

Vorlesung 2

Veranstaltungen der Fachschaft

Jeden Freitag: Vortragsreihe + Kolloquium 14:15 HS PI
Do 20.10 Open Forum 16:30-18:00 International Club

II Stammtisch
Fr 28.10 Zusammen sein bei Getränken
Morgen Trinerdisches Turnier 18:00 SRI HISKP
18:00 SRI + III HISKP
19:00-21:00 Campus Poppelsdorf

11-13.11. Erstfahrt Anmeldung bis Sonntag Homepage FS

Kolloquium nächste Woche (21. Oktober, 15:15)



Physikalisches Kolloquium

Fachgruppe Physik/Astronomie der Universität Bonn



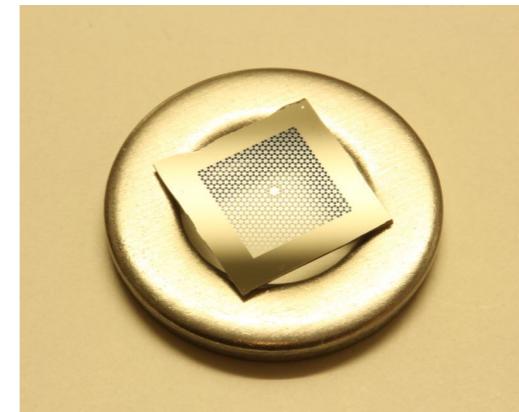
Freitag, 21. Oktober 2022, 15 Uhr c.t. im Hörsaal I des Physikalischen Instituts



Eugene S. Polzik

Niels Bohr Institute, Copenhagen University

**„Quantum physics with
macroscopic objects“**

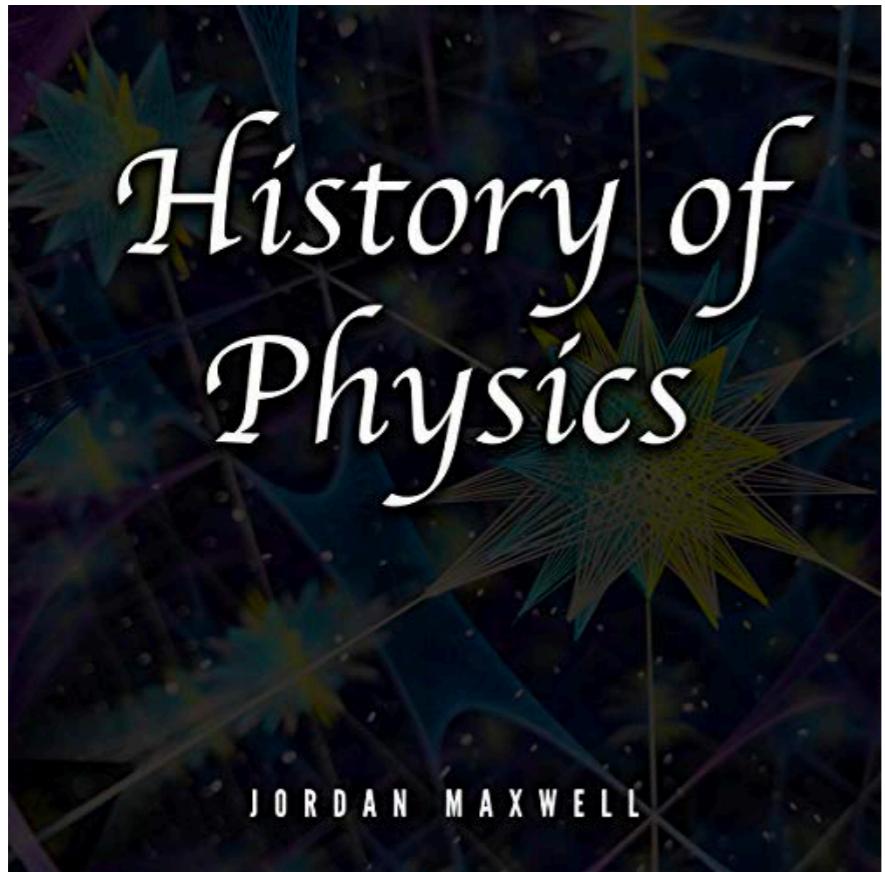


Recent ideas and technological developments have made possible studies of macroscopic objects deep in the quantum regime. In the talk I will discuss experiments where an entangled Einstein-Podolsky-Rosen (EPR) state has been generated between distant mechanical and atomic oscillators. The concept of an oscillator with an effective negative mass crucial for those experiments will be presented. Progress towards application of those ideas to gravitational wave detectors following the proposal will be reported. Another challenge within quantum physics of macroscopic objects is generation of Fock states corresponding to single quantum excitations of an oscillator. Progress along those lines with Fock states of motion and of a collective atomic spin will be presented.

Es gelten die Corona-Regelungen des Landes Nordrhein-Westfalen

1.3 Geschichte der Physik

Empfehlenswerte Literatur:



Weitere interessante Quellen über Personen und Fortschritte:

https://en.wikipedia.org/wiki/Physics_in_the_medieval_Islamic_world

https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_science_and_technology_in_China

https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_science_and_technology_in_the_Indian_subcontinent

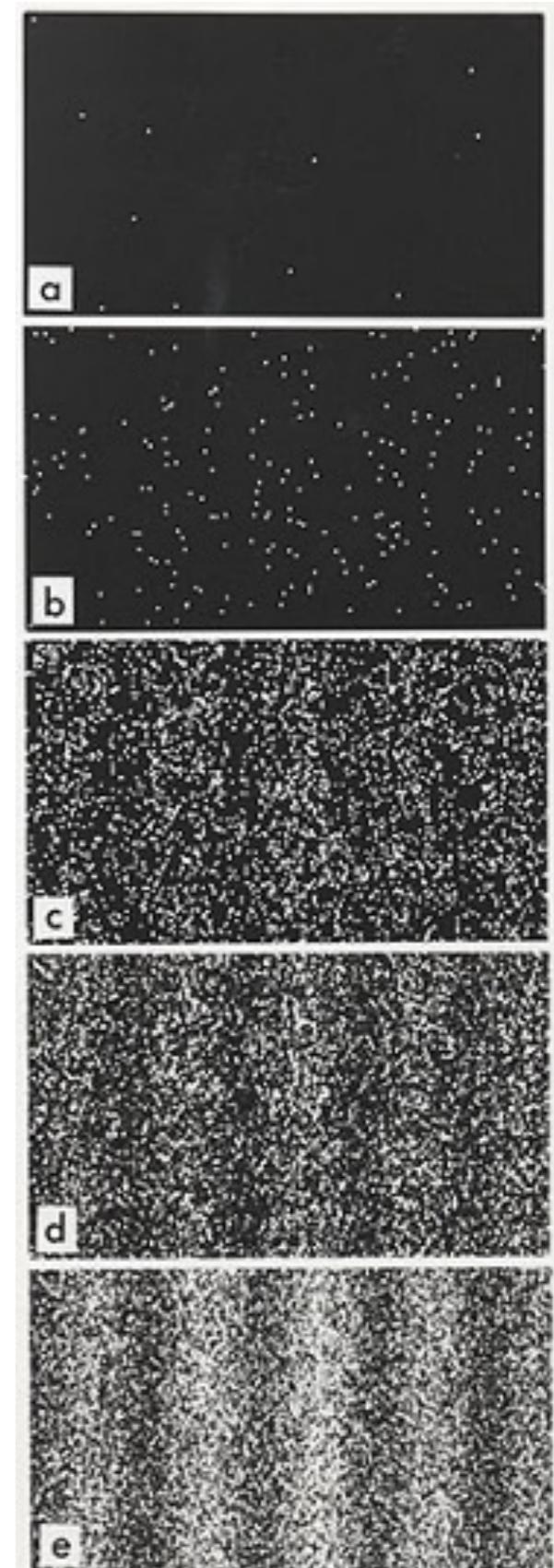
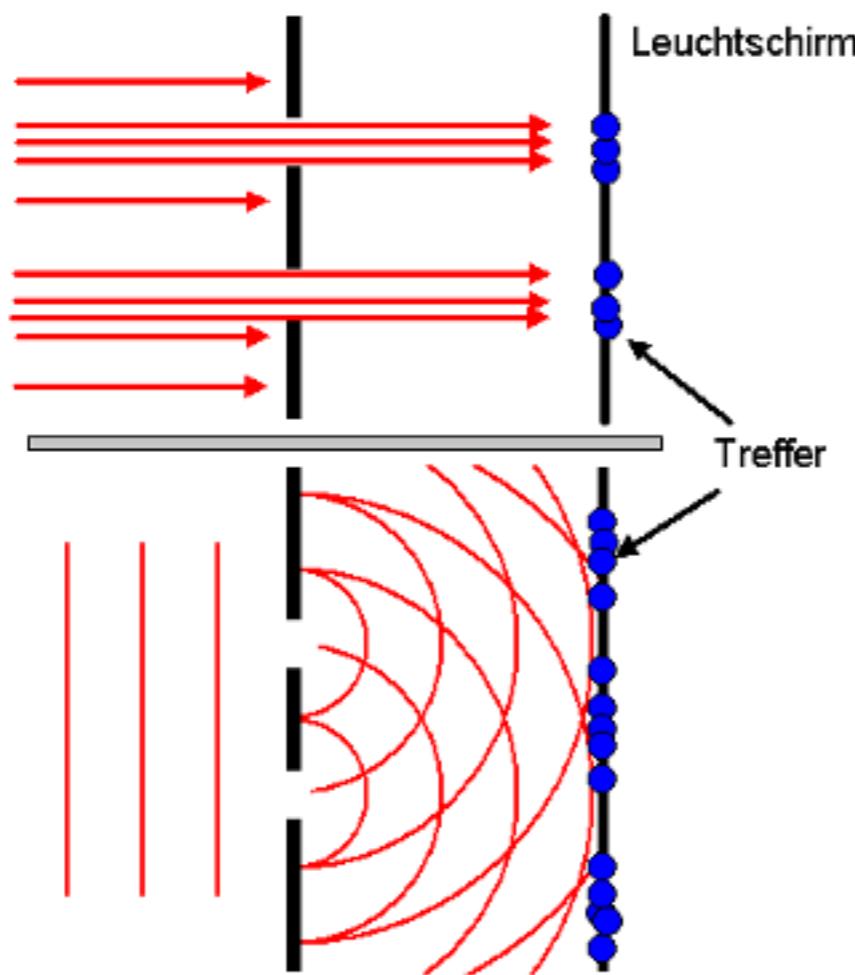
1.3 Physikalisches Weltbild - heute

★ Struktur der Materie

★ Fundamentale Wechselwirkungen

★ Gravitation: “Struktur der Raumzeit”

★ “Alles sind Wellen”



1.3 Physikalisches Weltbild - heute

Struktur der Materie:

Robert Boyle (1627-1691) chemische Analyse → Grundstoffe?

