



DE EXPANSIE VAN HET UNIVERSUM: DE RUIMTEREK EN DE REIS VAN HET LICHT

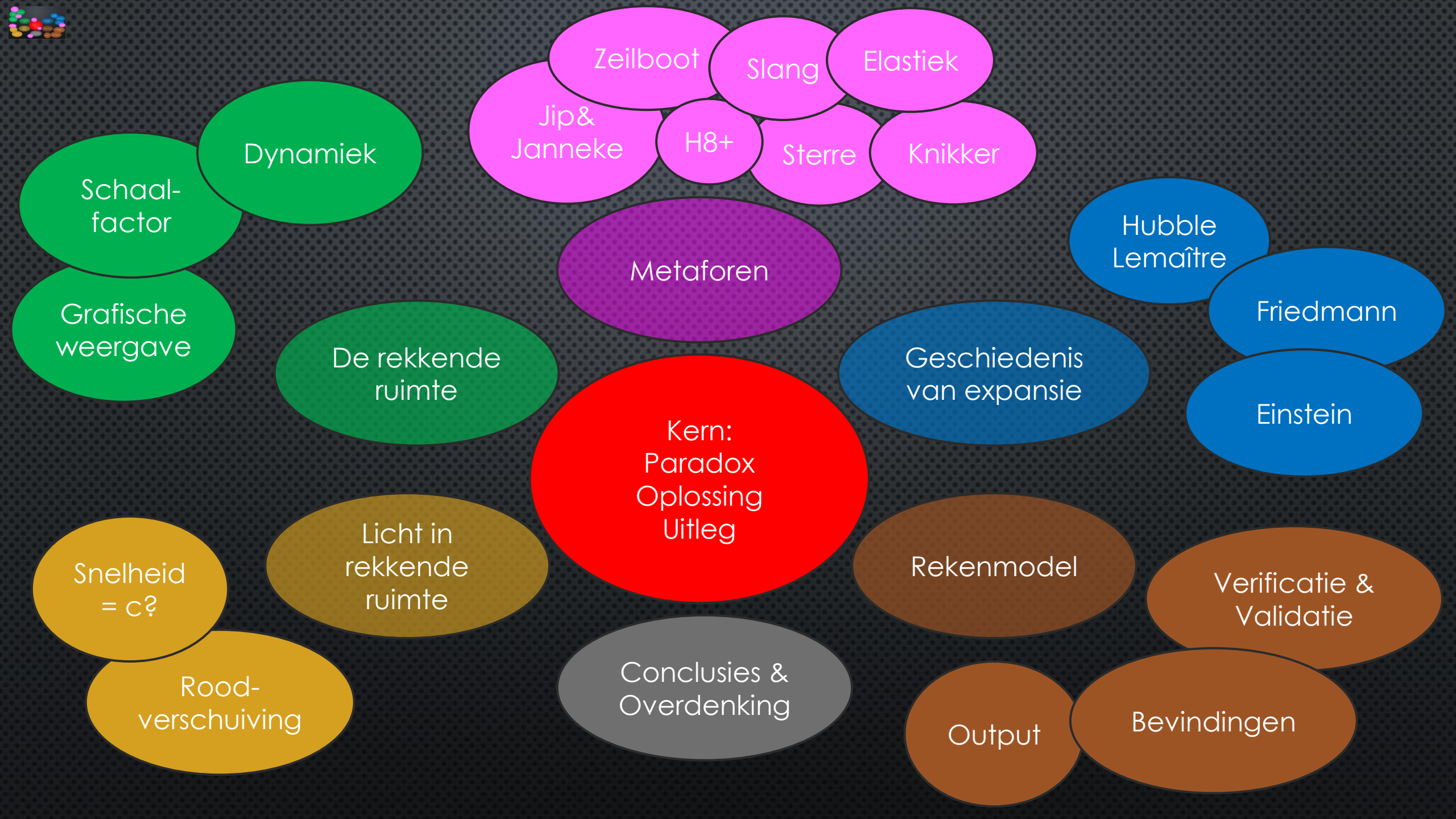
Eric Sluimer

Daedalus workshop 24 oktober 2024



DRIE VRAGEN

- **WIE/WAT BEN IK?**
- **WAAR BEN IK?**
- **WAT IS HET DOEL EN HOE LEEF IK DIT LEVEN HET BEST?**



Dynamiek

Schaal-factor

Grafische weergave

De rekkende ruimte

Licht in rekkende ruimte

Rood-verschuiving

Snelheid = c?

Conclusies & Overdenking

Metaforen

Zeilboot

Slang

Elastiek

Jip & Janneke

H8+

Sterre

Knikker

Geschiedenis van expansie

Rekenmodel

Output

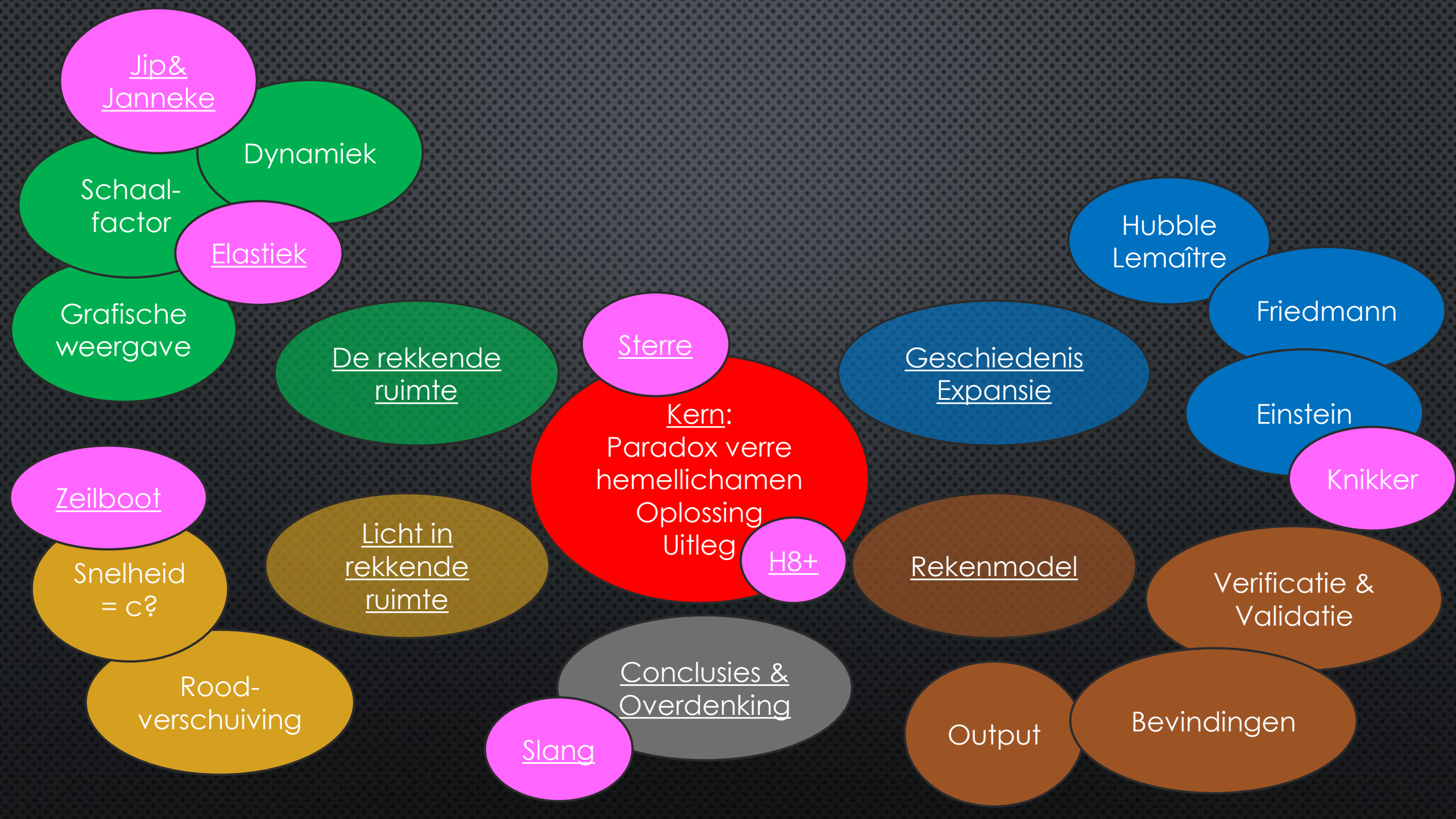
Bevindingen

Hubble Lemaître

Friedmann

Einstein

Verificatie & Validatie





Sterre

OUDE FOTO

FOTO UIT CA. 1910
LOCATIE TOURCOING (B)
MEISJE OP KLEED
LEEFTIJD CA. 1 JAAR



WAT IS ER MET DEZE FOTO GEBEURD 1910 – 2024?
WELKE WEG HEEFT DIE FOTO AFGELEGD, WAARAAN BLOOTGESTELD?

WAT IS ER MET STERRE GEBEURD?
WAARHEEN IS ZE GEREISD EN WAAR ZOU ZE NU ZIJN?
LEEFT ZE NOG?





VER WEG: OUD LICHT, OUD BEELD

- HEELAL IS UITERST KLEIN BEGONNEN: VANUIT 'HET NIETS' DE 'BIG BANG', 14 MILJARD JAAR GELEDEN
- WE KIJKEN MET RUIMTETELESCHOPEN STEEDS VERDER WEG: WE ZIEN STEEDS VERDER VERWIJDERDE OBJECTEN, HUBBLE (1990) EN VANAF ZOMER 2022 JAMES WEBB (JWST)
- HOE VERDER WE IN DE RUIMTE KIJKEN, HOE LANGER HET LICHT (SNELHEID c) EROVER HEEFT GEDAAN OM ONS TE BEREIKEN. VER WEG = ZICHT OP GESCHIEDENIS VAN HET HEELAL. WE ZIEN 'OUD LICHT'
- VERGELIJK MET SPIEGEL DIE ZO VER WEG STAAT DAT JOUW REFLECTIE ER JAREN OVER DOET OM JE OOG TE BEREIKEN. JE ZIET ER INEENS VEEL JONGER UIT!



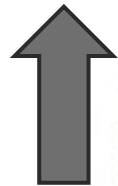
PARADOX, KRONKEL IN MIJN HOOFD

- DUS: WE ZIEN NAARMATE WE VERDER WEG-/TERUGKIJKEN STEEDS MEER DE SITUATIE VAN UNIVERSUM KORT NA HET ONTSTAAN ERVAN
- IN OKTOBER 2023 EN JANUARI 2024 DETECTEERDE JWST STRALING VAN OBJECT JADES-GS-z14-0, UITGEZONDEN 285 MILJOEN JAAR NA 'DE GEBOORTE VAN HET UNIVERSUM' [1]. HEELAL WAS EEN PEUTER VAN 20 MAANDEN OUD
- **MAAR HOE VALT DAT TE RIJMEN: VERDER WEG, OUDER LICHT, UIT DE TIJD DAT HET HEELAL VEEL KLEINER WAS. HOE KUNNEN WE STEEDS VERDER WEG KIJKEN NAAR OBJECTEN DIE TOEN - TIJDENS DE EMISSIE VAN DAT LICHT - VEEL DICHTERBIJ ONS STONDEN?**

The farther away we look, the closer in time we're seeing to the first moments of the Big Bang. When we see objects from the first ~1 billion years of cosmic history, there are still neutral, light-blocking atoms in the intergalactic medium, preventing us from seeing the shorter emitted wavelengths of light from our vantage point today.

BIG THINK

[2]



The farther away we look, the closer in time we're seeing to the first moments of the Big Bang. When we see objects from the first ~1 billion years of cosmic history, there are still neutral, light-blocking atoms in the intergalactic medium, preventing us from seeing the shorter emitted wavelengths of light from our vantage point today.

**The farther away we look,
the closer in time we see to BB.
The closer in distance we observe?**

**VRAAG: HERKENT IEMAND DEZE PARADOX?
VRAAG: WIE WEET DE OPLOSSING?**



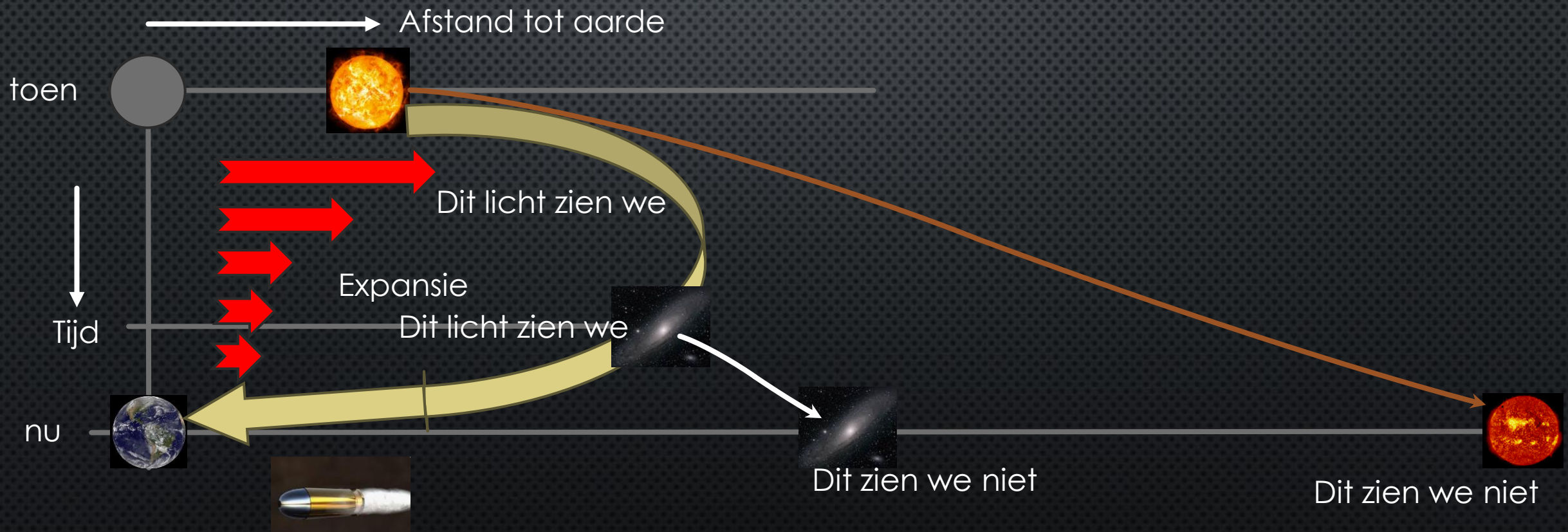
OPLOSSING

- WE ZIEN DE VERRE OBJECTEN NIET WAAR DEZE NU STAAN
- HET LICHT DAT WE DAARVAN NU ZIEN IS LANG GELEDEN UITGESTRAALD VANAF EEN ANDERE PLEK
- DAT LICHT HEEFT EEN LANGE REIS GEMAAKT EN WE ONTVANGEN HET NU, HIER OP/OM AARDE

- LICHTDEELTJES VAN HEMELICHAMEN MET ROODVERSCHUIVING $z > 1,6$ EERST DE RUIMTE IN 'GEDUWD' DOOR DE ENORME EXPANSIE VAN HET UNIVERSUM
- DOOR AFNAME VAN HET EXPANSIETEMPO KONDEN FOTONEN ONS ALSNOG BEREIKEN
- TIJDENS DE REIS IS DE LICHTGOLF MEEGEREKT MET DE RUIMTE, WAT WE ZIEN ALS ROODVERSCHUIVING



LICHT VAN VERRE HEMELLIJCHAMEN





H8+

WAT DEED HET LICHT DAT WE NU ZIEN?

- TEGEN DE EXPANSIE INROEIEN
- EERST WORDEN TERUGGEZET
- MAAR FLOW NEEMT AF IN TIJD
- EN FLOW NEEMT AF RICHTING FINISH
- AANKOMST MET MAXIMALE SNELHEID
- SNELHEID T.O.V. MEDIUM CONSTANT



Foto: De Holland Acht - door Benedict Tufnell

HOE GEVONDEN?

- REKENMODEL: EXPANSIE VAN UNIVERSUM VAN VLAK HEELAL MET $\Omega_{\Lambda} > 0$
- BANEN VAN HEMELICHAMEN ALS FUNCTIE VAN TIJD BEREKEND
- BAAN VAN HET LICHT BEREKEND

- VERIFICATIE EN VALIDATIE VAN MODEL: GOEDE TOT ZEER GOEDE NAUWKERIGHEID
- INZICHT IN DYNAMIEK: HOE WERKT HET Λ CDM MODEL?
- RESULTAAT: OPLOSSING, VERRASSING EN VERWONDERING







VER WEG = LANG GELEDEN? LICHT GAAT TOCH SUPERSNEL?

- SNELHEID VAN GELUID = 0,343 KM/S, SNELHEID LICHT c = 299.792 KM/S (FACTOR 874.000)
- DONDER EN BLIKSEM OP 10 KM: GELUID IN 29 S BIJ WAARNEMER, LICHT IN 0,000033 S
- HEELAL IS GROOT, HEEL GROOT. VOORBEELD OP CA. HELFT VAN 'STRAAL WAARNEEMBAAR HEELAL': 2×10^{23} KM.
- DUURT MEER DAN 21 MILJARD JAAR VOORDAT DIE BIJ JWST OP DE DETECTOR LANDT.
- DUS: 2×10^{23} KM IS RUIM 21 MILJARD LICHTJAAR [LY] ALS HET LICHT MET SNELHEID c REIST

VRAAG: REIST LICHT ALTIJD MET SNELHEID c ?

VRAAG: REIST LICHT ALTIJD MET SNELHEID c NAAR ONS WAARNEMERS TOE?

