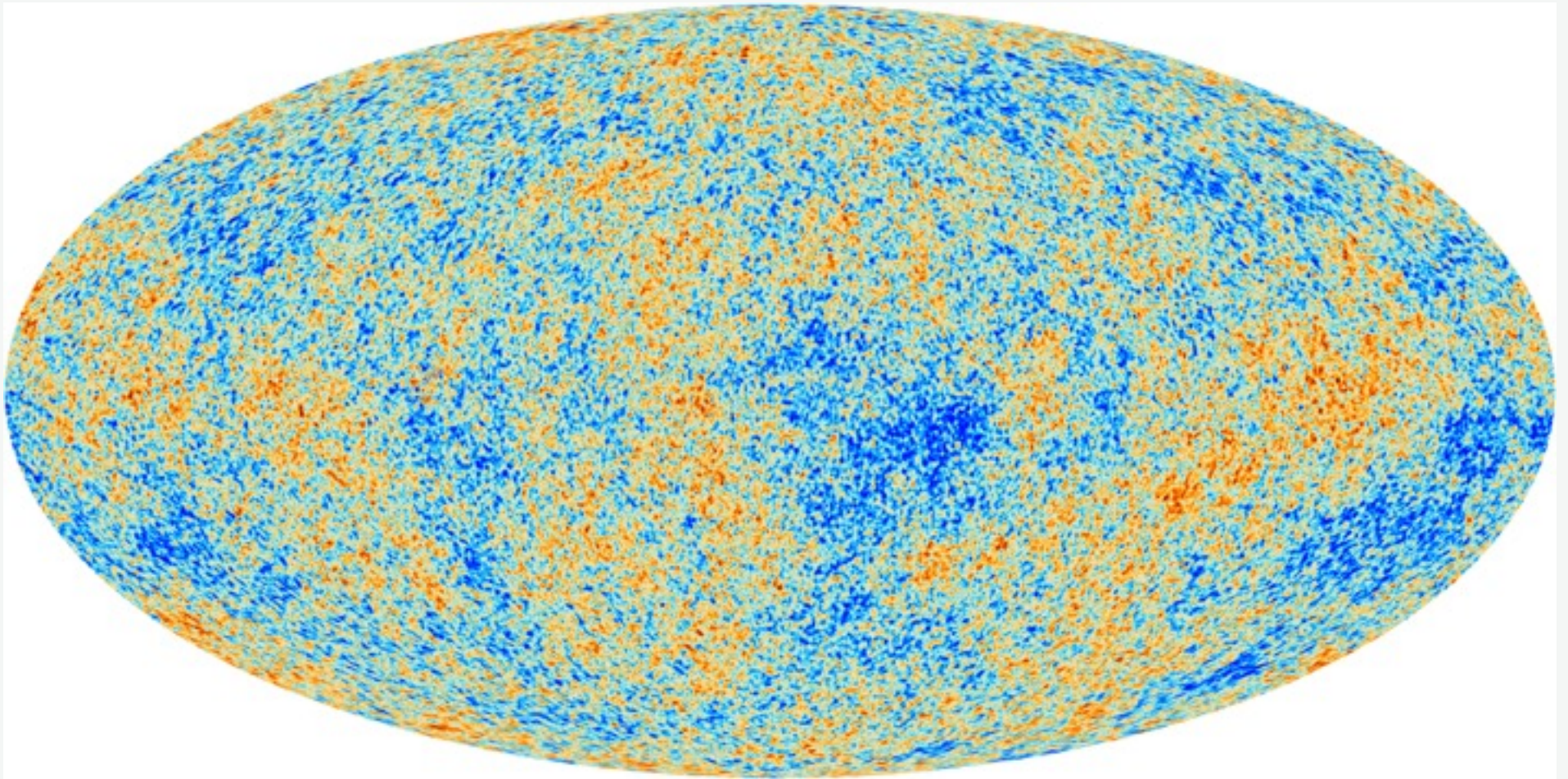


Theorie

Donkere materie

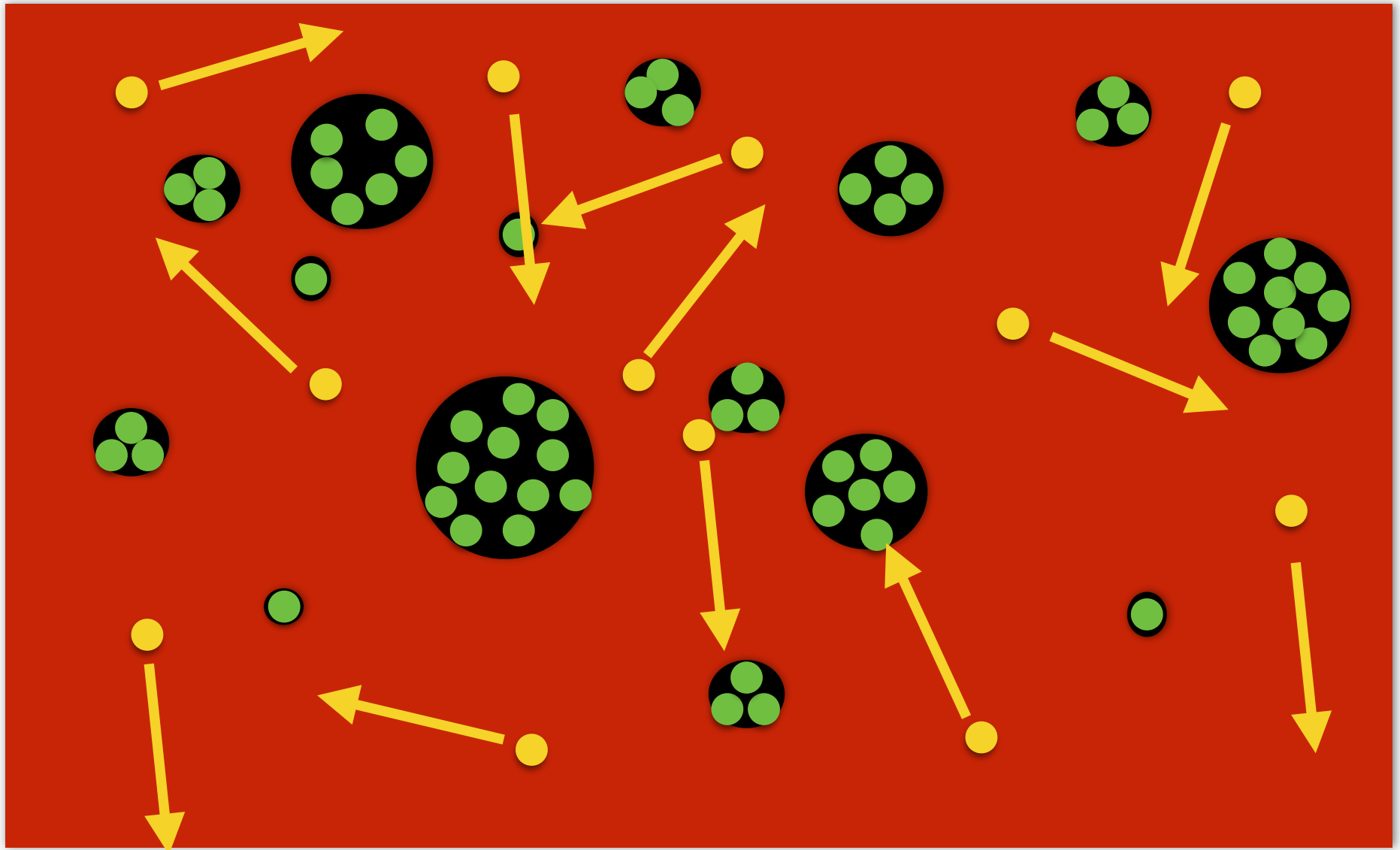
- Bewijs voor bestaan (rotatiekrommen, Cosmic Microwave Background)
- Alleen interactie door zwaartekracht
- Onbekend wat het is
- ~20% van Universum