Antoine Laurent de Lavoisier (1743-1794)

John Dalton (1766-1844)

→ Atomhypothese, Massen der Elemente

Dmitri Iwanowitsch Mendelejew (1834-1907)

→ Periodensystem der Elemente

Thomson (1905)

→ Entdeckung des Elektrons

Rutherford (ab 1904)

→ Entdeckung der Atomkerne, Proton

Chadwick (1932)

→ Entdeckung des Neutrons

Pauli (1930) + Cowan, Reines (1956)

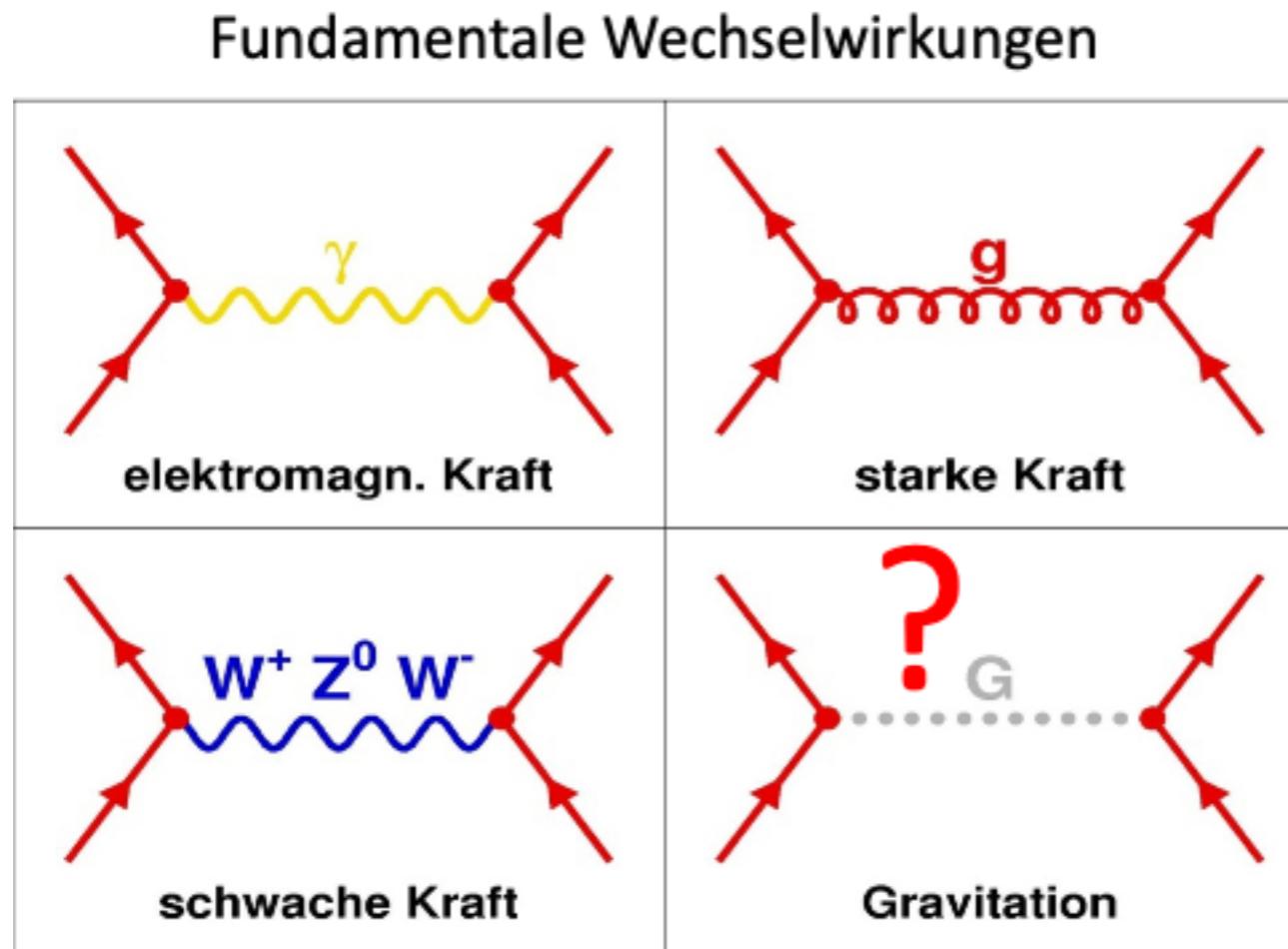
→ Entdeckung des Neutrinos

Beschleunigerexperimente der 1970er

→ Quarks

1.3 Physikalisches Weltbild - heute

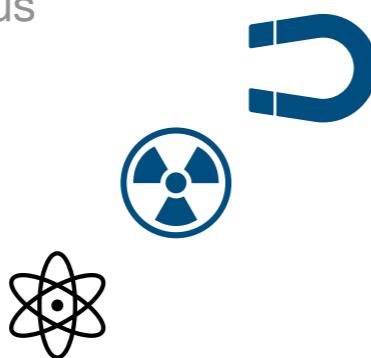
83



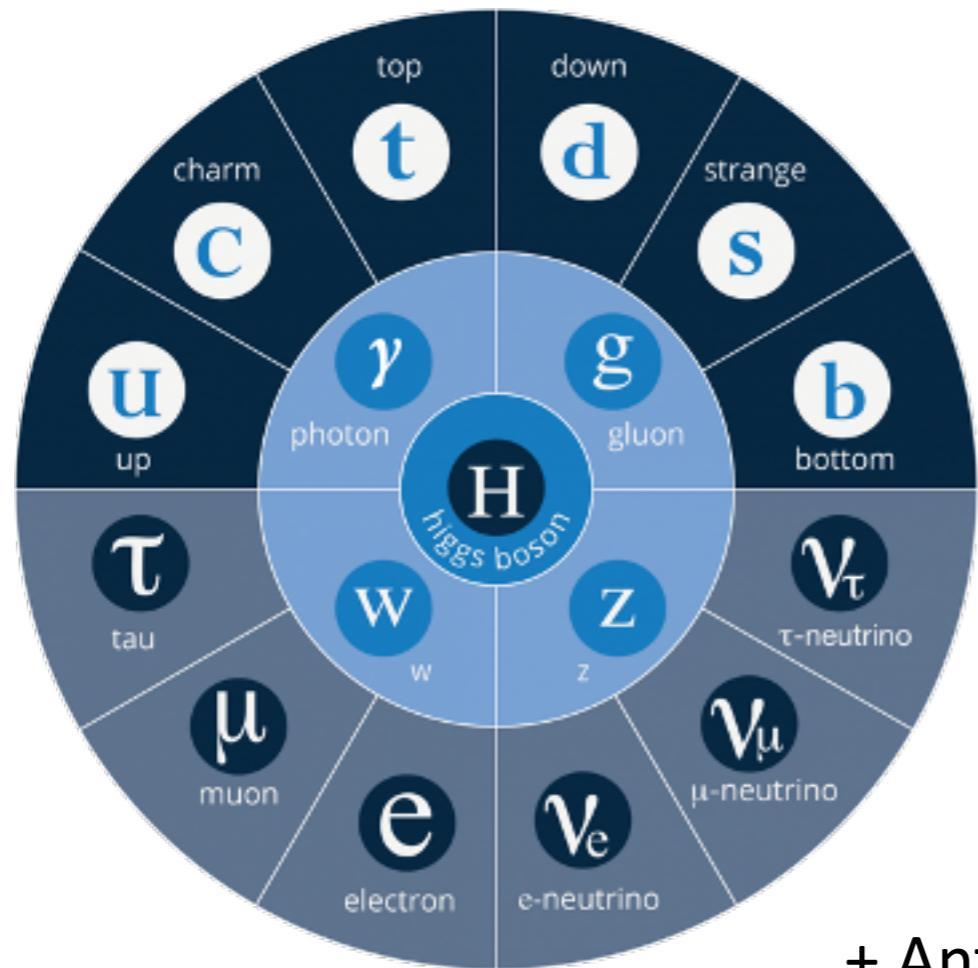
Standard-Modell der Teilchenphysik (relativistische Quantenfeldtheorie)

Beschreibt **3 der 4** fundamentalen Kräften

- Elektromagnetismus
- Schwache Kraft
- Starke Kraft



1.3 Physikalisches Weltbild - heute



+ Antiteilchen

“Punktförmig” (überprüft bis 10^{-19} m)

Alle experimentell nachgewiesen!