- JA: T.O.V. LOKALE OMGEVING
- NEE DAT IS NIET ALTIJD HET GEVAL: LICHT BEWEEGT MEE MET DE RUIMTE. SAMENGESTELDE SNELHEID. HOE VERDER VAN ONS VERWIJDERD, HOE LANGZAMER HET LICHT ONZE KANT OP KOMT. ALS HET AL ONZE KANT OP KOMT

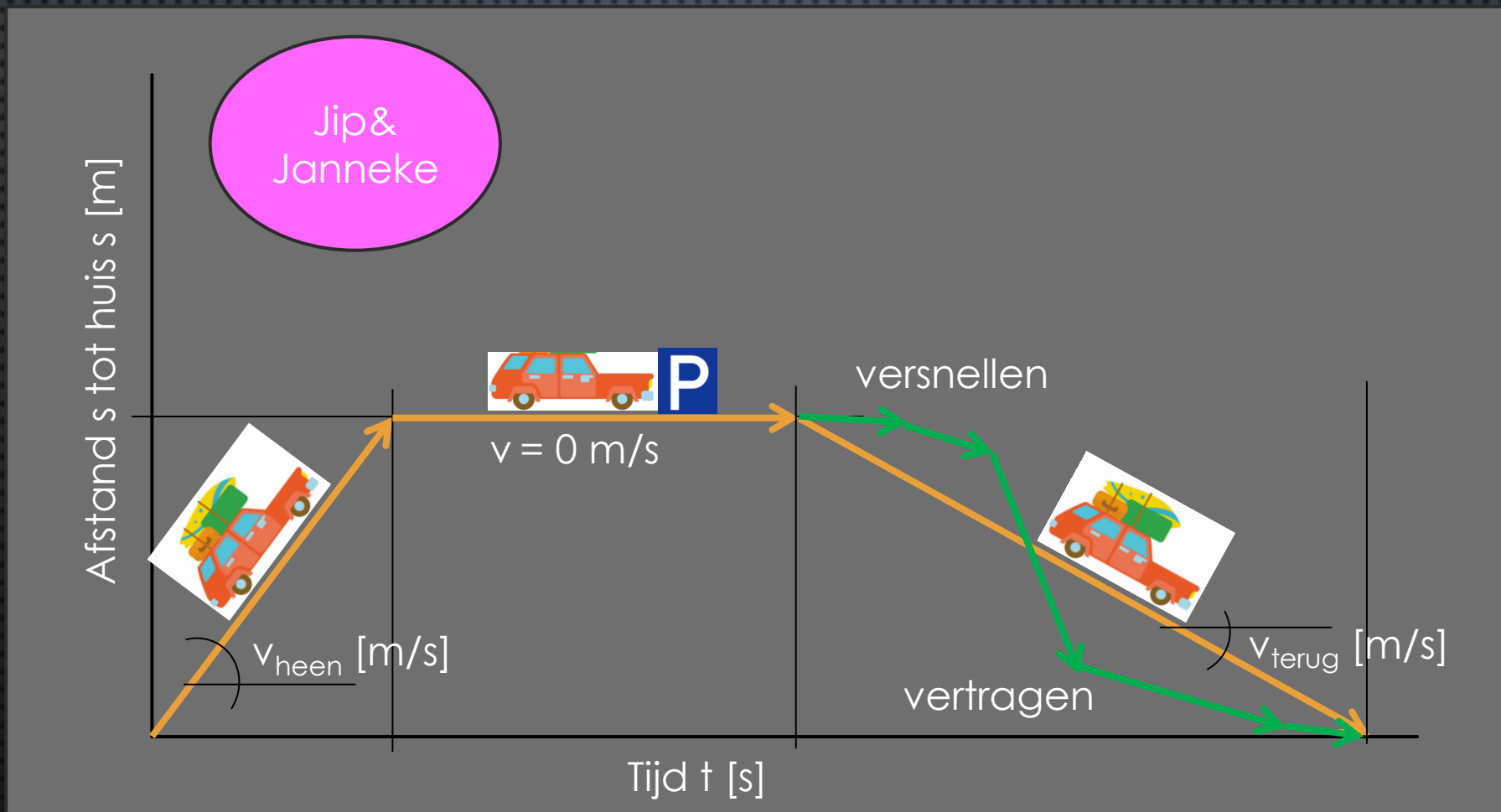


SNELHEID EN VERSNELLING

- HEMELICHAMEN: STERREN, ZONNESTELSELS, STERRENSTELSELS ZOALS ONZE MELKWEG (GALAXIES), GALAXY CLUSTERS, SUPERCLUSTERS
- SNELHEID T.O.V. ELKAAR: OP SCHAAL BINNEN CLUSTER STERRENSTELSELS SOMS NAAR ELKAAR TOE, OP GROTERE SCHAAL BEWEEGT ALLES VAN ELKAAR AF
- IN DE LOOP VAN DE (MILJARDEN) JAREN KAN DIE BEWEGING VERANDEREN



VOORBEELD SNELHEID EN VERSNELLING





EXPANSIE: DE RUIMTE REKT



- STERRENSTELSELS BEWEGEN NIET 'DOOR DE RUIMTE HEEN', DUS GEEN SNELHEIDSVERSCHIL TUSSEN STELSEL EN HET OMLIGGENDE 'RUIMTELIJK WEEFSEL'
- 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
- 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



REKKEN KAN SNEL (DOEN) GAAN

- STEL LENGTE ELASTIEK IN RUST IS 1 M, REK IS 10% PER UUR, ONEINDIG REKBAAR MATERIAAL
- NA 1 UUR: $1,00 \times 1,1 = 1,10$ M, SNELHEID UITEINDE 0,10 M/UUR
- NA 2 UUR: $1,10 \times 1,1 = 1,21$ M, SNELHEID UITEINDE 0,11 M/UUR
- NA 3 UUR: $1,21 \times 1,1 = 1,33$ M, SNELHEID UITEINDE 0,12 M/UUR
- NA 4 UUR: $1,33 \times 1,1 = 1,46$ M, SNELHEID UITEINDE 0,13 M/UUR
- NA X UUR: $(1+\text{REK})^X$ M
- VOORBEELD NA 10 UUR: $(1+0,1)^{10} = 2,59$ M, SNELHEID UITEINDE 0,82 M/UUR
- VOORBEELD NA 100 UUR: $(1+0,1)^{100} = 13.780$ M, SNELHEID UITEINDE 1.252 M/UUR
- VOORBEELD NA 1.000 UUR: $(1+0,1)^{1.000} = 2,47\text{E}+41$ M, SNELHEID UITEINDE $2,24\text{E}+40$ M/UUR



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.

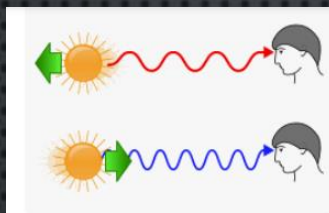
TOEN VANAF CA. 380.000 JAAR NA BIG BANG LICHT ZICH VRIJELIJK KON GAAN VERSPREIDEN WAS HET HEELAL CIRCA 1.100 X KLEINER DAN NU: $a = 1/1.100 = 0,0091$

IN 14 MILJARD JAAR 1.100 KEER GROTER: GEMIDDELDE REK 65% PER MILJARD JAAR (GY)

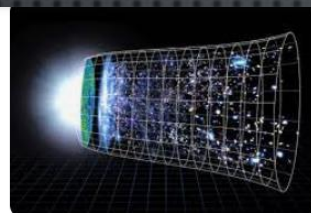




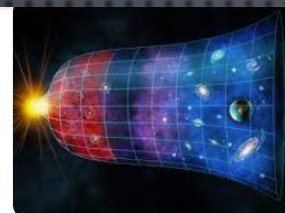
ILLUSTRATIES RUIMTEREK, COSMIC EXPANSION



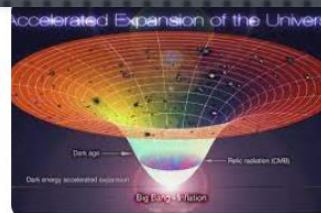
Wikipedia
Roodverschuiving - Wikipedia



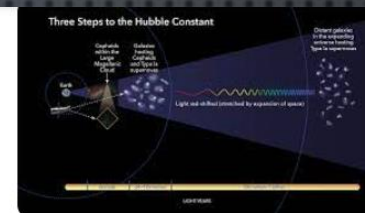
SciTechDaily
Mystery of Universe's Expansion Rate: Hu...



BBC Sky at Night Magazine
Expansion of the Universe | Question...



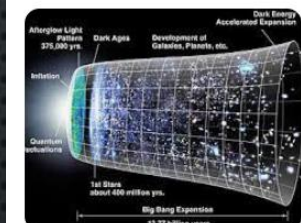
Wikipedia
Accelerating expansion of the universe - Wi...



NASA
Mystery of Universe's Expansion Rate Widens Wit...



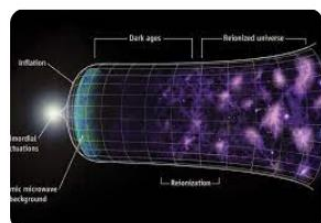
Space.com
Our expanding universe: Age, history &...



Wikipedia
Expansion of the universe - Wikipedia



Wikipedia
Accelerating expansion of the universe - Wi...



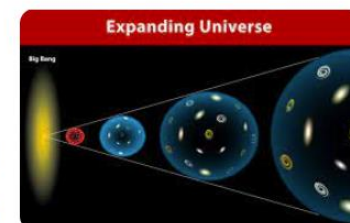
Forbes
This Is Why We Aren't Expanding, Even If T...



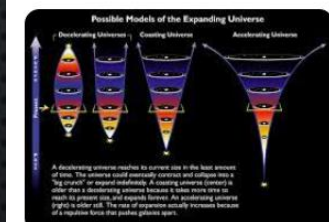
Space.com
Our expanding universe: Age, history &...



The Conversation
Universe expansion - information, recherche ...



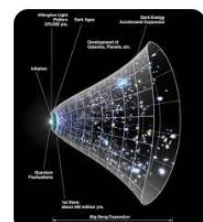
Science Sparks
How does the Universe expand? - Space Scienc...



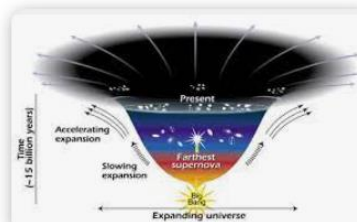
ESA/Hubble
Possible models of the expanding Univers...



Forbes
Ask Ethan: If The Universe Is Expanding, Are ...



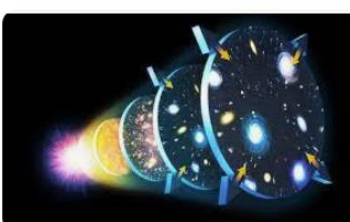
SciTechDaily
Measuring the Expansion...



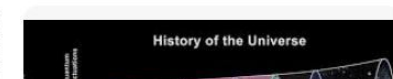
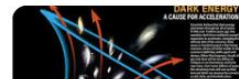
Room The Space Journal of Asgardia - EU.COM
New research questions the rate at which the Univ...

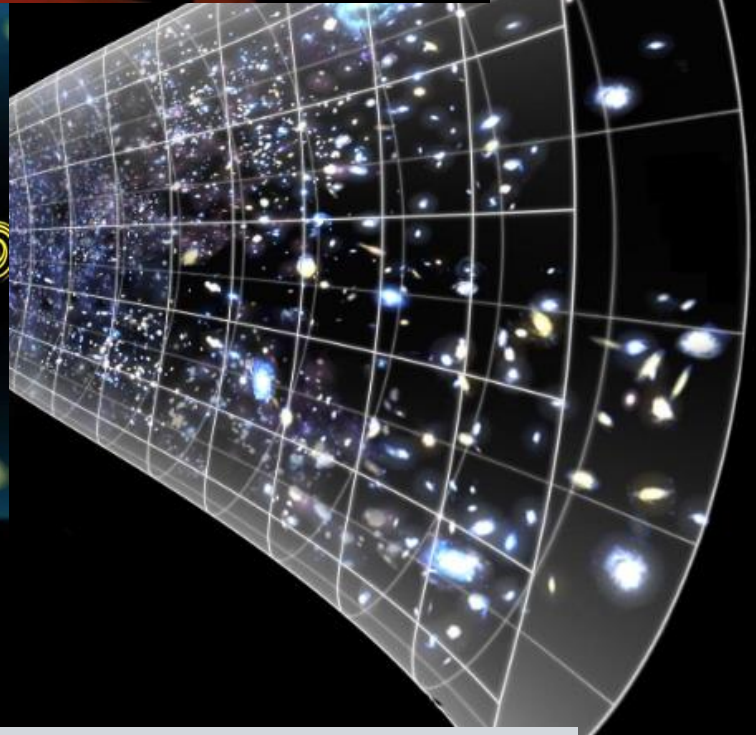
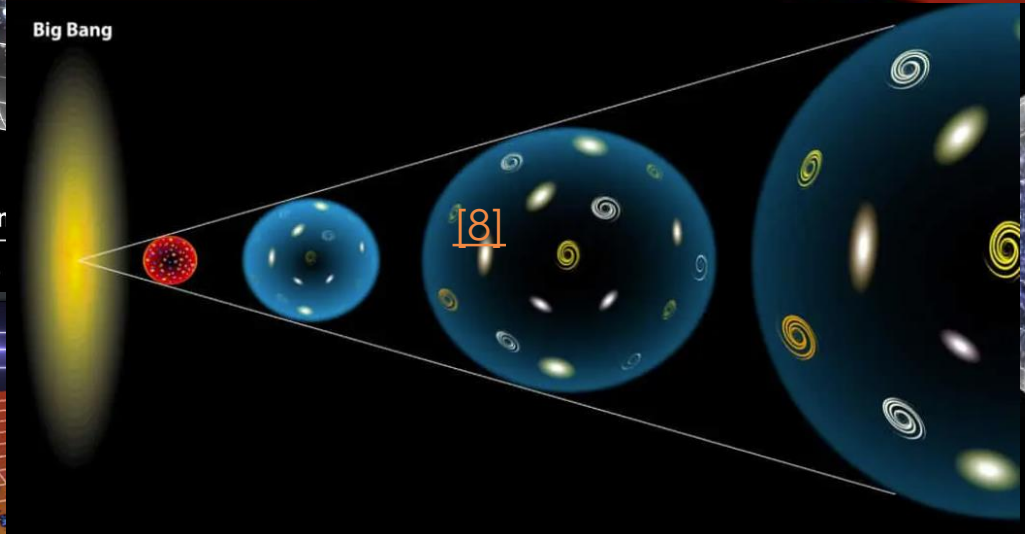
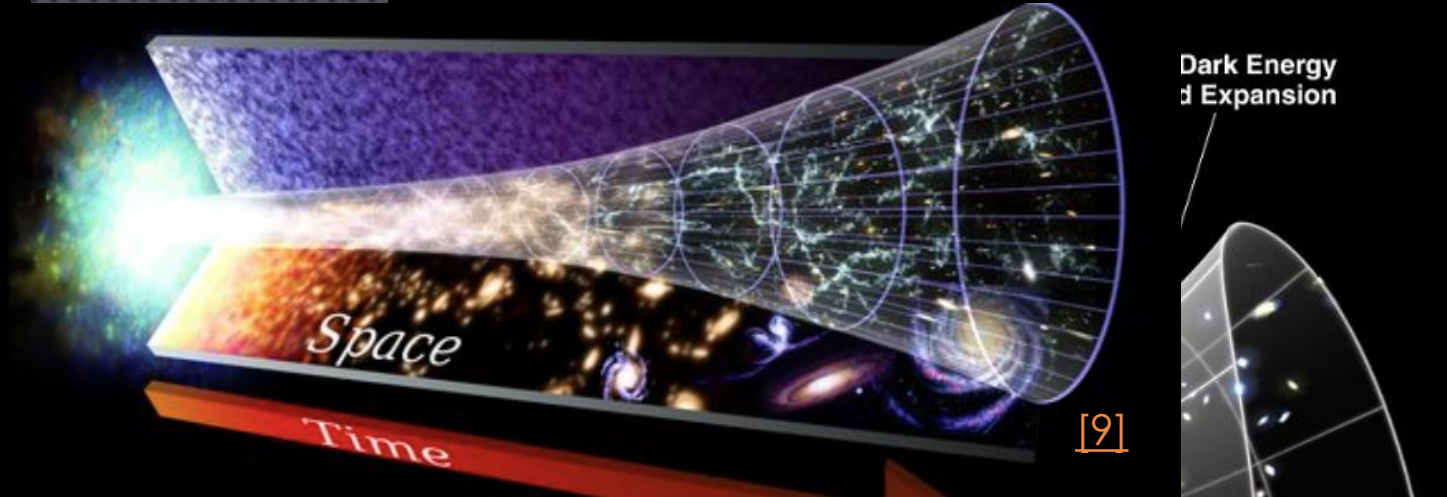
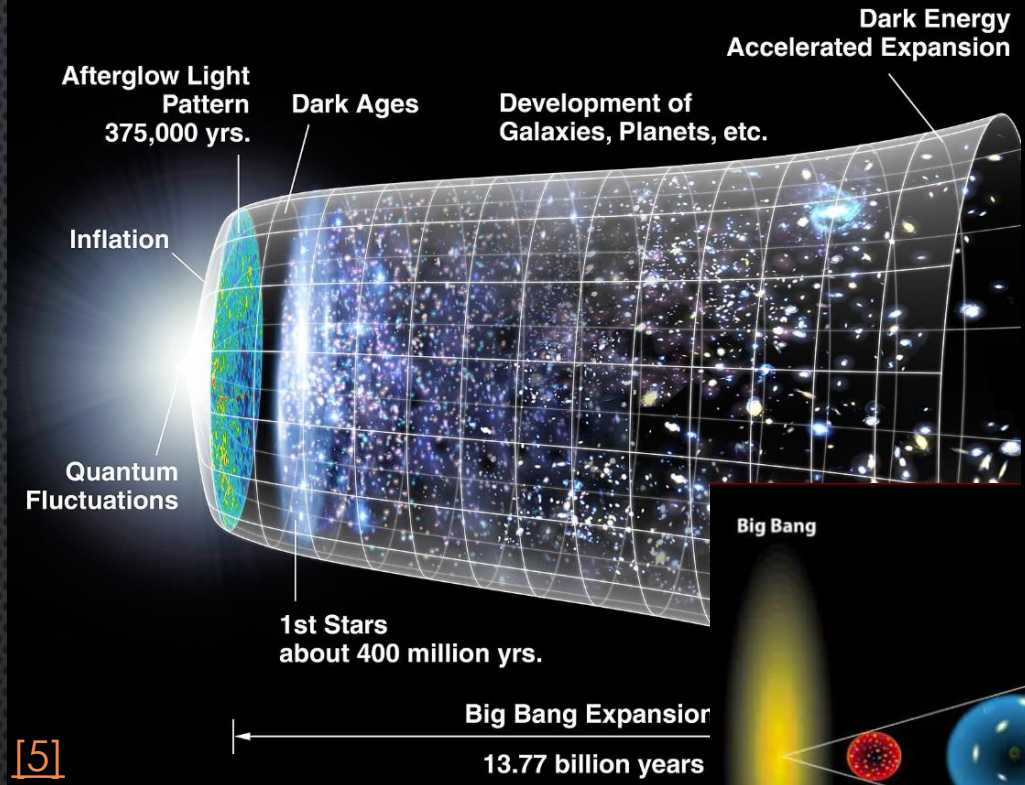


New Scientist
The universe is expanding, but what exac...



Daily Express
Expanding universe theory: Physicists solve conu...





