

Die Welt im Großen und Kleinen

**Kosmologie und
Teilchenphysik**

**Prof. Dr. Michael Feindt
Prof. Dr. Thomas Mannel**



Die Welt im Großen





Die Welt im Großen

Rosen

10^0 m

0,001 km

1 m

Die Welt im Großen

Rosenbeet
auf dem
CERN-
Gelände



10^1 m

0,01 km

10 m



Die Welt im Großen

Luftaufnahme
CERN

10^2 m

0,1 km

100 m

Die Welt im Großen

Luftaufnahme
CERN



10^3 m

1 km

1 000 m

Die Welt im Großen

Luftaufnahme
Genf



10^4 m

10 km

10 000 m



Die Welt im Großen

Genfer See und
französische
Alpen

10^5 m

100 km

100 000 m

Die Welt im Großen

Europa



10^6 m

1 000 km

1 000 000 m

Die Welt im Großen

Erde

10^7 m

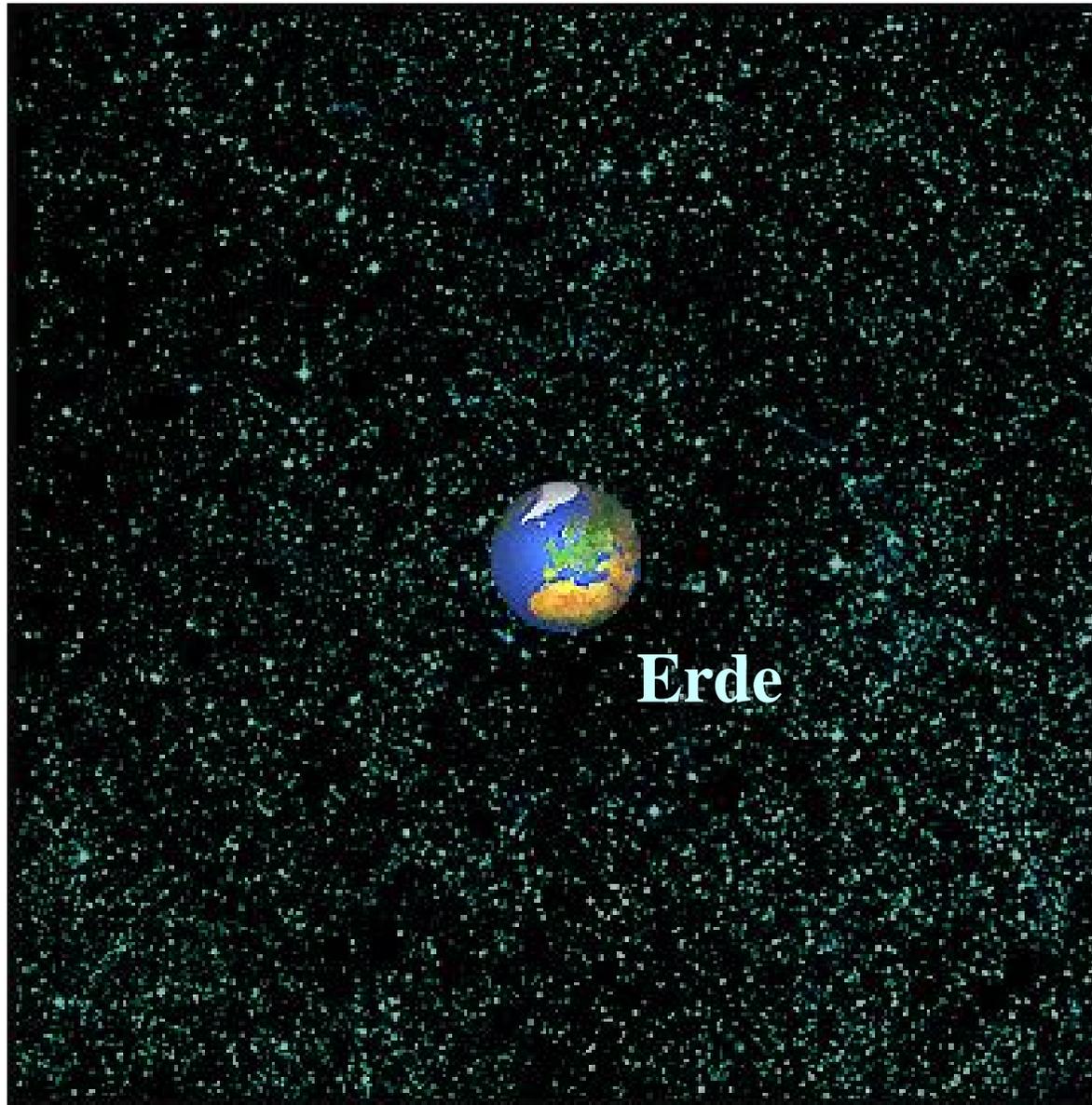
10 000 km

10 000 000 m



Die Welt im Großen

Erde



Erde

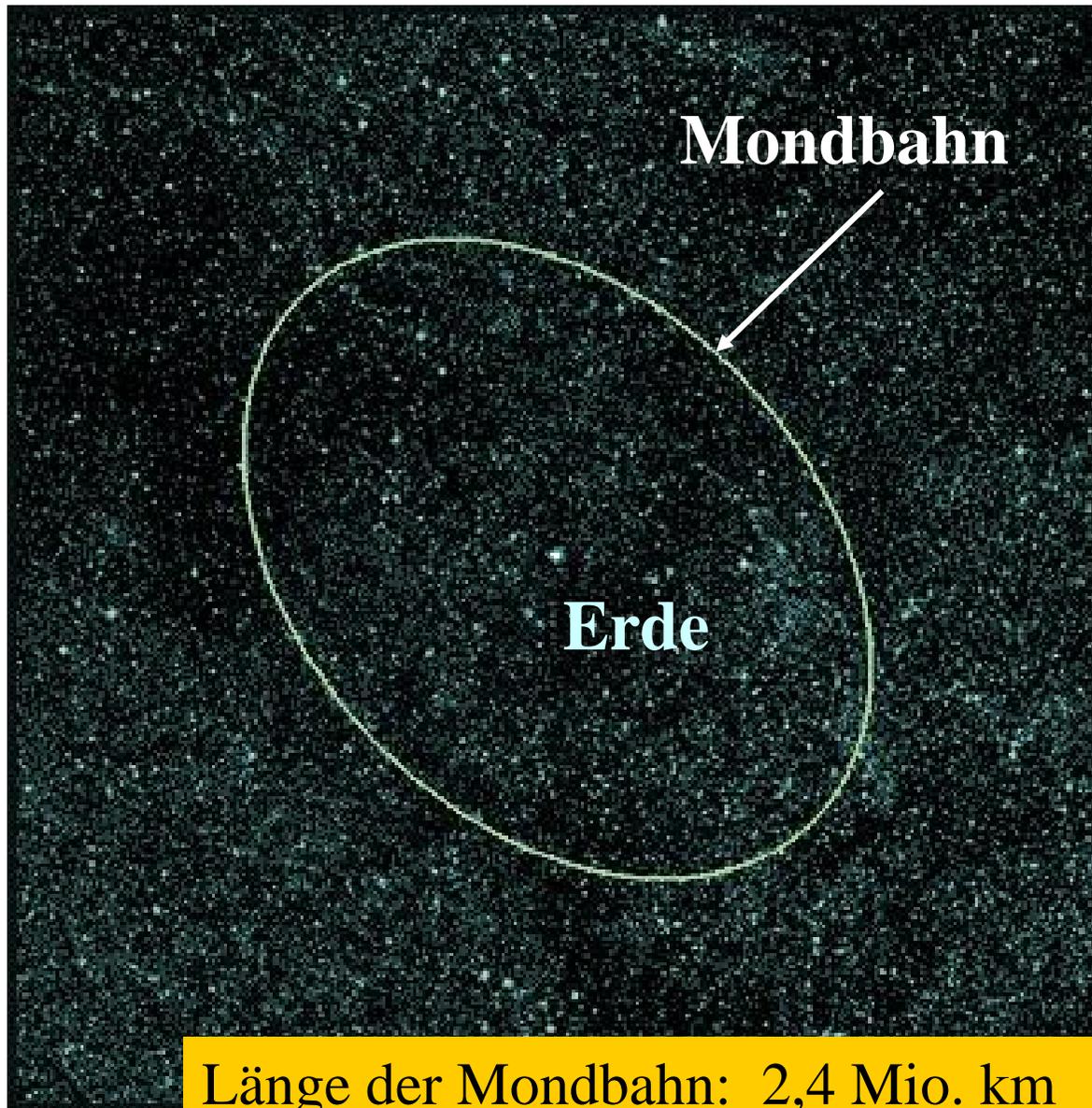
10^8 m

100 000 km

100 000 000 m

Die Welt im Großen

Umlaufbahn des Mondes

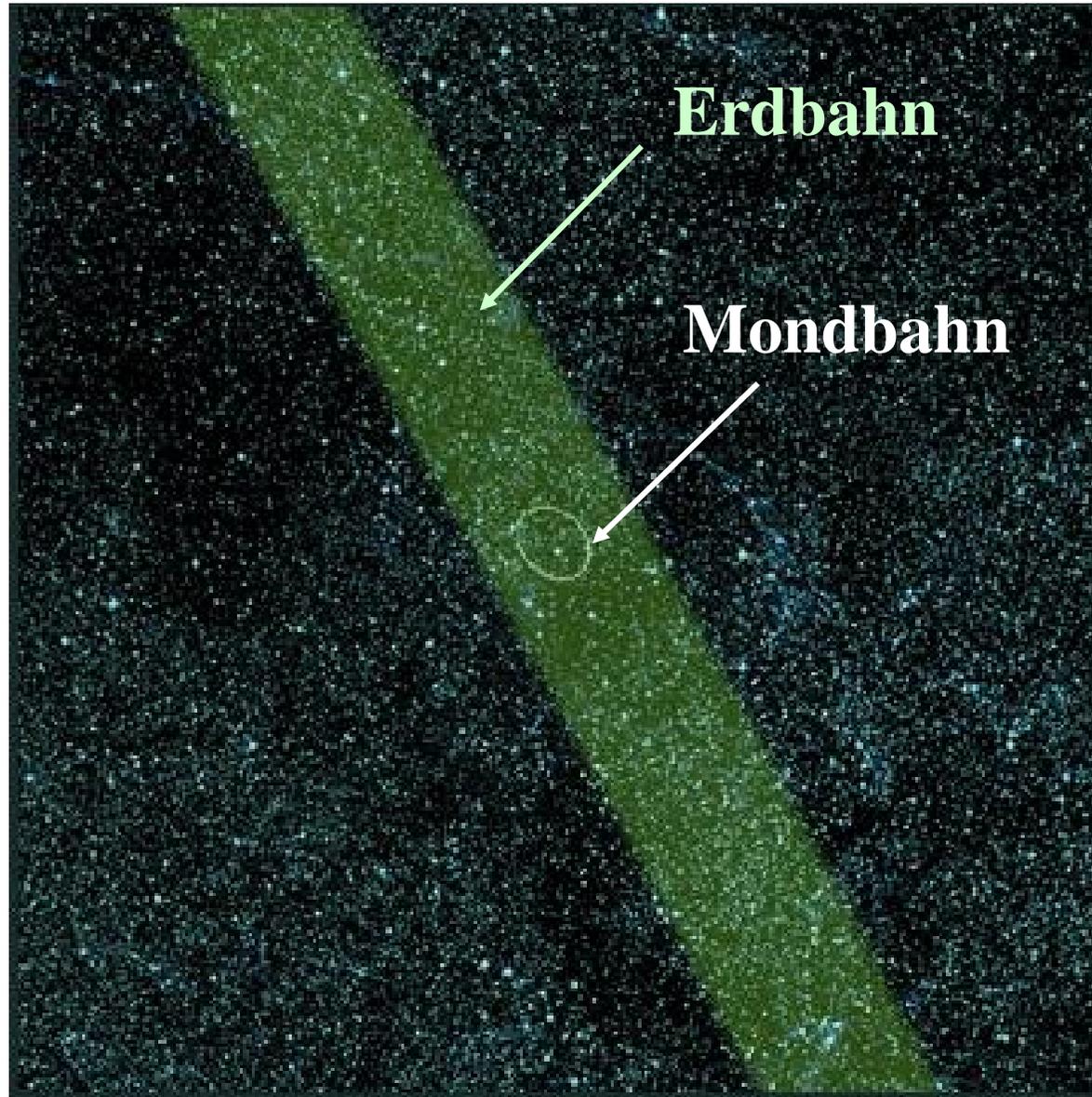


Länge der Mondbahn: 2,4 Mio. km
Höhe der deutschen Staatsverschuldung
als Turm von 1 €Münzen: 3,2 Mio. km