Planck CMB

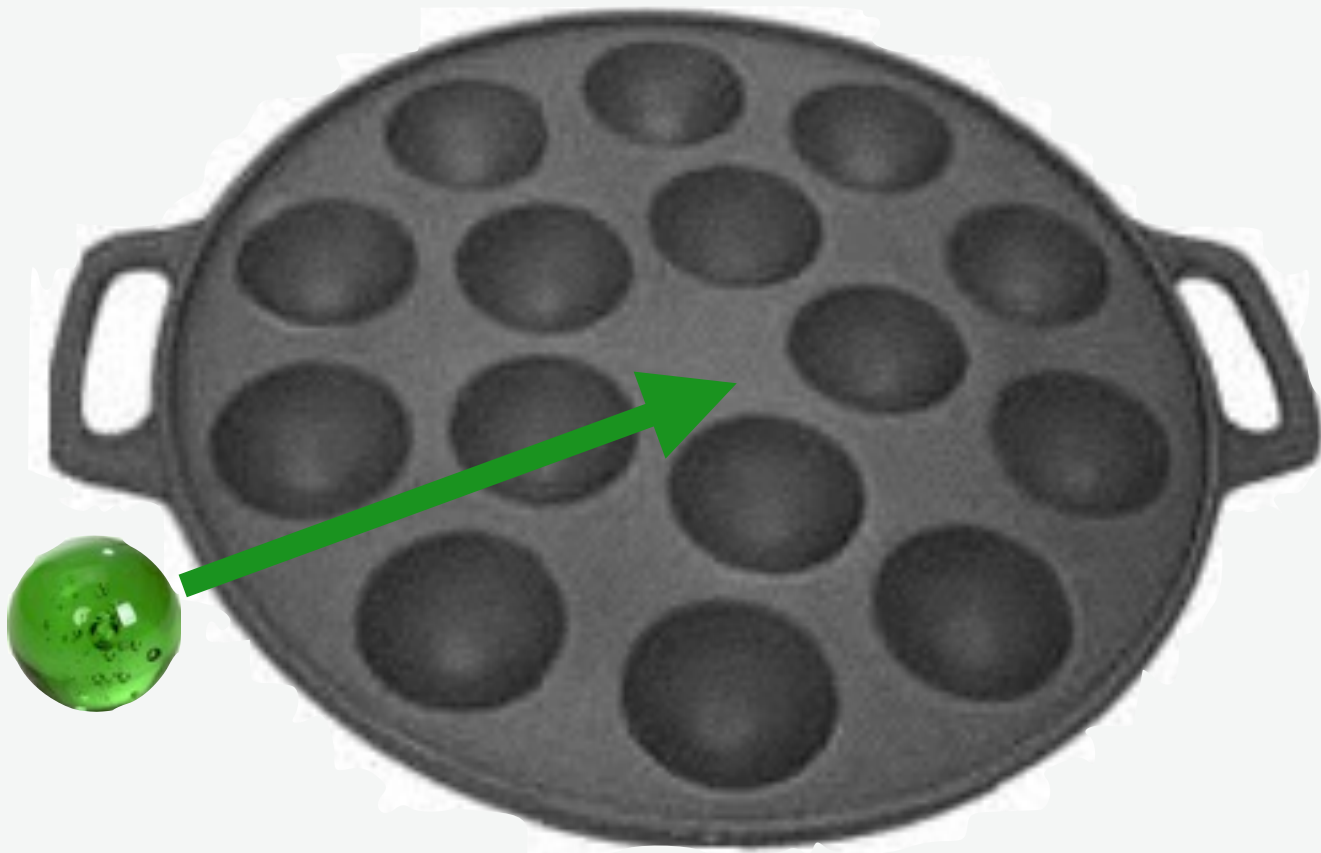


Theorie

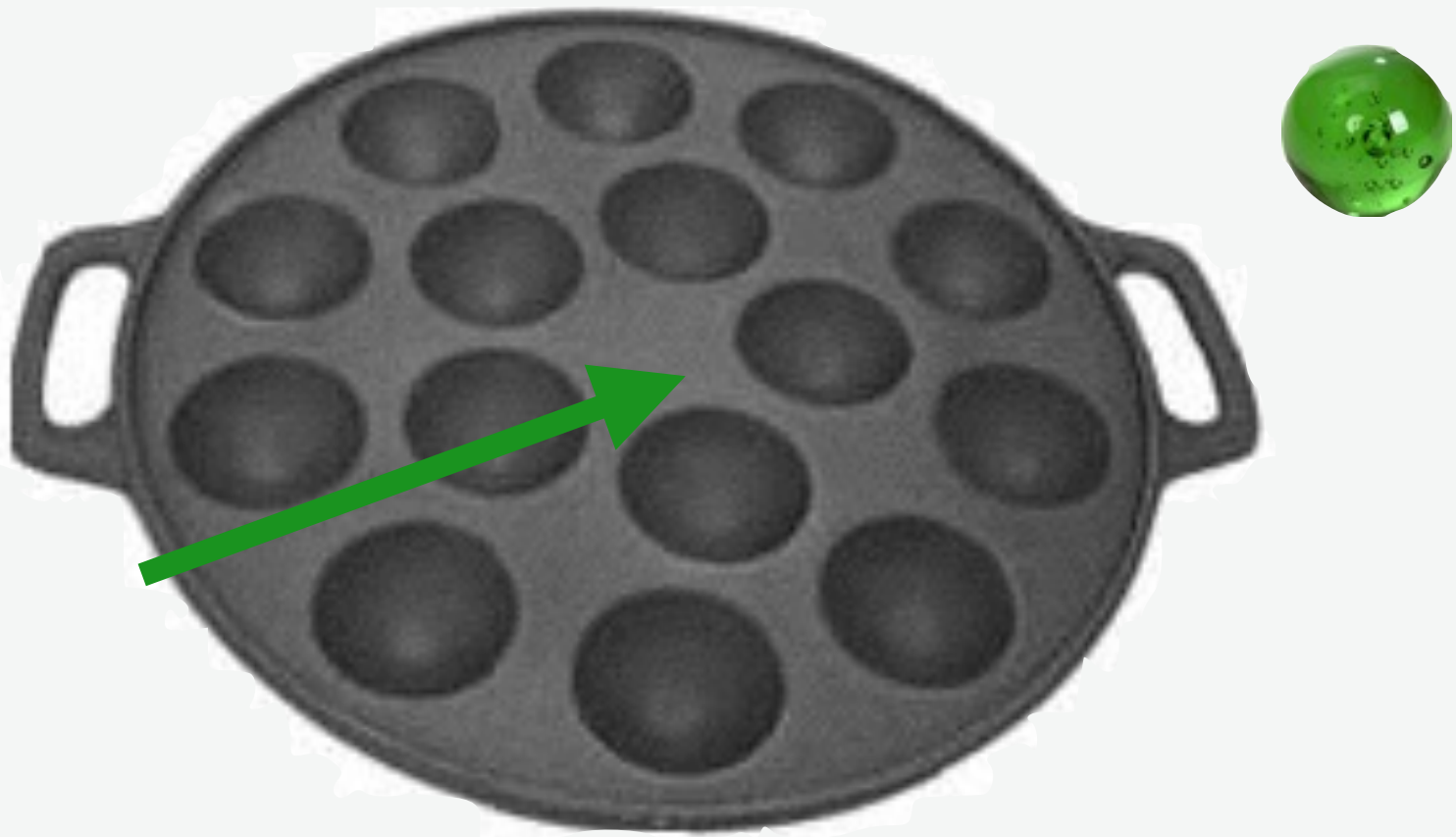
Donkere materie klonten



Theorie

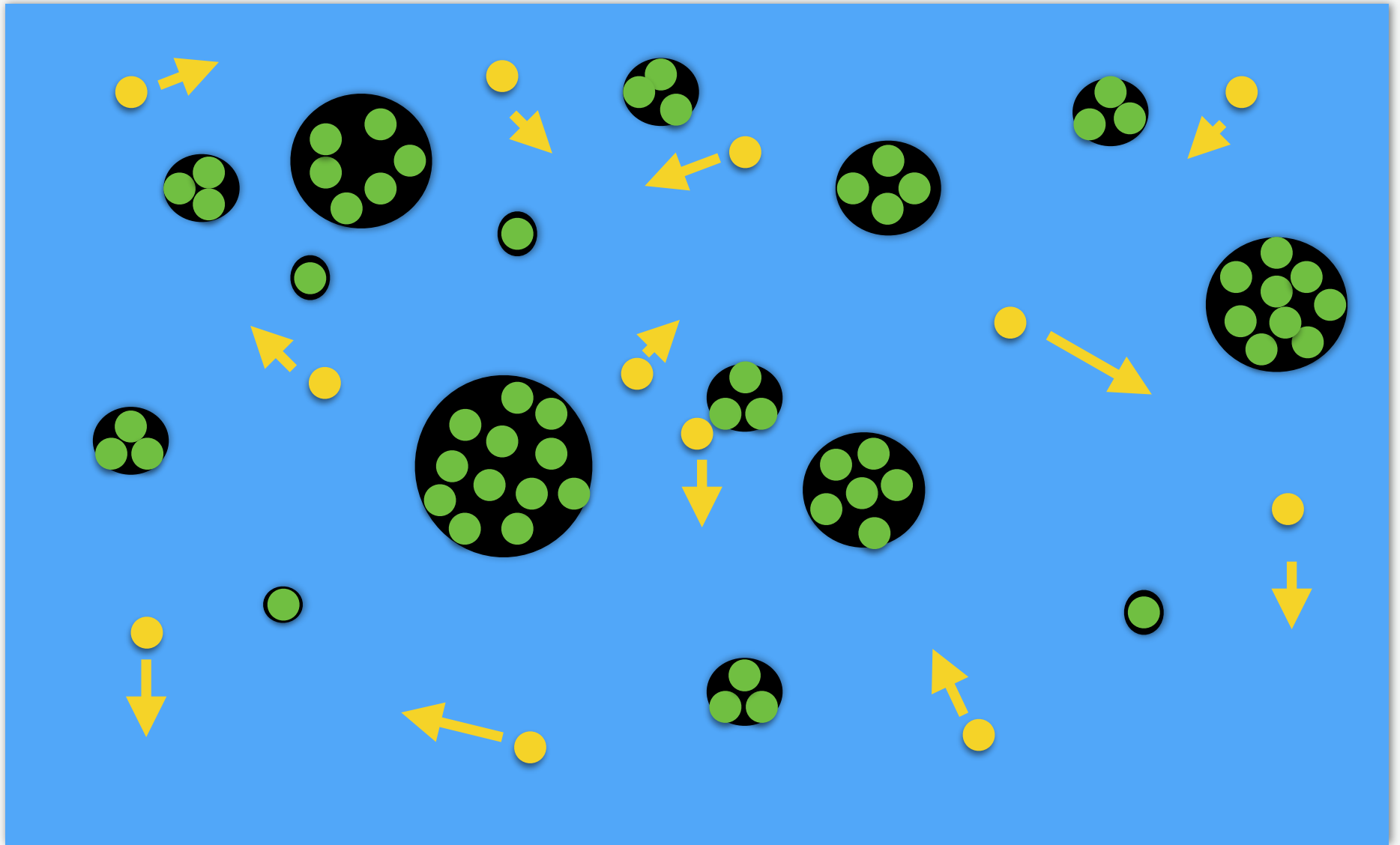


Theorie

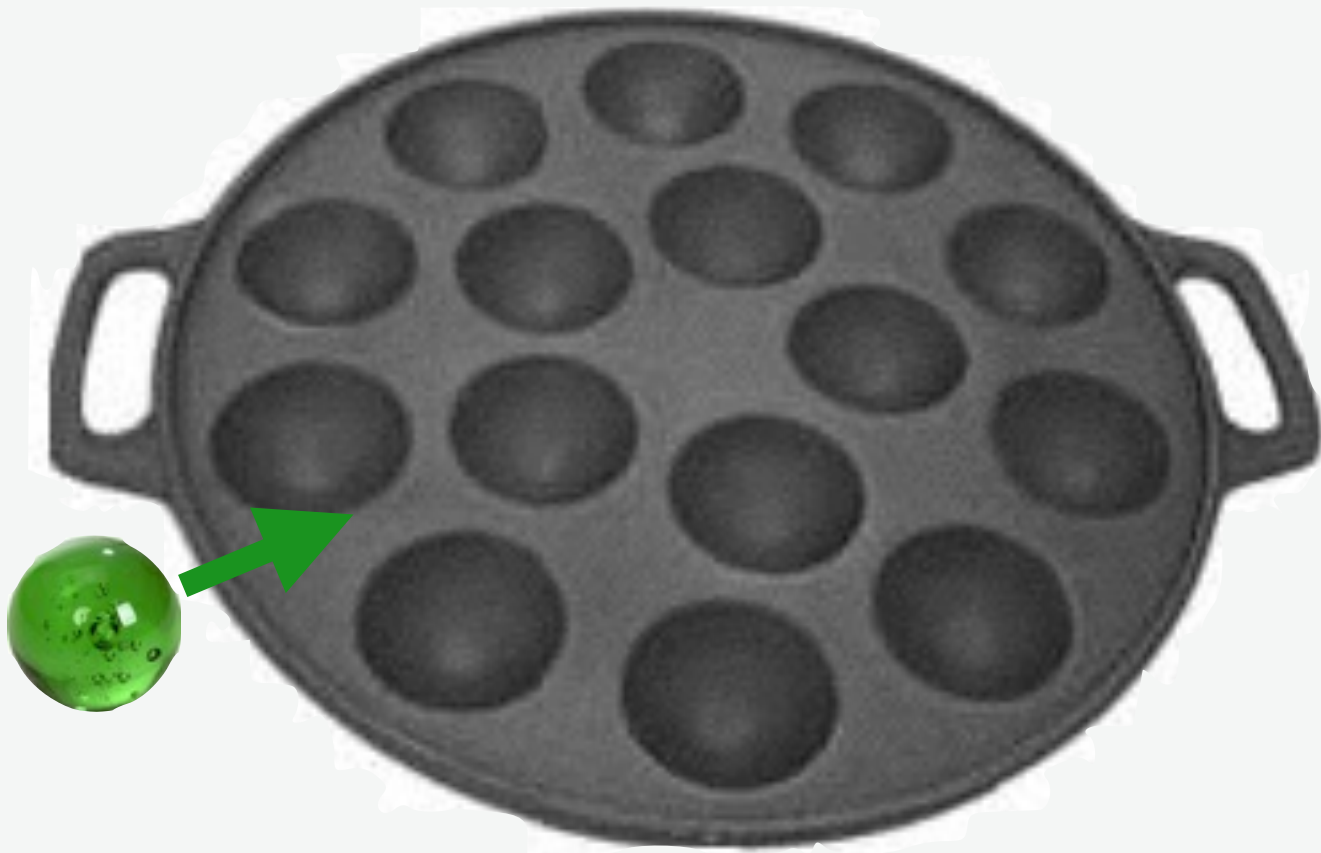


Theorie

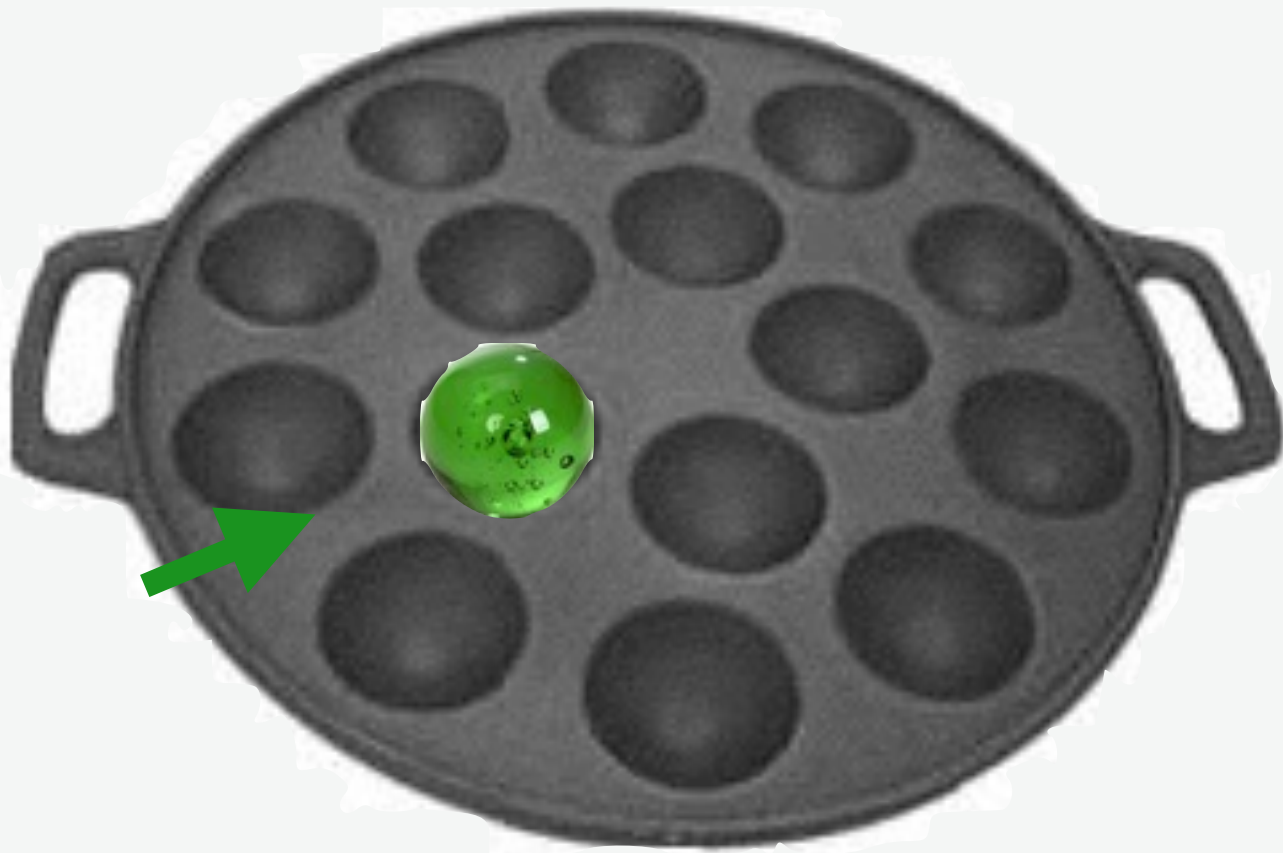
Donkere materie klonten



Theorie



Theorie



Theorie