VRAAG: WAT IS DE MEEST REALISTISCHE PRESENTATIE? Antwoord =



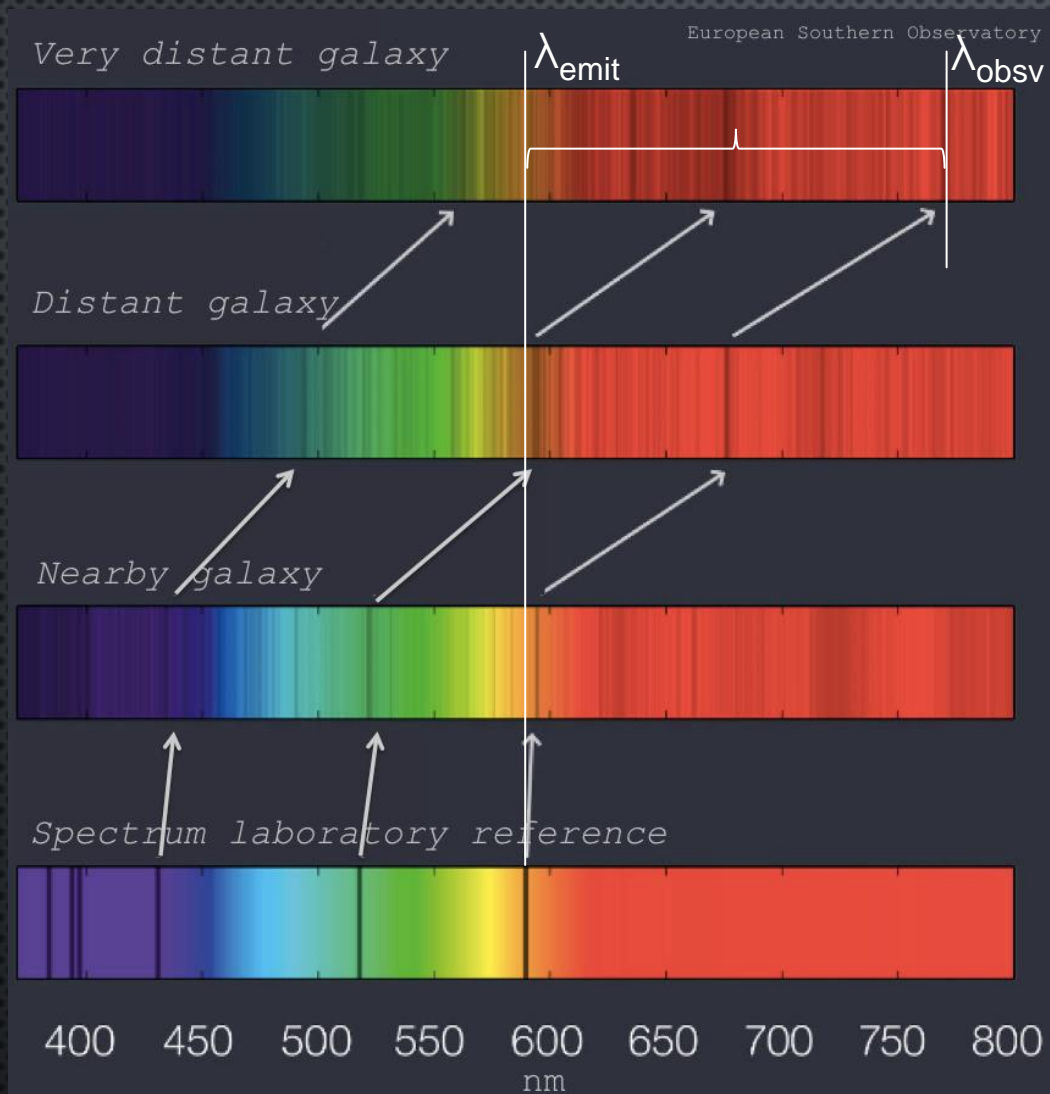




LICHT IN EEN REKKENDE RUIMTE

- FOTON BEWEEGT T.O.V. ZIJN DIRECTE OMGEVING (IN VACUUM) ALTIJD MET SNELHEID c
- GOLFLENGTE VAN REIZEND LICHT IS ONDERHEVIG AAN DE REK DIE HET TIJDENS REIS ONDERVINDT
- GOLFLENGTE REKT MEE MET IDENTIEK 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.)
- IS KOSMOLOGISCHE ROODVERSCHUIVING DOOR ONDERGAAN VAN RUIMTEREK



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

↓

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

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



REIST LICHT MET SNELHEID $v=c$ NAAR WAARNEMER?

Zeilboot



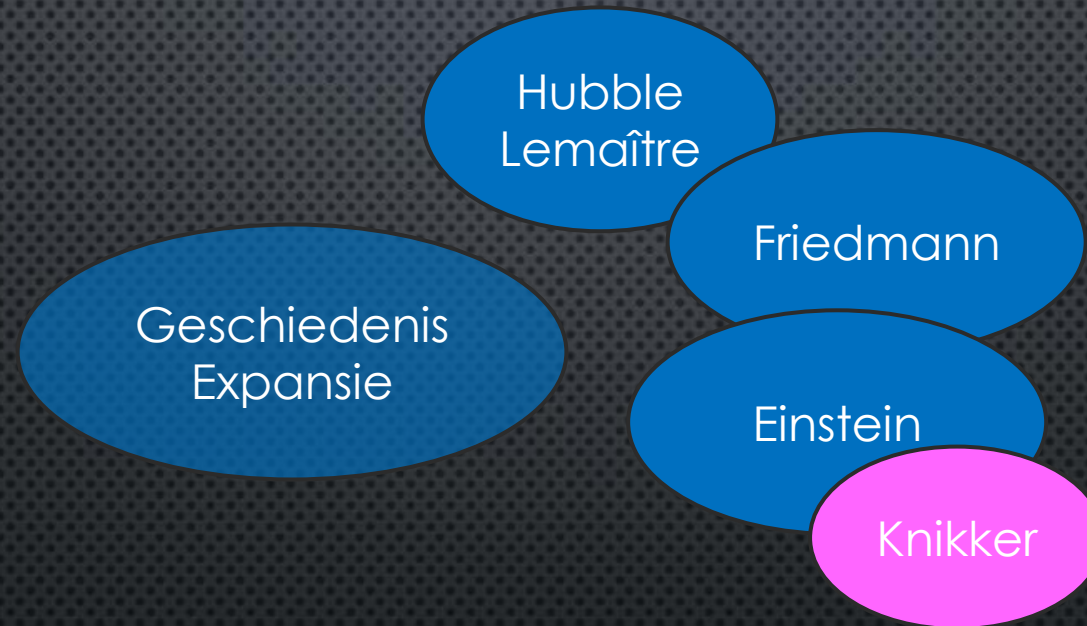
TEGEN DE STROOM IN ZEILEN:

- IS DE BOOTSNELHEID GROTER DAN DE STROOMSNELHEID, GA JE VOORUIT
- IS DE BOOTSNELHEID GELIJK AAN DE STROOMSNELHEID, BLIJF JE OP ZELFDE PLEK
- IS DE STROMING STERKER DAN DE BOOTSNELHEID DOOR HET WATER, GA JE ACHTERUIT

LICHT REIST TEGEN DE RUIMTEREK IN, $0 < v \leq c$

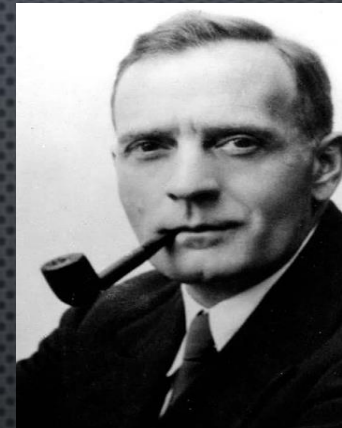
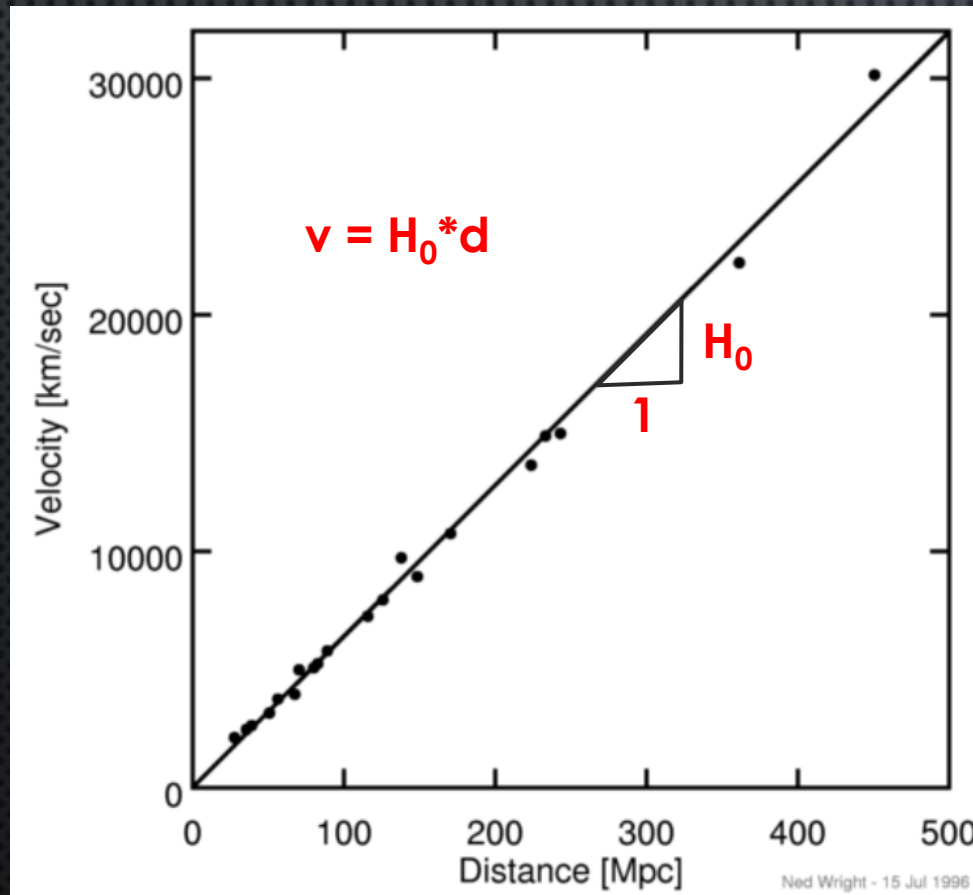
- LICHT REIST IN VACUUM MET SNELHEID $c = 299.792$ km/s **T.O.V. LOKAAL SPACE FABRIC**
- RUIMTE REKT EN DAARDOOR BEWEGEN PUNTEN IN DE RUIMTEN WEG VAN ONS/DETECTOREN
- ALS DE RUIMTE OP EEN ZEKER PUNT MET SNELHEID c VAN ONS AF BEWEEGT, STAAT HET LICHT STIL T.O.V. ONS WAARNEMERS, DUS DAT LICHT BEREIKT ONS NOOIT
- DE NETTO SNELHEID v_{LIGHT} WAARMEE HET LICHT ONS 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 REK WORDEN 'WEGGEZET'
- 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, NET ALS HET SPACE FABRIC**







SNELHEID ALS FUNCTIE VAN AFSTAND TOT AARDE: WET VAN HUBBLE-LEMAÎTRE



Edwin Hubble (1889 – 1953)

Waargenomen nevels zijn verre sterrenstelsels

Stralingsfrequentie objecten verschuift t.o.v. op aarde: Doppler-effect, snelheid van ons af, 1929

Georges Lemaître (1894-1966)

Duiding van waarnemingen als uitdijend heelal, 1927

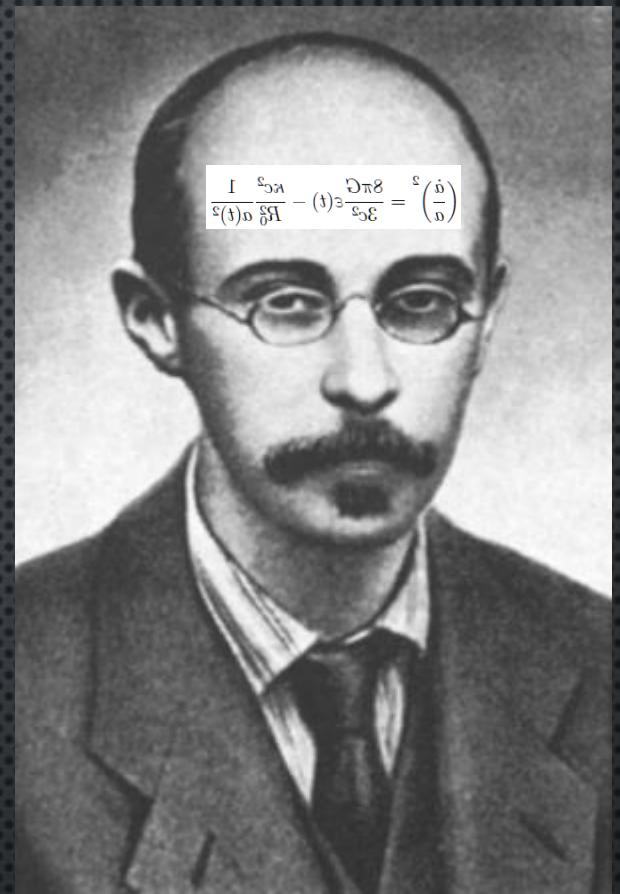
Grondlegger van de oerknaltheorie, 1931





АЛЕКСАНДР ФРИДМАН ?

ALEXANDER FRIEDMAN(N)



Über die Krümmung des Raumes.
 Von A. Friedman in Petersburg.
 Mit einer Abbildung. (Eingegangen am 29. Juni 1922.)

Wir haben also folgendes Ergebnis: die stationäre Welt ist entweder die Einsteinsche Zylinderwelt oder die deSittersche Kugelwelt.

2. Wir wollen nun die nichtstationäre Welt betrachten. M ist

The correct form of the Friedmann equation, including all general relativistic effects, is

$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3c^2} \epsilon(t) - \frac{\kappa c^2}{R_0^2} \frac{1}{a(t)^2} \quad (4.13)$$

The Friedmann equation is a Very Important Equation in cosmology.³

³You should consider writing it in reverse on your forehead so that you can see it every morning in the mirror when you comb your hair.



EINSTEIN EN ZIJN GRT OFWEL ALGEMENE RELATIVITEITSTHEORIE (1915)



- EINSTEIN WIST BIJ ONTWIKKELING GRT NIETS VAN UITDIJEND OF SAMENTREKKEND HEELAL
- OVERTUIGING: UNIVERSUM IS STATISCH, DUS NOCH UITDIJEND, NOCH SAMENTREKKEND
- ZIJN OPLOSSING WAS AANVANKELIJK WISKUNDIG NIET STATISCH IN EVENWICHT
- VINDING: DE KOSMOLOGISCHE CONSTATE Λ , DIE ALLES OP ZIJN PLEK HOUDT
- MAAR GEEN STABIEL EVENWICHT. VERGELIJKBAAR MET EEN KNIKKER OP EEN BOL



EINSTEIN: INSTABIELE OPLOSSING?

DE SITTER LOSTE DIE INSTABILITEIT OP DOOR DE KNIKKER WEG TE NEMEN. HET UNIVERSUM IS LEEG: GEEN ZWAARTEKRACHT, GEEN SAMENTREKKING OF UITDIJING



EINSTEIN MAAKTE ALS HET WARE EEN KULTJE OP DE BOL OM DEZE OP ZIJN PLEK TE HOUDEN. HIJ NOEMDE DAT Λ , DE KOSMOLOGISCHE CONSTATE. ALDUS: EEN STATISCH UNIVERSUM. MAAR NIET STABIEL



EINSTEIN EN ZIJN 'BLUNDER'



- LATER (NA 1930), TOEN OOK HIJ 'OM WAS' NOEMDE HIJ DIT 'GROOTSTE BLUNDER VAN ZIJN LEVEN'
- BLUNDER BLEEK VEEL LATER EEN ZEGEN OM DE UITDIJING TE VERKLAREN: Λ IS MAAT VOOR ENERGIEDICHTHEID VAN DE LEGE RUIMTE. AKA DONKERE ENERGIE DIE DE AANDRIJVENDE KRACHT LEVERT VOOR DE UITDIJING





Rekenmodel

Verificatie &
Validatie

Output

Bevindingen



MODEL 2022: BEREKENEN VAN TIJD-VERPLAATSINGSDIAGRAM HEMELLIJCHAMEN

- GEBASEERD OP WET VAN HUBBLE-LEMAÎTRE $v = H_0 * d$
- HUBBLE CONSTATE $H_0 = 70$ KM/S PER MPC VANAF BIG BANG TOT NU
- GELIJKBLIJVENDE H_0 IN DE TIJD VANAF BIG BANG. IS TOCH IMMERS 'DE HUBBLE-CONSTANTE'?

VRAAG: IS DAT ZO? WAS/IS HUBBLE CONSTATE CONSTANT IN DE TIJD?

- FOUT. VERKEERDE AANNAME, VERKEERDE INPUT, VERKEERDE OUTPUT: LEEFTIJD HEELAL 142 MILJARD JAAR
- MISVATTING WAS: H IS WEL EEN CONSTATE IN DE RUIMTE OP ELK TIJDSTIP, MAAR H VARIEERT IN DE TIJD. $H(t) = H_0$ OP TIJDSTIP $t = t_0 = \text{NU}$
- DUS BETER: HUBBLE-PARAMETER

MODEL 2023: SPREADSHEET

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1	HO =	67,4	km/s per Mpc	=	2,13E+18	km/Gy per Mpc			v=HO*D; v=c, D=	9,45425E+24	km									
2	Leeftijd =	13,767	miljard jaar=Gy						1 miljard l.y.=1Gly	306,39	Mpc	km/Mpc	3,241E-20	miljoen jaar						
3	1 Mpc=	3,086E+19	km	3,264E+06	ly	grens zichtbare universum:	4447,96	Mpc				Mpc/km	3,086E+19	s						
4	c=	2,998E+08	m/s	2,998E+05	km/s	9,45425E+18	s =	1,3724968E+23	km			jaar	9,78462E+11	jr						
5	1 ly=	9,454E+15	m	9,454E+12	km	km/miljoen jr.	=	1,4517E+10	ly			leeftijd	14.517	miljoen jaar						
6	13,781154e+9 ly =	1,372E+26	m	1,372E+23	km		t =		jaar											
7	HO =	2,184E-18	1/s			nu (2023) grens heelal:		12.631	Mpc											
8	1 miljoen jaar	3,1536E+13	s	5.209	Mpc		=	3,898E+23	km			scale kromming	2							
9	rek bij deze HO	6,89%	per Gy	1,340E+23			=	41,23	Gly			factoren correctie								
10	verste object SN1a	17	Gly									x2	-0,042							
11	oudste object	13,45	Gy									x	0,5789							
12												-	-0,0008							
13																1,00	0,10	0,20	0,30	0,40
14	HO/Mpc =	6,888E-11	j-1	Delta_t	t	D, s [Mpc]	t' [1E+06 year]	r _{HS} [Mpc]	r _{HS, corr} [Mpc]	r _{HS, tot} [Mpc]	H [km/s per Mpc]	check v=c [km/s]	rek [% per miljard jr]	r _{HS} [km]	r _{HS, tot} [km]	1,00	0,10	0,20	0,30	0,40
16							0,1	0,03	-	0,03	9.278.958,0	299.792,5	948320,79%	9,969E+17	9,969E+17					
17							0,2	0,06	-	0,06	299.792,5	299.792,5	474160,39%	1,994E+18	1,994E+18					
18							0,3	0,10	-	0,10	299.792,5	299.792,5	316106,93%	2,991E+18	2,991E+18					
19							0,4	0,13	-	0,13	299.792,5	299.792,5	237080,20%	3,988E+18	3,988E+18	3,954E+20				
20							0,5	0,16	-	0,16	299.792,5	299.792,5	189664,16%	4,985E+18	4,985E+18	4,88557E+20				
21							0,6	0,19	-	0,19	1.546.493,0	299.792,5	158053,46%	5,982E+18	5,982E+18	5,80785E+20				
22							0,7	0,23	-	0,23	1.325.565,4	299.792,5	135474,40%	6,979E+18	6,979E+18	6,72217E+20				
23							0,8	0,26	-	0,26	1.159.869,8	299.792,5	118540,10%	7,976E+18	7,976E+18	7,62972E+20				
24							0,9	0,29	-	0,29	1.030.995,3	299.792,5	105368,98%	8,973E+18	8,973E+18	8,53141E+20				
25							1	0,32	0,11	0,43	692.899,2	299.792,5	70815,14%	9,969E+18	1,335E+19	9,31054E+20				
26							2	0,65	0,29	0,93	321.300,9	299.792,5	32837,35%	1,994E+19	2,879E+19	1,50837E+21				
27							3	0,97	0,46	1,43	209.143,9	299.792,5	21374,76%	2,991E+19	4,423E+19	1,96616E+21				
28							4	1,29	0,64	1,93	155.030,1	299.792,5	15844,26%	3,988E+19	5,967E+19	2,364E+21				
29							5	1,62	0,82	2,43	123.164,3	299.792,5	12587,54%	4,985E+19	7,511E+19	2,722E+21	2,7221E+20	5,44419E+20	8,16629E+20	1,08884E+21
30							6	1,94	1,00	2,93	102.165,6	299.792,5	10441,45%	5,982E+19	9,055E+19	3,053E+21	3,0528E+20	6,10559E+20	9,15839E+20	1,22112E+21
31							7	2,26	1,17	3,43	87.284,9	299.792,5	8920,62%	6,979E+19	1,060E+20	3,362E+21	3,36214E+20	6,72427E+20	1,00864E+21	1,34485E+21
32							8	2,58	1,35	3,93	76.188,4	299.792,5	7786,55%	7,976E+19	1,214E+20	3,654E+21	3,65437E+20	7,30875E+20	1,09631E+21	1,46175E+21
33							9	2,91	1,53	4,44	67.595,5	299.792,5	6908,34%	8,973E+19	1,369E+20	3,932E+21	3,93248E+20	7,86496E+20	1,17974E+21	1,57299E+21
34							10	3,23	3,30	6,53	45.923,9	299.792,5	4693,48%	9,969E+19	2,014E+20	4,166E+21	4,16608E+20	8,33217E+20	1,24983E+21	1,66643E+21
35							20	6,46	5,06	11,53	26.009,7	299.792,5	2658,22%	1,994E+20	3,557E+20	5,932E+21	5,93221E+20	1,18644E+21	1,77966E+21	2,37289E+21
36							30	9,69	6,83	16,52	18.145,3	299.792,5	1854,47%	2,991E+20	5,098E+20	7,408E+21	7,40752E+20	1,4815E+21	2,22226E+21	2,96301E+21
37							40	12,92	8,59	21,51	13.934,3	299.792,5	1424,10%	3,988E+20	6,639E+20	8,715E+21	8,71492E+20	1,74298E+21	2,61448E+21	3,48597E+21
38							50	16,15	10,35	26,51	11.310,7	299.792,5	1155,97%	4,985E+20	8,179E+20	9,908E+21	9,90814E+20	1,98163E+21	2,97244E+21	3,96326E+21
39							60	19,39	12,11	31,49	9.519,3	299.792,5	972,89%	5,982E+20	9,718E+20	1,102E+22	1,10167E+21	2,20334E+21	3,30502E+21	4,40669E+21

tijd

H(t)

