

Erforschen, was die Welt im Innersten zusammenhält

Zwischen Quarks und Galaxien

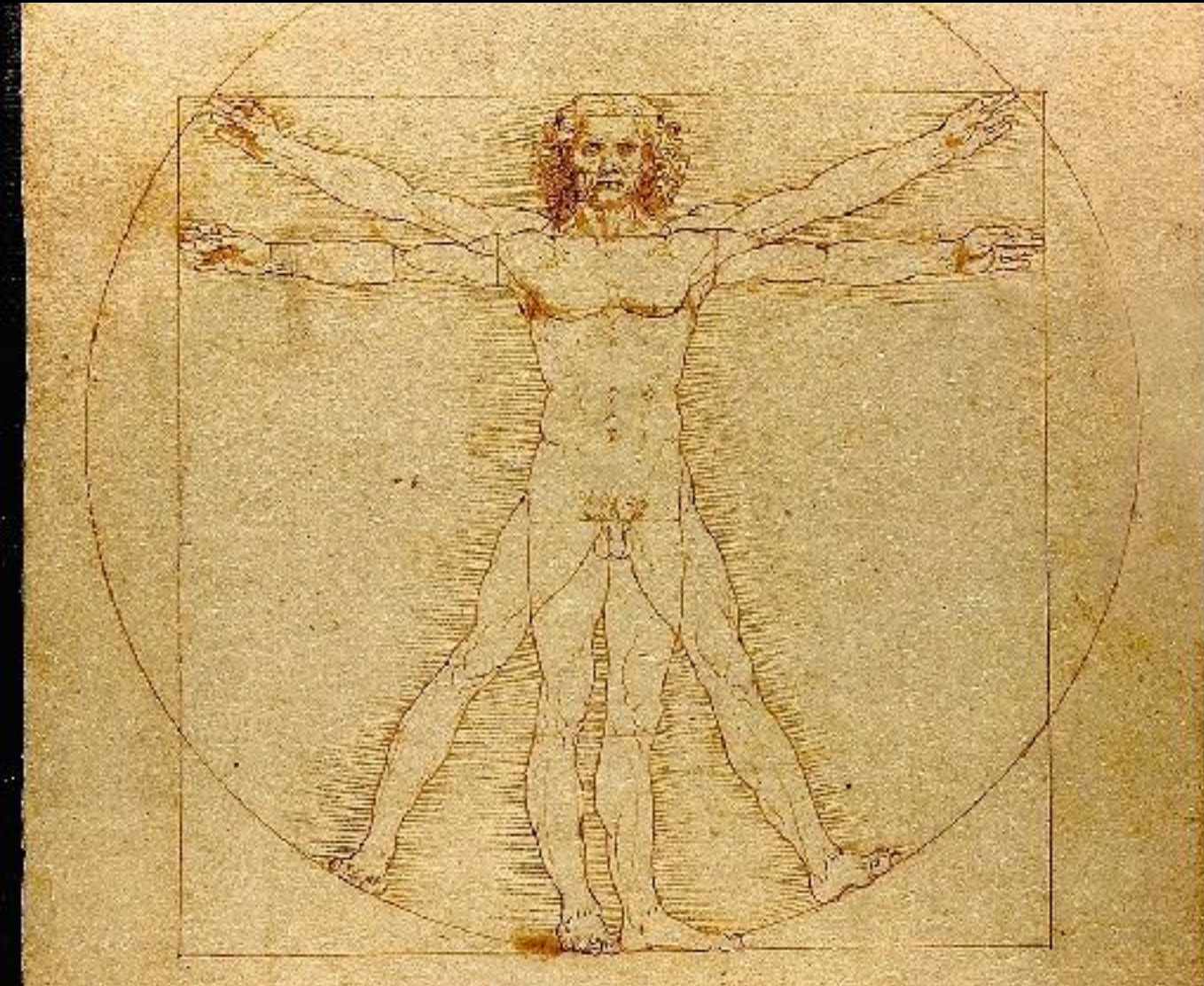
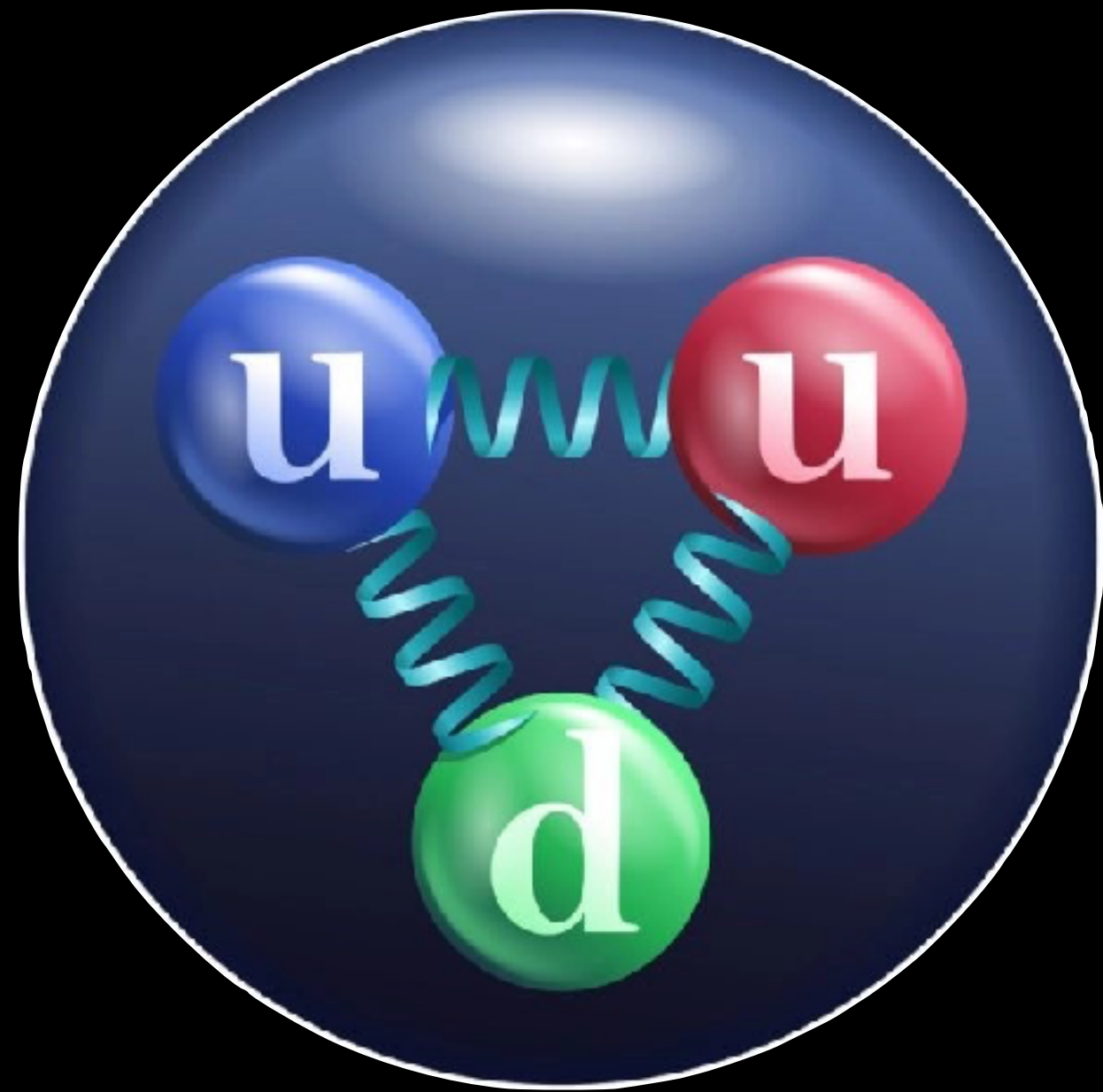
Prof. Dr. Jörg R. Hörandel

Radboud Universität, Nijmegen, Niederlande



<http://hoerandel.eu/faust>

Zwischen Quarks und Galaxien



Eine Reise durch die Größenordnungen des Universums

Wie klein ist klein? Wie groß ist groß?

Quark: 0,000 000 000 000 000 001 m

Atomkern: 0,000 000 000 000 01 m

Molekül: 0,000 000 001 m

Sandkorn: 0,000 5 m

Mensch: ~1,7 m

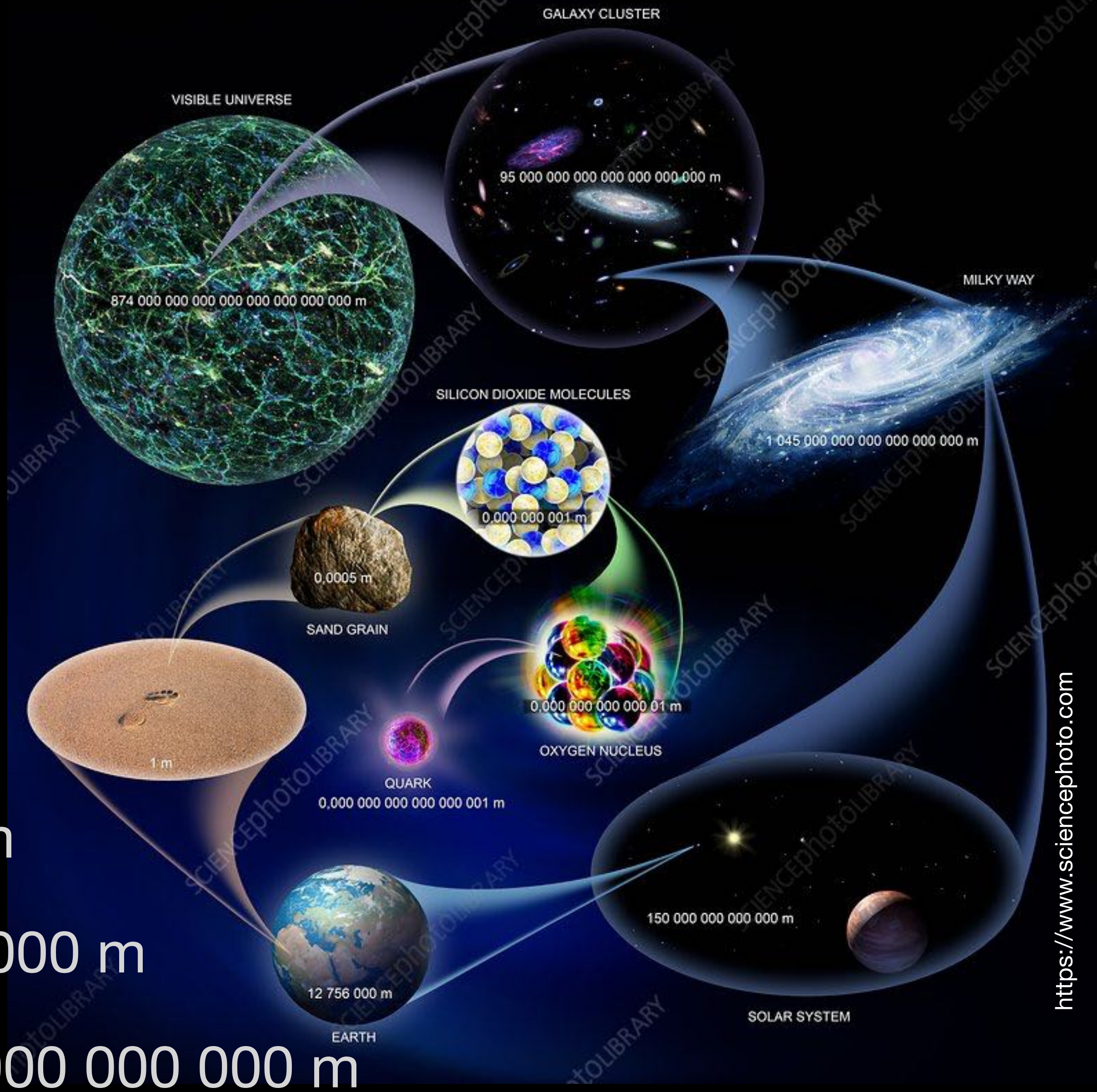
Erde: 12 756 000 m

Sonnensystem: 150 000 000 000 000 m

Milchstraße: 1 045 000 000 000 000 000 000 m

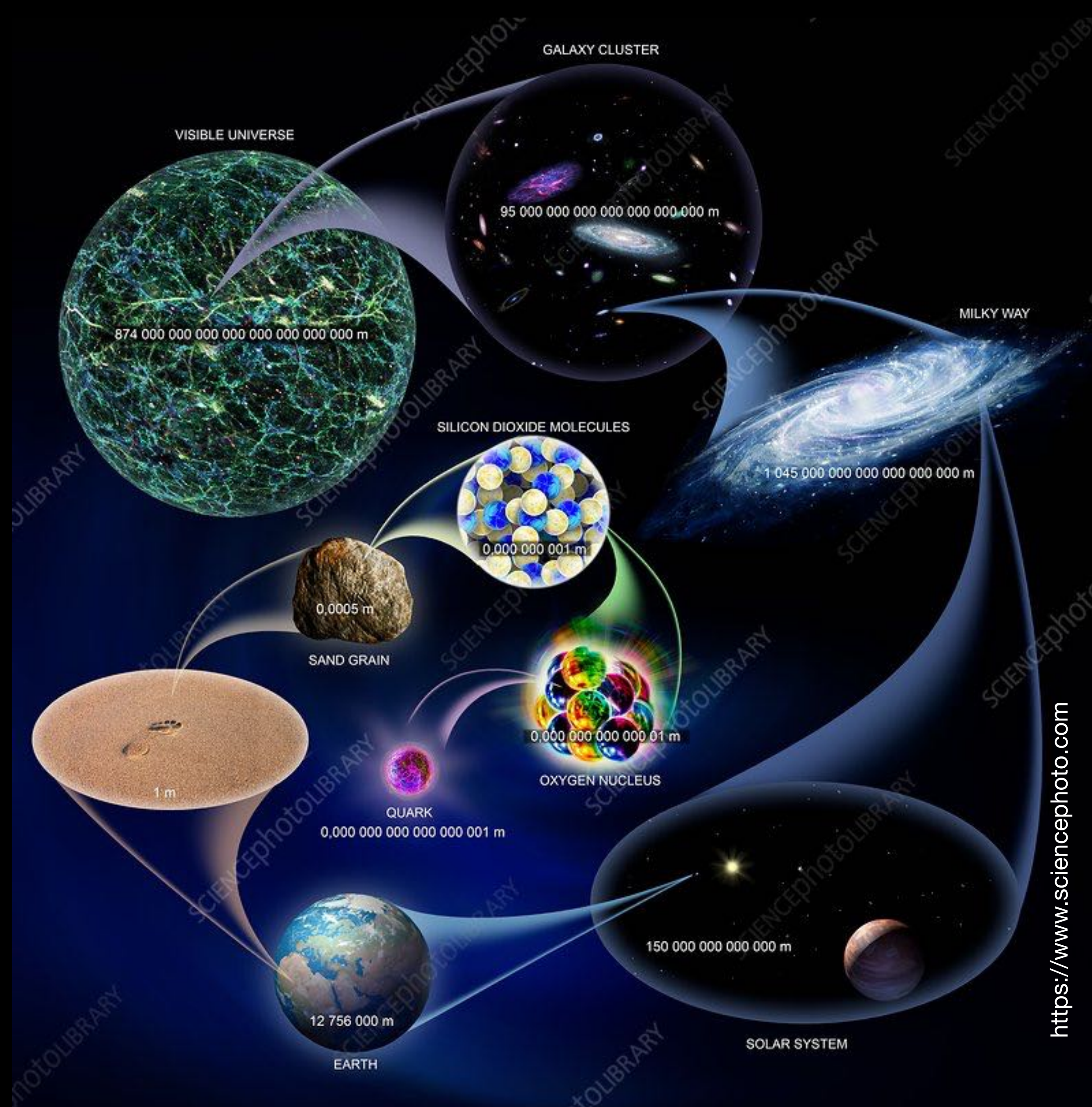
Galaxiencluster: 95 000 000 000 000 000 000 000 m

sichtb. Universum: 874 000 000 000 000 000 000 000 000 m



Wie klein ist klein? Wie groß ist groß?

Quark:	10^{-18} m
Atomkern:	10^{-14} m
Molekül:	10^{-9} m
Sandkorn:	$5 \cdot 10^{-4}$ m
Mensch:	~ 1 m
Erde:	$12,756 \cdot 10^6$ m
Sonnensystem:	$1,5 \cdot 10^{14}$ m
Milchstraße:	$1,045 \cdot 10^{21}$ m
Galaxiencluster:	$9,5 \cdot 10^{22}$ m
sichtb. Universum:	$8,74 \cdot 10^{26}$ m



Wie klein ist klein? Wie groß ist groß?

Quark: 10^{-18} m

Atomkern: 10^{-14} m

Molekül: 10^{-9} m

Sandkorn: $5 \cdot 10^{-4}$ m

Mensch: ~ 1 m

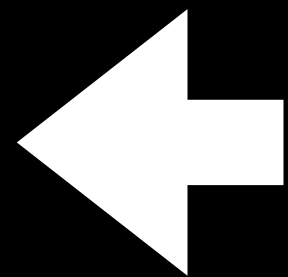
Erde: $12,756 \cdot 10^6$ m

Sonnensystem: $1,5 \cdot 10^{14}$ m

Milchstraße: $1,045 \cdot 10^{21}$ m

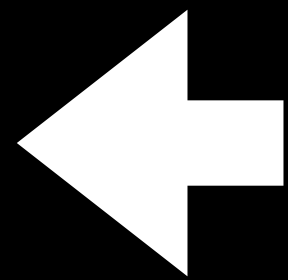
Galaxiencluster: $9,5 \cdot 10^{22}$ m

sichtb. Universum: $8,74 \cdot 10^{26}$ m



Wie klein ist klein? Wie groß ist groß?

