

De OERKNAL (BIG BANG) en daarna

Oorsprong en ontwikkeling van het heelal

Frits de Mul

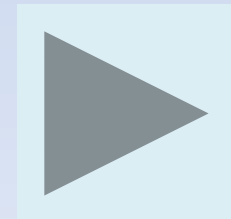
oktober 2016

www.demul.net/frits

De OERKNAL (BIG BANG) en daarna Oorsprong en ontwikkeling van het heelal

Inhoud:

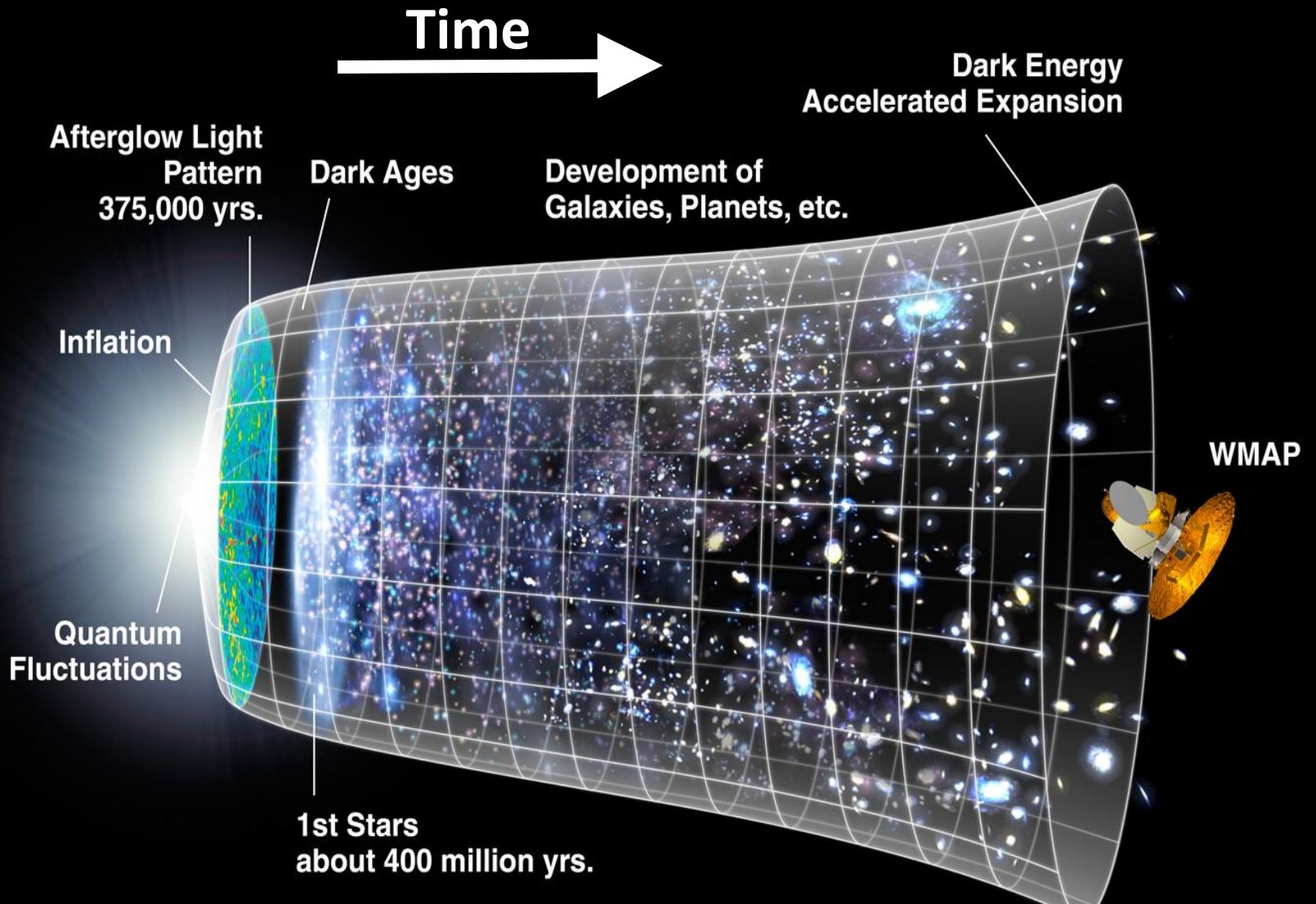
1. Geschiedenis en overzicht
2. Fysische achtergronden
3. Ontwikkeling en Details
4. Nu



De OERKNAL (BIG BANG) en daarna Oorsprong en ontwikkeling van het heelal

Inhoud:

- 1. Geschiedenis en overzicht
- 2. Fysische achtergronden
- 3. Ontwikkeling en Details
- 4. Nu



2D – weergave van een 4D – gebeuren

De OERKNAL (BIG BANG) en daarna

Geschiedenis:

jaar	ontwikkeling
-350	Aristoteles : geocentrisch
1600	Copernicus/Galilei: heliocentrisch
1680	Newton: zwaartekracht ; 3 wetten
1900	Einstein: statisch heelal
1905	Planck: quanta
1905	Einstein: speciale relativiteitstheorie
1912	Slipher: spectrale roodverschuiving
1915	Einstein: algemene relativiteitstheorie
1922	Friedmann: uitdijend heelal ?
1924	Hubble: wegvluchtende sterrenstelsels

(In **blauw**: ondersteunende theorieën.)

jaar	ontwikkeling
1926	Heisenberg: onzekerheidsrelatie
1927	Lemaitre: uitdijing aangetoond
1929	Wet van Hubble: snelheid vs. afstand
1931	Lemaitre: big bang (idee)
1964	Penzias+Wilson: achtergrondstraling
1965	Penrose+Hawking: zwarte gaten (idee)
1970	Idem: big bang aangetoond
1979	Guth: inflatie (idee)
>1979	Quantum cosmology
2012	Higgs deeltje

Intermezzo : Machten van 10

Sterrenkunde werkt met heel **grote** getallen (bv. 842 000 000)
en heel **kleine** getallen (bv. 0,000 000 842)

Hoe schrijf je die handig op?

$10^4 = 10\ 000$	$10^{12} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000$	T tera
$10^3 = 1\ 000$	$10^9 = 1\ 000\ 000\ 000$	G giga
$10^2 = 100$	$10^6 = 1\ 000\ 000$	M mega
$10^1 = 10$	$10^3 = 1000$	k kilo
$10^0 = 1$	$10^0 = 1$	
$10^{-1} = 0,1 = 1/10$	$10^{-3} = 0,001$	m milli
$10^{-2} = 0,01 = 1/100$	$10^{-6} = 0,000\ 001$	μ micro
$10^{-3} = 0,001 = 1/1000$	$10^{-9} = 0,000\ 000\ 001$	n nano
$10^{-4} = 0,0001 = 1/10\ 000$	$10^{-12} = 0,000\ 000\ 000\ 001$	p pico

Dus: 842 000 000 m = 842 miljoen m = 842×10^6 m = 842 Mm

En 0,000 000 842 m = 842 miljardste m = 842×10^{-9} m = 842 nm

De OERKNAL (BIG BANG) en daarna Oorsprong en ontwikkeling van het heelal

Inhoud:

1. Geschiedenis en overzicht
- 2. Fysische achtergronden
3. Oerknal: ontwikkeling en details
4. Nu

Fysische achtergronden

Hulpmiddelen:

- **relativiteitstheorie (speciale)**: lichtsnelheid (Lorentz/Einstein)
- **idem (algemene)**: massa en energie (Einstein)
- **quantummechanica** (Planck/Bohr)
- **onzekerheidsrelatie** (Heisenberg)

Achtergrond: straling en atomen

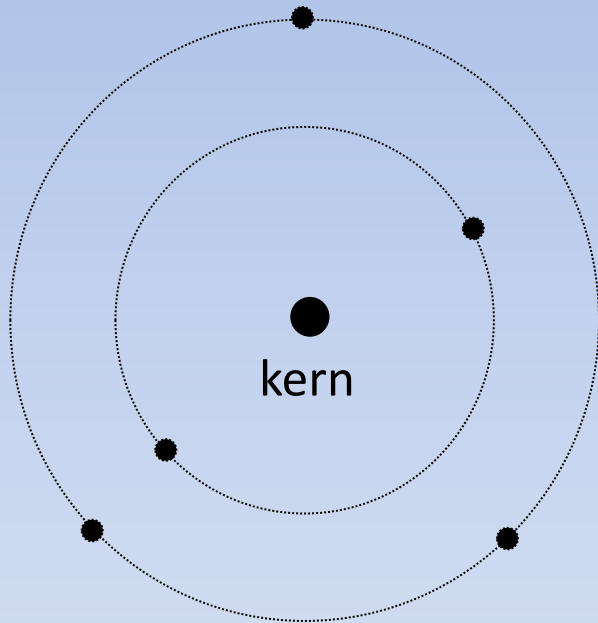
Het heelal is opgebouwd uit:

Straling → (subatomaire) deeltjes → atomen → sterren → sterrenstelsels

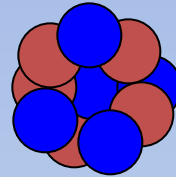
Dus nu eerst achtergrond-informatie over:

- **atomen** en (subatomaire) **deeltjes**
- **straling**

Achtergrond: Het atoom






Electronen-
schillen



Kern :

protonen en neutronen

	deeltje	massa	lading
	proton	1	+ 1
	neutron	1	0
	electron	$\ll 1$	- 1

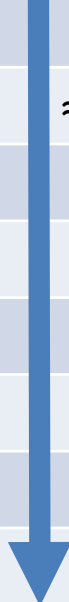
Protonen stoten elkaar af : $+$ \leftrightarrow $+$

Neutronen zorgen voor “lijm”.

Achtergrond: Het atoom

De “kleinste” atomen:

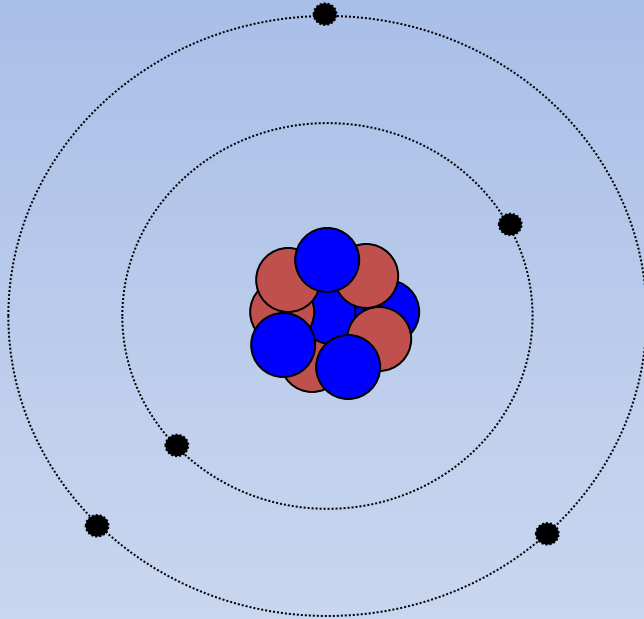
Symbool	Naam	Protonen in de kern	Benodigde productietemperatuur
H	Waterstof	1	
He	Helium	2	$\approx 10^6$ °C ; bv. lichte ster (zon)
Li	Lithium	3	
Be	Beryllium	4	
B	Borium	5	
C	Koolstof	6	
N	Stikstof	7	
O	Zuurstof	8	$\approx 10^8$ °C: bv. zware ster



Voor zwaardere elementen: steeds hogere temperatuur nodig.
Steeds hetere, dus zwaardere sterren.

“**Stabiele**” kernen hebben ongeveer evenveel protonen als neutronen
“**Instabiel**” houdt in: “radioactief verval” .

Achtergrond: Het atoom



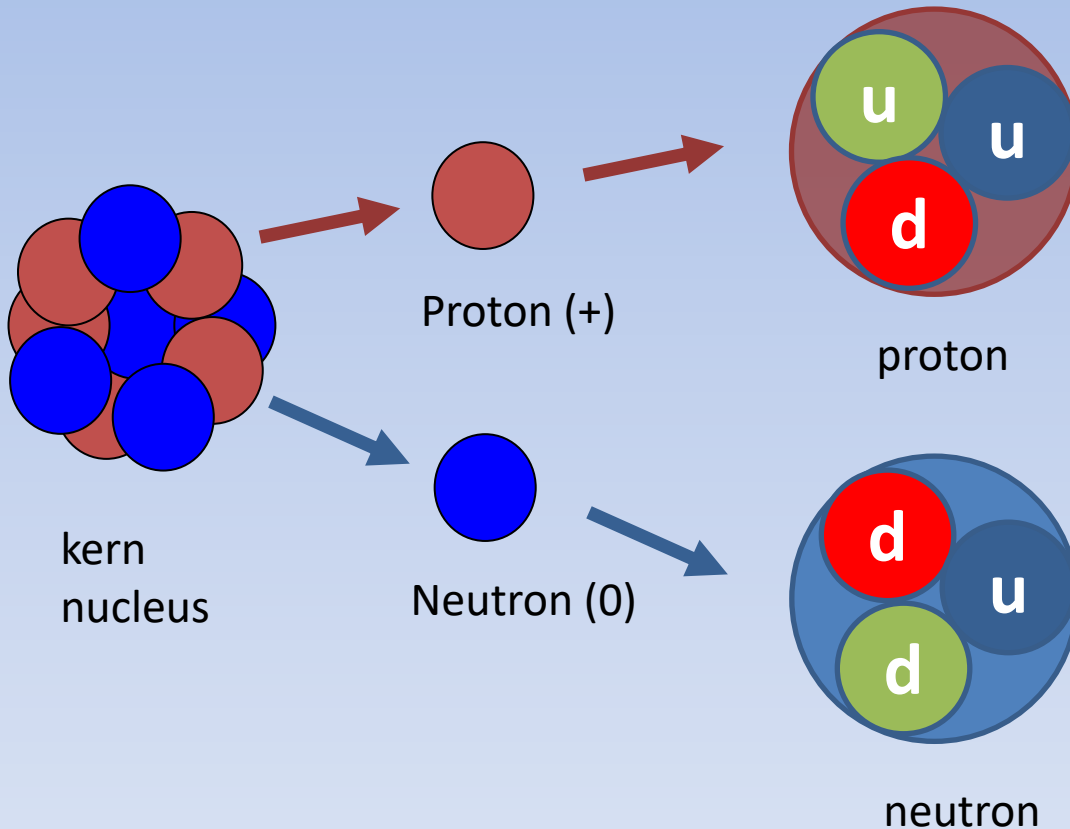
Electronen-
schillen

Afmetingen (orde van grootte):

- **atoom:** $\approx 0.01 - 0.3 \text{ nm}$
($1 \text{ nm} = 0.001 \mu\text{m} = 0.000\,001 \text{ mm}$)
- **kern:** $\approx 10\,000 \text{ x}$ zo klein
- **rest:** lege ruimte

Vergelijk: **zandkorrel** van **1 mm** in **kamer** van **10 m**

Achtergrond: in de kern:



Kerndeeltjes
zijn elk opgebouwd uit:

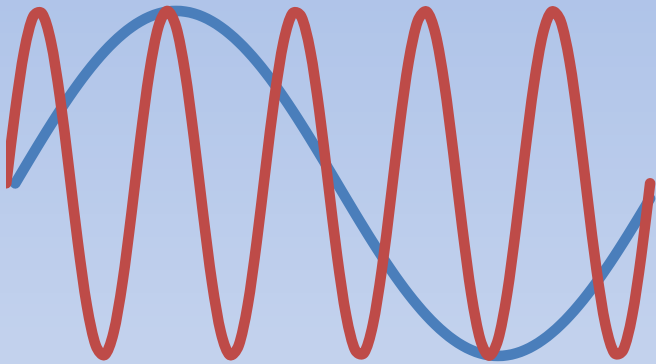
3 quarks



Quarks geven de deeltjes
massa en lading

Quarks en **nuclei** worden bij elkaar gehouden door
“**gluonen**”: de “sterke kernkracht”

Achtergrond: EM-straling

Golven :

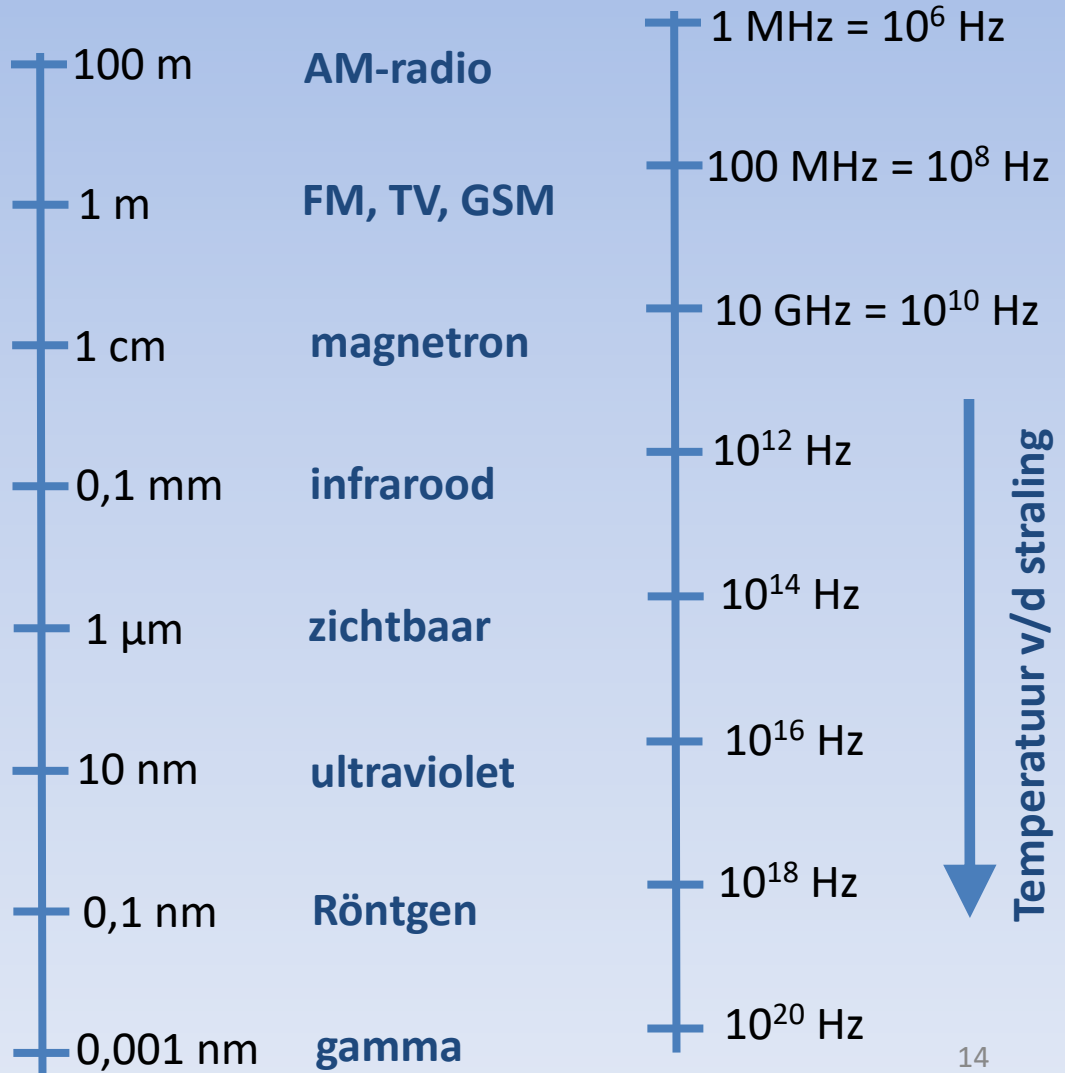


		
Golflengte	groot	klein
Frequentie	klein	groot

(frequentie = aantal trillingen per seconde: Hertz: Hz)

Maar gelijke **snelheid** !!

Met stappen van 100 x :



Achtergrond: EM-straling:

Stralingsenergie reist in “pakketjes”: “**fotonen**”

Straling is dus zowel “**golf**” als “**deeltje**”

De **energie** van één foton is evenredig met de **frequentie** van de lichtgolf (aantal trillingen (golven) per seconde).

Dus: frequentie 2 x → energie foton 2 x, etc.

soort	golf-lengte	fre-quentie	golf-vorm
Radiogolven	groot	klein	
Zichtbaar licht	middel	middel	
Gamma-straling	klein	groot	

Dus:

De energie van een **radiogolf- foton** is véél kleiner dan die van een **gammastralings-foton**

De golflengte van **gamma-straling** is ongeveer even klein als een atoom-kern.
Een **radiogolf** “spoelt” over de atomen heen.

Daarom brengt één **gammastralings-foton** veel meer schade teweeg dan één **radiogolf- foton**.

Achtergrond: EM-straling:

Stralingsenergie reist in “pakketjes”: “**fotonen**”

Straling is dus zowel “**golf**” als “**deeltje**”

De **energie** van één foton is evenredig met de **frequentie** van de lichtgolf (aantal trillingen (golven) per seconde).

Dus: frequentie 2 x → energie foton 2 x, etc.

soort	golf-lengte	fre-quentie	golf-vorm
Radiogolven	groot	klein	
Zichtbaar licht	middel	middel	
Gamma-straling	klein	groot	

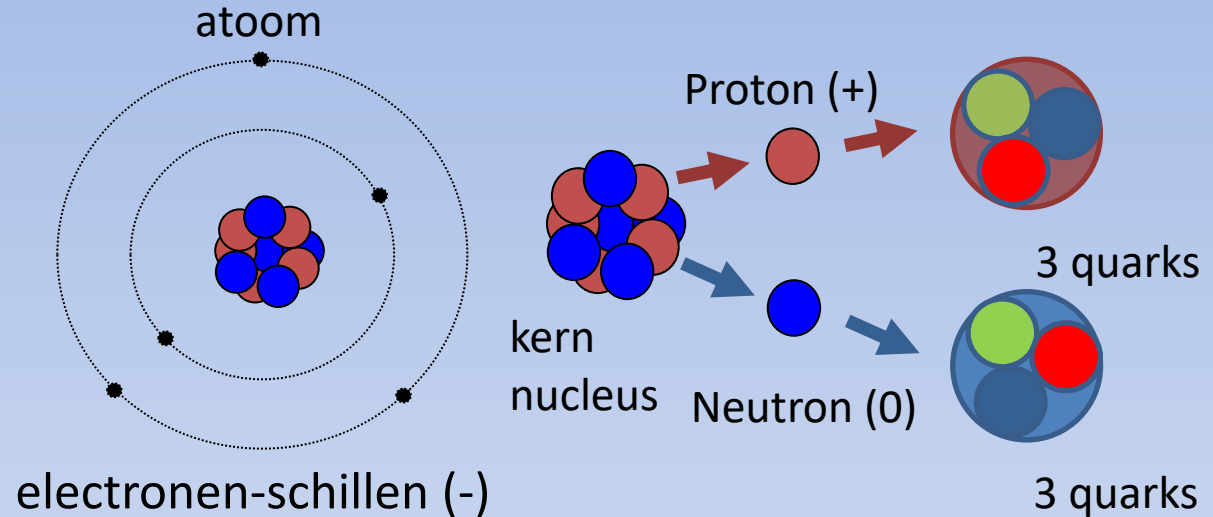
Dus:

De energie van een **radiogolf- foton** is véél kleiner dan die van een **gammastralings-foton**

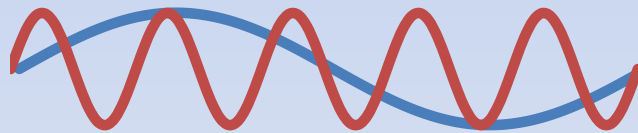
De golflengte van **50 Hz magnetische “stralings”-golven** van hoogspanningsleidingen is ongeveer 6000 km, dus geen effect op atomen, moleculen, levende wezens te verwachten....

Fysische achtergrond: overzicht

1. Deeltjes :



2. Straling :



Golflengte

↑ groot

↓ klein

Frequentie

↓ klein

↑ groot

Stralingsenergie reist in pakketjes: **fotonen**

De energie van een **foton** is evenredig met de **frequentie**

De OERKNAL (BIG BANG) en daarna Oorsprong en ontwikkeling van het heelal

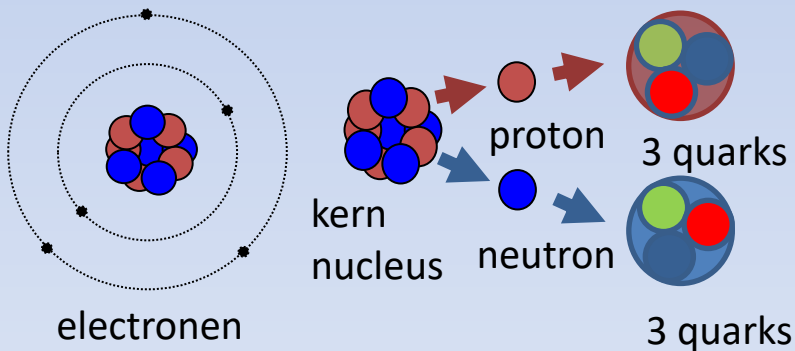
Inhoud:

1. Geschiedenis en overzicht
2. Fysische achtergronden
- 3. Oerknal: ontwikkeling en details
4. Nu

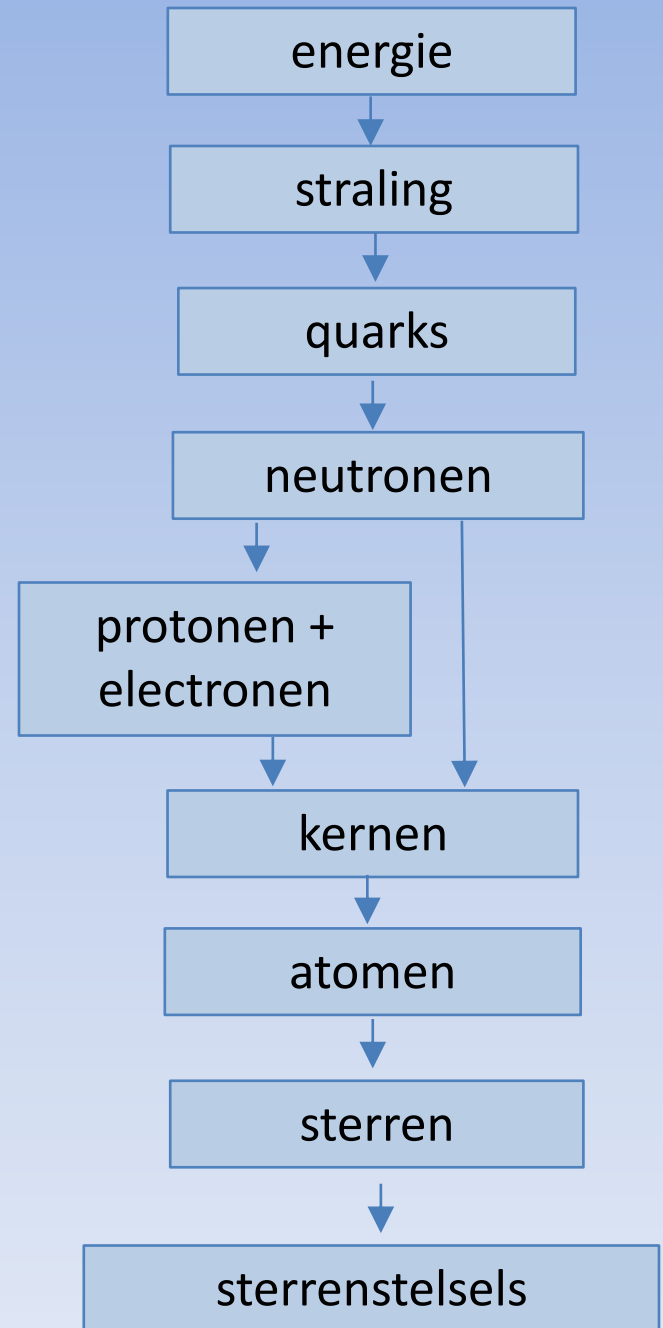
De OERKNAL en daarna

De **ontwikkeling van het heelal** gebeurde in de volgorde:

Overzicht: Opbouw van een atoom:



De opbouw van het heelal ging dus van (heel) klein naar (heel) groot



De OERKNAL (BIG BANG) en daarna

tijd	temp (°C)	ontwikkeling	details
10^{-43} sec	10^{32} °C	Planck-tijd	zeer hoge <u>energie</u> , straling

Beginfase:

Planck-tijd: alleen quantum-gedrag.

10^{-43} sec =

0,000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 1 sec

Zeer hoge temperatuur:

10^{32} °C =

1 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 00 °C

De OERKNAL (BIG BANG) en daarna

10^{-43} sec

10^{32} °C

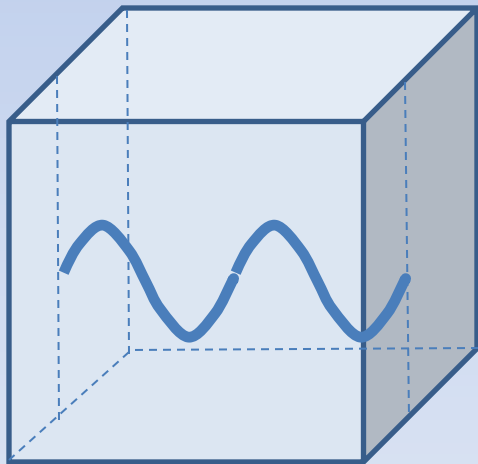
Planck-tijd

zeer hoge energie, straling

“Ervóór” bestond géén tijd, géén ruimte, géén energie, géén massa.
Totale **leegte (en zelfs dát niet eens)**.

Plotseling werd **energie** gevormd (?) (**Quantum-fluctuatie?** → (straks))

Maar: “energie komt alleen in **pakketjes** voor”, bv. fotonen-straling.



