

INHALT

I. Bausteine der Materie und ihre Wechselwirkungen

1. Einleitung
2. Theoretische Konzepte: Wirkungsquerschnitt, Feynman Diagramme
3. Experimentelle Methoden: Beschleuniger und Detektoren
4. Elastische Streuung an Kernen
5. Elastische Streuung an Nukleonen (p,n)
6. Tiefinelastische Streuung
7. Quarks in Hadronen
8. Starke Wechselwirkung und QCD
9. Schwache Wechselwirkung
10. Elektroschwache Theorie
11. Das Standardmodell der Teilchenphysik

II. Zusammengesetzte Systeme: Kerne

12. Kernkraft
13. Aufbau der Kerne
14. Stabilität der Kerne

III. Anwendung der Kern- & Teilchenphysik

15. Kernspaltung
16. Kernfusion: Energieerzeugung in der Sonne
17. Neutrinos von der Sonne und aus der Atmosphäre

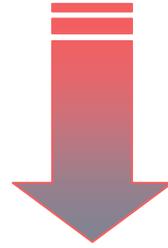
IV. Teilchenphysik und Kosmologie

18. Offene Fragen der Teilchenphysik: Physik jenseits des Standardmodells
19. Kosmologie: Inflation, Dunkle Materie & Dunkle Energie, Antimaterie

Zusätzliche Literatur

1. Povh, Rith, Scholz, Zetsche: *Teilchen und Kerne*, Springer Verlag
2. Englische Version:
Particles and Nuclei. An Introduction to Physical Concepts.
by Bogdan Povh, Klaus Rith, Christoph Scholz et al.
Springer-Verlag Berlin Heidelberg (2003)
3. H. Frauenfelder und E.M. Henley: *Teilchen und Kerne*, Oldenbourg Verlag
4. D.H. Perkins: *Introduction to High Energy Physics*, Cambridge University Press
5. N. Schmitz: *Neutrino-physik*, Teubner Studienbücher
6. W. Demtröder: *Experimentalphysik IV: Kern- Teilchen- und Astrophysik*, Springer Verlag
6. W.S.C. Williams: *Nuclear and Particle Physics*, Oxford Science Publication

Information auf der Web-Site



**Kern- und Teilchenphysik I
SS2007**

<http://ihp-lx2.ethz.ch/kt1>

Kapitel 1: Einleitung

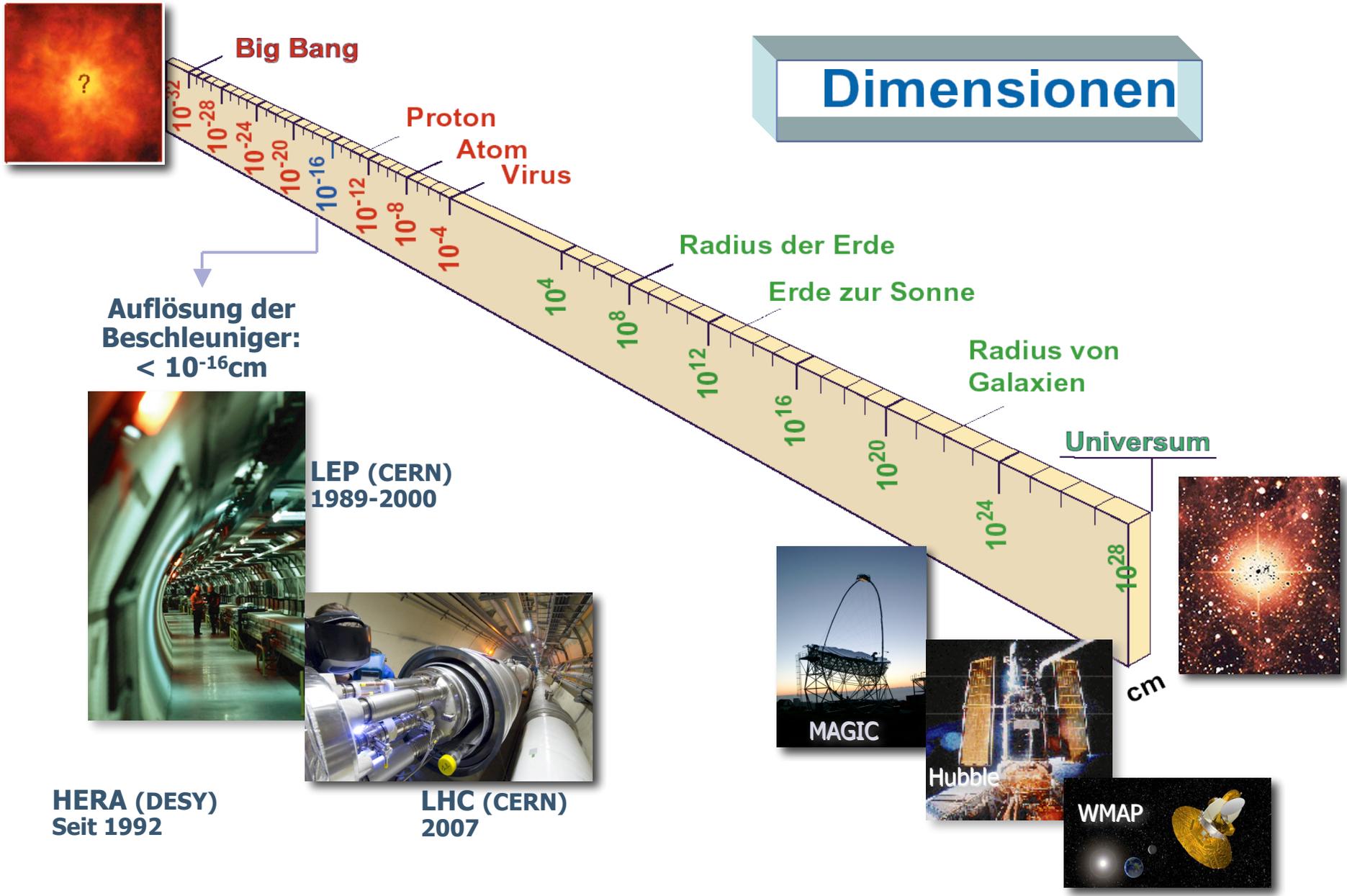
- 1.1 Allgemeine Einführung
- 1.2 Einheiten
- 1.3 Symmetrien und Erhaltungssätze