Quark: 10^{-18} m



Atomkern: 10^{-14} m

Molekül: 10^{-9} m

Sandkorn: $5 \cdot 10^{-4}$ m

Mensch: ~ 1 m

Erde: $12,756 \cdot 10^6$ m

Sonnensystem: $1,5 \cdot 10^{14}$ m

Milchstraße: $1,045 \cdot 10^{21}$ m

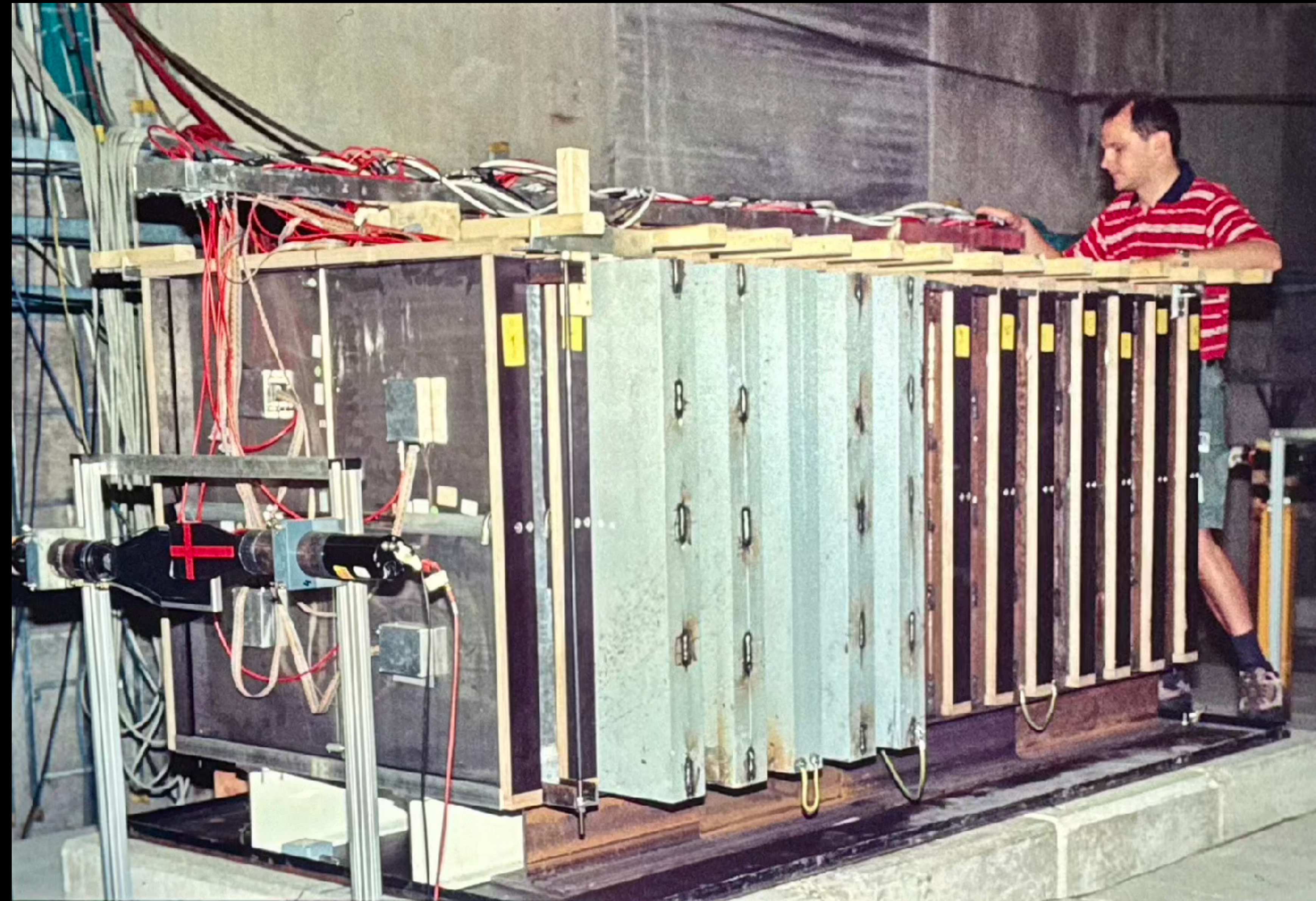
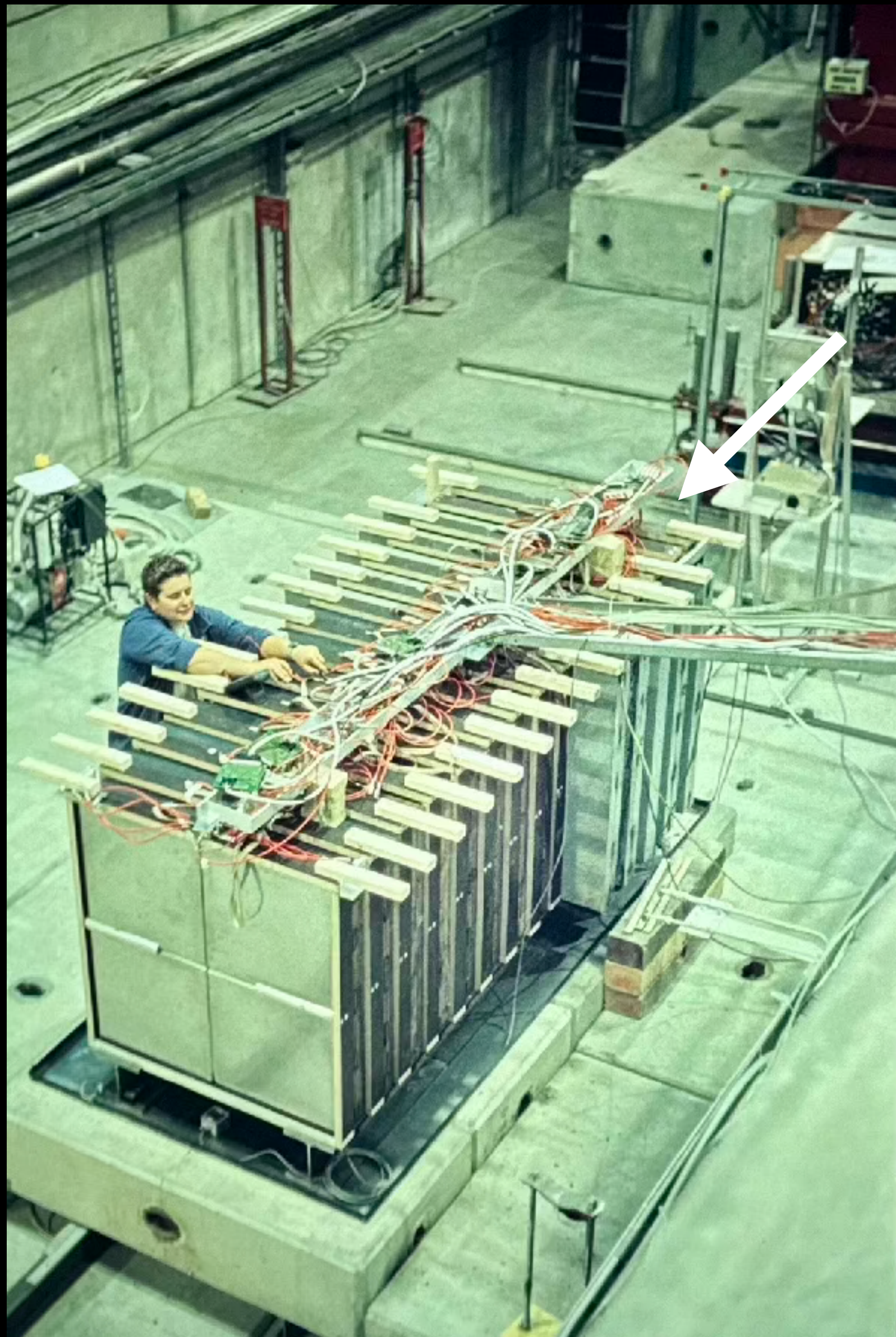
Galaxiencluster: $9,5 \cdot 10^{22}$ m

sichtb. Universum: $8,74 \cdot 10^{26}$ m



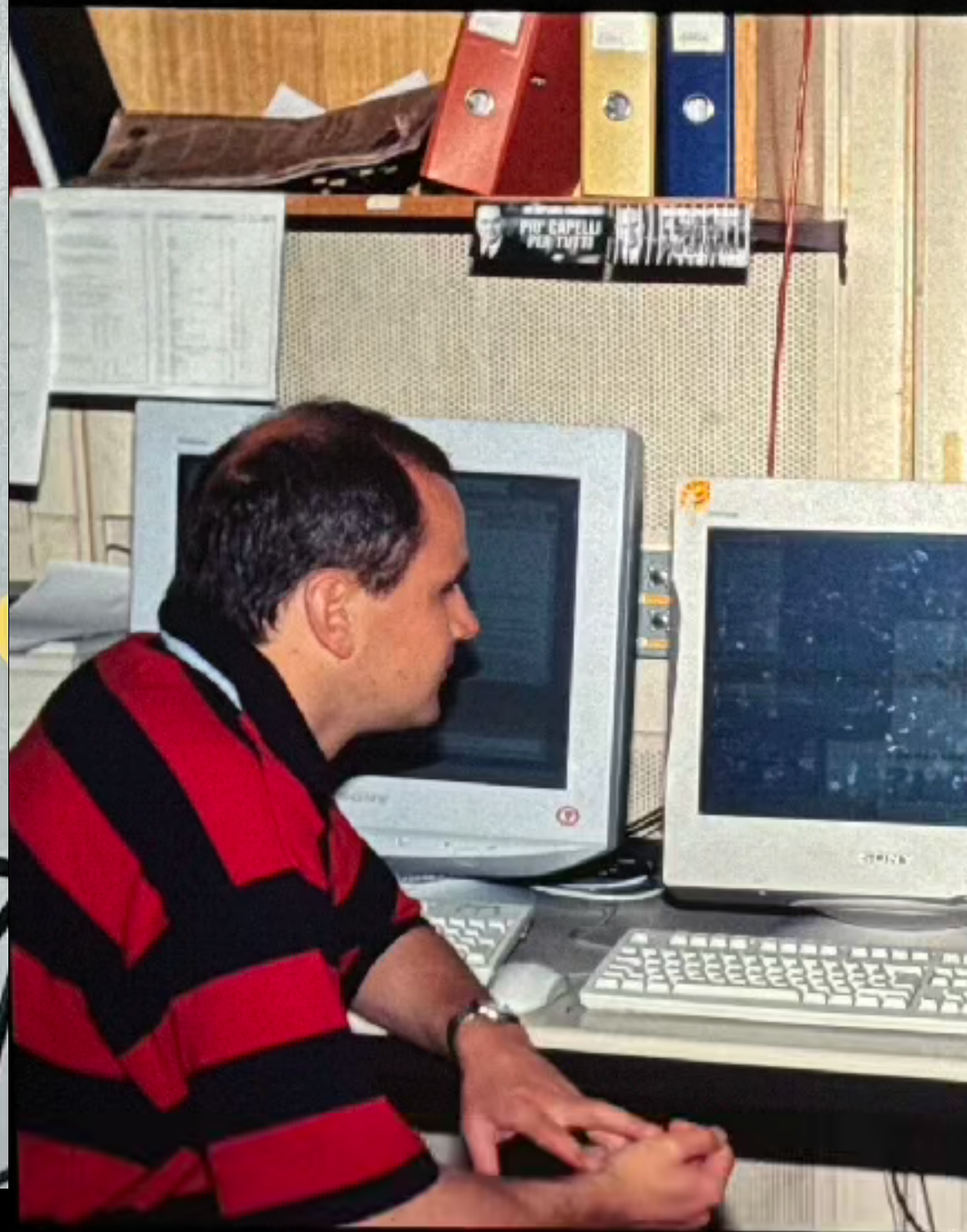
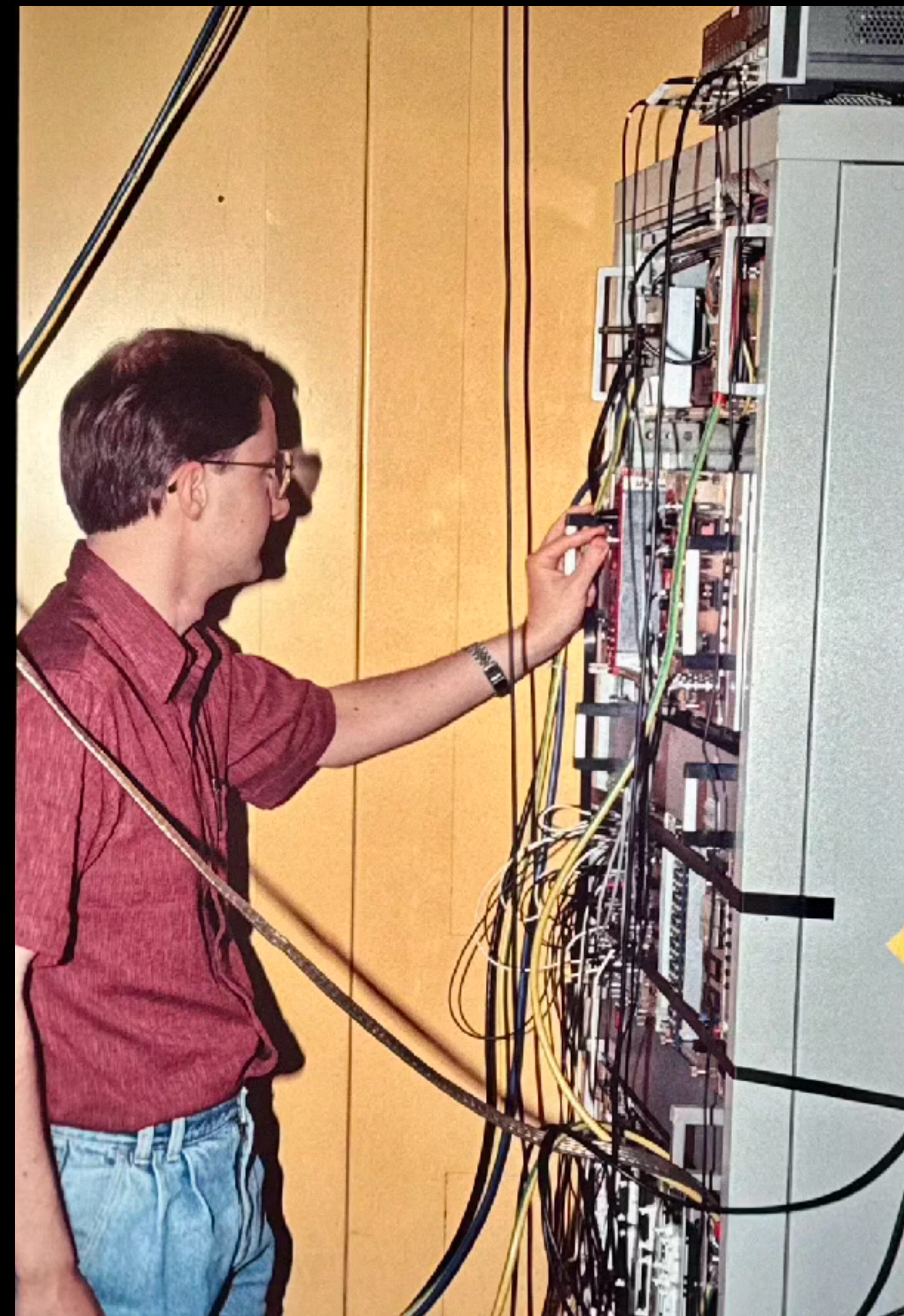
<https://supernova.eso.org>

Messungen am CERN



Juni 2003

Messungen am CERN



```
110 CERN SL 14-06-03 22:31:42
SPS-Protons updated: 14-06-03 22:30:21
CYCLE Type 950: 430 GeV/c SCTS: 16204
Flat top: 4300 ms length: 16.8 s
RATE#E11: MIT Cycle: 231329
0 0.0 0.0
CPS RAMP SSE
to beam dump: 0.0
Targ p/pE11 Mul %Sym Expmt Singles Spill
T1 0.3 7 0 Alice 0.0E+00 0
LHCb 0.0E+00 0
T2 0.0 0 0 CMS 0.0E+00 0
KASCA 3.0E+00 0
T4 0.0 0 0 NA48 0.0E+00 0
T6 0.0 0 0 NA58 3.3E+05 0
T10 0.0 NA48 7.0E+00 0
Comments 14-06-03 19:55h :
Experts working on cooling and
compensator problem
No time estimate for the moment
Have news ASAP
EA:PCR CALL 77508
```