Unterschiede:

Massen +
Kräfte, die auf die Bausteine wirken

Klassifikation alle fundamentalen Teilchen

- 6 Quarks + 6 Antiquarks
- 6 Leptonen + 6 Antileptonen
- 4 Arten von Wechselwirkungsteilchen
- 1 Higgsboson

1.3 Physikalisches Weltbild - heute

Gravitation

Einstein:

träge Masse ununterscheidbar von schwerer Masse

Verknüpfung von Masse, Energie und Raumzeit

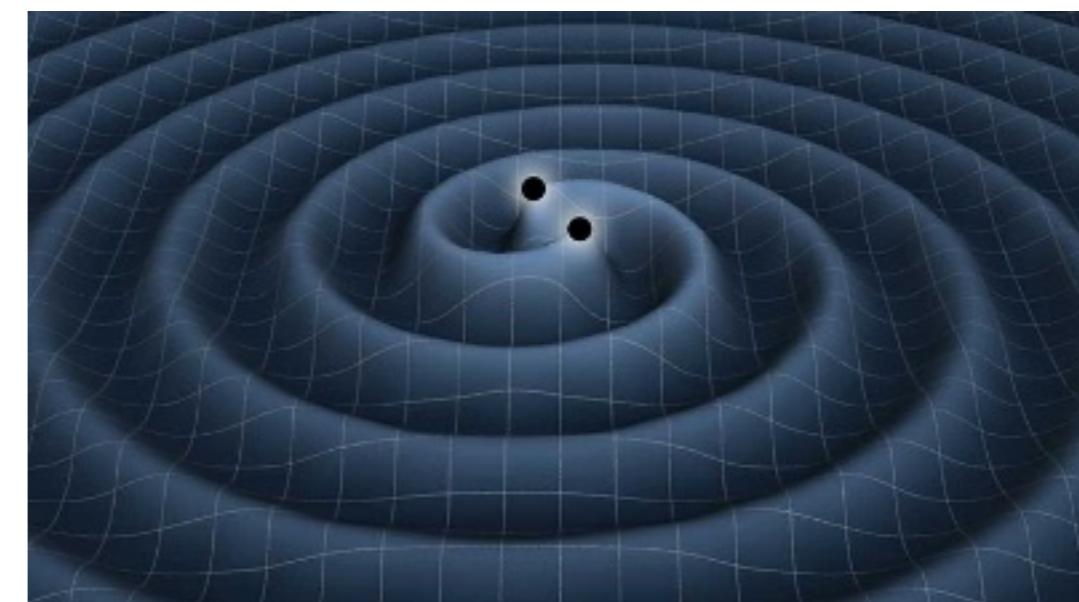
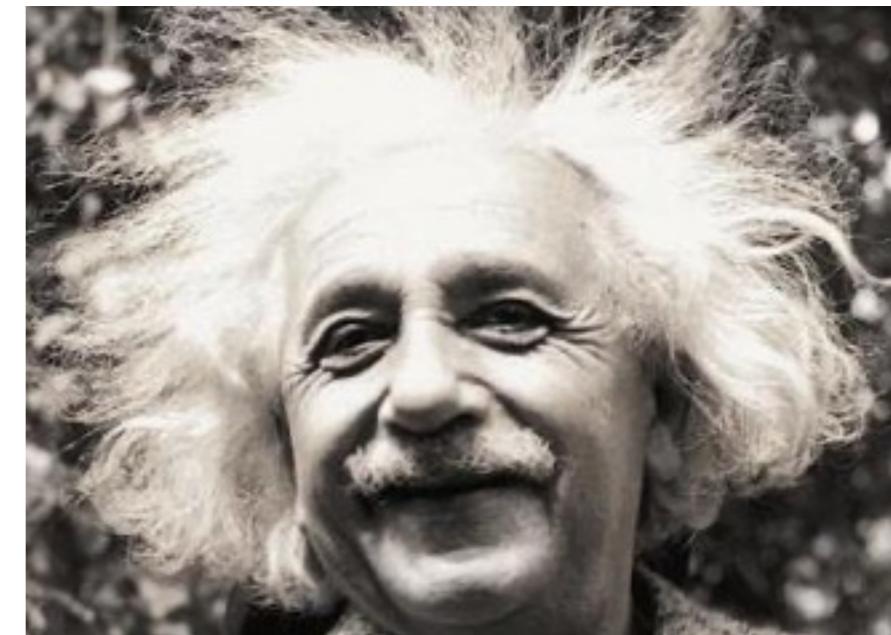
Allgemeine Relativitätstheorie (1915) (ART)

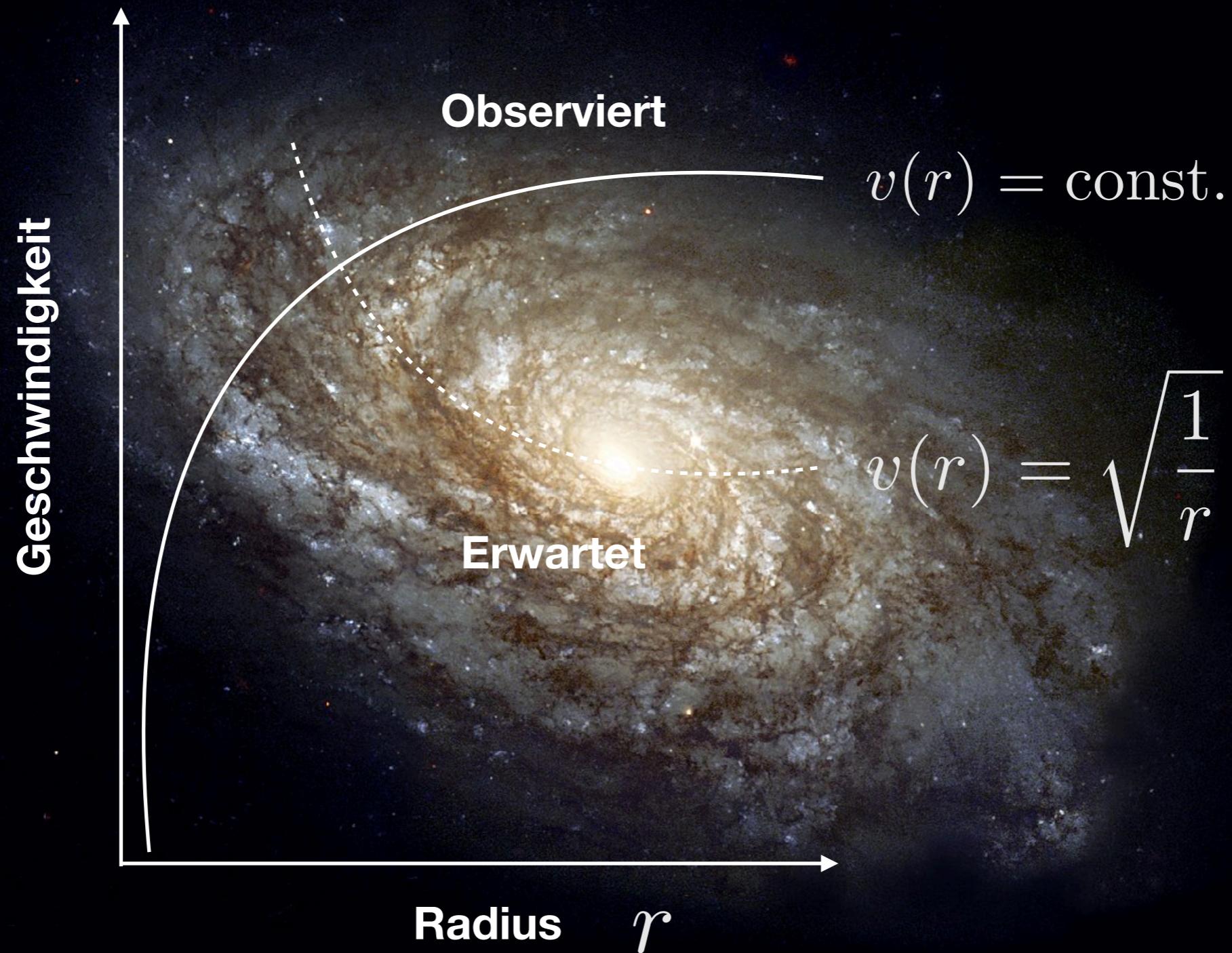
Entdeckung von Gravitationswellen (LIGO 2016)

Aber:

Bis heute keine „funktionierende“ Verknüpfung von ART und Quantentheorie

Kandidat: String-Theorie? - macht aber (bislang) kaum falsifizierbare Vorhersagen

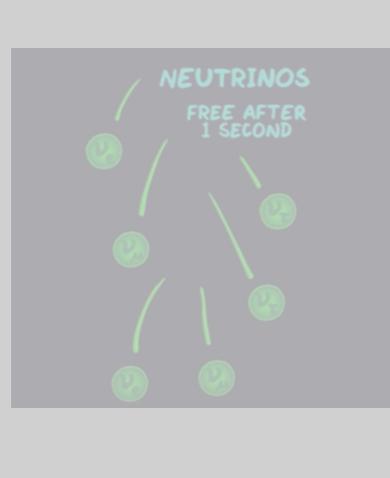
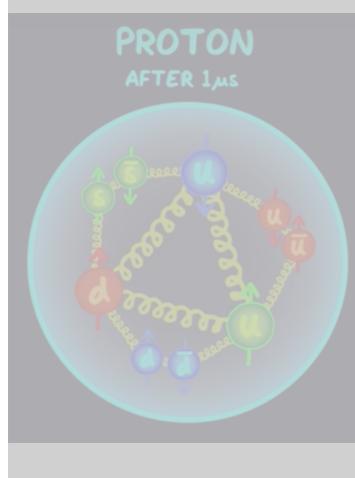