Vorming stelsel

- Zwaartekracht trekt gas naar binnen
- behoud van energie
- $nkT = PV$
(thermodynamica)
- Temperatuur en druk worden hoger
- Gas kan niet naar binnen vallen



Vorming stelsel

- Straling
- Gas koelt af
- Druk neemt af
- Gas valt naar binnen
- Temperatuur en druk stijgen



Vorming stelsel

- Straling
- Gas koelt af
- Druk neemt af
- Gas valt naar binnen
- Temperatuur en druk stijgen



Vorming stelsel

- Non-linear proces
- Als de Jeans massa bereikt wordt stort de wolk in

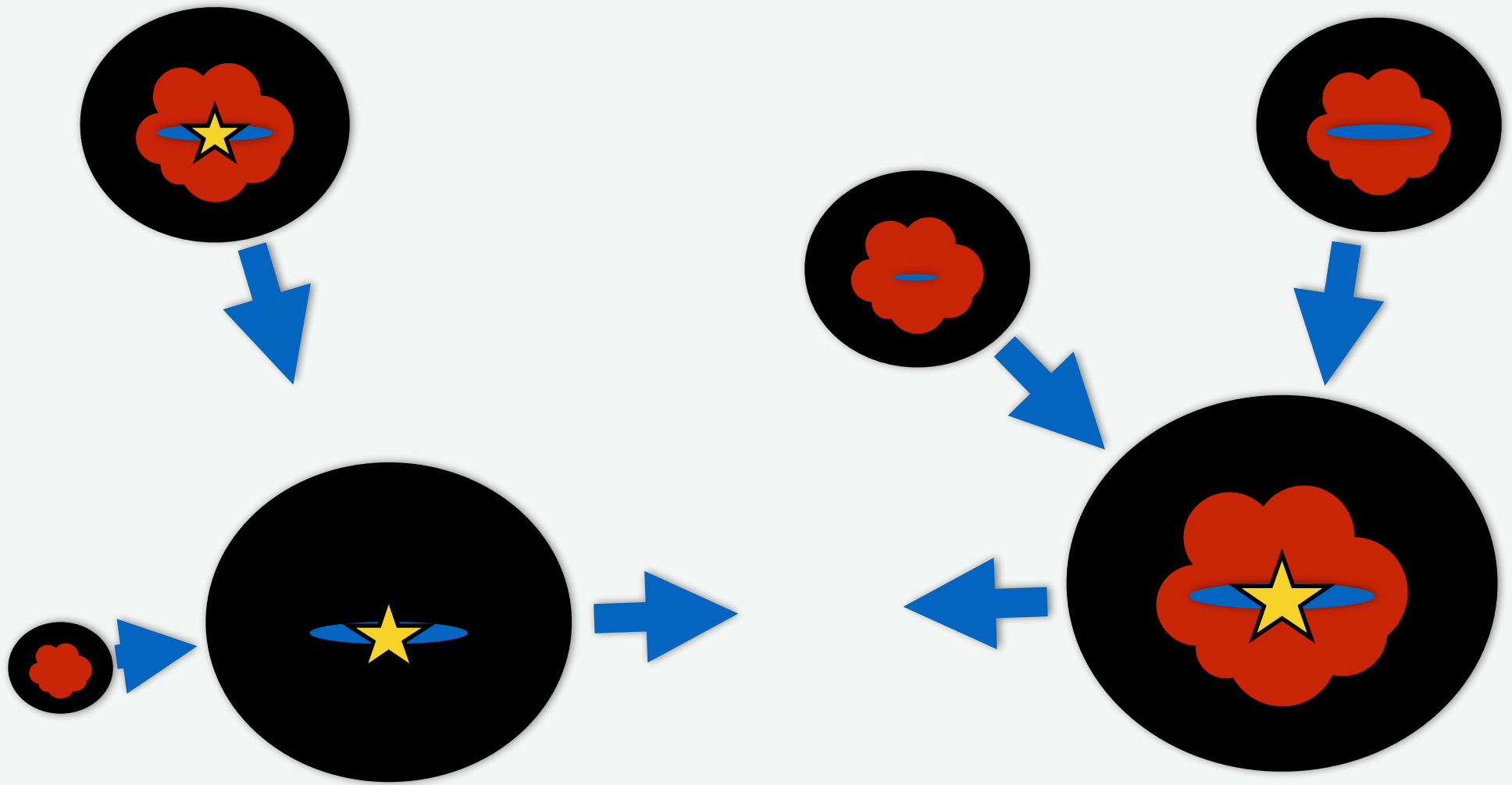


Vorming stelsel

- Gas heeft impulsmoment
- Impulsmoment blijft behouden
- Koude gas vormt een schijf
- Als de dichtheid hoog genoeg is: stervorming