Straling heeft snelheid, dus:
Straling heeft ruimte nodig.

Stel je voor: **begin-heelal** = zeer kleine kubus.

Afmetingen → bijna nul ($\approx 10^{-35}$ m).

Alleen “**passende**” **golven** kunnen
in de kubus blijven bestaan.

Zeer kleine **golflengte** → Zeer hoge **frequentie** →
Zeer hoge **energie** en **druk**

De OERKNAL (BIG BANG) en daarna

10^{-43} sec

10^{32} °C

Planck-tijd

zeer hoge energie, straling

Wat is een “Quantum-fluctuatie” ?

Onzekerheidsrelatie van Heisenberg:

Hoe **nauwkeuriger** een **plaatsbepaling**,
des te **ONnauwkeuriger** de **snelheidsbepaling**.

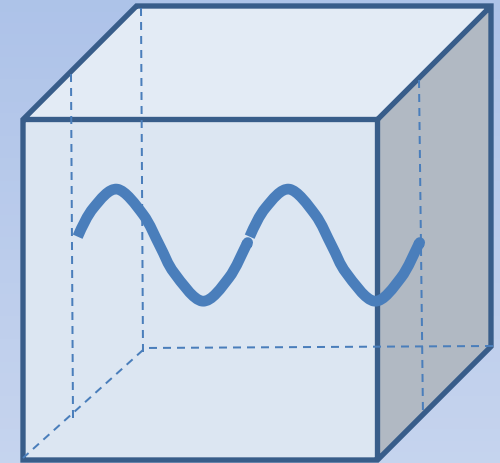
Maar **snelheid** = verandering van **plaats** in de tijd.

“Heisenberg” geldt voor alle grootheden: ook voor **energie**.

Dus: er kan nooit ergens **permanent energie = 0** voorkomen,
want dan zou de **verandering van de energie** in de tijd ook = 0 zijn !
En dat is door “Heisenberg” verboden.

Wat wel kan: 1 energiepakketje $\rightarrow 0 \rightarrow 1 \rightarrow 0 \rightarrow 1 \dots$

Dit is een voorbeeld van een “**quantum-fluctuatie**”.



De OERKNAL (BIG BANG) en daarna

10^{-43} sec	10^{32} °C	Planck-tijd	zeer hoge energie, straling
----------------	--------------	-------------	-----------------------------

Hoe “groot” was die “**beginkubus**”?

Afmetingen: $\approx 10^{-35}$ m
(0,000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 01 m)

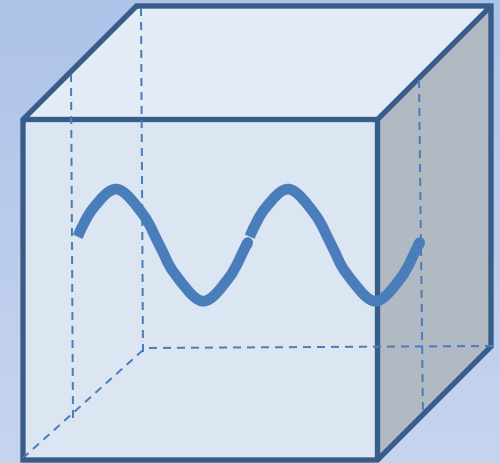
Stel:

Je blaast een klein **zandkorreltje** (0,1 mm) op tot de grootte van het **heelal**...

...dan zou de beginkubus daarin ongeveer 0,1 mm zijn.

Dat heet dan de: “**Planck-lengte**” (minimaal mogelijke afstand).

De “**Planck-tijd**” is de tijd waarin straling de **Planck-lengte** aflegt (met lichtsnelheid).



De OERKNAL (BIG BANG) en daarna

tijd	temp (°C)	ontwikkeling	details
10^{-43} sec	10^{32} °C	Planck-tijd	zeer hoge <u>energie</u> , straling

Volgende fase:

$10^{-37} \rightarrow 10^{-12}$ sec (... – 0,000 000 000 001 sec)
(1 biljoenste sec)

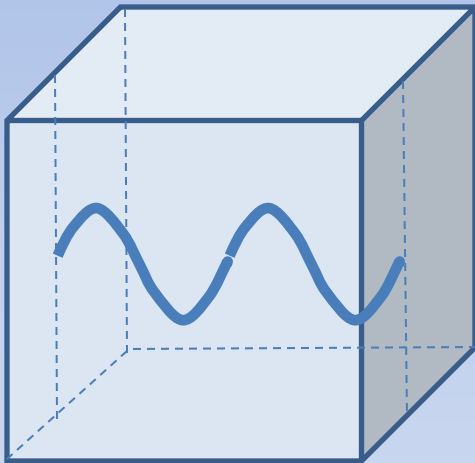
$10^{28} \rightarrow 10^{16}$ °C (... - 10 000 000 000 000 000 °C)

inflatie:

Door druk van de straling “explodeert” de “beginkubus”

De OERKNAL (BIG BANG) en daarna

10^{-43} sec	10^{32} °C	Planck-tijd	zeer hoge energie, straling
$10^{-37} \rightarrow 10^{-12}$	$10^{28} \rightarrow 10^{16}$	inflatie	straling wordt gecreëerd



Zeer kleine golflengte →
Zeer hoge frequentie →
Zeer hoge energie en druk

Om de “kubus” heen: leegte
daar bestaan ruimte en tijd niet.

Gevolg: **inflatie** met snelheid \gg lichtsnelheid

(Alsof een opgeblazen ballon uiteenklapt in het luchtledige)

Energie (straling) wordt enorm vermenigvuldigd.

Eind inflatie: grootte van heelal \approx huidige grootte van aarde.

De OERKNAL (BIG BANG) en daarna

$10^{-37} \rightarrow 10^{-12} \text{ s}$ | $10^{28} \rightarrow 10^{16} \text{ }^\circ\text{C}$ | inflatie | straling wordt gecreëerd

Inflatie

Waarom is **inflatie** waarschijnlijk?

We meten nu straling van sterrenstelsels op \approx **14 miljard lichtjaar** afstand (op moment van uitzenden).

Die straling heeft dus \approx **14 miljard jaar** gereisd, met de lichtsnelheid.

Dus moet het heelal op het moment van uitzenden (14 miljard jaar geleden) al minstens \approx **14 miljard lichtjaar** groot geweest zijn.

Dat kan alleen met het **inflatie** – mechanisme verklaard worden.

De OERKNAL (BIG BANG) en daarna

$10^{-37} \rightarrow 10^{-12} \text{ s}$

$10^{28} \rightarrow 10^{16} \text{ }^\circ\text{C}$

inflatie

straling wordt gecreëerd

Inflatie: Waar komt de benodigde energie vandaan?

Er zijn 2 soorten energie: “**positieve**” en “**negatieve**”.

“**Positieve**” zit in gecreëerde deeltjes en straling (fotonen)

“**Negatieve**” als “deeltjes” etc. (van quarks tot sterren) elkaar aantrekken.

Het kost immers energie om ze “uit elkaar te trekken”

(Denk bv. aan: maan en aarde; + en - lading)

Tijdens **inflatie** kan er eerst evenveel negatieve als positieve energie gecreëerd worden (dus totaal = 0)

Later wordt dat minder omdat de afstanden groter worden, waardoor steeds minder “negatieve” energie beschikbaar komt.

Dan stopt ook de **creatie** van de “positieve” energie.

De OERKNAL (BIG BANG) en daarna

tijd	temp (°C)	ontwikkeling	details
10^{-43} sec	10^{32} °C	Planck-tijd	zeer hoge <u>energie</u> , straling
$10^{-37} \rightarrow 10^{-12}$	$10^{28} \rightarrow 10^{16}$	inflatie	<u>straling</u> wordt gecreëerd

Volgende fase:

$10^{-7} \rightarrow 10^{-6}$ sec: 0,000 000 1 \rightarrow 0,000 001 sec
(0,1 \rightarrow 1 miljoenste sec)

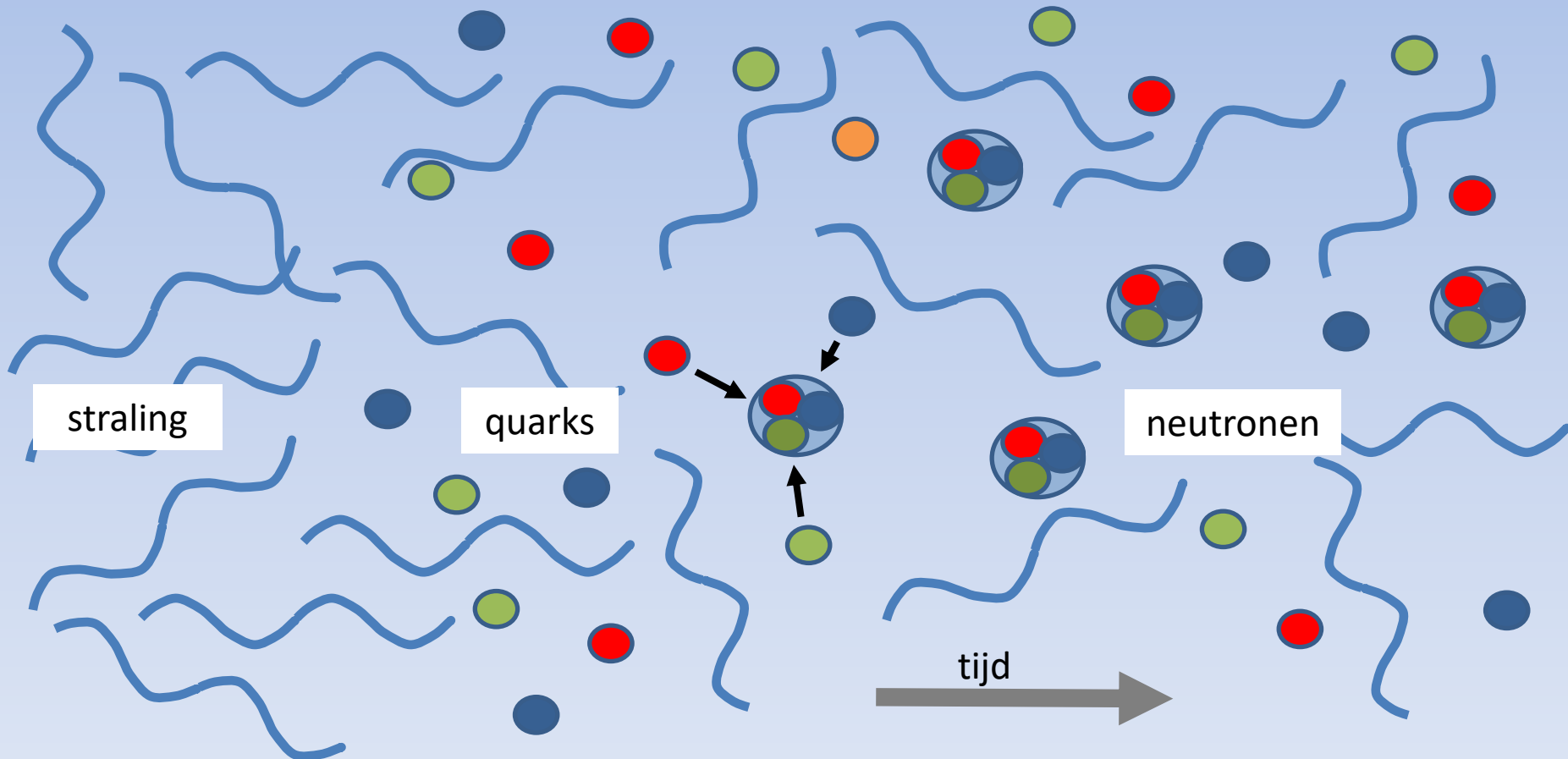
$10^{13} \rightarrow 10^{12}$ °C: 10 - 1 biljoen °C:

Inflatie afgelopen, **expansie** begint:

Deeltjes (en anti-deeltjes) worden gecreëerd en ge-annihileerd

De OERKNAL (BIG BANG) en daarna

10^{-7} sec	10^{13} °C	expansie begint	quarks+antiquarks (+ creatie/annihilatie)
10^{-6} sec	10^{12} °C	deeltjes	vrije neutronen (+anti-neutronen)



Achtergrond: deeltjes en anti-deeltjes:

Wat zijn **anti-deeltjes** (anti-materie) ?

Alle soorten deeltjes (protonen, neutronen, electronen) hebben elk een soort **anti-deeltjes**:

- Zelfde massa
- Tegengestelde lading (indien aanwezig)
- Tegengestelde quarks (indien aanwezig)
-

Het anti-deeltje van een **electron (-)** is een **positron (+)**

Electronen en positronen worden geproduceerd in **radioactief verval**

Voorbeelden:	Vervalt onder productie van:	Gebruik:
I-131 (jodium)	Electron	Schildkliertherapie
F-18 (fluor)	Positron	PET-scanner

Achtergrond: deeltjes en anti-deeltjes

Annihilatie en Creatie

Annihilatie :

Als een deeltje en een overeenkomstig antideeltje elkaar ontmoeten, **verdwijnen** beide, met **productie** van 2 fotonen straling.

Dat gebeurt volgens $E = mc^2$,

E = energie van de 2 gevormde fotonen

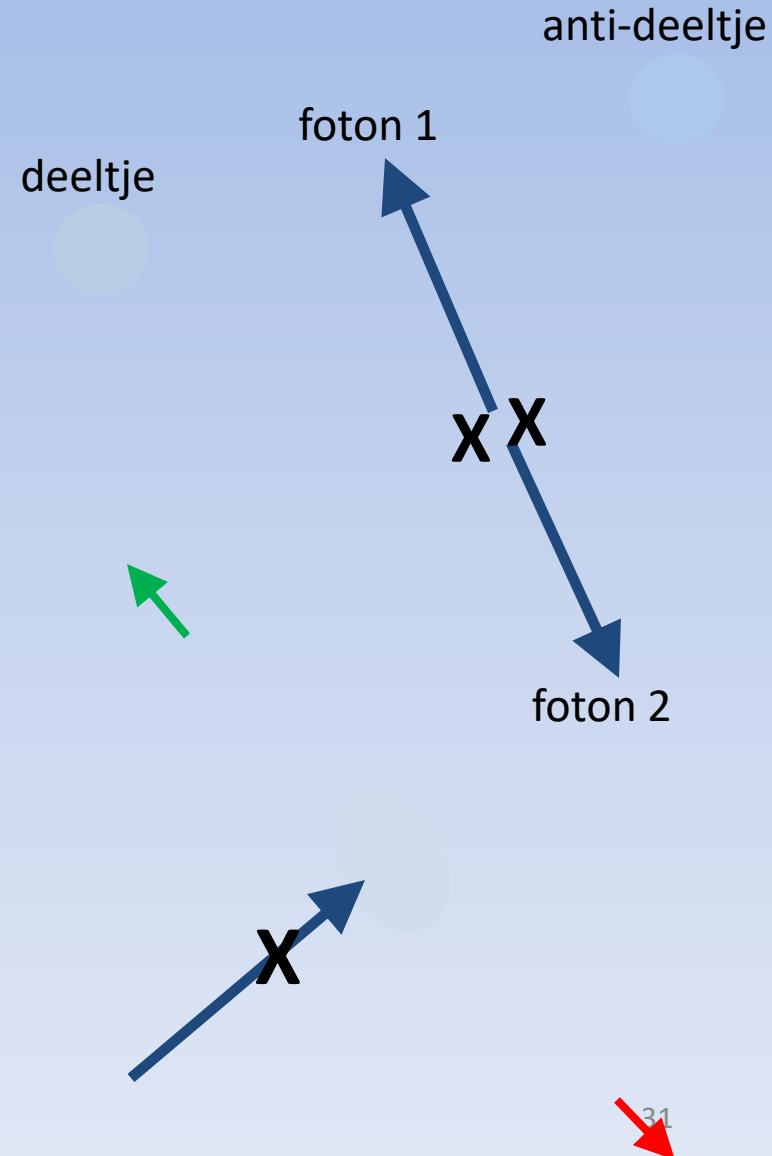
m = massa van de 2 deeltjes

c = lichtsnelheid (300 000 km/s)

Creatie:

Een foton kan (onder bepaalde omstandigheden) **verdwijnen**, waarbij de energie wordt gebruikt voor **productie** van een (deeltje + anti-deeltje)-paar.