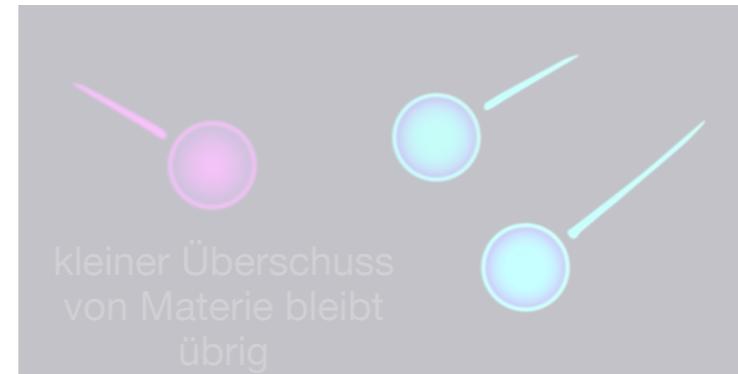
Eine kurze Geschichte der Zeit

Ära der Protonen & Neutronen

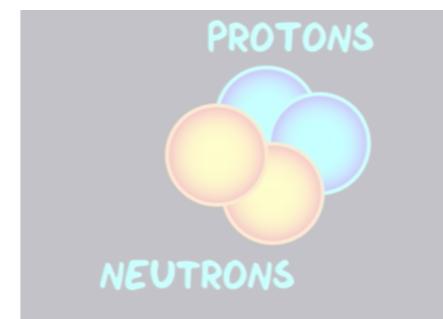
Protonen bilden sich
Neutrinos entkoppeln sich



Annihilation der Materie mit Anti-Materie

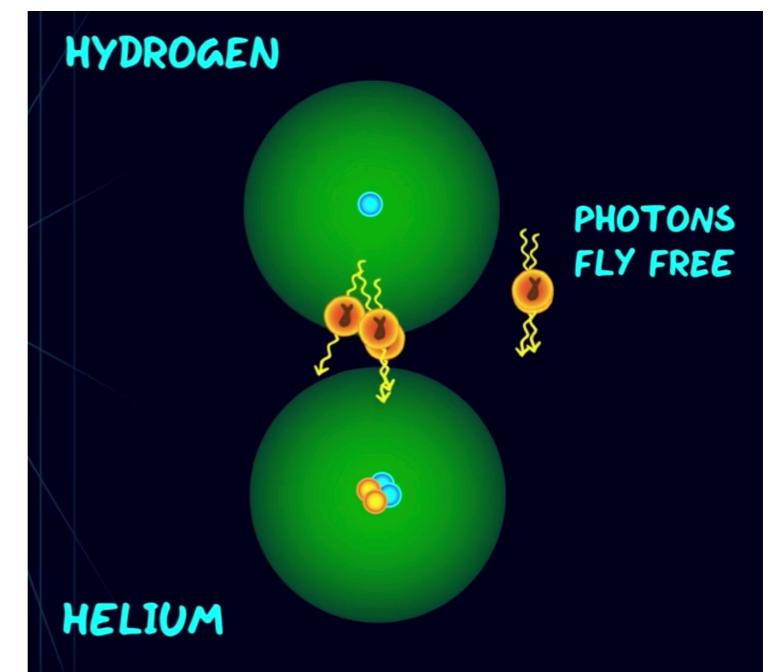


Helium bildet sich



Ära der Rekombination

Das Universum wird transparent



10^{-6} s

1 g/cm³

10^9 K

380'000 a

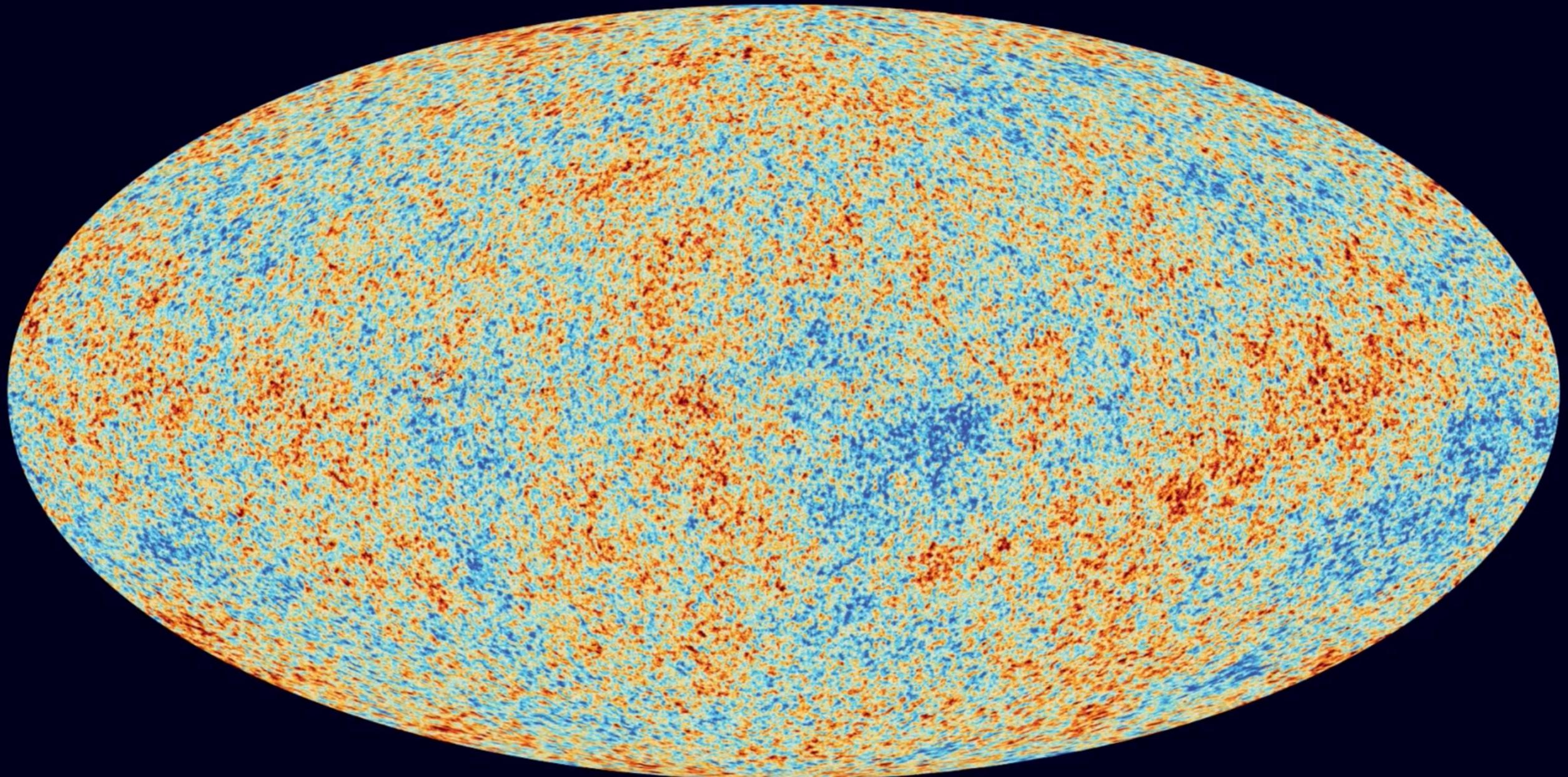
10^{-21} g/cm³

3000 K

t

Kosmische Hintergrundstrahlung

Temperaturschwankungen hängen vom **Materieinhalt** des Universums ab, **benötigen** dunkle Materie um diese zu reproduzieren.