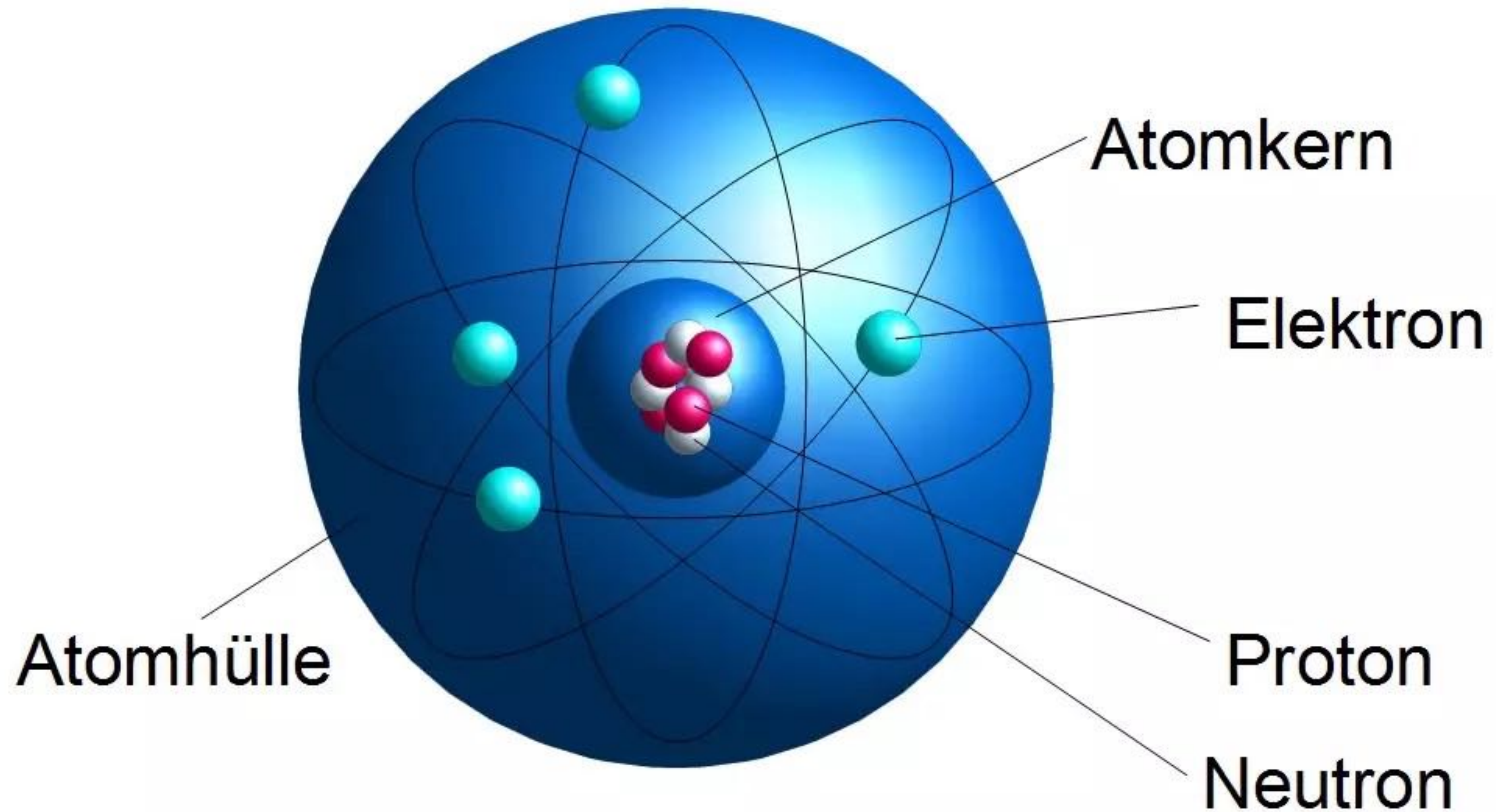
Juni 2003

Alles besteht aus Bausteinen



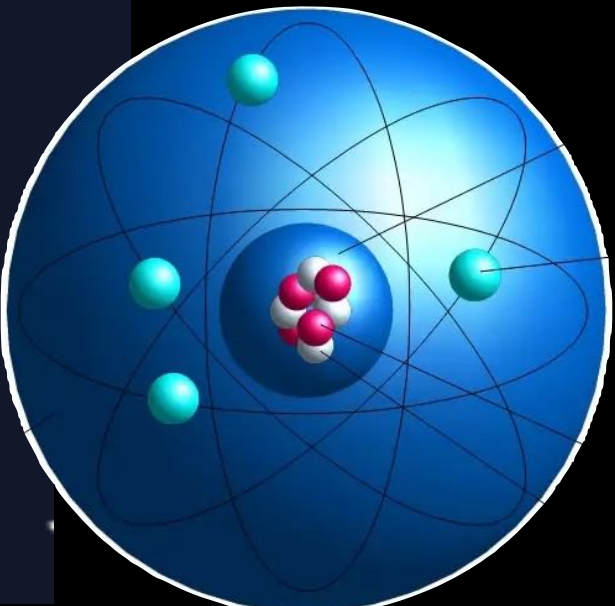
Wenige Grundbausteine erschaffen enorme Vielfalt

Atome – die Grundbausteine der Welt



Periodensystem der Elemente

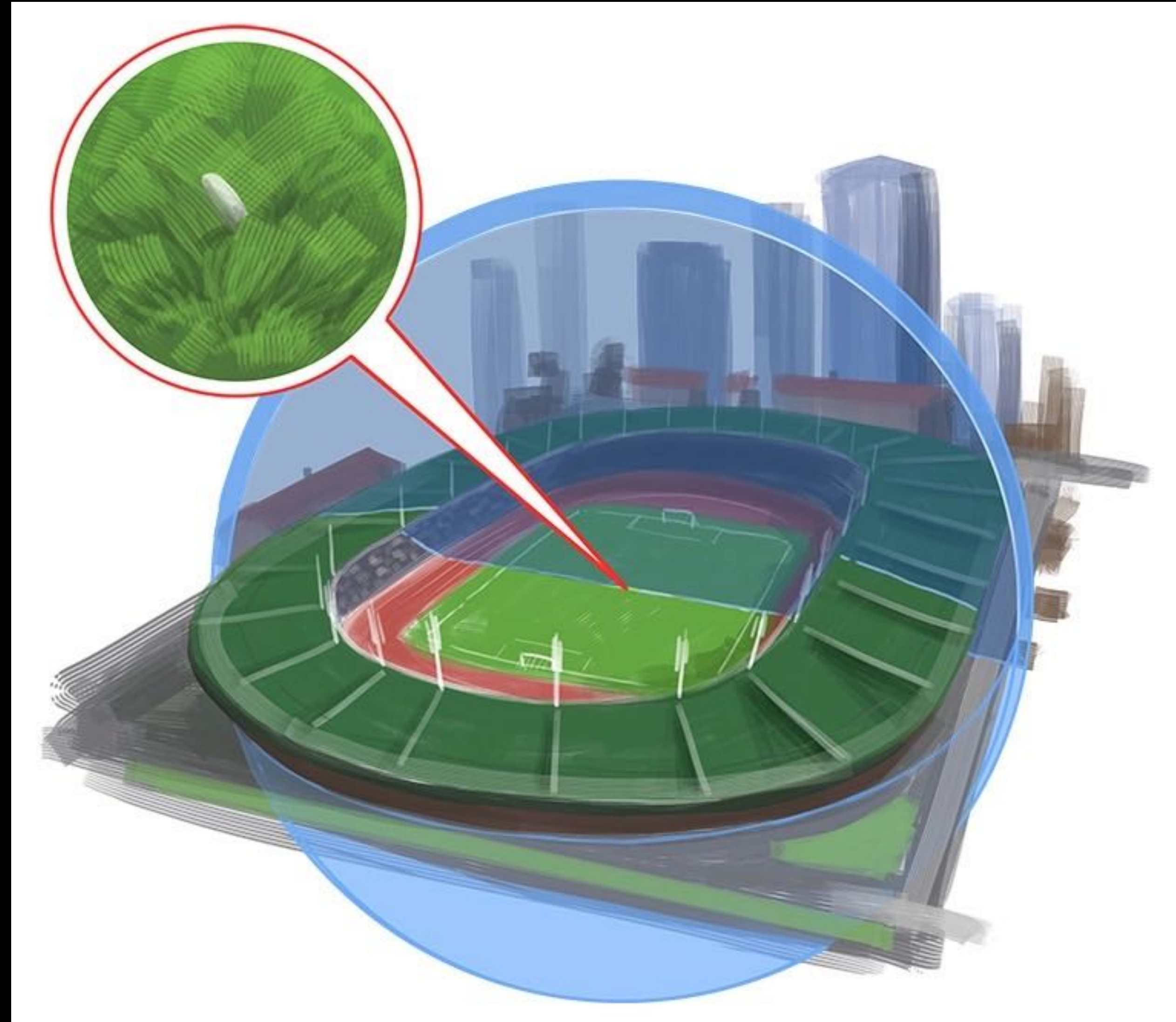
1 H Wasserstoff																	2 He Helium									
3 Li Lithium	4 Be Beryllium	Alkalimetalle Erdalkalimetalle										Halogene Edelgase		Übergangsmetalle Metalle			Halbmetalle Nichtmetalle		Lanthanoide Actinoide		5 B Bor	6 C Kohlenstoff	7 N Stickstoff	8 O Sauerstoff	9 F Fluor	10 Ne Neon
11 Na Natrium	12 Mg Magnesium											13 Al Aluminium	14 Si Silizium	15 P Phosphor	16 S Schwefel	17 Cl Chlor	18 Ar Argon									
19 K Kalium	20 Ca Calcium	21 Sc Scandium	22 Ti Titan	23 V Vanadium	24 Cr Chrom	25 Mn Mangan	26 Fe Eisen	27 Co Cobalt	28 Ni Nickel	29 Cu Kupfer	30 Zn Zink	31 Ga Gallium	32 Ge Germanium	33 As Arsen	34 Se Selen	35 Br Brom	36 Kr Krypton									
37 Rb Rubidium	38 Sr Strontium	39 Y Yttrium	40 Zr Zirkonium	41 Nb Niob	42 Mo Molybdän			44 Ru Ruthenium	45 Rh Rhodium	46 Pd Palladium	47 Ag Silber	48 Cd Cadmium	49 In Indium	50 Sn Zinn	51 Sb Antimon	52 Te Tellur	53 I Iod	54 Xe Xenon								
55 Cs Caesium	56 Ba Barium			72 Hf Hafnium	73 Ta Tantal	74 W Wolfram	75 Re Rhenium	76 Os Osmium	77 Ir Iridium	78 Pt Platin	79 Au Gold	80 Hg Quecksilber	81 Tl Thalium	82 Pb Blei	83 Bi Bismut	84 Po Polonium	85 At Astat	86 Rn Radon								
87 Fr Francium	88 Ra Radium			104 Rf Rutherfordium	105 Db Dubnium	106 Sg Seaborgium	107 Bh Bohrium	108 Hs Hassium	109 Mt Meitnerium	110 Ds Darmstadtium	111 Rg Röntgenium	112 Cn Copernicium	113 Uut Ununtrium	114 Uuq Ununquadium	115 Uup Ununpentium	116 Uuh Ununhexium	117 Uus Ununseptium	118 Uuo Ununoctium								
		57 La Lanthan	58 Ce Cer	59 Pr Praseodym	60 Nd Neodym	61 Pm Promethium	62 Sm Samarium	63 Eu Europium	64 Gd Gadolinium	65 Tb Terbium	66 Dy Dysprosium	67 Ho Holmium	68 Er Erbium	69 Tm Thulium	70 Yb Ytterbium	71 Lu Lutetium										
		89 Ac Actinium	90 Th Thorium	91 Pa Protoactinium	92 U Uran	93 Np Neptunium	94 Pu Plutonium	95 Am Americium	96 Cm Curium	97 Bk Berkelium	98 Cf Californium	99 Es Einsteinium	100 Fm Fermium	101 Md Mendelevium	102 No Nobelium	103 Lr Lawrencium										



<https://www.joqora.de>

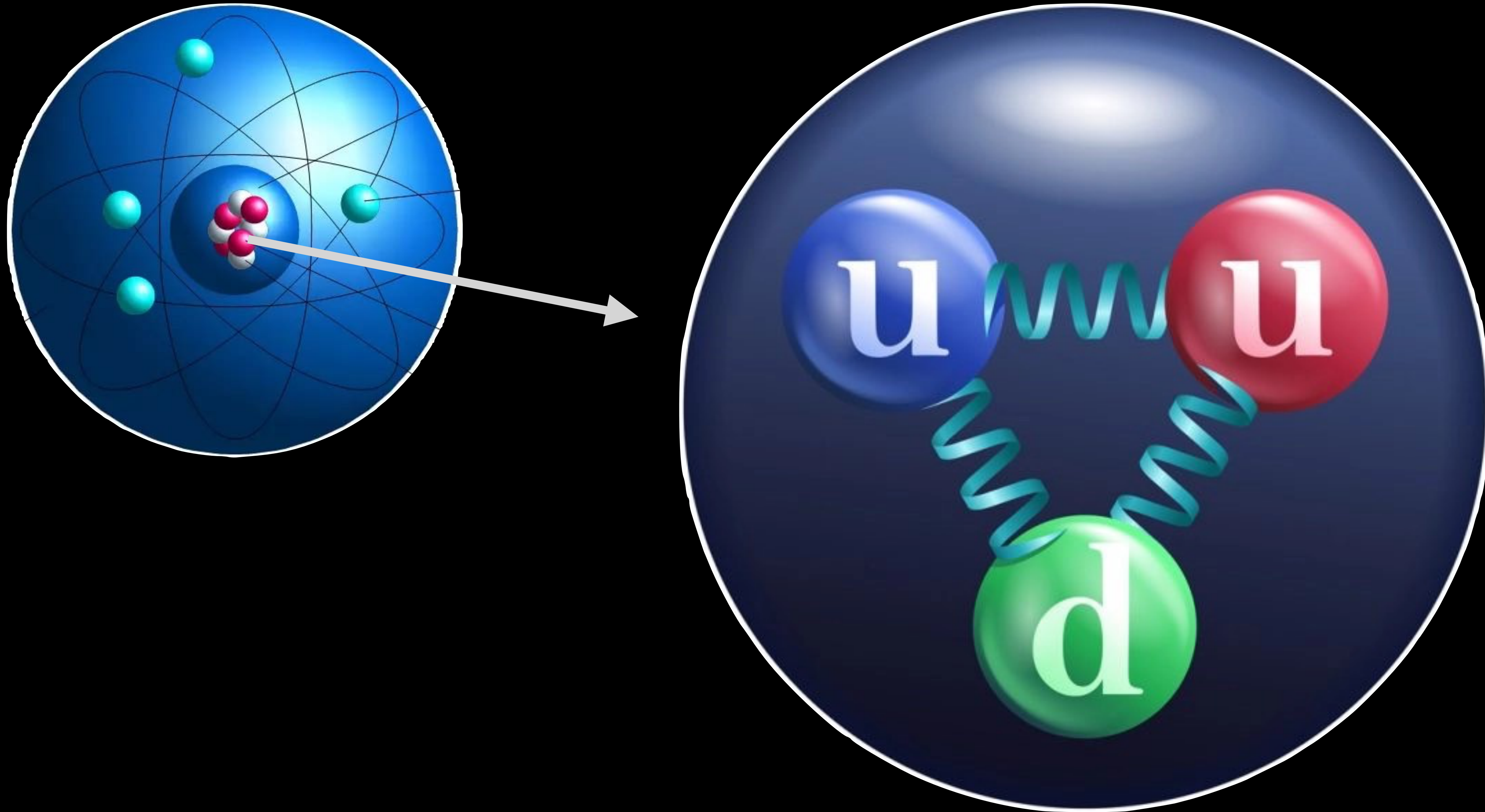
Alle Elemente bestehen aus den selben Bausteinen