10^9 m
1 Millionen km
1 000 000 000 m

Die Welt im Großen

Umlaufbahn
des
Mondes



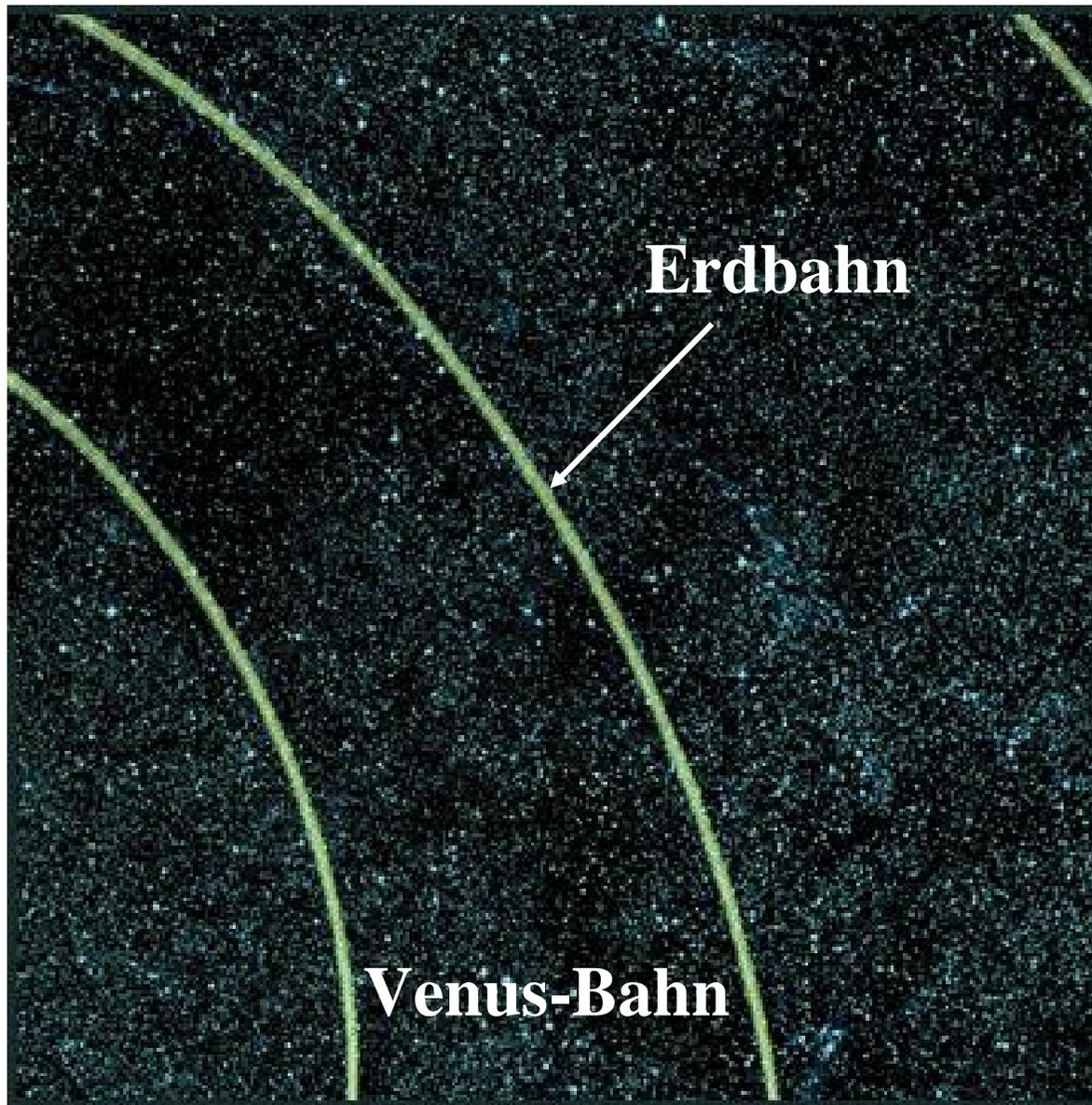
10^{10} m

10 Millionen km

10 000 000 000 m

Die Welt im Großen

Innere
Planetenbahnen
des
Sonnensystems



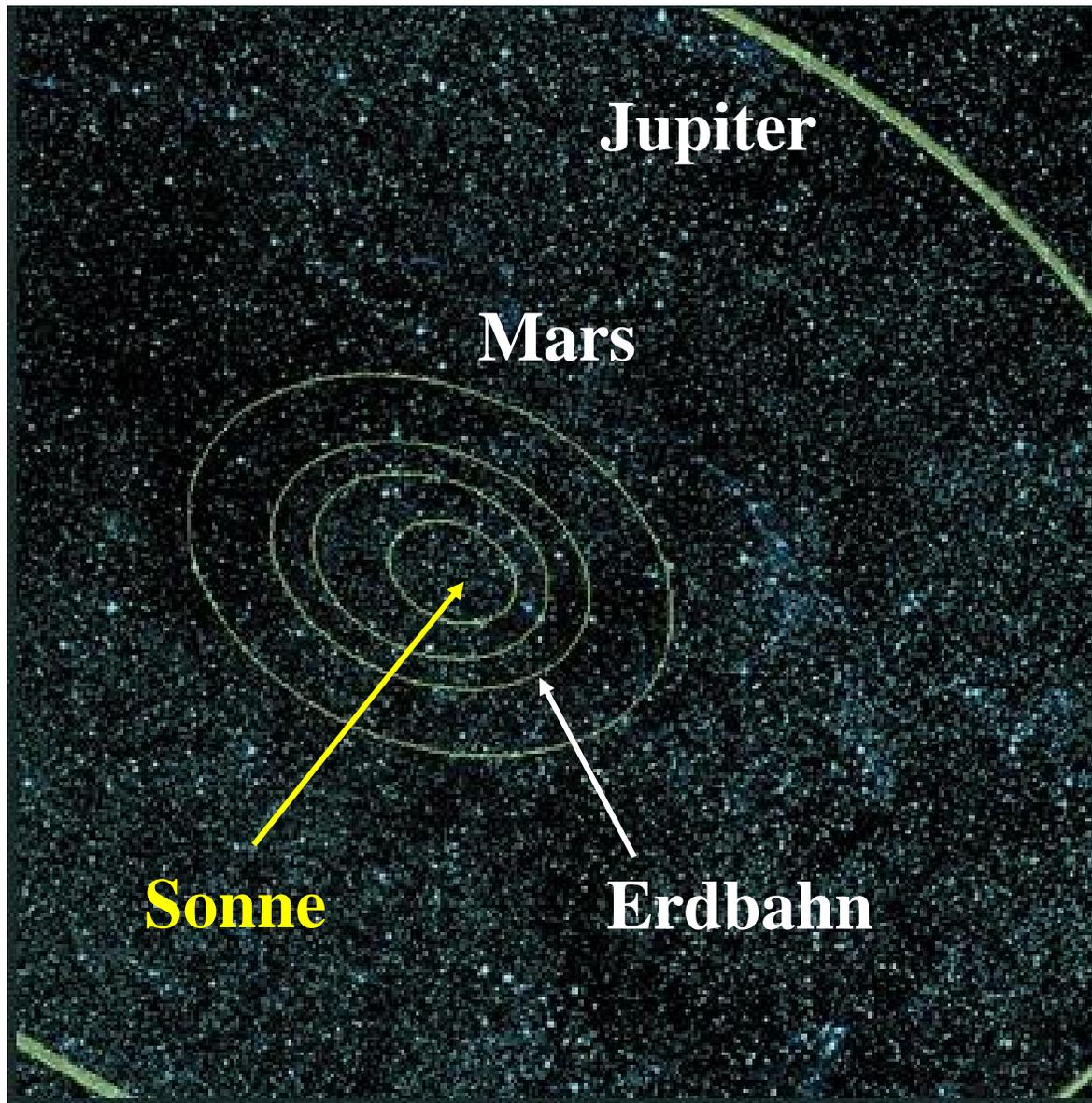
10^{11} m

100 Millionen km

100 000 000 000 m

Die Welt im Großen

Innere
Planetenbahnen
des
Sonnensystems



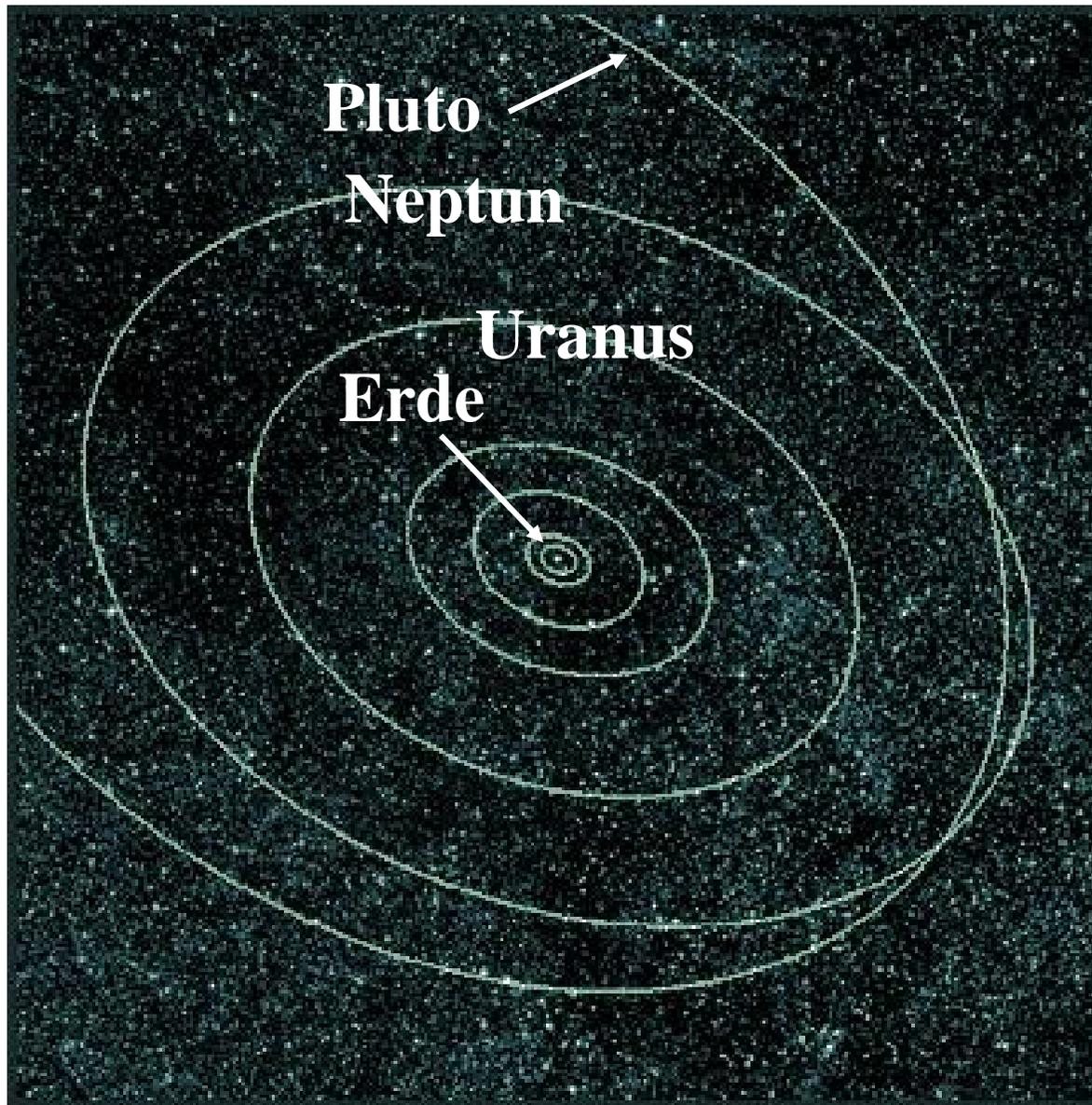
10^{12} m

1 Milliarde km

1 000 000 000 000 m

Die Welt im Großen

Äußere
Planetenbahnen
des
Sonnensystems



10^{13} m

10 Milliarden km

10 000 000 000 000 m

Die Welt im Großen

Äußere
Planetenbahnen
der Sonne

10^{14} m

100 Milliarden km

100 000 000 000 000 m



Die Welt im Großen

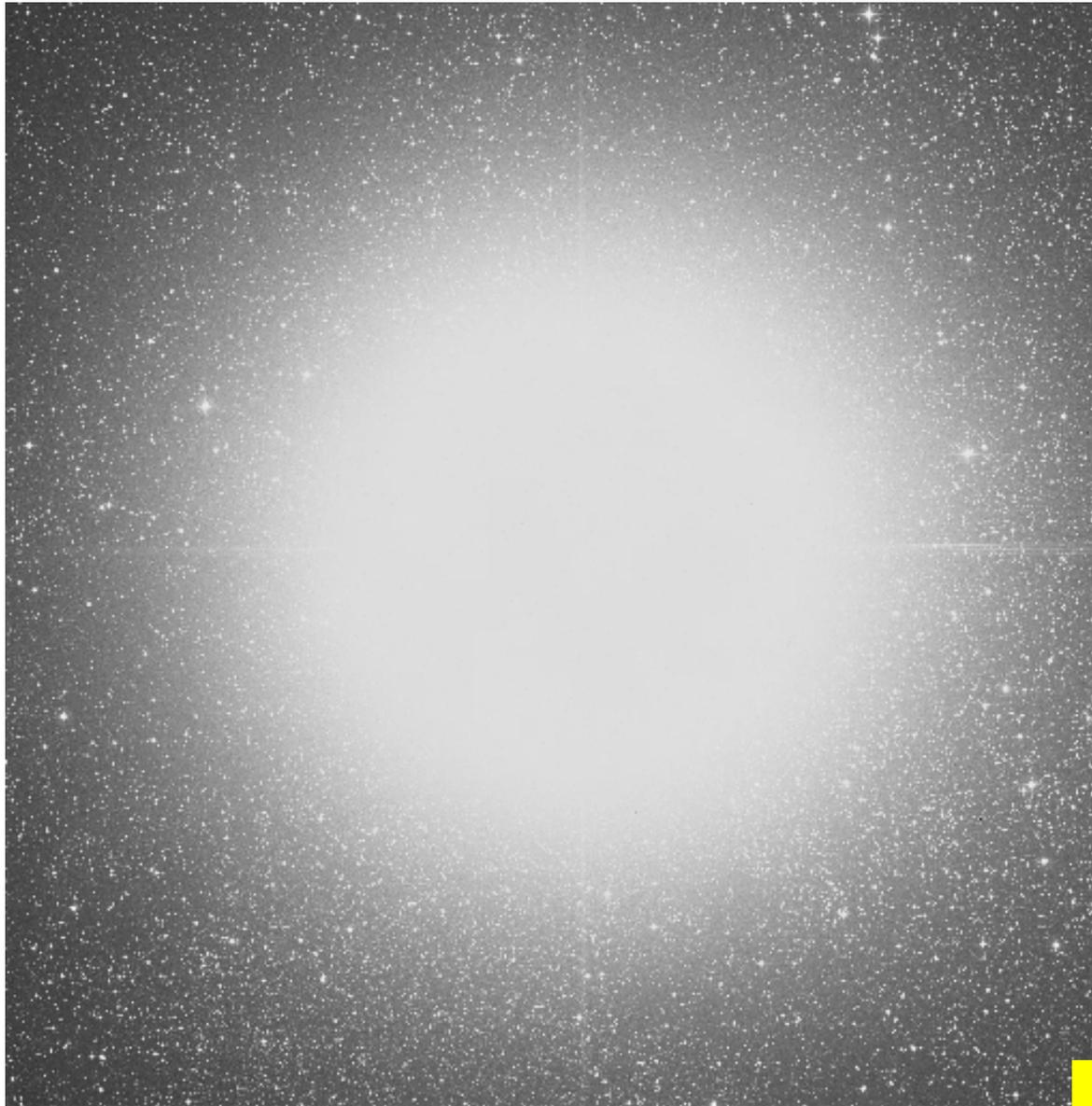
Entfernung zum
nächsten Fixstern
Alpha Centauri