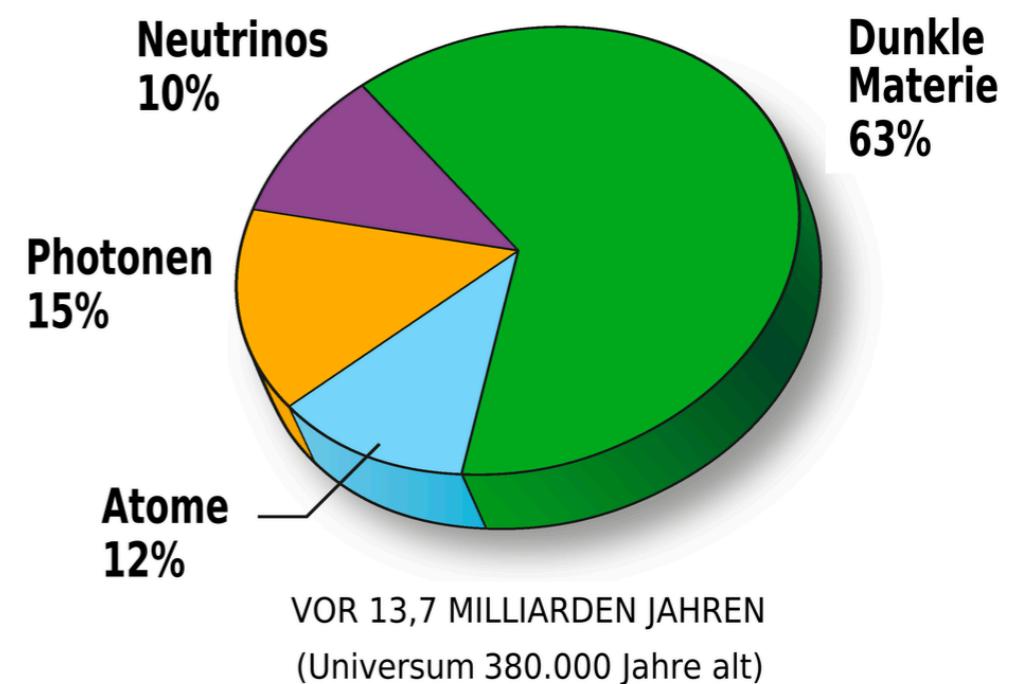
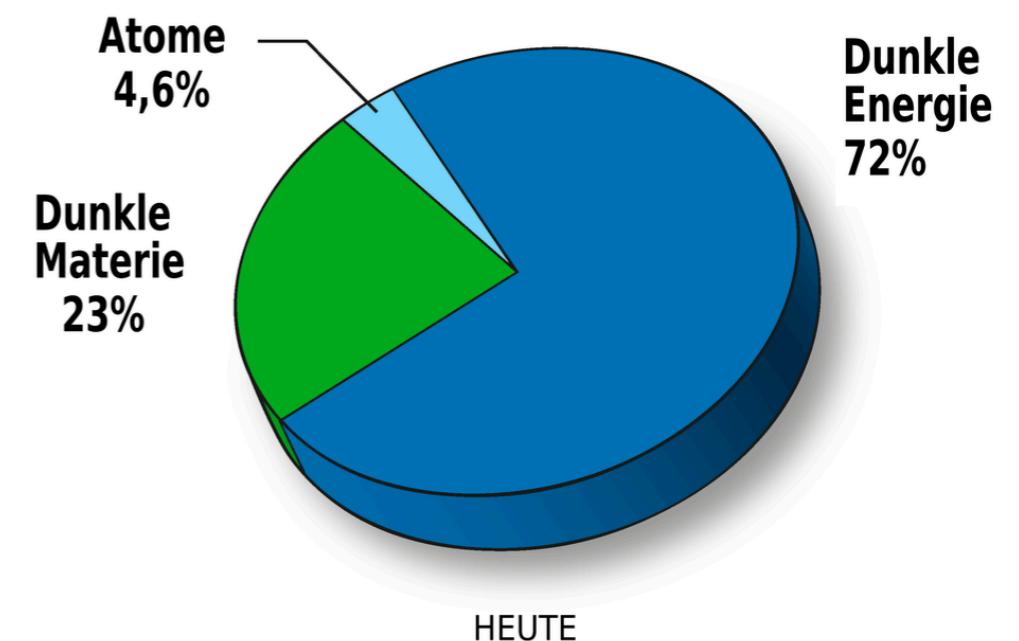
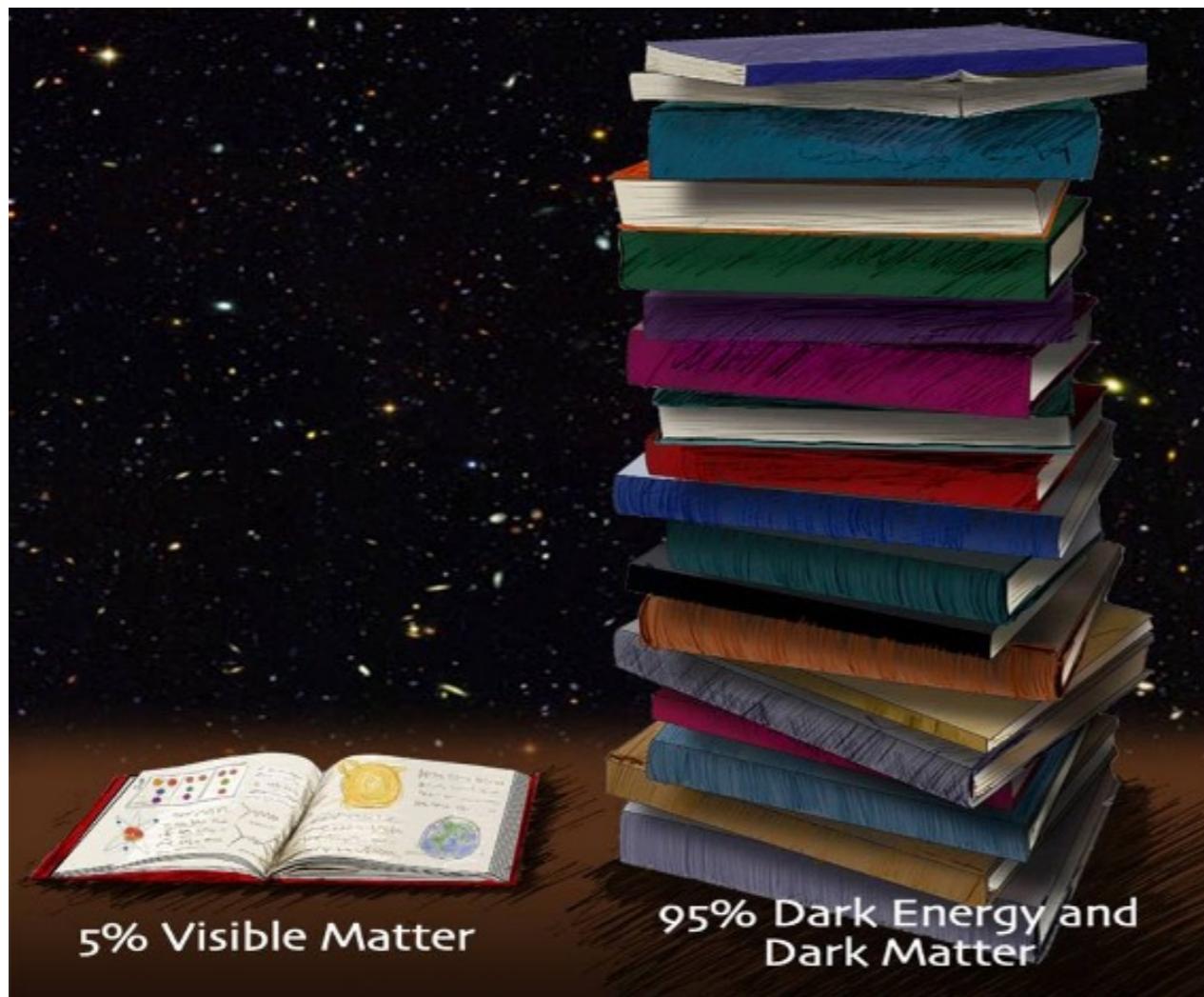


$$T = 2.7 \text{ K}$$

Temperaturschwankungen $\mathcal{O}(10^{-4} \text{ K})$

1.3 Physikalisches Weltbild - heute

Zum Schluss: das dunkle Universum



1.4 Messgrößen und Einheiten

Messen: Vergleich einer **Messgröße** mit einem **Maßstab**

Messgröße = Maßzahl \times Einheit

z.B. Länge $l = (7,0 \pm 0,1)$ cm

$$\text{Kraft } F = (9,3 \pm 0,2) \times 10^6 \text{ N} \quad (= \frac{\text{kg m}}{\text{s}^2})$$

↑
Messfehler (\rightarrow Praktikum!)

Einheiten physikalischer Messgrößen **hängen** oft **zusammen**

z.B. Geschwindigkeit $v = \frac{l}{t}$ $[v] = \frac{\text{m}}{\text{s}}$ [] = Einheit von ...

Zeit

Energie $E = \frac{m \cdot l^2}{t^2}$ $[E] = \text{Joule} = \text{J} = \frac{\text{kg m}^2}{\text{s}^2}$

Es genügen wenige Grundgrößen zur Definition eines **Maßsystems**

Längenmessung: Mensch stehend - liegend

Maßsysteme sind grundsätzlich Definitionen (es gibt und gab viele...)

z.B. verschiedene “Fuß”-Längen

**G e h r b u n d
des
gesammten Rechnens**

für
die vierte Classe der Haupeschulen
in den k. k. Staaten.

Verfaßt von

Dr. Franz Mechnik,
Lehrer der vierten Hauptschule zu Görl.

Kostet angebunden 18 Kr. C. M.
Gebunden in ledernen Rücken 23 Kr. C. M.

Wien, 1848.

Im Verlage der k. k. Schulbücher-Verschleiß-Administration bey St. Anna in der Johannigasse.
242.656-A

131

1. Das Fußmaß.
Der Wiener Fuß enthält 0,316102 Meter.

Nahmen der Länder und ihrer Fußmaße.	Länge in Wien. Fuß	Länge in Metern
Baden, Fuß	0,949	0,300
Baiern, Fuß	0,923	0,292
Belgien, Aune (Meter)	3,163	1,000
Böhmen, Fuß	0,938	0,296
Dänemark, Fuß	0,993	0,314
England, Fuß (Foot)	0,964	0,305
Frankreich, Meter	3,163	1,000
alter Pariser Fuß	1,028	0,325
Griechenland, alte Piki (Endrezech)	2,050	0,648
Hamburg, Fuß	0,906	0,286
Hannover, Fuß	0,924	0,292
Holland, Palm	0,316	0,100
Cemberg, Fuß	0,939	0,297
Neapel, Palmo	0,834	0,264
Nordamerikanische Freystaaten, 1 Foot	0,964	0,305
Polen, Fuß (Stopa)	0,911	0,288
Portugal, Fuß	1,040	0,329
neue Vara (Meter)	3,163	1,000
Preußen, Fuß	0,993	0,314
Rom, Fuß	0,942	0,298
Rußland, Saschen	6,750	2,134
russischer Fuß	0,964	0,305
Sachsen, Fuß	0,896	0,283
Sardinien, Metro	3,163	1,000
Schweden, Fuß	0,939	0,297
Schweiz, in den meistten Kantonen Fuß	0,949	0,300
Spanien, Fuß	0,894	0,283
Toscana, Passetto	3,693	1,167
Canna für Feldmesser	8,231	2,918
Turkey, Piki Arschin	2,242	0,709
Venedig, Fuß	1,100	0,348
Württemberg, Fuß	0,906	0,286

32

SI-System (seit 1960)

(Système international d'unités)

Länge:	1 Meter	m
Zeit:	1 Sekunde	s
Masse:	1 Kilogramm	kg

Zusätzlich (im Prinzip unnötig, aber praktisch)

Stoffmenge:	1 mol	
Temperatur:	1 Kelvin	K
EI. Stromstärke	1 Ampère	A
Lichtstärke	1 Candela	Cd

Alle anderen Einheiten abgeleitet, z.B.

