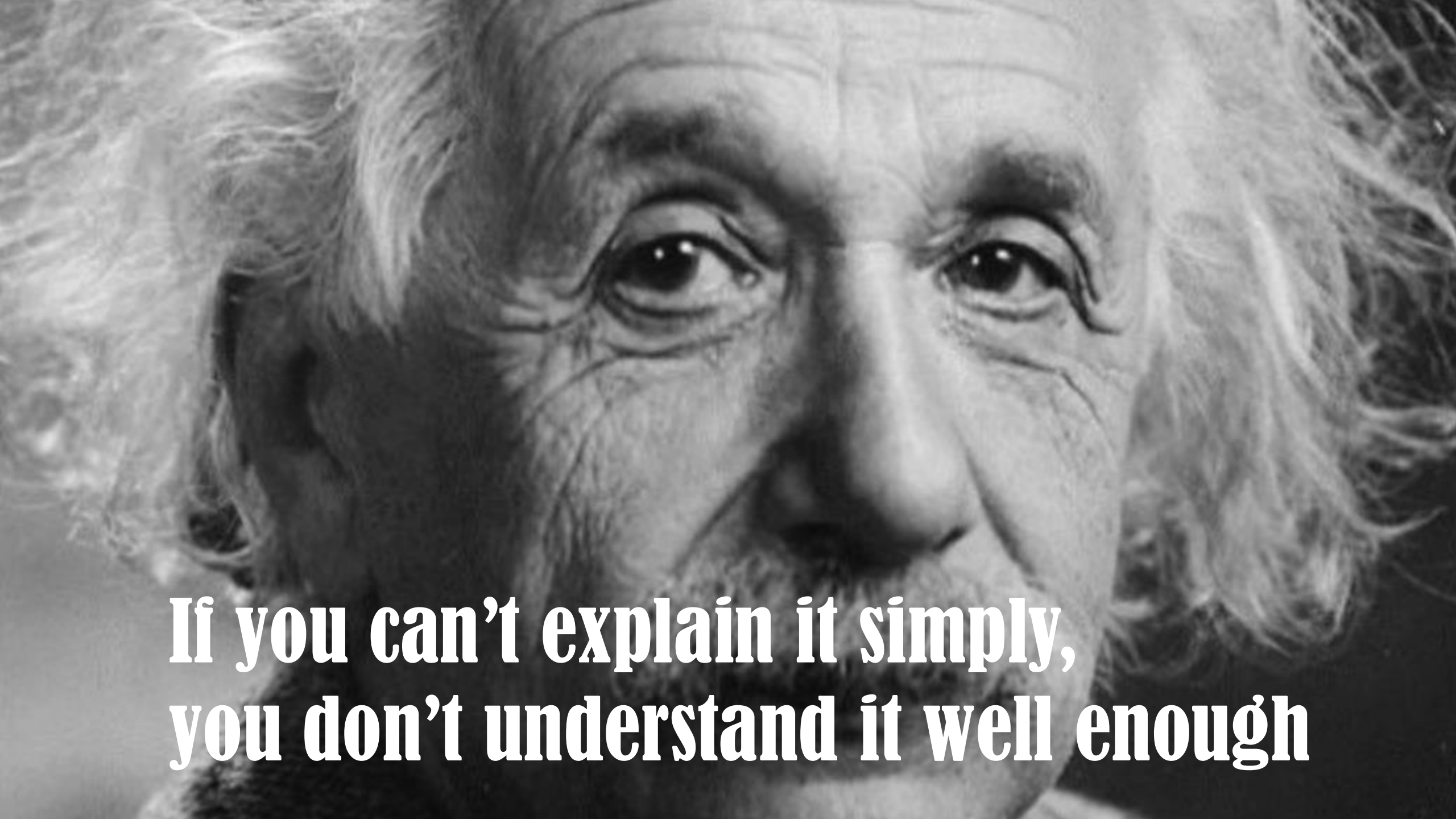
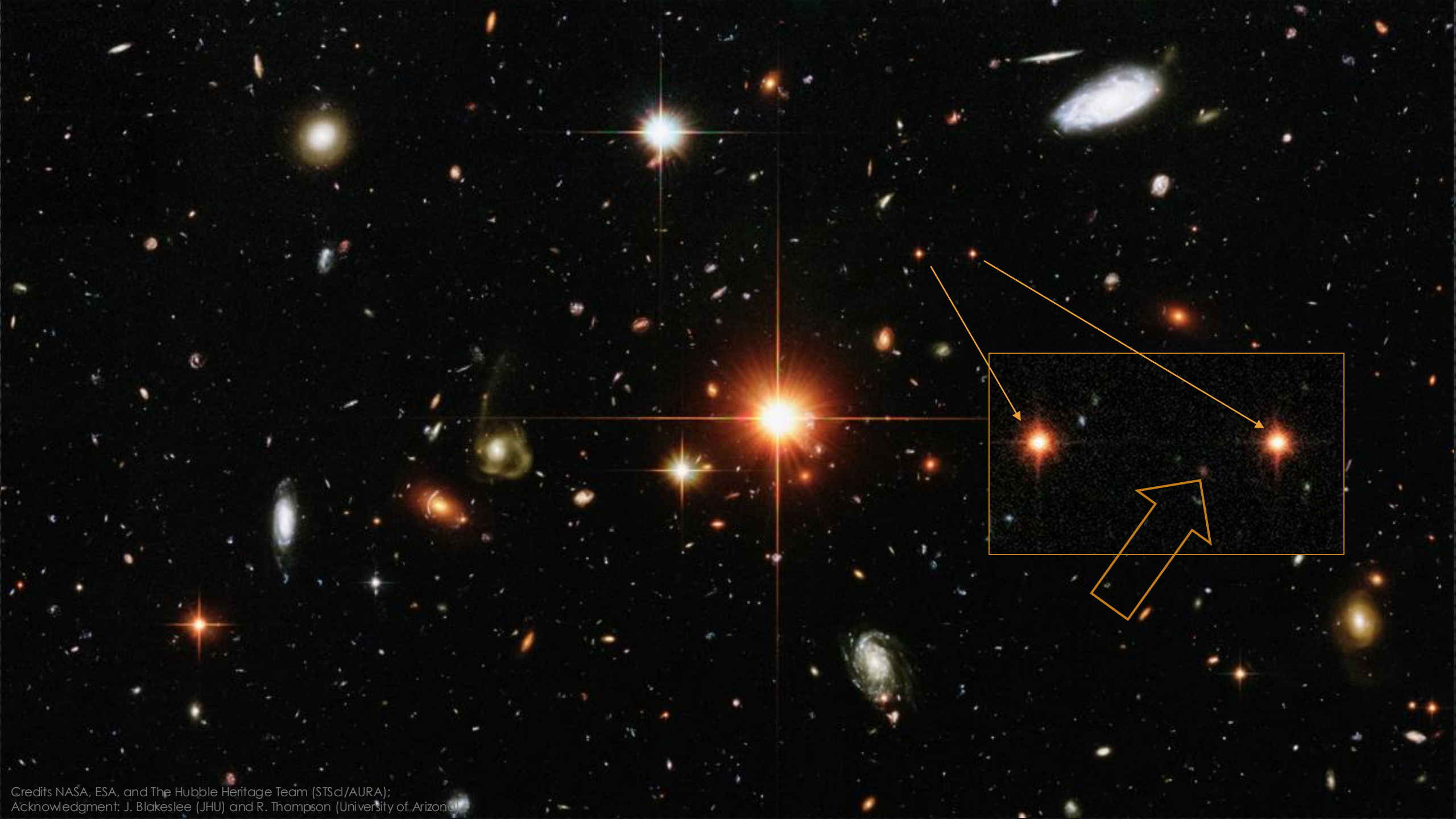

If you can’t explain it simply,
you don’t understand it well enough

De afname van roodverschuiving Van verre objecten bij toekomstige waarnemingen

Eric Sluimer

Daedalus workshop 2 december 2025

Credits NASA, ESA, and The Hubble Heritage Team (STScI/AURA);
Acknowledgment: J. Blakeslee (JHU) and R. Thompson (University of Arizona)



Credits NASA, ESA, and The Hubble Heritage Team (STScI/AURA);
Acknowledgment: J. Blakeslee (JHU) and R. Thompson (University of Arizona)

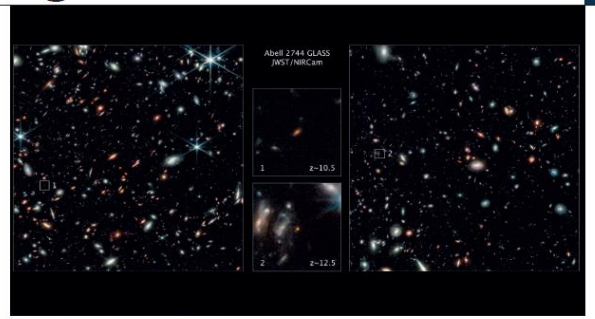
Workshop 24 oktober 2024

VERRASSING: ROODVERSCHUIVING BIJ TOEKOMSTIGE WAARNEMINGEN NEEMT AF

- Modelberekeningen tonen aan dat de roodverschuiving van hemellichamen met z>2 afneemt, als we die in de toekomst gaan waarnemen
- Heel veel later (miljarden jaren), worden deze weer roder

De kosmologische roodverschuiving in de toekomst:
een misvatting minder

- **De spectra van sterrenstelsels vertonen als gevolg van de expansie van het heelal een steeds grotere roodverschuiving naarmate ze verder van ons af staan.**
- **In de loop van de kosmische tijd neemt deze kosmologische roodverschuiving van verre sterrenstelsels lange tijd af.**
- **Dat lijkt in strijd met het feit dat het heelal versnelt uitdijt, maar is dat niet.**

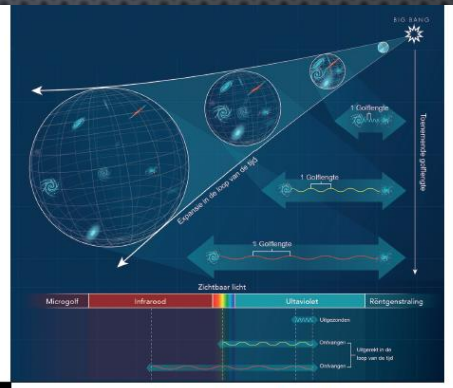


Figuur 1. Verre sterrenstelsels met een grote roodverschuiving worden zichtbaar door de zwaartekrachtlenswerking van de Pandoracluster op de voorgrond. Opname met de James Webb-telescoop in het nabij-infrarood. (NASA, ESA, CSA, Tommaso Treu (UCLA); bewerking: Zolt G. Levay (STScI))

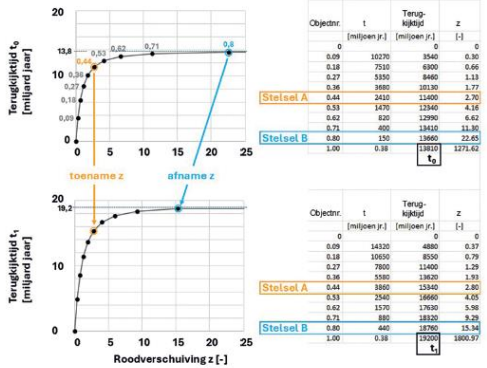
Het heelal dijt versnelt uit. Je zou verwachten dat de kosmologische roodverschuiving van verre sterrenstelsels daarom in de loop van de tijd toeneemt. Dit artikel werpt een ander licht op de roodverschuiving, met een verrassende conclusie: de roodverschuivingen van verre objecten zullen eerst nog miljarden jaren in grootte afnemen voordat deze weer toenemen.

Door Eric Sluimer

Wat gebeurt er met de roodverschuiving ofwel z-waarde van een ver-sterrenstelsel als we dit object op een fictief moment in de toekomst waarnemen? Het snelle en mogelijk verrassende antwoord is: van verre objecten met een huidige roodverschuiving z > 1,92 (bij de aangehouden waarden H_0 = 67,4 km/s per Mpc en het aandeel van de materiedichtheid in de totale materie-energiedichtheid van het heelal $\Omega_{m,0}$ = 0,315) zal de roodverschuiving in de loop van de tijd eerst afnemen voordat deze uiteindelijk weer zal toenemen. Hoe groter de huidige roodverschuiving van een object, hoe langer het duurt voordat deze eerst nog afneemt en hoe lager deze naar verhouding tot de huidige z-waarde wordt.



Figuur 2. Door de uitdijing van het heelal verschuift de golflengte van het licht van verre objecten naar het rood. Hoe verder weg een object en hoe langer de reistijd van het licht door de expanderende ruimte, hoe groter de roodverschuiving. (NASA, ESA, Leah Hustack (STScI; bewerking: Mat Drummen)



Figuur 3. De Terugkijktijd uitgezet tegen twee momenten t_0 en t_1 in de kosmische tijd.

Terugkijktijd

Ik illustreer dit eerst aan de hand van een combinatie van twee curves waarmee dit verschijnsel duidelijk wordt. Figuur 3 laat zien hoe ver we bij een gegeven roodverschuiving z – en dus afstand – terugkijken in de tijd naar het moment van emissie van het licht dat we nu zien. De momenten t_0 (nu) en t_1 (verre toekomst, ruim 19 miljard jaar na de Big Bang). Rechts de cijfermatige onderbouwing van de curves.