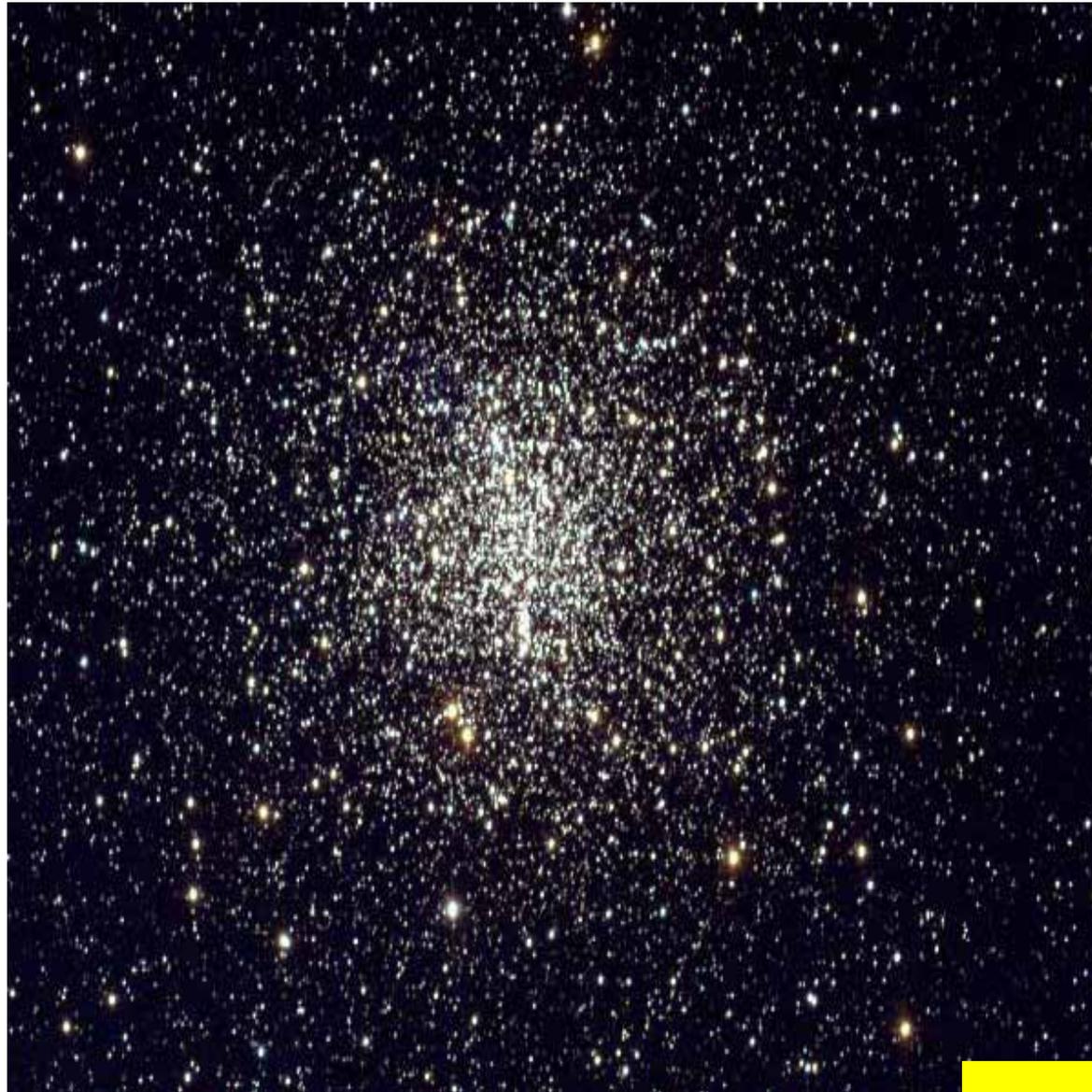
$$4.3 \cdot 10^{16} \text{ m}$$

≈ 4.3 Lichtjahre

43 000 000 000 000 000 m

Faktor 500





Die Welt im Großen

Entfernung zum
nächsten
Sternenhaufen
M4

Faktor 2000

$7 \cdot 10^{19}$ m

≈ 7000 Lichtjahre

70 000 000 000 000 000 000 m

Die Welt im Großen

Spiralgalaxie



10^{21} m

≈ 100 000 Lichtjahre

1 000 000 000 000 000 000 000 m

Die Welt im Großen

Galaxie
mit Satelliten-
galaxien

10^{22} m

≈ 1 Millionen Lichtjahre

10 000 000 000 000 000 000 000 m



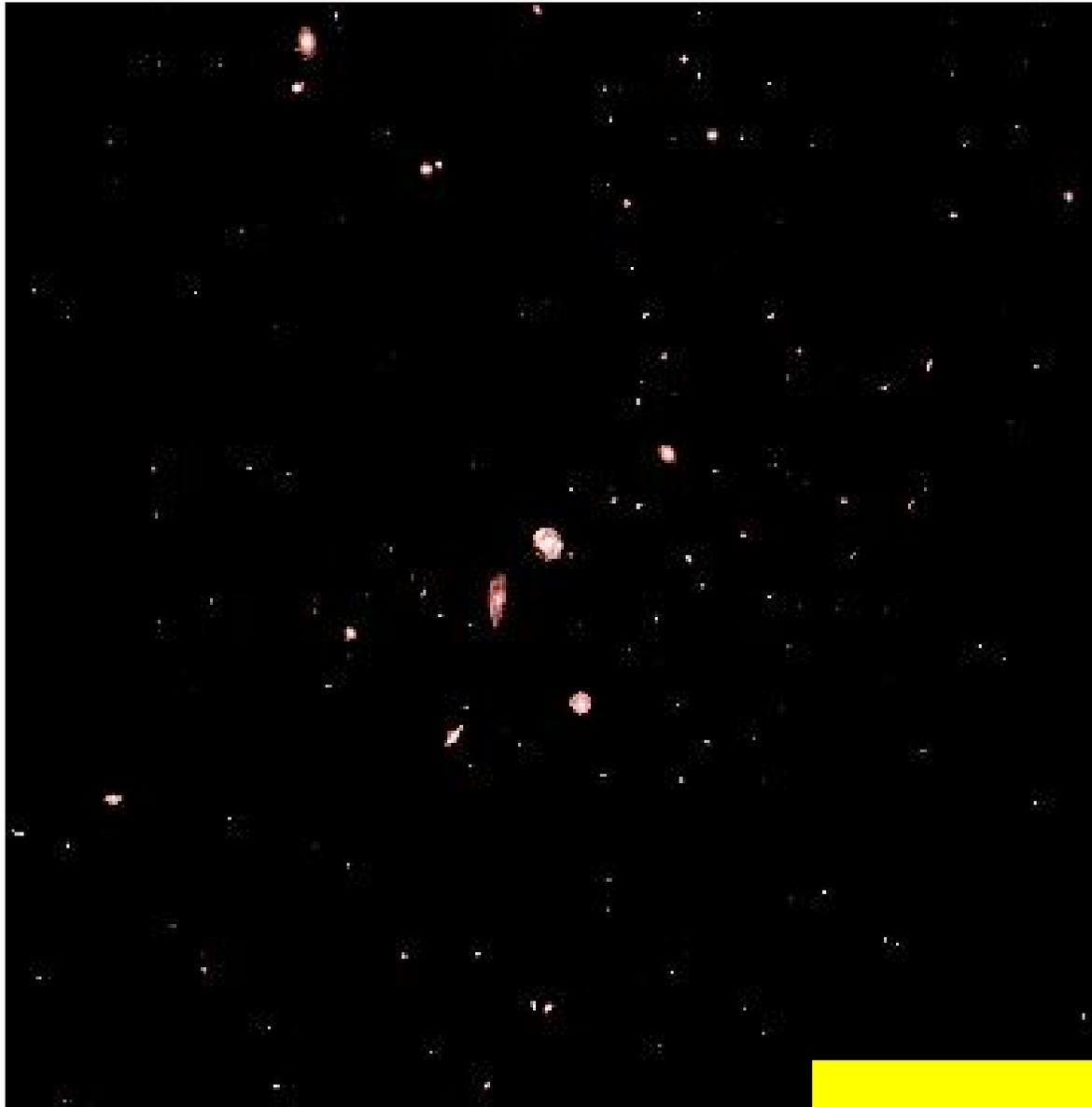
Die Welt im Großen

Galaxien-
haufen

10^{23} m

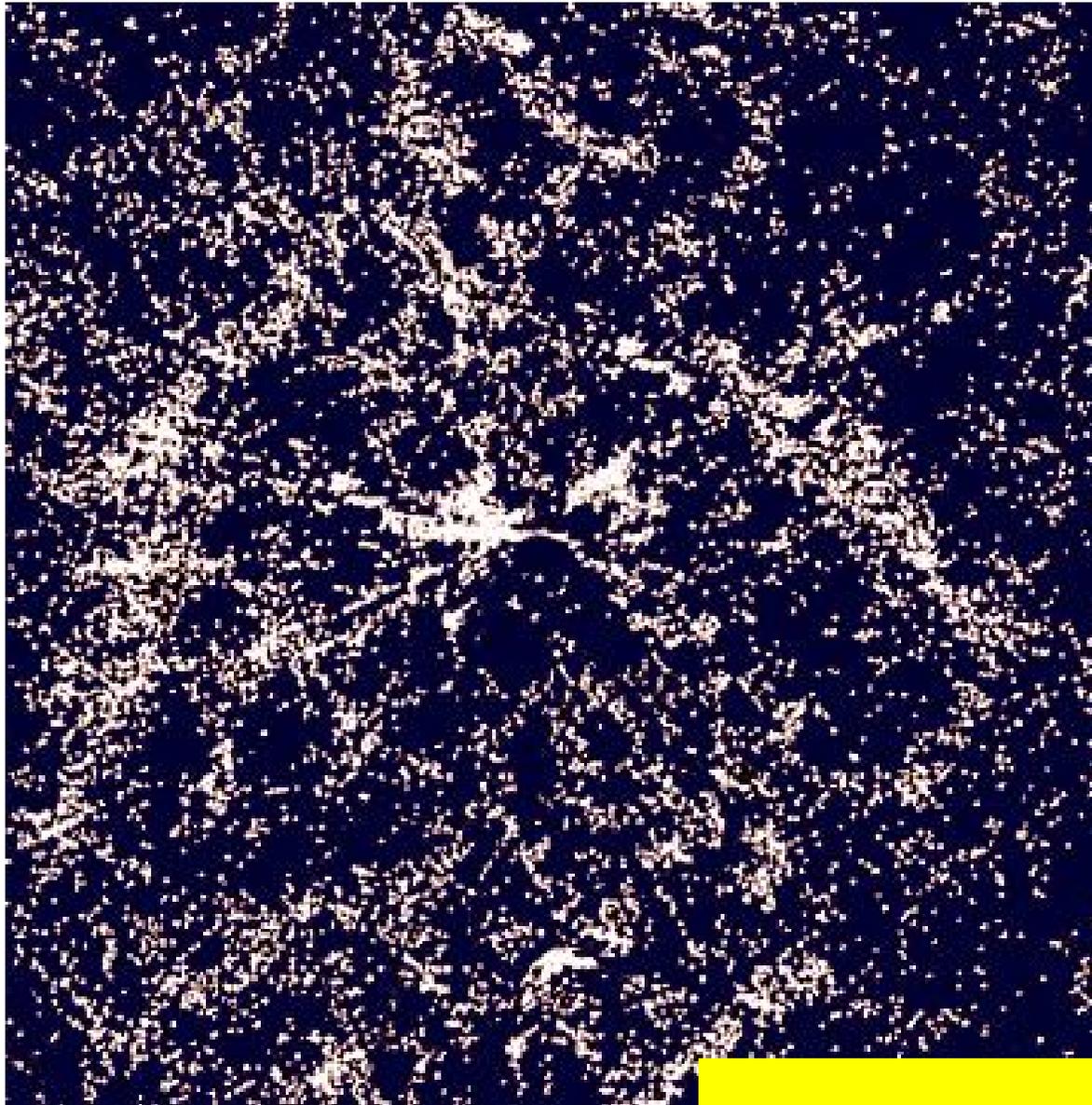
≈ 10 Millionen Lichtjahre

100 000 000 000 000 000 000 000 m



Die Welt im Großen

Struktur in
Verteilung der
Galaxien:
Blasen und
Löcher



Faktor 100

10^{25} m

≈ 1 Milliarde Lichtjahre

100 000 000 000 000 000 000 000 000 000 m

Die Welt im Großen

Homogenes
Universum



10^{26} m

≈ 10 Milliarden Lichtjahre

1 000 000 000 000 000 000 000 000 000 m

Die Welt im Kleinen



Die Welt im Kleinen

Rosen



10^0 m

0,001 km

1 m



Die Welt im Kleinen

Rosenblatt

10^{-1} m

1 dm

0.1 m

Die Welt im Kleinen

Fliege



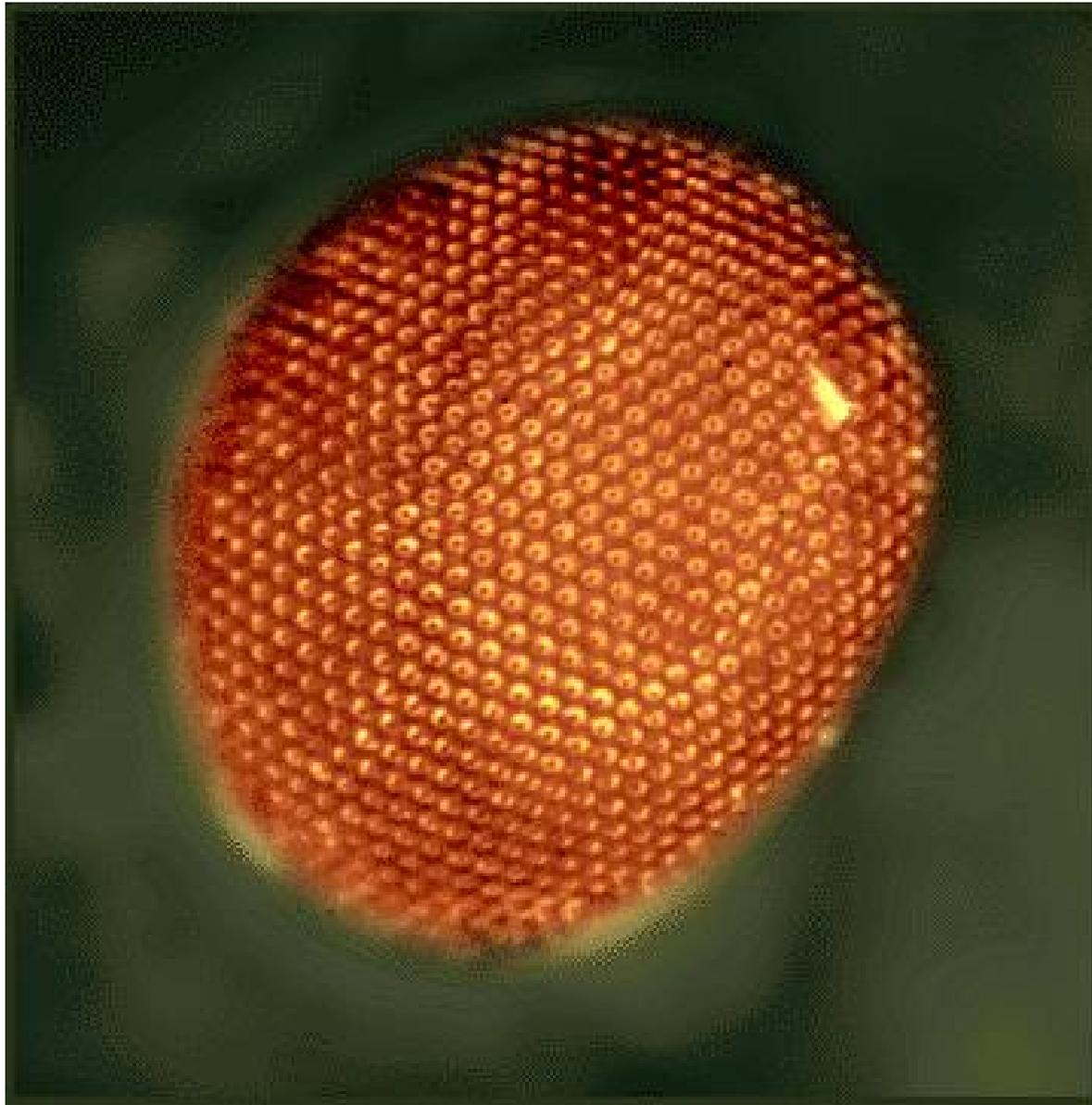
10^{-2} m

1 cm

0.01 m

Die Welt im Kleinen

Fliegenauge



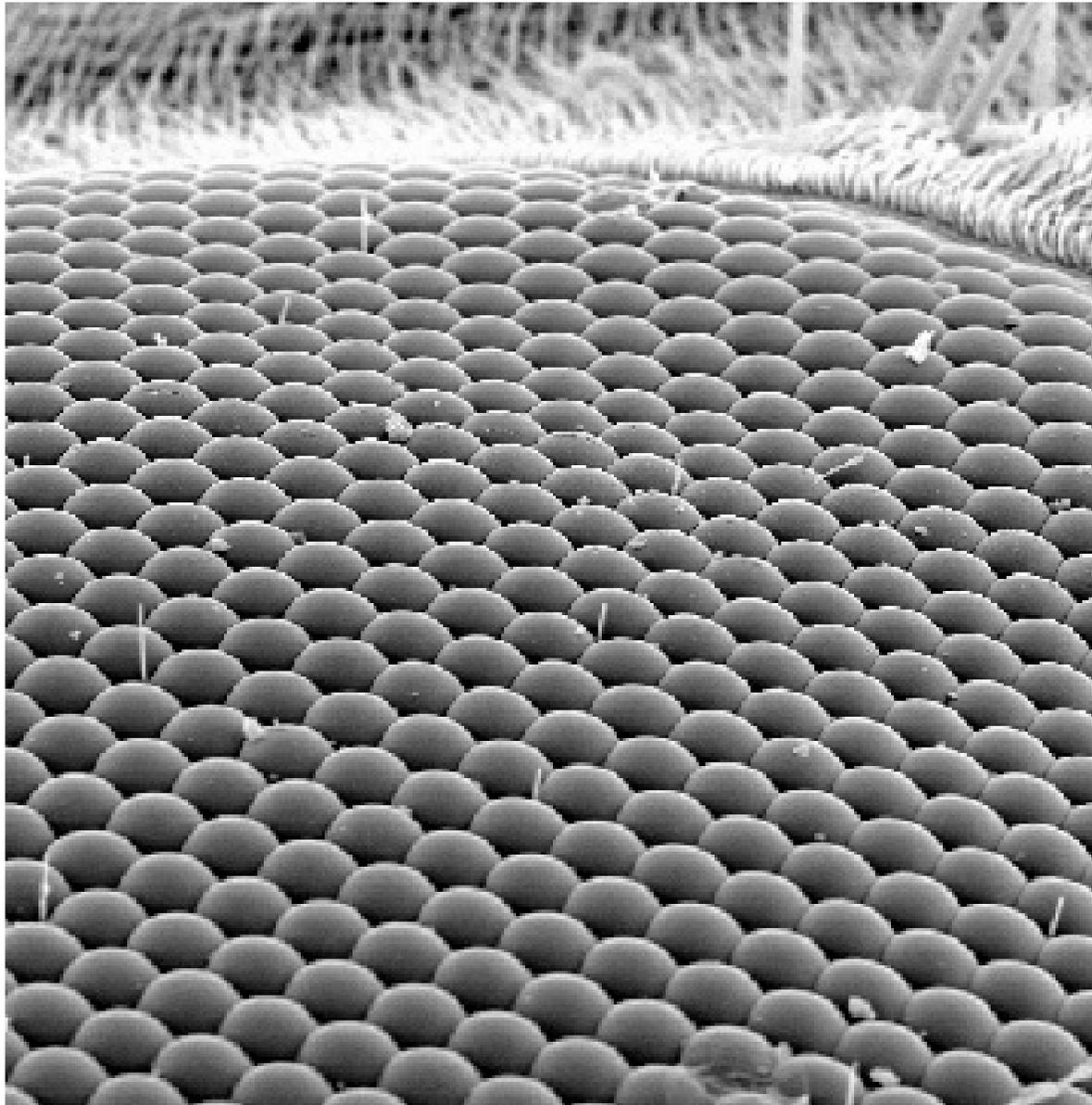