Ein Blick ins Atom



Materie ist fast vollständig leerer Raum

Quarks – Bausteine der Bausteine



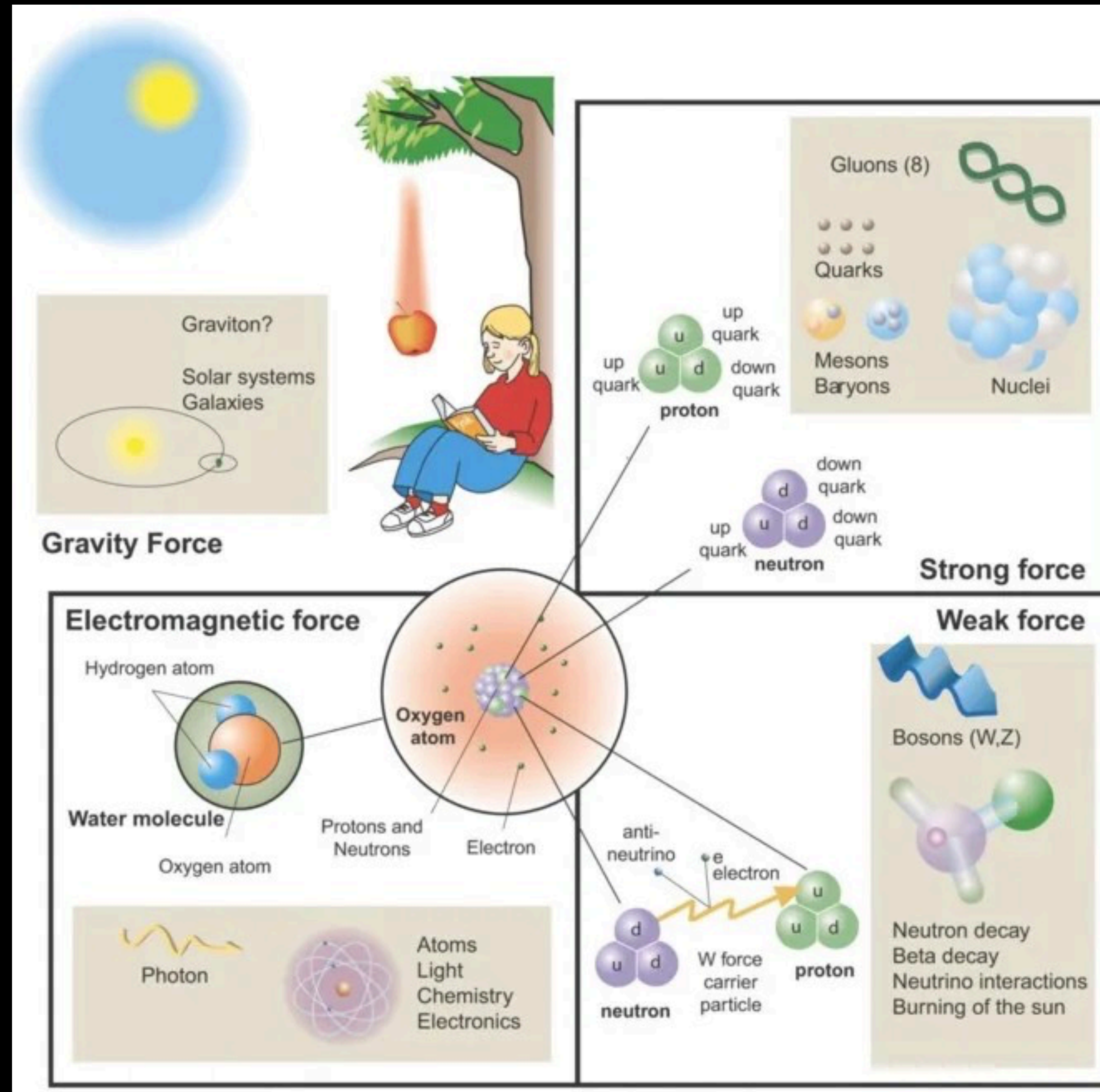


Die unsichtbaren Kräfte der Natur

**Gravitations-
Kraft**

**elektromagnetische
Kraft**

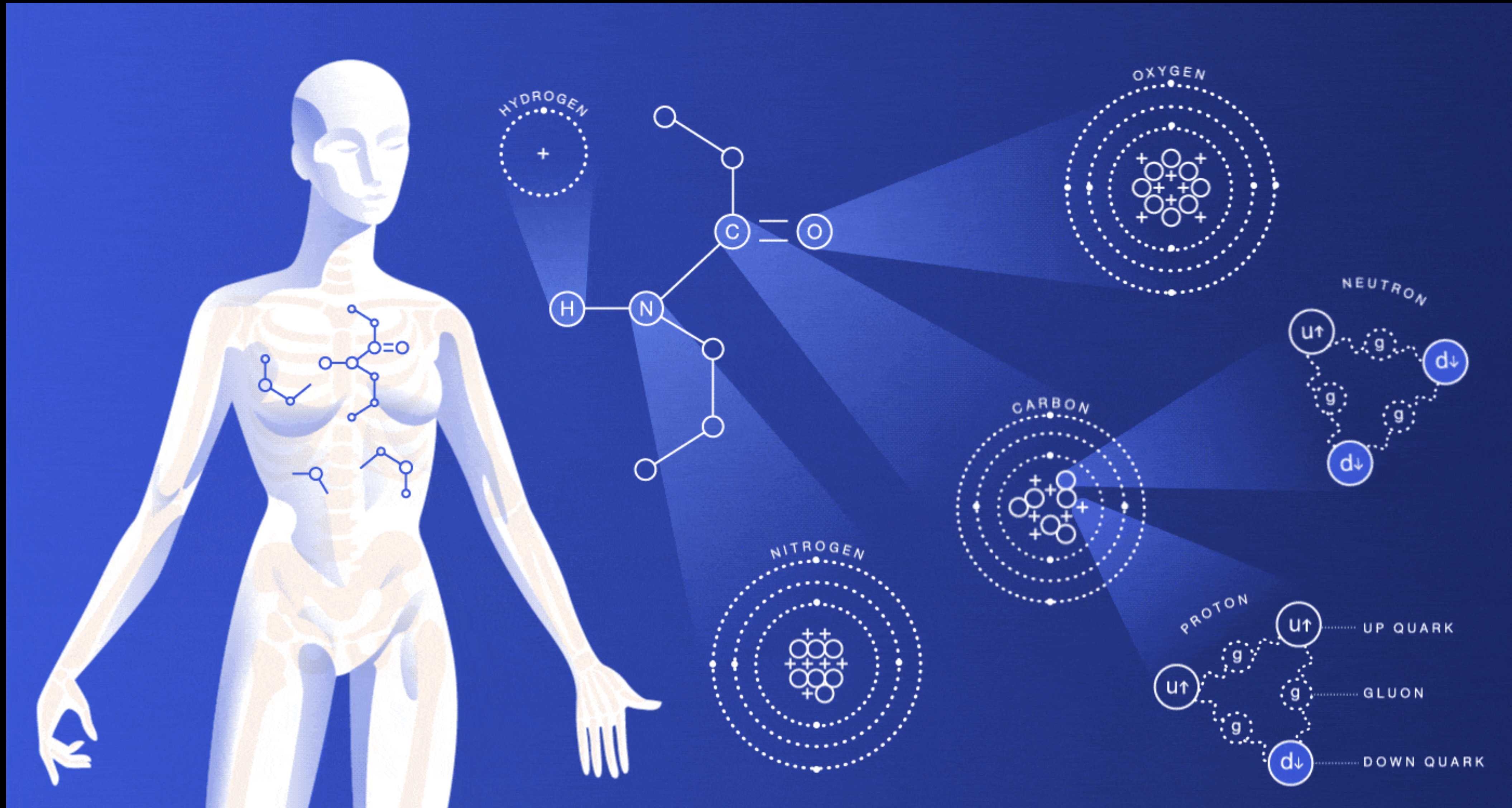
Kräfte halten das Universum zusammen



**starke
(Kern-)Kraft**

**schwache
(Kern-)Kraft**

Vom Teilchen zum Objekt



Materie überall



<https://www.stuttgarter-zeitung.de/>

Gleiche Bausteine im Kosmos und in uns

Wie klein ist klein? Wie groß ist groß?

Quark: 10^{-18} m

Atomkern: 10^{-14} m

Molekül: 10^{-9} m

Sandkorn: $5 \cdot 10^{-4}$ m

Mensch: ~ 1 m

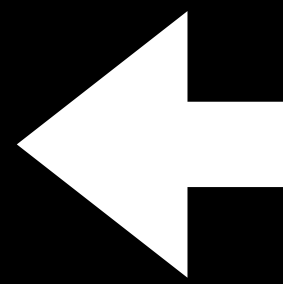
Erde: $12,756 \cdot 10^6$ m

Sonnensystem: $1,5 \cdot 10^{14}$ m

Milchstraße: $1,045 \cdot 10^{21}$ m

Galaxiencluster: $9,5 \cdot 10^{22}$ m

sichtb. Universum: $8,74 \cdot 10^{26}$ m



Wie klein ist klein? Wie groß ist groß?

Quark: 10^{-18} m

Atomkern: 10^{-14} m

Molekül: 10^{-9} m

Sandkorn: $5 \cdot 10^{-4}$ m

Mensch: ~ 1 m

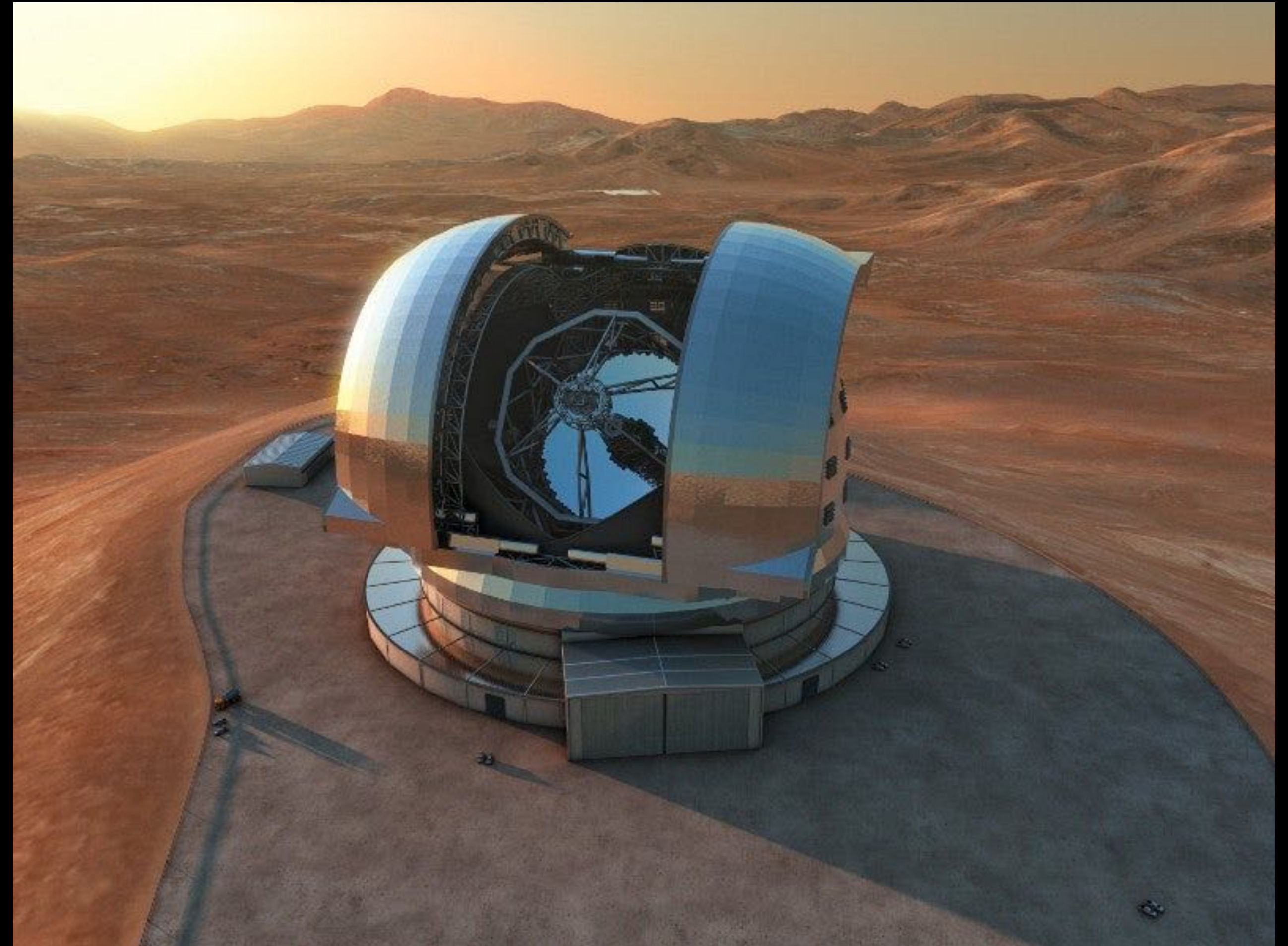
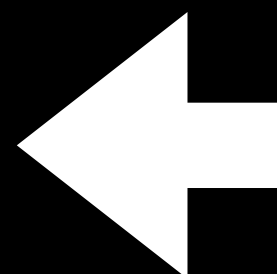
Erde: $12,756 \cdot 10^6$ m

Sonnensystem: $1,5 \cdot 10^{14}$ m

Milchstraße: $1,045 \cdot 10^{21}$ m

Galaxiencluster: $9,5 \cdot 10^{22}$ m

sichtb. Universum: $8,74 \cdot 10^{26}$ m



ESO ELT Teleskop Chile



Januar 2024

ESO ELT Teleskop Chile



Januar 2024

ESO ELT Teleskop Chile



Januar 2024

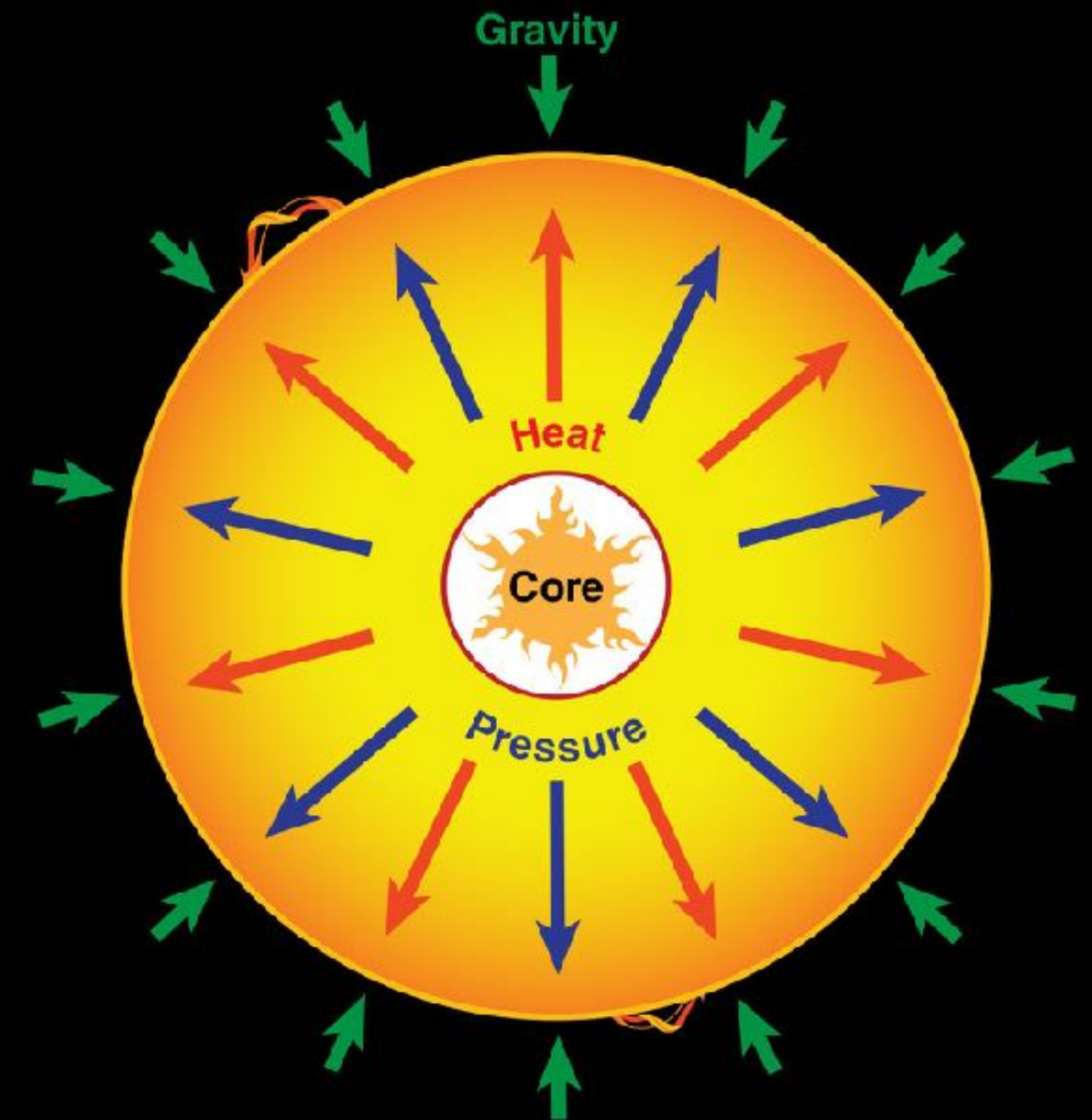
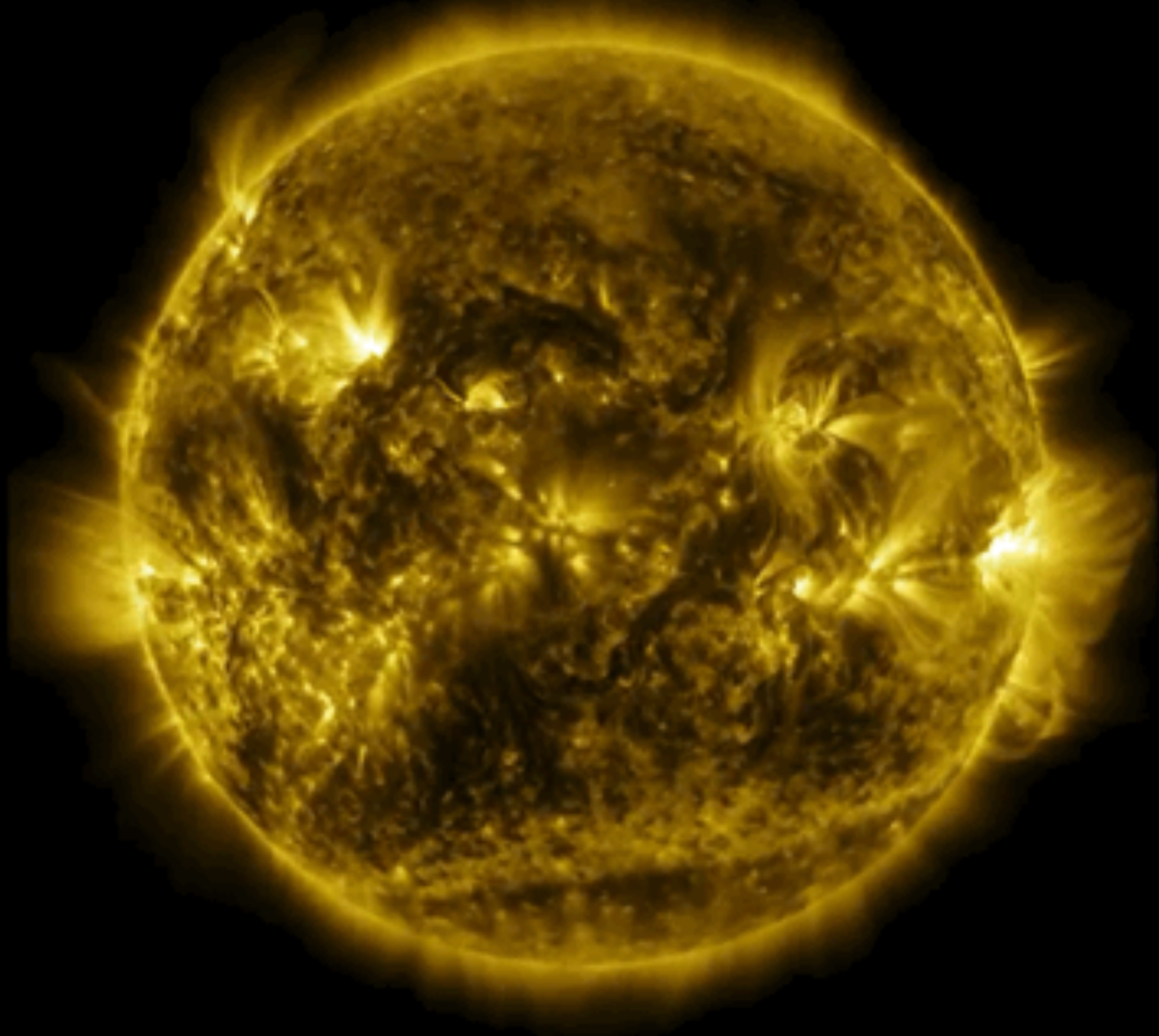
Ein Blick in den Himmel