1 Coulomb = 1 As etc.

andere Systeme:

* **cgs** (Zentimeter-Gramm-Sekunde) — veraltet

Umrechnung nur 10er-Potenzen notwendig

* **“praktische Einheiten”**

z.B. [Energie] = 1 Elektronvolt

(Energie die ein Elektron erhält, wenn es 1 Volt durchläuft)

früher [Druck] = 1 mm Hg

(hydrostat. Druck von 1 mm Quecksilbersäule, $p = \rho_{\text{Hg}} \cdot g \cdot h$)

* “natürliche Einheiten”

Zusammenhang von Einheiten über fundamentale Naturkonstanten, z.B.

$$E = mc^2 \quad \text{Setze } c := 1 \Rightarrow [E] = [m]$$

$$E = h\nu \quad \text{Setze } \hbar = \frac{h}{2\pi} := 1 \Rightarrow [E] = [t^{-1}]$$

⇒ alle Größen können in Potenzen von Energie ausgedrückt werden
(elegant, aber manchmal auch verwirrend)

* “Dezimale Vielfache”

10^n

“Powers of ten”

<https://www.youtube.com/watch?v=MgCrtINSQcE>



Die Präfixe im SI^[1]

Symbol	Name	Ursprung	Wert (Potenz, Zahl, Zahlwort)		
Y	Yotta	ital. <i>otto</i> = acht	10^{24}	1 000 000 000 000 000 000 000 000	Quadrillion
Z	Zetta	ital. <i>sette</i> = sieben	10^{21}	1 000 000 000 000 000 000 000 000	Trilliard
E	Exa	gr. <i>héx</i> = sechs	10^{18}	1 000 000 000 000 000 000 000 000	Trillion
P	Peta	gr. <i>petannýnai</i> = alles umfassen / gr. <i>pénte</i> = fünf	10^{15}	1 000 000 000 000 000 000 000	Billiarde
T	Tera	gr. <i>téras</i> = Ungeheuer / gr. <i>tetrákis</i> = viermal	10^{12}	1 000 000 000 000	Billion
G	Giga	gr. <i>gígas</i> = Riese	10^9	1 000 000 000	Milliarde
M	Mega	gr. <i>mégas</i> = groß	10^6	1 000 000	Million
k	Kilo	gr. <i>chílioí</i> = tausend	10^3	1 000	Tausend
h	Hekto	gr. <i>hekatón</i> = hundert	10^2	100	Hundert
da	Deka	gr. <i>déka</i> = zehn	10^1	10	Zehn
—	—	—	10^0	1	Eins
d	Dezi	lat. <i>decimus</i> = Zehnter	10^{-1}	0,1	Zehntel
c	Zenti	lat. <i>centum</i> = hundert	10^{-2}	0,01	Hundertstel
m	Milli	lat. <i>mille</i> = tausend	10^{-3}	0,001	Tausendstel
μ	Mikro	gr. <i>mikrós</i> = klein	10^{-6}	0,000 001	Millionstel
n	Nano	gr. <i>nános</i> = Zwerg	10^{-9}	0,000 000 001	Milliardstel
p	Piko	span. <i>pico</i> = Spitze / ital. <i>piccolo</i> = klein	10^{-12}	0,000 000 000 001	Billionstel
f	Femto	skand. <i>femton/femten</i> = fünfzehn	10^{-15}	0,000 000 000 000 001	Billiardstel
a	Atto	skand. <i>arton/atten</i> = achtzehn	10^{-18}	0,000 000 000 000 000 001	Trillionstel
z	Zepto	lat. <i>septem</i> = sieben	10^{-21}	0,000 000 000 000 000 000 001	Trilliardstel
y	Yokto	lat. <i>octo</i> = acht	10^{-24}	0,000 000 000 000 000 000 000 001	Quadrillionstel

1.5 Maßstandards = Normale

Messen = vergleichen. Aber womit? → **Eichnormale**

Benötigen Standards mit

genügender Genauigkeit

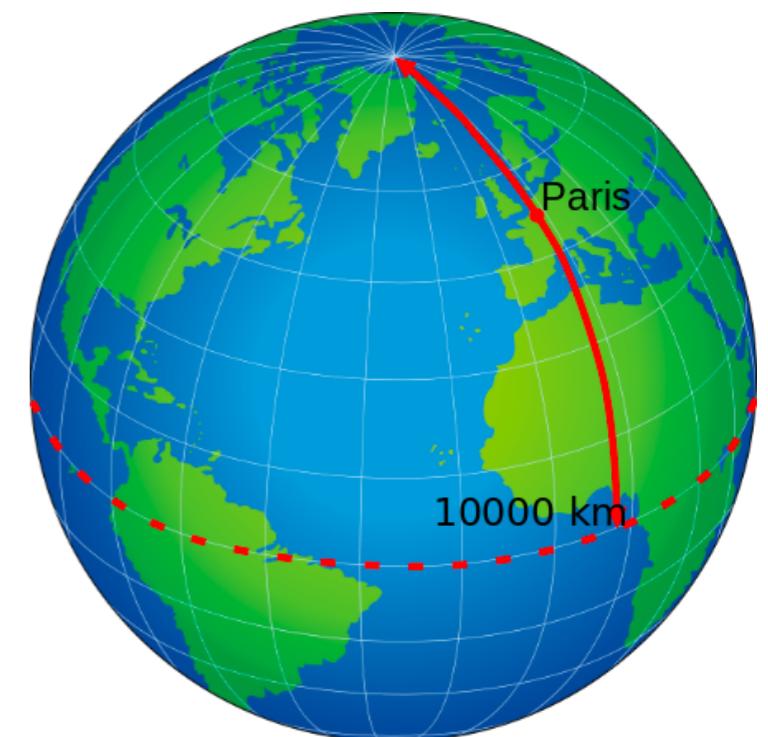
Reproduzierbarkeit

“vertretbarem” technischem Aufwand

1.5.1 Länge

19. Jh.: Fuß, Elle, etc.

$$1 \text{ m} = 10^{-7} \cdot \frac{1}{4} \text{ Meridianumfang der Erde} (\sim 40'000 \text{ km})$$



⇒ Urmeter (Platin), Paris 1889

Präzision: 10^{-6}

+ 30 Kopien

(Nr. 7,18,23, bei Physikalisch-Technische Bundesanstalt,
Braunschweig)



Urmeterkopie: Inv. No 1 des PI

1960: Definition über Wellenlänge einer ^{86}Kr Spektrallinie (Orange)

$$1 \text{ m} = 1'650'764,73 \times \lambda_{\text{Kr}}$$

Präzision: 3×10^{-8}

seit 1983: $1 \text{ m} =$ Strecke, die das Licht im Vakuum in

$$1 / 299\,792\,458 \text{ s} \text{ durchläuft}$$

→ Zeiten genauer messbar als Längen

→ Damit hat $c = 299792458 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ keinen Fehler

Einheiten und Messungen großer / kleiner Längen:

Groß:

$$1 \text{ AE (astronomische Einheit)} = 1.5 \cdot 10^{11} \text{ m}$$

- mittlere Entfernung Sonne - Erde

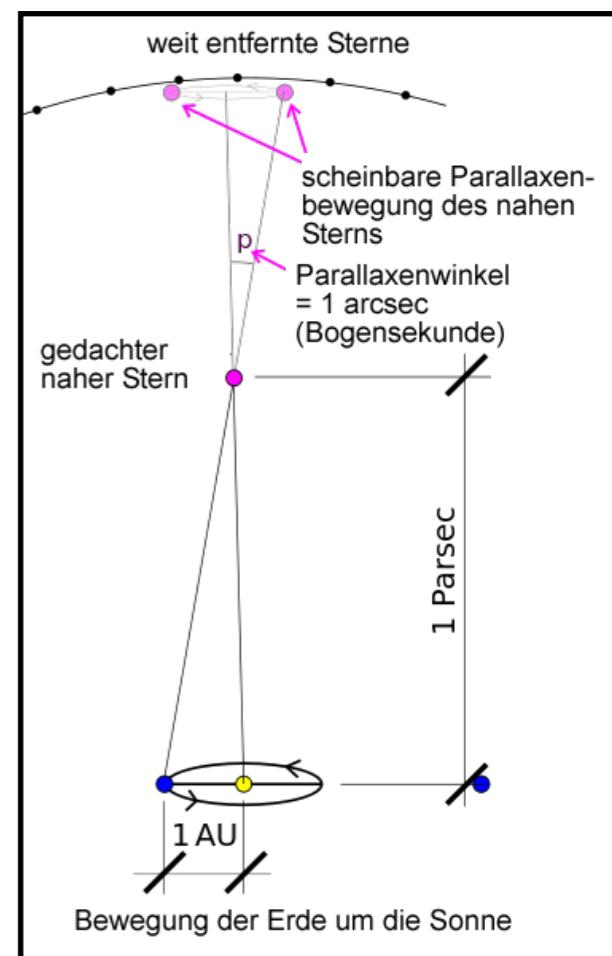
$$1 \text{ LJ (Lichtjahr)} \approx \pi 10^7 \text{ s} \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 9.45 \times 10^{15} \text{ m}$$

$$1 \text{ parsec} = \frac{1 \text{ AE}}{\tan(1 \text{ Bogensekunde})} \quad (\text{parallax second / pc})$$