Fuserende stelsels

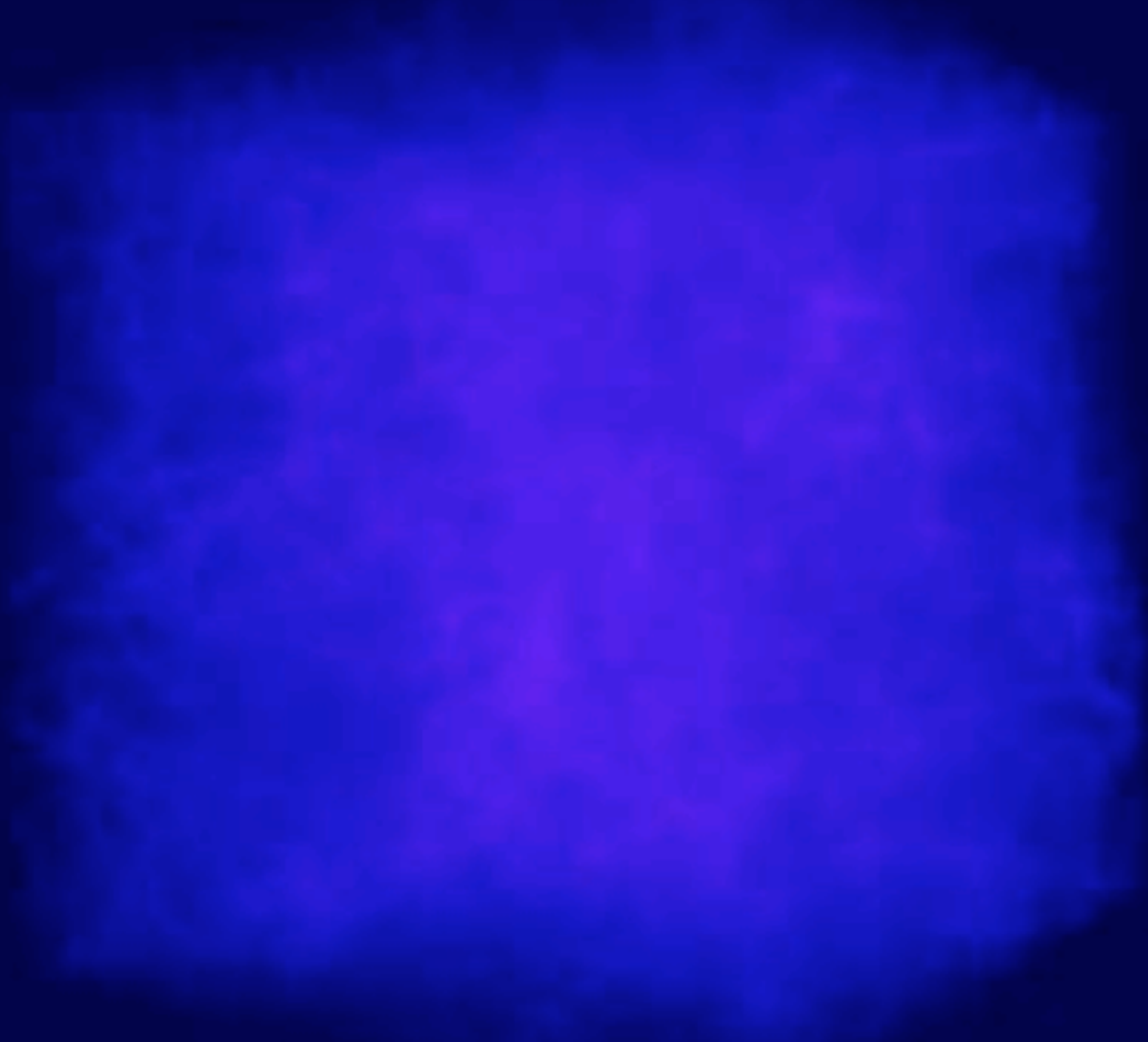


Theorie

$a = 0.092$

$z = 9.9$

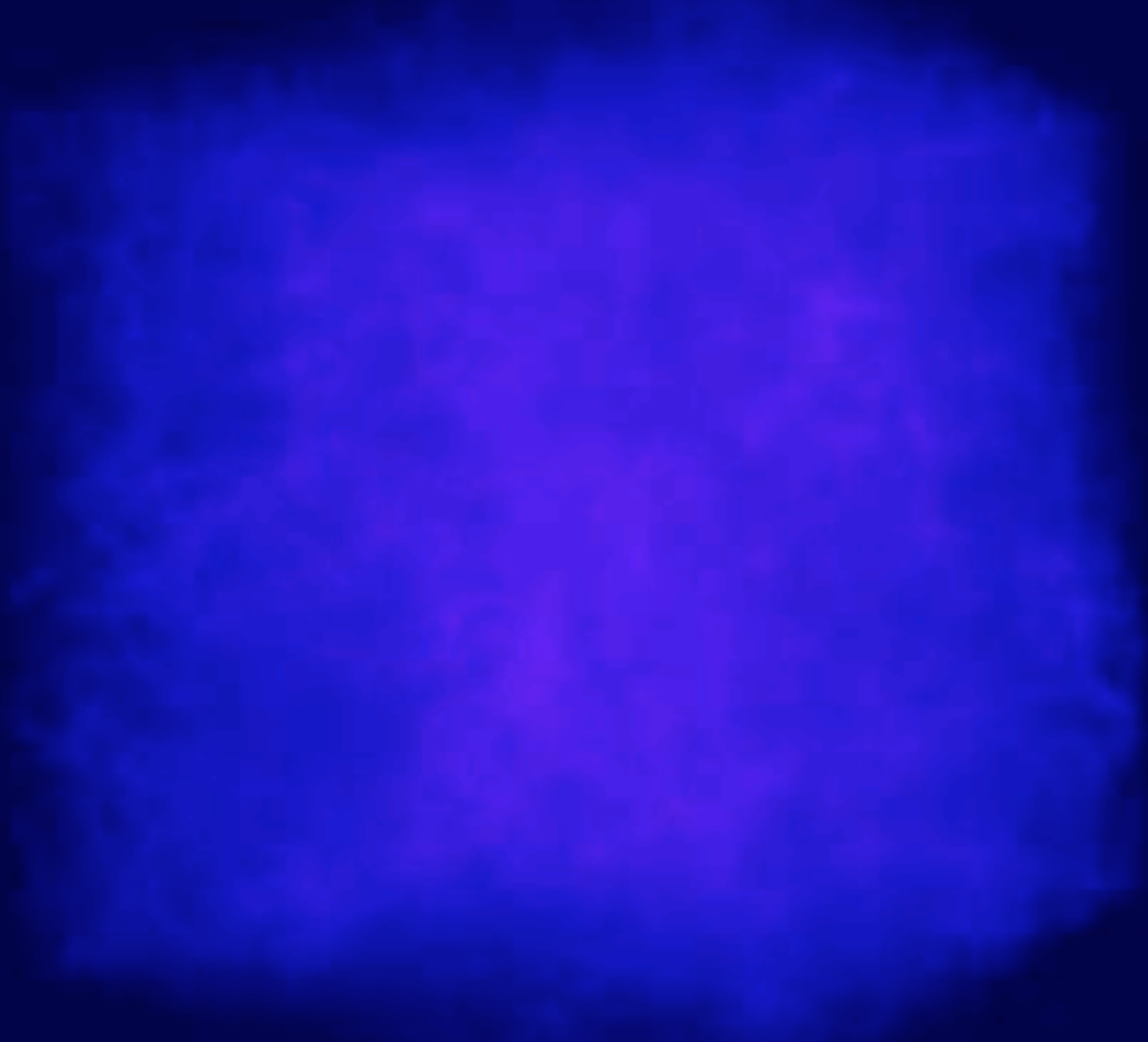
$t = -13.2 \text{ Gyr}$



$a = 0.092$

$z = 9.9$

$t = -13.2 \text{ Gyr}$



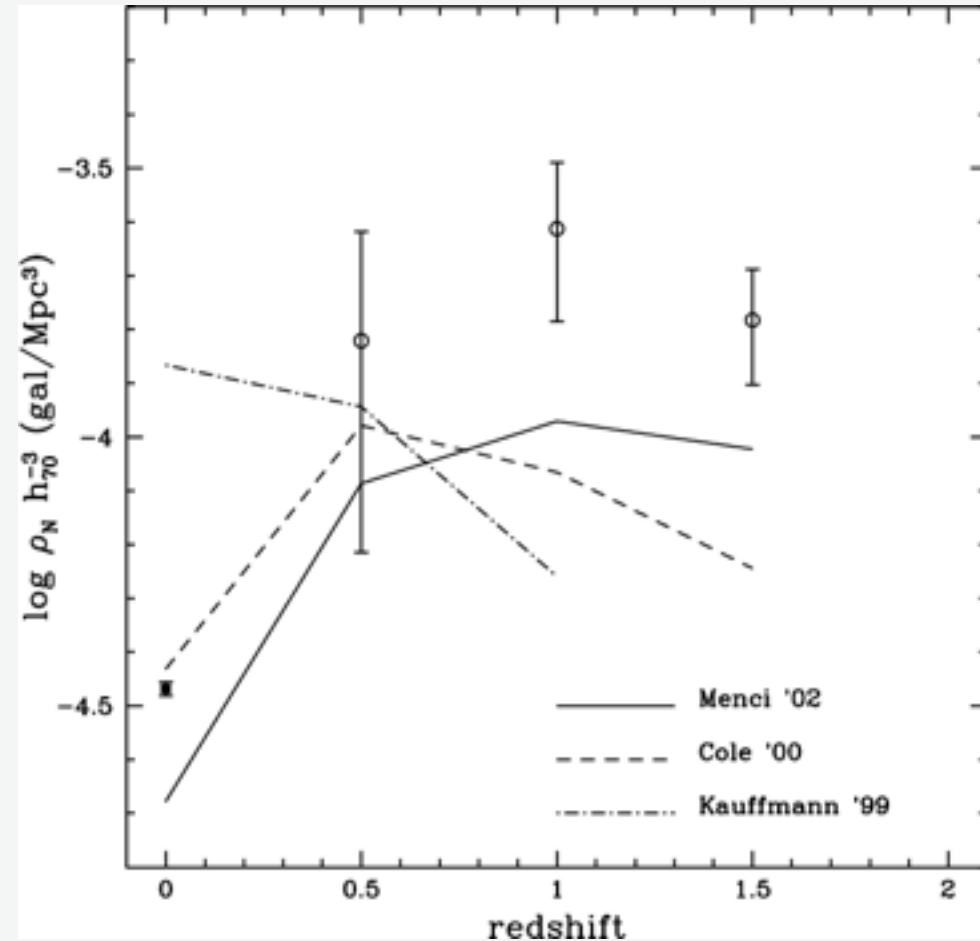
Fuserende stelsels



Waarnemingen

Te veel sterrenstelsels?

- K20 survey in 2002
- De modellen voorspellen veel te weinig zware sterrenstelsels



Supernovae



Waarnemingen

Feedback

- Explosies door Supernovae