Ook de twee sterrenstelsels A en B (in het rekenmodel respectievelijk gelabeld 0,44 en 0,80) kwamen we al tegen in Figuur 7 in het vorige artikel. De bovenste curve in Figuur 3 toont de terugkijktijd als functie van z bij de huidige waarneming op t_0. De onderste grafiek laat de terugkijktijd zien van dezelfde objecten zoals het over ongeveer 5 miljard jaar zal zijn. De schalen van x- en y-as zijn gelijk gehouden.

Direct valt op dat de curve voor waarneming op t_1 korter en hoger is. Het is logisch dat deze *hoger* is: de terugkijktijd van sterrenstelsels neemt vanzelfsprekend toe naarmate we later kijken. Maar *korter*, wat betekent dat? Sterrenstelsel B heeft nu z = 22,6 en als we die over 5 miljard jaar meten blijft er een (nog altijd respectabele) waarde van z = 15,3 over. Van alle gemodelleerde sterrenstelsels met objectnummer 0,53 en hoger neemt de roodverschuiving z af. De overige stelsels – met objectnummers tot en met 0,44, dus op minder grote afstanden – kennen dit effect niet: daar neemt de roodverschuiving wel toe. Althans, in het geval van het waarneemtijdstip t_1 = 19,2 miljard jaar. Het is hier niet getoond, maar naarmate het tijdvenster tussen een waarneming nu en een volgend observatietijdstip t_{ob} kleiner wordt, zijn er steeds meer sterrenstelsels – met lagere z – waarvan de roodverschuiving eerst afneemt bij toekomstige waarnemingen. Mogelijk bent u verrast; ik was dat in elk geval. Het vormde een aansporing voor een nadere verkenning van het verloop van z als functie van het waarnemingsmoment t_{ob}.

Een nadere studie

De ontwikkeling van z als functie van het tijdstip t in de kosmische tijd waarop een object wordt waargenomen, is afhankelijk van het verloop van de schaalfactor a(t), die in het vorige artikel is uitgelegd. Indien er sprake is van een rechtlijnig verloop van schaalfactor a in de tijd (ofwel een constant expansietempo: per tijdseenheid dt een gelijke toename van schaalfactor da, da/dt is constant), zal ook de mate van roodverschuiving van een object bij toekomstige waarnemingen gelijk blijven. Als de uitdijing vertraagt, neemt de waarde van z in de toekomst minder snel toe; als de uitdijing versnelt, wordt z juist sneller groter. Uit waarnemingen is eind vorige eeuw gebleken dat er sprake is van een versnelde uitdijing. Hoe komt het dan dat de roodverschuiving van verre sterrenstelsels toch zal afnemen wanneer we deze op een toekomstig moment waarnemen?

Hoe komt het dan dat de roodverschuiving van verre sterrenstelsels toch zal afnemen wanneer we deze op een toekomstig moment waarnemen?

Dit wordt veroorzaakt door het veel hogere tempo waarmee het universum in de eerste honderden miljoenen jaren na de Big Bang uitdijde, vergeleken met het huidige tempo. Ter illustratie: de Hubbleparameter op t = 1 miljard jaar na de Big Bang (schaalfactor a = 0,15, z = 5,7) was een factor 9,7 keer groter dan de huidige H_0 (Figuur 6 in het voorgaande artikel). Ten tijde van emissie van licht met z = 2 was die factor nog altijd 3,0. Sterrenstelsels relatief dichtbij (z<<1) zien we in een versnellende modus (de roodverschuiving neemt toe), maar hoe ouder het licht is dat we zien, hoe groter destijds (na de emissie) de invloed van het toentertijd significant grotere uitdijtempo was op het licht dat we nu waarnemen.

Verder onderzoek naar de condities waaronder z afneemt bij toekomstige waarnemingen levert Figuur 4. In Kader 1 kunnen lezers zich eventueel verder verdiepen in de formules voor de bepaling van de z-waarde van sterrenstelsel A behorende bij de waarneming nu (t_0) en op een toekomstig moment (t_1). De conclusie die daaruit getrokken kan worden is: als de verhouding $a(t_{em,1})/a(t_{em,0})$ van de schaalfactoren ten tijde van de twee lichtemissies

Changing redshifts caused by a changing expansion rate of the universe.

(October 11, 2024)

Nico Roos, Eric Sluimer and Bert van den Broek

Affiliation: Leiden Observatory, PO Box 9513, NL-2300 RA Leiden, The Netherlands

(Received:

ABSTRACT

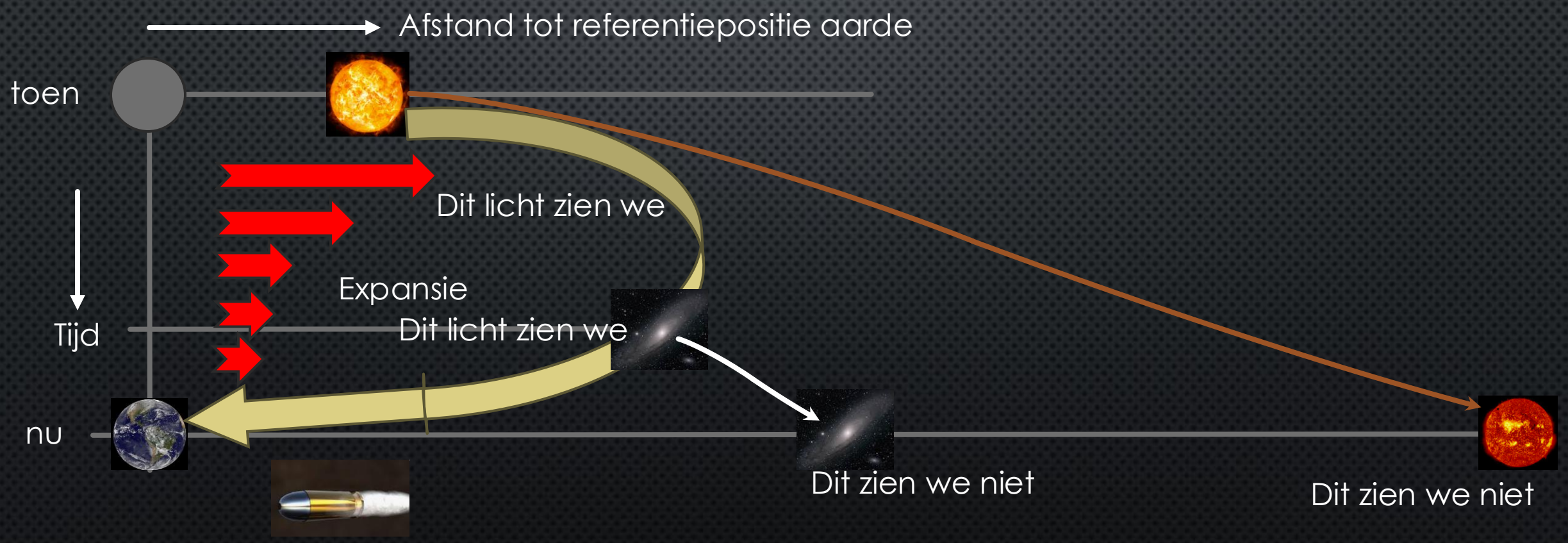
With the next generation of big telescopes such as the ELT and SKA it might become possible to measure changes in the expansion rate of the Universe in real time by measuring the change of the redshifts of a large number of galaxies over a period of the order of 10 years. This phenomenon, known as 'redshift drift,' will provide a crucial direct test of cosmological models. The change in redshift is readily explained using the concept of conformal time which is the comoving distance of a galaxy in lightyears. We emphasize that the redshift drift is directly proportional to the average change in the cosmic expansion rate between the time of a galaxy's light emission and its absorption. This phenomenon is illustrated within the framework of the concordance model, the Lambda-CDM model of the universe.

2410.08741

Opgave 2 December 2025: Hoe kan dat?

- Uitleg model kosmische expansie
- Resultaten modelberekeningen
- Bevinding afname roodverschuiving
- Verklaring aan de hand van tijd-wegdiagram objecten en fotonen
- Illustratie met drie andere diagrammen
- Conclusies, aanbeveling

LICHT VAN VERRE HEMELLICHAMEN



HOE GEVONDEN?

- Simulatie ΛCDM model : expansie van universum van vlak heelal met $\Omega_\Lambda>0$
- Banen van hemellichamen als functie van tijd berekend
- Baan van het licht berekend

- Verificatie en validatie van model: goede tot zeer goede nauwkeurigheid
- Inzicht in dynamiek: hoe werkt het ΛCDM model?
- Resultaat: oplossing, verrassing en verwondering

EXPANSIE: ‘DE RUIMTE REKT’

- Sterrenstelsels bewegen niet ‘door de ruimte heen’, dus geen snelheidsverschil tussen een stelsel en de lokale ruimte
- Stelsels bewegen mee in een expanderend universum, uitdijend heelal > ‘rekkende ruimte’
- Stelsels zelf worden door zwaartekracht bijeen gehouden en expanderen niet
- Op kleine schaal ook andere bewegingen t.o.v. elkaar, ‘peculiar velocities’
- Voorbeeld: Andromeda nadert melkweg met snelheid 300 km/s. Ontmoeting over 4,5 miljard jaar. Veld met 1.000 miljard sterren en veld met 250 miljard sterren schuiven in elkaar/door elkaar heen

SCHAALFACTOR a(t)

Schaalfactor a geeft de grootte van het heelal aan ten opzichte van nu

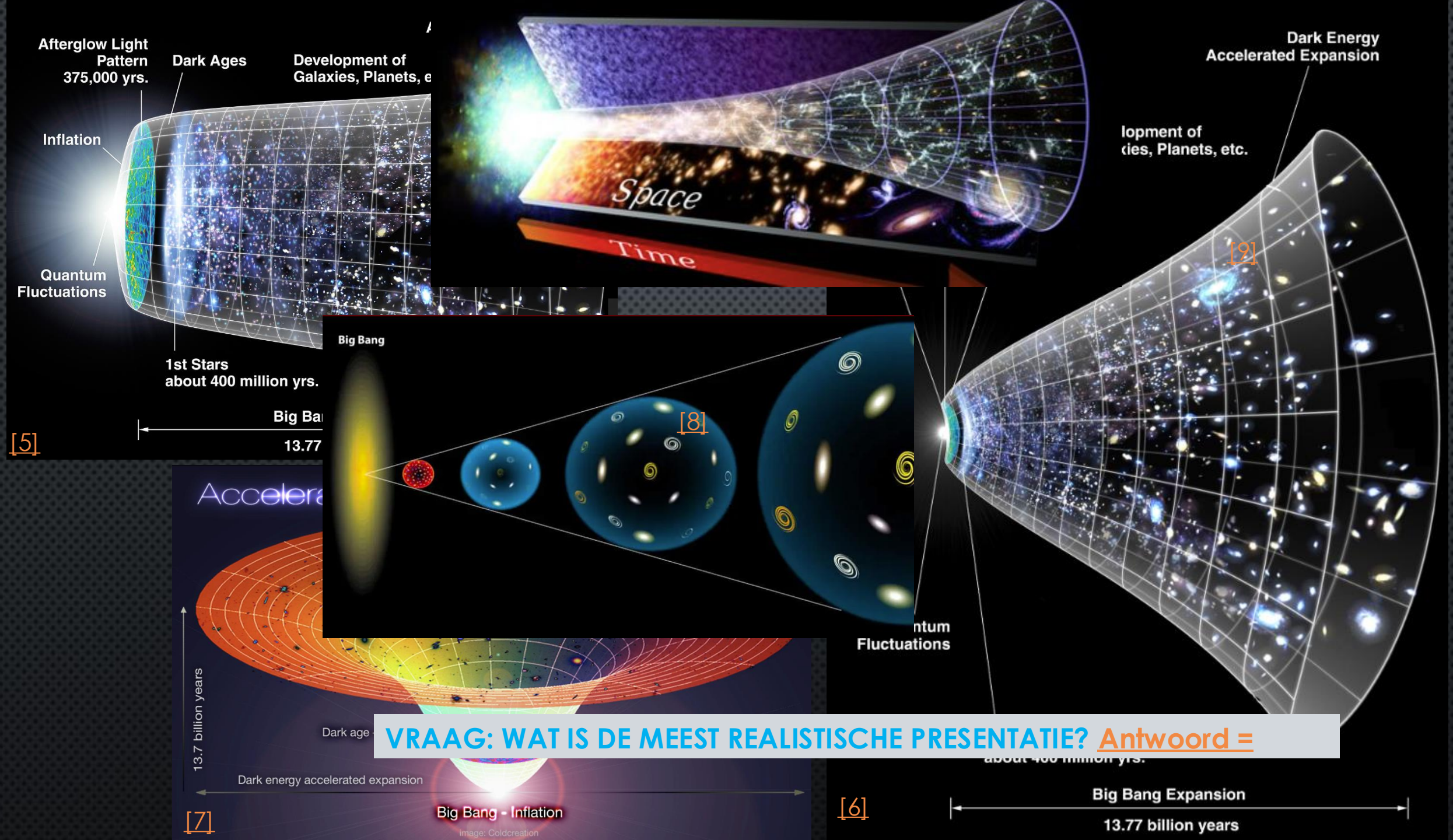
Definitie schaalfactor: a op huidig moment t_0 is gelijk aan 1. Ofwel $a(t_0) = 1$

Toen universum half zo groot was als nu: $a = 0,5$

Toen heelal 10 keer zo klein was als nu: $a = 0,1$ enz. enz.