<https://www.ardalpha.de>

Astronomie ist eine Reise in Raum und Zeit

Sterne – die Kraftwerke des Universums

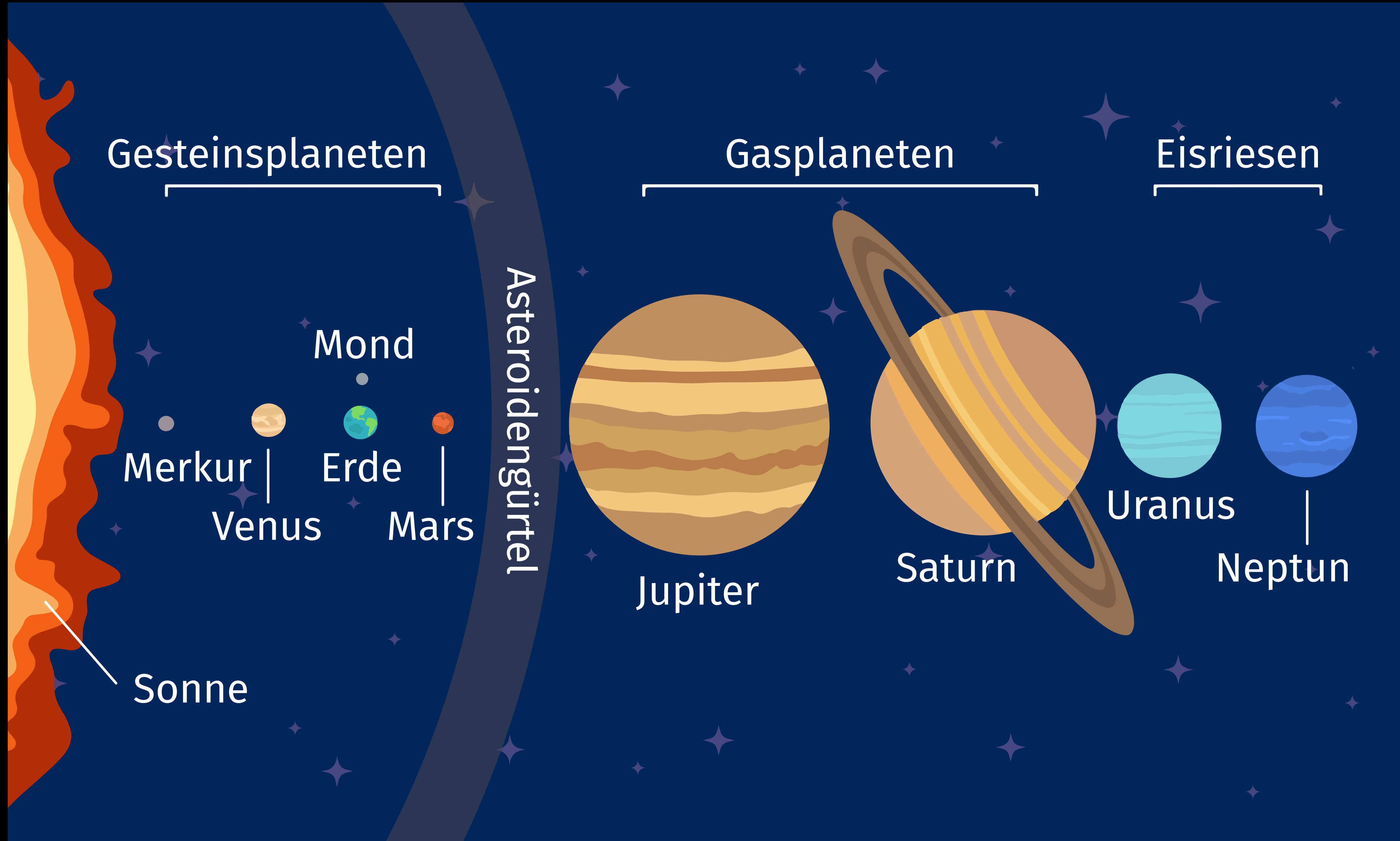


<https://www.labroots.com>

<https://www.cosmos.esa.int>

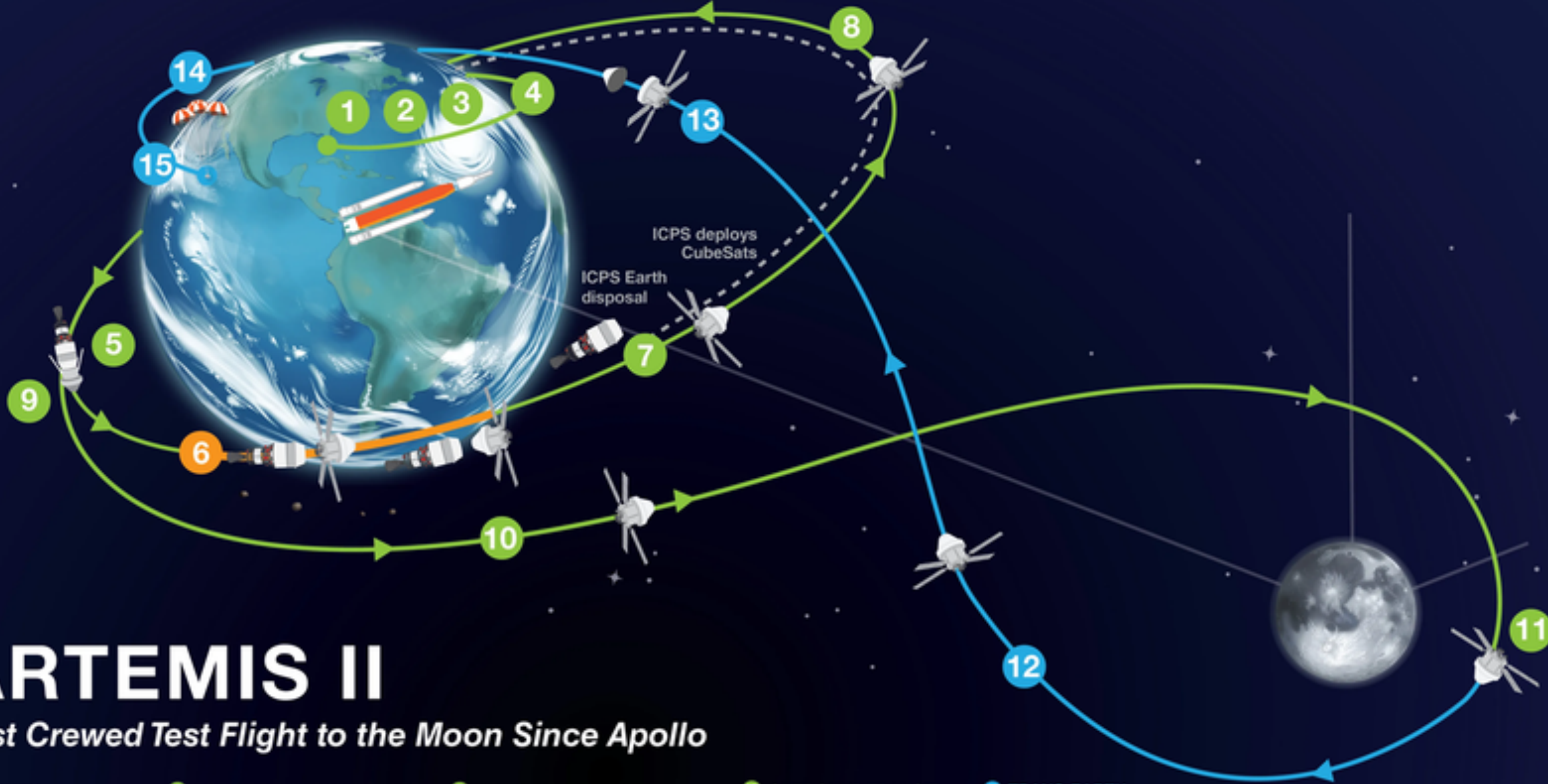
Sterne erzeugen Licht, Wärme und chemische Elemente

Planeten und Sonnensysteme



<https://www.sofatutor.com>

Planeten entstehen aus Sternenmaterial



ARTEMIS II

First Crewed Test Flight to the Moon Since Apollo

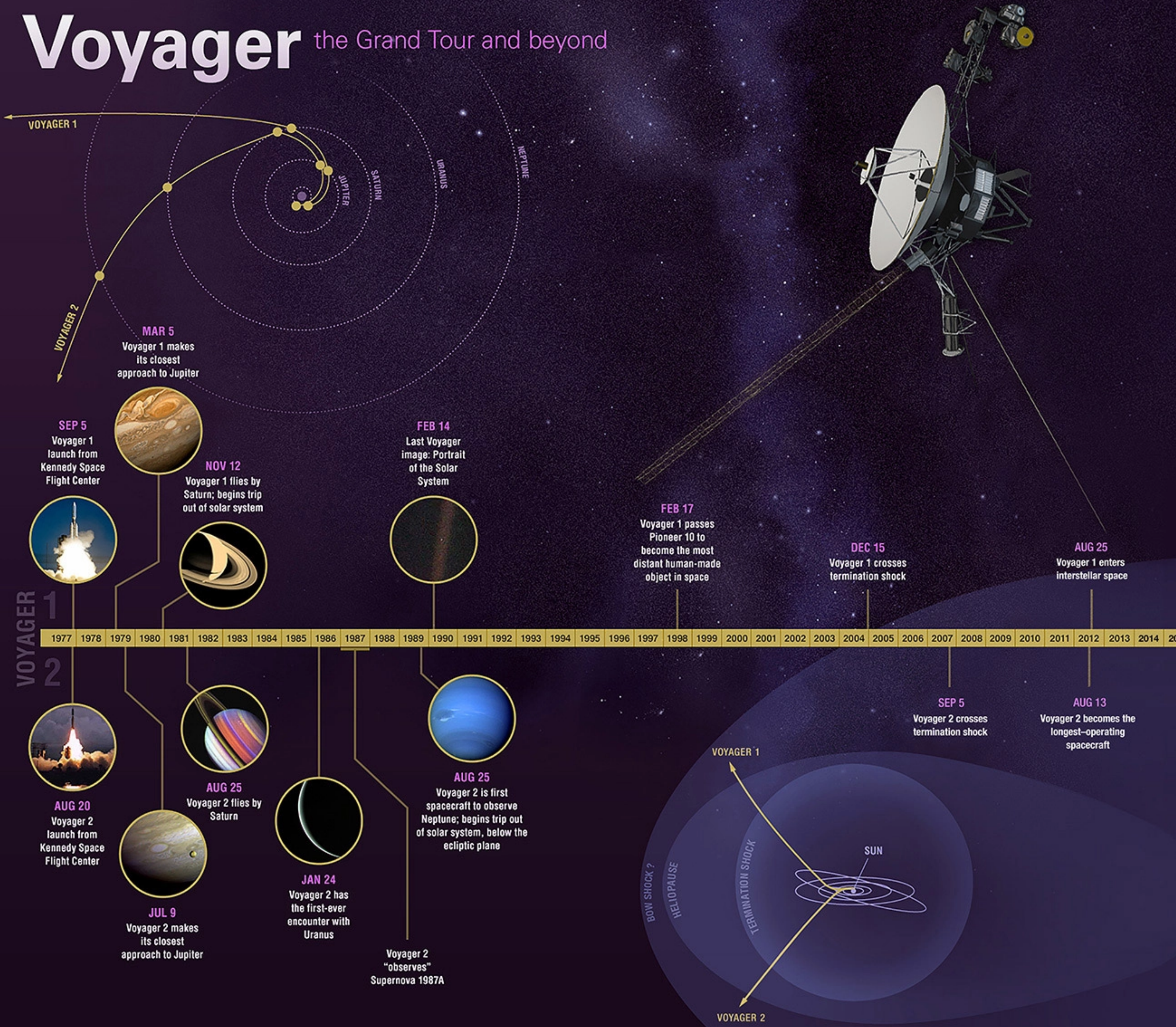
- 1 LAUNCH**
Astronauts lift off from Launch Pad 39B at Kennedy Space Center.
- 2 JETTISON SOLID ROCKET BOOSTERS, FAIRINGS, AND LAUNCH ABORT SYSTEM**
- 3 CORE STAGE MAIN ENGINE CUT OFF**
With separation.
- 4 PERIGEE RAISE MANEUVER**
- 5 APOGEE RAISE BURN TO HIGH EARTH ORBIT**
Begin 23.5-hour checkout of spacecraft.
- 6 ORION SEPARATION FROM INTERIM CRYOGENIC PROPULSION STAGE (ICPS) FOLLOWED BY PROX OPS DEMO**
Plus manual handling qualities assessment for up to 2 hours.
- 7 ORION UPPER STAGE SEPARATION (USS) BURN**
Begins high Earth orbit checkout. Life support, exercise, and habitation equipment evaluations.
- 8 PERIGEE RAISE BURN**
- 9 TRANS-LUNAR INJECTION (TLI) BY ORION'S MAIN ENGINE**
Lunar free return trajectory initiated with European service module.
- 10 OUTBOUND TRANSIT TO MOON**
Outbound trajectory correction (OTC) burns as necessary for lunar free return trajectory; travel time approximately 4 days.
- 11 LUNAR FLYBY**
4,047 mi/6,513 km (mean) lunar far side flyby altitude.
- 12 TRANS-EARTH RETURN**
Return trajectory correction (RTC) burns as necessary to aim for Earth's atmosphere; travel time approximately 4 days.
- 13 CREW MODULE SEPARATION FROM SERVICE MODULE**
- 14 ENTRY INTERFACE (EI)**
Enter Earth's atmosphere.
- 15 SPLASHDOWN**
Ship recovers astronauts and capsule.

PROXIMITY OPERATIONS DEMONSTRATION SEQUENCE	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	

AIIMM-08.20.25

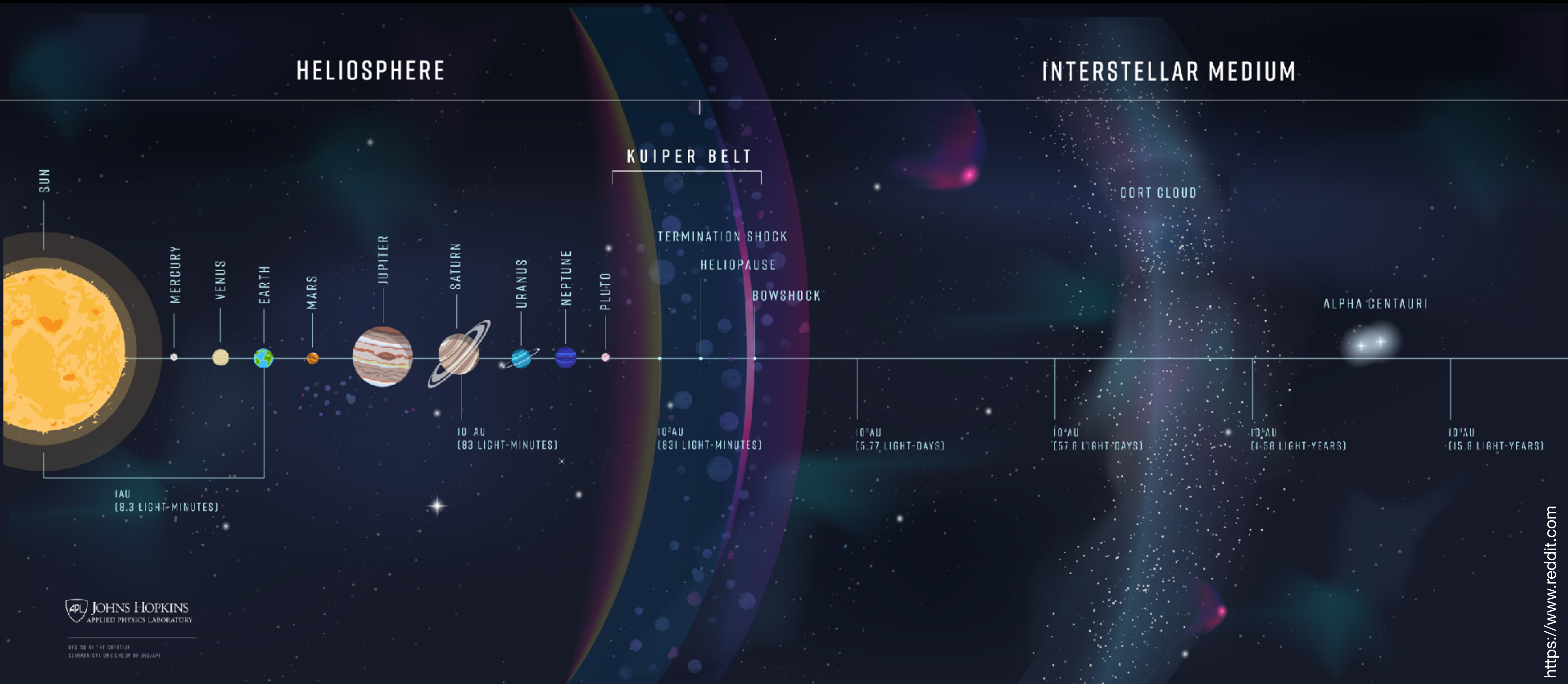
<https://www.dlr.de>

Voyager the Grand Tour and beyond



April 2026
Abstand Erde - Voyager 1:
25 400 000 000 km
Signallaufzeit: 23 h

Jenseits unseres Sonnensystems



APL JOHNS HOPKINS
APPLIED PHYSICS LABORATORY

DESIGNED BY THE GRAPHIC
COMMUNICATIONS GROUP OF JHU/APL

<https://www.reddit.com>

Voyager: In 50 Jahren bis an den Rand unseres Sonnensystems

Der nächste Stern



Entfernung: 4,24 Lichtjahre

~ 40 000 000 000 000 km

<https://www.eso.org>

Proxima Centauri

Unsere Heimat: Die Milchstraße



wir



Abstand
Erde - Zentrum der Milchstraße
26 000 Lichtjahre
246 000 000 000 000 000 km