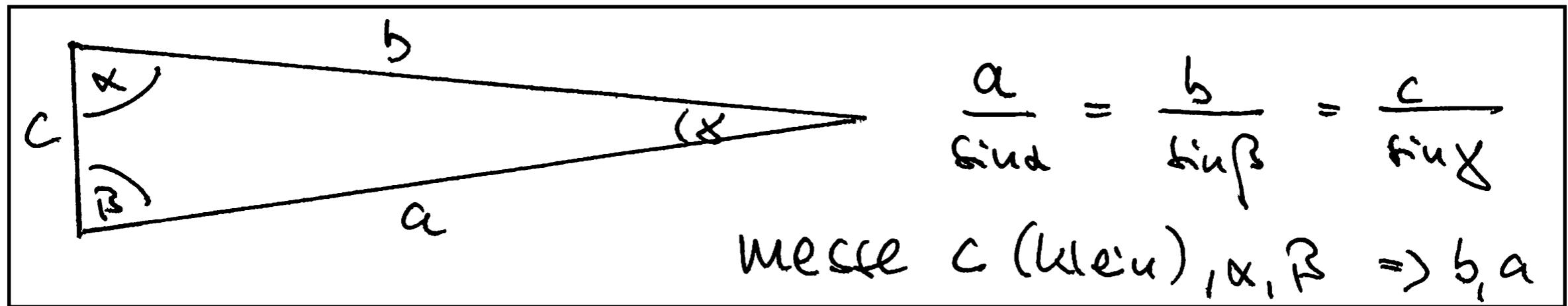
$$1 \text{ Bogensekunde} = 1^\circ / 3600 = 2\pi / (360 \times 3600)$$

$$\approx 2 \cdot 10^5 \text{ AE} \approx 3 \cdot 10^{16} \text{ m} \approx 3.26 \text{ LJ}$$

$$\text{Seit 2015: } 1 \text{ parsec} = \frac{1 \text{ AE}}{1 \text{ Bogensekunde}} \text{ da } \tan(x) \approx x \text{ für kleine } x$$



* Triangulation



* Tropometrische Parallaxe

- Triangulation mit $c =$ Durchmesser Erdbahn

Fehler von ~ 1 Millibogensekunde (mac) bis etwa ~ 100 pc ≈ 300 LJ

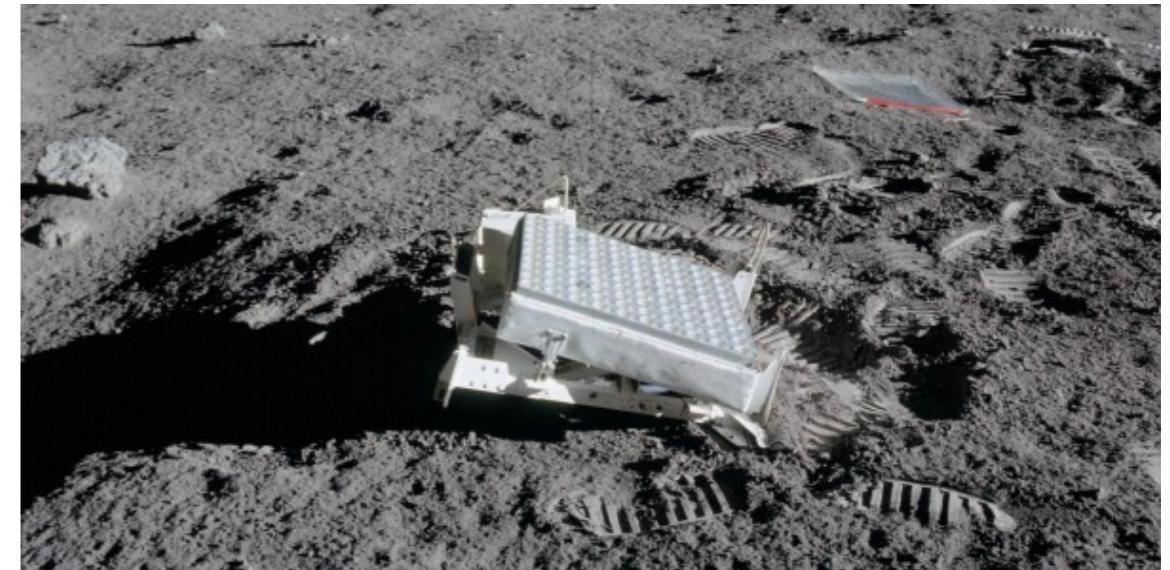
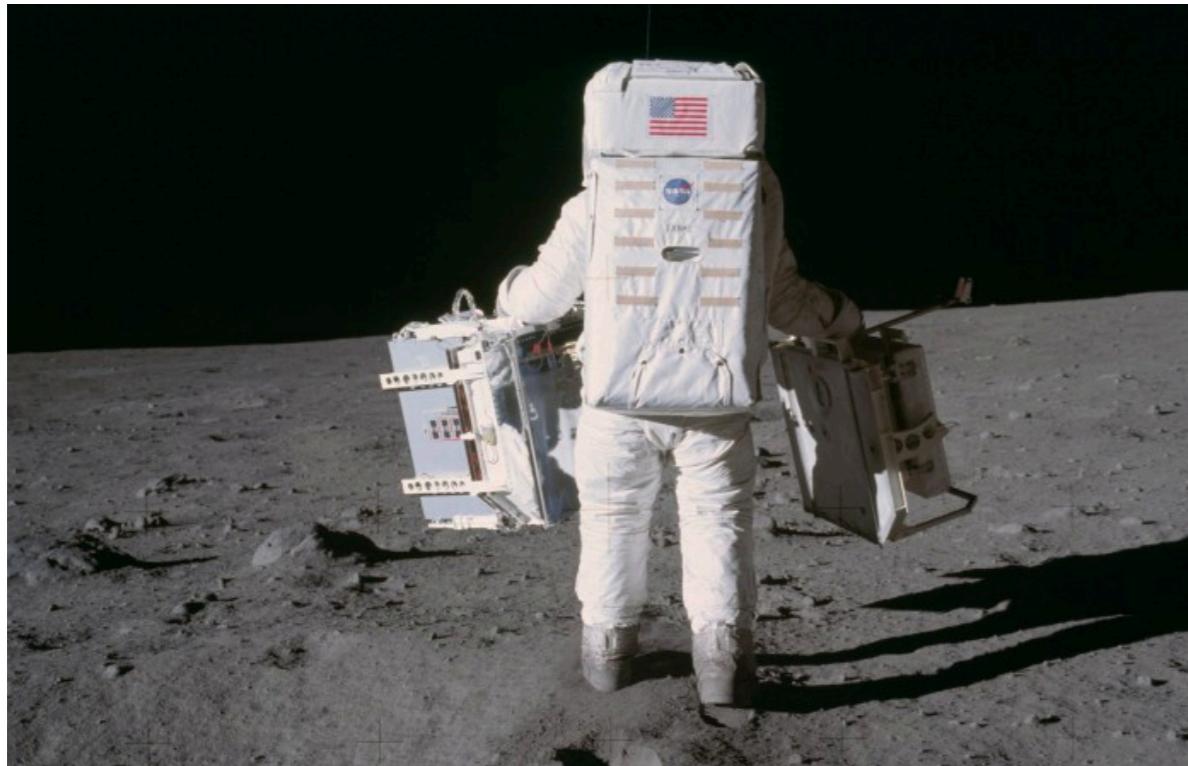
* noch größere Distanzen (Extragalaktisch) indirekt über Leuchtkraft

→ Astronomie-VL

Messungen:

* Laufzeit des Lichts: LIDAR (*Light detection and ranging*)

z.B. Erde-Mond 4×10^8 m auf ± 10 cm



Quarzglas aus Deutschland auf dem Mond (Heraeus)

* GPS

Klein:

1 Å (Ångström) = 10^{-10} m ~ Atomradius

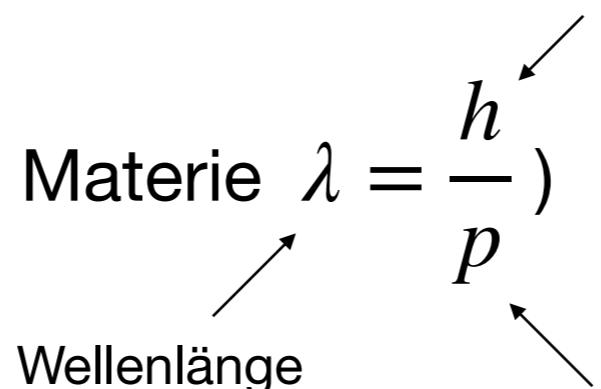
1 fm (Femtometer, Fermi) = 10^{-15} m ~ Protonradius

Beugung von Wellen (Licht, Materie) $\lambda = \frac{h}{p}$)