Toen vanaf ca. 380.000 jaar na Big Bang licht zich vrijelijk kon gaan verspreiden was het heelal circa 1.100 x kleiner dan nu: $a = 1/1.100 = 0,0091$

In 14 miljard jaar 1.100 keer groter: gemiddelde rek 65% per miljard jaar (Gy)

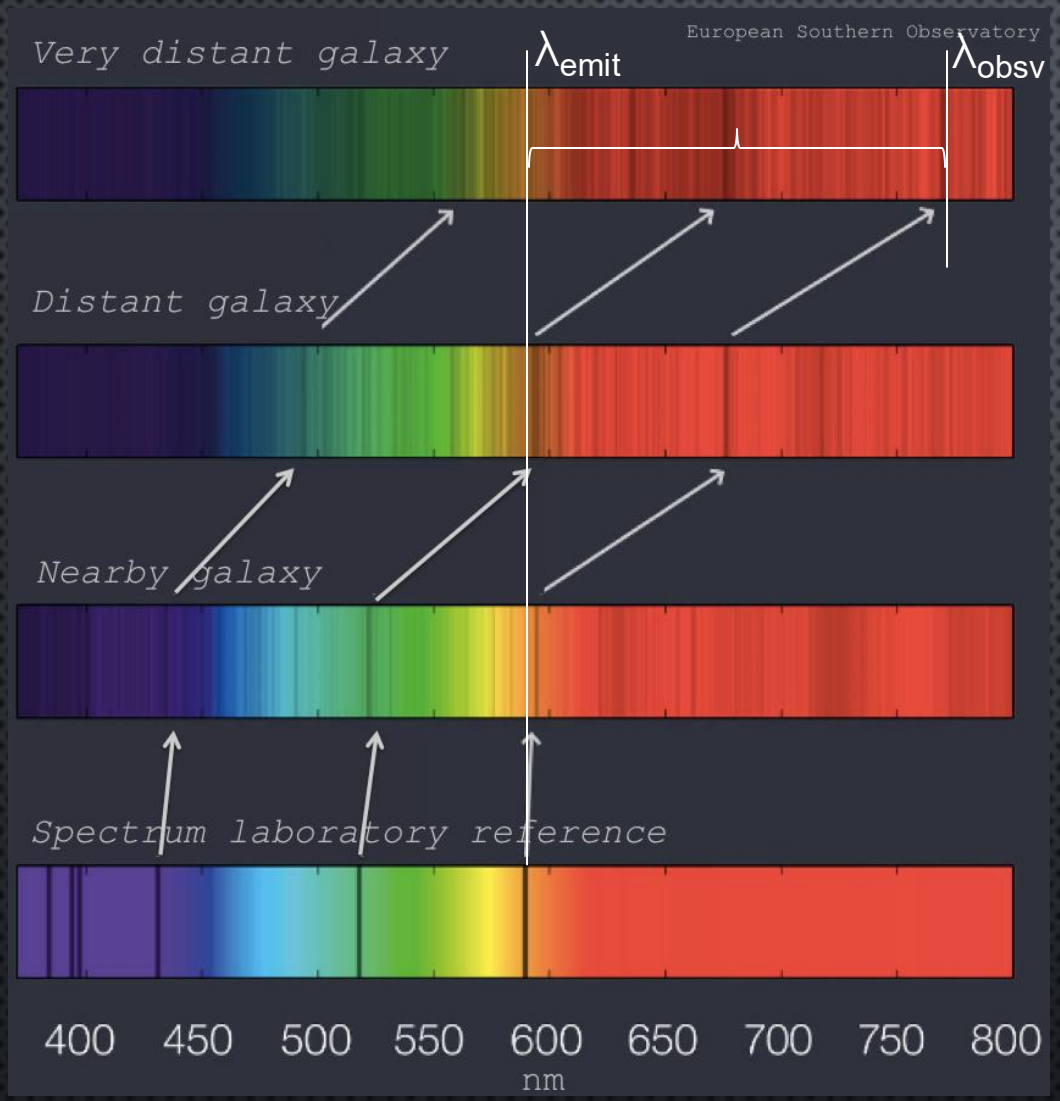


VRAAG: WAT IS DE MEEST REALISTISCHE PRESENTATIE? Antwoord =

LICHT IN EEN EXPANDERENDE RUIMTE

- Foton beweegt t.o.v. zijn directe omgeving (in vacuum) altijd met snelheid c
- Golflengte van reizend licht is onderhevig aan de expansie die het tijdens reis ondervindt
- Golflengte rekt mee met zelfde rekpercentage als 'rek van ruimtelijk weefsel'
- Dat zorgt voor een verschuiving van golfspectrum naar grotere λ

- Waar te nemen door roodverschuiving van licht t.o.v. wat we hier op/om aarde zouden waarnemen bij emissie of absorptie van fotonen door zelfde atomen (helium, waterstof, koolstof etc.)
- Kosmologische roodverschuiving als gevolg van expansie van het universum



Calculation of redshift, z

Based on wavelength	Based on frequency
$z = \frac{\lambda_{\text{obsv}} - \lambda_{\text{emit}}}{\lambda_{\text{emit}}}$	$z = \frac{f_{\text{emit}} - f_{\text{obsv}}}{f_{\text{obsv}}}$
$1 + z = \frac{\lambda_{\text{obsv}}}{\lambda_{\text{emit}}}$	$1 + z = \frac{f_{\text{emit}}}{f_{\text{obsv}}}$

$a = \frac{\lambda_{emit}}{\lambda_{obsv}}$ dus $1+z = \frac{1}{a}$ en $a = \frac{1}{1+z}$

Als $a = 1$, $z = 0$
Als $a = \frac{1}{2}$, $z = 1$
Als $a = \frac{1}{3}$, $z = 2$

VRAAG: HOE GROOT WAS HEELAL TOEN JADES-GS-z14-0 HET LICHT DAT WE NU ZIEN UITSTRAALDE?

$z = 14$, $a = \frac{1}{15} = 6{,}67\%$ van huidige grootte

LICHT REIST TEGEN DE RUIMTEREK IN, $0 < V \leq C$

- LICHT REIST IN VACUUM MET SNELHEID C = 299.792 KM/S **T.O.V. LOKALE RUIMTELIJKE OMGEVING**
- PUNTEN IN DE RUIMTE BEWEGEN WEG VAN ONS: WET VAN HUBBLE – LEMAÎTRE $v = H.d$
  $H(t)$ = Hubble parameter, varieert in tijd, maar is op tijdstip t overal in universum gelijk. Nu H_0
- DE NETTO SNELHEID V_{LICHT} WAARMEE HET LICHT NADERT, LIGT TUSSEN 0 EN C. NAMELIJK 0 KM/S TER PLAATSE VAN DE 'HUBBLE RADIUS' EN C NABIJ DE WAARNEMER
- MAAR LICHT DAT T.O.V. DE RUIMTE IN ONZE RICHTING BEWEEGT KAN DOOR GROTE 'COSMIC FLOW' WORDEN 'WEGGEZET'
- ALS DE RUIMTE OP EEN ZEKER PUNT MET SNELHEID C OF GROTER VAN ONS AF BEWEEGT, STAAT HET LICHT STIL OF BEWEEGT HET WEG VAN ONS, DUS DAT LICHT BEREIKT ONS NOOIT?
- RUIMTEREK NEEMT IN DE LOOP VAN DE TIJD AF > SNELHEID RUIMTE NEEMT AF > LICHT DAT IN EERSTE INSTANTIE DOOR DIE REK VAN ONS WEG BEWEEGT KAN ONS ALSNOG BEREIKEN
- **EN GEDURENDE DIE HELE REIS BLIJFT LICHTGOLF DUS ZELF OOK UITREKKEN, VAN λ_{emit} TOT λ_{obs}**

MODEL 2024:
WISKUNDIG AFGELEIDE FUNCTIES a(t) EN H(t)

- UIT OPLOSSING VAN FRIEDMANN-VERGELIJKING VOLGENS RYDEN:

For a flat, $\Omega_{\Lambda,0} > 0$ universe, the Friedmann equation can be integrated to yield the analytic solution

$$H_0 t = \frac{2}{3\sqrt{1-\Omega_{m,0}}} \ln\left[(a/a_{m\Lambda})^{3/2} + \sqrt{1+(a/a_{m\Lambda})^3}\right] \quad . \qquad (6.28)$$

Parameters:
H_0 en $\Omega_{m,0}$

$$a_{m\Lambda} = \left(\frac{\Omega_{m,0}}{(1-\Omega_{m,0})}\right)^{1/3}$$

- HEB IK a(t) AFGELEID:

$$a(t) = a_{m\Lambda} \cdot \left(\frac{e^{2kt}-1}{2e^{kt}}\right)^{2/3}$$

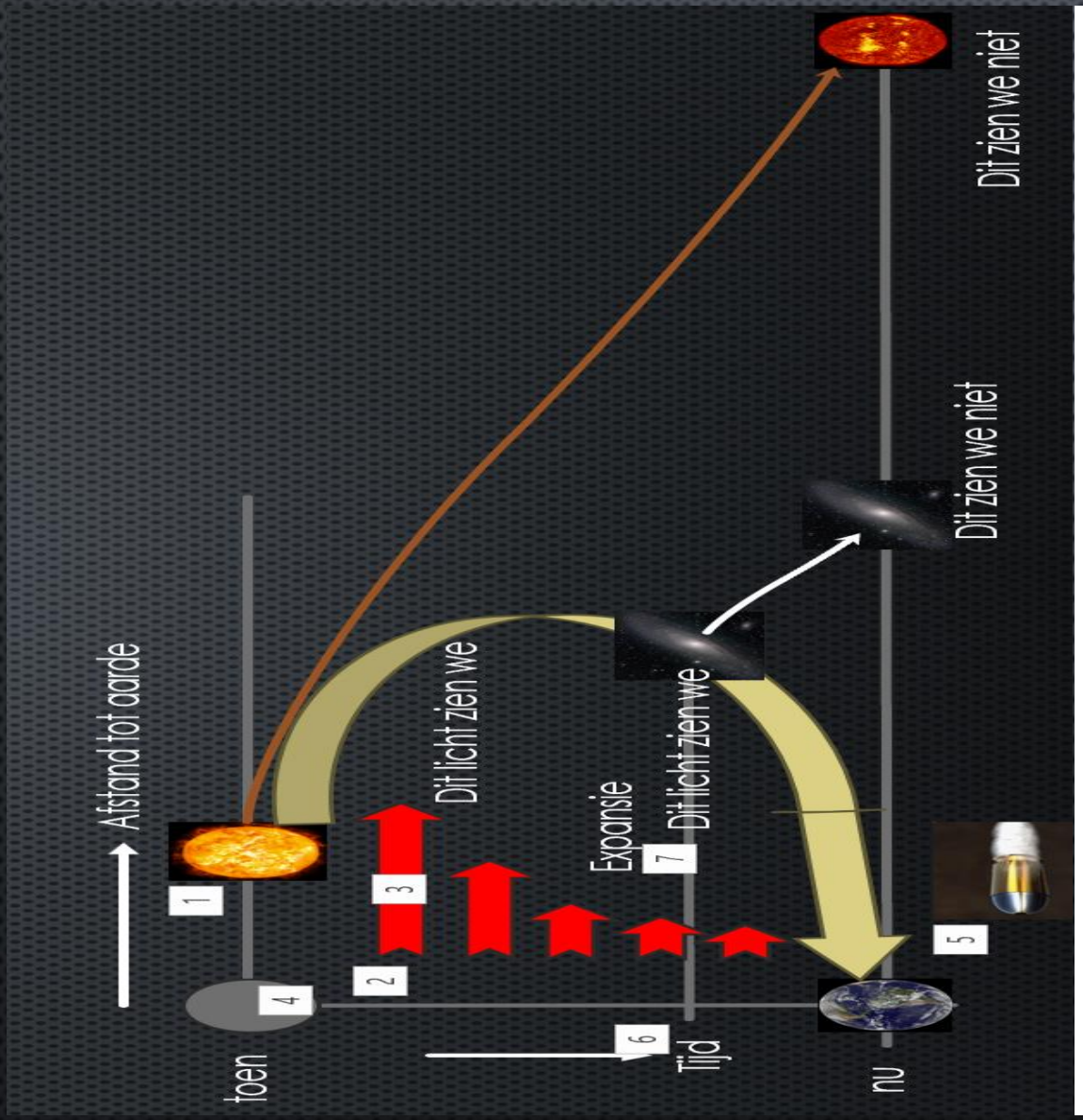
MET

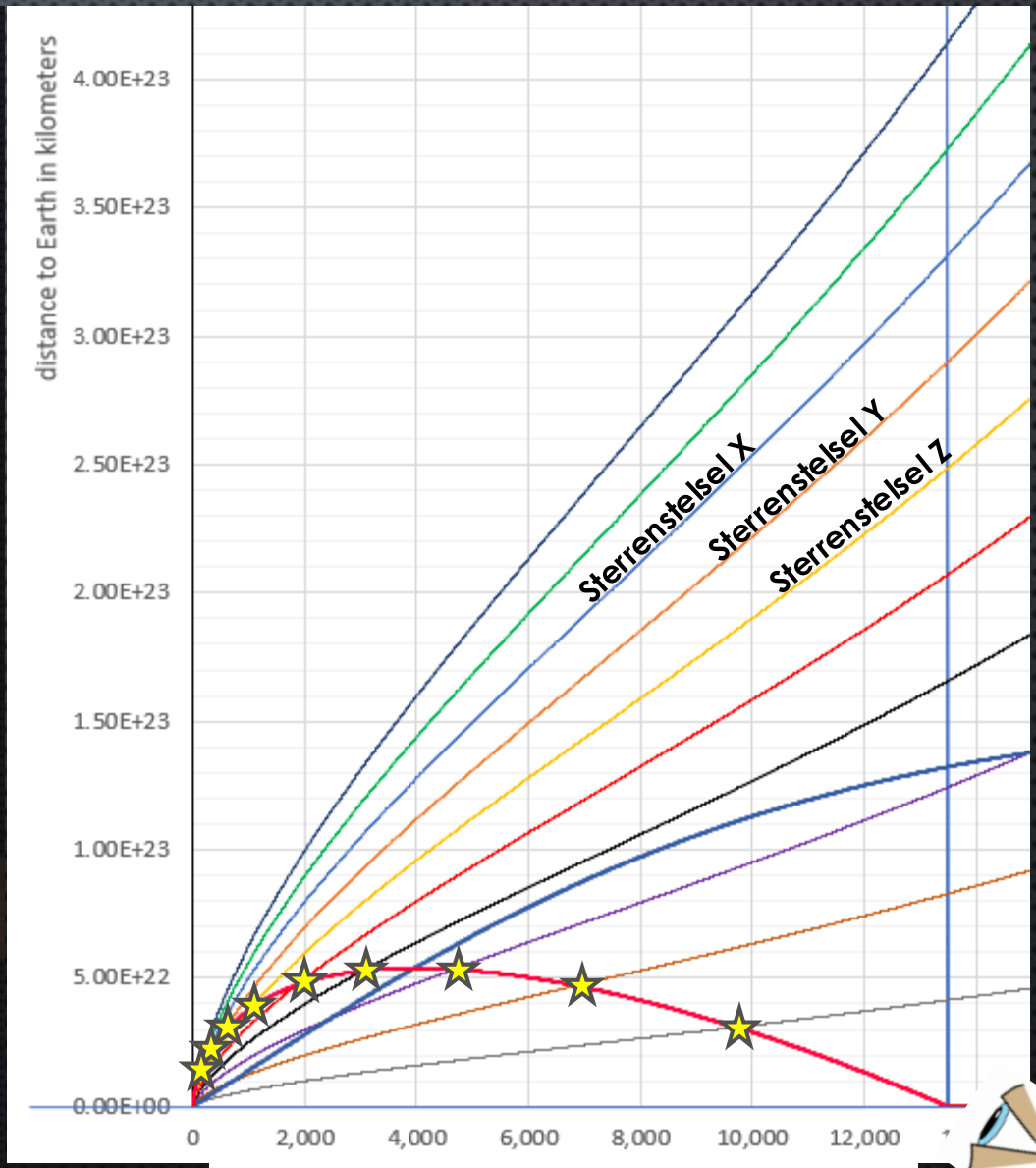
$$k = \frac{H_0 . 3\sqrt{\{1-\Omega_{m,0}\}}}{2}$$

- EN DAARUIT H(t)

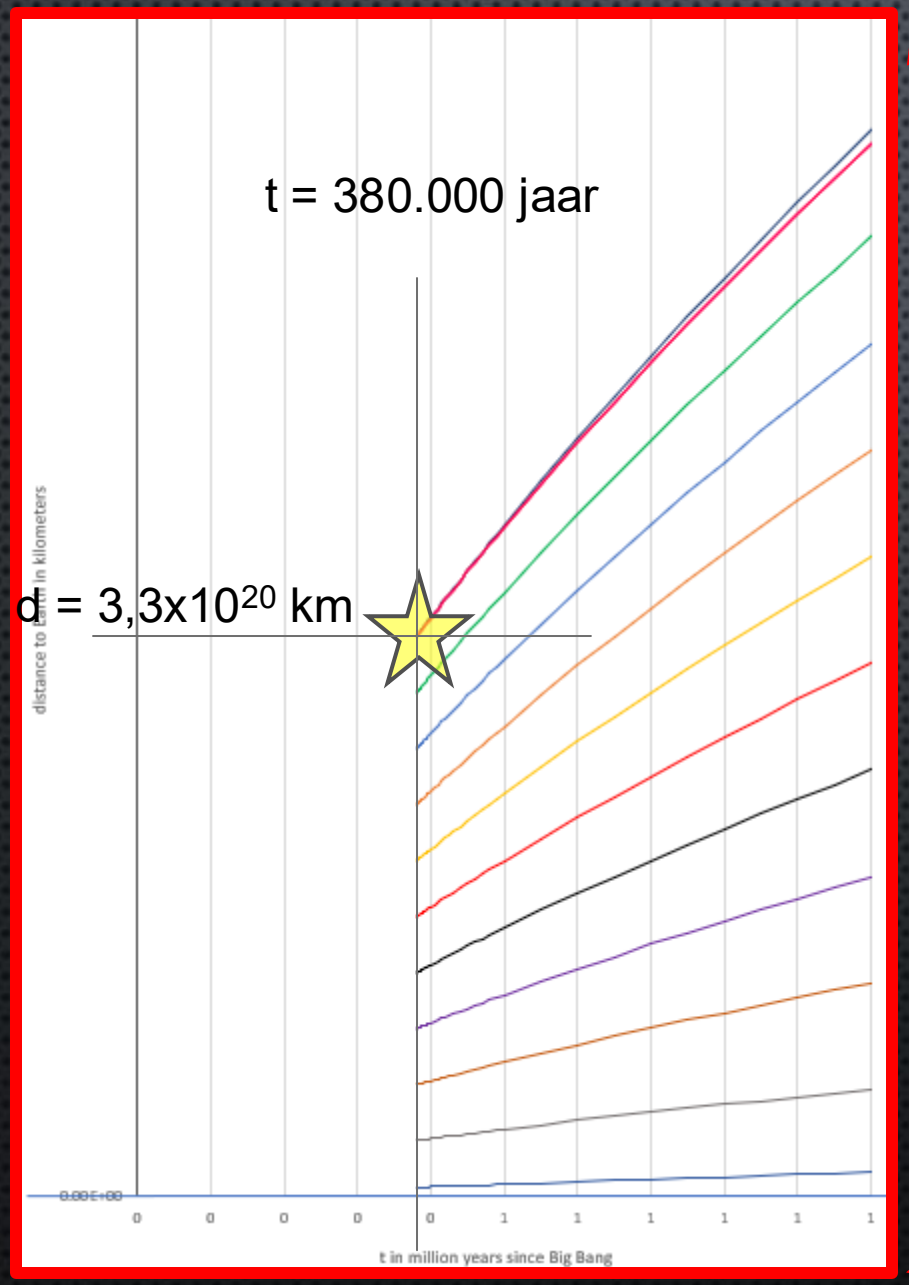
$$H(t) = \frac{\dot{a}}{a} = \frac{da}{dt} \cdot \frac{1}{a}$$

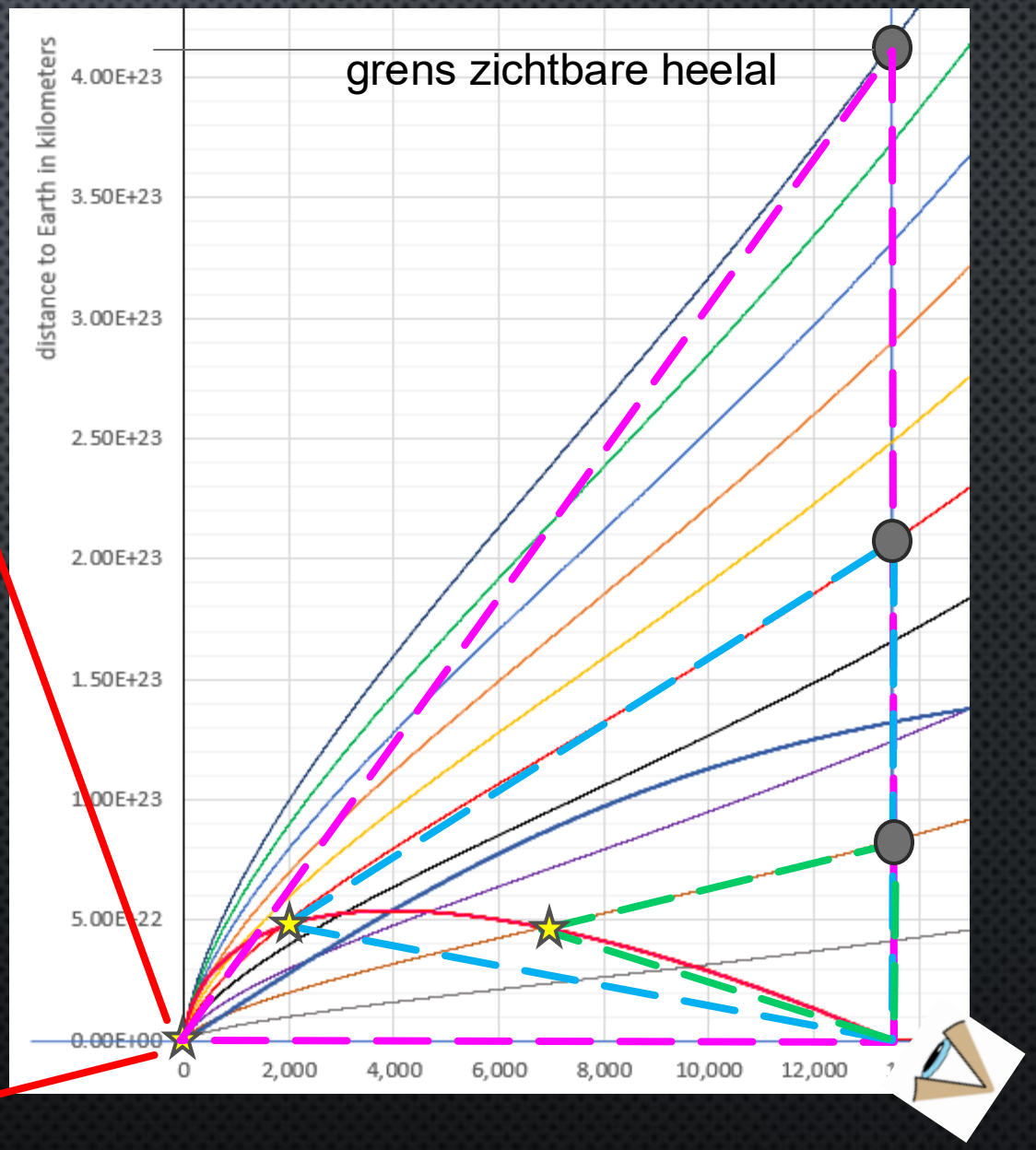
$$H(t) = 2/3 \, . \, k \, . \, \frac{(e^{2kt}+1)}{(e^{2kt}-1)}$$



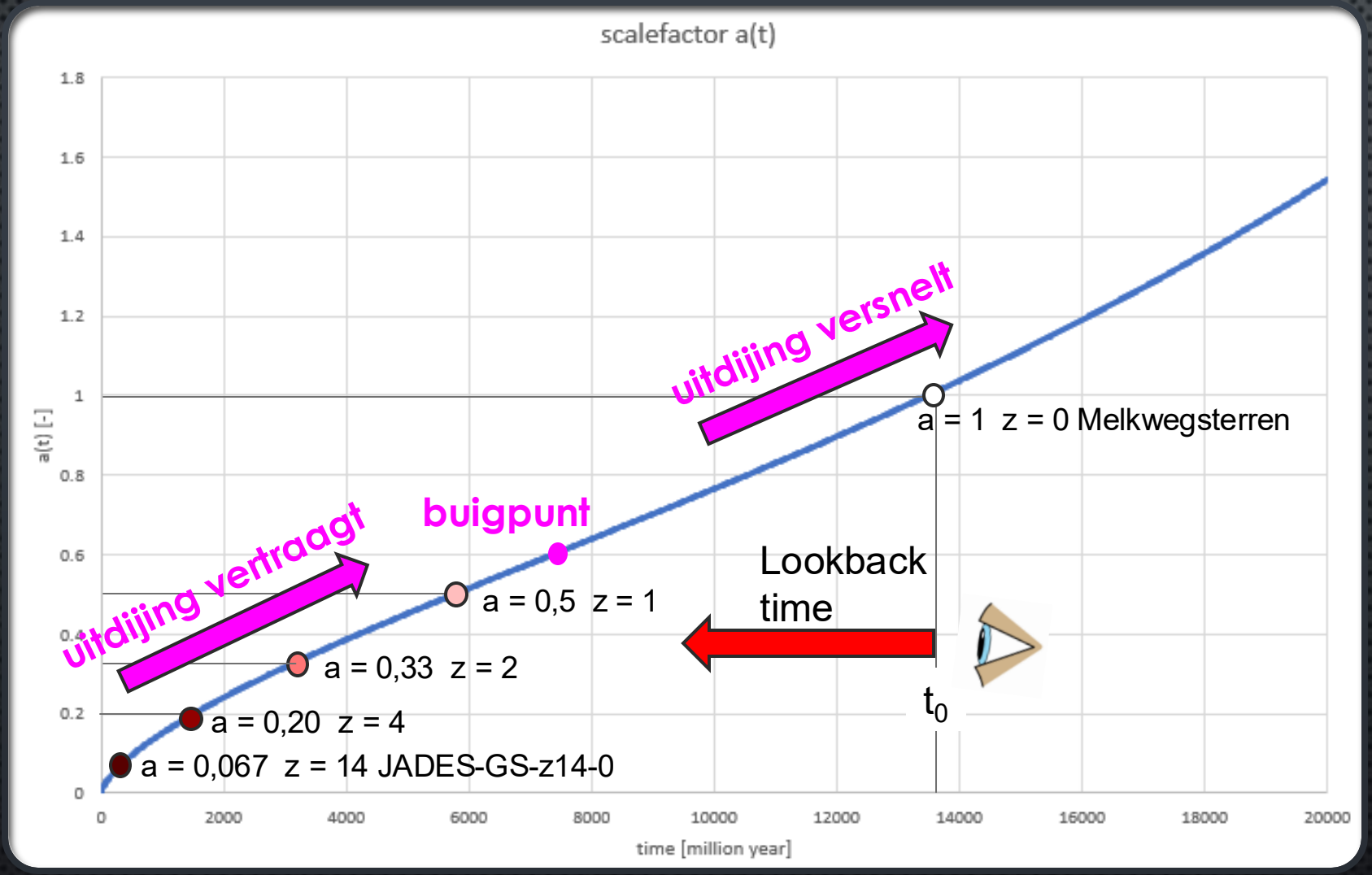


Kosmische tijd t (miljoen jaar)


t = 380.000 jaar
d = 3,3x10^20 km
distance to Earth in kilometers
t in million years since Big Bang


grens zichtbare heelal
distance to Earth in kilometers
4.00E+23
3.50E+23
3.00E+23
2.50E+23
2.00E+23
1.50E+23
1.00E+23
5.00E+22
0.00E+00
0
2,000
4,000
6,000
8,000
10,000
12,000