<https://shop.karwendelbilder.de>

<https://www.syfy.com>

Unser Platz im kosmischen Gefüge

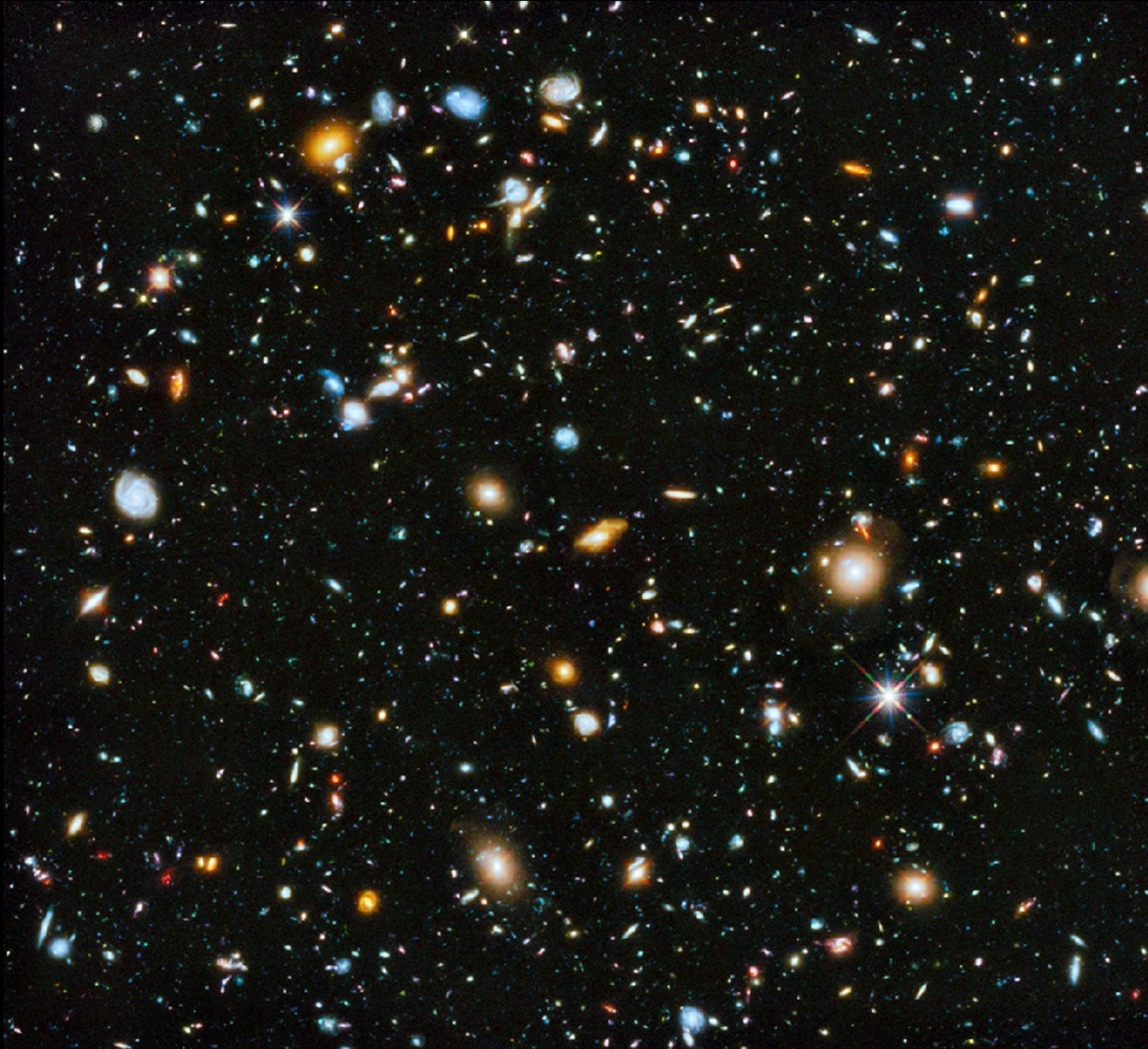
Andromeda Galaxie



Entfernung: 2,5 Millionen Lichtjahre

Unsere nächste Nachbargalaxie

Galaxien – Inseln im Kosmos



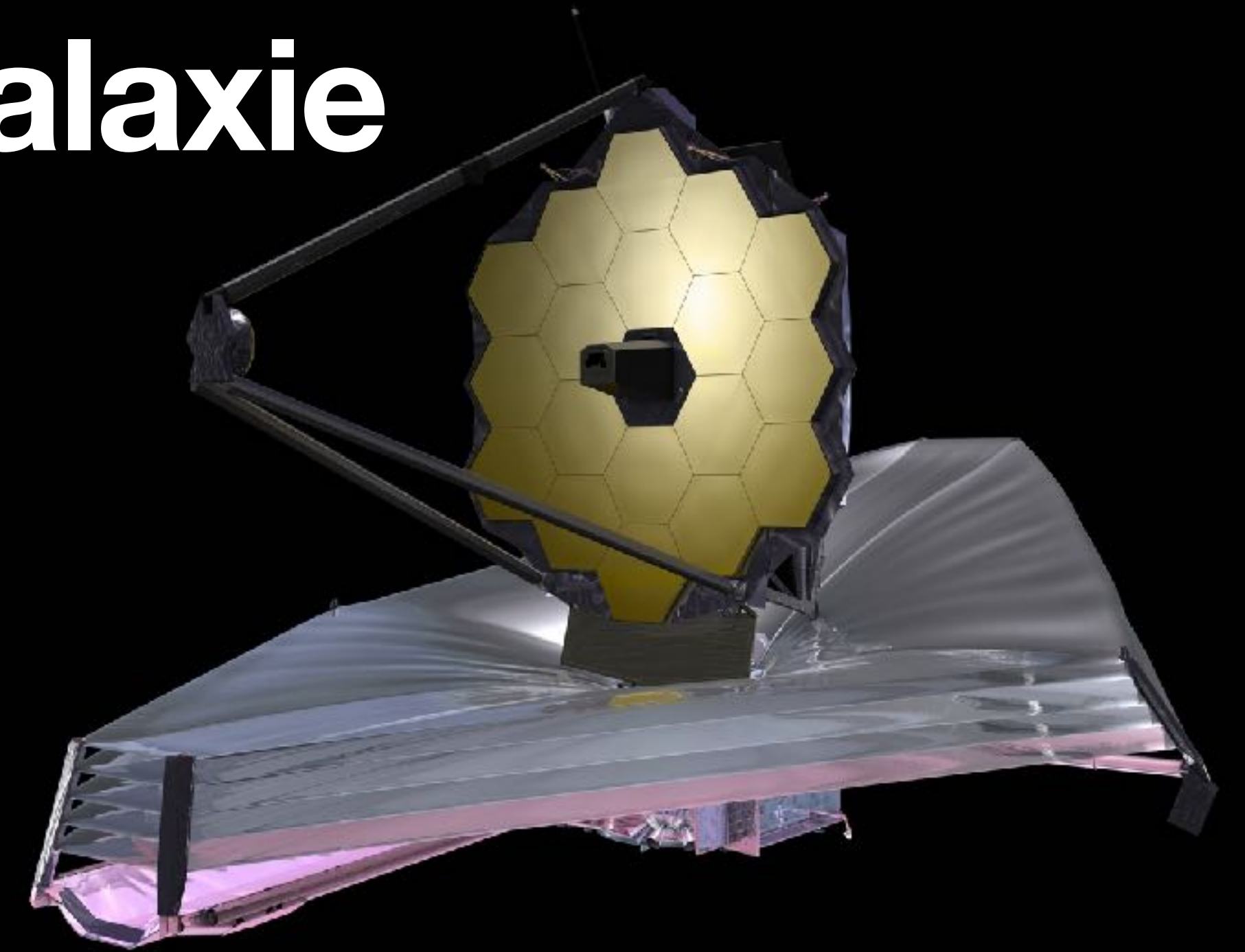
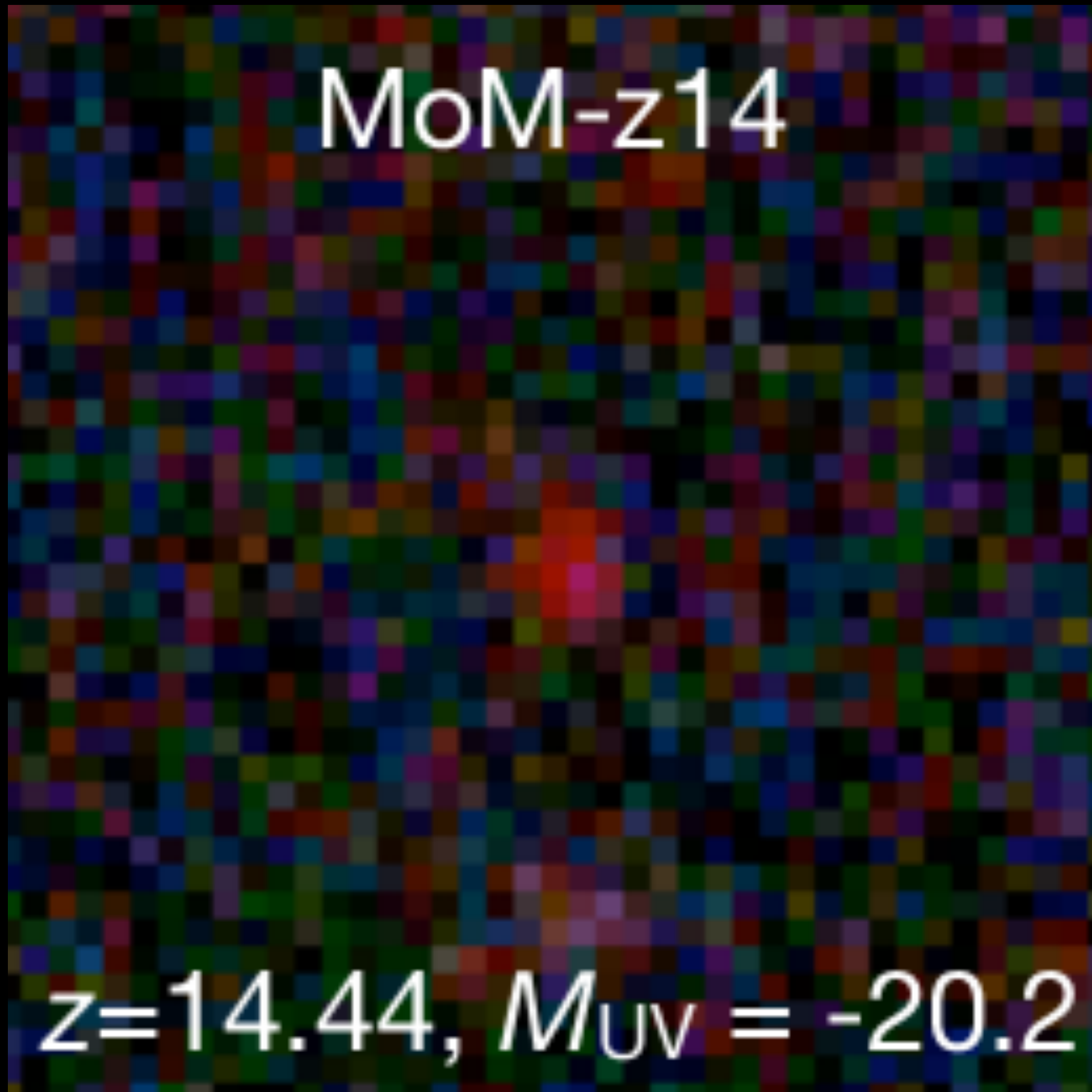
Hubble-Weltraumteleskop