Planksches Wirkungsquantum

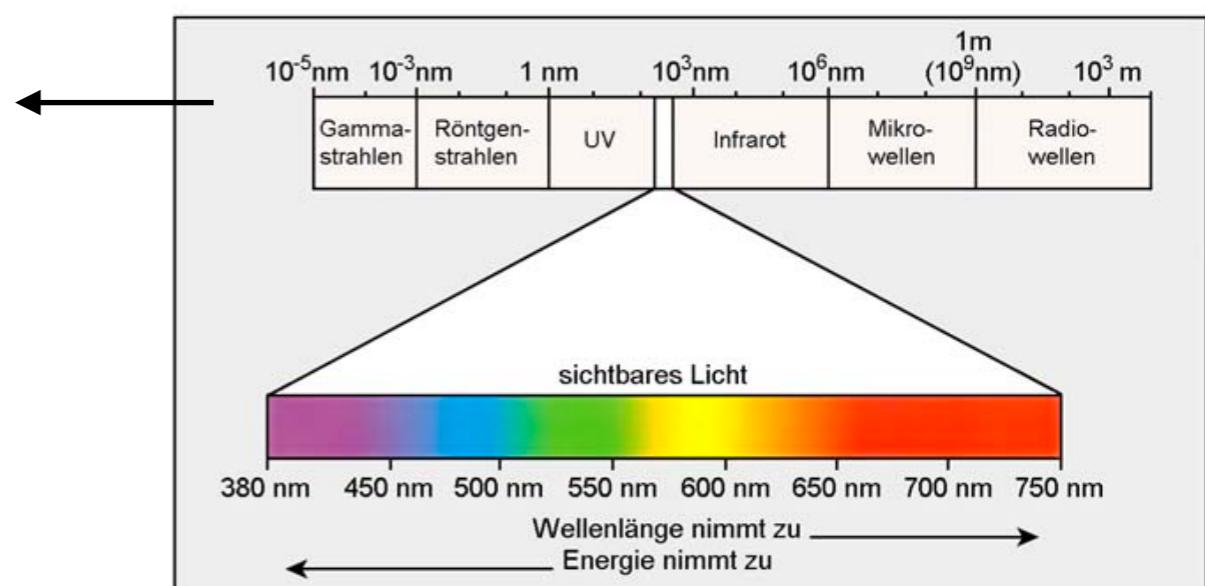
Wellenlänge

Impuls



- Optisches Mikroskop $\lambda = 500$ nm

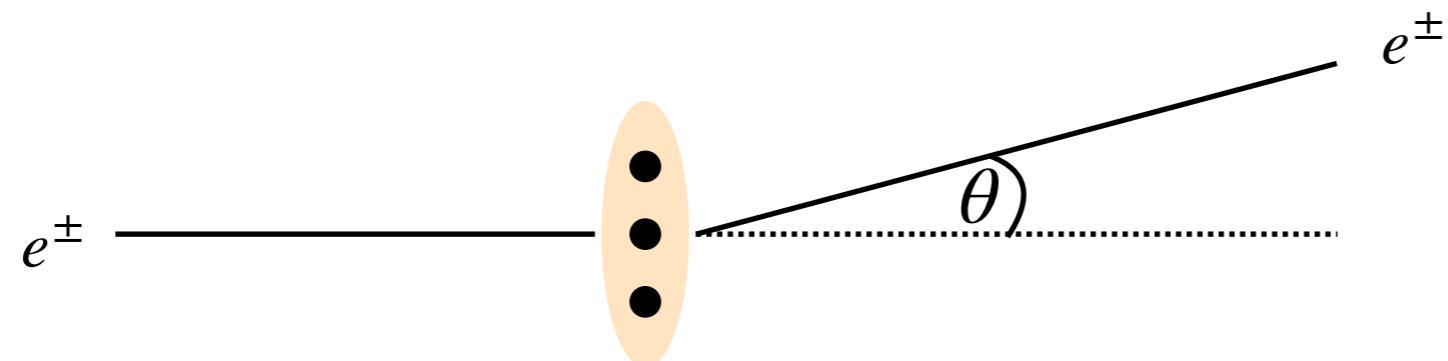
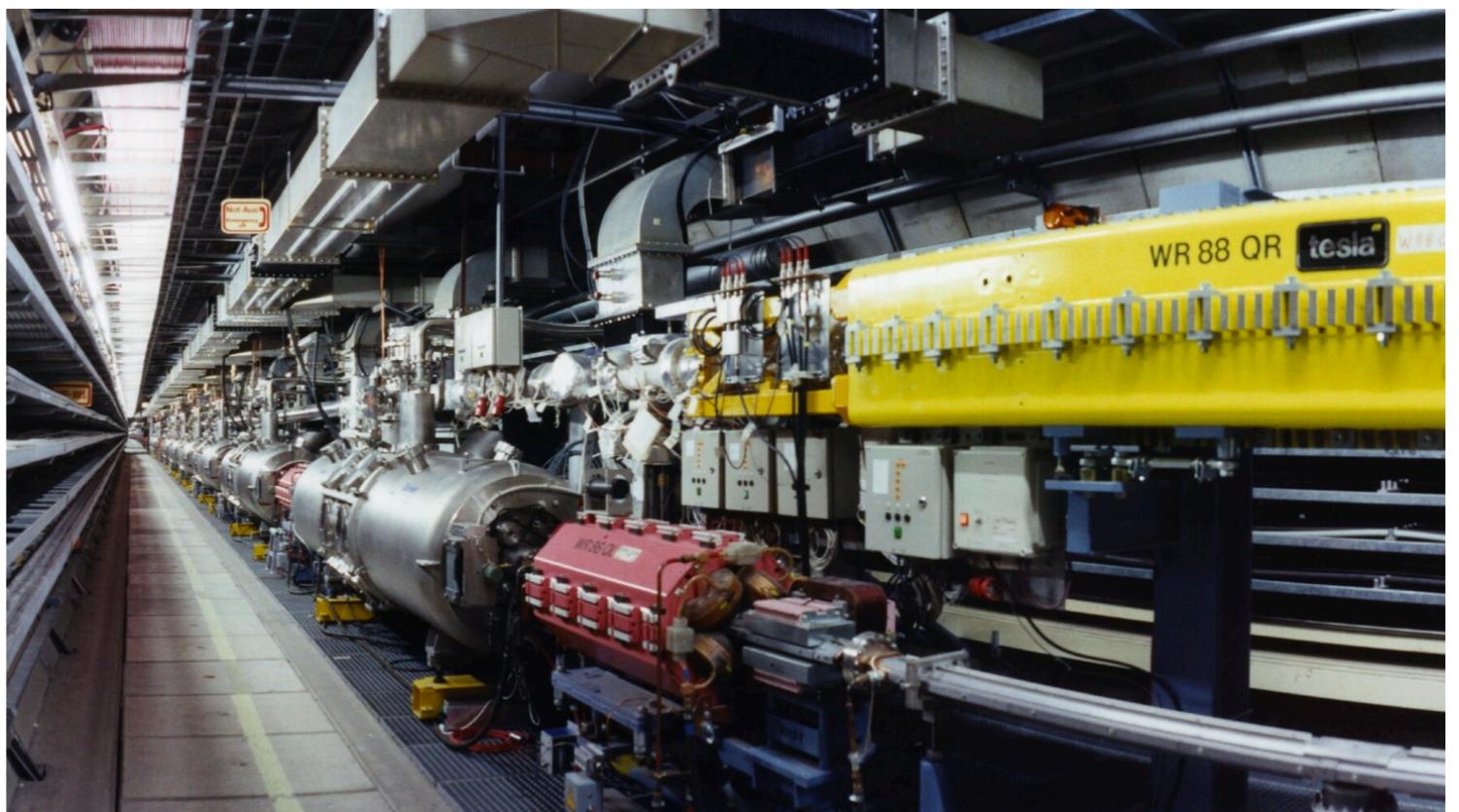
- Elektronenmikroskop $\lambda = 0.1$ nm



- Streuexperimente

z.B. HERA (DESY, Hamburg)

$$\lambda = \frac{h}{p} \approx \frac{1}{200 \text{ GeV}} \approx 10^{-18} \text{ m}$$



1.5 Einige Längen in der Natur

Elektron, Quark	$< 10^{-19}$ m
Protonradius	10^{-15} m (fm)
Atomradius	10^{-10} m (\AA)
Bakterium	10^{-6} m (μm)
Mensch	10^0 m
Erdradius	6×10^6 m
Erde – Sonne	1.5×10^{11} m (AE)
nächster Stern	4×10^{16} m (4.22 LJ)
Durchmesser Milchstraße	3×10^{20} m (100.000 LJ)
nächste Galaxie	2.3×10^{22} m (2.5×10^6 LJ, 0,77 Mpc)
Universum	10^{26} m (2.4 Gpc)
44 Größenordnungen	

1.5.2 Zeit

Messung von Zeitintervallen Δt

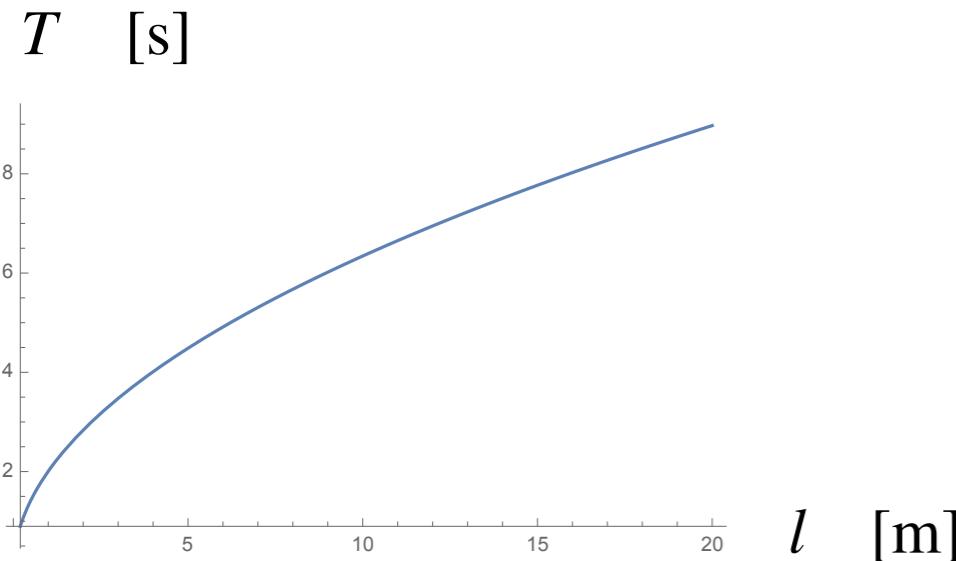
Zählen periodischer Prozesse mit Frequenz ν

$$[\nu] = \frac{1}{\text{s}} = \text{Hz (Hertz)}$$

z.B. Schwingungsdauer eines Pendels:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

z.B. für $T = 2 \text{ s}$ benötigt man ein Pendel der Länge



$$\begin{aligned} l &= \left(\frac{T}{2\pi}\right)^2 \cdot g \\ &= \left(\frac{2 \text{ s}}{2\pi}\right) \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 0.994 \text{ m} \end{aligned}$$

Genauigkeit von $\sim 10^{-6}$, aber Ortsabhängigkeit wegen g