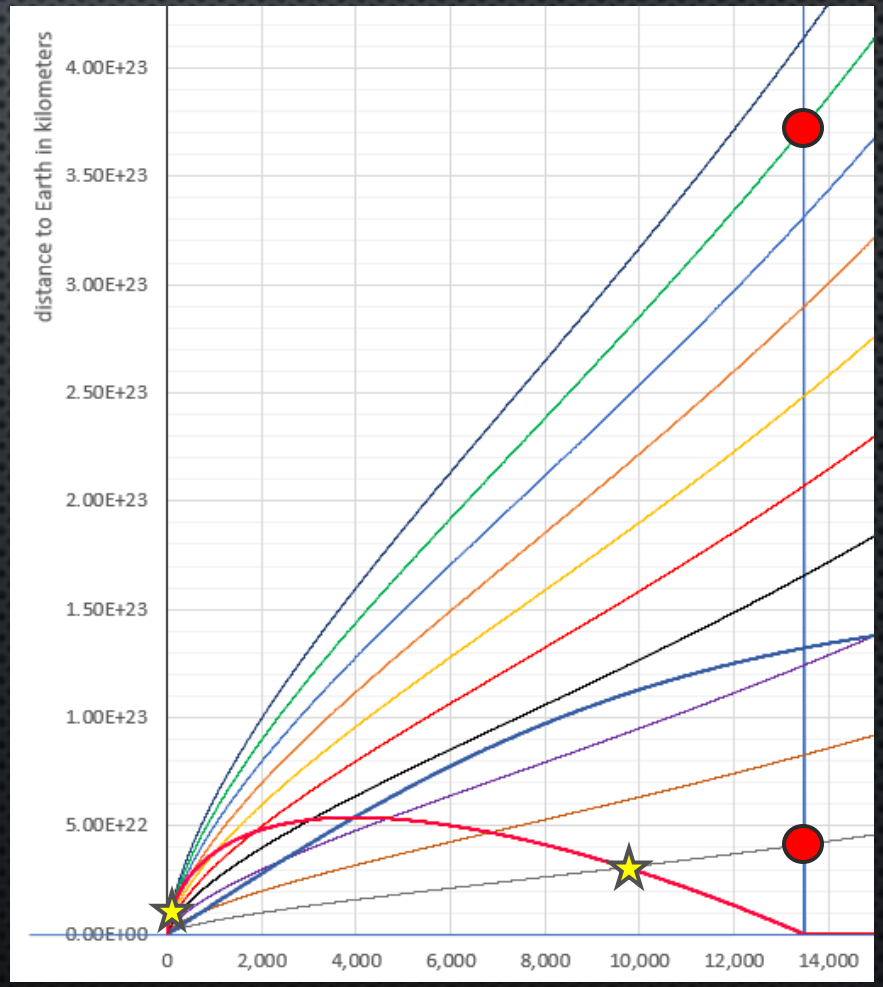
GROEI UNIVERSUM: VERLOOP SCHAALFACTOR



IS VER WEG WEL ECHT VER WEG? OPLOSSING

- LICHT KOMT NATUURLIJK VANUIT HET UNIVERSUM NAAR ONS TOE
- MAAR NIET VAN ZOVER WEG ALS WE DENKEN

- IN DE TUSSENTIJD TUSSEN MOMENT VAN EMISSIE EN NU IS BETREFFENDE OBJECT 'DOORGEREISD' NAAR EEN LOCATIE VERDER VAN ONS VERWIJDERD
- TENZIJ HET LICHT DAT WE NU ZIEN AFKOMSTIG IS VAN EEN STEREXPLOSIE, BIJVOORBEELD ZGN. SUPERNOVA. LICHT IS GEDOOFD, STER BESTAAT AL LANG NIET MEER



VERRASSING: ROODVERSCHUIVING BIJ TOEKOMSTIGE WAARNEMINGEN NEMEN AF

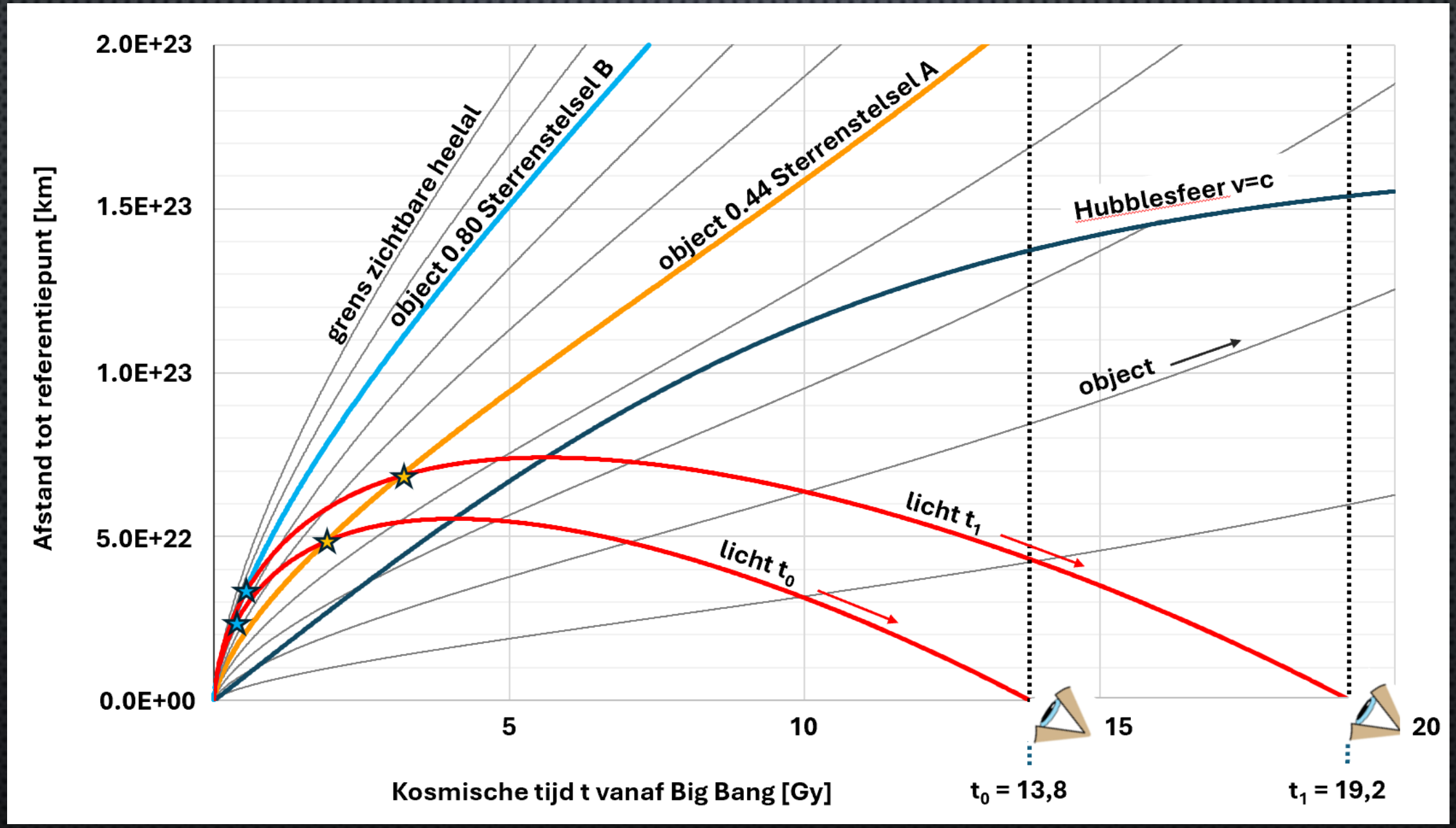
- Modelberekeningen tonen aan dat de roodverschuiving van hemellichamen met z>2 afneemt, als we die in de toekomst gaan waarnemen
- Heel veel later (miljarden jaren), worden deze weer roder

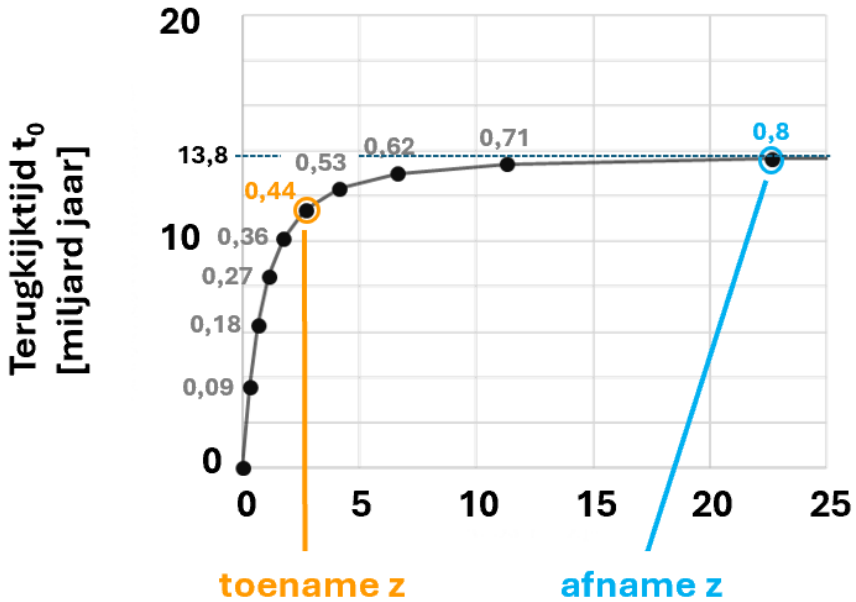
- Dus het 'verste deel' van ons universum zal eerst minder minder rood tonen
- Onderzoek gedurende 10 jaar naar 'redshift-drift': verandering z-waarden van heel veel galaxies?

- Publicatie op arxiv.org:

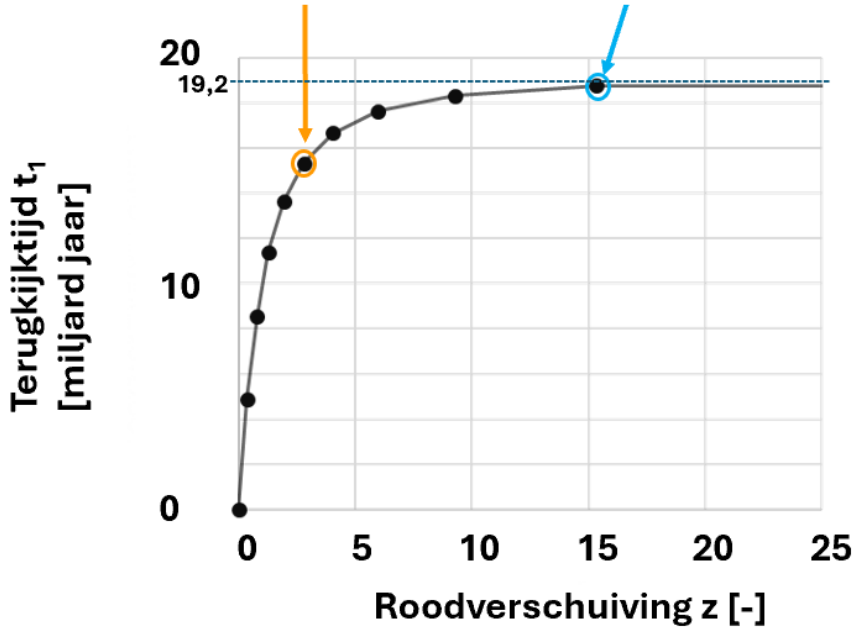
[2410.08741] Changing Redshifts caused by a Changing Expansion Velocity of the Universe

Volgen van sterrenstelsels A en B in de tijd, we kijken nu t_0 en over 5,4 miljard jaar t_1:

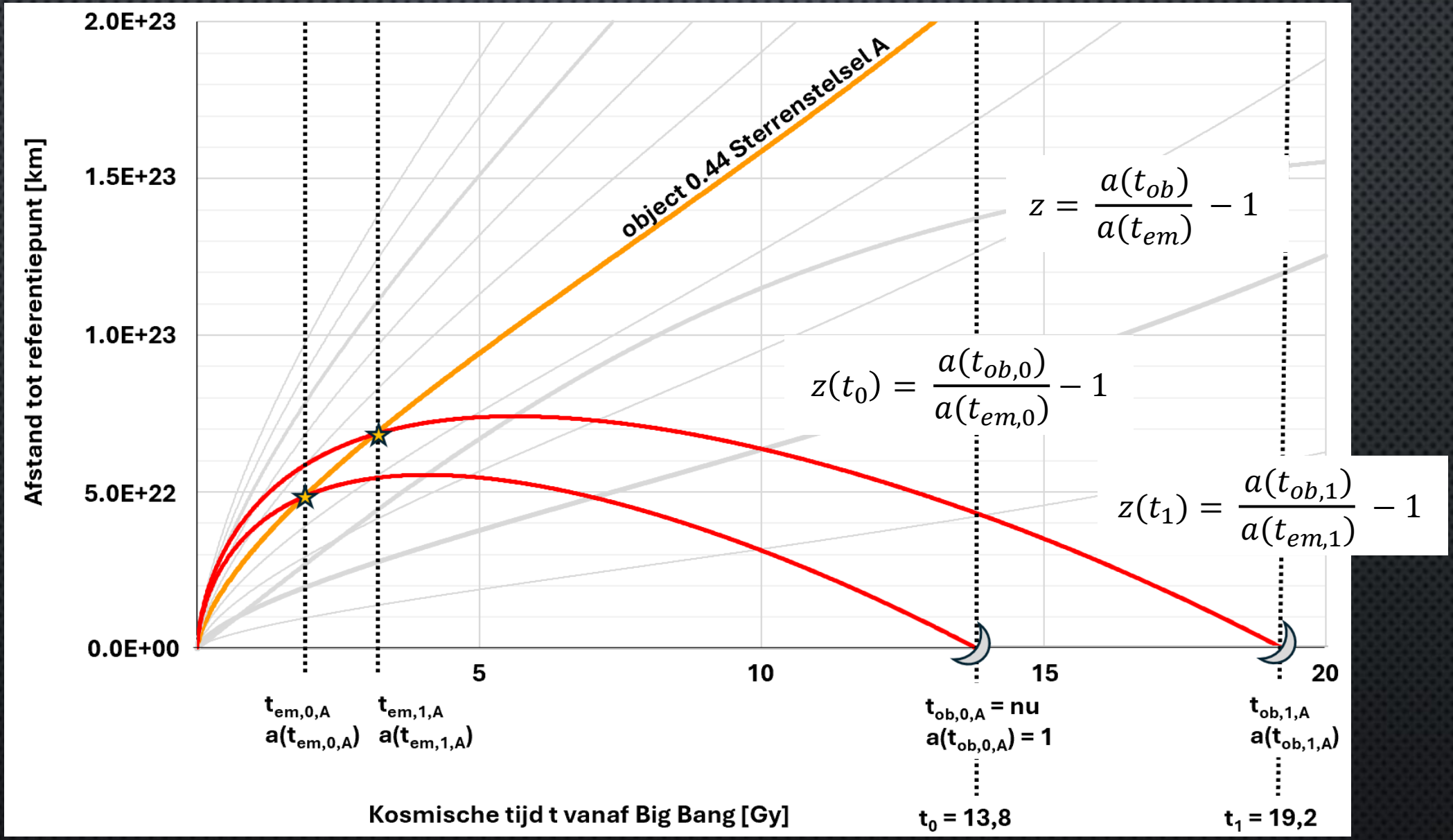




	Objectnr.	t	Terug-kijktijd	z
		[miljoen jr.]	[miljoen jr.]	[-]
	0		0	0
	0.09	10270	3540	0.30
	0.18	7510	6300	0.66
	0.27	5350	8460	1.13
	0.36	3680	10130	1.77
Stelsel A	0.44	2410	11400	2.70
	0.53	1470	12340	4.16
	0.62	820	12990	6.62
	0.71	400	13410	11.30
Stelsel B	0.80	150	13660	22.65
	1.00	0.38	13810 t_0	1271.62



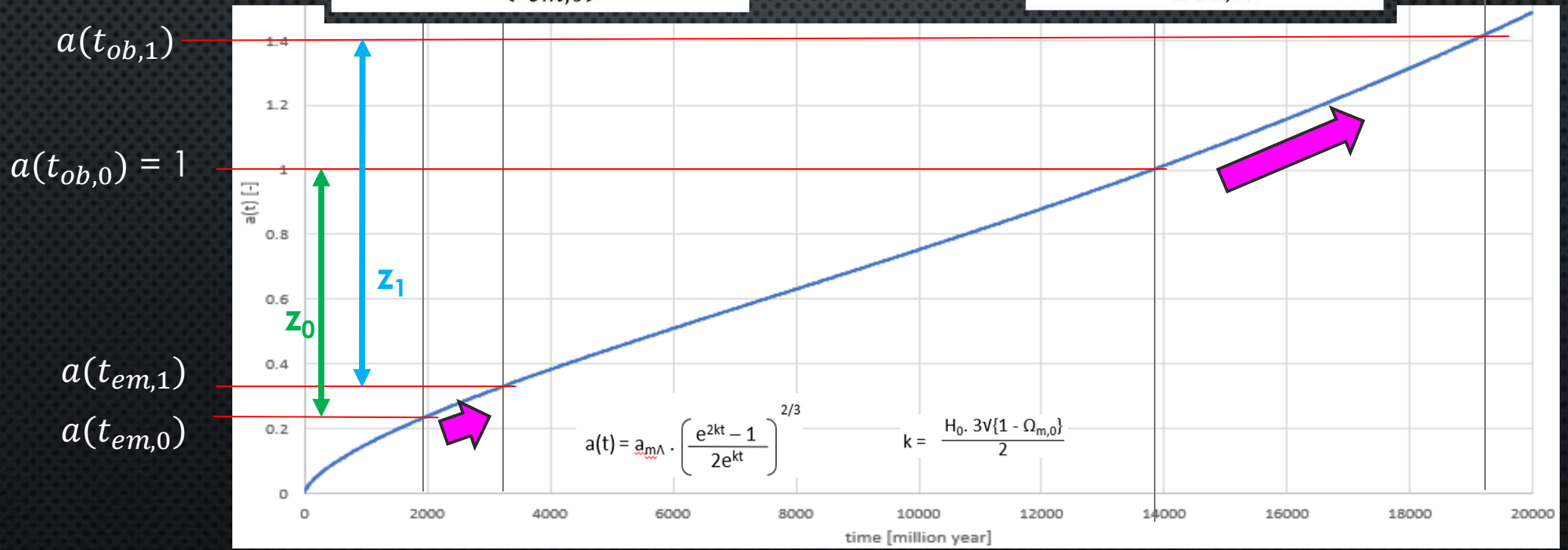
	Objectnr.	t	Terug-kijktijd	z
		[miljoen jr.]	[miljoen jr.]	[-]
	0		0	0
	0.09	14320	4880	0.37
	0.18	10650	8550	0.79
	0.27	7800	11400	1.29
	0.36	5580	13620	1.93
Stelsel A	0.44	3860	15340	2.80
	0.53	2540	16660	4.05
	0.62	1570	17630	5.98
	0.71	880	18320	9.29
Stelsel B	0.80	440	18760	15.34
	1.00	0.38	19200 t_1	1800.97


2.0E+23
1.5E+23
1.0E+23
5.0E+22
0.0E+00
Afstand tot referentiepunt [km]
object 0.44 Sterrenstelsel A
$z = \frac{a(t_{ob})}{a(t_{em})} - 1$
$z(t_0) = \frac{a(t_{ob,0})}{a(t_{em,0})} - 1$
$z(t_1) = \frac{a(t_{ob,1})}{a(t_{em,1})} - 1$
5
10
15
20
$t_{em,0,A}$
$a(t_{em,0,A})$
$t_{em,1,A}$
$a(t_{em,1,A})$
$t_{ob,0,A}$ = nu
$a(t_{ob,0,A}) = 1$
$t_{ob,1,A}$
$a(t_{ob,1,A})$
Kosmische tijd t vanaf Big Bang [Gy]
t_0 = 13,8
t_1 = 19,2

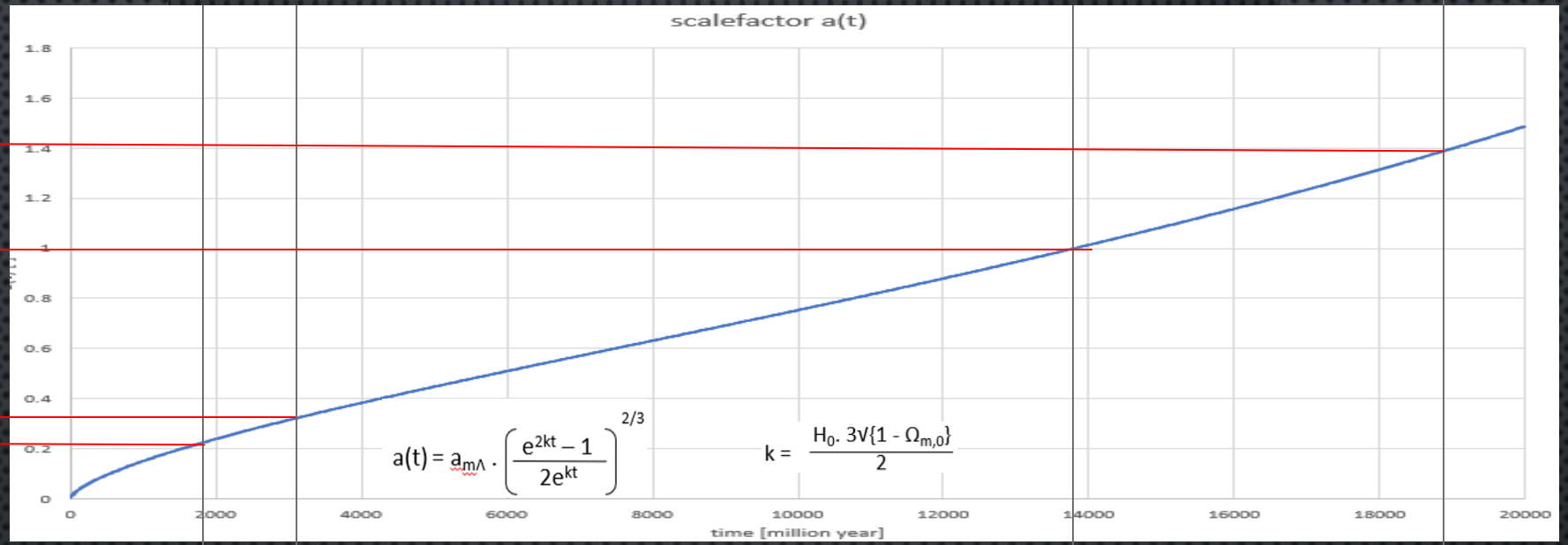
$z(t_0) = \frac{a(t_{ob,0})}{a(t_{em,0})} - 1$	$\overset{?}{>}$	$z(t_1) = \frac{a(t_{ob,1})}{a(t_{em,1})} - 1$
$\frac{a(t_{ob,0})}{a(t_{em,0})}$	$>$	$\frac{a(t_{ob,1})}{a(t_{em,1})}$
$\frac{a(t_{em,1})}{a(t_{em,0})}$	$>$	$\frac{a(t_{ob,1})}{a(t_{ob,0})}$
$\frac{a(t_{em,1})}{a(t_{em,0})}$	$>$	$a(t_{ob,1})$

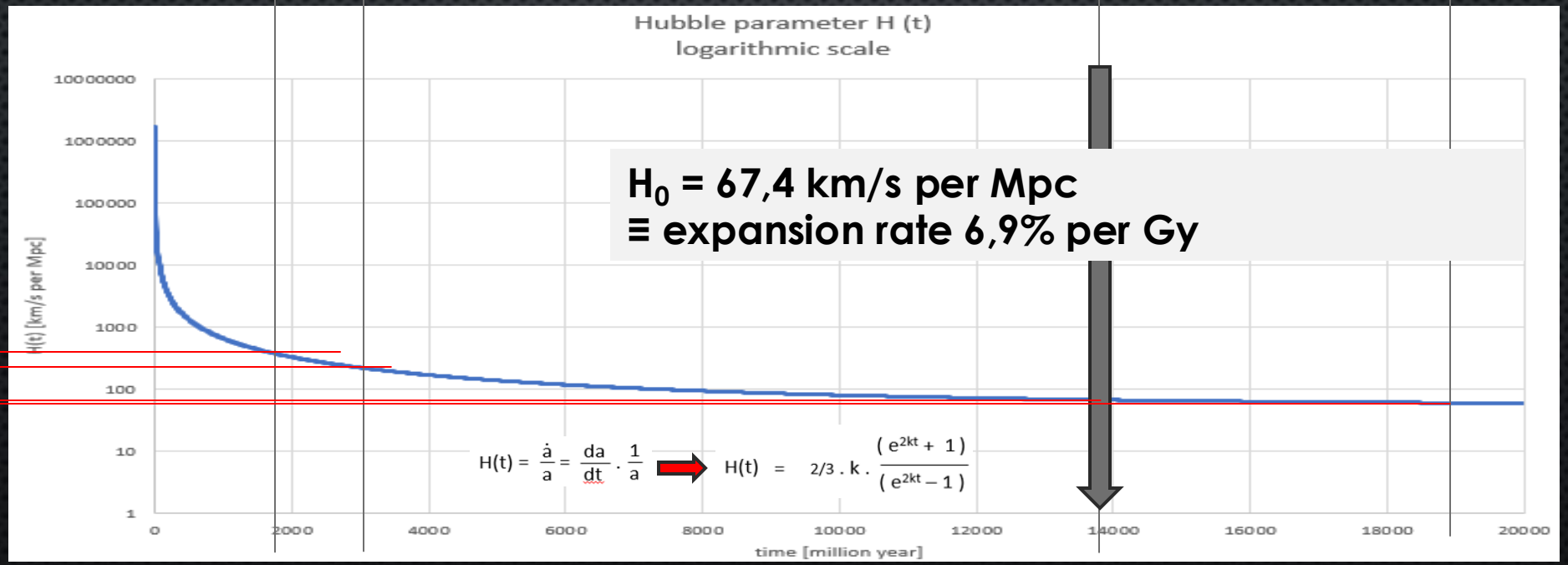
- M.A.W.: ALS (HET QUOTIËNT VAN) DE SCHAALGROEI TUSSEN DE TWEE MOMENTEN VAN EMISSIES GROTER WAS DAN (HET QUOTIËNT VAN DE) DE SCHAALGROEI TUSSEN DE TWEE MOMENTEN VAN WAARNEMEN, DAN **NEEMT DE ROODVERSCHUIVING AF**
- N.B.: HET SCHAALGROEITEMPO ZAL DOOR VERSNELLING VAN DE KOSMISCHE EXPANSIE IN DE TOEKOMST VERDER TOENEMEN EN DAT ZORGT ER VOOR DAT OOK **DE ROODVERSCHUIVING** VAN ZEER VERRE OBJECTEN IN DE VERRE TOEKOMST **WEER ZAL TOENEMEN**.