Ook dit gaat met $E = mc^2$.



Achtergrond: deeltjes en anti-deeltjes

Annihilatie en Creatie

Annihilatie :

Als een deeltje en een overeenkomstig antideeltje elkaar ontmoeten, **verdwijnen** beide, met **productie** van 2 fotonen straling.

Dat gebeurt volgens $E = mc^2$,

E = energie van de 2 gevormde fotonen

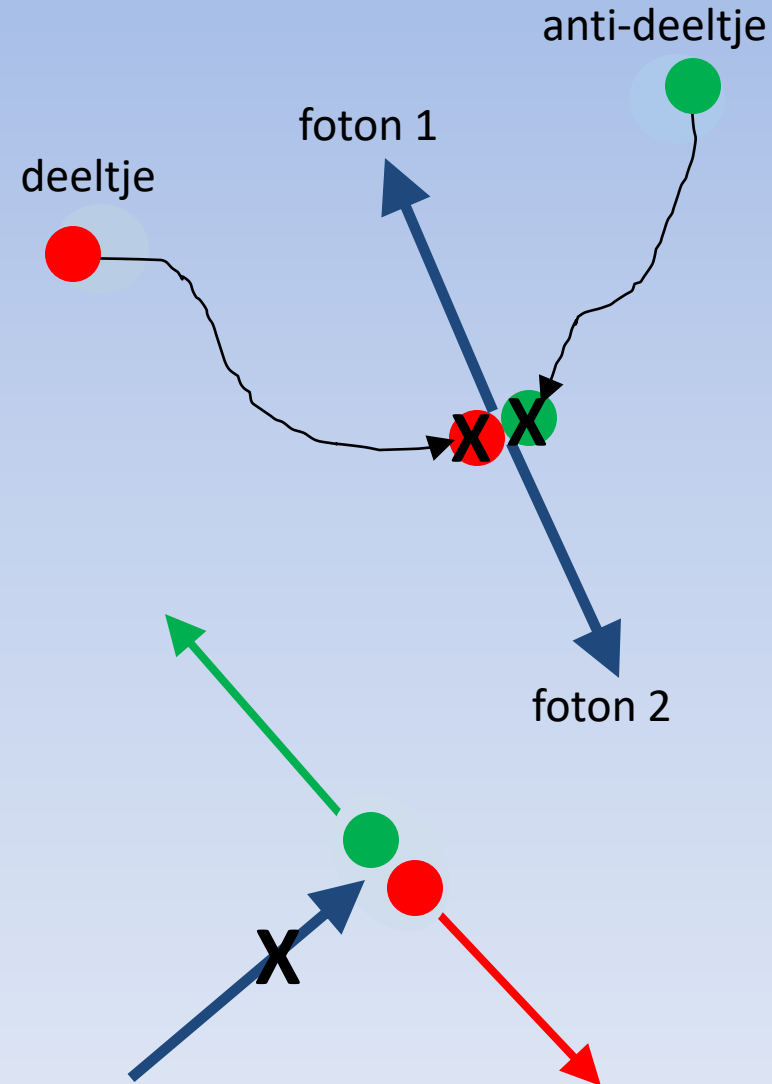
m = massa van de 2 deeltjes

c = lichtsnelheid (300 000 km/s)

Creatie:

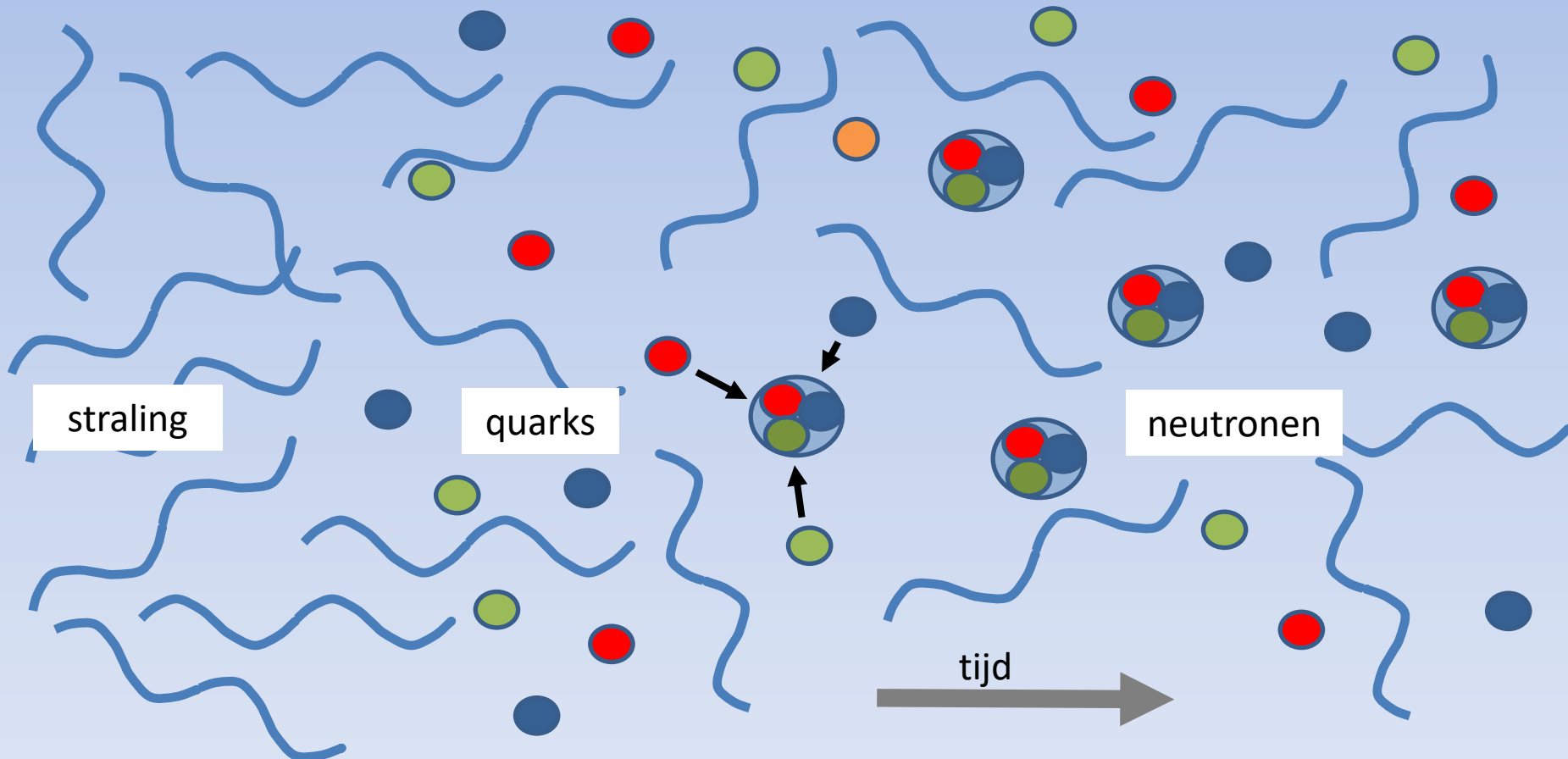
Een foton kan (onder bepaalde omstandigheden) **verdwijnen**, waarbij de energie wordt gebruikt voor **productie** van een (deeltje + anti-deeltje)-paar.

Ook dit gaat met $E = mc^2$.



De OERKNAL (BIG BANG) en daarna

10^{-7} sec	10^{13} °C	expansie begint	quarks+antiquarks (+ creatie/annihilatie)
10^{-6} sec	10^{12} °C	deeltjes	vrije neutronen (+anti-neutronen)



NB. Als de expansie-snelheid toen $1/10^{15}$ -e deel kleiner (groter) was geweest, dan was het heelal voortijdig weer ge-implodeerd (resp. ge-explodeerd).

De OERKNAL (BIG BANG) en daarna

tijd	temp (°C)	ontwikkeling	details
10^{-43} sec	10^{32}	Planck-tijd	zeer hoge <u>energie</u> , straling
$10^{-37} \rightarrow 10^{-12}$	$10^{28} \rightarrow 10^{16}$	inflatie	<u>straling</u> wordt gecreëerd
10^{-7} sec	10^{13}	expansie begint	<u>quarks</u> +antiquarks (+ creatie/annihilatie)
10^{-6} sec	10^{12}	neutronen	vrije <u>neutronen</u> (+anti-neutronen)

Volgende fase:

$10^{-5} \rightarrow 1$ sec:

10^{10} °C: 10 miljard °C:

annihilatie stopt: beetje **materie** blijft over;

neutron- verval: protonen+electronen (vrij);

heelal ondoorzichtig

De OERKNAL (BIG BANG) en daarna

$10^{-5} \rightarrow 1 \text{ sec}$	$10^{10} \text{ }^\circ\text{C} =$ 10 miljard $^\circ\text{C}$		annihilatie stopt: beetje materie blijft over; neutron verval: protonen+electronen (vrij); heelal ondoorzichtig
-------------------------------------	---	--	---

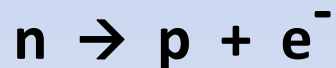
Quarks en Anti-quarks, Neutronen en Anti-neutronen gaan elkaar **annihileren**;
Uiteindelijk stopt deze annihilatie :

Van de oorspronkelijke hoeveelheden **materie** en **anti-materie** blijft een klein beetje **materie** over (1 op 10 miljard):

ongeveer 10^{80} deeltjes in het deel van het heelal dat wij kunnen "zien".

Neutron -verval

In proton + electron:



	massa	lading
n: neutron	1	0
p: proton	1	1
e: electron	$\ll 1$	-1

De OERKNAL (BIG BANG) en daarna

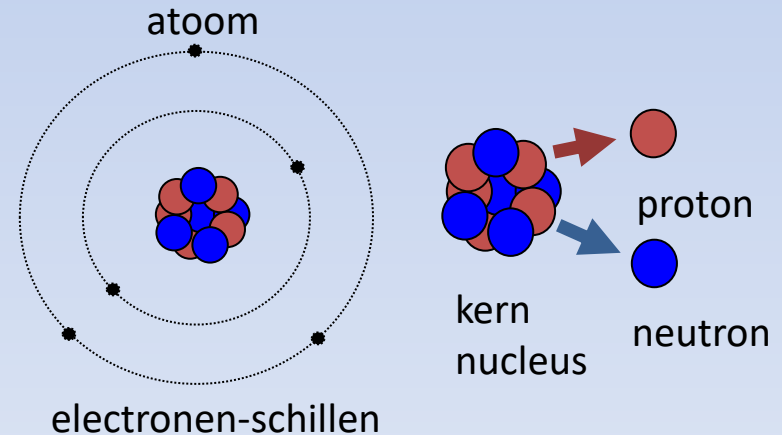
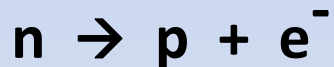
$10^{-5} \rightarrow 1 \text{ sec}$	$10^{10} \text{ }^\circ\text{C} =$ 10 miljard $^\circ\text{C}$		annihilatie stopt: beetje materie blijft over; neutron verval: protonen+electronen (vrij); heelal ondoorzichtig
-------------------------------------	---	--	---

Quarks en Anti-quarks, Neutronen en Anti-neutronen gaan elkaar **annihileren**;
Uiteindelijk stopt deze annihilatie :

Van de oorspronkelijke hoeveelheden **materie** en **anti-materie** blijft een klein beetje **materie** over (1 op 10 miljard):
ongeveer 10^{80} deeltjes in het deel van het heelal dat wij kunnen "zien".

Neutron -verval

In proton + electron:



De OERKNAL (BIG BANG) en daarna

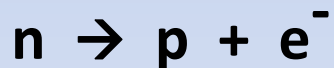
$10^{-5} \rightarrow 1 \text{ sec}$	$10^{10} \text{ }^\circ\text{C} =$ 10 miljard $^\circ\text{C}$		annihilatie stopt: beetje materie blijft over; neutron verval: protonen+electronen (vrij); heelal ondoorzichtig
-------------------------------------	---	--	---

Quarks en Anti-quarks, Neutronen en Anti-neutronen gaan elkaar **annihileren**;
Uiteindelijk stopt deze annihilatie :

Van de oorspronkelijke hoeveelheden **materie** en **anti-materie** blijft een klein beetje **materie** over (1 op 10 miljard):
ongeveer 10^{80} deeltjes in het deel van het heelal dat wij kunnen “zien”.

Neutron -verval

In proton + electron:



Alle deeltjes bewegen **vrij** (niet gebonden)

Vrije electronen verstrooien straling \rightarrow
heelal **ondoorzichtig**
(“dark ages of the universe”)

	massa	lading
n: neutron	1	0
p: proton	1	1
e: electron	$\ll 1$	-1

Totale lading blijft = 0
Totale massa blijft gelijk.