10^{-3} m

1 mm

0.001 m

Die Welt im Kleinen

Fliegenauge



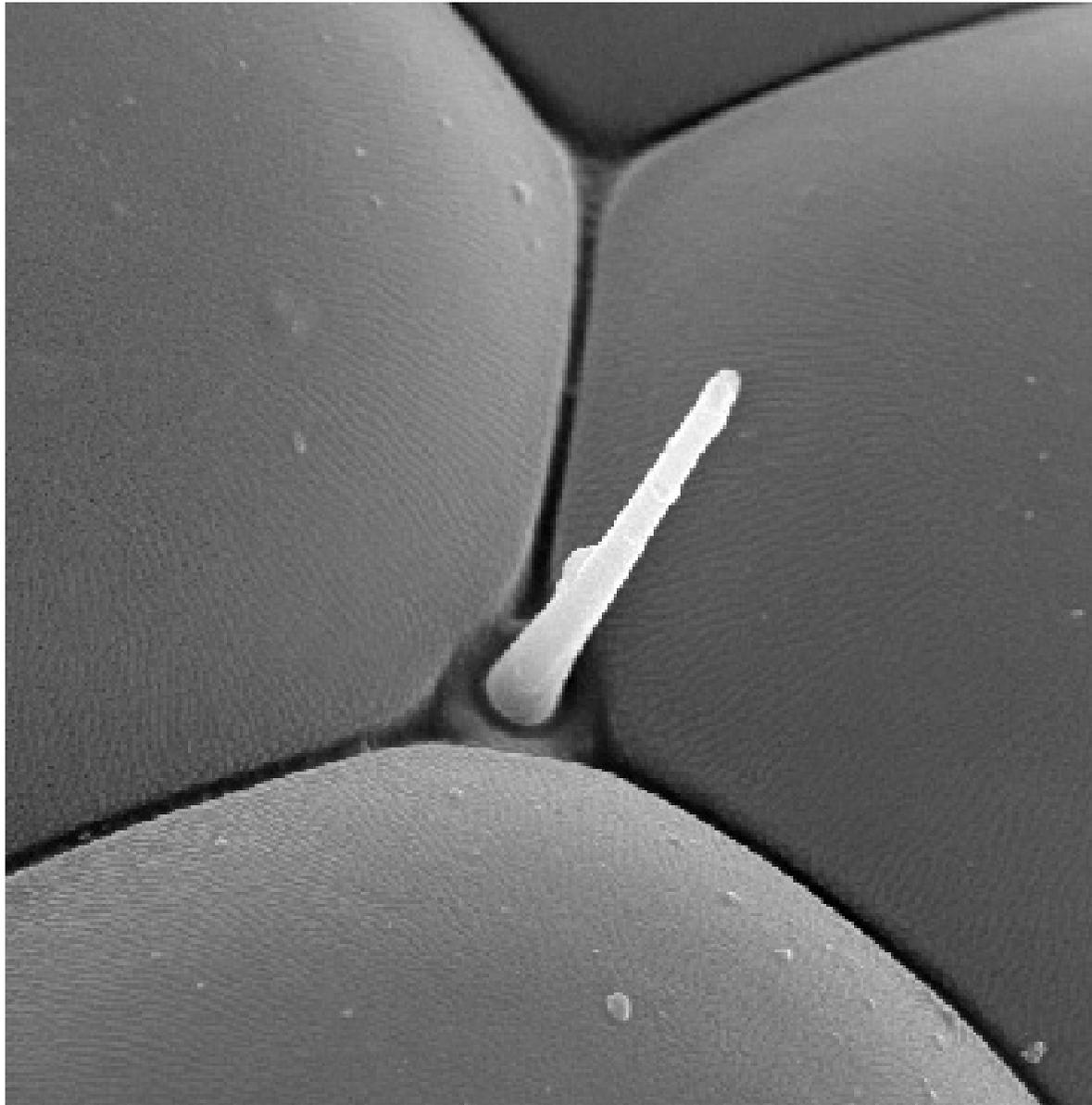
10^{-4} m

$100 \mu\text{m}$

0.0001 m

Die Welt im Kleinen

Detail im
Fliegenauge



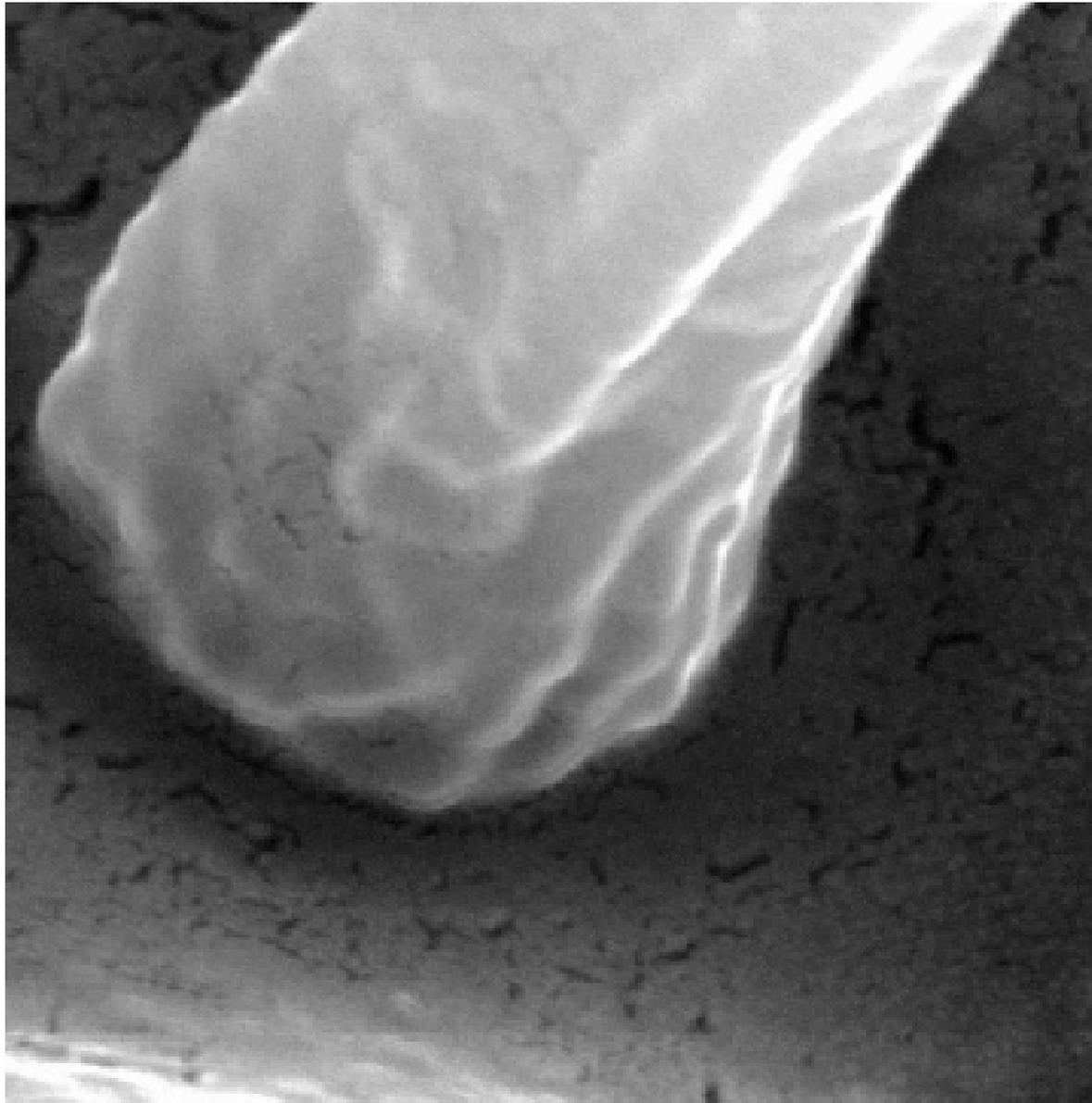
10^{-5} m

$10 \mu\text{m}$

0.000 01 m

Die Welt im Kleinen

Elektronen-
mikroskop-
Aufnahme



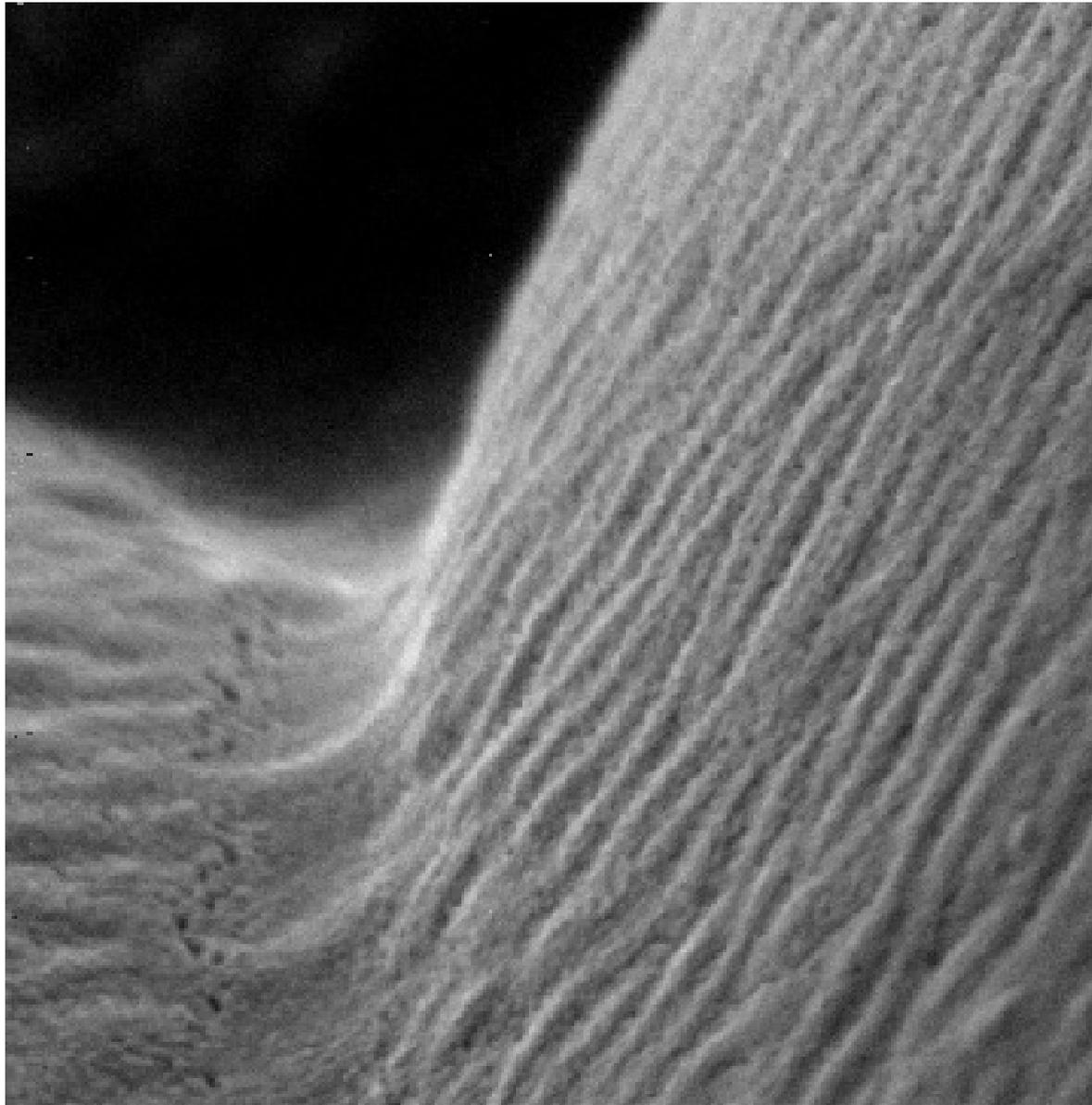
10^{-6} m

1 μ m

0.000 001 m

Die Welt im Kleinen

Elektronen-
mikroskop-
Aufnahme



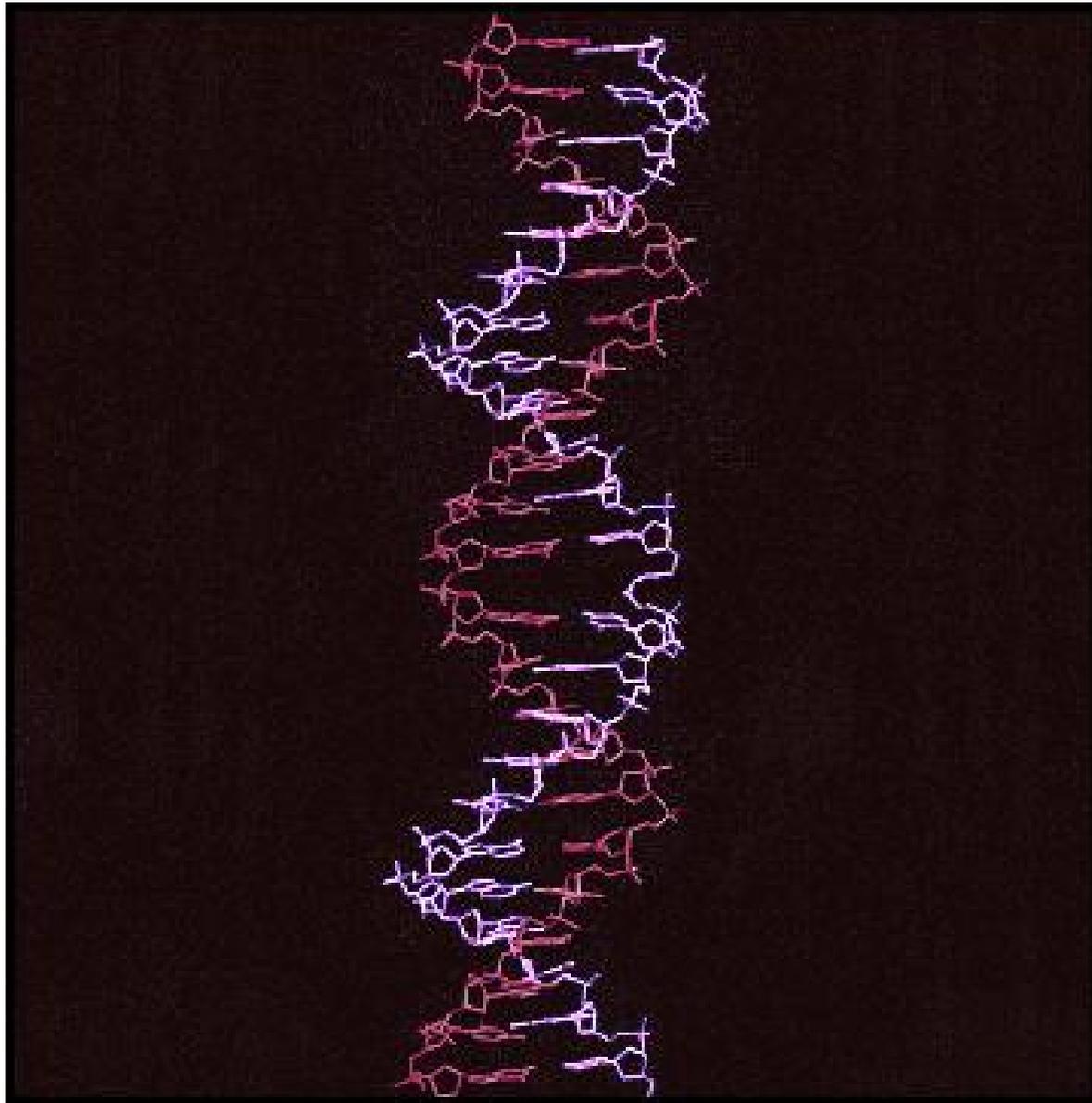
10^{-7} m

100 nm

0.000 000 1 m

Die Welt im Kleinen

DNS-Molekül



10^{-8} m

10 nm

0.000 000 01 m

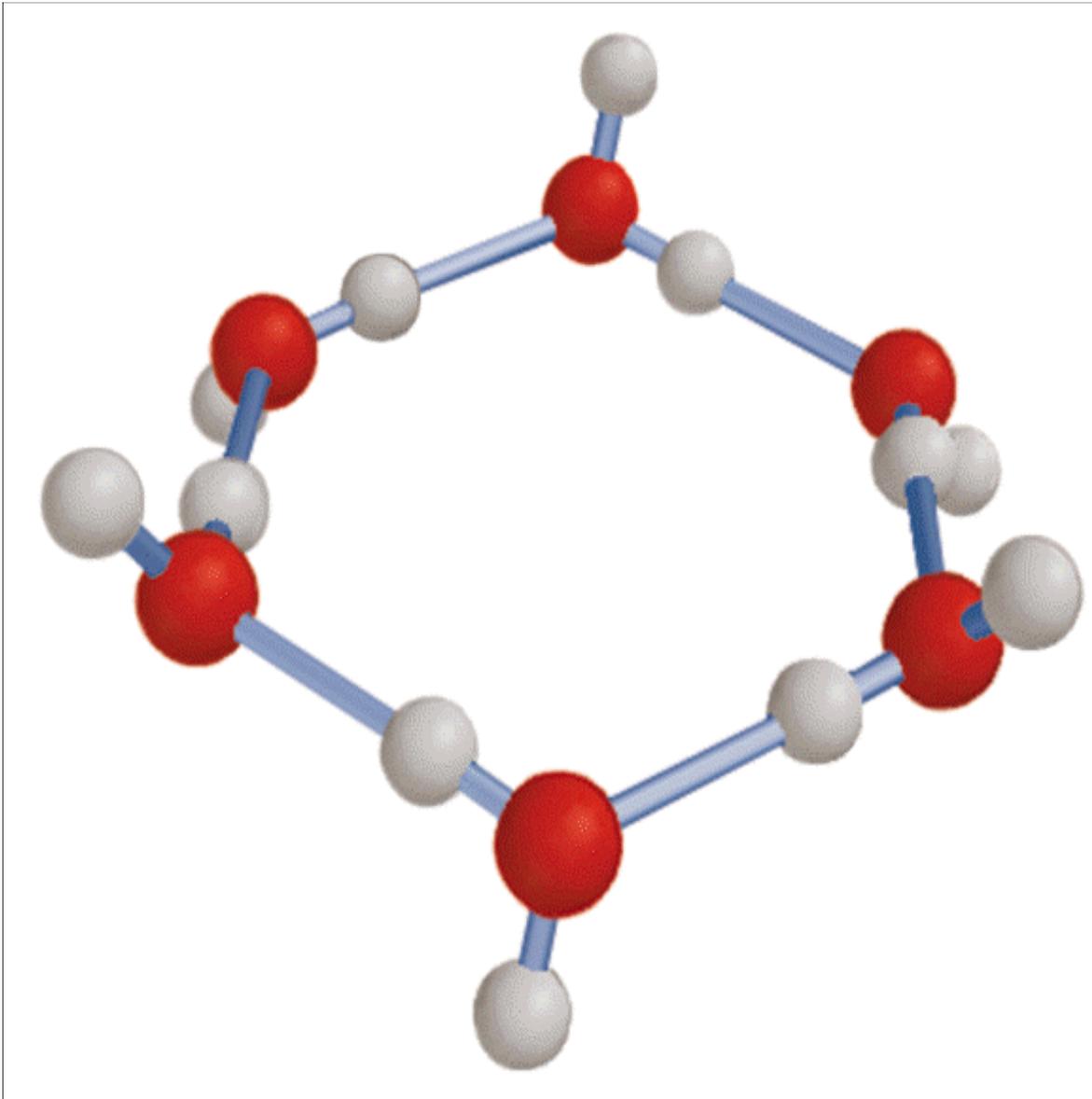
Die Welt im Kleinen

Molekül

10^{-9} m

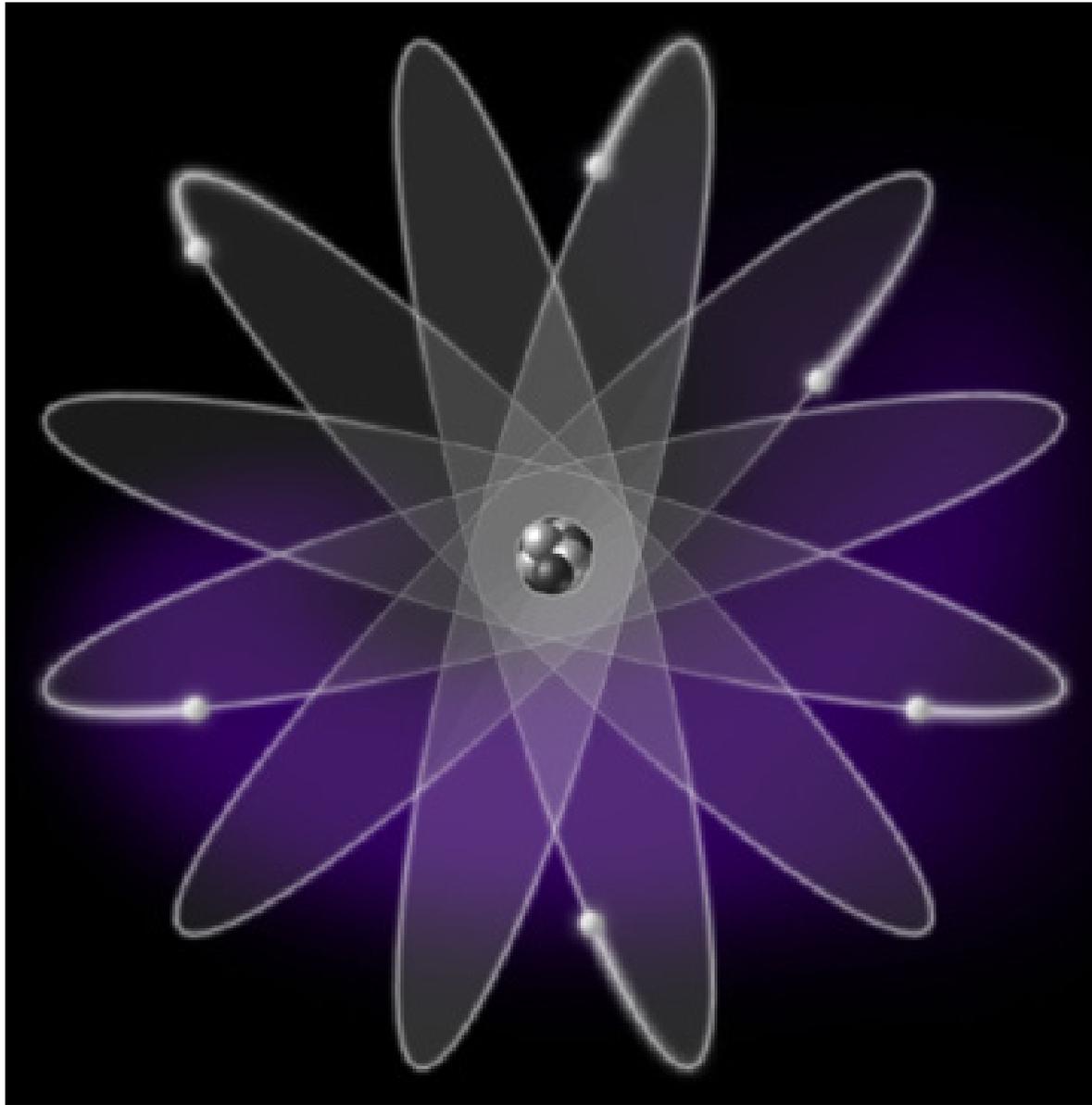
1 nm

0.000 000 001 m



Die Welt im Kleinen

Atome
bestehen aus
Kern und
Elektronenhülle



10^{-10} m

0.1 nm

0.000 000 000 1 m

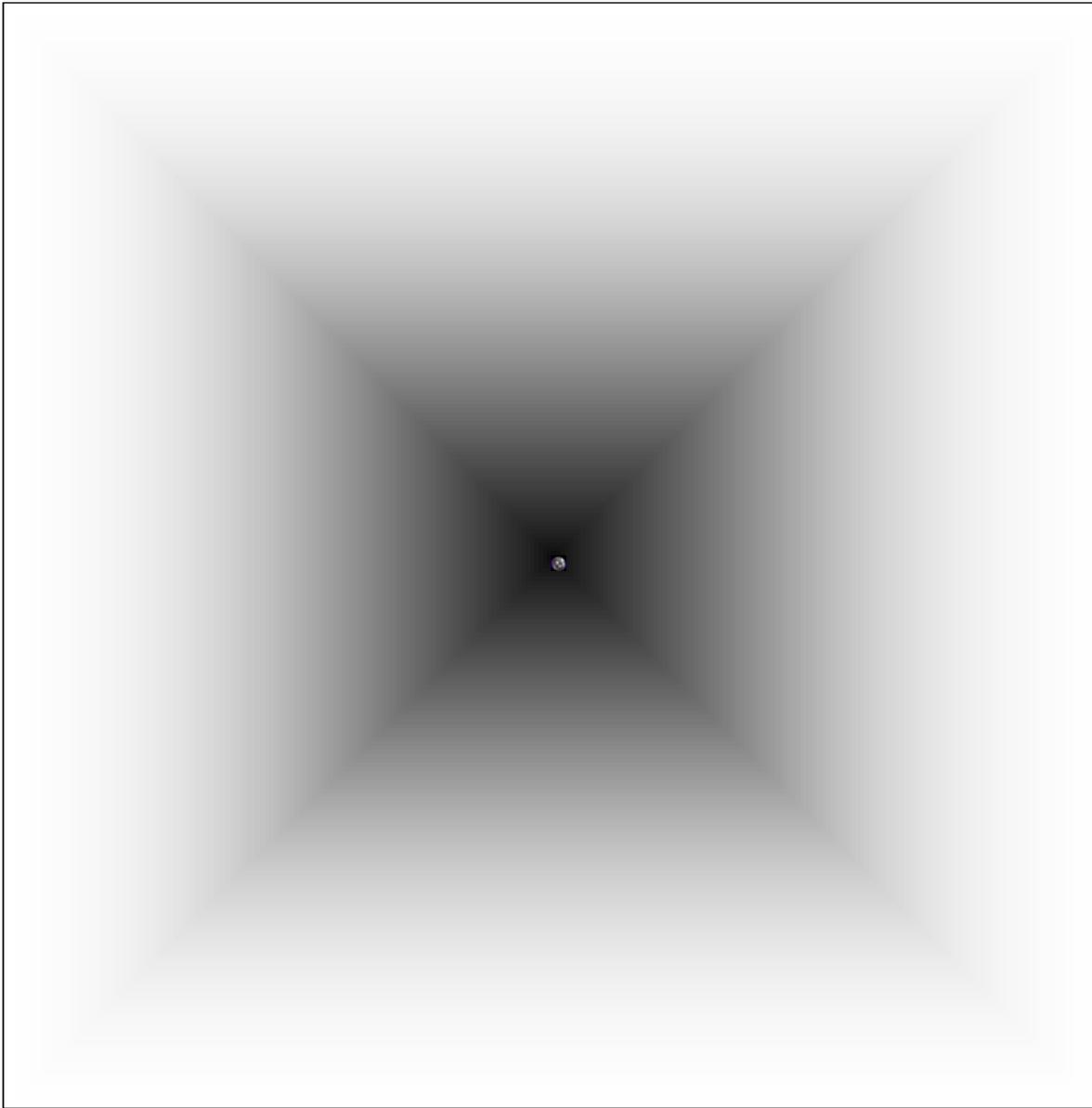
Die Welt im Kleinen

Atome sind
fast leer,
der Kern
ist sehr klein

10^{-11} m

10 pm

0.000 000 000 01 m



Die Welt im Kleinen

Atome sind
fast leer,
der Kern
ist sehr klein

10^{-12} m

1 pm

0.000 000 000 001 m

Die Welt im Kleinen

Radius des
Kerns nur
ca. 1/10.000
der innersten
Elektronenbahn



10^{-13} m

100 fm

0.000 000 000 000 1 m

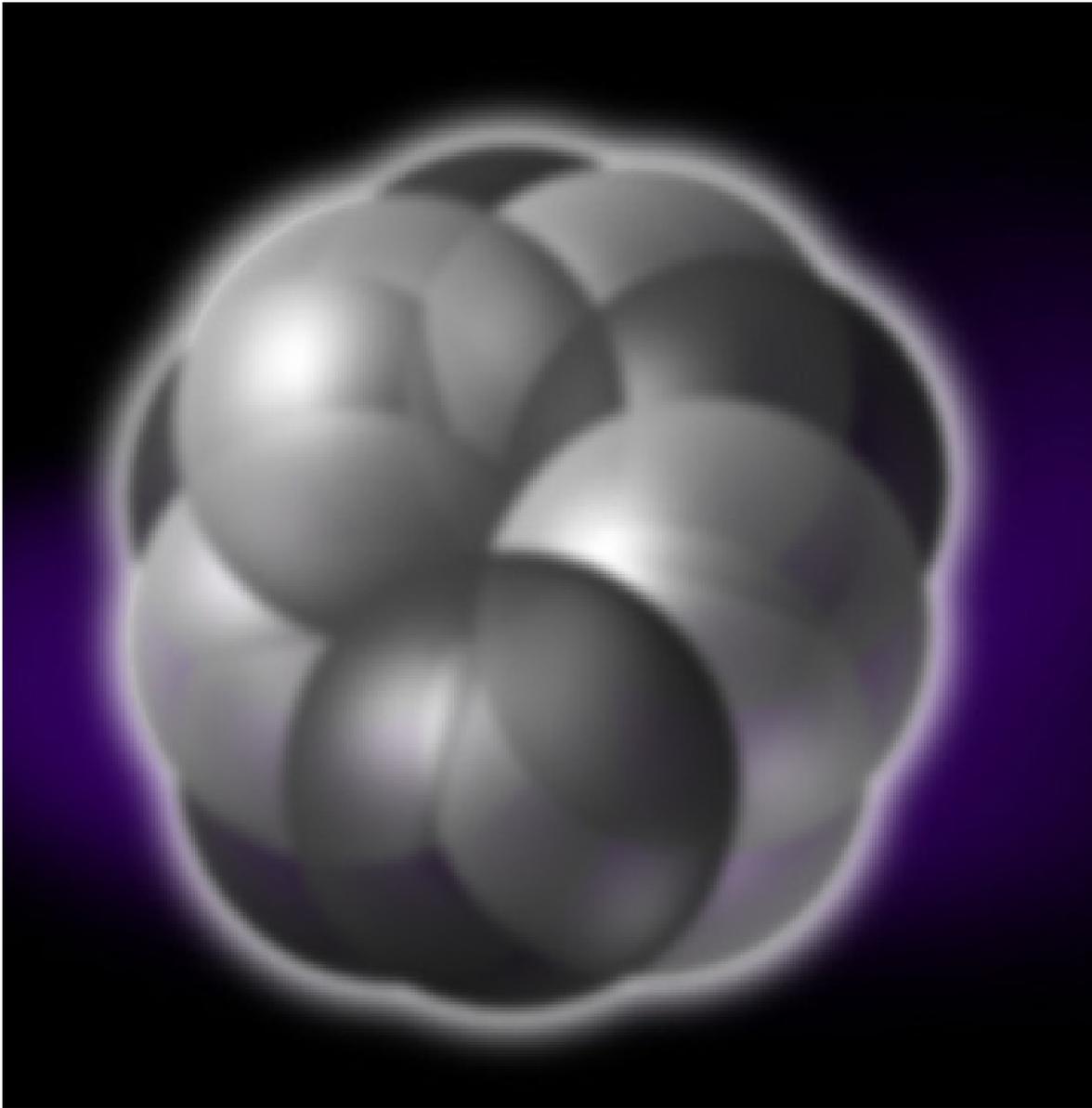
Die Welt im Kleinen

Atomkerne