- Super zware zwarte gaten
- Gas wordt uit sterrenstelsels gespuwd

Supernovae



Waarnemingen

Supernovae



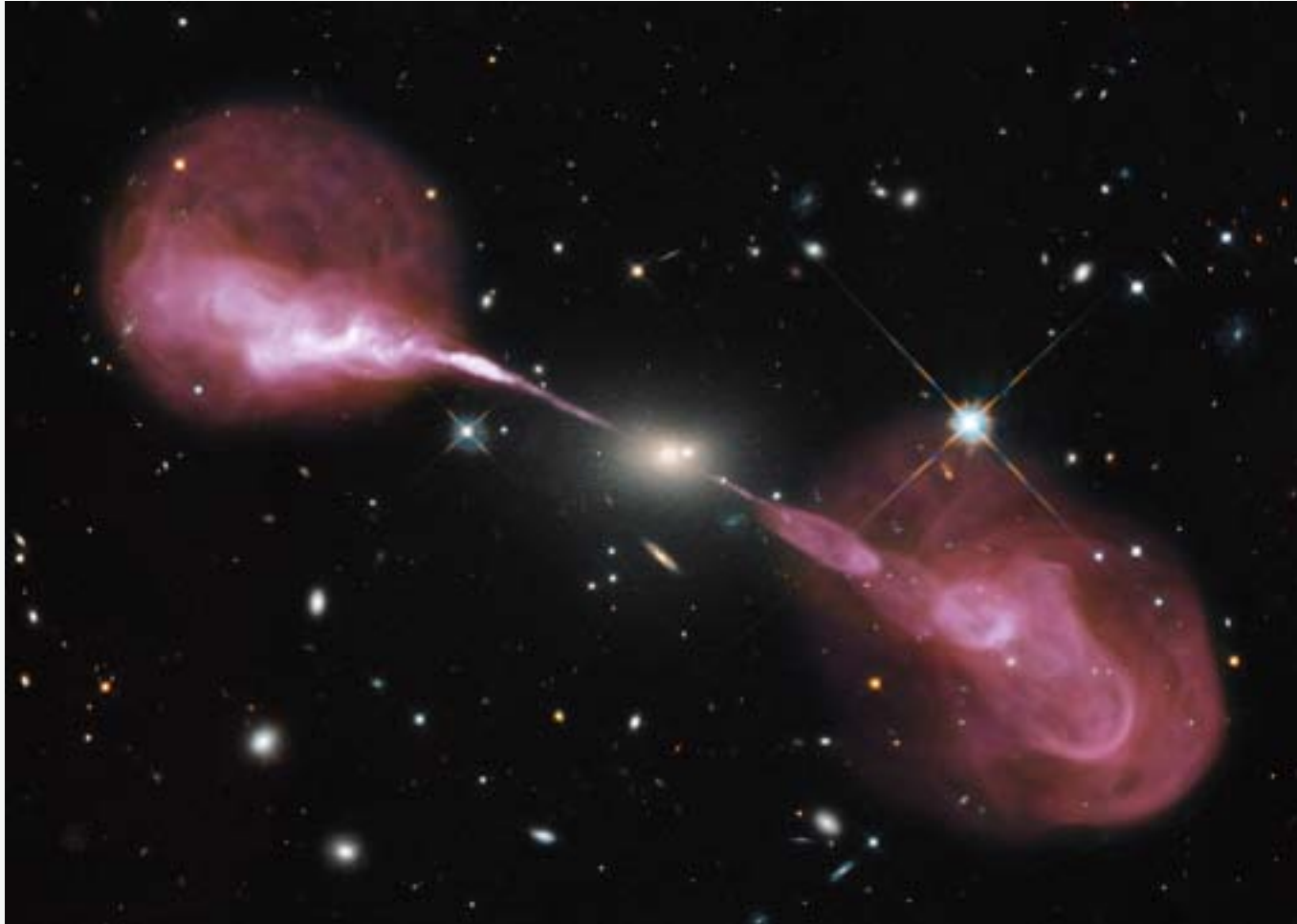
Waarnemingen

AGN



Waarnemingen

AGN



Waarnemingen

Balans instroom/uitstoot

- Stervorming consumeert het gas
- AGN, supernova en jonge sterren verhitten gas
- Gas wordt uit stelsel gedreven
- Gas wordt meer verhit dan het kan koelen
- Gas raakt op (verhongering) → geen nieuwe sterren
- Stelsel is rood en “dood”

Stervorming of oud?