De OERKNAL (BIG BANG) en daarna

tijd	temp (°C)	ontwikkeling	details
10^{-43} sec	10^{32}	Planck-tijd	zeer hoge <u>energie</u> , straling
$10^{-37} \rightarrow 10^{-12}$	$10^{28} \rightarrow 10^{16}$	Inflatie	<u>straling</u> wordt gecreëerd
10^{-7} sec	10^{13}	expansie begint	<u>quarks</u> +antiquarks (+ creatie/annihilatie)
10^{-6} sec	10^{12}	neutronen	vrije <u>neutronen</u> (+anti-neutronen)
$10^{-5} \rightarrow 1$ sec	10^{10} (10 miljard)	kerndeeltjes	annihilatie stopt: beetje materie blijft over; neutron- verval: <u>protonen+electronen</u> (vrij); heelal ondoorzichtig

Volgende fase:

≈ 100 sec:

≈ 10^9 °C (1 miljard °C)

nucleosynthesis: vorming van de eerste atoomkernen

De OERKNAL (BIG BANG) en daarna

100 sec	1 miljard °C	nucleosynthesis	nuclei: waterstof (H: 77%), helium (He: 23%)
---------	--------------	-----------------	--

Qua deeltjes zijn er nu:
protonen, neutronen en electronen (alle vrij)

	massa	lading
n neutron	1	0
p proton	1	1
e electron	$\ll 1$	-1

Nu begint: **Nucleosynthesis:**
vorming van de eerste kernen

bouwstenen	symbool	naam
p	H-1	waterstof
p+n	H-2 (D)	zwaar waterstof (deuterium)
(p+n)+p	He-3	helium (licht)
(p+n)+(p+n)	He-4	helium (normaal)

Alleen **kernen** worden gevormd; nog te heet om **atomen** te vormen (1 miljard °C)

Nuclei: waterstof (H: 77%), helium (He: 23%)

De OERKNAL (BIG BANG) en daarna

tijd	temp (°C)	ontwikkeling	details
10^{-43} sec	10^{32}	Planck-tijd	zeer hoge <u>energie</u> , straling
$10^{-37} \rightarrow 10^{-12}$	$10^{28} \rightarrow 10^{16}$	inflatie	<u>straling</u> wordt gecreëerd
10^{-7} sec	10^{13}	expansie begint	<u>quarks</u> +antiquarks (+ creatie/annihilatie)
10^{-6} sec	10^{12}	neutronen	vrije <u>neutronen</u> (+anti-neutronen)
$10^{-5} \rightarrow 1$ sec	$10^{10} =$ 10 miljard	kerndeeltjes	annihilatie stopt: beetje materie blijft over; neutron- verval: <u>protonen+electronen</u> (vrij); heelal ondoorzichtig
100 sec	$10^9 = 1$ miljard	nucleosynthesis	<u>nuclei</u> : waterstof (H: 77%), helium (He: 23%)
Volgende fase:			

≈ 100 000 jaar : **atoom- en stervorming**

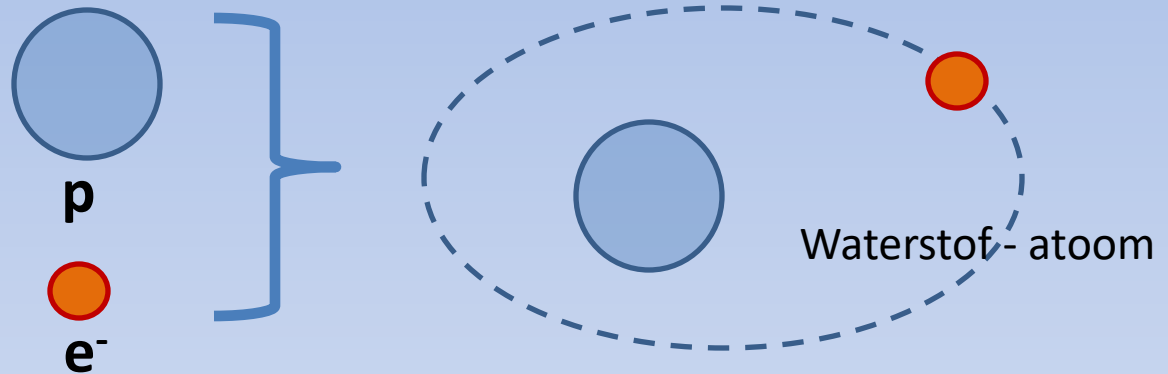
≈ 1000 °C

Heelal wordt doorzichtig

De OERKNAL (BIG BANG) en daarna

10 ⁵ jaar (100 000 jr)	1000 K (≈ 700 °C)	atoom- en stervorming	H- en He-atomen → heelal doorzichtig → wolken → contractie → temp ↑ → kernfusie → eerste sterren
--------------------------------------	----------------------	--------------------------	--

Nu worden
electronen gebonden
aan kernen: →
atomen



Een gebonden electron kan geen licht meer verstrooien (wel absorberen!) →

Heelal wordt **doorzichtig**

Zwaartekracht doet atomen samentrekken tot **wolken** →

Verdere contractie doet **temperatuur** enorm stijgen →

Door **kernfusie** ontbranden de eerste **sterren**

De OERKNAL (BIG BANG) en daarna

tijd	temp (°C)	ontwikkeling	details
10^{-43} sec	10^{32}	Planck-tijd	zeer hoge <u>energie</u> , straling
$10^{-37} \rightarrow 10^{-12}$	$10^{28} \rightarrow 10^{16}$	inflatie	<u>straling</u> wordt gecreëerd
10^{-7} sec	10^{13}	expansie begint	<u>quarks</u> +antiquarks (+ creatie/annihilatie)
10^{-6} sec	10^{12}	neutronen	vrije <u>neutronen</u> (+anti-neutronen)
$10^{-5} \rightarrow 1$ sec	$10^{10} =$ 10 miljard	kerndeeltjes	annihilatie stopt: beetje materie blijft over; neutron-verval: <u>protonen+electronen</u> (vrij); heelal ondoorzichtig
100 sec	$10^9 = 1$ miljard	nucleosynthesis	<u>nuclei</u> : waterstof (H: 77%), helium (He: 23%)
10^5 jaar = 100 000 jaar	1000	van atomen tot sterren	H- en He- <u>atomen</u> \rightarrow heelal doorzichtig \rightarrow wolken \rightarrow contractie \rightarrow temp \uparrow \rightarrow kernfusie \rightarrow eerste <u>sterren</u>

Volgende fase:

\approx 100 miljoen jaar: $\approx -170^\circ\text{C} = 100\text{ K} :$

vorming van **sterrenstelsels** en zwarte gaten

De OERKNAL (BIG BANG) en daarna

100 miljoen jr

100 K \approx -170 °C

sterrenstelsels

zwarte gaten + melkwegen eromheen

Vanaf \approx 100 miljoen jaar:

Door de **zwaartekracht** trekken sterren naar elkaar toe:

Sterrenstelsels ontstaan (meestal met een spiraalvorm)

Er zijn **> 200 miljard** (2×10^{11}) sterrenstelsels, met elk gemiddeld **> 200 miljard** sterren.

Er zijn dus meer dan **4×10^{22}** sterren (40 000 000 000 000 000 000 000)

Voorbeeld:

Andromeda

onze zuster-melkweg:

FdM



De OERKNAL (BIG BANG) en daarna

100 miljoen jr	100 K \approx -170 °C	sterrenstelsels	zwarte gaten + melkwegen eromheen
----------------	-------------------------	-----------------	-----------------------------------

Detailopnamen door
Hubble telescoop:

1. Aan de rand

2. Op weg naar de kern

3. In de kern



Andromeda

De OERKNAL (BIG BANG) en daarna

100 miljoen jr

100 K \approx -170 °C

sterrenstelsels

zwarte gaten + melkwegen eromheen

Andromeda: aan de rand van de spiraal

De OERKNAL (BIG BANG) en daarna

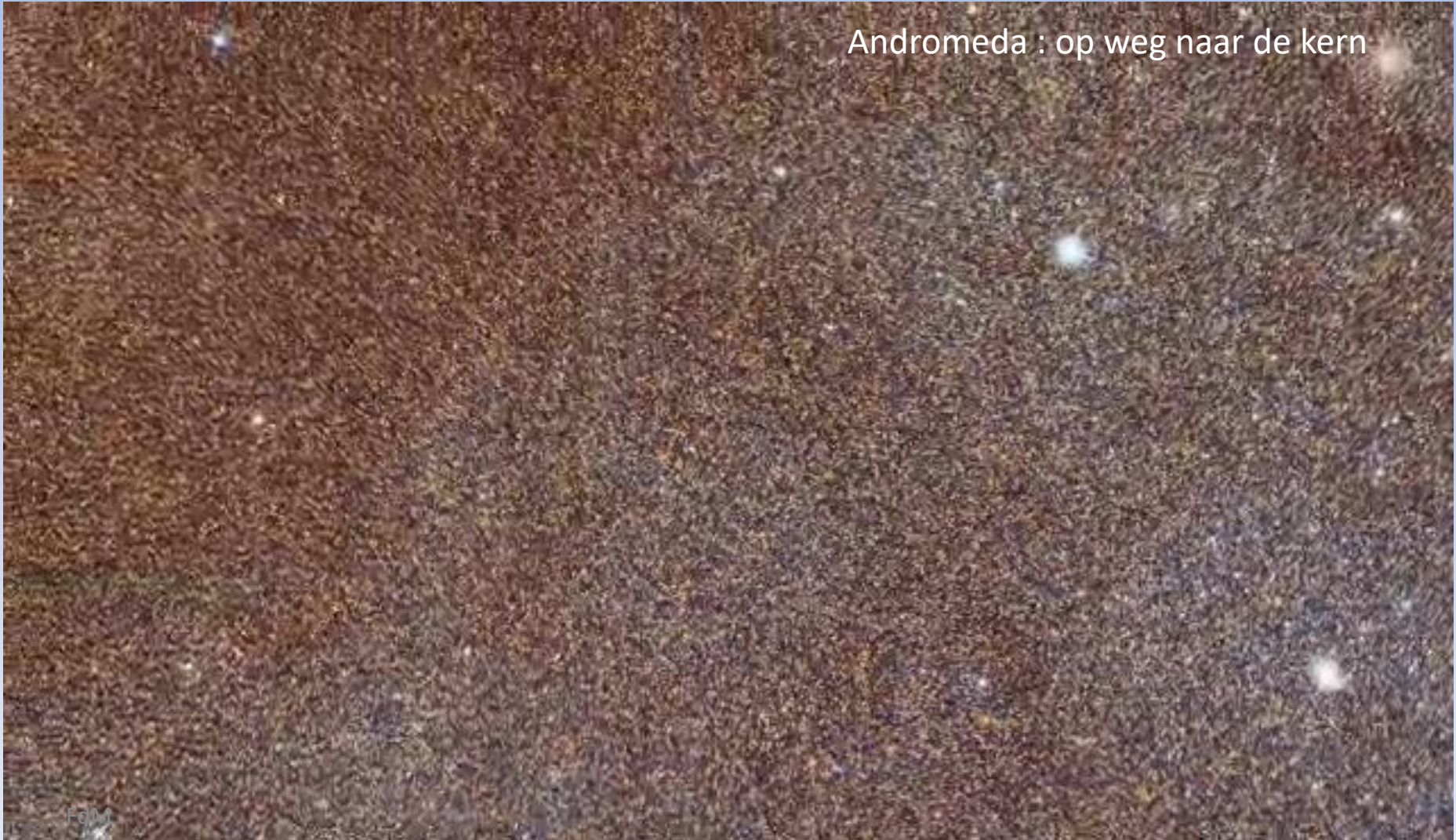
100 miljoen jr

100 K \approx -170 °C

sterrenstelsels

zwarte gaten + melkwegen eromheen

Andromeda : op weg naar de kern



De OERKNAL (BIG BANG) en daarna

100 miljoen jr	100 K \approx -170 °C	sterrenstelsels	zwarte gaten + melkwegen eromheen
----------------	-------------------------	-----------------	-----------------------------------

Andromeda : in de kern

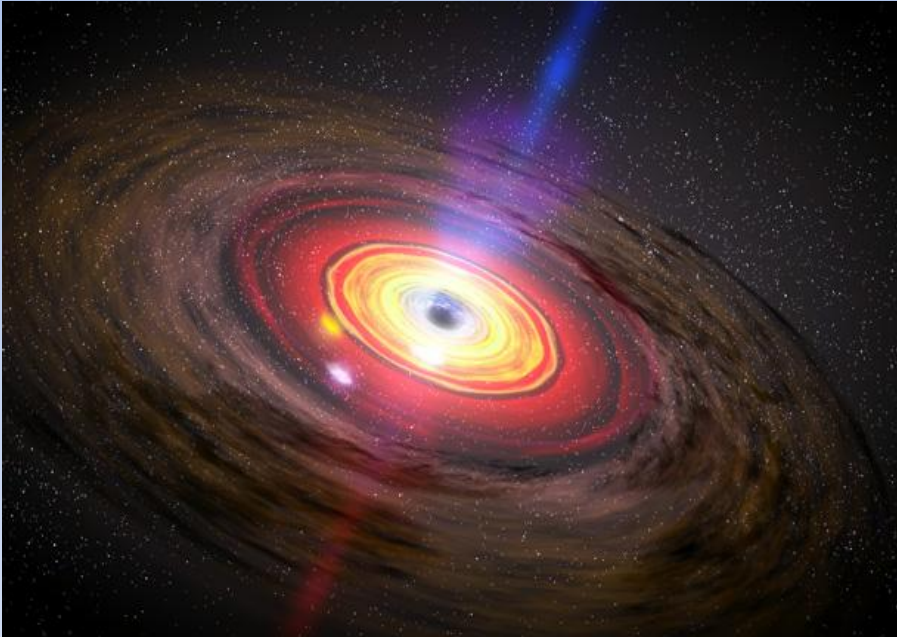
De OERKNAL (BIG BANG) en daarna

100 miljoen jr

100 K \approx -170 °C

sterrenstelsels

zwarte gaten + melkwegen eromheen



Zwart gat:

Extreem grote massa.

Ruimte zo sterk gekromd dat lichtstralen “op de wand van de kuil” blijven rondlopen, en er niet meer uitkomen.

Als zwart gat **roteert**:

wekt het een **magnetisch veld** op.

Daardoor worden stromen **geladen deeltjes** (van binnenvallende massa's) en **energie (Röntgen+gammastraling)** langs de as uitgestoten.

(blauw: naar “ons” toe; rood: van “ons” af).

De OERKNAL (BIG BANG) en daarna

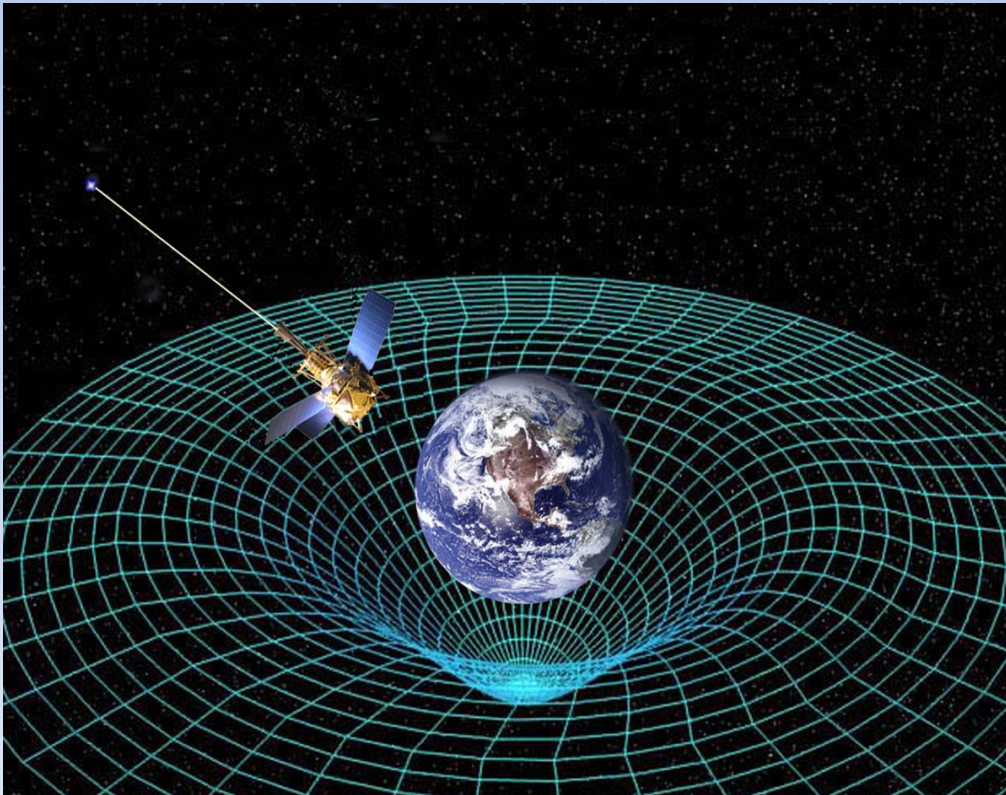
100 miljoen jr

100 K \approx -170 °C

sterrenstelsels

zwarte gaten + melkwegen eromheen

Hoe kan het dat zelfs **licht** niet uit een **zwart gat** kan ontsnappen?
(Lichtdeeltjes (**fotonen**) hebben geen massa en voelen toch geen zwaartekracht?)