$$\frac{a(t_{em,1})}{a(t_{em,0})} > \frac{a(t_{ob,1})}{a(t_{ob,0})}$$

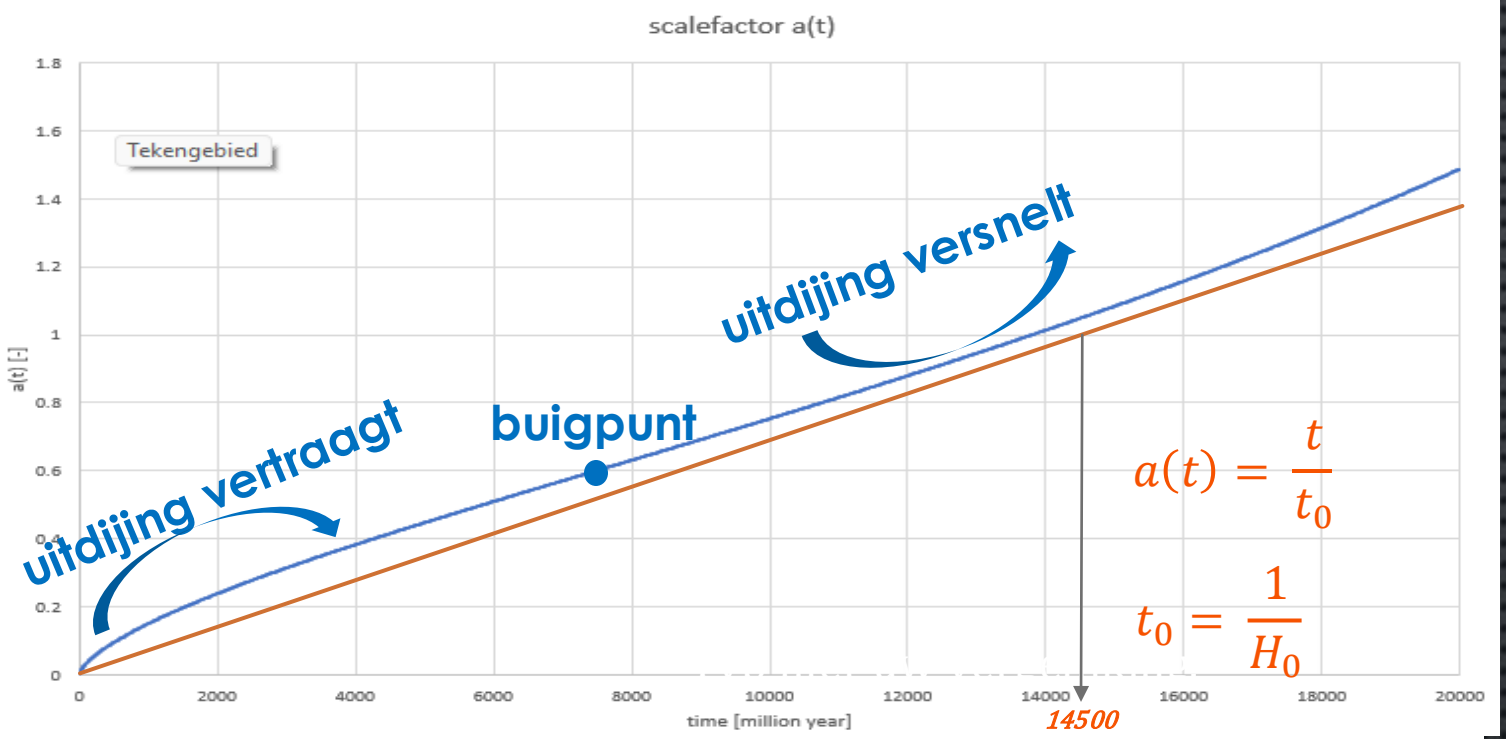


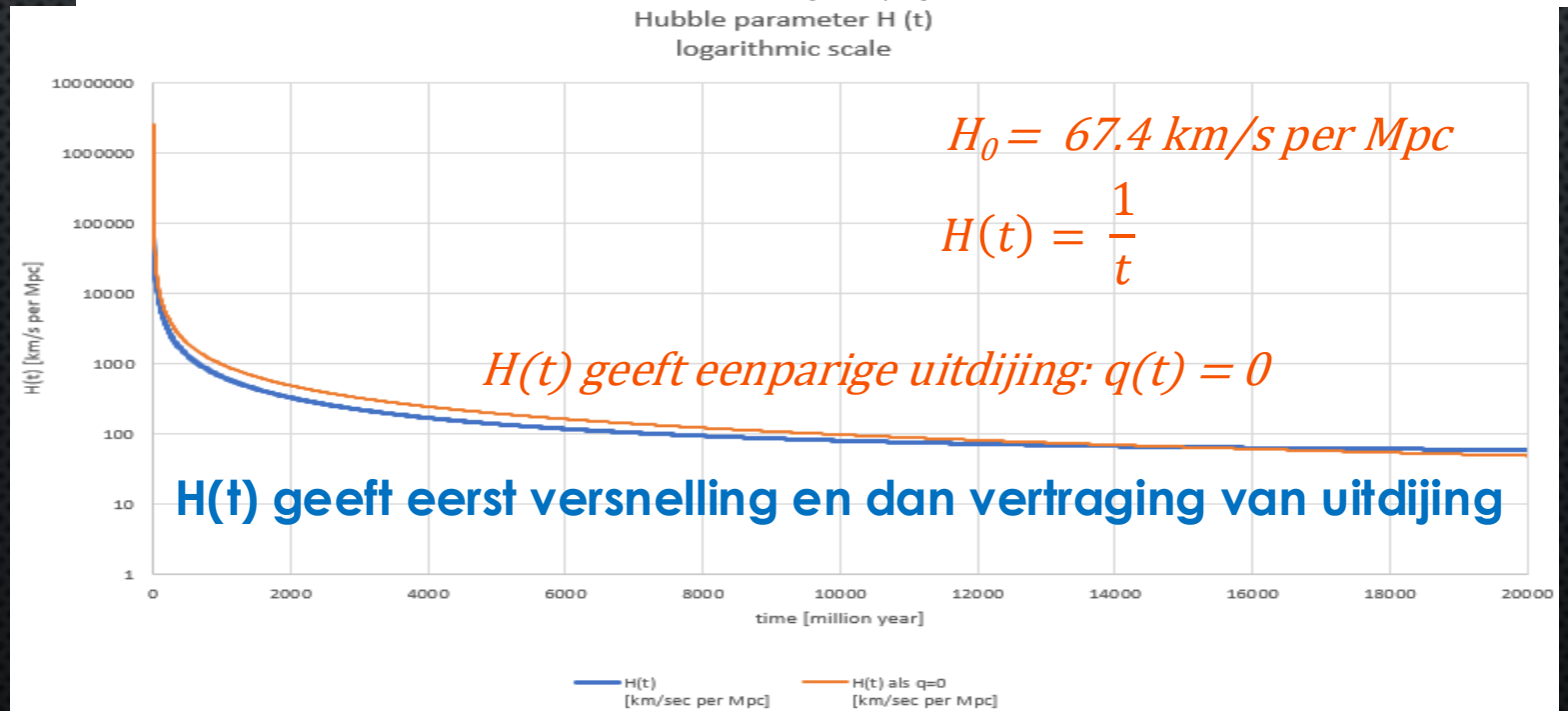
$$\frac{a(t_{em,1})}{a(t_{em,0})} > \frac{a(t_{ob,1})}{a(t_{ob,0})}$$





H_0 = 67,4 km/s per Mpc
≡ expansion rate 6,9% per Gy


scalefactor a(t)
Tekengebied
a(t) [-]
time [million year]
uitdijing versnelt
buigpunt
uitdijing vertraagt
14500
$a(t) = \frac{t}{t_0}$
$t_0 = \frac{1}{H_0}$


Hubble parameter H (t)
logarithmic scale
H(t) [km/s per Mpc]
time [million year]
$H_0 = 67.4$ km/s per Mpc
$H(t) = \frac{1}{t}$
$H(t)$ geeft eenparige uitdijing: $q(t) = 0$
H(t) geeft eerst versnelling en dan vertraging van uitdijing
H(t) [km/sec per Mpc]
H(t) als q=0 [km/sec per Mpc]

VERANDERING ROODVERSCHUIVING IN TIJD: $\frac{dz}{dt} = \dot{z}$

DE VERANDERING VAN Z OP ELK WILLEKEURIG OBSERVATIEMOMENT t_{OB} IS TE BEPALEN MET DE FORMULE:

$\dot{z}_{ob} = (1 + z_{ob})H_{ob} - H_{em}$ OP DIT MOMENT t_0 IS DAT $\dot{z} = (1 + z)H_0 - H_{em}$

HIERIN IS:

- z_{ob} DE GEMETEN ROODVERSCHUIVING OP HET TIJDSTIP VAN OBSERVATIE
- H_{ob} DE WAARDE VAN DE HUBBLE-PARAMETER OP HET TIJDSTIP VAN OBSERVATIE VAN DE STRALING
- H_0 DE HUIDIGE WAARDE VAN DE HUBBLE-PARAMETER
- H_{em} DE HUBBLE-PARAMETERWAARDE TEN TIJDE VAN DE EMISSIE VAN DE ONTVANGEN STRALING

ALLEN SANDAGE VOND DEZE RELATIE IN 1962.

ABRAHAM LOEB NOEMDE DIT IN 1998 'REDSHIFT DRIFT' EN GAF AAN DAT DIT ZOU KUNNEN WORDEN GEMETEN

Direct Measurement of Cosmological Parameters from the Cosmic Deceleration of Extragalactic Objects

Abraham Loeb

Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, 60 Garden Street, Cambridge, MA 02138