Eric Sluimer P19

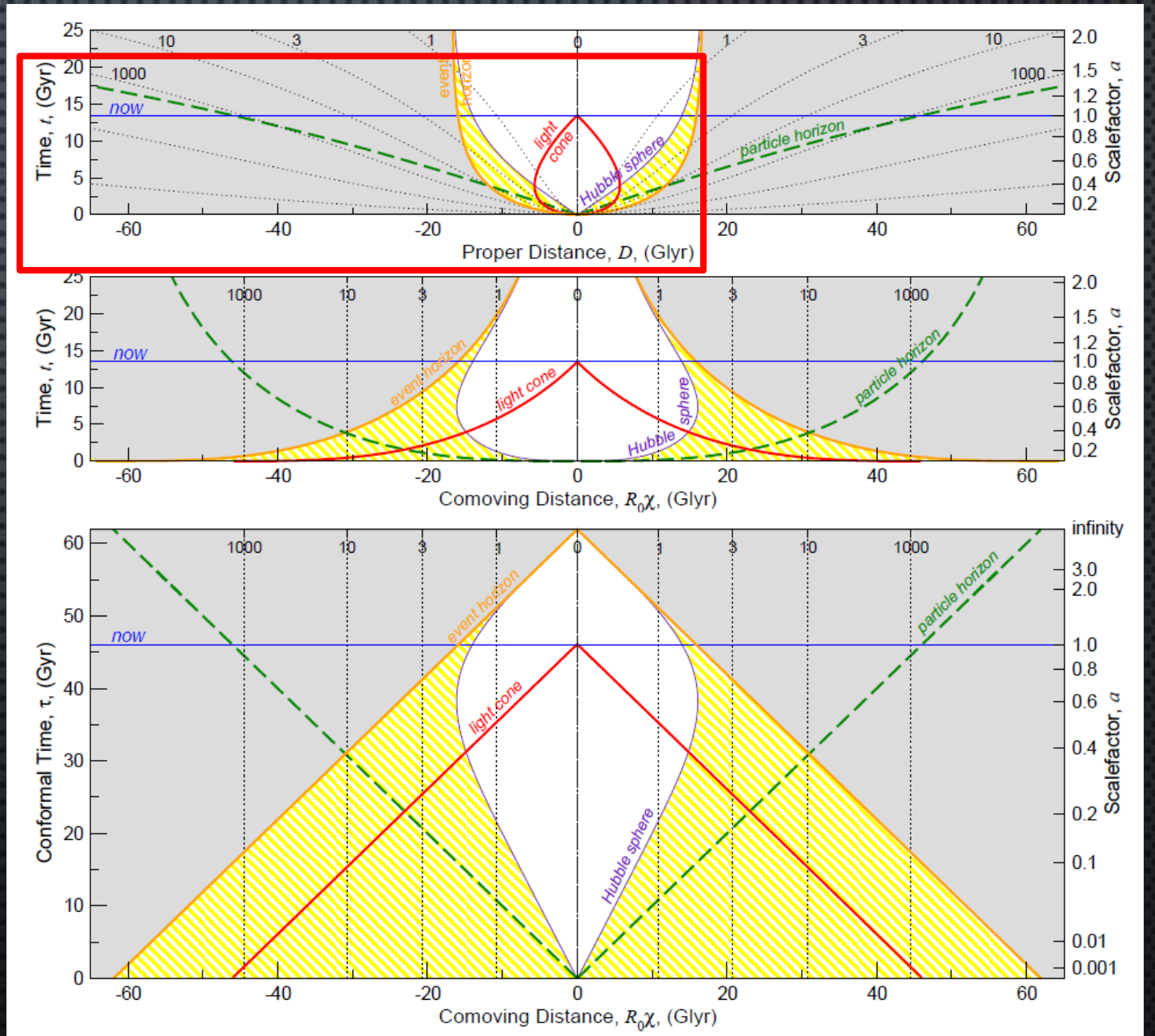
[What was the size of the universe 380,000 years after the Big Bang? - Quora](#)

Beantwoorden



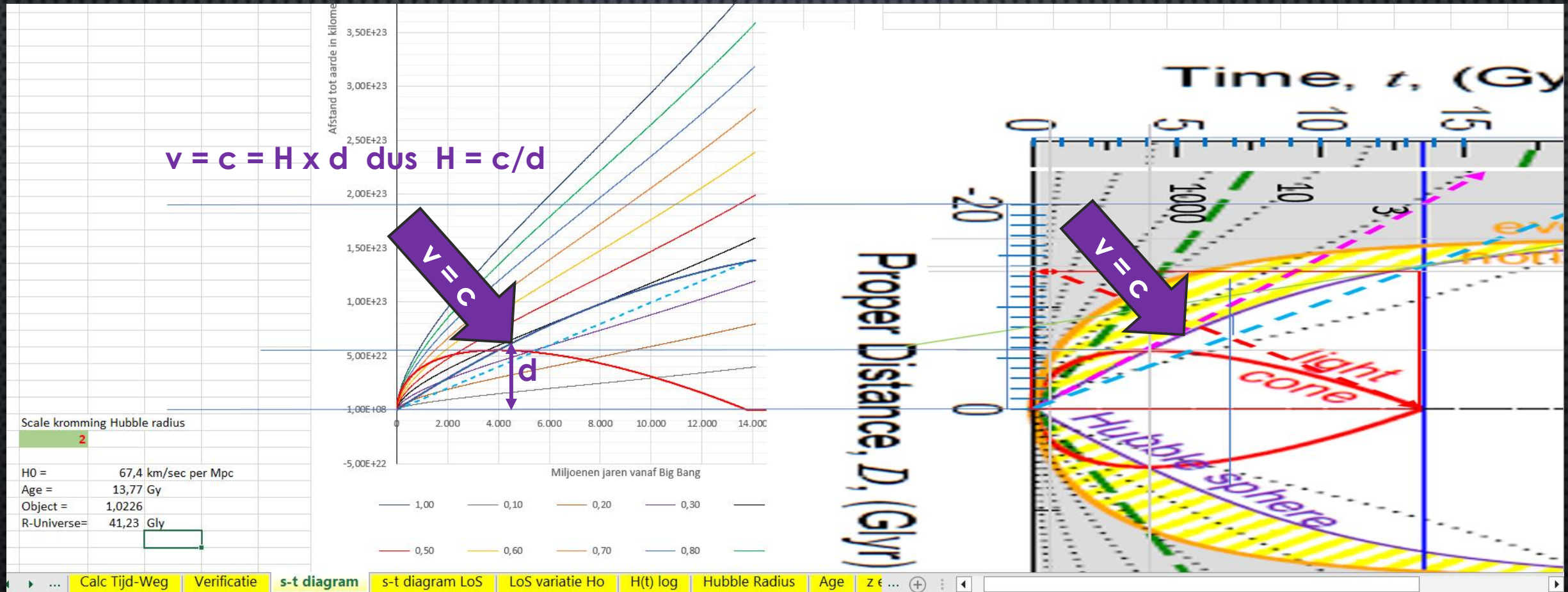
SPACE TIME DIAGRAMMEN TAMARA DAVIS

[4]





INPUT: H(t) OP BASIS VAN VERLOOP HUBBLE SPHERE IN SPACETIME DIAGRAM TAMARA DAVIS





MODEL 2024: EUREK α -H

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

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

- HEB IK $a(t)$ AFGELEID:

$$a(t) = a_{m\Lambda} \cdot \left(\frac{e^{2kt} - 1}{2e^{kt}} \right)^{2/3} \quad \text{MET} \quad k = \frac{H_0 \cdot 3\sqrt{1 - \Omega_{m,0}}}{2}$$

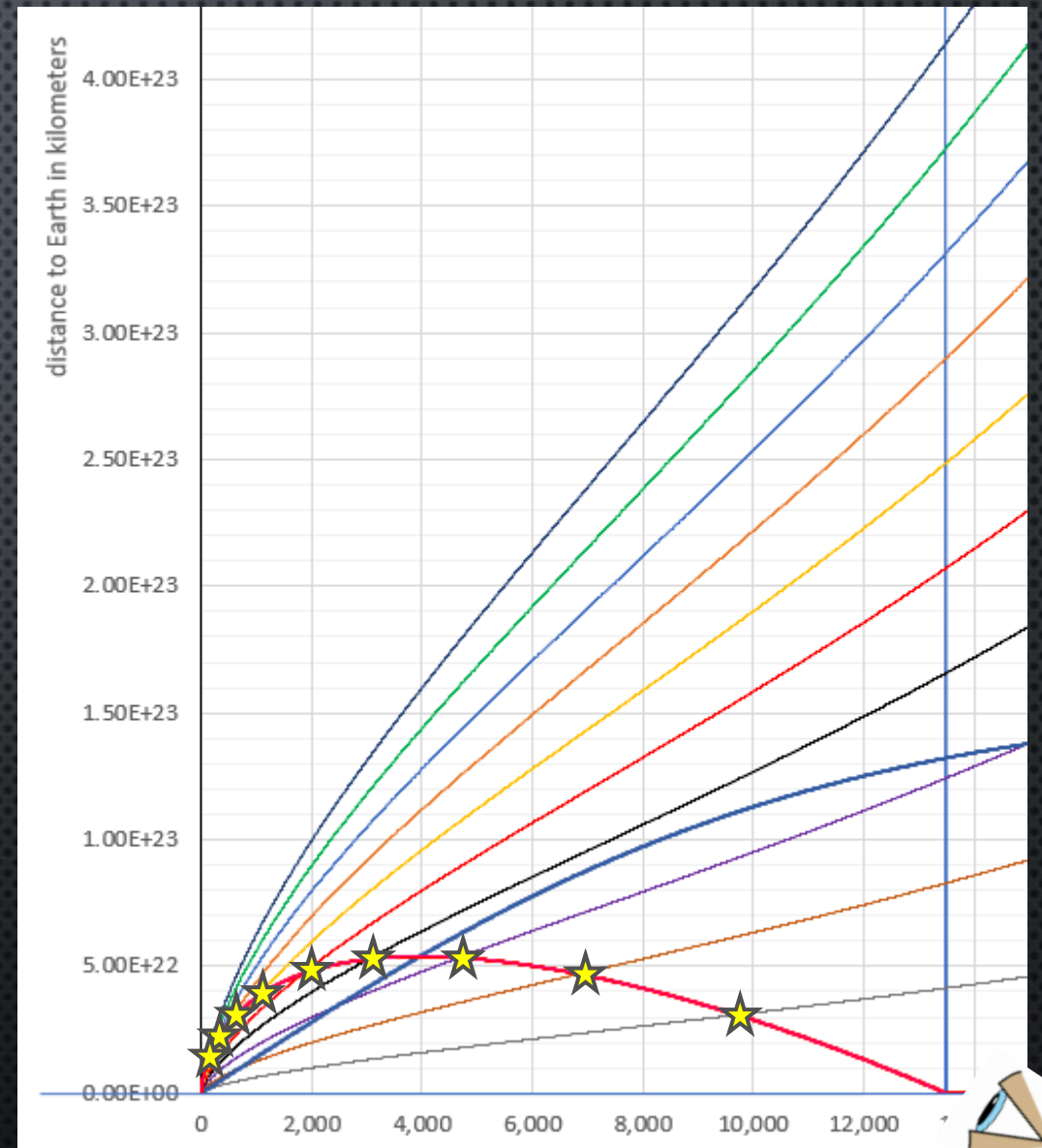
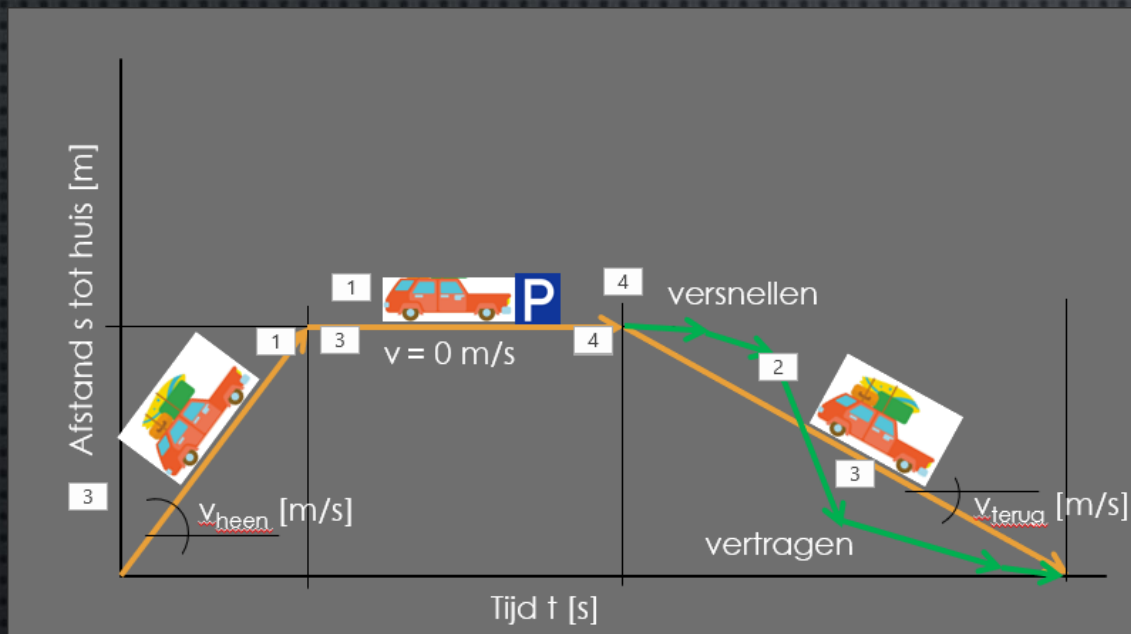
- EN DAARUIT $H(t)$