Waarnemingen

Illustris simulatie

$z=10.0$



adiabatic



cooling+SF+AGN

ILLUSTRIS

Simulaties

Illustris simulatie

$z=10.0$



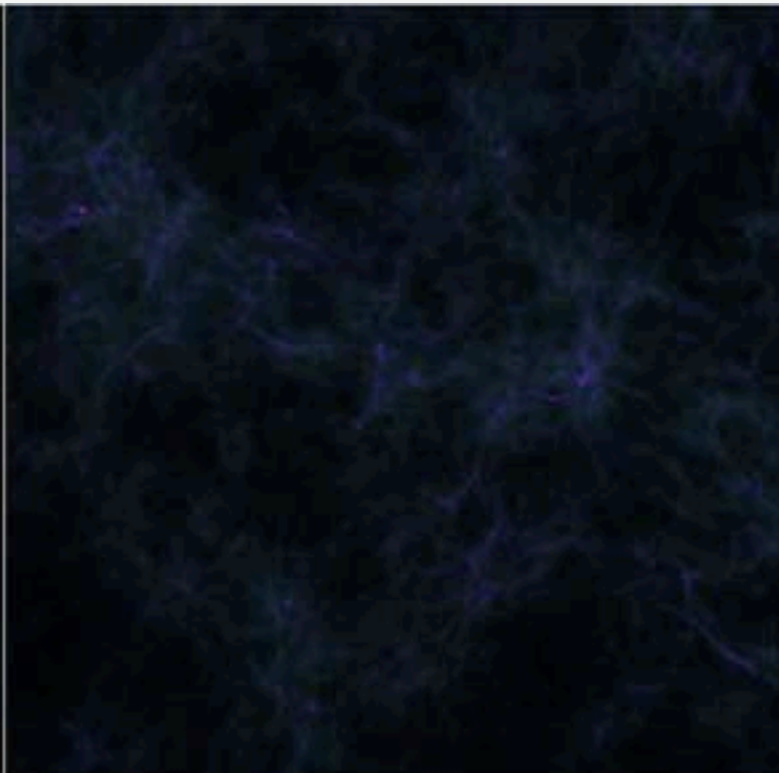
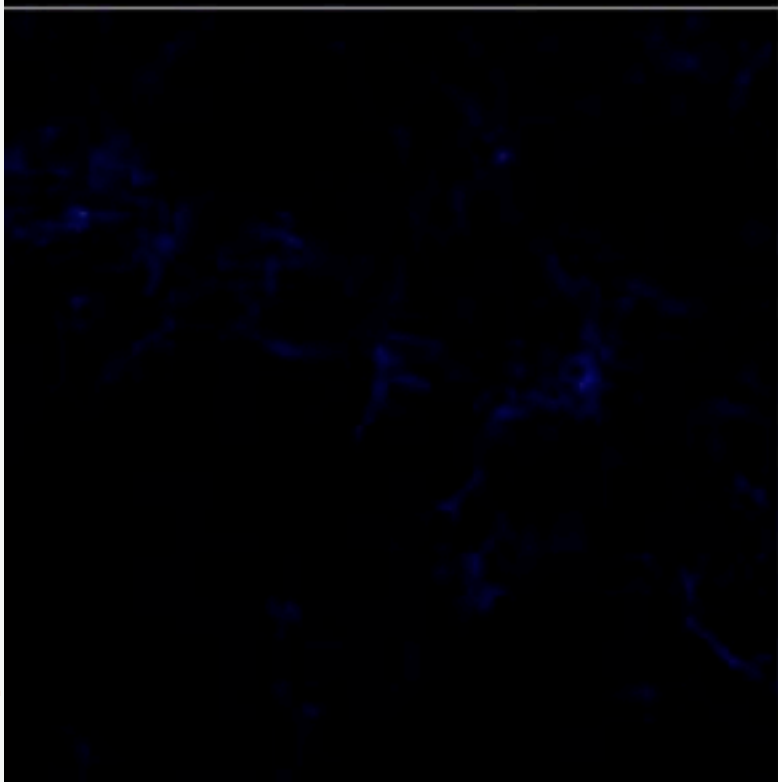
Simulaties

$z=10.00$

$\log_{10}(M_*)=8.6$

SFR=7.9

$\text{sSFR}=21.56\text{Gyr}^{-1}$

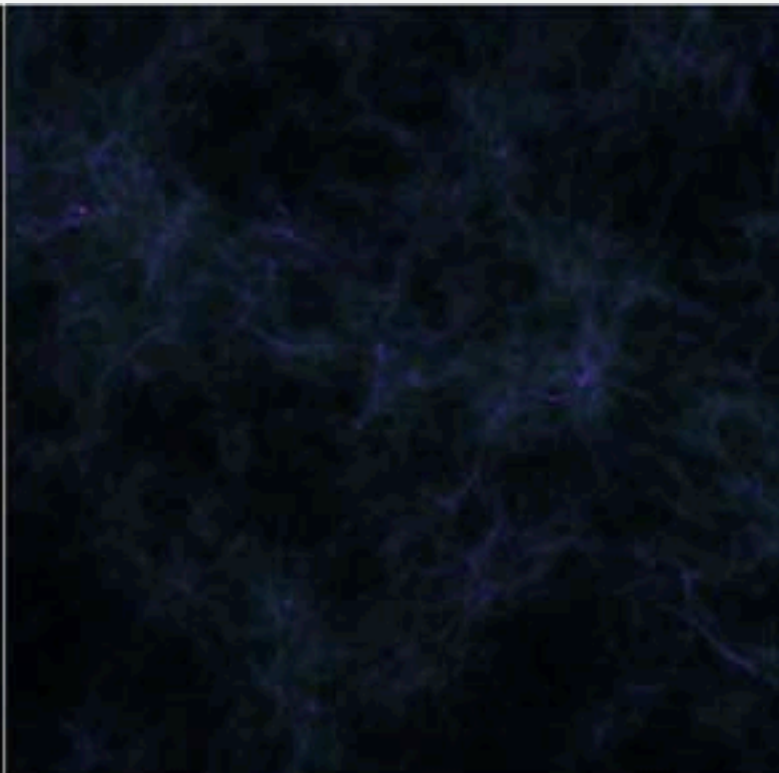
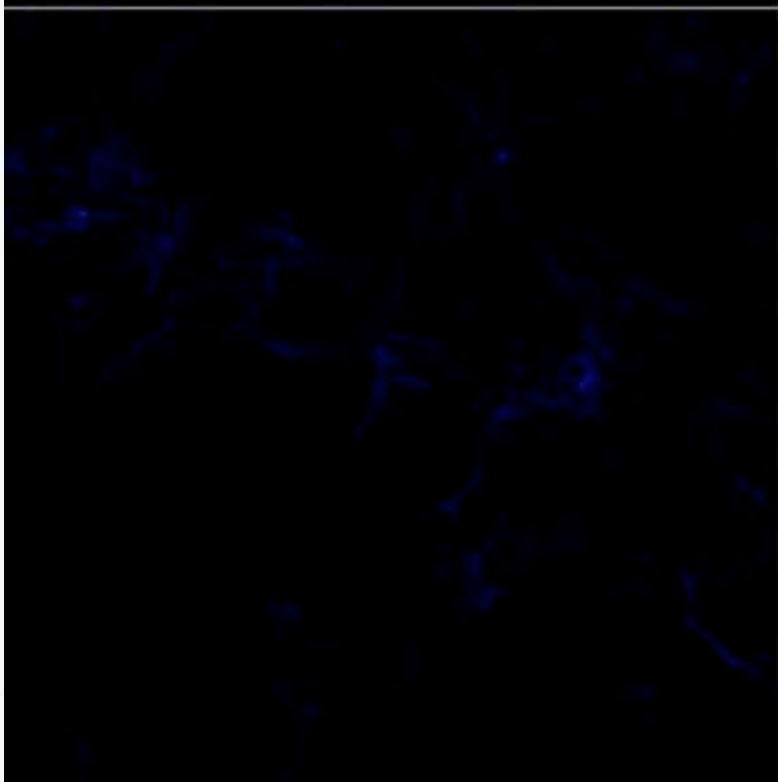