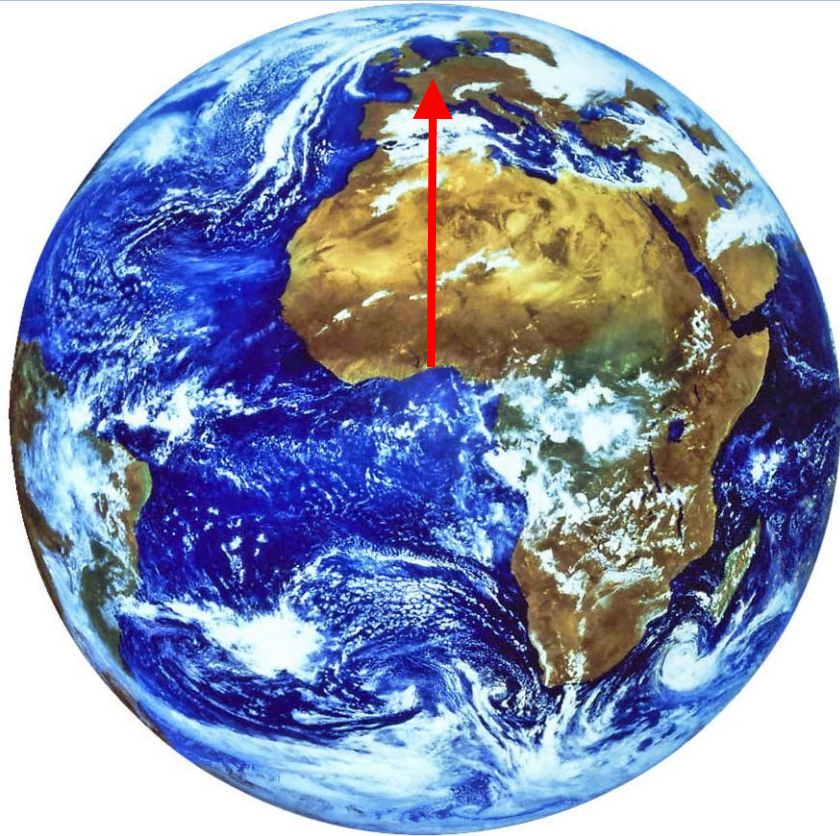
Algemene relativiteitstheorie:
“massa” => ruimtekromming.

Licht legt kortste weg af
in 4-dimensionale ruimte.

Vergelijk:
Vliegtuig vliegt kortste weg
over aardoppervlak

De OERKNAL (BIG BANG) en daarna

100 miljoen jr | 100 K \approx -170 °C | sterrenstelsels | zwarte gaten + melkwegen eromheen



Algemene relativiteitstheorie:
“massa” => ruimtekromming.

Licht legt kortste weg af
in 4-dim. ruimte.

Vergelijk:
Vliegtuig vliegt kortste weg
over aardoppervlak

Boven de bol is dat
een rechte lijn

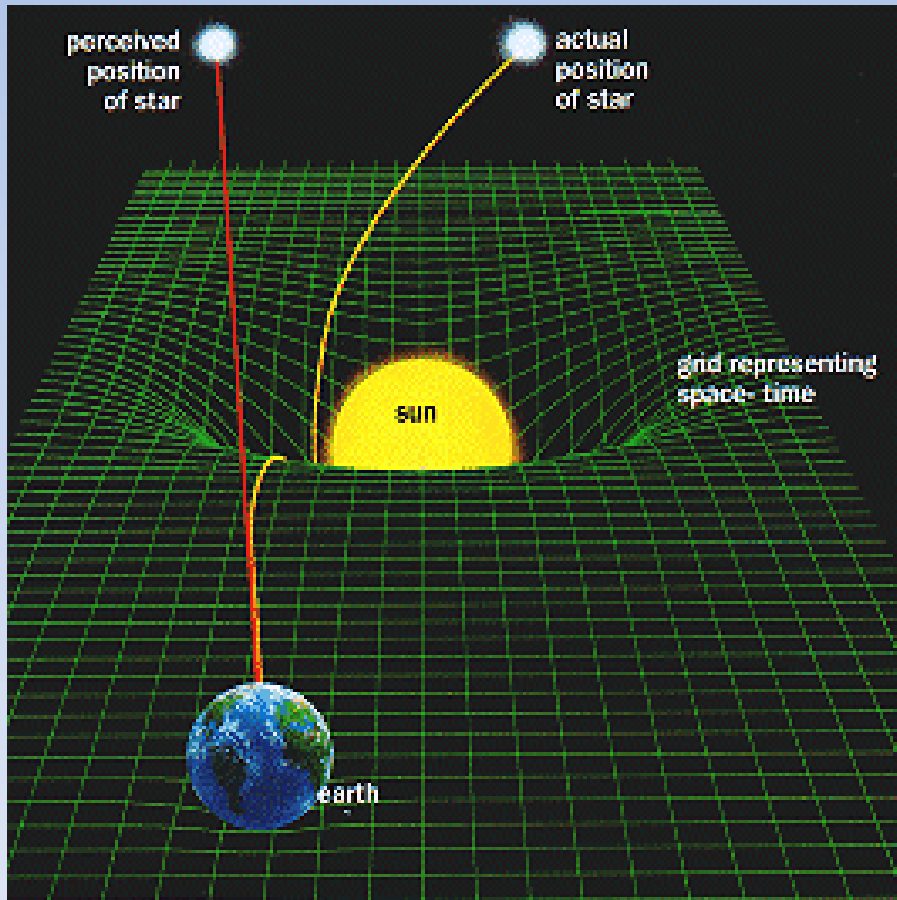
Maar in werkelijkheid
is de lijn gekromd.

De OERKNAL (BIG BANG) en daarna

100 miljoen jr	100 K \approx -170 °C	sterrenstelsels	zwarte gaten + melkwegen eromheen
----------------	-------------------------	-----------------	-----------------------------------

Waargenomen
positie

Werkelijke
positie



Algemene relativiteitstheorie:
“massa” => ruimtekromming.

Licht legt kortste weg af
in 4-dimensionale ruimte.

Vergelijk:
Vliegtuig vliegt kortste weg
over aardoppervlak

Boven de bol is dat
een rechte lijn

Maar in werkelijkheid
is de lijn gekromd.

De OERKNAL (BIG BANG) en daarna

100 miljoen jr

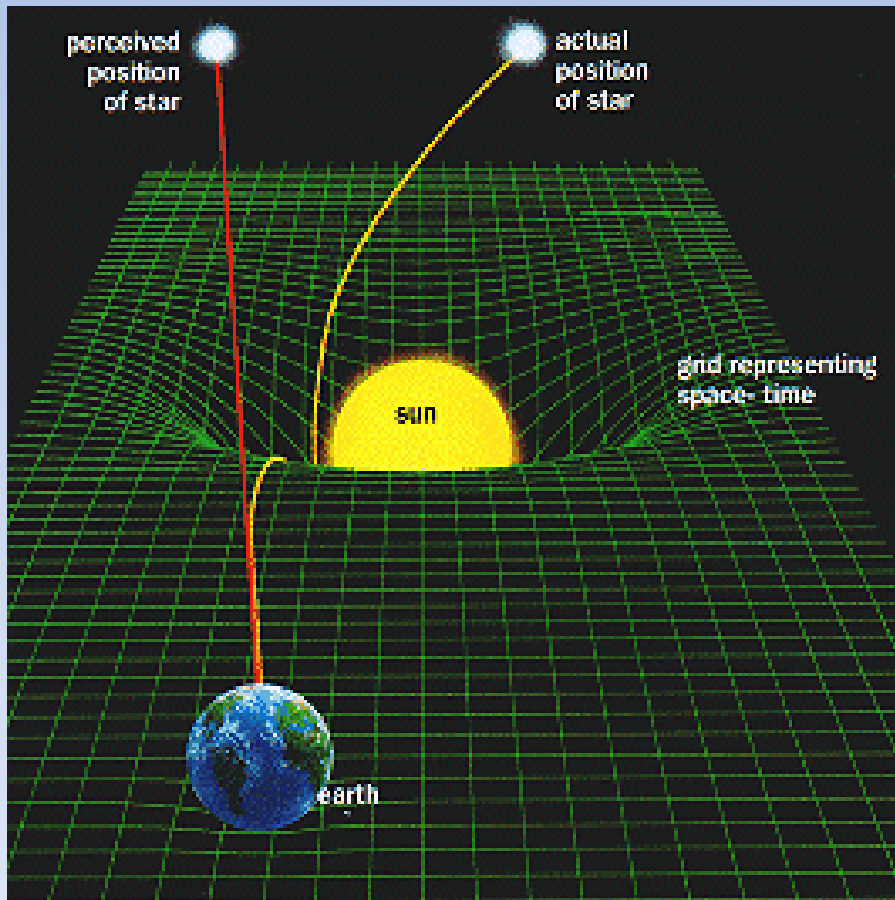
100 K \approx -170 °C

sterrenstelsels

zwarte gaten + melkwegen eromheen

Waargenomen
positie

Werkelijke
positie



Algemene relativiteitstheorie:
“massa” => ruimtekromming.

Licht legt kortste weg af
in 4-dimensionale ruimte.

Bij een **zwart gat**
is de “put” zo **diep** en **steil...**

...dat zelfs **lichtstralen**
er niet meer uitkunnen
en rond het zwarte gat
blijven ronddraaien.

De OERKNAL (BIG BANG) en daarna

tijd	temp (°C)	ontwikkeling	details
10^{-43} sec	10^{32}	Planck-tijd	zeer hoge <u>energie</u> , straling
$10^{-37} \rightarrow 10^{-12}$	$10^{28} \rightarrow 10^{16}$	inflatie	<u>straling</u> wordt gecreëerd
10^{-7} sec	10^{13}	expansie begint	<u>quarks</u> +antiquarks (+ creatie/annihilatie)
10^{-6} sec	10^{12}	neutronen	vrije <u>neutronen</u> (+anti-neutronen)
$10^{-5} \rightarrow 1$ sec	$10^{10} =$ 10 miljard	kerndeeltjes	annihilatie stopt: beetje materie blijft over; neutron- verval: <u>protonen+electronen</u> (vrij); heelal ondoorzichtig
100 sec	$10^9 = 1$ miljard	nucleosynthesis	<u>nuclei</u> : waterstof (H: 77%), helium (He: 23%)
10^5 jaar (100 000 jr)	1000	van atomen tot sterren	H- en He- <u>atomen</u> \rightarrow heelal doorzichtig \rightarrow wolken \rightarrow contractie \rightarrow temp \uparrow \rightarrow kernfusie \rightarrow eerste <u>sterren</u>
100 miljoen jr	-170	sterrenstelsels	zwarte gaten + <u>melkwegen</u> eromheen
Volgende fase:			

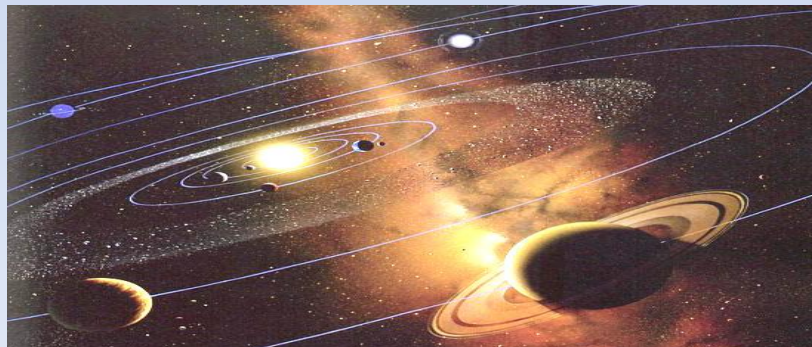
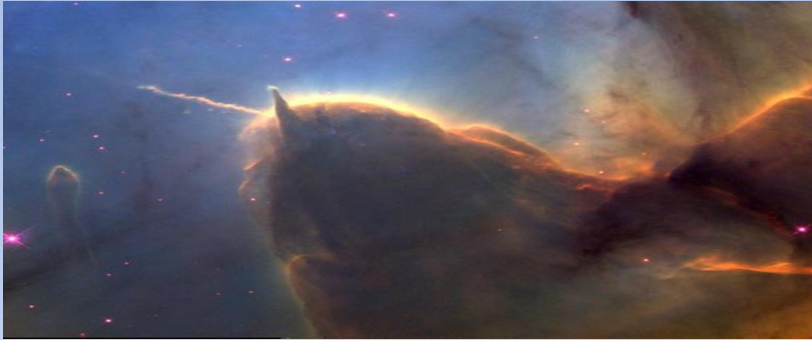
> 1 miljard jaar: vorming van **zonnestelsels**

De OERKNAL (BIG BANG) en daarna

1 miljard jr

100 K \approx -170 °C

zonnestelsel(s?)



Ontstaan van **Zonnestelsels**

Vanaf \approx 1000 miljoen jaar = 1 miljard jaar:

1. Stofwolk van eerdere sterexplosies (“**moleculaire wolk**” met daarin eerder geproduceerde elementen. (H, He, Fe, N, O, C.....))
2. De stofwolk begint samen te trekken (door de **zwaartekracht**).
3. Daarbij ontstaan **wervelingen**.
4. De wervelingen worden: een **zon, en planeten en asteroïden**.