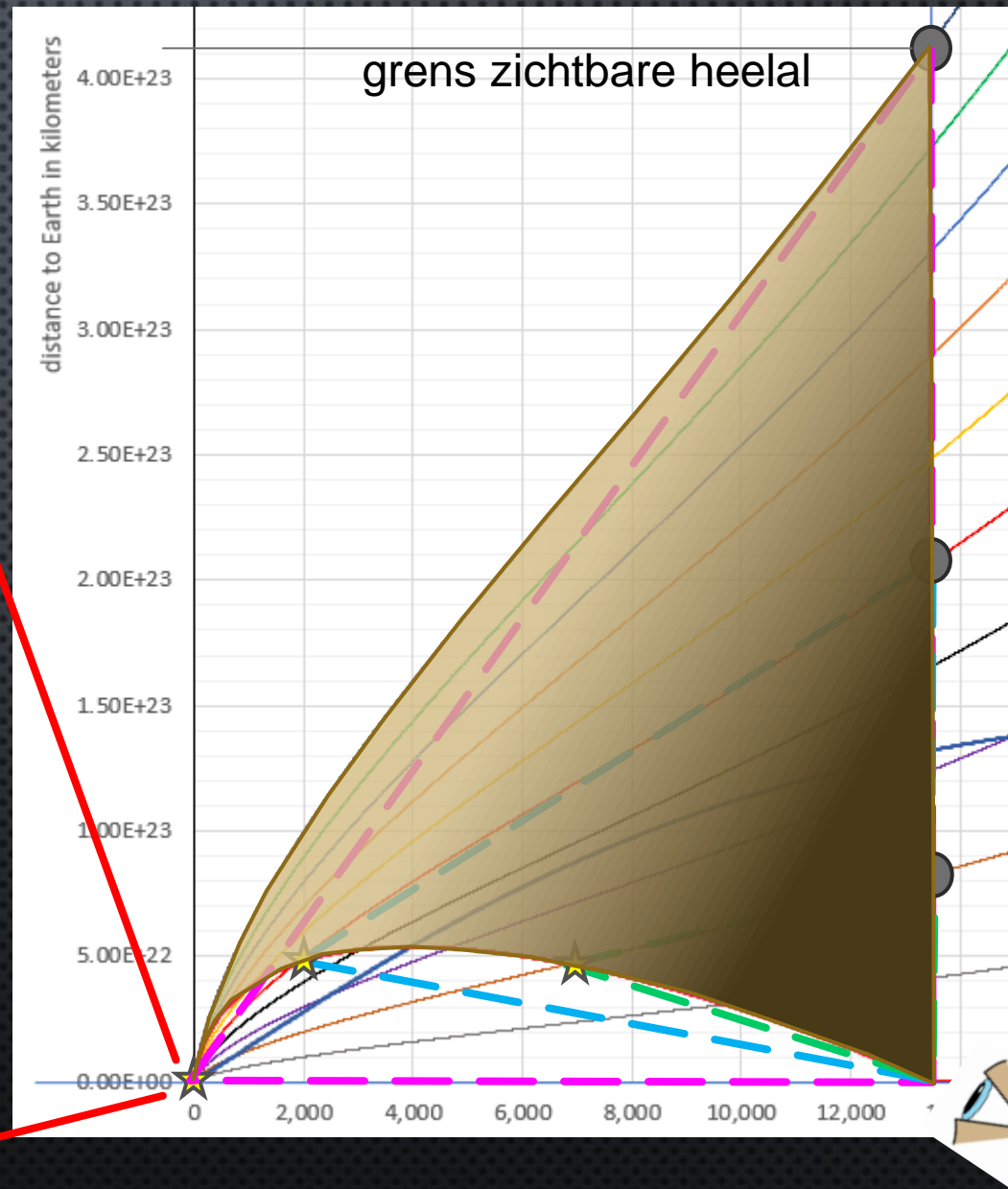
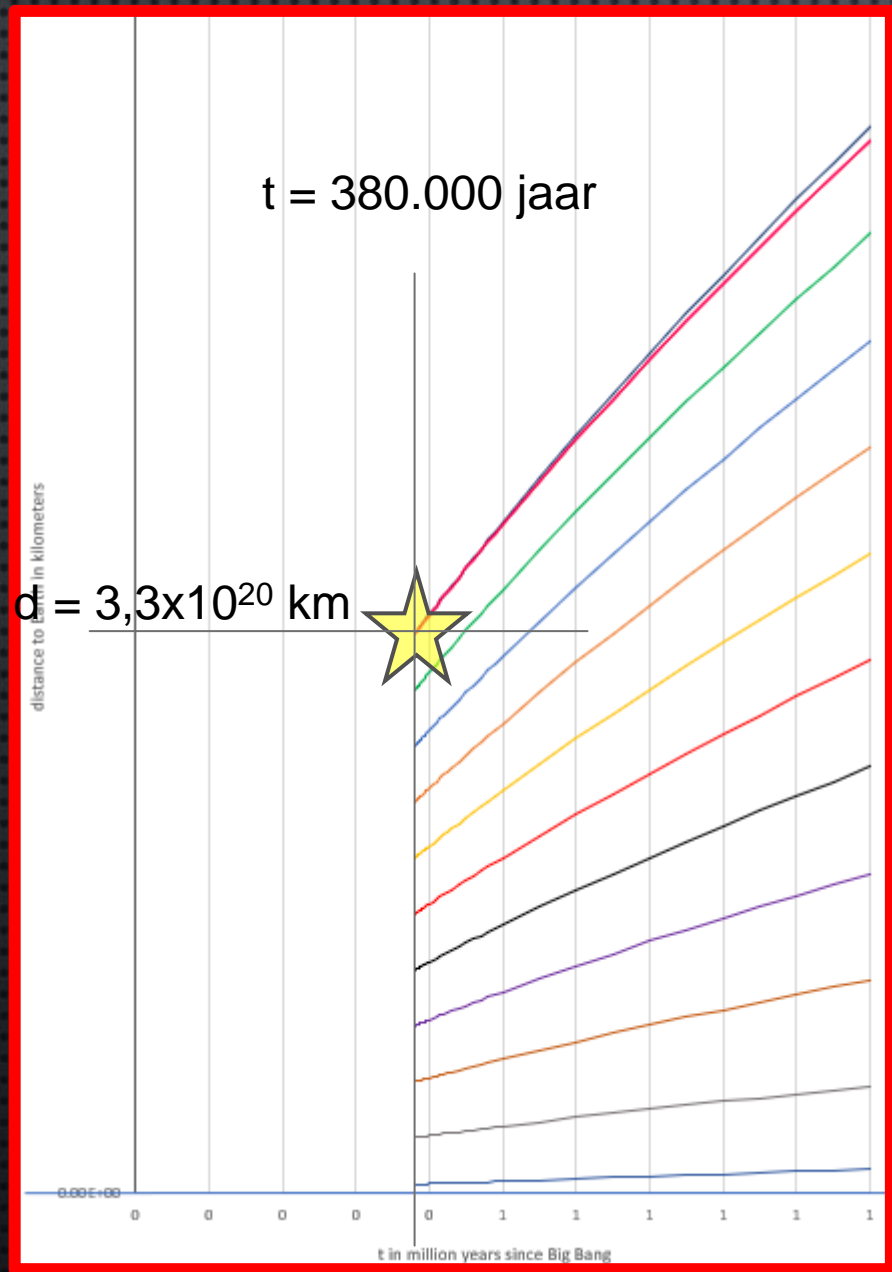
$$H(t) = \frac{\dot{a}}{a} = \frac{da}{dt} \cdot \frac{1}{a} \quad \rightarrow \quad H(t) = \frac{2}{3} \cdot k \cdot \frac{(e^{2kt} + 1)}{(e^{2kt} - 1)}$$





LINE OF LIGHT LINE OF SIGHT LIGHT CONE





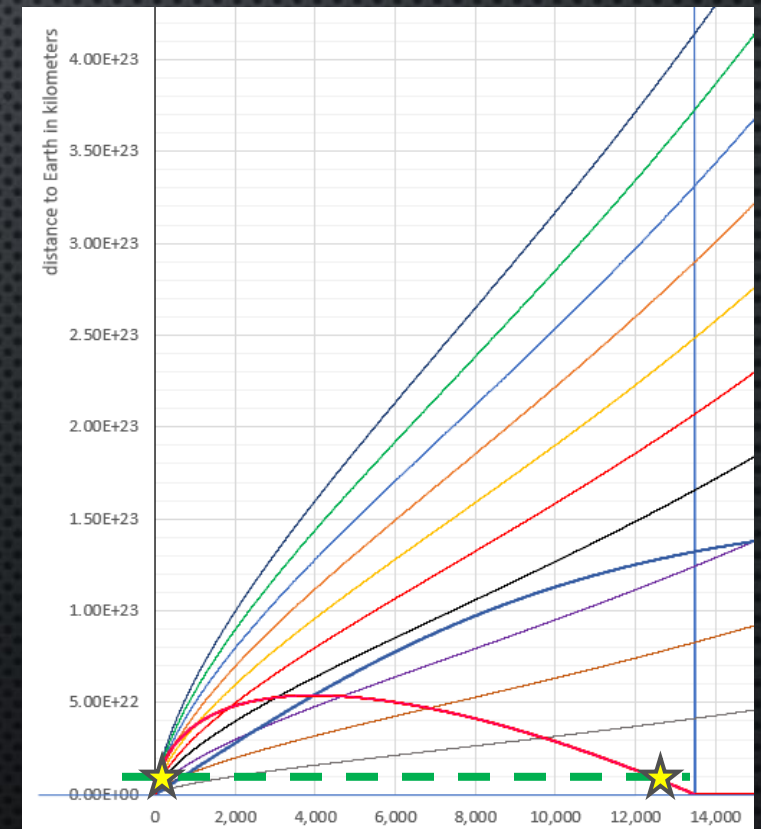
LICHT BEWEEGT EERST VAN 'ONS' AF, DAARNA KOMT HET TERUG EN WORDT GEDETECTEERD

the angular distance to the surface of last scattering. It is true (though it may sound strange) that spots on the last scattering surface ($z \sim 1100$) seen in the CMB temperature maps were situated (at the time of emission) at the same distance (about 13 Mpc) as some near-by galaxy with $z \approx 0.003$ (of course, the moment of emission for this galaxy was much later with respect to cosmic time). [1](#)

The Hubble flow: an observer's perspective

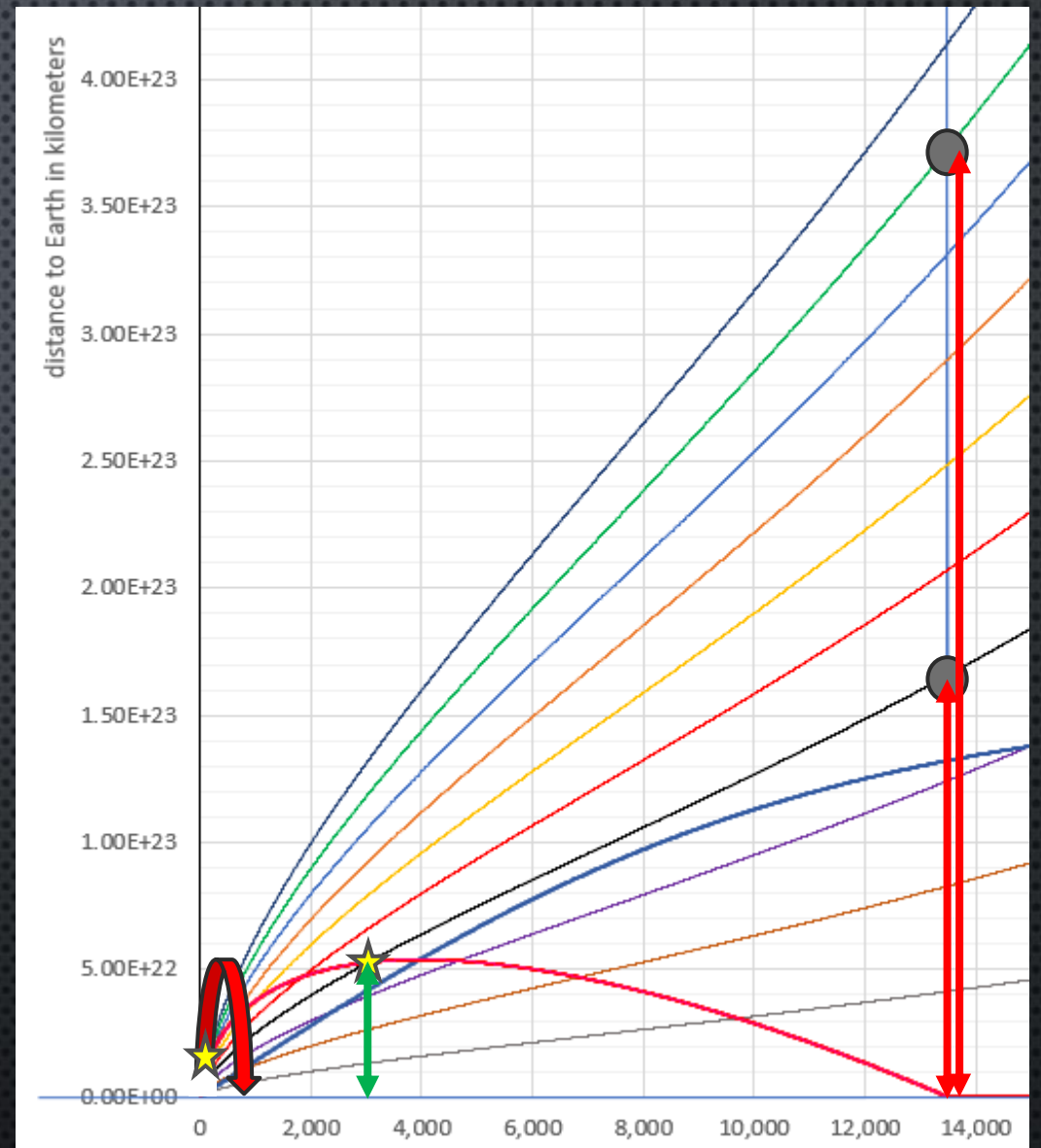
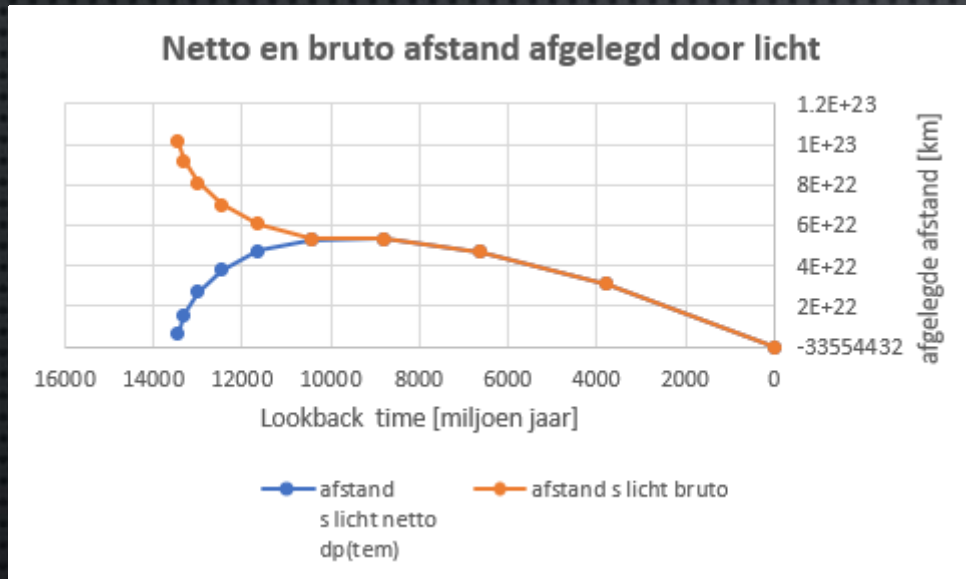
Alexey V. Toporensky, Sergei B. Popov

(Lomonosov Moscow State University, Sternberg Astronomical Institute)



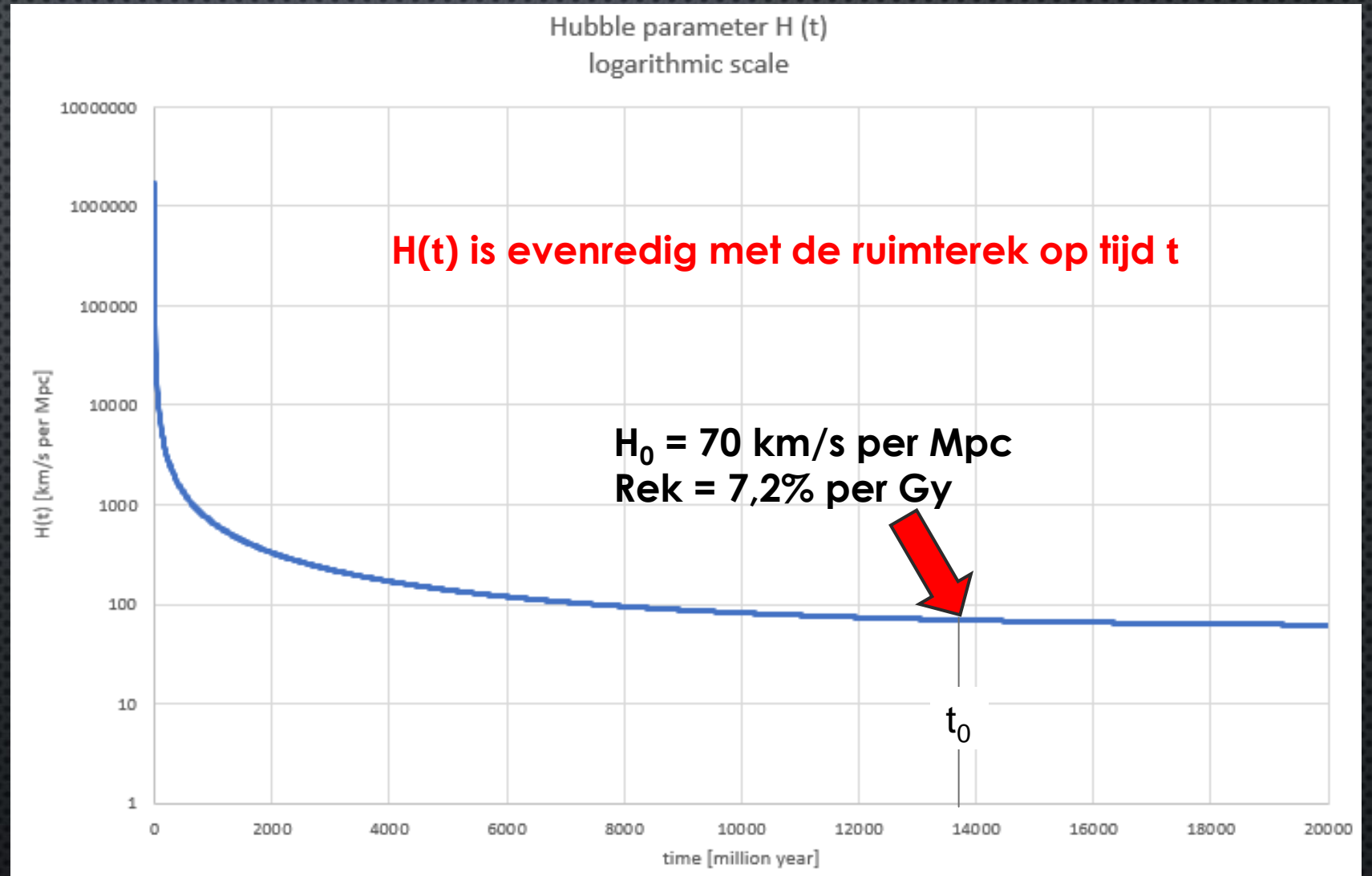


WELKE AFSTAND LEGT HET LICHT AF?