<https://en.wikipedia.org>

<https://science.nasa.gov>

Galaxien sind die Bausteine des Universums

Die am weitesten entfernte Galaxie



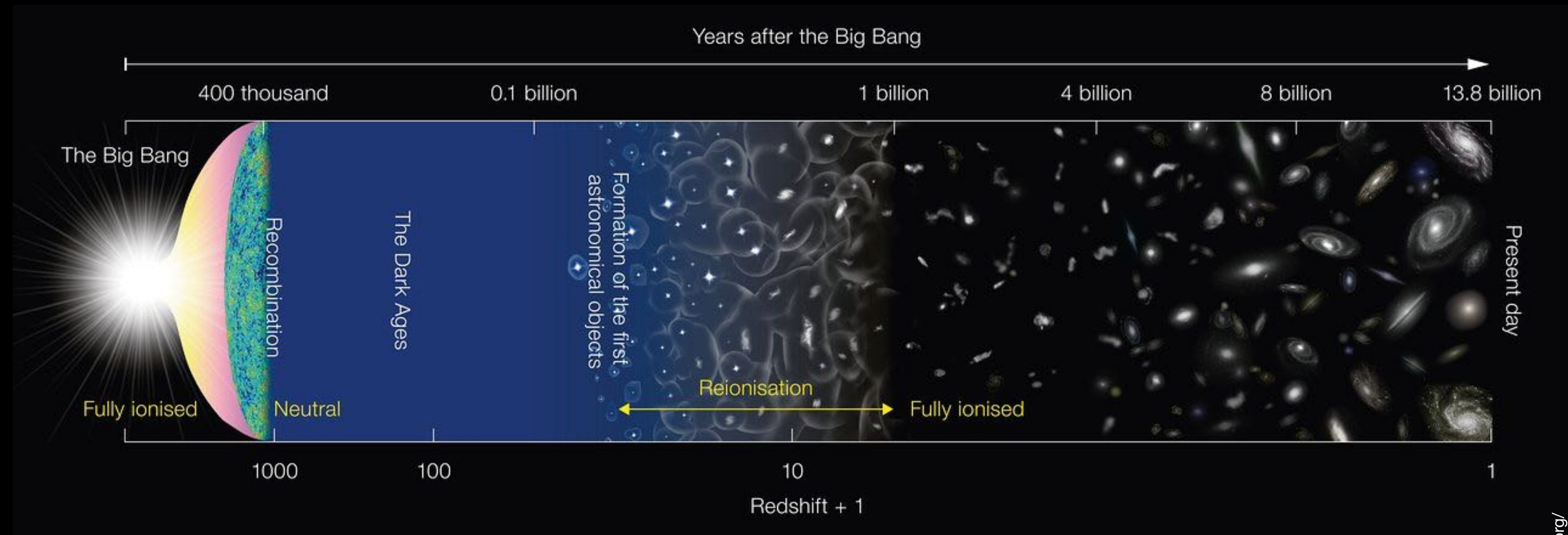
James-Webb-Weltraumteleskop

Lichtlaufzeit: 13,4 Milliarden Jahre

Entfernung: $3 \cdot 10^{23}$ km

entstanden 280 Millionen Jahre
nach dem Urknall

Der Urknall



<https://www.eso.org/>

Raum und Zeit hatten einen Anfang

Ein Universum in Bewegung

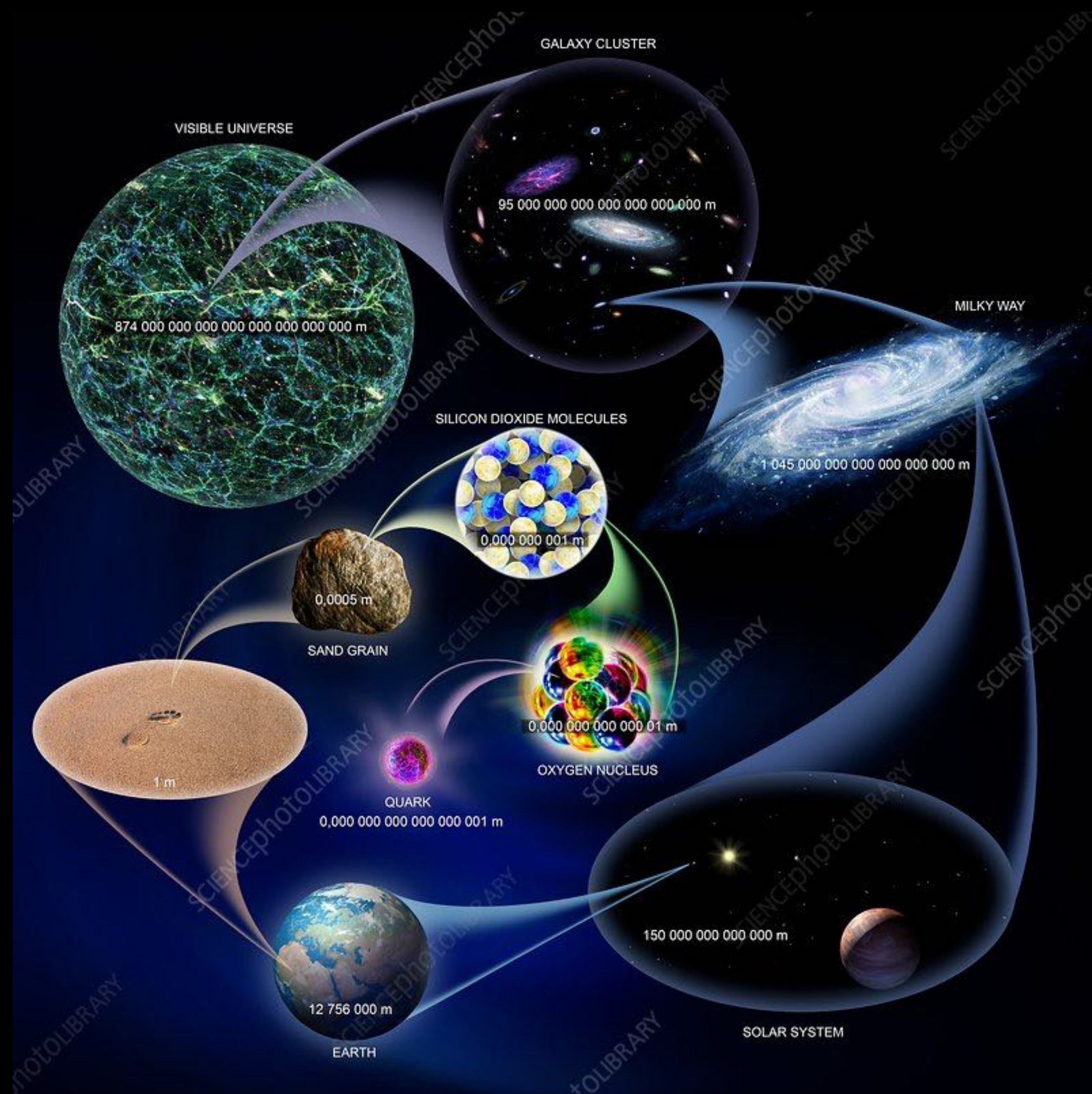


Edwin Hubble 1923

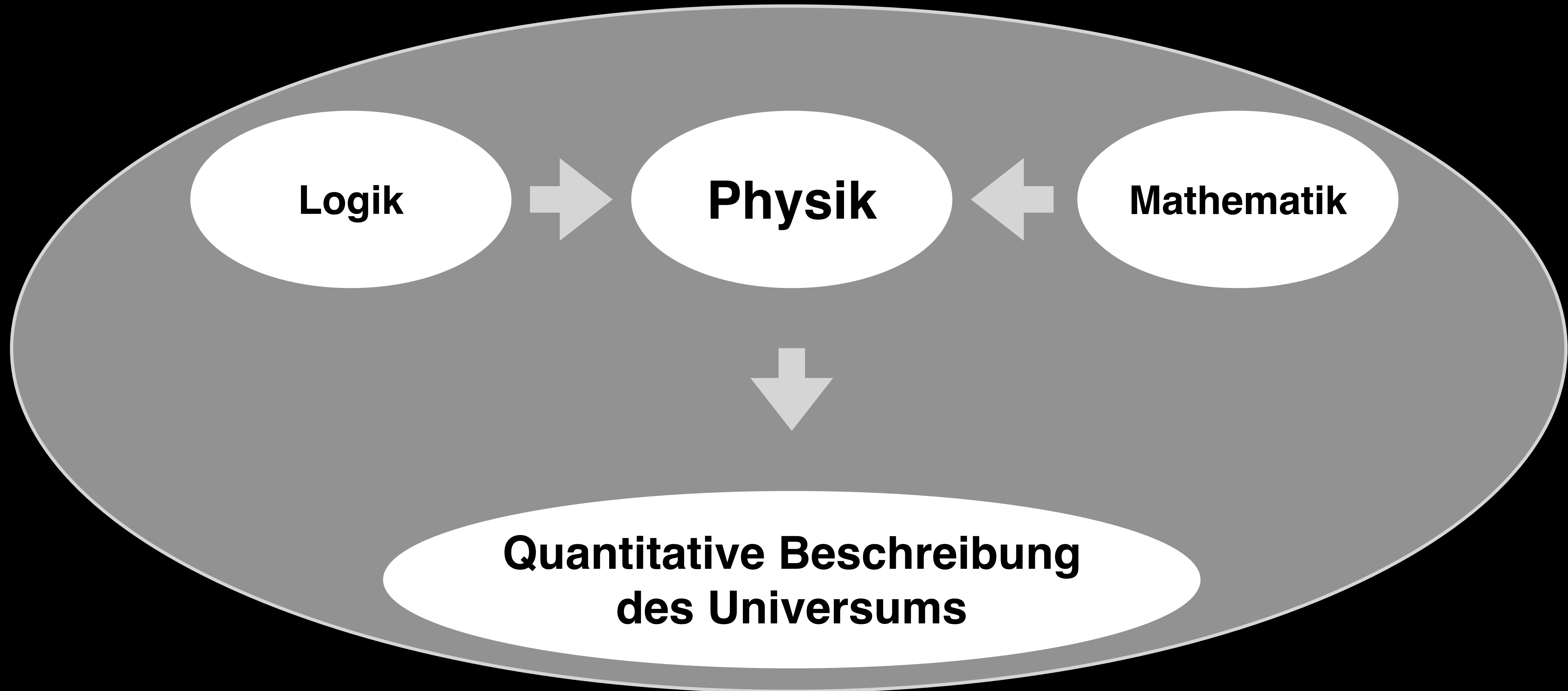


Das Universum dehnt sich aus

Vom Kleinsten zum Größten



Was wir wissen – und was nicht



Warum sind wir hier?

Auf der Erde gibt es eine Lebensform mit Bewusstsein, eine beobachtende Intelligenz.

Wie muss das dazu gehörige Universum aussehen?

Diese Frage kann nicht beantwortet werden ohne die folgenden logischen Schritte:

- **Bewusstsein setzt voraus, dass es Leben gibt;**
- **Leben braucht als Grundlage seines Entstehens chemische Elemente, vor allem auch solche, die schwerer sind als Wasserstoff und Helium;**
- **Schwere Elemente entstehen aber nur durch thermonukleare Verbrennung der leichten Elemente, also durch Atomkernverschmelzung;**
- **Atomkernverschmelzungen laufen jedoch nur im Innern der Sterne ab und benötigen wenigstens einige Milliarden Jahre, um größere Mengen an schweren Elementen zu produzieren;**
- **Eine Zeitspanne von mehreren Milliarden Jahren steht aber nur in einem Universum zur Verfügung, das selbst wenigstens einige Milliarden Jahre alt und damit einige Milliarden Lichtjahre ausgedehnt ist.**

Warum haben die Naturkonstanten genau diese Werte?

$$e = 1,602\,177\,33 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

elektrische Elementarladung

$$m_e = 9,109\,389\,7 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

Ruhemasse des Elektrons

$$m_p = 1,672\,623\,1 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

Ruhemasse des Protons

$$c = 299\,792\,458 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Lichtgeschwindigkeit (Vakuum)

$$G = 6,672\,59 \cdot 10^{-11} \frac{\text{N m}^2}{\text{kg}^2}$$

Gravitationskonstante

$$h = 6,626\,075\,5 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$$

Planck'sches Wirkungsquantum

$$\epsilon_0 = 8,854\,187\,817 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}}$$

elektrische Feldkonstante

Minimale Abweichungen von diesen Werten machen Leben unmöglich

Feinabstimmung der Naturkonstanten

$\alpha_S = 0,08 \dots 14$ (energieabhängig) **Feinstrukturkonstante der Starken Wechselwirkung**

$\alpha = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{\hbar c} = \frac{1}{137,036}$ **Sommerfeld'sche Feinstrukturkonstante der elektromagnetischen Wechselwirkung**

$\alpha_W = \frac{m_e^2 c}{\hbar^3} G_F = 3,05 \cdot 10^{-12}$ **Feinstrukturkonstante der schwachen Wechselwirkung**
 $G_F = 1,435 \cdot 10^{-62} \text{ Jm}^3$ (Fermi)

$\alpha_G = \frac{G m_p^2}{\hbar c} = 0,591 \cdot 10^{-40}$ **Feinstrukturkonstante der Gravitationswechselwirkung**

$\beta = \frac{m_e}{m_p} = \frac{1}{1836,153}$ **Massenverhältnis von Elektron und Proton**

Minimale Abweichungen von diesen Werten machen Leben unmöglich

Feinabstimmung der Naturkonstanten

$$\alpha_S = 0,08 \dots 14 \quad (\text{energieabhängig})$$

Feinstrukturkonstante
der Starken Wechselwirkung

↑
3,6%

—> kein Wasserstoff, keine organische Chemie

$$\alpha = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{\hbar c} = \frac{1}{137,036}$$

Sommerfeld'sche Feinstrukturkonstante
der elektromagnetischen Wechselwirkung

↓
11%

—> keine Heliumsynthese in der Sonne
(wahrscheinlich keine langlebigen Sterne)

$$\alpha_W = \frac{m_e^2 c}{\hbar^3} G_F = 3,05 \cdot 10^{-12}$$

Feinstrukturkonstante
der schwachen Wechselwirkung
 $G_F = 1,435 \cdot 10^{-62} \text{ Jm}^3$ (Fermi)

$$\alpha_G = \frac{G m_p^2}{\hbar c} = 0,591 \cdot 10^{-40}$$

Feinstrukturkonstante
der Gravitationswechselwirkung

$$\beta = \frac{m_e}{m_p} = \frac{1}{1836,153}$$

Massenverhältnis von Elektron und Proton

Minimale Abweichungen von diesen Werten machen Leben unmöglich

Feinabstimmung der Naturkonstanten

$\alpha_S = 0,08 \dots 14$ (energieabhängig) **Feinstrukturkonstante der Starken Wechselwirkung**

$$\alpha = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{\hbar c} = \frac{1}{137,036}$$

Sommerfeld'sche Feinstrukturkonstante der elektromagnetischen Wechselwirkung  **—> keine Sterne**

$$\alpha_W = \frac{m_e^2 c}{\hbar^3} G_F = 3,05 \cdot 10^{-12}$$

Feinstrukturkonstante der schwachen Wechselwirkung
 $G_F = 1,435 \cdot 10^{-62} \text{ Jm}^3$ (Fermi)

$$\alpha_G = \frac{G m_p^2}{\hbar c} = 0,591 \cdot 10^{-40}$$

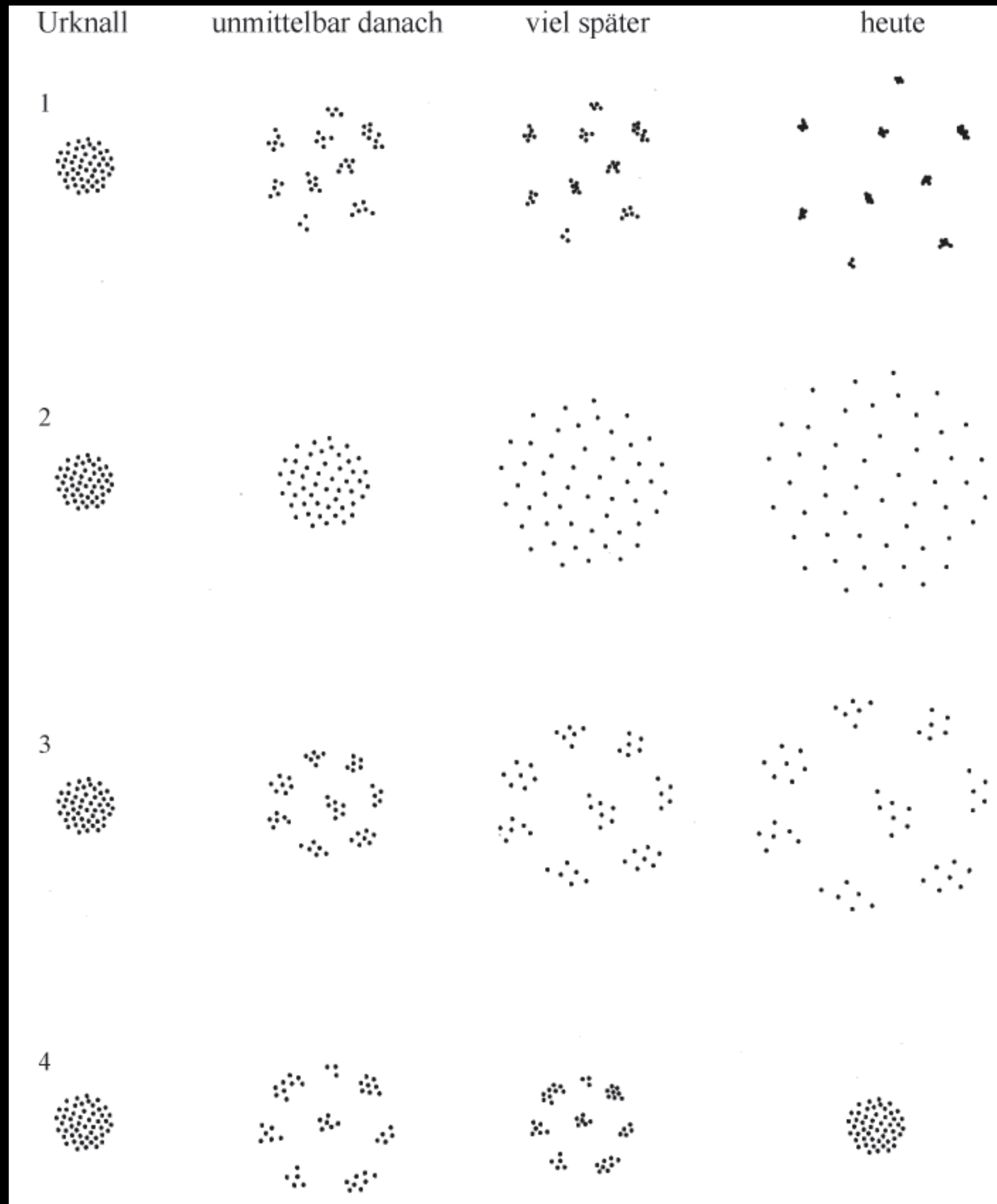
Feinstrukturkonstante der Gravitationswechselwirkung

$$\beta = \frac{m_e}{m_p} = \frac{1}{1836,153}$$

Massenverhältnis von Elektron und Proton  **—> keine geordnete molekulare Strukturen**