De OERKNAL (BIG BANG) en daarna

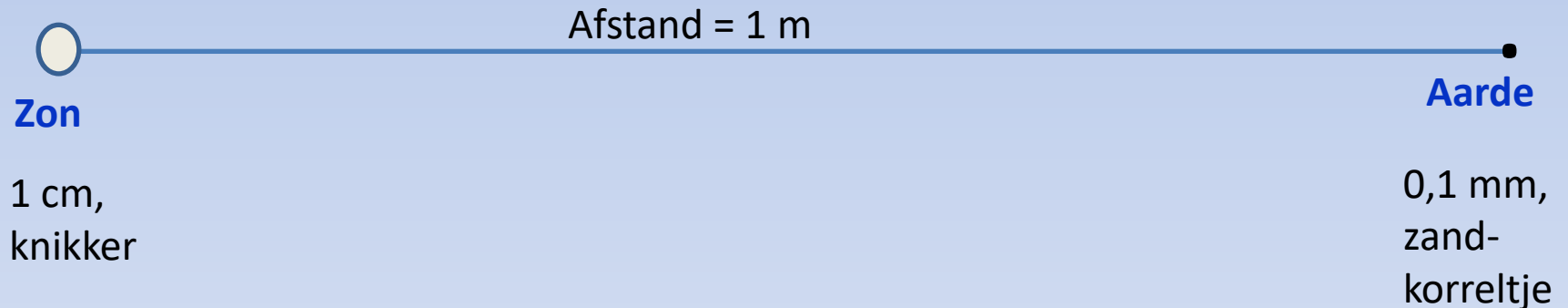
1 miljard jr

100 K \approx -170 °C

zonnestelsel(s?)

Ons Zonnestelsel

Stel: we verkleinen het zonnestelsel totdat de afstand Zon – Aarde = 1 meter



Op deze schaal staat de dichtstbijzijnde “knikker” (ster: Proxima Centauri) op ongeveer **300 km** afstand (bv. Enschede – Middelburg)

Op een paar andere zandkorrels na is alles **leeg** (even over nadenken!)

De OERKNAL (BIG BANG) en daarna

tijd	temp (°C)	ontwikkeling	details
10^{-43} sec	10^{32}	Planck-tijd	zeer hoge <u>energie</u> , straling
$10^{-37} \rightarrow 10^{-12}$ s	$10^{28} \rightarrow 10^{16}$	inflatie	<u>straling</u> wordt gecreëerd
10^{-7} sec	10^{13}	expansie begint	<u>quarks</u> +antiquarks (+ creatie/annihilatie)
10^{-6} sec	10^{12}	neutronen	vrije <u>neutronen</u> (+anti-neutronen)
$10^{-5} \rightarrow 1$ sec	$10^{10} =$ 10 miljard	kerndeeltjes	annihilatie stopt: beetje materie blijft over; neutron- verval: <u>protonen+electronen</u> (vrij); heelal ondoorzichtig
100 sec	$10^9 = 1$ miljard	nucleosynthesis	<u>nuclei</u> : waterstof (H: 77%), helium (He: 23%)
10^5 jaar (100 000 jr)	1000	van atomen tot sterren	H- en He- <u>atomen</u> \rightarrow heelal doorzichtig \rightarrow wolken \rightarrow contractie \rightarrow temp \uparrow \rightarrow kernfusie \rightarrow eerste <u>sterren</u>
100 miljoen jr	-170	sterrenstelsels	zwarte gaten + <u>melkwegen</u> eromheen
1 miljard jr	-170		<u>zonnestelsels</u>

Volgende fase:

\approx 14 miljard jaar: **vandaag:** achtergrondstraling : $3 \text{ K} = -270 \text{ }^\circ\text{C}$

De OERKNAL (BIG BANG) en daarna Oorsprong en ontwikkeling van het heelal

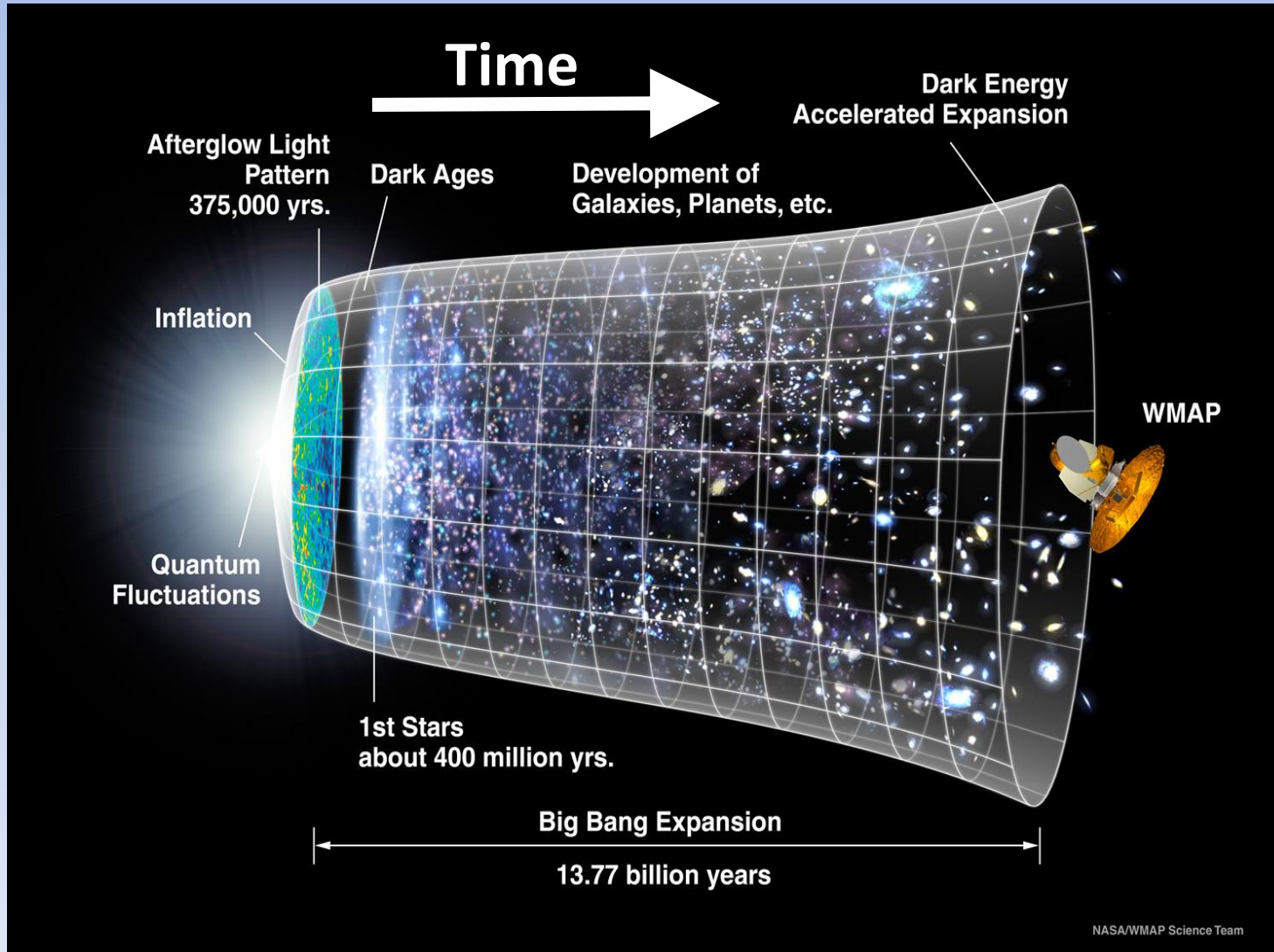
Inhoud:

1. Geschiedenis en overzicht
2. Fysische achtergronden
3. Oerknal: ontwikkeling en details

→ 4. Nu

De OERKNAL (BIG BANG) en daarna

10 miljard jr	2,7 K \approx -270 °C	vandaag	achtergrondstraling in millimeter-gebied.
---------------	-------------------------	---------	---



Nu:

14 miljard jaar

Expansie:

< 7 miljard jaar:
vertraagd

> 7 miljard jaar :
versneld

De OERKNAL (BIG BANG) en daarna

Van “ons” uit gezien lijkt het alsof alle sterrenstelsels van ons af bewegen.
Bevinden wij ons dus in het **middelpunt van het heelal**?

Stel je een cake voor met krenten die aan het rijzen is.

Vanuit **elke krent** gezien lijken alle andere krenten zich te verwijderen.

NB. De krenten zelf worden **niet** groter, maar de cake wel, hij wordt “luchtiger”.
Alleen de **ruimte-afmetingen** worden groter.

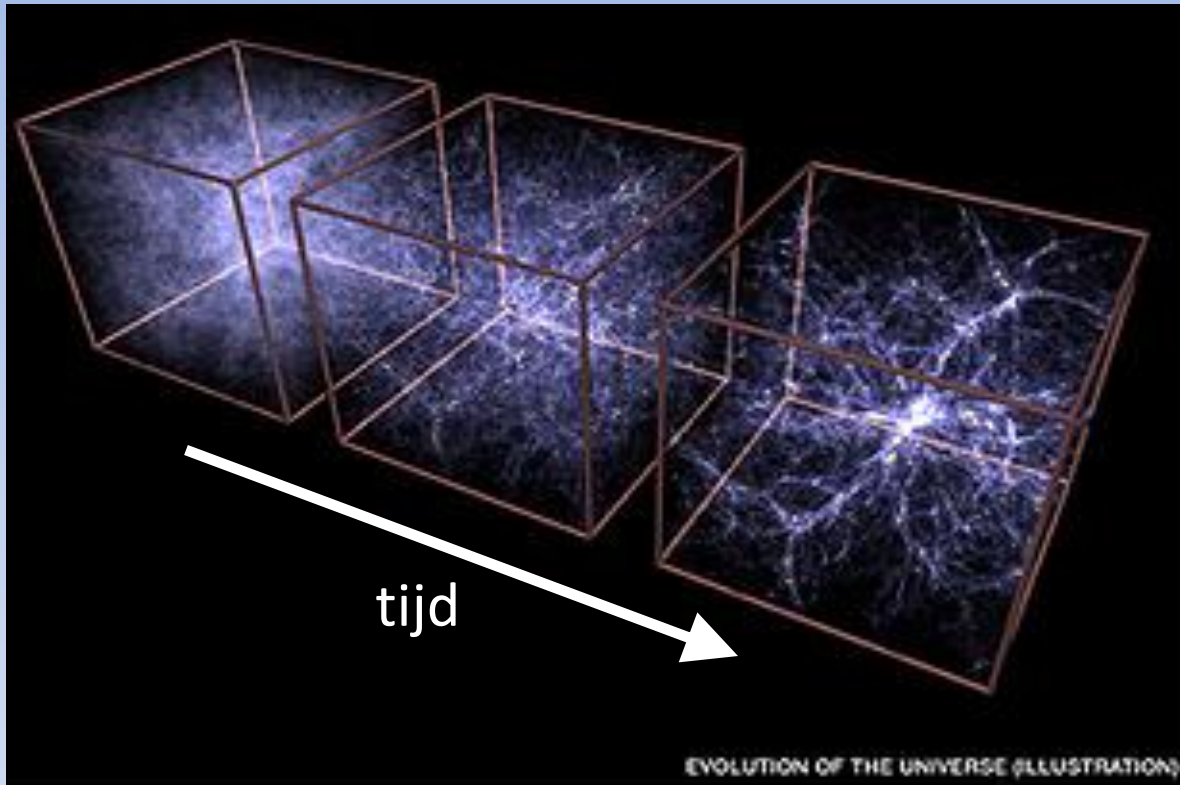


Zo ook met de heelal-inflatie en expansie:

De **ruimte zelf** wordt groter, niet de deeltjes etc. t/m sterrenstelsels die erin zitten !!

Het antwoord is dus: **Nee, wij zijn niet het middelpunt van het heelal!**

De OERKNAL (BIG BANG) en daarna



Structuur op
zeer grote schaal:

“Cosmic web”

Elk wit puntje is
een sterrenstelsel !

De sterrenstelsels vormen “slierten”,

met daar tussenin: “**dark matter**”, donkere materie en energie,

met (vooralsnog?) volkomen onbekende eigenschappen.

De OERKNAL (BIG BANG) en daarna



Structuur op
zeer grote schaal:

“Cosmic web”

Elk wit puntje is
een sterrenstelsel !

De sterrenstelsels vormen “slierten”,

met daar tussenin: **“dark matter”**, donkere materie en energie,

met (vooralsnog?) volkomen onbekende eigenschappen.

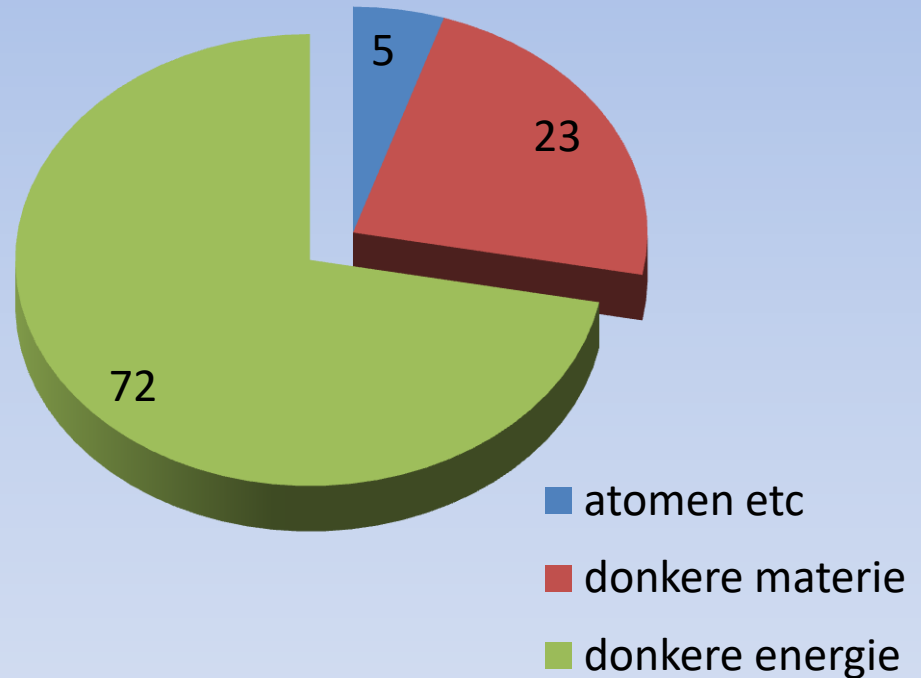
De OERKNAL (BIG BANG) en daarna

Structuur op
zeer grote schaal:

“Cosmic web”,
slierten sterrenstelsels
met “donkere
materie+energie”.

“Donkere materie+energie”
is nodig om
alle **zwaartekrachts-effecten**
te verklaren,...

...bv. waarom spiraalstelsels
kunnen ontstaan.



Huidige verdeling

De OERKNAL (BIG BANG) en daarna

Structuur op
zeer grote schaal:

“Cosmic web”,
slierten sterrenstelsels
met “donkere
materie+energie”.