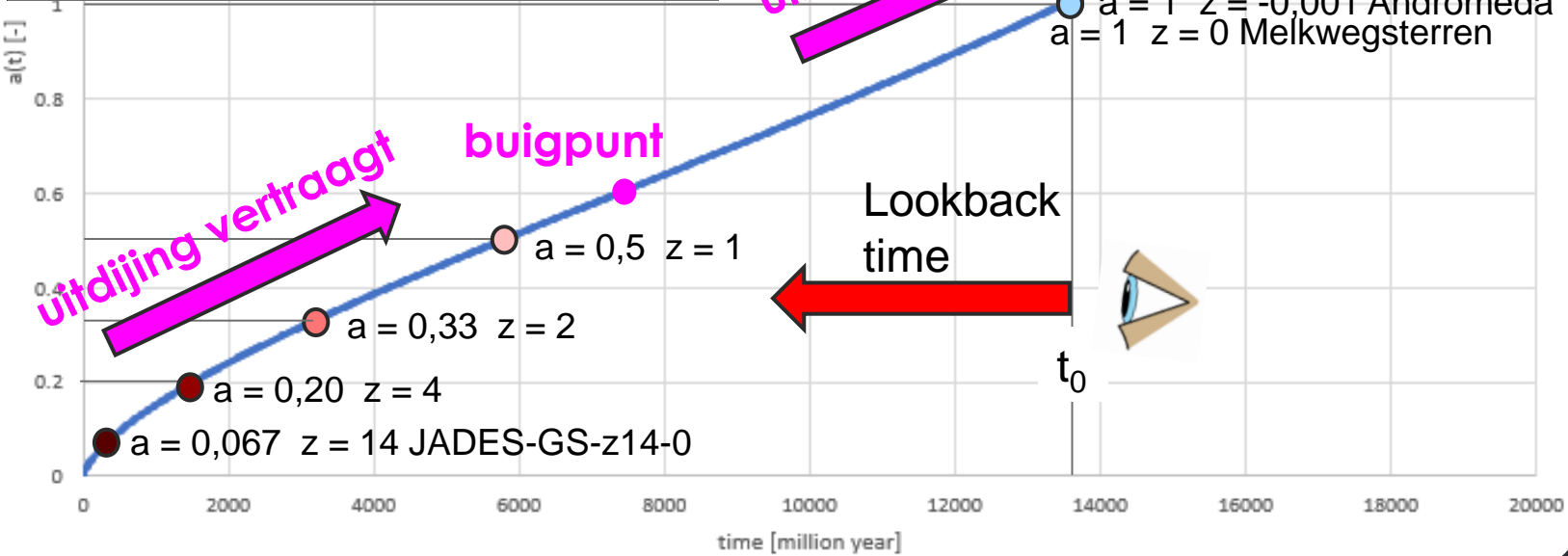
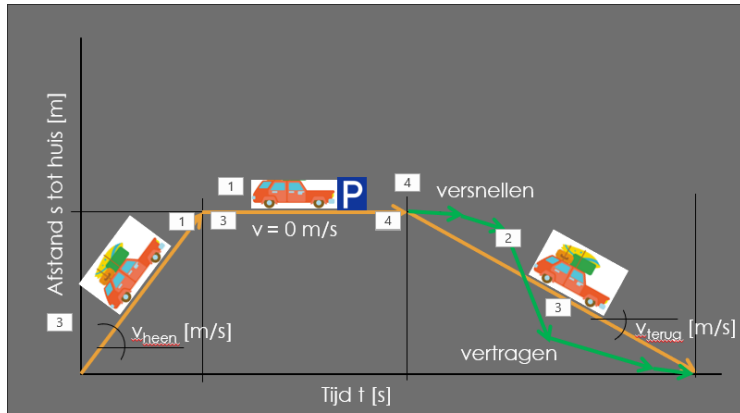


H(t), OFWEL RUIMTEREK IN DE TIJD GEZIEN





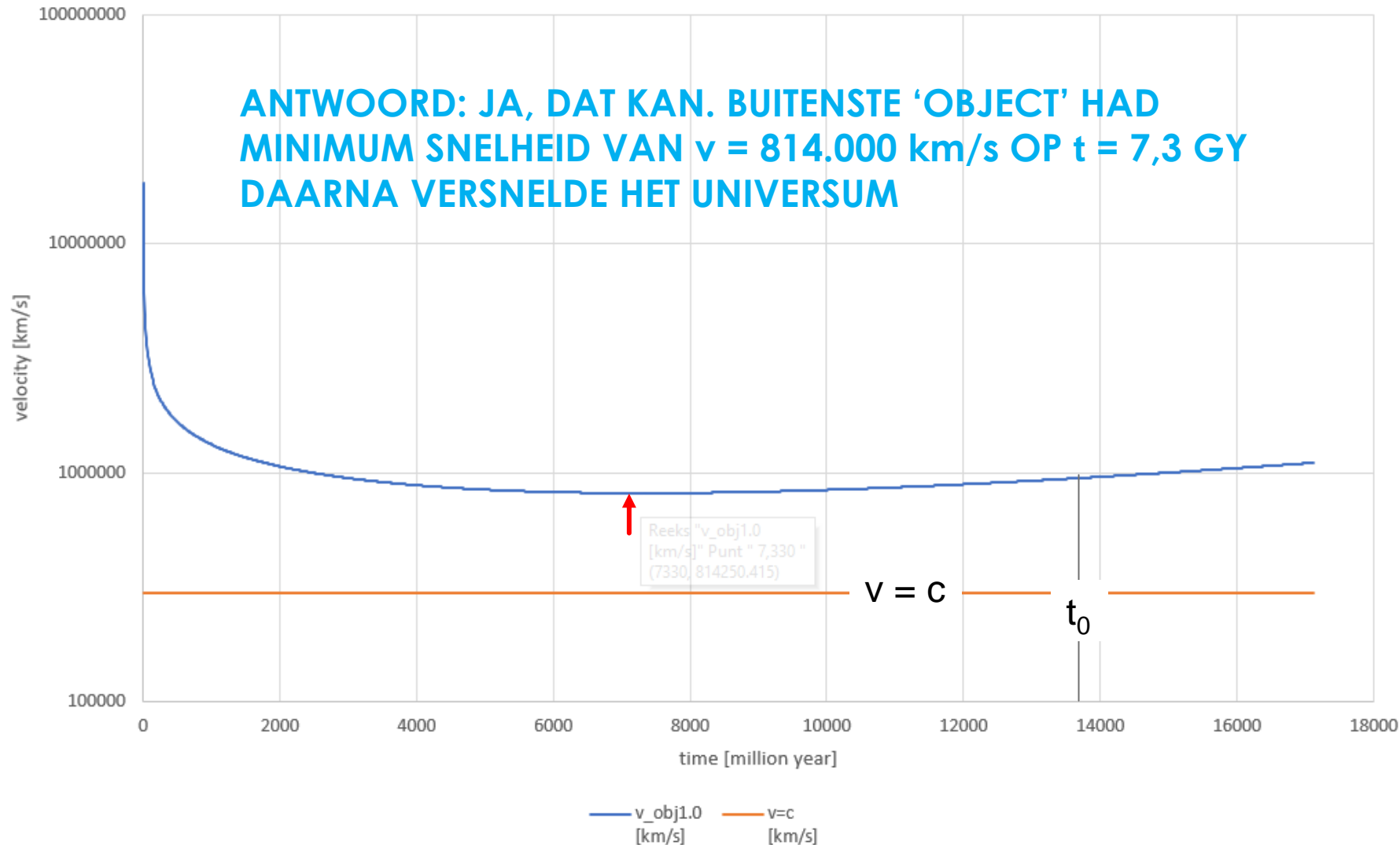
scalefactor a(t)



GROEI UNIVERSUM: VERLOOP SCHAALFACTOR



Velocity farthest visible object
logarithmic scale y-axis



$v(t)$,
SNELHEID
BUITENSTE
'OBJECT'

OUTPUT: VERIFICATIE OP NED WRIGHT'S COSMOLOGY CALCULATOR (NWCC)

← ↻ 🏠 🔒 <https://www.astro.ucla.edu/~wright/CosmoCalc.html> A ☆

Enter values, hit a button

<input type="text" value="67.4"/>	H_0
<input type="text" value="0.3181"/>	Ω_M
<input type="text" value="12"/>	z
<input type="button" value="Open"/>	<input type="button" value="Flat"/>
<input type="text" value="0.714"/>	Ω_{vac}
<input type="button" value="General"/>	

Open sets $\Omega_{vac} = 0$ giving an open Universe [if you entered $\Omega_M < 1$]
Flat sets $\Omega_{vac} = 1 - \Omega_M$ giving a flat Universe.
General uses the Ω_{vac} that you entered.
[Source](#) for the default parameters.

For $H_0 = 67.4$, $\Omega_M = 0.318$, $\Omega_{vac} = 0.682$, $z = 12.000$

- It is now 13.753 Gyr since the Big Bang.
- The age at redshift z was 0.364 Gyr.
- The [light travel time](#) was 13.389 Gyr.
- The [comoving radial distance](#), which goes into Hubble's law, is 9975.5 Mpc or 32.536 Gly.
- The comoving volume within redshift z is 4158.121 Gpc³.
- The [angular size distance \$D_A\$](#) is 767.3 Mpc or 2.5028 Gly.
- This gives a scale of 3.720 kpc/".
- The [luminosity distance \$D_L\$](#) is 129681.9 Mpc or 422.969 Gly.

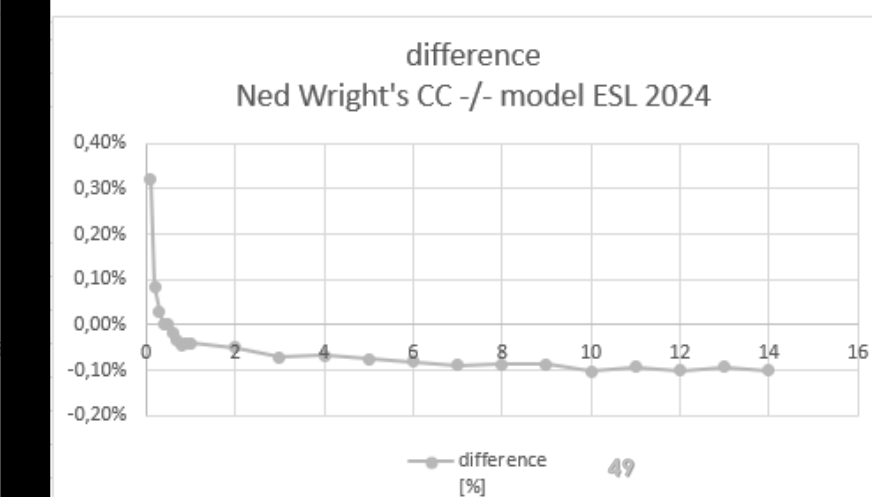
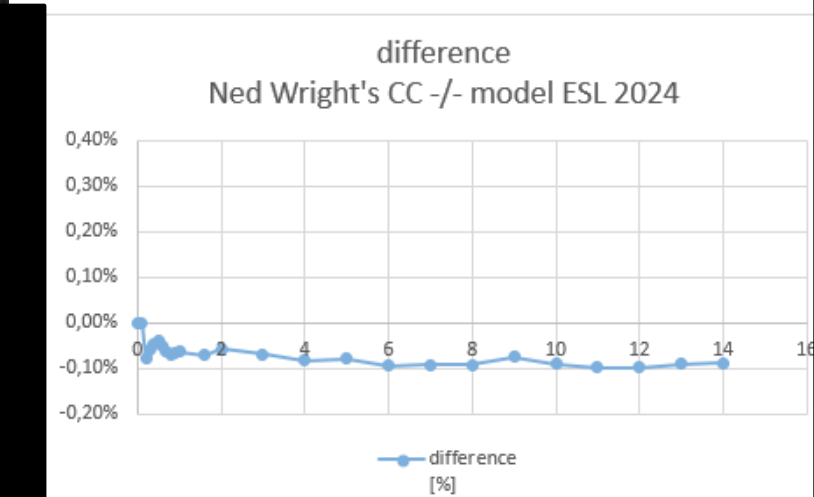
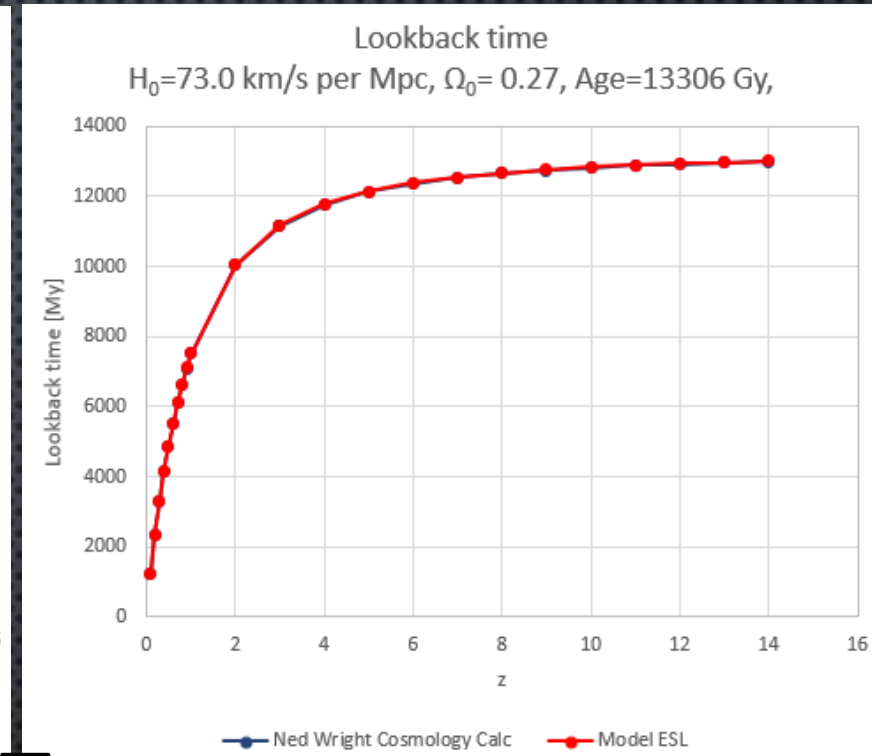
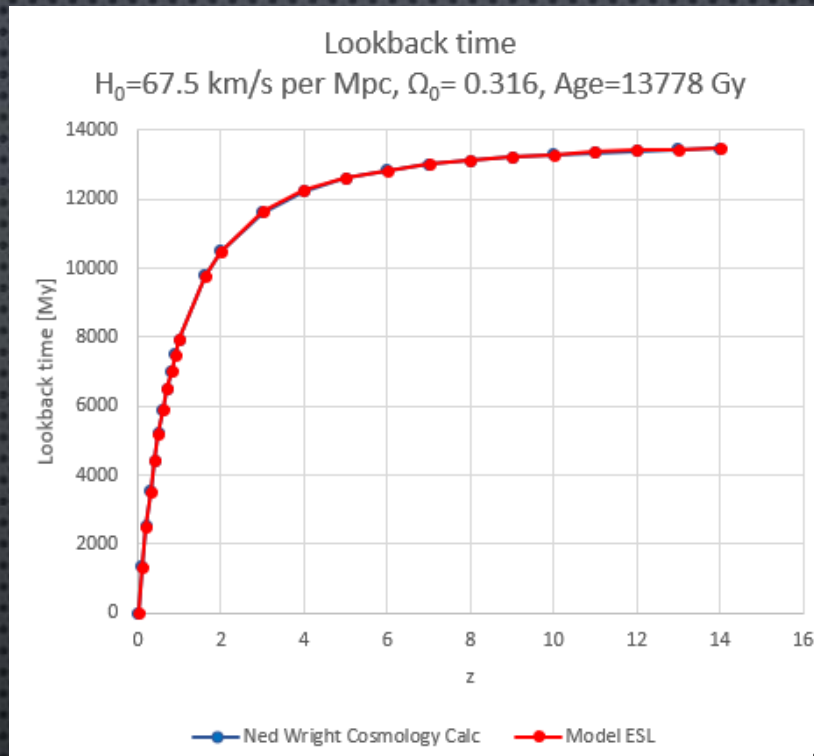
1 Gly = 1,000,000,000 light years or $9.461 \cdot 10^{26}$ cm.
1 Gyr = 1,000,000,000 years.
1 Mpc = 1,000,000 parsecs = $3.08568 \cdot 10^{24}$ cm, or 3,261,566 light years.

[Tutorial: Part 1](#) | [Part 2](#) | [Part 3](#) | [Part 4](#)
[FAQ](#) | [Age](#) | [Distances](#) | [Bibliography](#) | [Relativity](#)