$z=10.00$

$\log_{10}(M_*)=8.6$

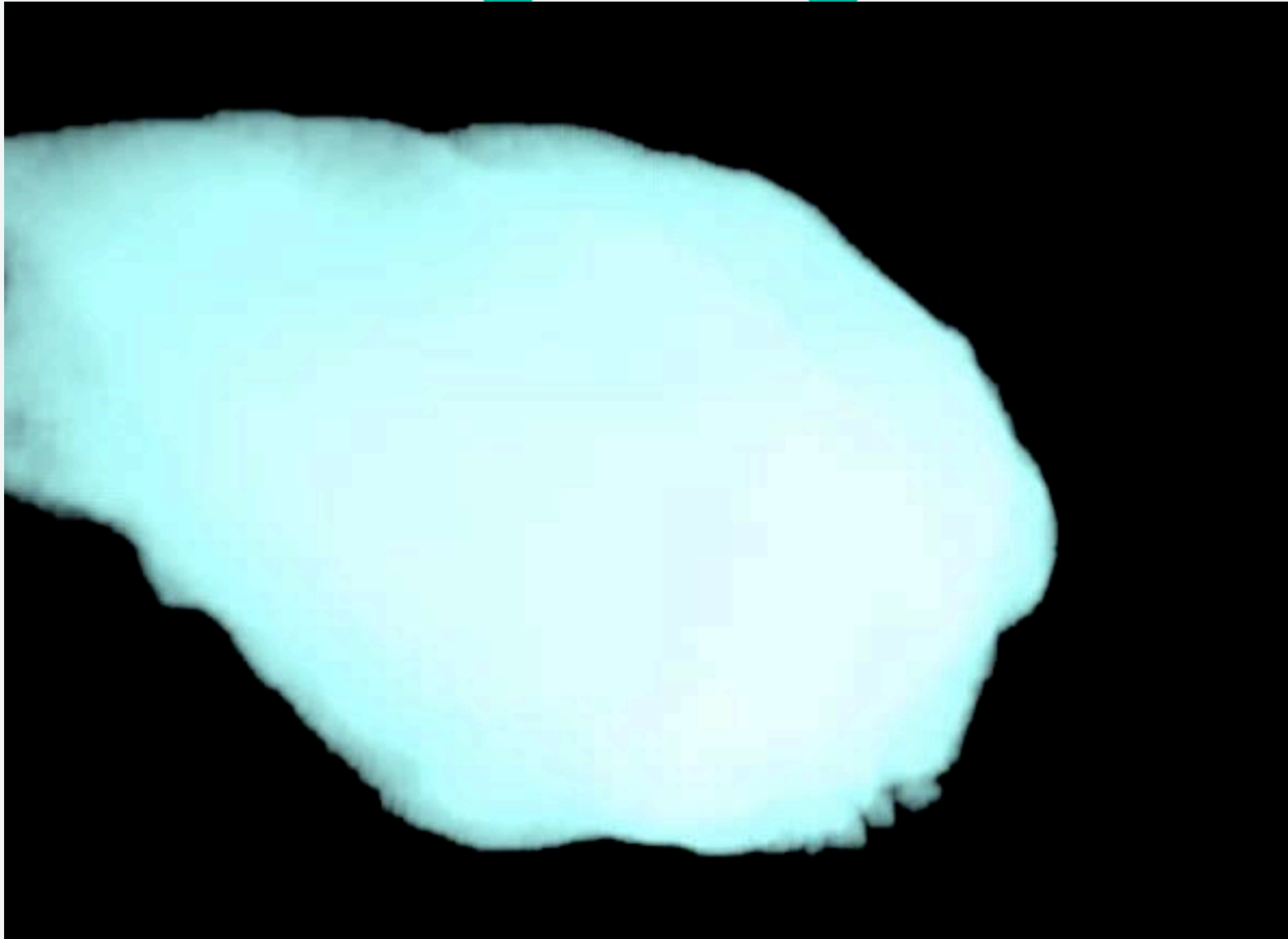
SFR=7.9

$\text{sSFR}=21.56\text{Gyr}^{-1}$



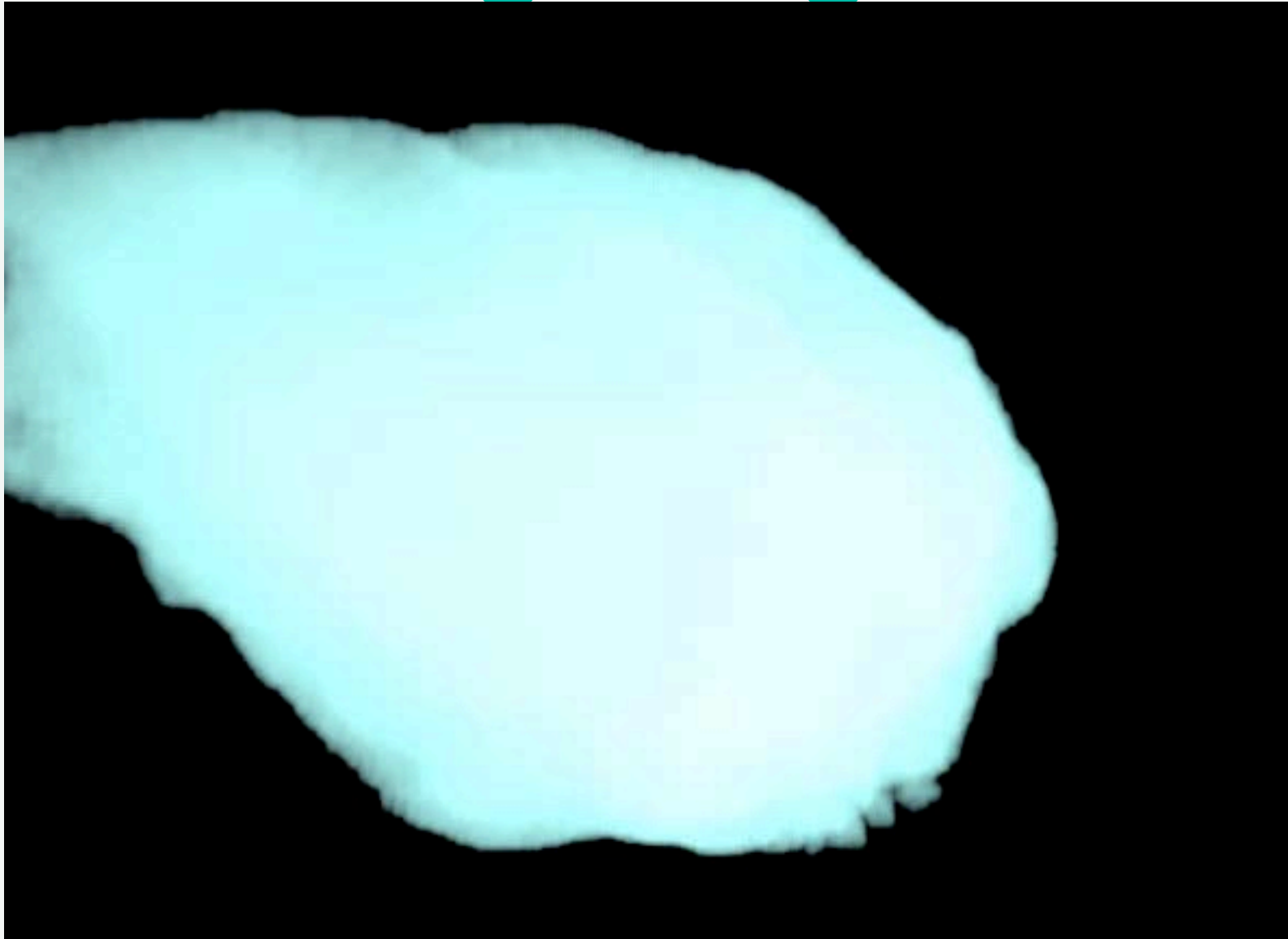
ILLUSTRIS

Melkwegachtig stelsel



Simulaties

Melkwegachtig stelsel



Simulaties

Samenvatting

- Donkere materie vormt potentiaal putten
- Gas wordt gevangen in deze putten
- Sterren vormen uit het compacte gas
- Sterren en AGN verhitten gas
- Als verhitting $>$ koeling : verhongering