Voorbeeld:

Onze **Melkweg**

maakt deel uit van het

“Virgo-cluster”,

en dat maakt weer deel uit van het

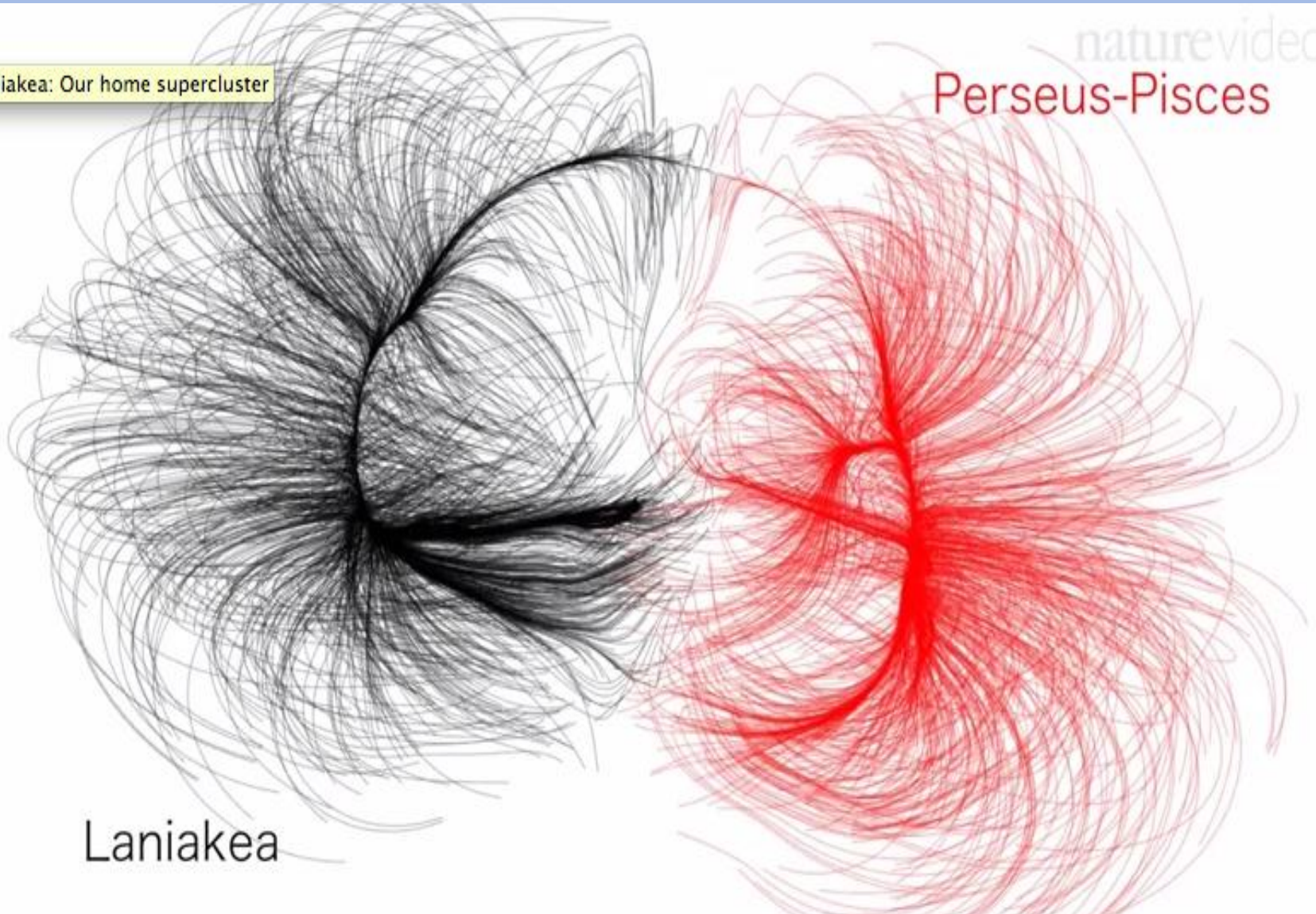
“Laniakea-supercluster”.

De OERKNAL (BIG BANG) en daarna

Laniakea: Our home supercluster

naturevideo

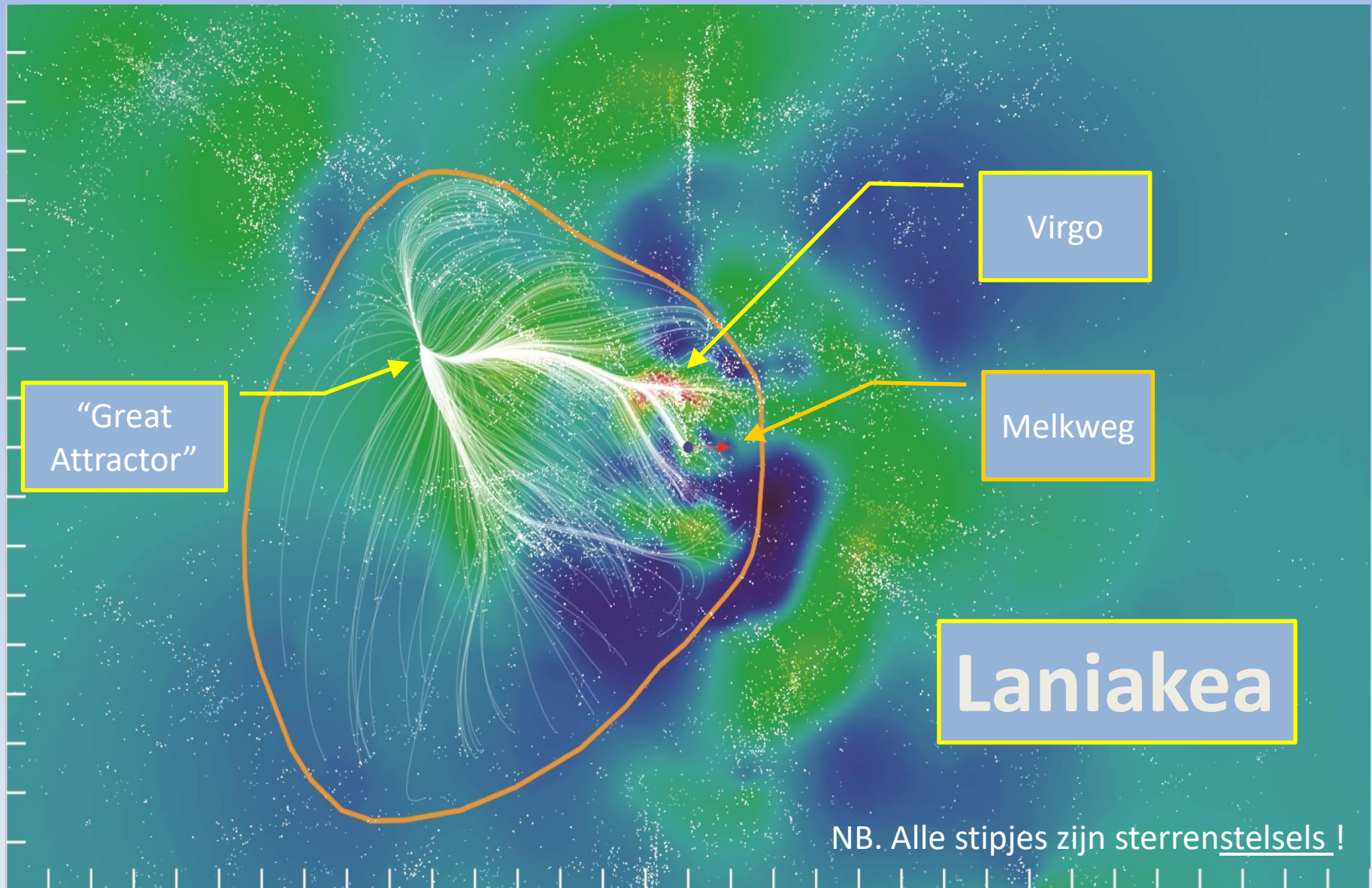
Perseus-Pisces



Laniakea

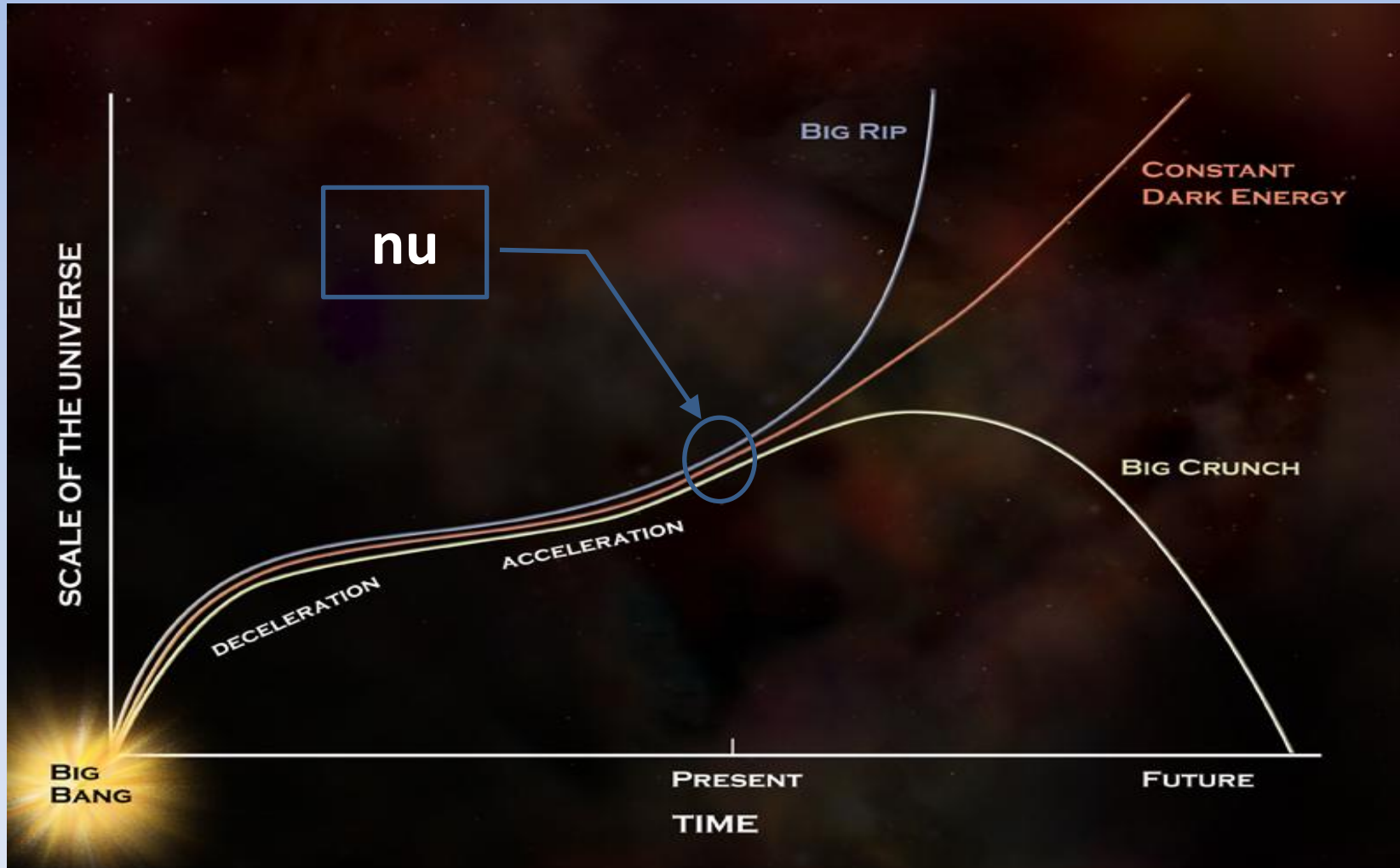
NB. Alle stipjes zijn sterrenstelsels !

De OERKNAL (BIG BANG) en daarna



De OERKNAL (BIG BANG) en daarna

De toekomst:



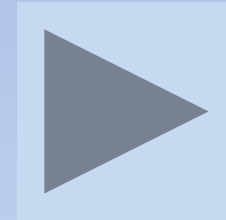
De OERKNAL (BIG BANG) en daarna

tijd	temp (°C)	ontwikkeling	details
10^{-43} sec	10^{32}	Planck-tijd	zeer hoge <u>energie</u> , straling
$10^{-37} \rightarrow 10^{-12}$ s	$10^{28} \rightarrow 10^{16}$	inflatie	<u>straling</u> wordt gecreëerd
10^{-7} sec	10^{13}	expansie begint	<u>quarks</u> + antiquarks (+ creatie/annihilatie)
10^{-6} sec	10^{12}	neutronen	vrije <u>neutronen</u> (+ anti-neutronen)
$10^{-5} \rightarrow 1$ sec	$10^{10} =$ 10 miljard	kerndeeltjes	annihilatie stopt: materie blijft \approx over; neutron- verval: <u>protonen+electronen</u> (vrij); heelal ondoorzichtig
100 sec	$10^9 = 1$ miljard	nucleosynthesis	<u>nuclei</u> : waterstof (H: 77%), helium (He: 23%)
10^5 jaar (100 000 jr)	1000	van atomen tot sterren	H- en He- <u>atomen</u> \rightarrow heelal doorzichtig \rightarrow wolken \rightarrow contractie \rightarrow temp \uparrow \rightarrow kernfusie \rightarrow eerste <u>sterren</u>
100 miljoen jr	-170	sterrenstelsels	zwarte gaten + <u>melkwegen</u> eromheen
1 miljard jr	-170		<u>zonnestelsels</u>
10 miljard jr	-270 °C = 3 K	vandaag	<u>achtergrondstraling</u> in millimeter-gebied.

De OERKNAL (BIG BANG) en daarna Oorsprong en ontwikkeling van het heelal

De OERKNAL (BIG BANG) en daarna Oorsprong en ontwikkeling van het heelal

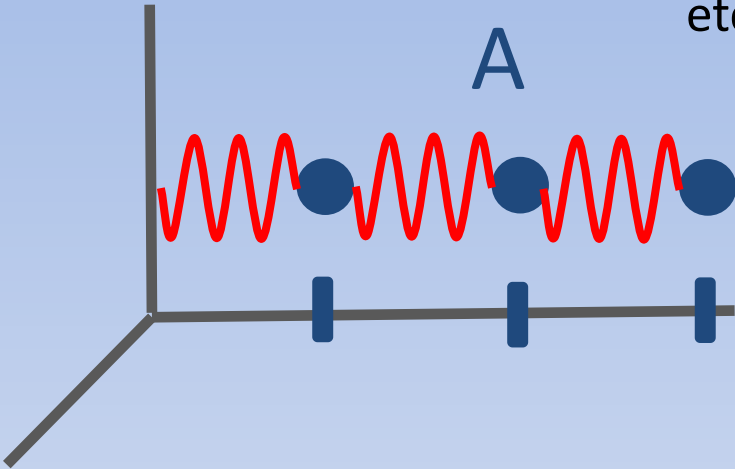
Samenvatting:



Dank u.

Het HEELAL

De **ruimte zelf** wordt groter, niet de deeltjes etc. t/m sterrenstelsels die erin zitten !!



A. oorspronkelijke toestand

B. uitdijing, maar met
gelijkblijvende dimensies

C. uitdijing veroorzaakt door
uittrekkende dimensies