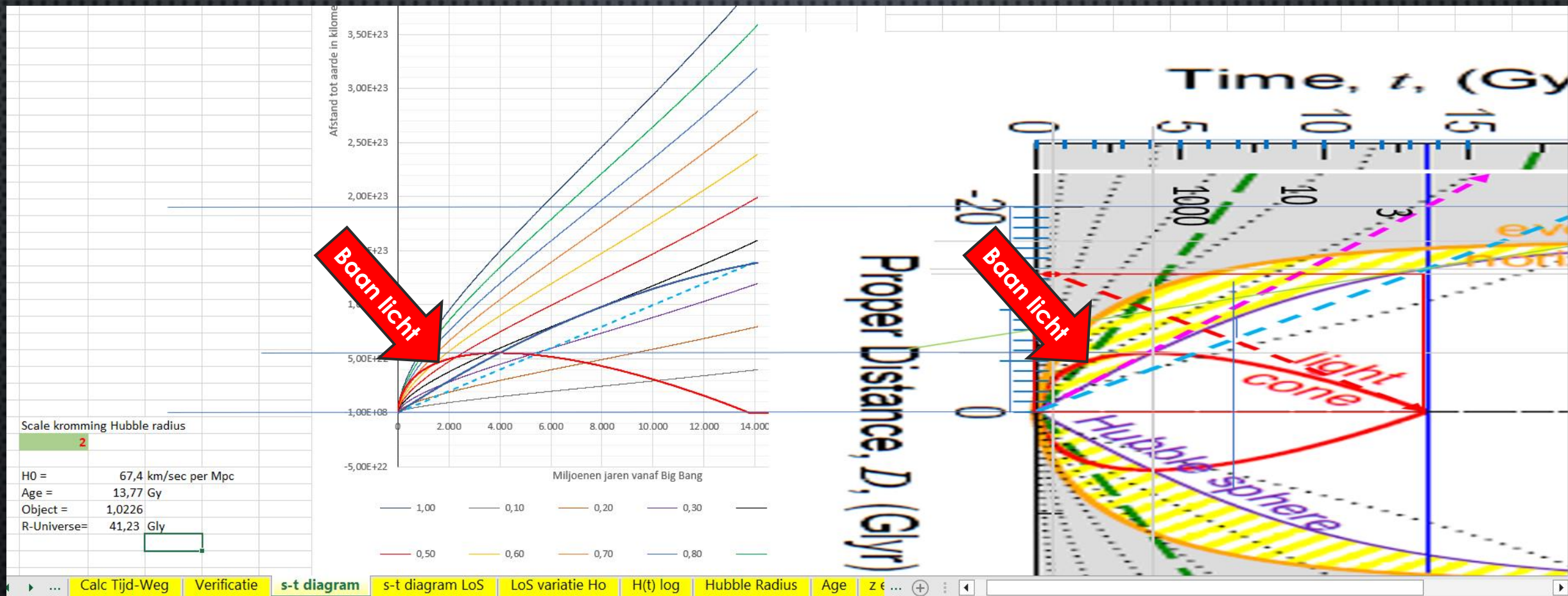


MODEL VERIFICATIE

VERGELIJKING OUTPUT MODEL 2024 MET RESULTATEN NED WRIGHT'S COSMOLOGY CALCULATOR



OUTPUT: VALIDATIE OP LIGHT CONE TAMARA DAVIS



VALIDATIE: GRENS ZICHTBARE HEELAL

FROM THE MAKERS OF WOLFRAM LANGUAGE AND MATHEMATICA



integrate (1/(0.75395 sinh (2.847e-18x)^(2/3))) dx from x=1.1984e+13 to 4.25e+17

NATURAL LANGUAGE

MATH INPUT

EXTENDED KEYBOARD

EXAMPLES

UPLOAD

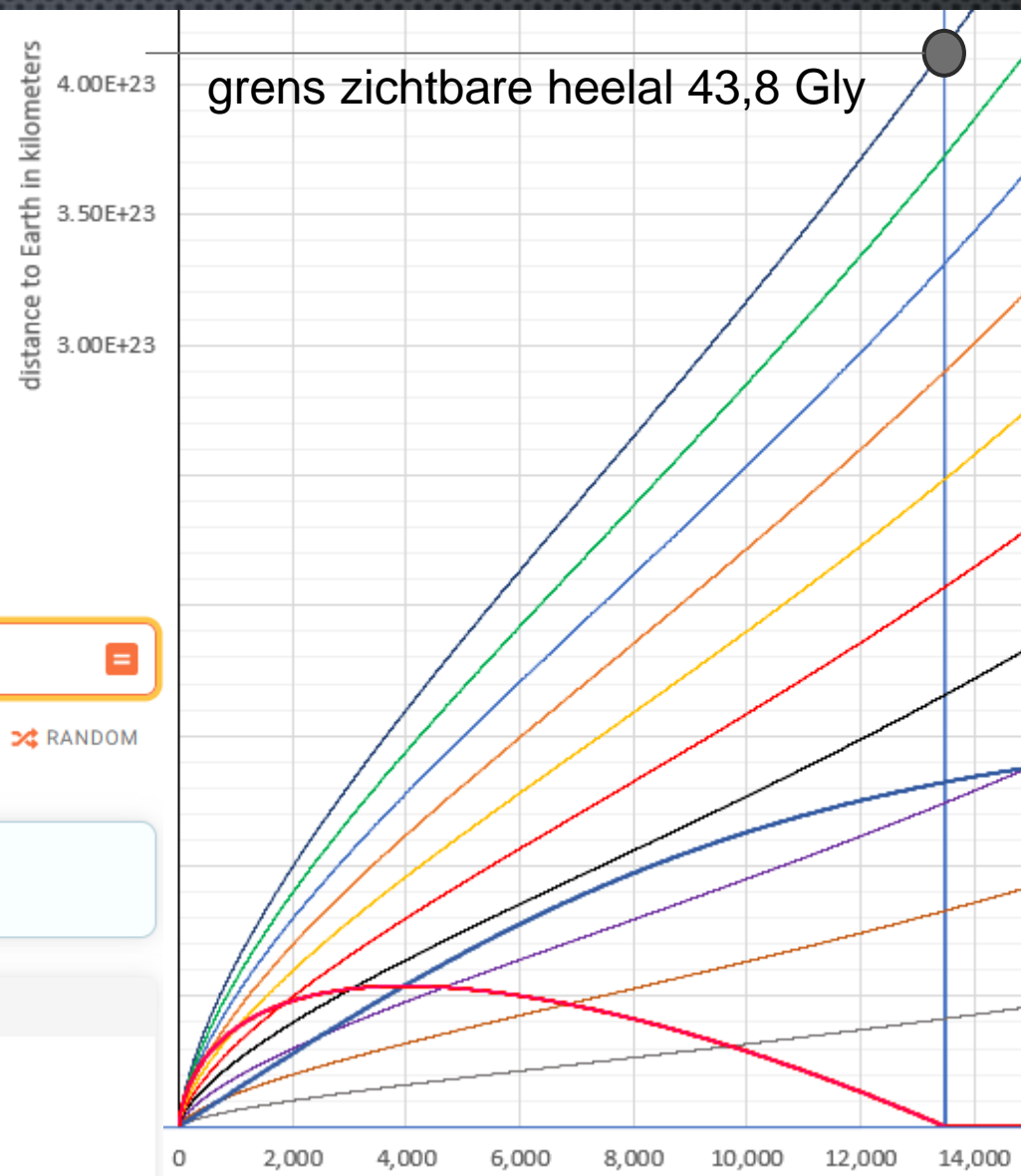
RANDOM

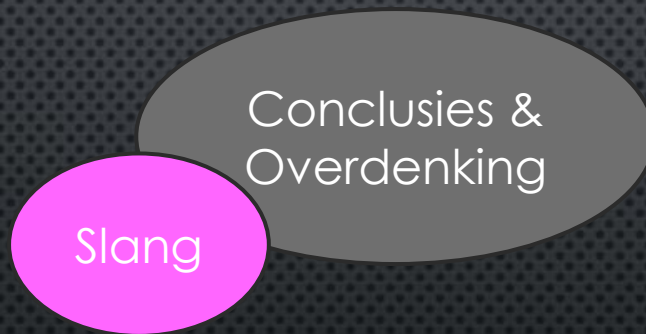
Assuming the principal root | Use [the real-valued root](#) instead

Definite integral

$$\int_{1.1984 \times 10^{13}}^{4.25 \times 10^{17}} \frac{1}{0.75395 \sinh^{2/3}(2.847 \times 10^{-18} x)} dx = 1.41159 \times 10^{18} = 44,8 \text{ Gly}$$

sinh(x) is the hyperbolic sine function





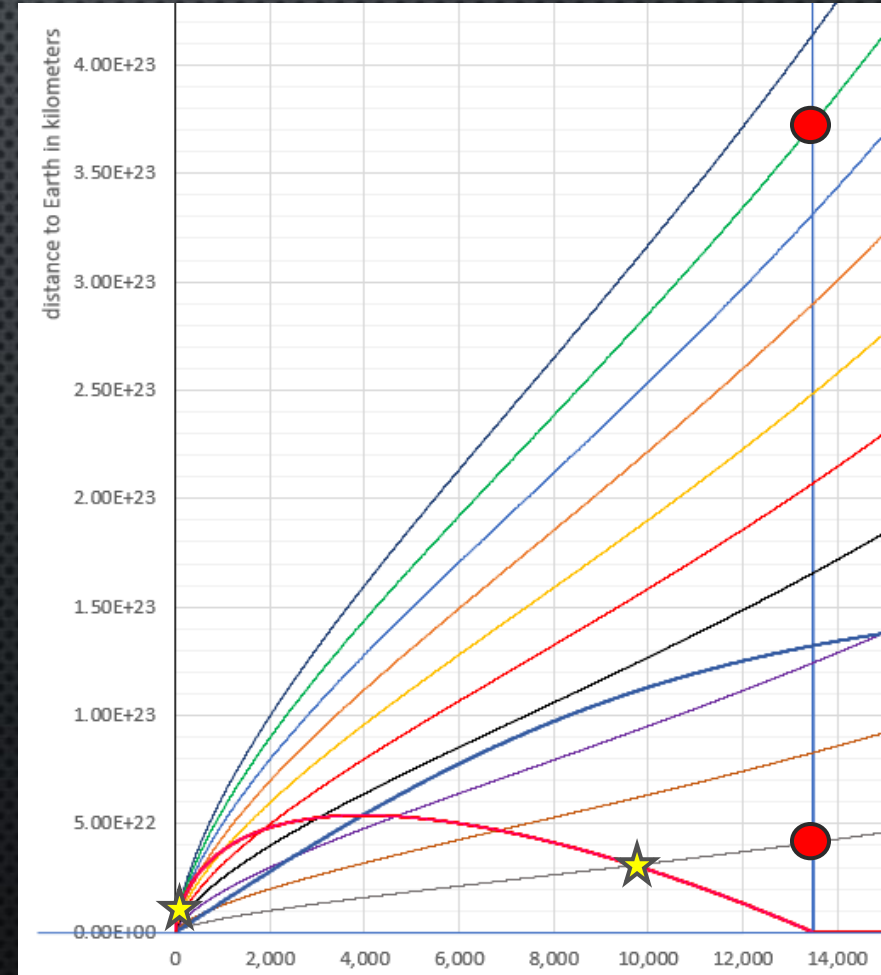
Slang

Conclusies &
Overdenking



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





EN (DE FOTO VAN) STERRE?

HET LICHT DAT WE NU ZIEN IS MILJARDEN JAREN GELEDEN
UITGEZONDEN, DUS WE ZIEN HET HEMELLIJCHAAM NIET ZOALS HET NU IS
WE KIJKEN NAAR EEN 'AFDRUK' UIT VROEGER TIJDEN DIE IN DE LOOP
VAN DE TIJD IS VERGEELD/VERROOD

HET OBJECT DAT WE ZIEN IS NA DE EMISSIE VERPLAATST NAAR EEN
GEHEEL ANDERE PLEK
EN IS VEROUDERD
OF BESTAAT NIET MEER

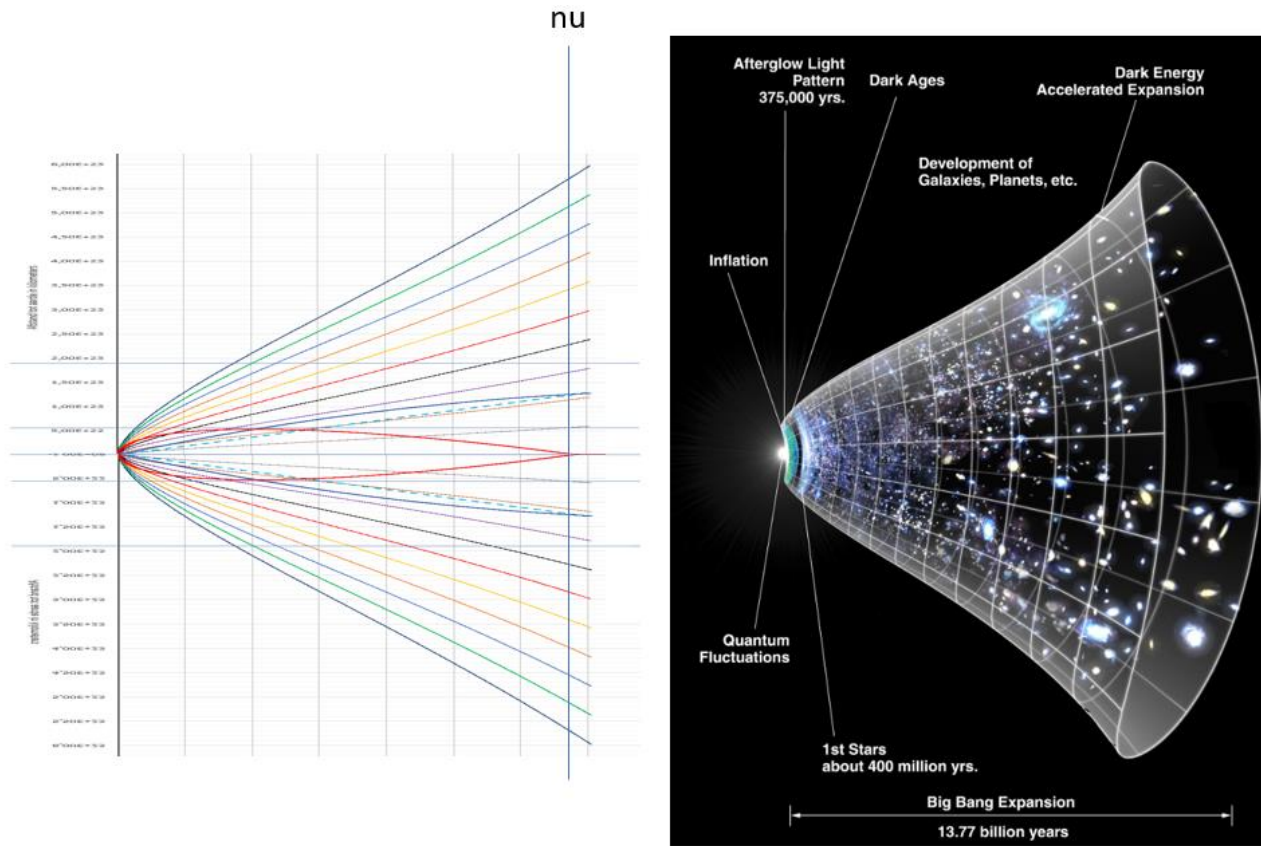
WE WETEN HET NIET, WE ZIEN HET NIET
NIET NU, MAAR MISSCHIEN OOI?



Photo by [Danie Franco](#) on [Unsplash](#)



EN DE PRIJS VOOR BESTE GRAFISCHE WEERGAVE VAN EXPANSIE GAAT NAAR...



[6] [Measuring the Expansion of the Universe: Surprising Discrepancies Hint at Inconsistency in the Composition of the Universe \(scitechdaily.com\)](#), accessed 2023 Jan 03, Credit: NASA/WMAP Science Team/ Art by Dana Berry



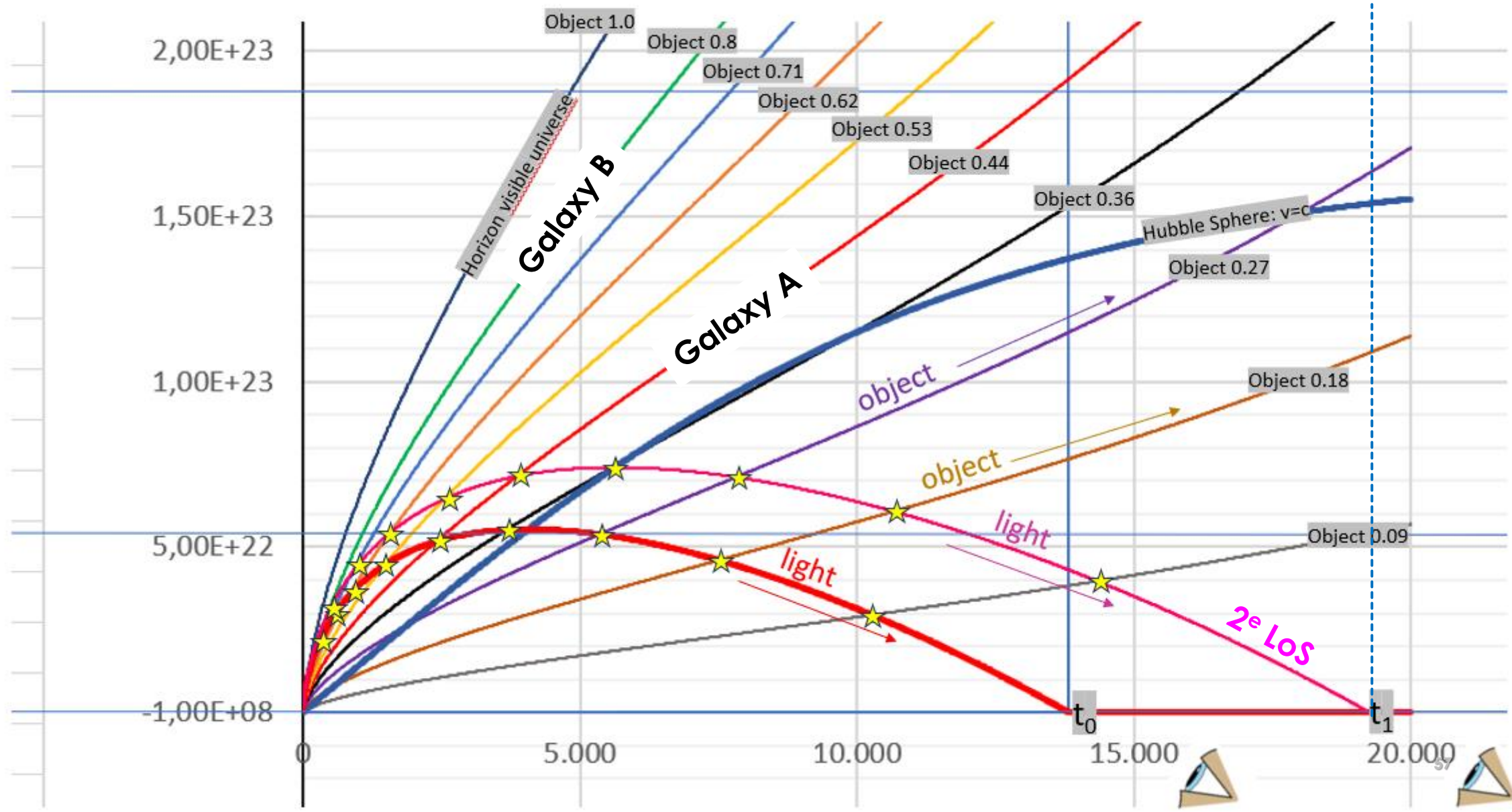


VERRASSING: ROODVERSCHUIVING BIJ TOEKOMSTIGE WAARNEMINGEN NEMEN AF

- MODELBEREKENINGEN TONEN AAN DAT DE ROODVERSCHUIVING VAN HEMELLIJCHAMEN 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](#)

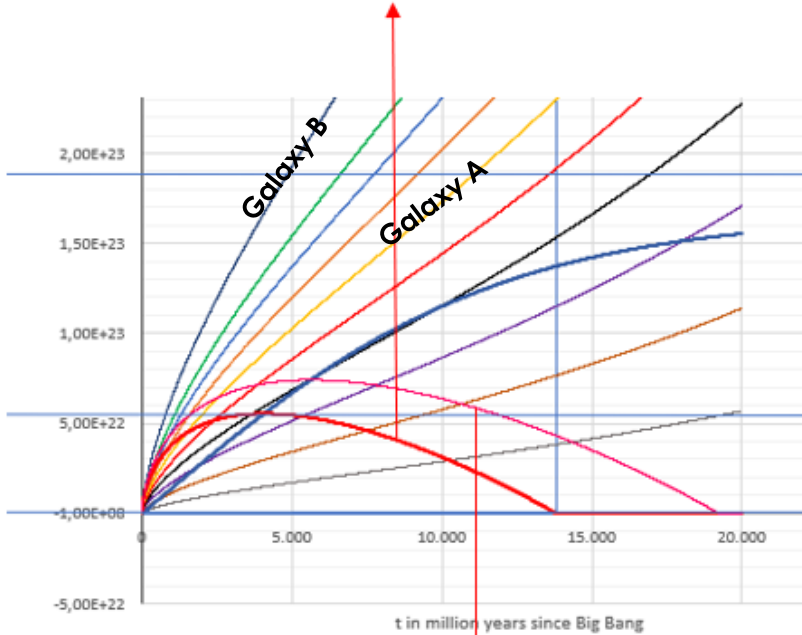


Hubble parameter H_0 [km/s per Mpc]	Density parameter Ω_0 [-]	Visible radius R_{vis} [Gly]	Age universe t_0 [Gy]	t LoS = 0 [Gy]
67.5	0.3156	44.48	13.778	13.780

R visible universe = 44,59 Gly

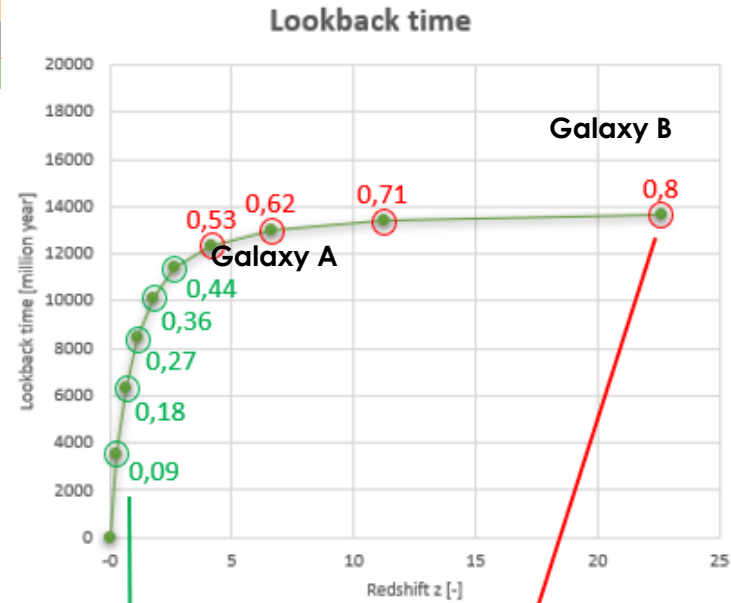
Factor light cone: 1,0

Looking back from $t=13780$ My

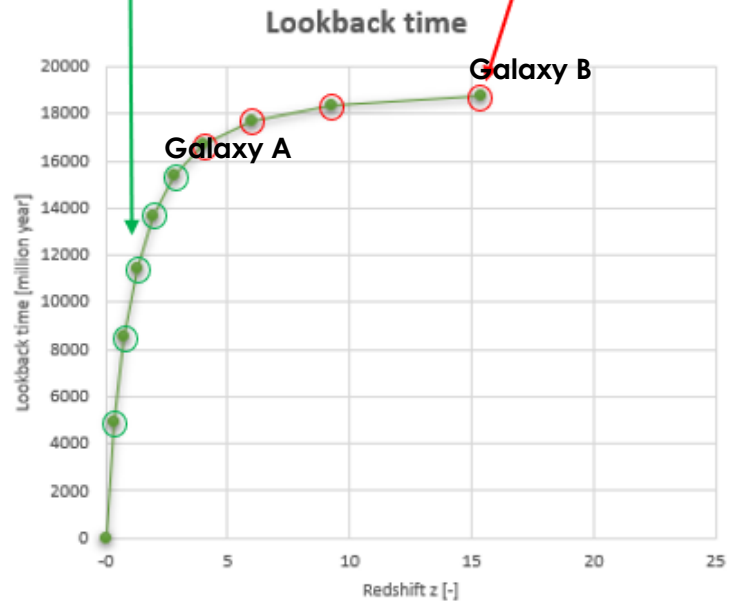


Factor light cone: 1,1

Looking back from $t=19180$ My



objectnr.	t [miljoen jr.]	lookback time [miljoen jr.]	z [-]	
0		0	0	
0.09	10240	3540	0.30	
0.18	7490	6290	0.66	
0.27	5340	8440	1.13	
Galaxy A	0.36	3670	1.77	
0.44	2400	11380	2.70	
0.53	1470	12310	4.15	
0.62	820	12960	6.60	
Galaxy B	0.71	400	13380	11.28
0.80	150	13630	22.61	
1.00	0.38	13780	1269.37	



objectnr.	t [miljoen jr.]	lookback time [miljoen jr.]	z [-]	
0		0	0	
0.09	14300	4880	0.37	
0.18	10640	8540	0.79	
0.27	7800	11380	1.29	
Galaxy A	0.36	5580	13600	1.93
0.44	3860	15320	2.79	
0.53	2540	16640	4.05	
0.62	1570	17610	5.98	
Galaxy B	0.71	890	18290	9.20
0.80	440	18740	15.33	
1.00	0.38	19180	1799.72	