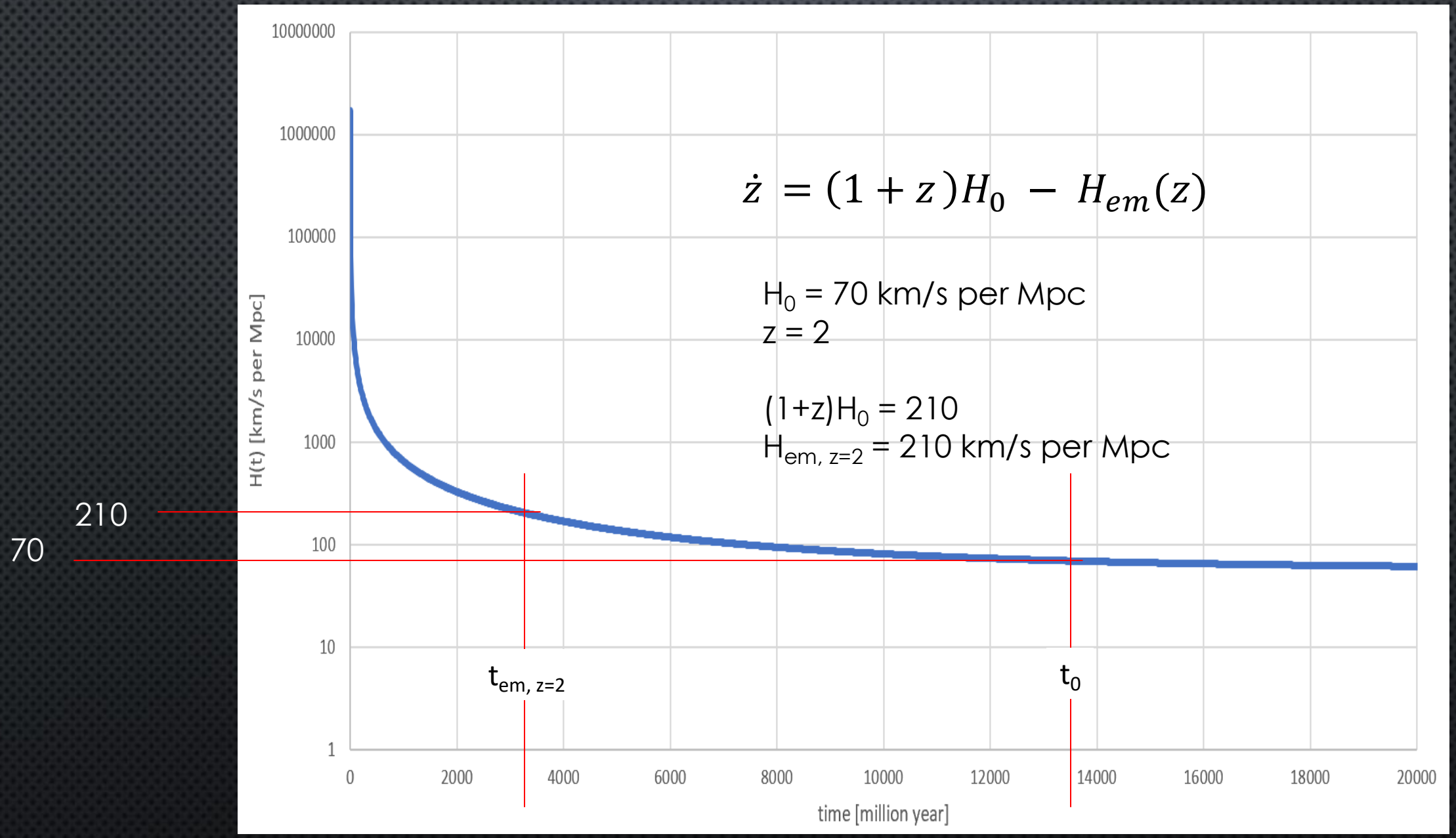
ABSTRACT

The redshift of all cosmological sources drifts by a systematic velocity of order a few m s^{-1} over a century due to the deceleration of the Universe. The specific functional dependence of the predicted velocity shift on the source redshift can be used to verify its cosmic origin, and to measure directly the values of cosmological parameters, such as the density parameters of matter and vacuum, Ω_M and Ω_Λ, and the Hubble constant H_0. For example, an existing spectroscopic technique, which was recently employed in planet searches, is capable of uncovering velocity shifts of this magnitude. The cosmic deceleration signal might be marginally detectable through two observations of $\sim 10^2$ quasars set a decade apart, with the HIRES instrument on the Keck 10 meter telescope. The signal would appear as a global redshift change in the Lyα forest templates imprinted on the quasar spectra by the intergalactic medium. The deceleration amplitude should be isotropic across the sky. Contamination of the cosmic signal by peculiar accelerations or local effects is likely to be negligible.

Subject headings: cosmology: theory

submitted to *ApJ Letters*, Feb. 10th, 1998

https://arxiv.org/abs/astro-ph/9802122


$\dot{z} = (1+z)H_0 - H_{em}(z)$
H_0 = 70 km/s per Mpc
z = 2
$(1+z)H_0$ = 210
$H_{em,\ z=2}$ = 210 km/s per Mpc
210
70
$t_{em,\ z=2}$
t_0
H(t) [km/s per Mpc]
time [million year]
10000000
1000000
100000
10000
1000
100
10
1
0
2000
4000
6000
8000
10000
12000
14000
16000
18000
20000

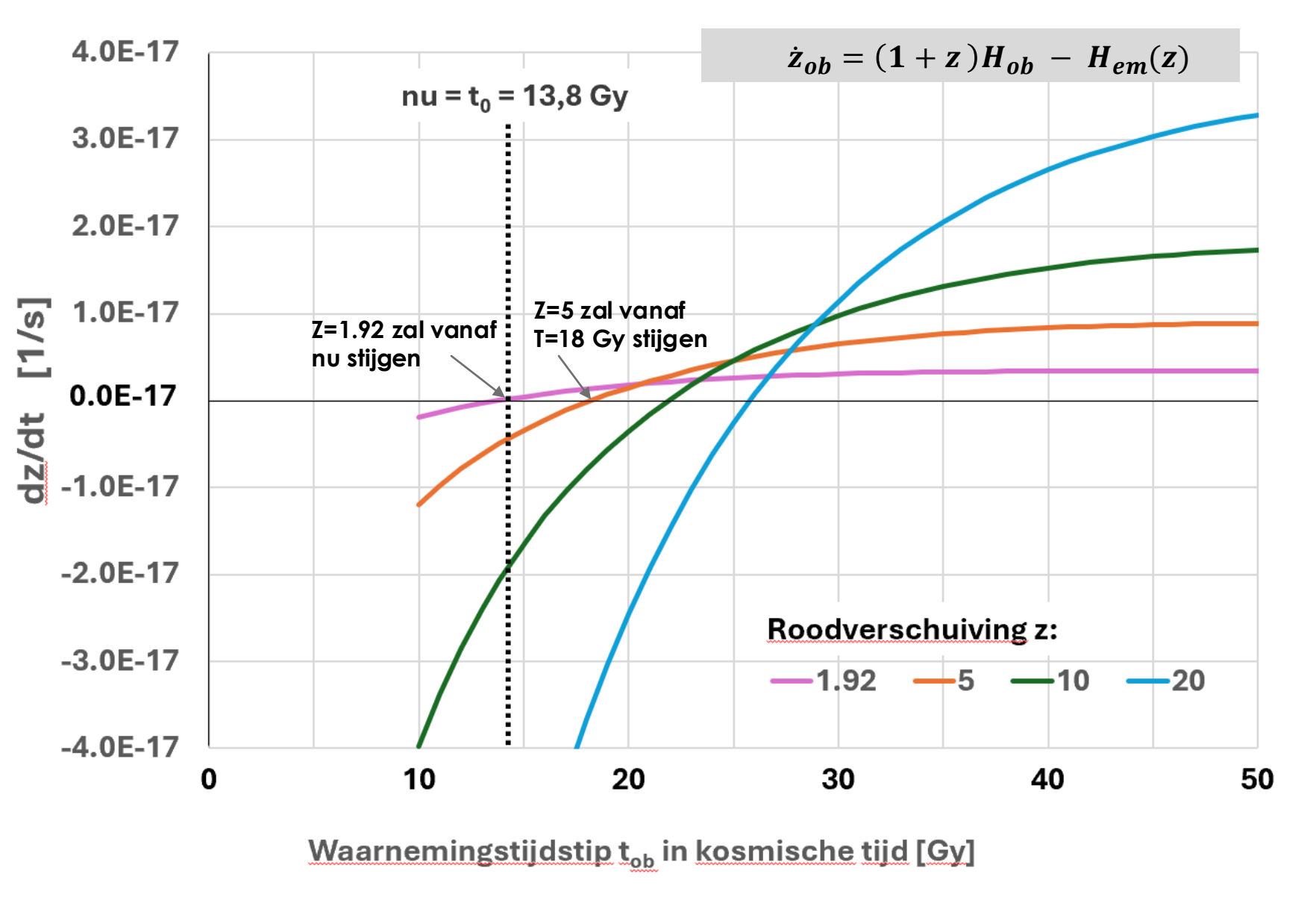
AFNAME ROODVERSCHUIVING: ALLES DRAAIT OM TEMPO'S VAN DE SCHAALGROEI TOEN EN NU

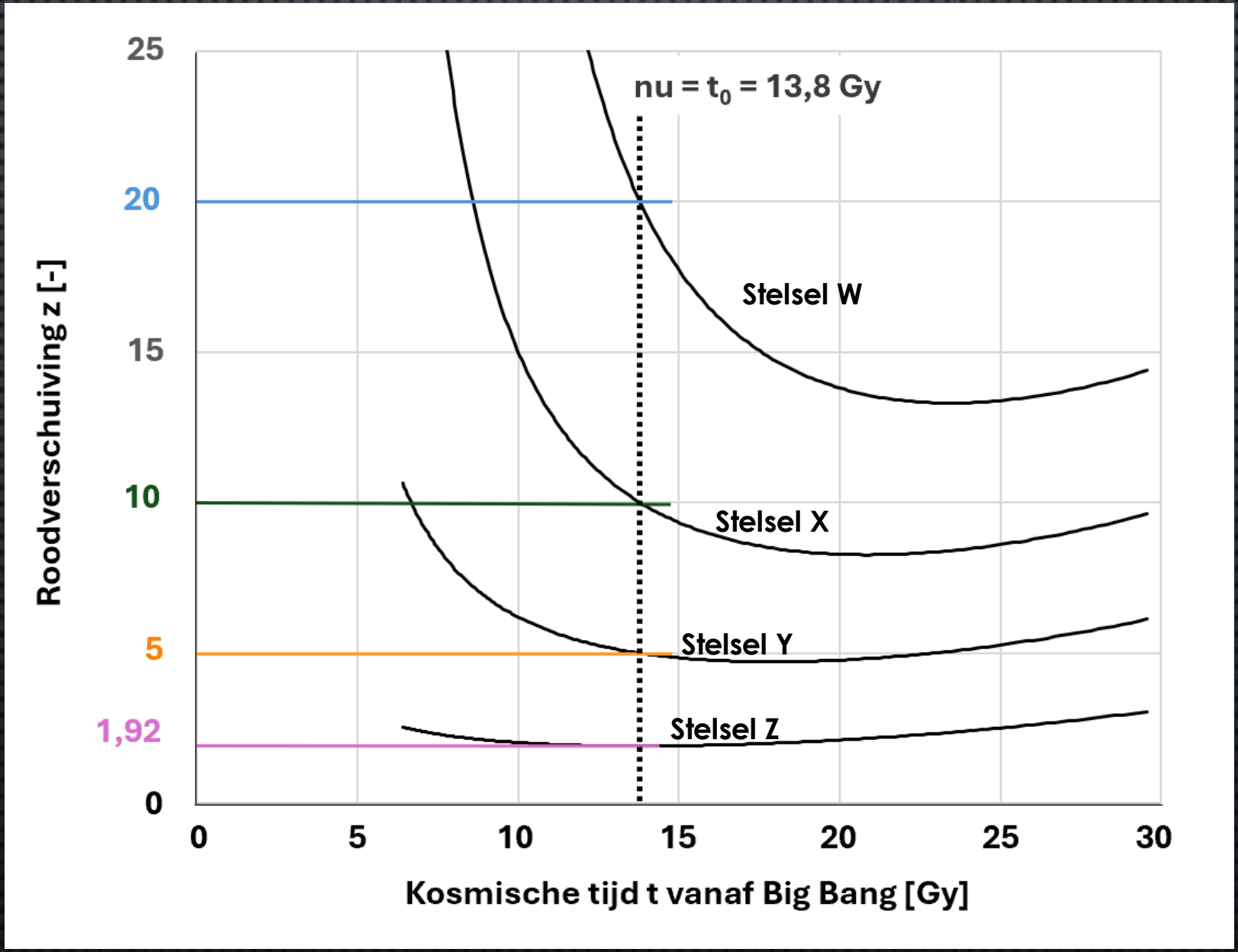
$$\dot{z}_{ob} = (1 + z_{ob})H_{ob} - H_{em}$$

Next, by differentiating $(1 + z) = a(t_{abs})/a(t_{em})$ with respect to t_{abs} and combine it with the previous equation to find

$$\frac{dz}{dt_{abs}} = (1 + z)H_{abs} - H_{em} = \frac{\boxed{\dot{a}_{abs} - \dot{a}_{em}}}{a_{em}}. \quad (24)$$

2410.08741


$\dot{z}_{ob} = (1 + z)H_{ob} - H_{em}(z)$
nu = t_0 = 13,8 Gy
Z=1.92 zal vanaf nu stijgen
Z=5 zal vanaf T=18 Gy stijgen
Roodverschuiving z:
1.92
5
10
20
4.0E-17
3.0E-17
2.0E-17
1.0E-17
0.0E-17
-1.0E-17
-2.0E-17
-3.0E-17
-4.0E-17
dz/dt [1/s]
0
10
20
30
40
50
Waarnemingstijdstip t_{ob} in kosmische tijd [Gy]


nu = t_0 = 13,8 Gy
Stelsel W
Stelsel X
Stelsel Y
Stelsel Z
Roodverschuiving z [-]
25
20
15
10
5
1,92
0
0
5
10
15
20
25
30
Kosmische tijd t vanaf Big Bang [Gy]

CONCLUSIES

AANBEVELING

- Bij objecten met z>1.92 zal bij toekomstige waarnemingen de roodverschuiving afnemen. Hoe groter z, hoe groter de afname per tijdseenheid. De verschillen zijn uiterst klein. Voorbeeld bij z = 10: afname z is 0,000653 per miljoen jaar
- De afname is tijdelijk: in de (soms zeer verre) toekomst zal de roodverschuiving weer toenemen, als de versnelling doorzet…..
- Oorzaak van de afname is het gegeven dat de **kosmische-schaalgroei in de periode tussen twee emissiemomenten** van een object relatief gezien **groter is dan de schaalgroei tussen twee waarnemingsmomenten**. De lichtgolf wordt op de reis naar ons toe minder opgerekt door expansie van het universum en is dus minder rood
- Indien er langjarig (stel 10 jaar) miljoenen objecten met zeer hoge nauwkeurigheid worden gemonitord op verschillen in roodverschuiving zou dit effect mogelijk wel gemeten kunnen worden. Dat zou betrouwbare informatie kunnen opleveren voor de waarde van parameters ΛCDM model

used to verify its cosmic origin, and to measure directly the values of cosmological parameters, such as the density parameters of matter and vacuum, Ω_M and Ω_Λ, and the Hubble constant H_0. For example, an existing spectroscopic technique, which was

Komt dat zien!