Minimale Abweichungen von diesen Werten machen Leben unmöglich

Feinabstimmung der „Expansionskraft“ und der Gravitationskraft



tatsächliche Entwicklung

schnellere Entwicklung

—> **homogenes Universum, ohne
Galaxien mit Sternen und Planeten**

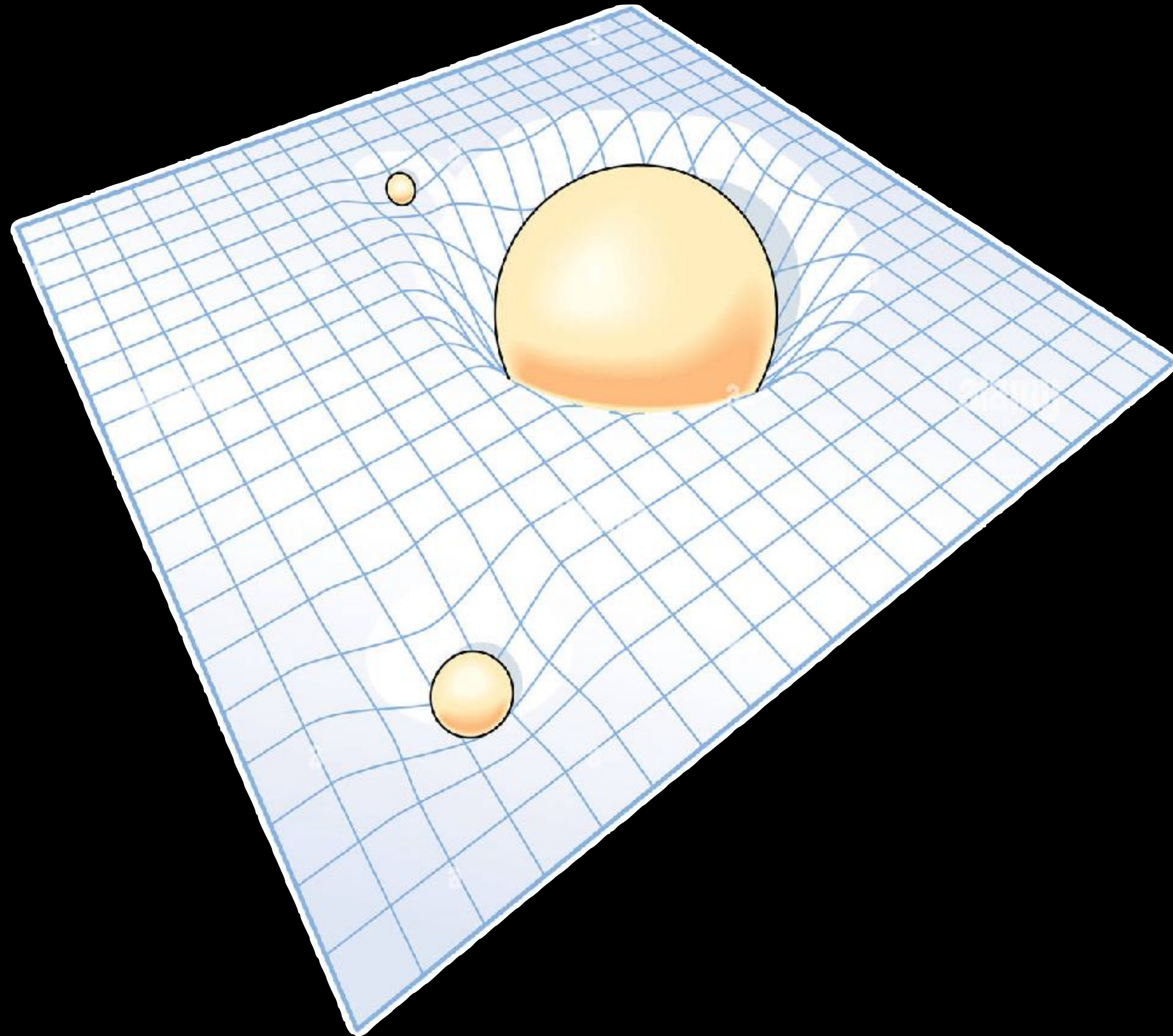
anfängliche Inhomogenität

—> **keine Galaxien**

etwas überwiegende Gravitation

—> **schneller Kollaps**

Feinabstimmung der Dimension von Raum und Zeit



wir leben in einer vier-dimensionalen Raum-Zeit

<3 Dimensionen

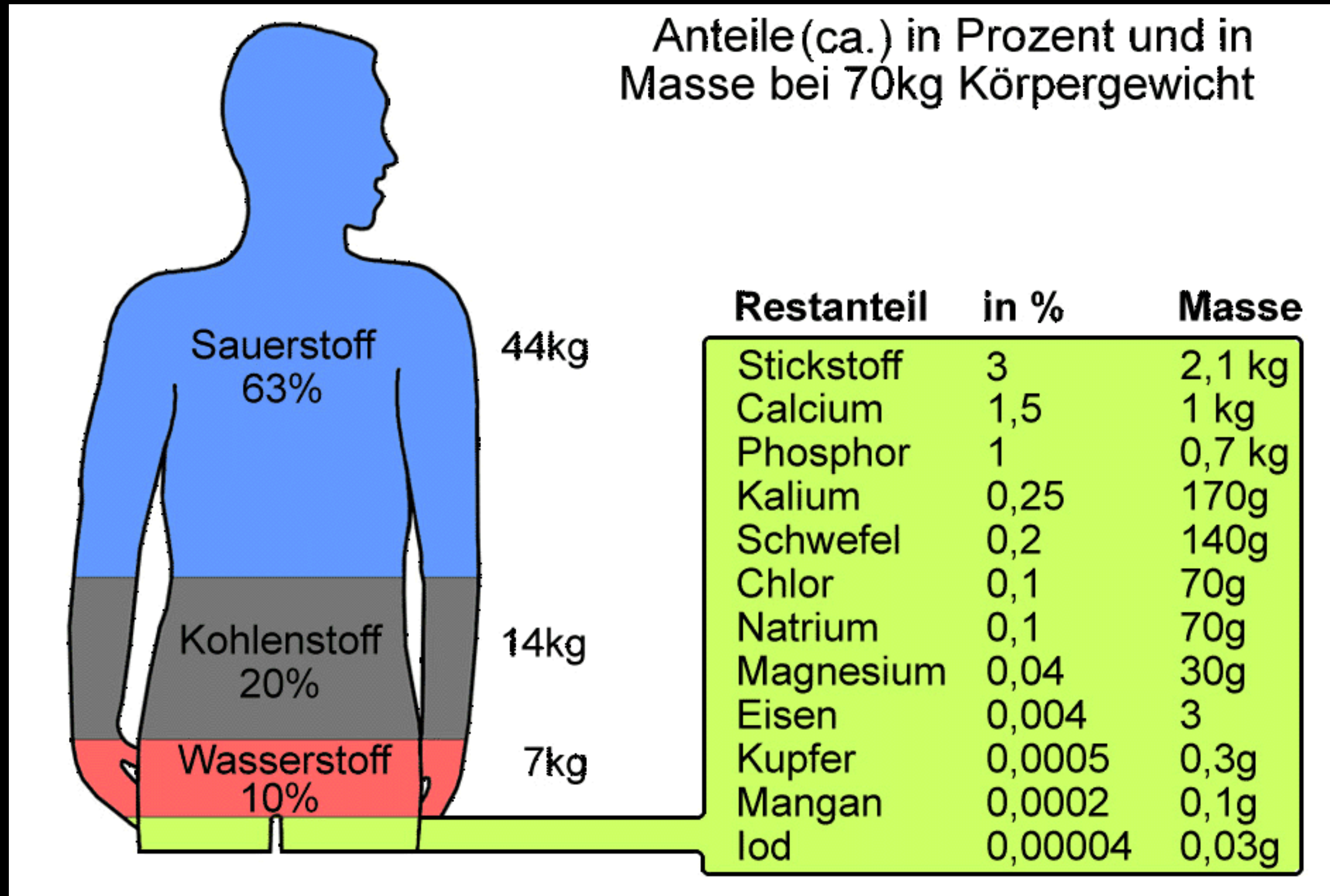
—> nicht genügend komplexe Strukturen für Lebewesen

—> keine Gravitation und keine stabilen Planetensysteme

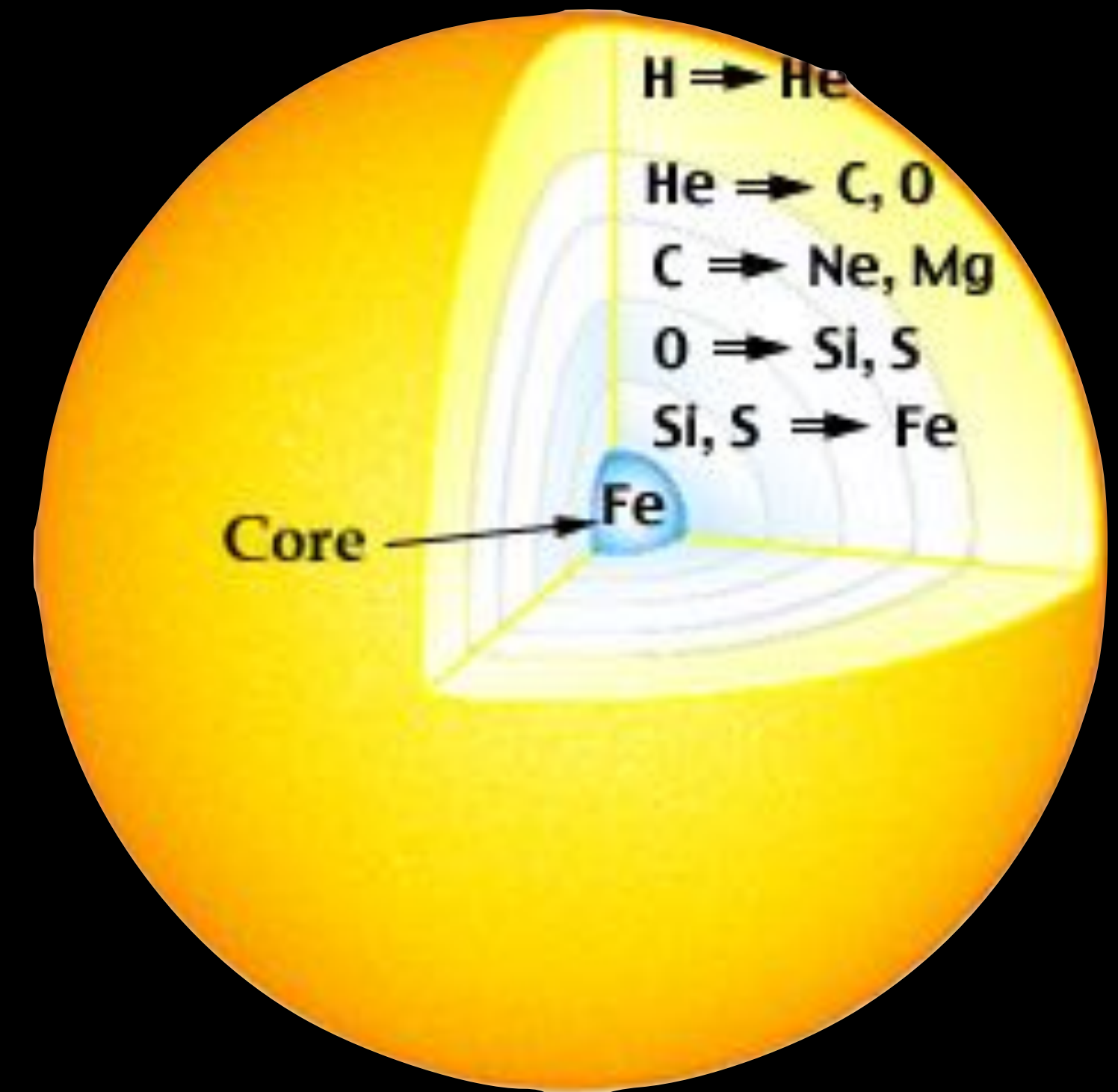
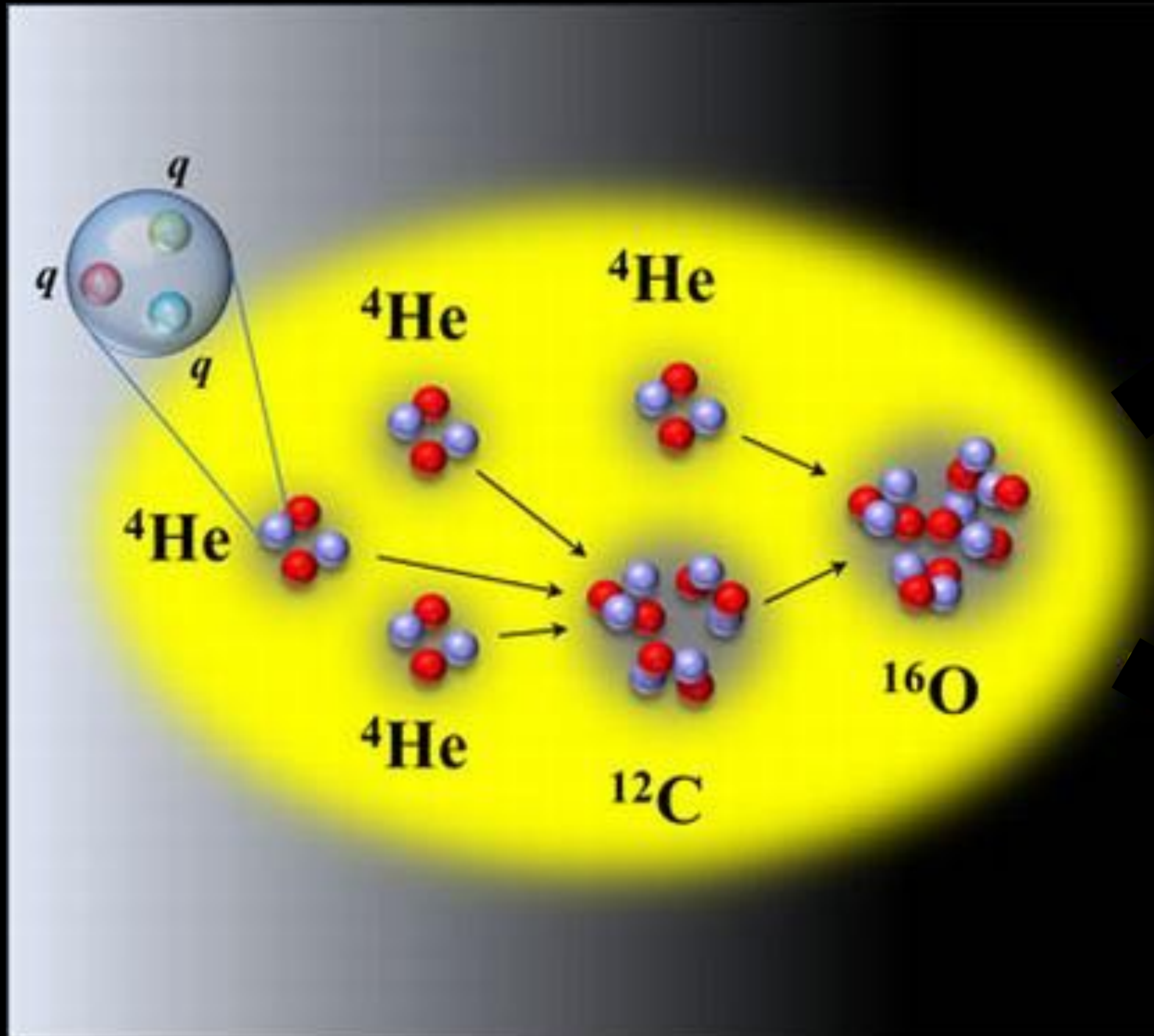
>3 Dimensionen

—> keine stabilen Planetenbahnen und keine stabilen Atome

Chemische Elemente in einem Menschen



Bildung von Kohlenstoff und Sauerstoff in Sternen



<http://www.sr.bham.ac.uk>

<https://www.astropage.eu>

Der Mensch besteht aus Sternenstaub

Deutung der Feinabstimmung



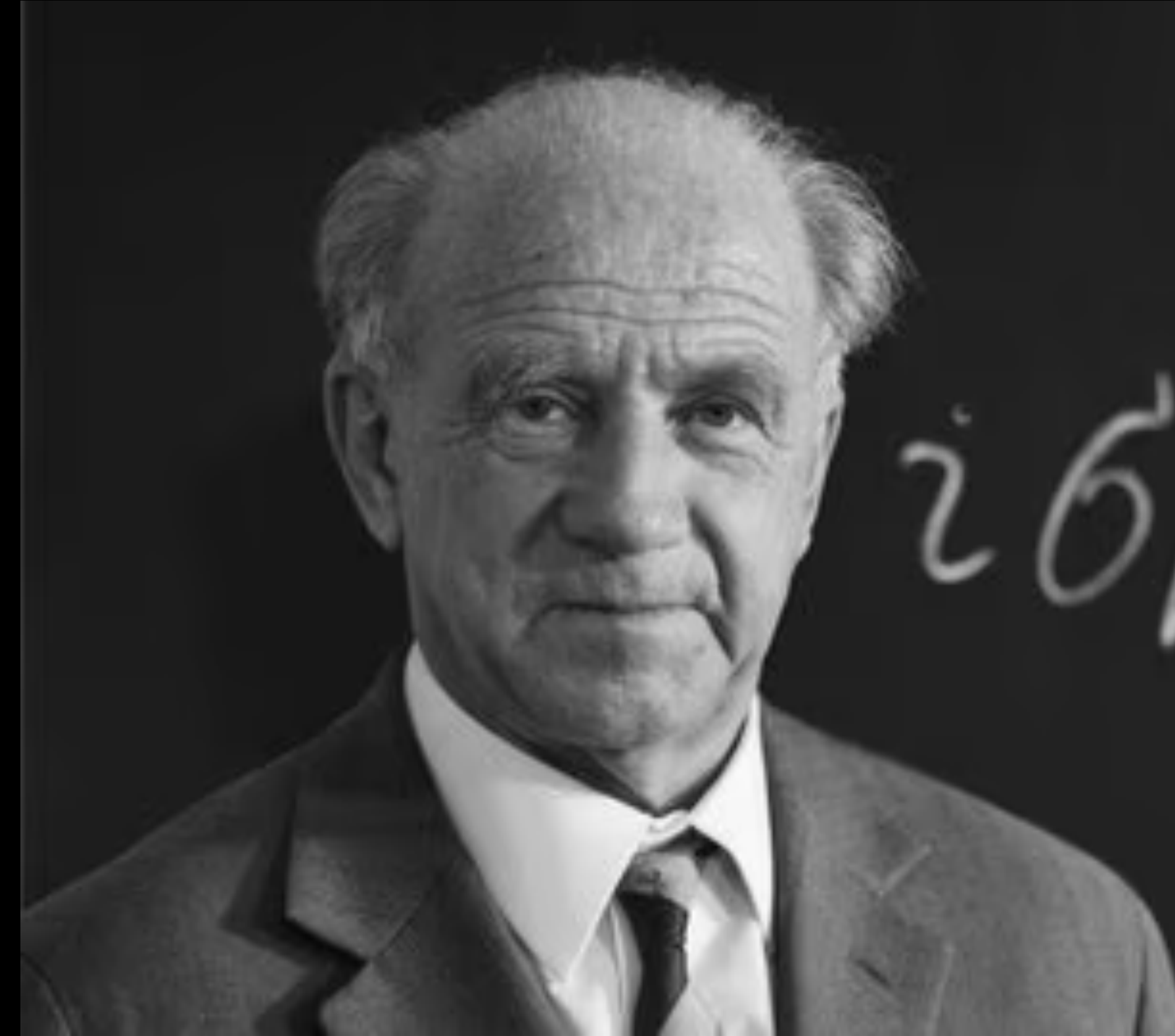
Alles nur Zufall?

Gibt es einen Designer?

Wenn jemand aus der unbezweifelbaren Tatsache, daß die Welt existiert, auf eine Ursache dieser Existenz schließen will, dann widerspricht diese Annahme unserer wissenschaftlichen Erkenntnis in keinem einzigen Punkt.

Kein Wissenschaftler verfügt auch nur über ein einziges Argument oder irgendein Faktum, mit denen er einer solchen Annahme widersprechen könnte.

Auch dann, wenn es sich dabei um eine Ursache handelt, die - wie sollte es anders sein - offensichtlich außerhalb dieser unserer dreidimensionalen Welt zu suchen ist.



Gibt es einen Schöpfer?

Wenn Gott existierte,
dann wäre die Kernfrage nach dem
Anfang aller Dinge beantwortet, warum
überhaupt etwas ist und nicht nichts.

S. 98

Wenn Gott existiert, ...
dann läßt sich von Grund auf eine
Antwort finden, woher letztlich die
kosmischen Grundkonstanten, woher
Materie und Energie, woher also Kosmos
und Mensch sind.

S. 101



Der biblisch-christliche Schöpfer



**Denn so spricht der HERR,
der den Himmel geschaffen hat –
er ist Gott; der die Erde bereitet und gemacht hat –
er hat sie gegründet; er hat sie nicht geschaffen, dass sie leer sein soll,
sondern sie bereitet, dass man auf ihr wohnen solle:
Ich bin der HERR, und sonst keiner mehr.**

Jesaja 45,18

Physik und Theologie



<https://www.ecb.europa.eu>

Zwei Wege, die Welt zu verstehen

Unser Platz im Universum

Und Gott der HERR nahm den Menschen und setzte ihn in den Garten Eden, dass er ihn bebaute und bewahrte.

1. Mose 2, 15



<https://www.deutschlandfunkkultur.de>

Klein im Kosmos - Groß in Verantwortung

Verantwortung für unsere Zukunft

**Wer aber vor der
Vergangenheit die Augen
verschließt, wird blind für
die Gegenwart.**



<https://www.bundespraesident.de>

Dr. Richard von Weizsäcker, 8. Mai 1985

Vortrag 17. Juli 2026



Prof. Dr. Heino Falcke

Erforschen, was die Welt im Innersten zusammenhält
Zwischen Quarks und Galaxien

*Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!*