bestehen aus
Protonen und
Neutronen

10^{-14} m

10 fm

0.000 000 000 000 01 m



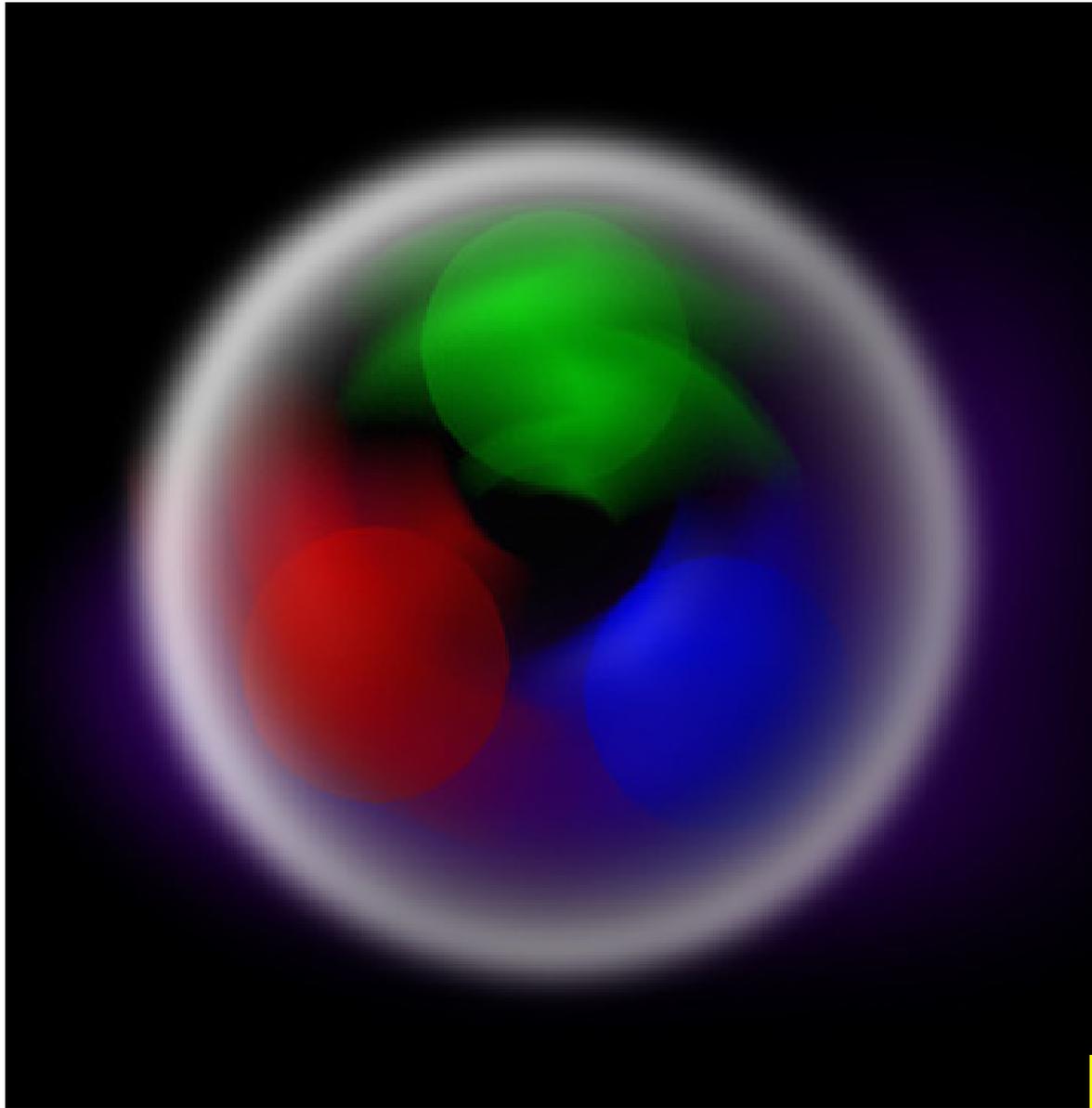
Die Welt im Kleinen

Proton/Neutron
bestehen
aus Quarks

10^{-15} m

1 fm

0.000 000 000 000 001 m



Die Welt im Kleinen

Punktförmige
Quarks und
Leptonen

10^{-16} m

0.1 fm

0.000 000 000 000 000 1 m

Die Welt im Kleinen

Punktförmige
Quarks und
Leptonen

10^{-17} m

0.01 fm

0.000 000 000 000 000 01 m

Die Welt im Kleinen

Punktförmige
Quarks und
Leptonen

10^{-18} m

0.001 fm

0.000 000 000 000 000 001 m

Die Welt im Kleinen

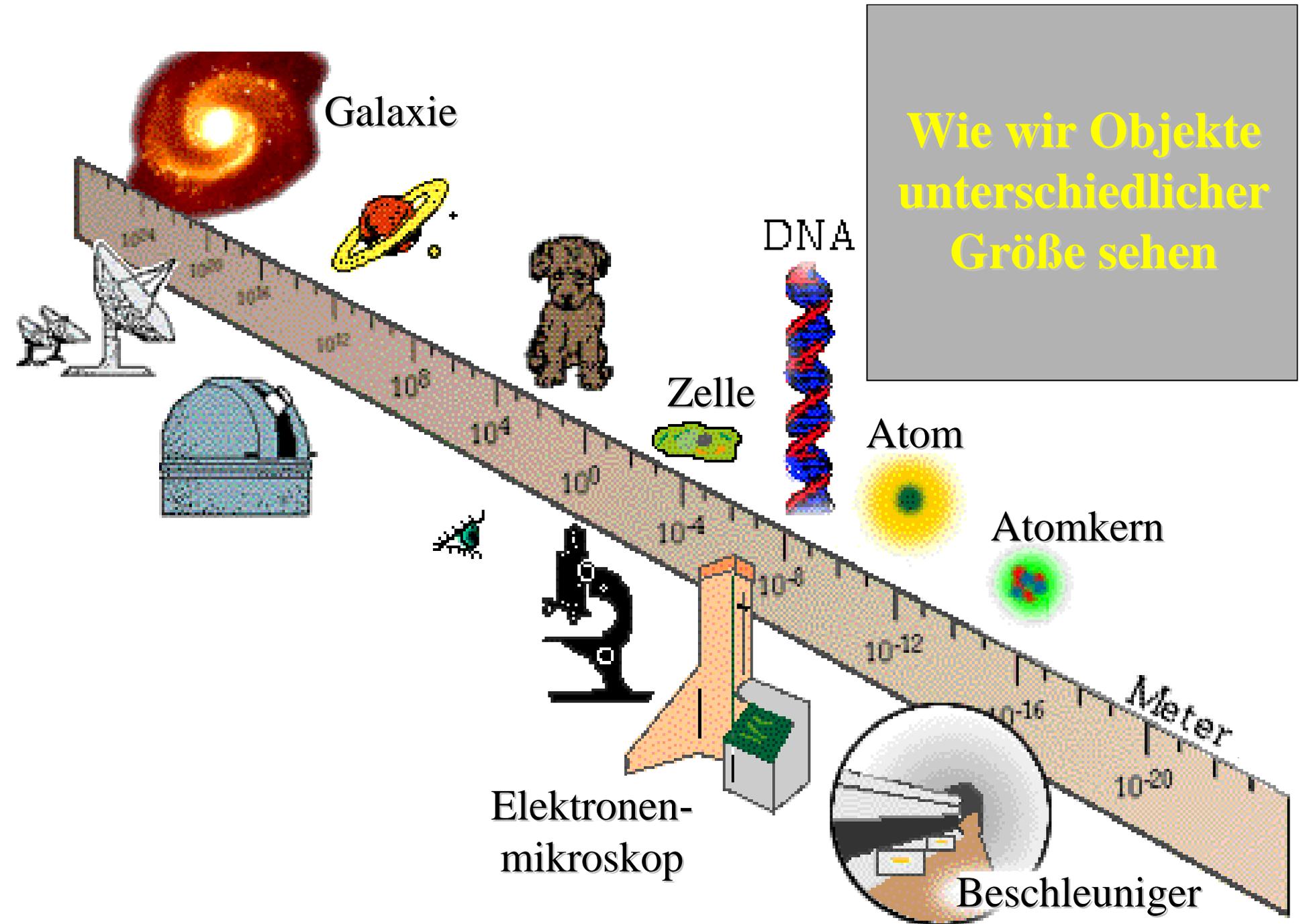


Quarks und
Leptonen
wirklich
gar keine
Ausdehnung?

10^{-19} m

0.000 1 fm

0.000 000 000 000 000 000 000 1 m



Wie wir Objekte unterschiedlicher Größe sehen

Gravitation

Schwerkraft , Erdanziehung

Bewegung des Mondes um die Erde

Bewegung der Planeten um die Sonne

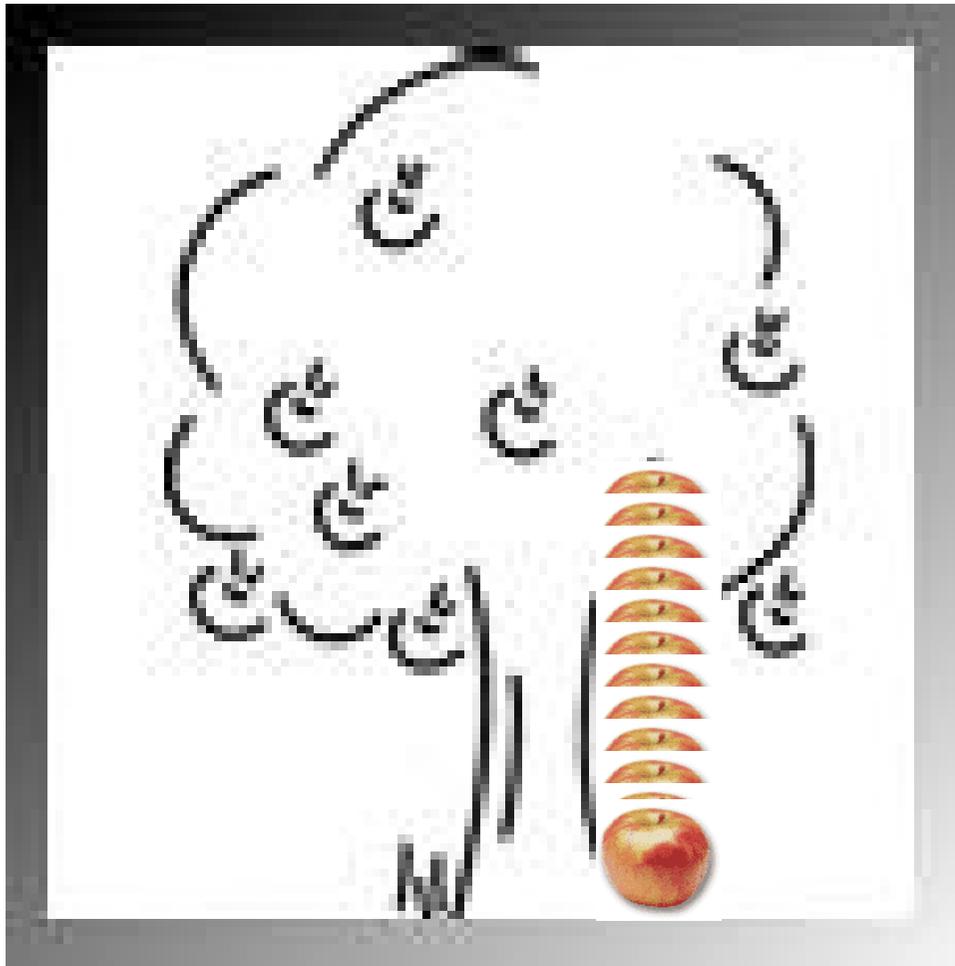
Sterne und Galaxien

Galaxien und Galaxienhaufen

Universum

Erste Theorie:

Isaac Newton

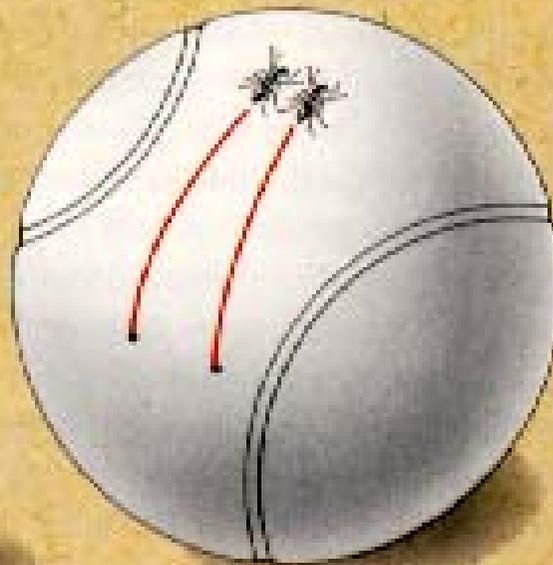




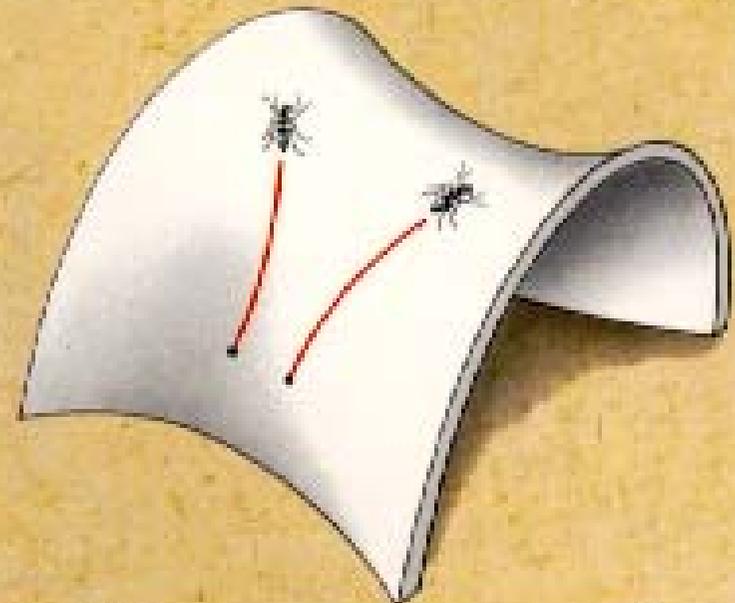
Allgemeine Relativitätstheorie



**Keine
Krümmung**



**Positive
Krümmung**



**Negative
Krümmung**

Massen deformieren den Raum

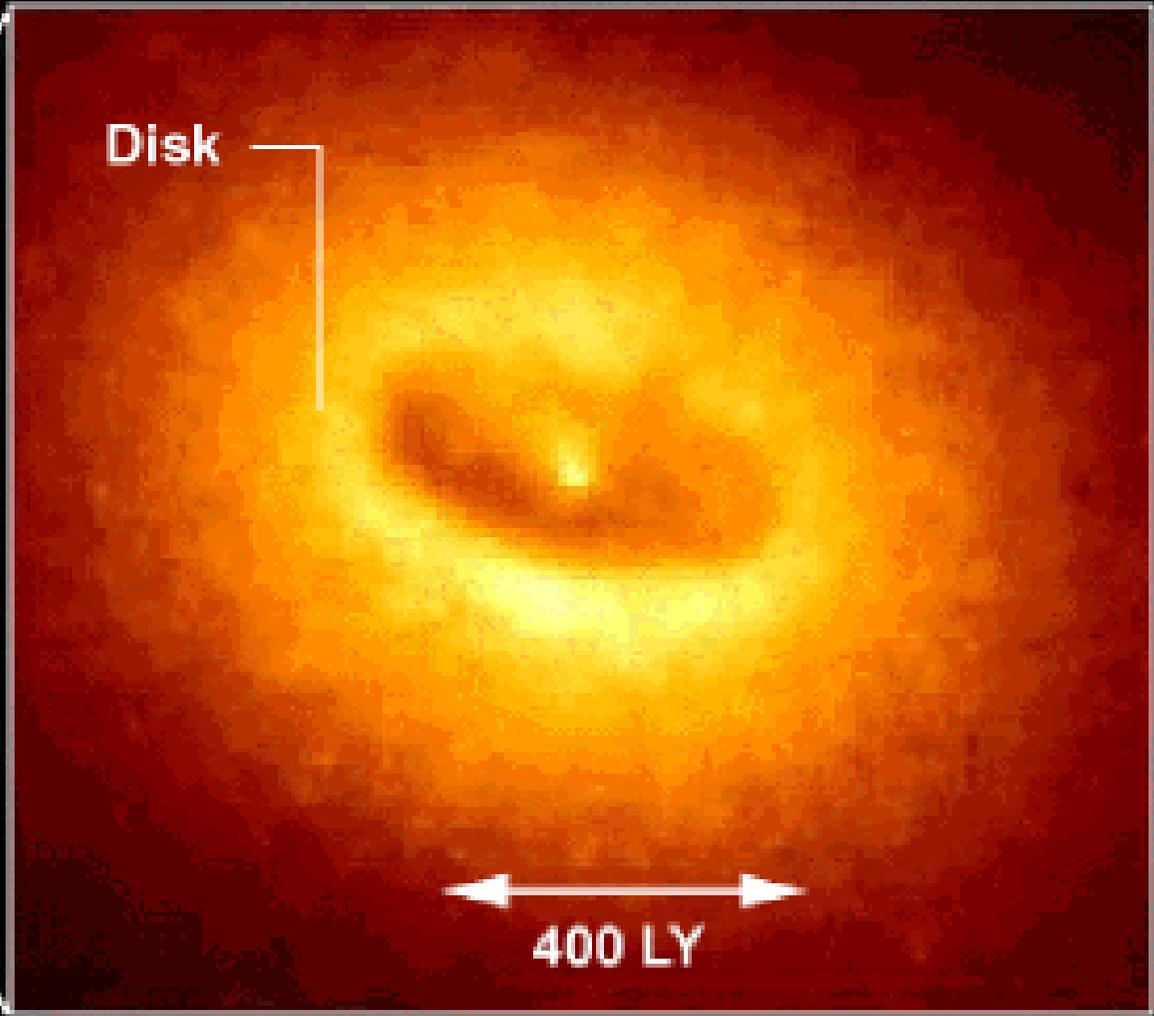
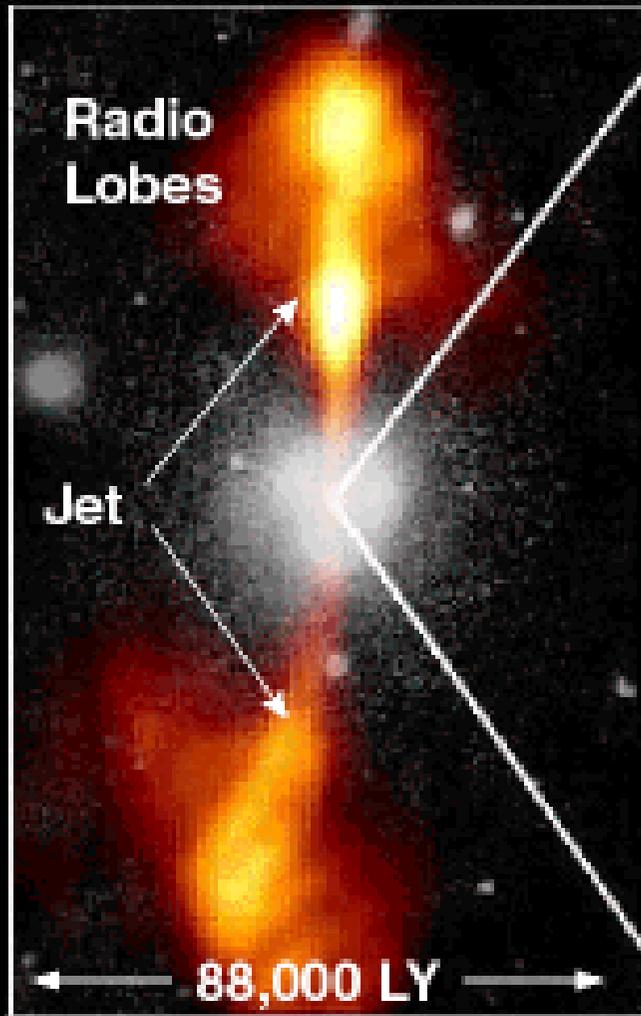