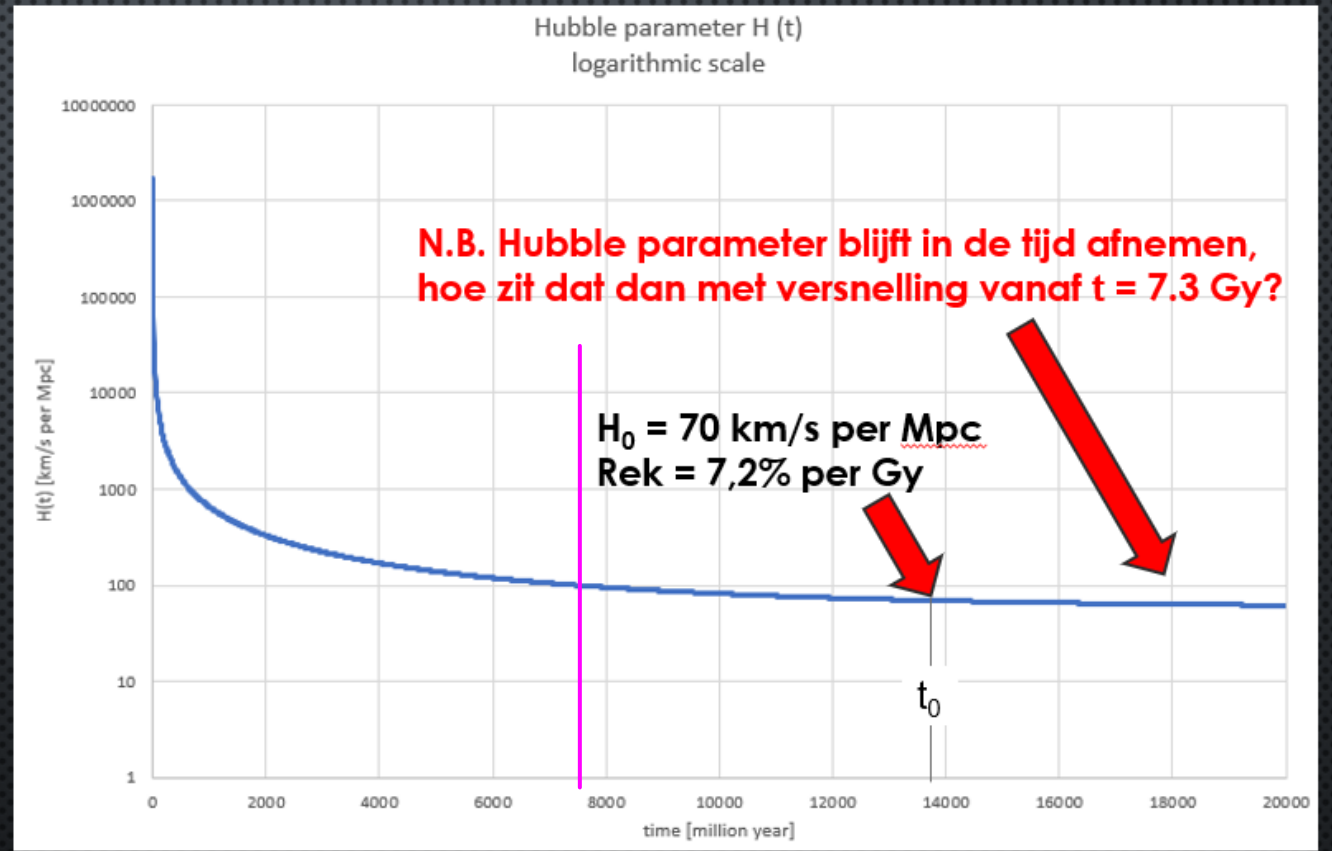
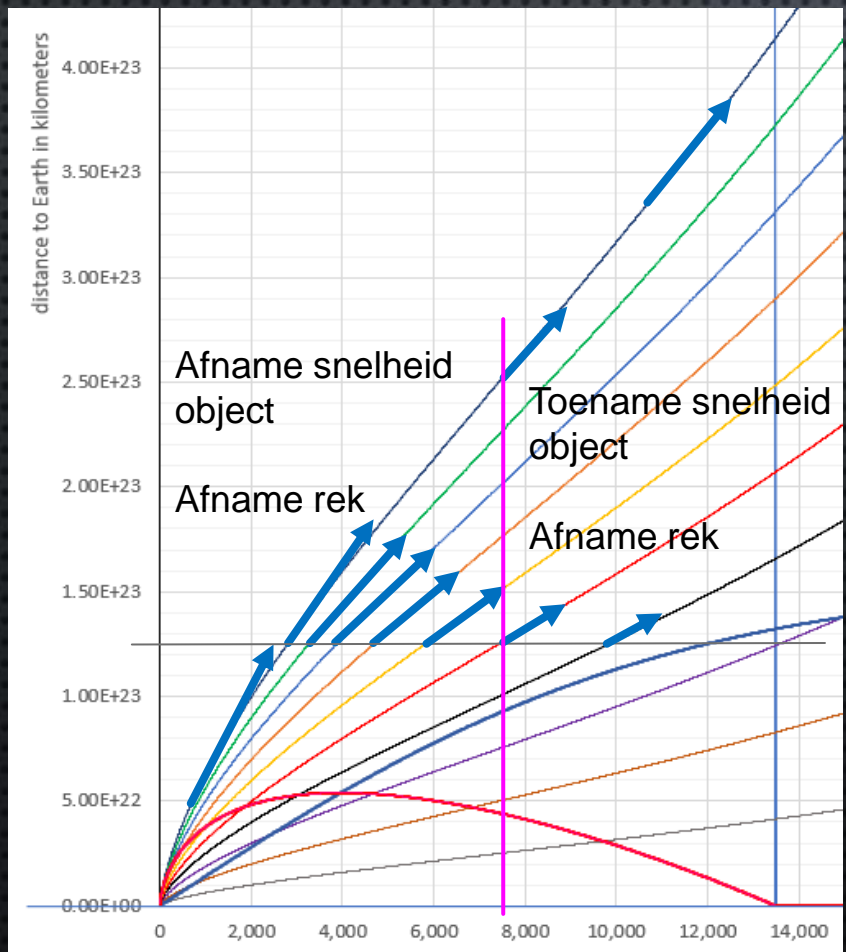
VERWONDERING: VERSNELLING EXPANSIE HEEFT TWEE GEZICHTEN

- MODELBEREKENINGEN TONEN VERSNELLING VAN SCHAALGROEI $a(t)$ IN DE TIJD VANAF 7.3 GY
- TERUG TE ZIEN IN **STEEDS HOGERE SNELHEDEN VAN HEMELLIJCHAMEN**
- DUS: VERSNELLING EXPANSIE. SIMPEL TOCH?

- $H(t)$ IS GELIJK AAN DE REK PER TIJDSEENHEID = HET TEMPO VAN DE UITREKKING OP TIJDSTIP t .
- UIT MODEL: **$H(t)$ = REK BLIJFT IN DE TIJD ALLEEN MAAR AFNEMEN (ASYMPTOTISCH)**

- WAT IS NU VERSNELLING EXPANSIE: STEEDS SNELLER BEWEGEN OF STEEDS HOGER REKTEMPO?
- [HTTPS://CHATGPT.COM/SHARE/67192F4C-B39C-8008-92EE-55156B8FF4E7](https://chatgpt.com/share/67192f4c-b39c-8008-92ee-55156b8ff4e7)

WAT BEPAALT VERSNELLING UITDIJING: SNELHEID OBJECT/SCHAALGROEI OF REK?



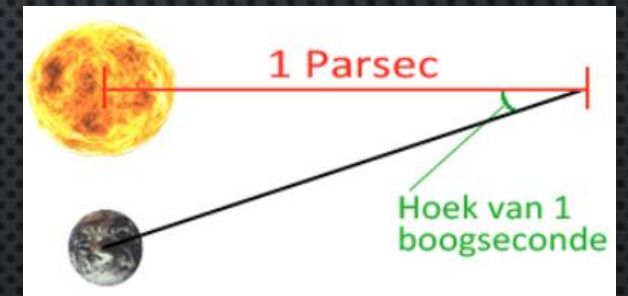




FIGUREN TEN BEHOEVE VAN ILLUSTRATIE EN VERDUIDELIJKING

AFSTAND: EENHEID MEGAPARSEC

- GROTE AFSTANDEN, NOTATIE TE MACHTIG MET TELKENS 10^{+XX} KM
- DUS: INTRODUCTIE VAN KOSMISCHE AFSTANDSEENHEID PARSEC [PC]
- $1 \text{ PC} = 3,1 \times 10^{+13} \text{ KM}$
- $1 \text{ MEGAPARSEC} = 1 \text{ MPC} = 3,1 \times 10^{+19} \text{ KM}$
- $2 \times 10^{+23} \text{ KM} = 21 \text{ MILJARD LY} = 6.482 \text{ MPC}$

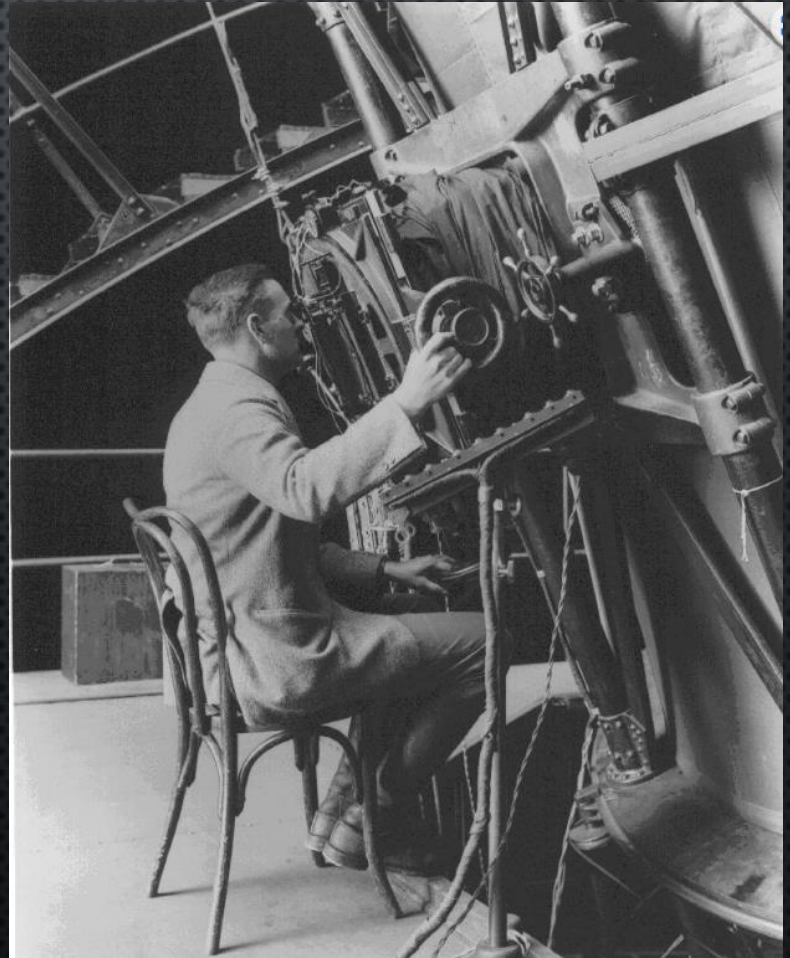
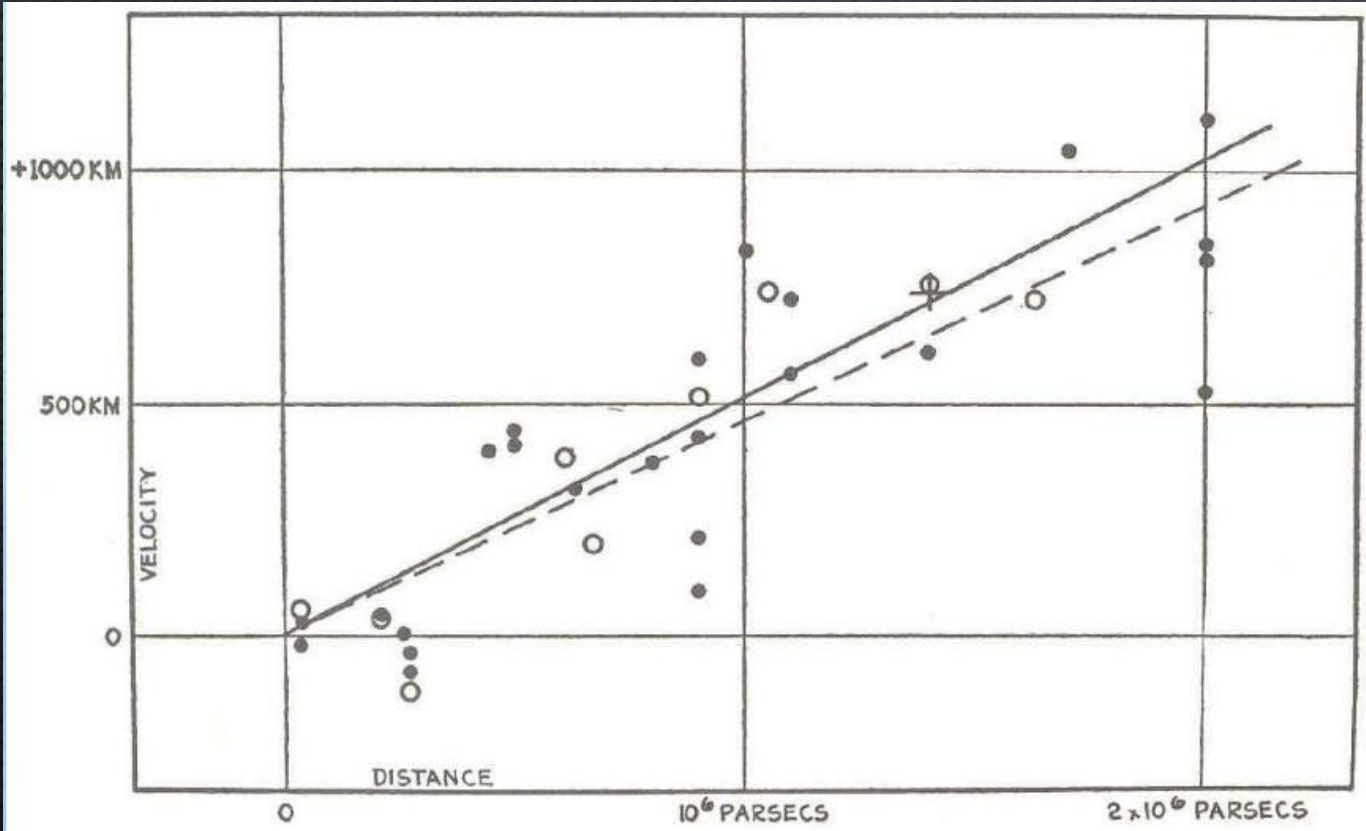


$$V(\text{elocity}) = H_0 * D(\text{istance})$$

Waarde H_0 (ook wel H_0) is gebaseerd op observaties en analyses. Varieert nogal: van 57 +/-4 km/sec/Mpc tot 72 +/-8 km/sec/Mpc.

Ik koos in mijn berekeningen voor $H_0 = 70$ km/sec/Mpc. Middenwaarde tussen CMB-waarde 68,3 en SN1A-waarde 73,04 km/s per Mpc.'

Ned Wright houdt 71 km/s per Mpc aan. [\[10\]](#)



RUNNING TO STAY STILL

The idea of seeing faster-than-light galaxies may sound mystical, but it is made possible by changes in the expansion rate. Imagine a light beam that is farther than the Hubble distance of 14 billion light-years and trying to travel in our direction. It is moving toward us at the speed of light with respect to its local space, but its local space is receding from us faster than the speed of light. Although the light beam is traveling toward us at the maximum speed possible, it cannot keep up with the stretching of space. It is a bit like a child trying to run the wrong way on a moving sidewalk. Photons at the Hubble distance are like the Red Queen and Alice, running as fast as they can just to stay in the same place.

Uit [Misconceptions about the Big Bang - Scientific American, \[11\]](#)

REFERENTIES

- [1] [NASA's James Webb Space Telescope Finds Most Distant Known Galaxy](#), NASA, accessed 2024 May 30
- [2] [Why hasn't JWST broken the cosmic distance record by more?](#) Big Think, accessed 2024 September 25
- [3] [Introduction to Cosmology](#), Barbara Ryden, page 246, The Ohio State University, Department of Astronomy, 2006, Jan 13
- [4] [Expanding Confusion: Common Misconceptions of Cosmological Horizons and the Superluminal Expansion of the Universe](#), Tamara M. Davis and Charles H. Lineweaver, University of New SouthWales, Sydney NSW 2052, Australia Publications of the Astronomical Society of Australia, 2004, 21, 97–109
- [5] [Expansion of the universe, Wikipedia, accessed 2024 October 4](#)
- [6] [Measuring the Expansion of the Universe: Surprising Discrepancies Hint at Inconsistency in the Composition of the Universe \(scitechdaily.com\)](#), accessed 2023 Jan 03, Credit: NASA/WMAP Science Team/ Art by Dana Berry
- [7] [Lambda-Cold Dark Matter, Accelerated Expansion of the Universe, Big Bang-Inflation - Accelerating expansion of the universe – Wikipedia](#), accessed 2023 Jan 03, image: Coldcreation
- [8] [How does the Universe expand? - Space Science for Kids \(science-sparks.com\)](#), accessed 2023 January 04
- [9] [Cosmology crash course 2: Does the Universe expand faster than light?](#), accessed 2024 October 04
- [10] [Ned Wright's Cosmology Tutorial - Part 1 \(ucla.edu\)](#) Accessed 2023 January 02. *Credit: Ned Wright*
- [11] [Misconceptions about the Big Bang - Scientific American](#), By [Charles H. Lineweaver and Tamara M. Davis](#) accessed 2005 March 1



Druk op referentienummer om terug te gaan naar pagina waar je was



Druk op hyperlinks om naar webpagina te gaan (indien van toepassing)