Probemasse im Gravitationsfeld



Schwarzes Loch

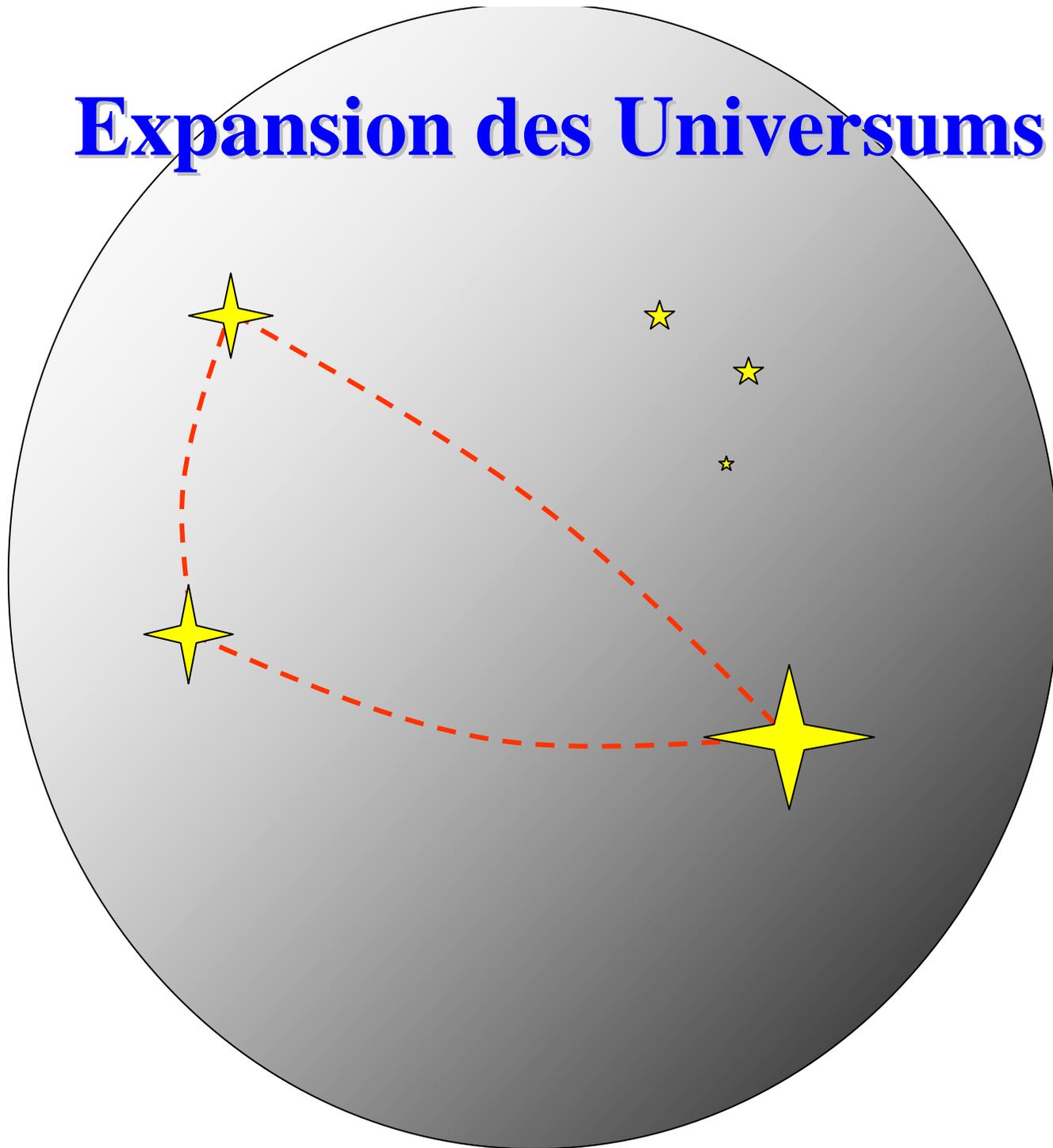
NGC 4261 HST WFPC 2



Ground Radio + Optical

Hubble Space Telescope

Expansion des Universums



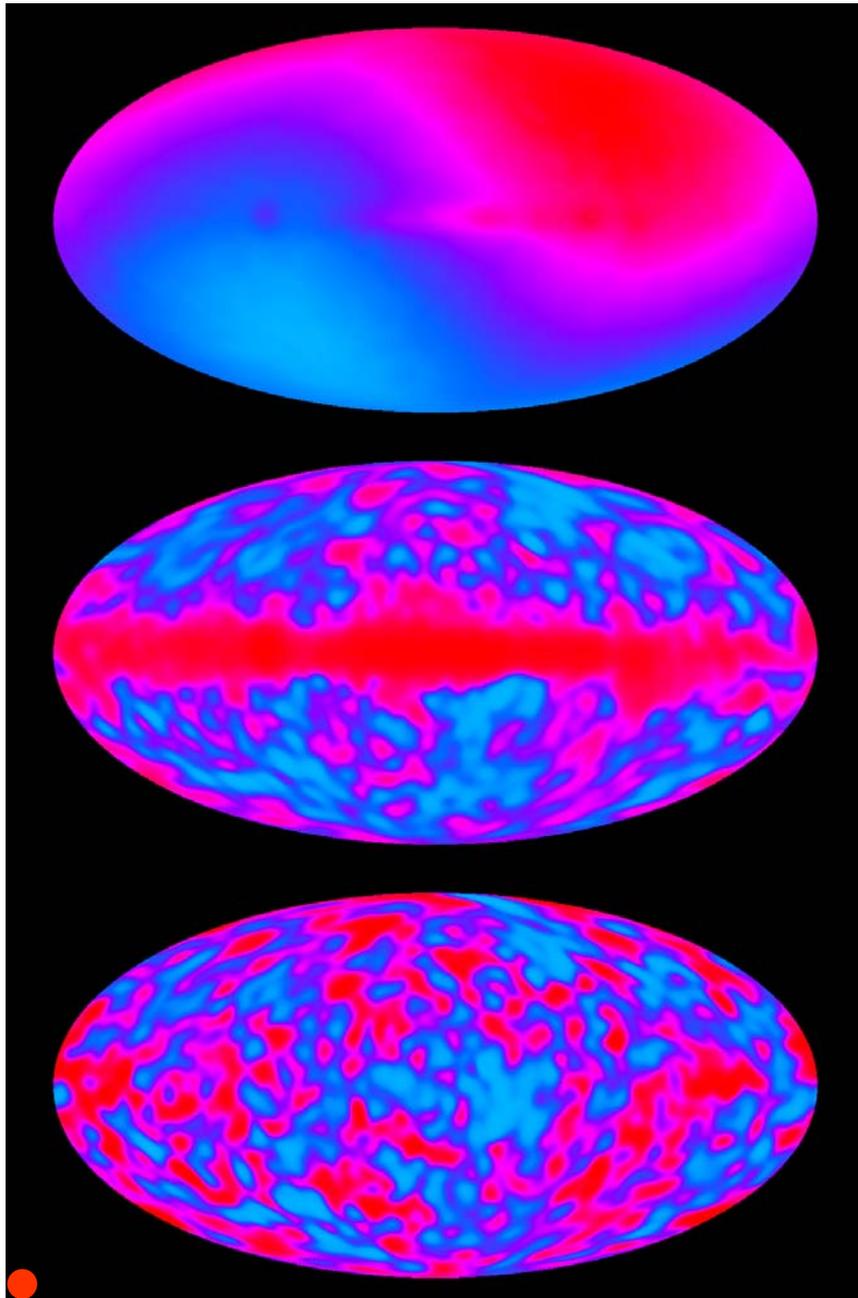
Zurück zum Urknall



REVERSE

Der Nachhall des Urknalls

**Kosmische
Hintergrundstrahlung:
extrem homogen**



Cobe-Satellit



Elektromagnetismus



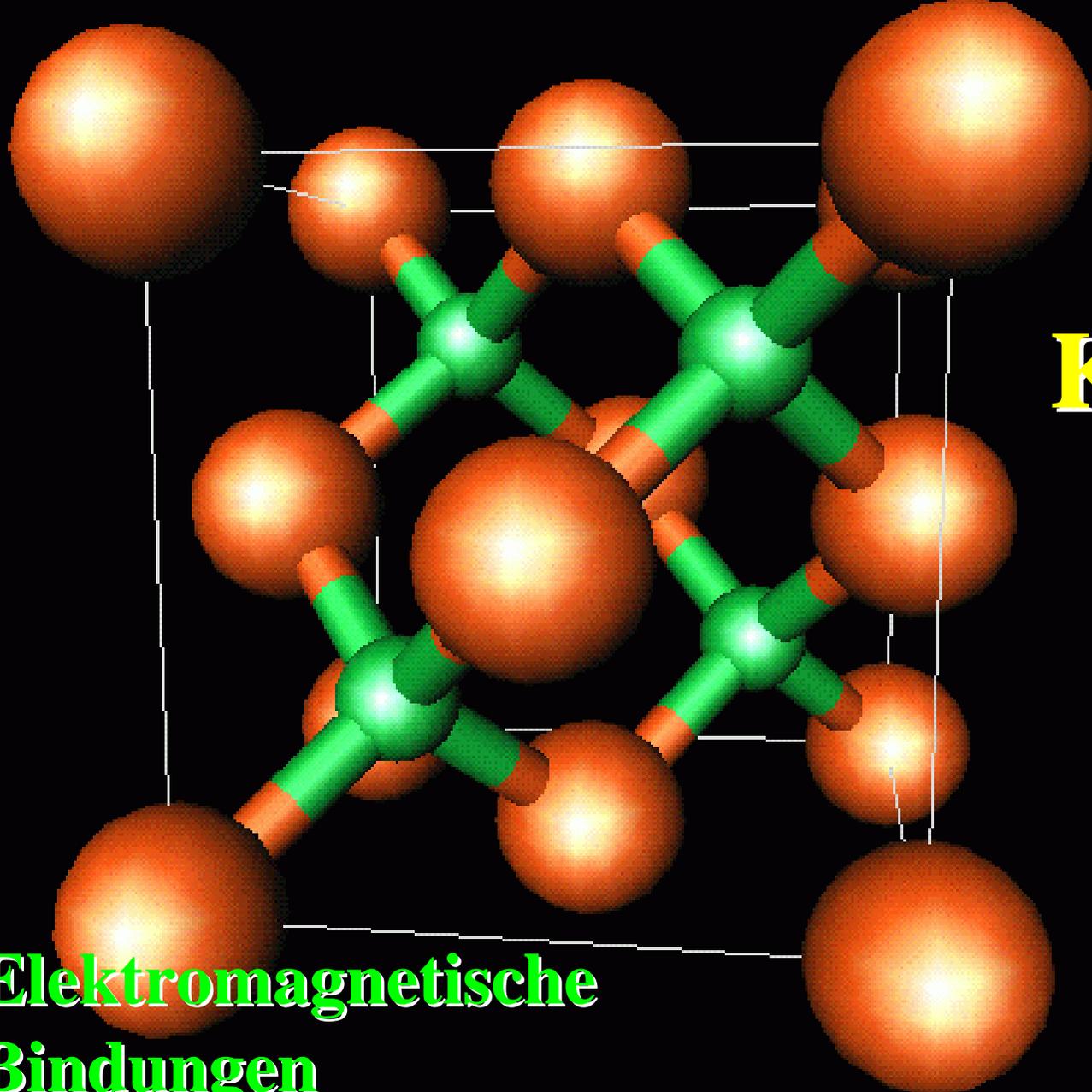
Blitze

**Elektrische Ladungen,
elektrischer Strom**

Magnetismus

**Chemische Bindungen,
Moleküle und Festkörper**

Bindung von Atomen



**Elektromagnetische
Bindungen**

Kristall

Atome

Struktur der Atome

Rutherford - Streuexperiment

Verknüpfung mit [rutherford12.lnk](#)

**Es gibt einen kleinen harten
Kern im Atom**

Das Atom ist im wesentlichen leer!

Bohrsches Atommodell H-Atom

**99,999 999
999 999%
des Atoms
ist leer !**



Quantenmechanisches Atom

Heisenbergsche Unschärferelation

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{1}{2} \hbar$$

Atomkern

Proton

Neutron



Starke Wechselwirkung

Atom- und Wasserstoffbombe

**Energieerzeugung in der Sonne
(Solarenergie=Kernfusion)**

**Energieerzeugung durch
Kernspaltung und Kernfusion**

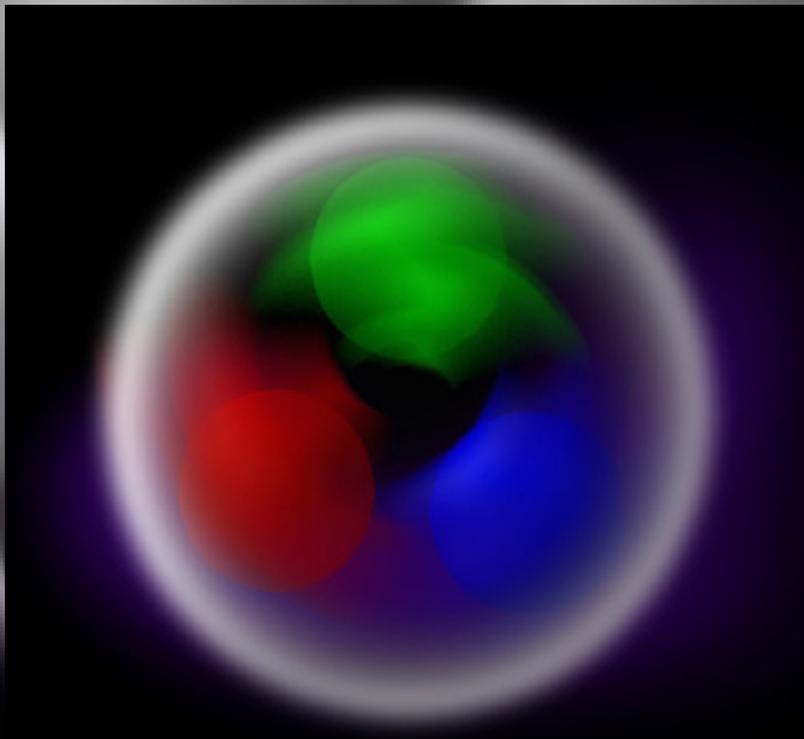
Zusammenhalt der Kerne

**Zusammenhalt der Quarks in
Protonen und Neutronen**

Atomkern

Proton

3 Quarks



Schwache Wechselwirkung

Kernreaktionen in der Sonne

Radioaktiver Kernzerfall

Umwandlung von chemischen
Elementen (Alchemie)

Zerfall des Neutrons

Übergänge zwischen
verschiedenen Quark-Sorten

Elementare Bestandteile der Materie 1900

Hauptgruppen		Periodensystem der Elemente (PSE)																Hauptgruppen						
I II																		III	IV	V	VI	VII	VIII	
1.	1,0 H Wasserstoff	<p>Die Zahl über dem Symbol gibt die Atommasse an (Maßeinheit u). Die Ordnungszahl (= Kernladungszahl) steht unter dem Symbol.</p> <p>□ Metalle (rot) □ Halbmetalle (Übergangsmetalle) (gelb) ● Nichtmetalle (grün) + Edelgase (blau)</p>																					4,0 He Helium	
2.	6,9 Li Lithium	9,0 Be Beryllium																	10,8 B Bor	12,0 C Kohlenstoff	14,0 N Stickstoff	16,0 O Sauerstoff	19,0 F Fluor	20,2 Ne Neon
3.	23,0 Na Natrium	24,3 Mg Magnesium	Nebengruppen																27,0 Al Aluminium	28,1 Si Silicium	31,0 P Phosphor	32,1 S Schwefel	35,5 Cl Chlor	40,0 Ar Argon
4.	39,1 K Kalium	40,1 Ca Calcium	45,0 Sc Scandium	47,9 Ti Titan	50,9 V Vanadium	52,0 Cr Chrom	54,9 Mn Mangan	55,9 Fe Eisen	58,9 Co Cobalt	58,7 Ni Nickel	63,6 Cu Kupfer	65,4 Zn Zink	69,7 Ga Gallium	72,6 Ge Germanium	74,9 As Arsen	79,0 Se Selen	79,9 Br Brom	81,8 Kr Krypton						
5.	85,5 Rb Rubidium	87,6 Sr Strontium	88,9 Y Yttrium	91,2 Zr Zirkonium	92,9 Nb Niob	95,9 Mo Molybdän	97,9 Tc Technetium	101,1 Ru Ruthenium	102,9 Rh Rhodium	106,4 Pd Palladium	107,9 Ag Silber	112,4 Cd Cadmium	114,8 In Indium	118,7 Sn Zinn	121,8 Sb Antimon	127,6 Te Tellur	126,9 I Iod	131,3 Xe Xenon						
6.	132,9 Cs Cäsium	137,3 Ba Baryum	173,1 La Lanthanreihe	178,5 Hf Hafnium	181,0 Ta Tantal	183,9 W Wolfram	186,2 Re Rhenium	190,2 Os Osmium	192,2 Ir Iridium	195,1 Pt Platin	197,0 Au Gold	200,6 Hg Quecksilber	204,4 Tl Thallium	207,2 Pb Blei	209,0 Bi Bismut	209,0 Po Polonium	210,0 At Astat	222,0 Rn Radon						
7.	223,0 Fr Francium	226,0 Ra Radium	89-103 Actinide	(261) Rf Rutherfordium	(262) Db Dubnium	(266) Sg Seaborgium	(261) Bh Bohrium	(265) Hs Hassium	(269) Mt Meitnerium	110	111	112												
Lanthanoide		138,9 La Lanthan	140,1 Ce Cer	140,9 Pr Praseodym	144,2 Nd Neodym	144,9 Pm Promethium	150,4 Sm Samarium	152,0 Eu Europium	157,3 Gd Gadolinium	158,9 Tb Terbium	162,5 Dy Dysprosium	164,9 Ho Holmium	167,3 Er Erbium	168,9 Tm Thulium	173,0 Yb Ytterbium	175,0 Lu Lutetium								
Actinoide		227,0 Ac Actinium	232,0 Th Thorium	231,0 Pa Protactinium	238,0 U Uran	237,0 Np Neptunium	244,1 Pu Plutonium	243,1 Am Americium	243,1 Cm Curium	247,1 Bk Berkelium	247,1 Cf Californium	251,0 Es Einsteinium	257,0 Fm Fermium	258,1 Md Mendelevium	259,1 No Nobelium	260,1 Lr Lawrencium								

Elementare Bestandteile der Materie 2000

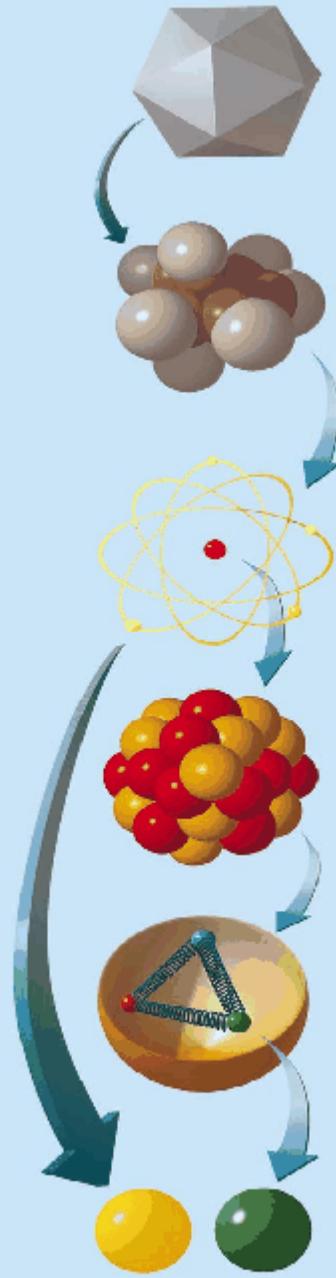
Quarks:

up *charm* *top*
down *strange* *bottom*

**Bausteine der Materie
des heutigen Universums**

Leptonen:

Elektron *Myon* *Tau*
e – Neutrino *μ – Neutrino* *τ – Neutrino*



$\leq 0,01$ m
Kristall

1/10.000.000

10^{-9} m
Molekül

1/10

10^{-10} m
Atom

1/10.000

10^{-14} m
Atomkern

1/10

10^{-15} m
Proton

1/1.000

$< 10^{-18}$ m
Elektron,
Quark

Synchrotronstrahlung DORIS III/HASYLAB

**Punktförmig,
ohne jegliche Ausdehnung!**

Radius(Elektron) $< 10^{-18}$ m

Untersuchung der Quarks und Leptonen

Starkes Mikroskop

=

Streuexperiment bei hohen Energien

große Teilchenbeschleuniger



Zwei-Meilen-Linearbeschleuniger

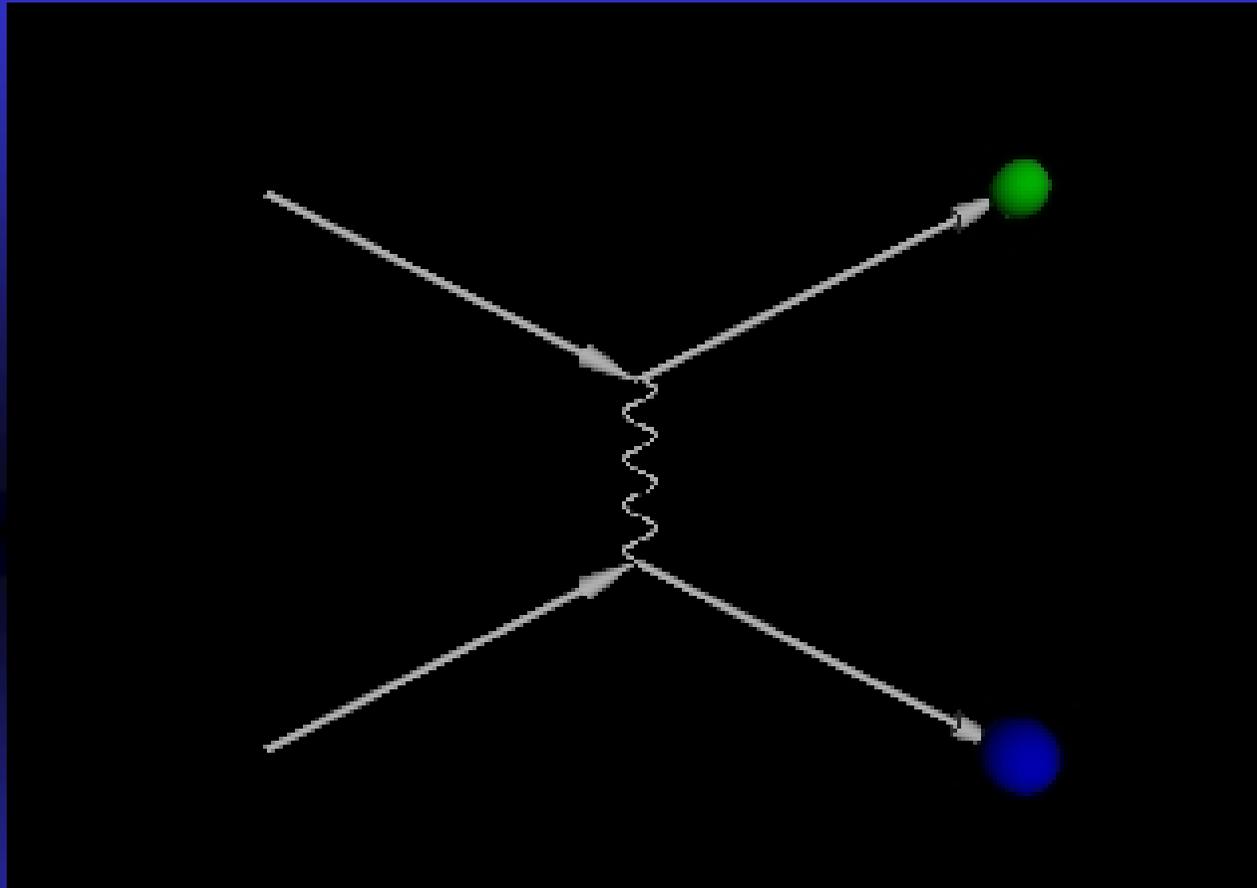
SLAC
Stanford
USA



Deutsches Elektronen-Synchrotron Hadron-Elektron Ring-Anlage



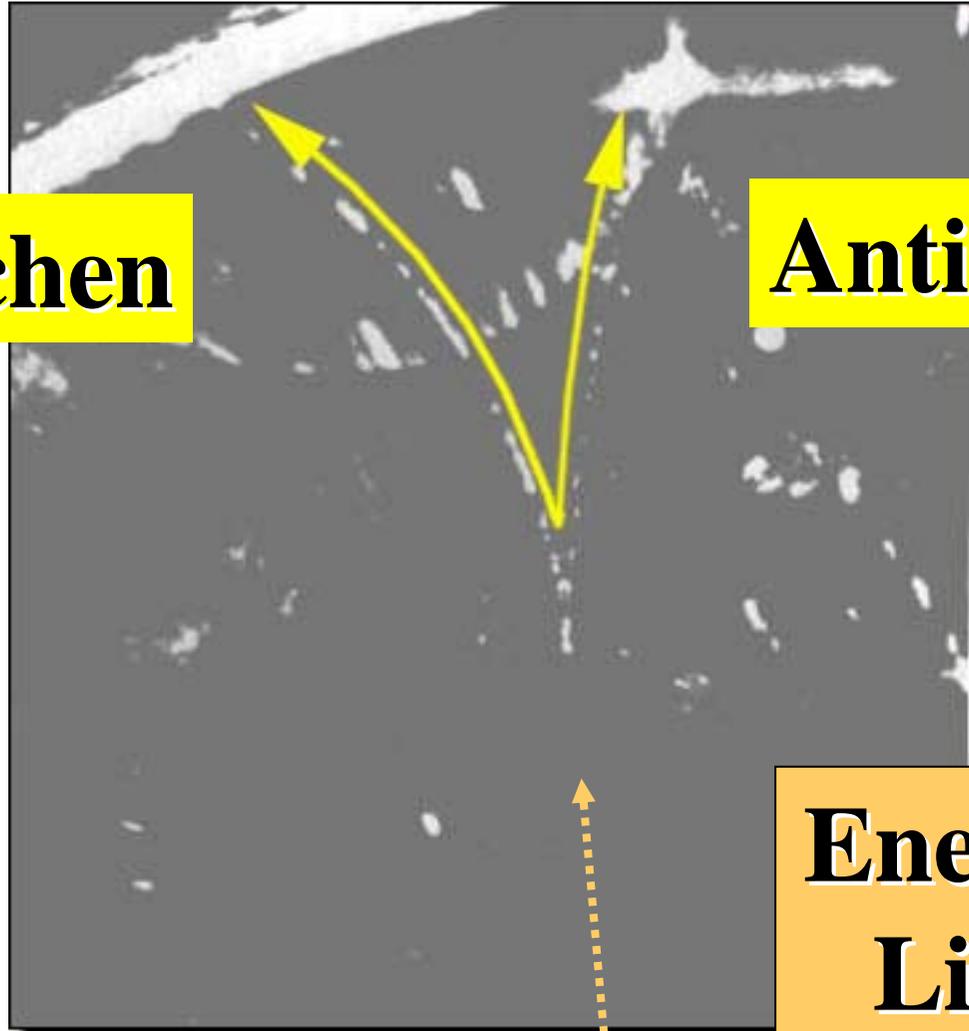
Feynman-Diagramm für Streuprozesse



$$A = (-ie)^2 \bar{u}(p_1) \gamma_\mu u(p_2) \cdot \frac{-g_{\mu\nu} + \frac{k_\mu k_\nu}{M^2}}{k^2 - M^2} \cdot \bar{u}(p_1') \gamma_\nu u(p_2')$$

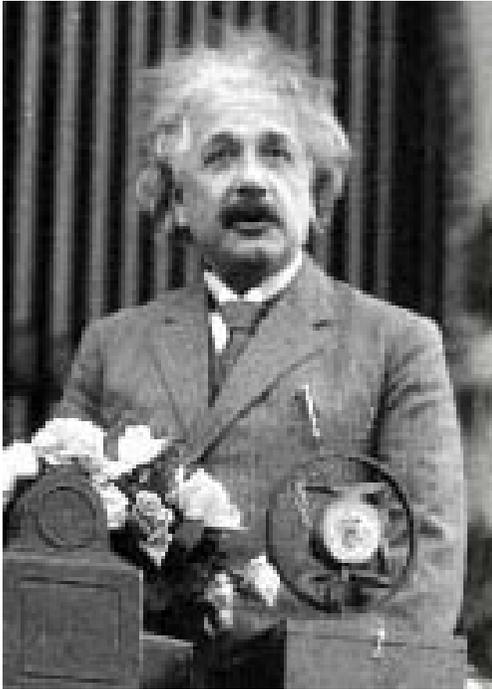
Teilchen

Antiteilchen



**Energie
Licht
(Photon)**

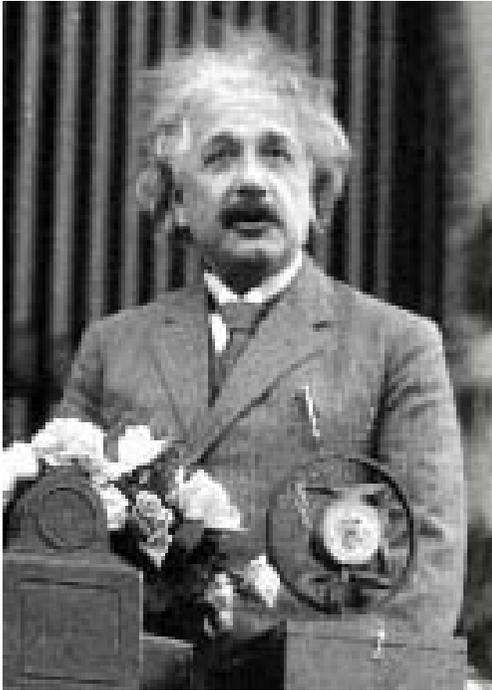




$$E = m \cdot c^2$$

Originalton Einstein

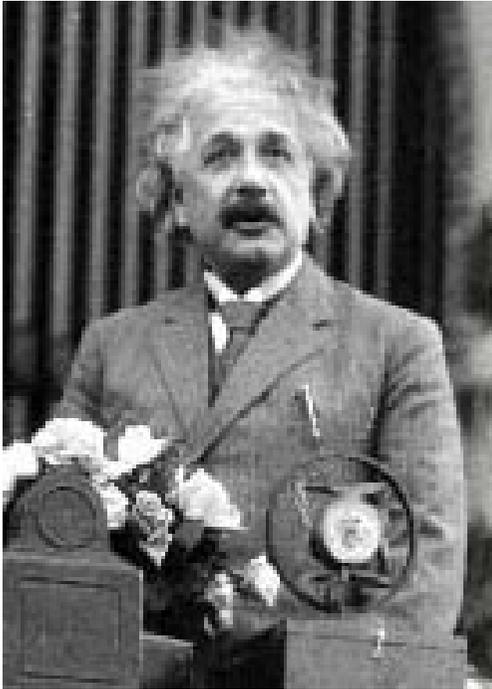




$$E = m \cdot c^2$$

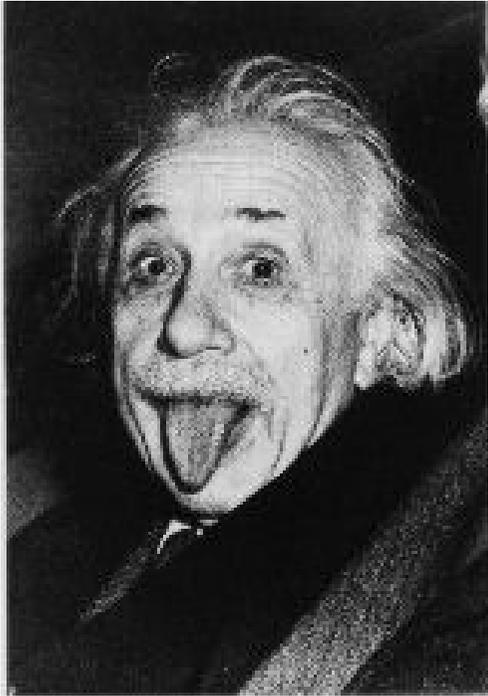
**Aus der speziellen Relativitätstheorie folgt, daß Masse und Energie beides nur verschiedene Erscheinungsformen derselben Sache sind -
- eine etwas ungewöhnliche Betrachtungsweise für einen durchschnittlichen Geist.**





$$E = m \cdot c^2$$

Weiterhin zeigt die Gleichung E gleich m mal c-Quadrat, in der Energie mit Masse, multipliziert mit dem Quadrat der Lichtgeschwindigkeit, gleichgesetzt wird, daß eine sehr kleine Menge Masse in eine sehr große Menge Energie umgewandelt werden kann und umgekehrt.

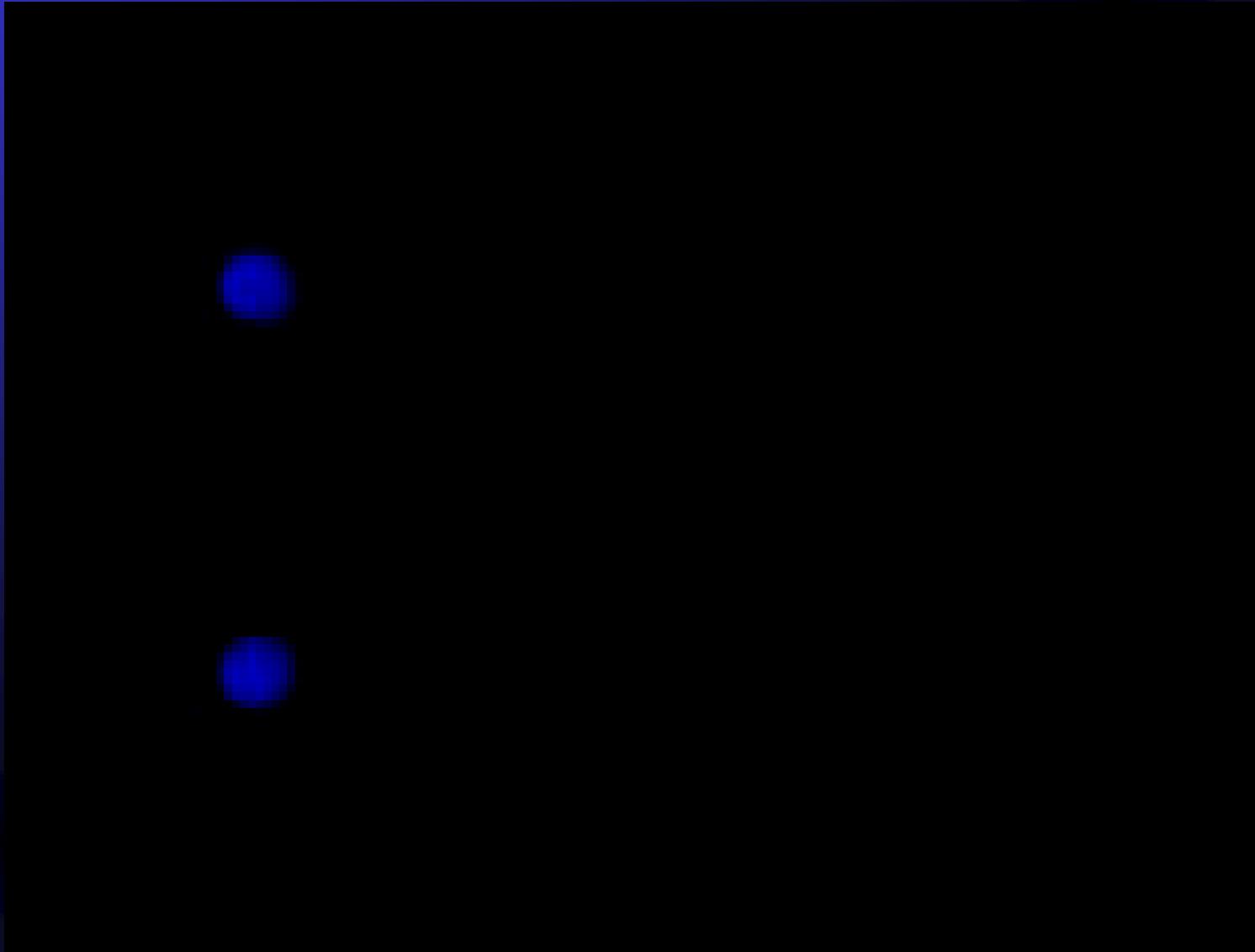


$$E = m \cdot c^2$$

Masse und Energie sind sogar äquivalent nach der obengenannten Formel. Dies wurde von Cockcroft und Walton 1932 experimentell demonstriert.

From the soundtrack of the film, Atomic Physics
copyright © J. Arthur Rank Organization, Ltd., 1948

Annihilation Feynman-Diagramm



Der LEP - Speicherring am CERN



An aerial photograph of the CERN research facility in Geneva, Switzerland. The image shows a vast complex of white buildings and structures, including the large circular structures of the particle accelerators. The facility is situated in a valley, with the city of Geneva visible in the background and the snow-capped Alps in the distance. The text "Das Forschungslabor CERN bei Genf" is overlaid on the right side of the image.

Das Forschungslabor CERN bei Genf



Blick in den Tunnel:

27 km

Magnete und Kavitäten



Magneten von LEP





Supraleitende
Beschleunigungsstrecke
für LEP II



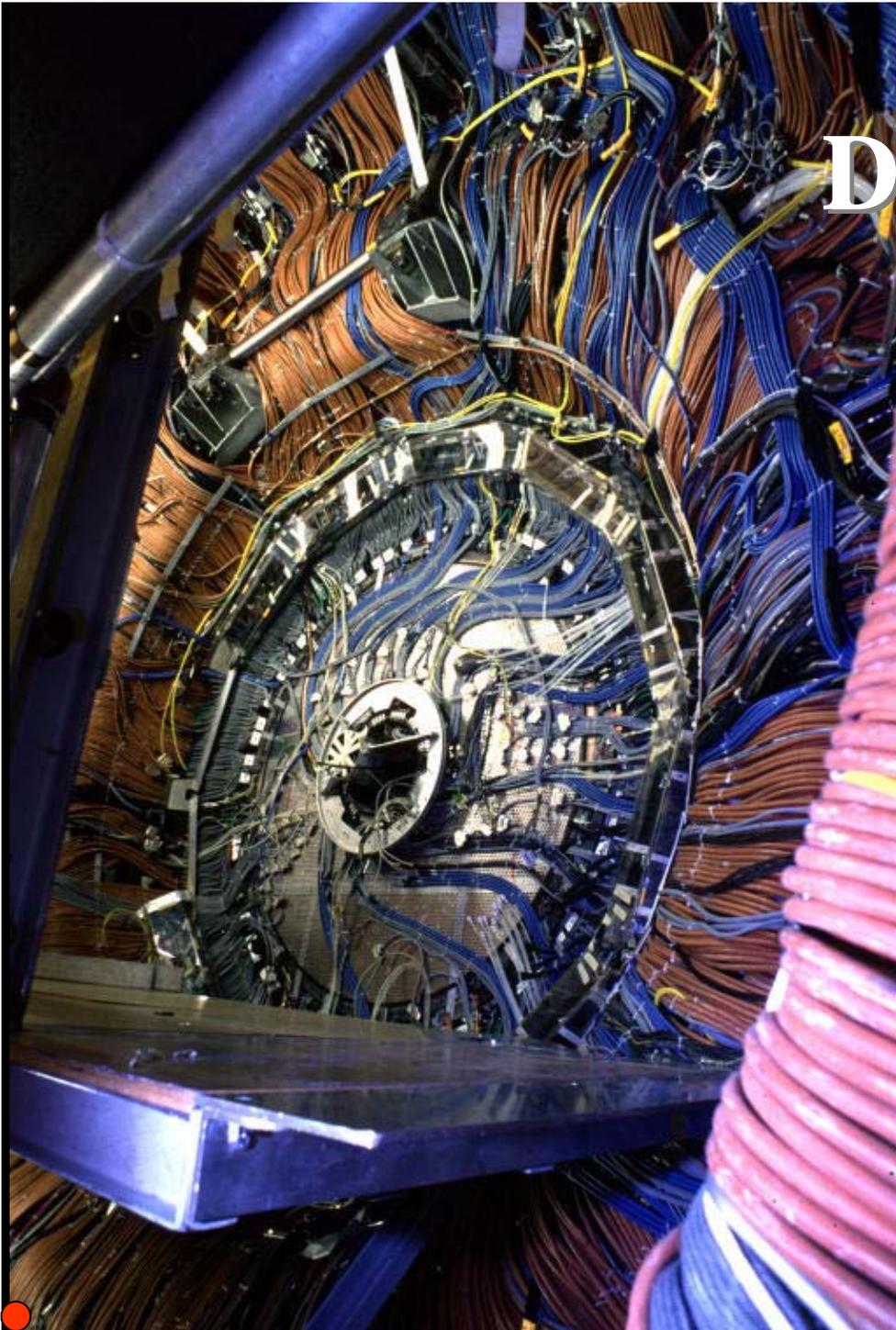
Zugang zum DELPHI-Experiment

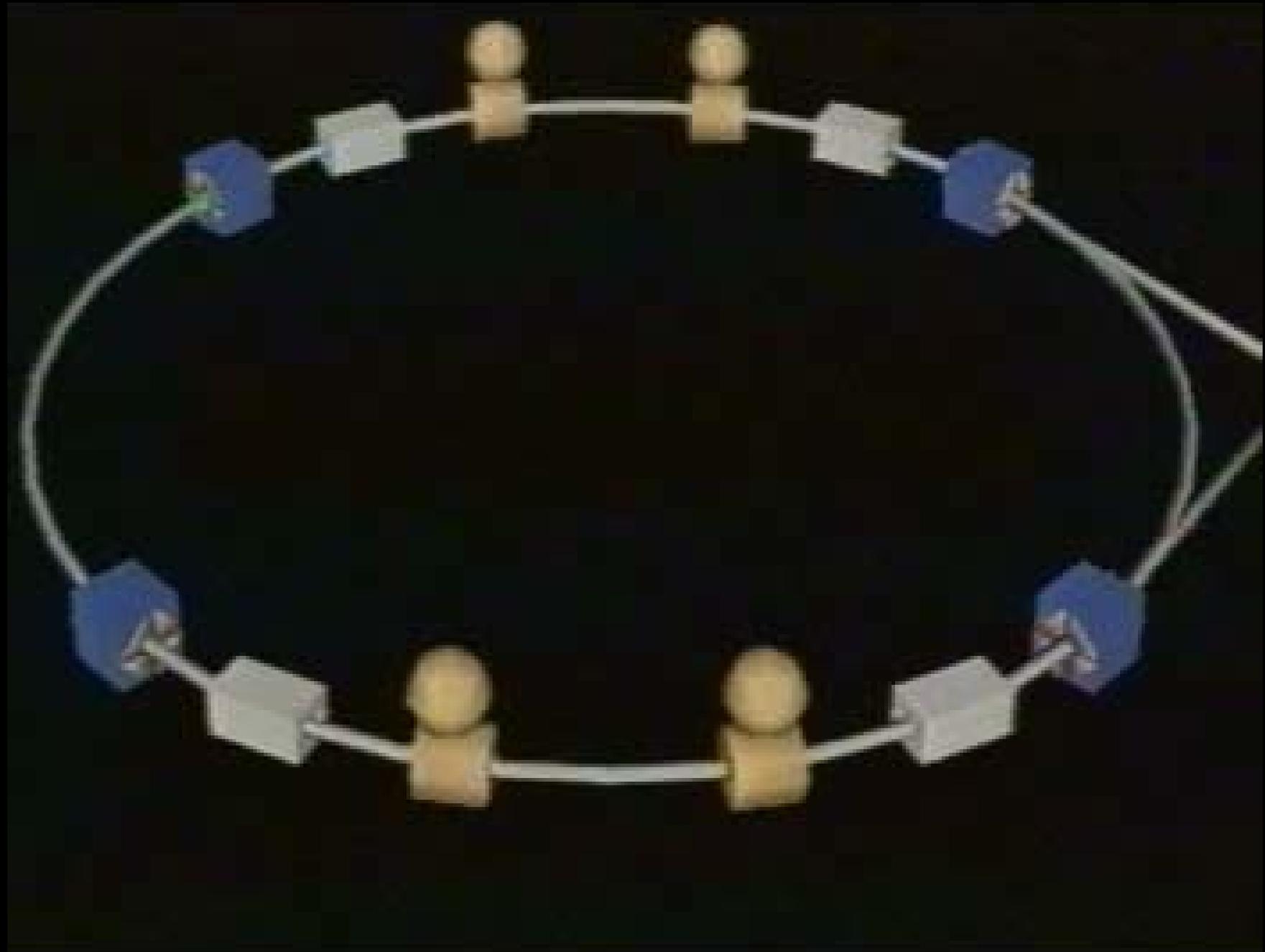


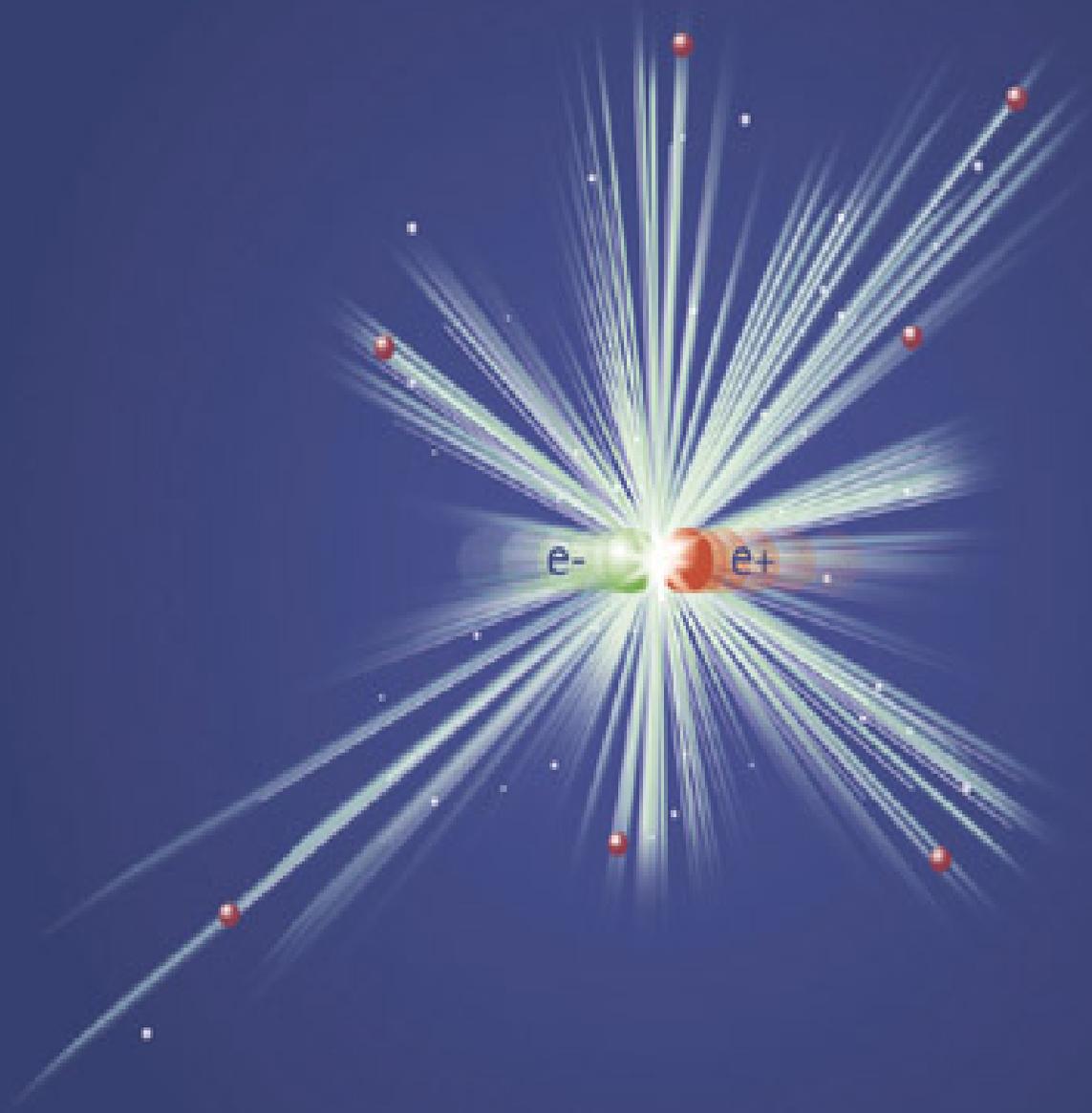
100 Meter tiefer: DELPHI



DELPHI Endplatte

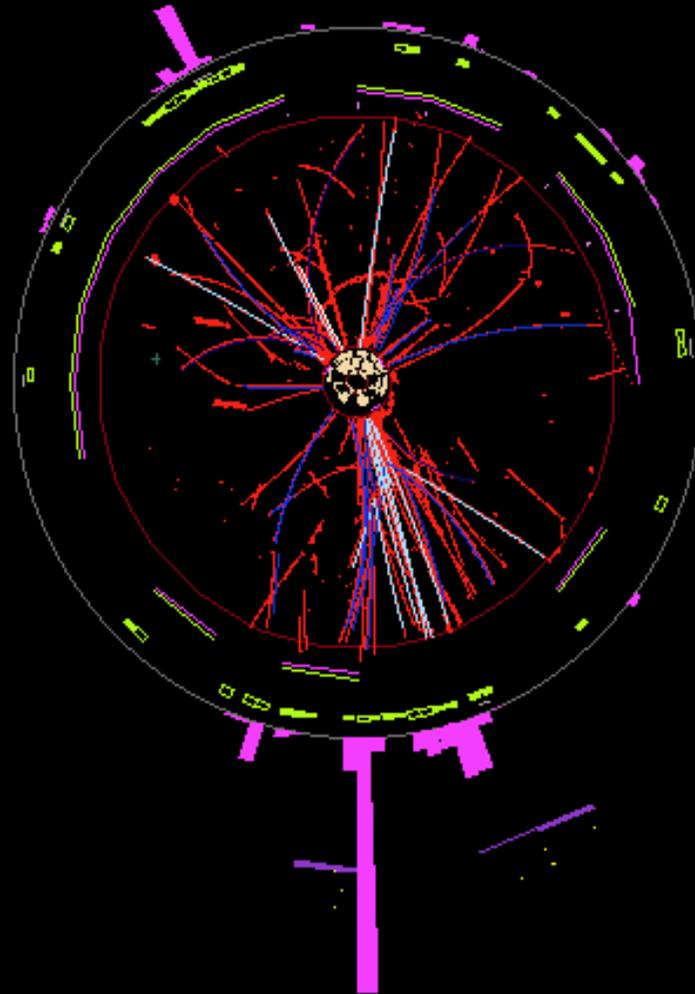






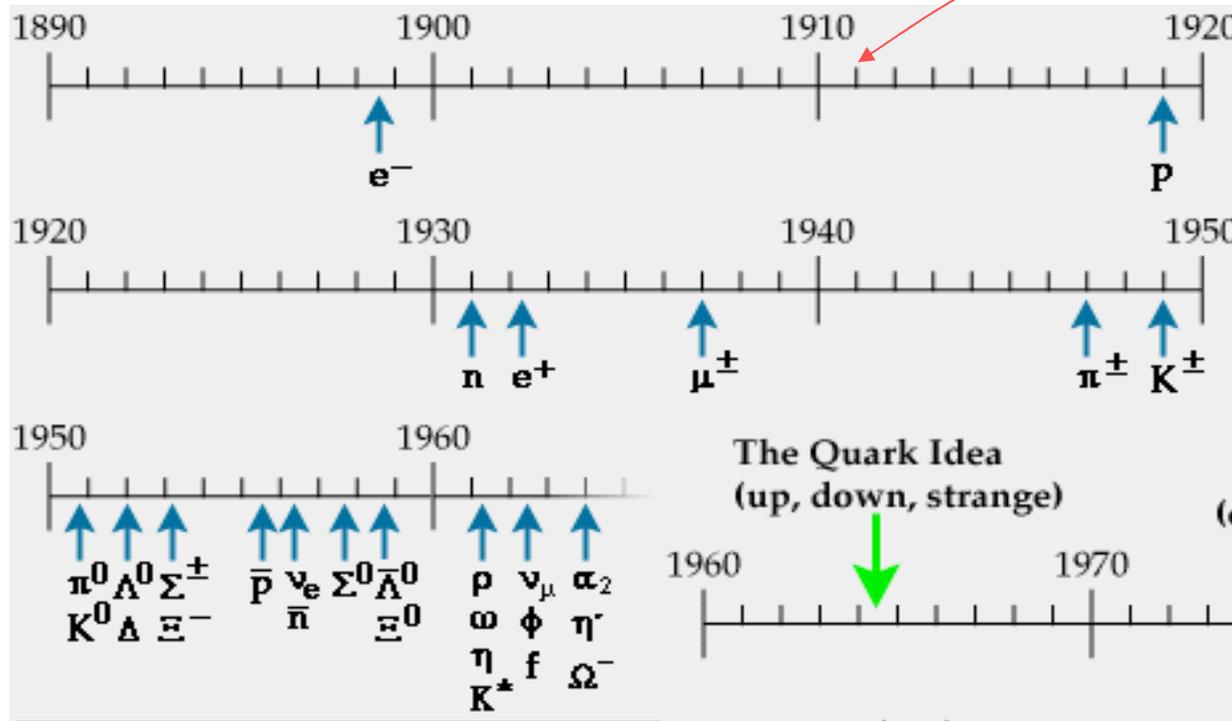
Run 13816 Event 9618

16 Jun 2000 05:34:19

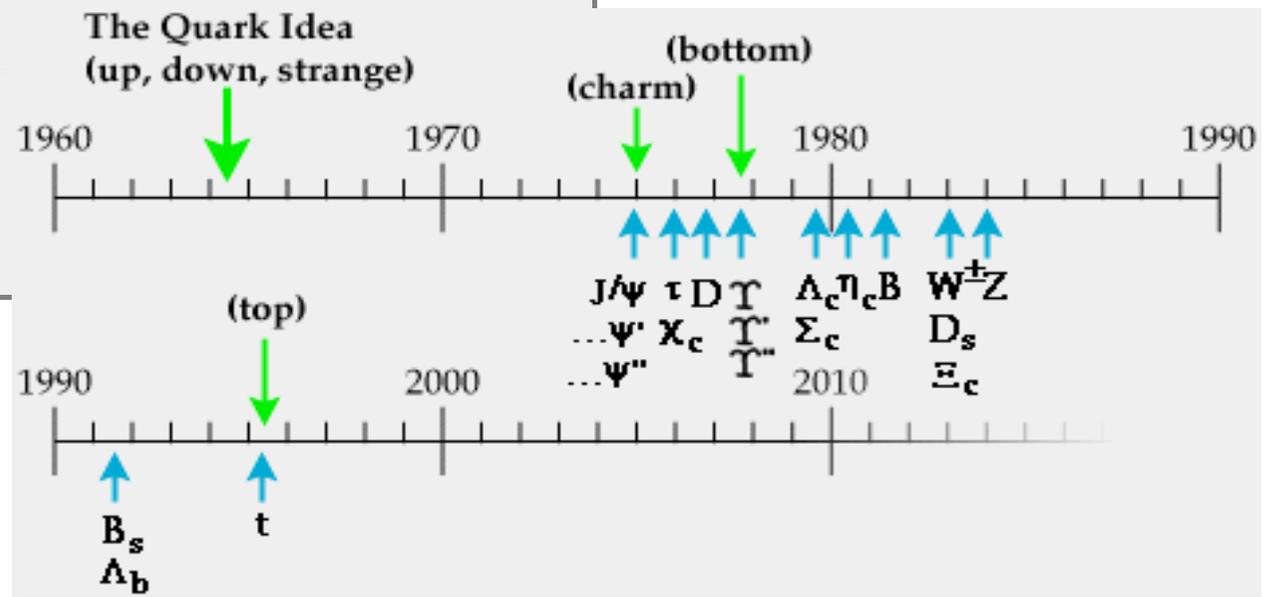


Centre-of-Mass Energy 205 GeV

Entdeckung neuer Teilchen



Rutherford entdeckt den Atomkern



Fundamentale Wechselwirkungen

Gravitation:

Allg. Relativitätstheorie,
Graviton? String-Theorie?

Elektromagnetismus:

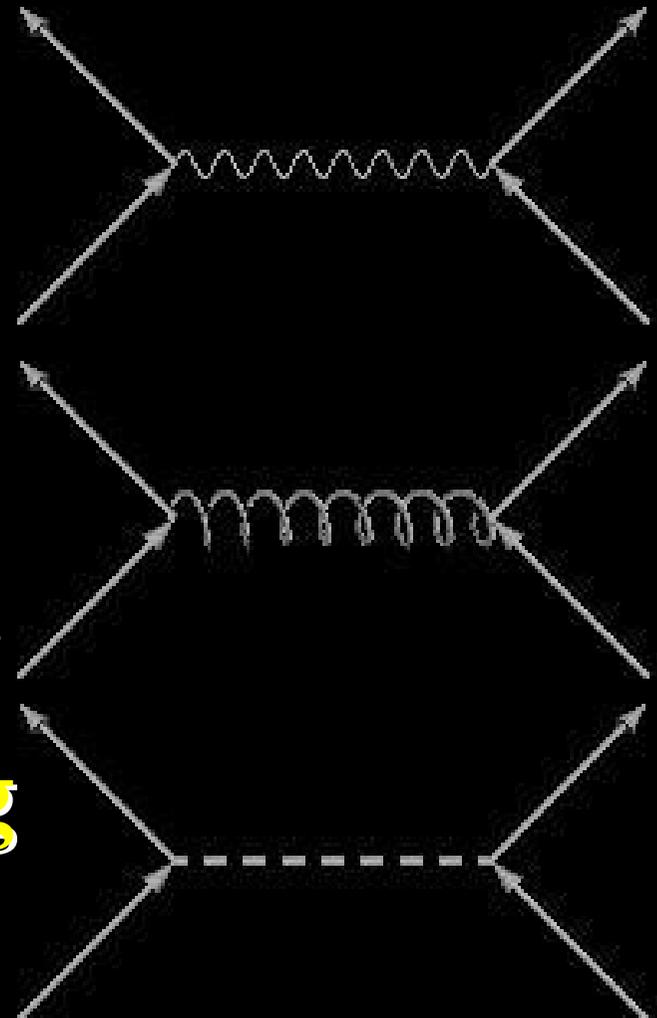
Photon

Starke Wechselwirkung:

Gluonen

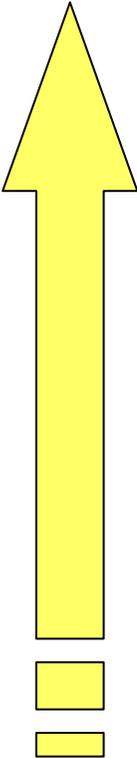
Schwache Wechselwirkung

W und Z-Bosonen

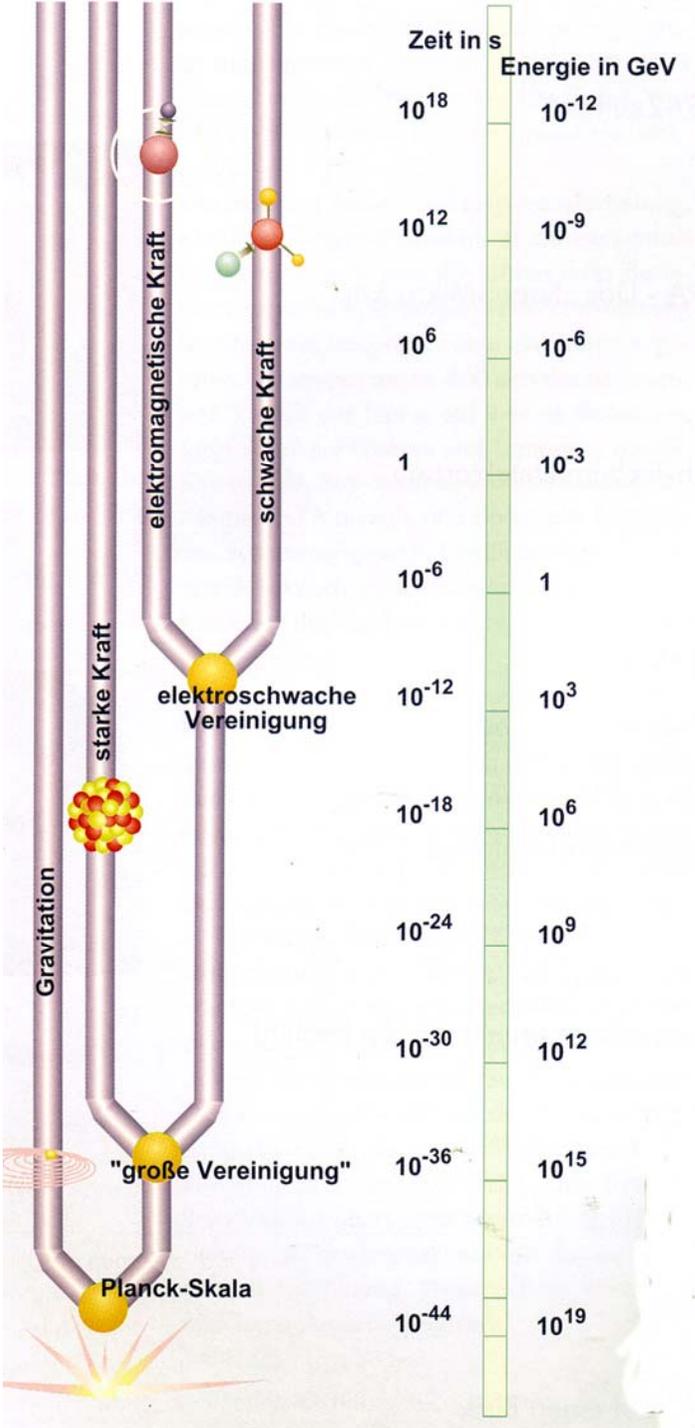


Historie des Universums

Komplexe Struktur,
Symmetrien teilweise aufgehoben



Einfache Struktur,
Symmetrien gültig



Der Kreis schließt sich:

**Die Rolle der Elementarteilchen
im frühen Universum**

**Stufenweise
Strukturbildung durch
Abkühlung und
anziehende Wechselwirkungen**

Expansion des Universums: Abkühlung

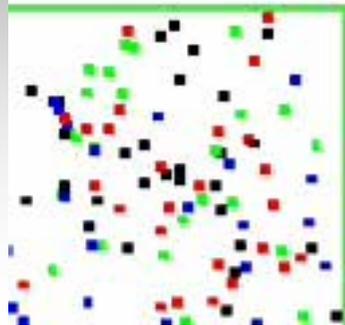
Volumen ↑



Temperatur ↓



Geschwindigkeit ↓





**Hohe Geschwindigkeit:
Streuung,
aber keine Bindung**



**Kleine Geschwindigkeit:
Einfang, Bindung**

1. Schritt:

3 Mikrosekunden nach Null

Quarks und Gluonen bilden

Hadronen

(Protonen, Neutronen, etc)

(starke WW)

2. Schritt:

10 -300 Sekunden nach Null

Formation of Nuclei

**Protonen und Neutronen
bilden leichte Kerne**

(starke WW)

3. Schritt:

ca 300 000 Jahre nach Null

Recombination

**Kerne fangen Elektronen ein
und bilden Atome**

(elektromagnetische WW)

4. Schritt:

Atome bilden Sterne

(Gravitation)

**Die Welt im Großen und Kleinen:
Kosmologie und Teilchenphysik**

Öffentliche Vortragsreihe

Ort: Gaede-Hörsaal (Physik-Flachbau), Engesserstr. 7, Universität

Zeit: Samstags 10:30 - 11:30 Uhr

01.07. „Die Welt im Großen und Kleinen: Kosmologie und Teilchenphysik“

Prof. M. Feindt

08.07. „Die Suche nach

Prof. Th. Müller

15.07. „Kosmische Strahlung: Die höchsten Energien im Universum“

<http://www.physik.uni-karlsruhe.de>

<http://www-ekp.physik.uni-karlsruhe.de/~feindt>

email: fakultaet@physik.uni-karlsruhe.de

<http://www.physik.uni-karlsruhe.de>

Dank an
Tobias Dussa
Jens Rehn
Hartmut Stadie
Patrick Schemitz

CERN