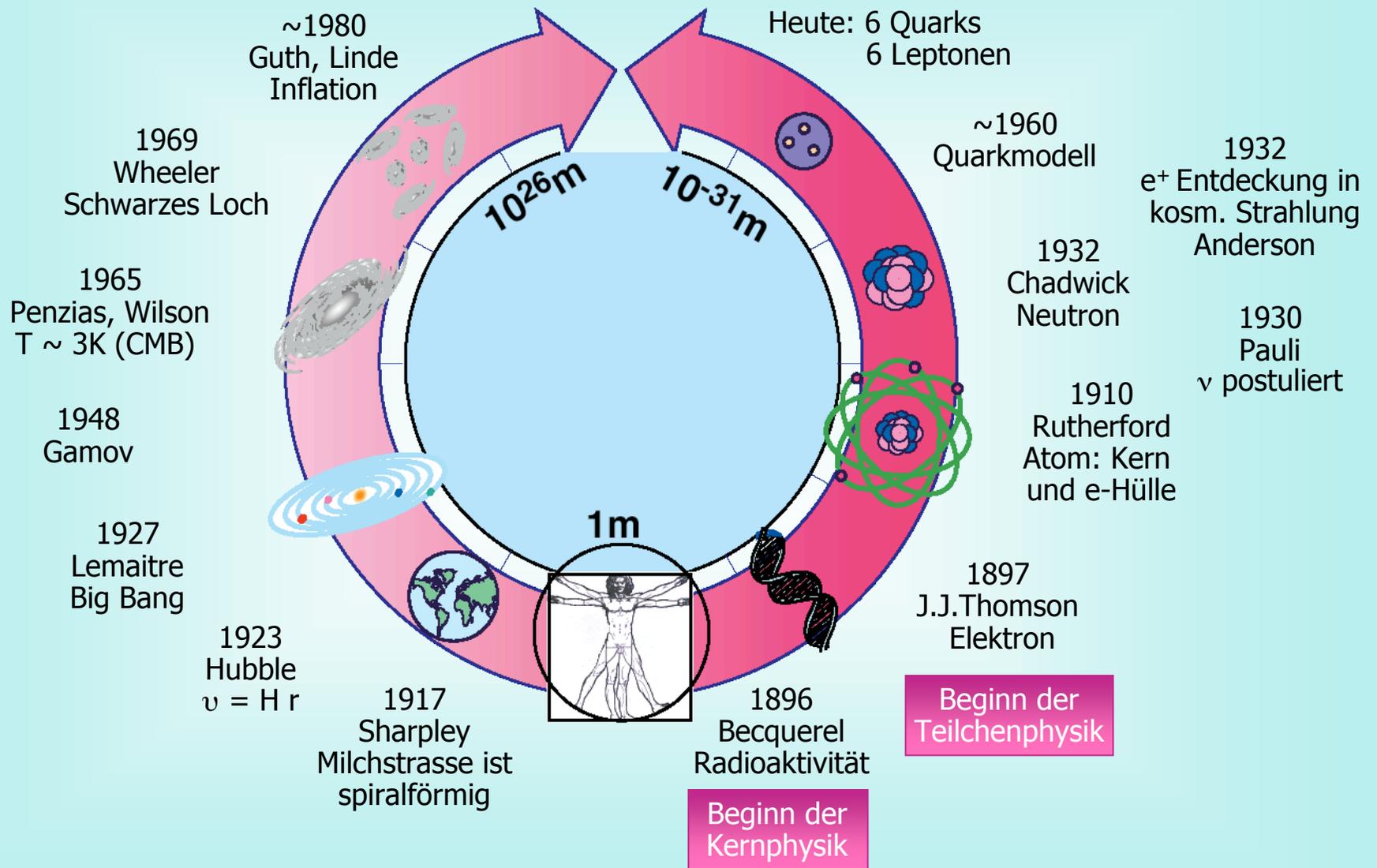
1.1 Allgemeine Einführung

- ❑ Gesetze der Kern- und Teilchenphysik zur Beschreibung von:
Aufbau der Materie und Entwicklung des Universums
- ❑ Grundbausteine der Materie: 6 Quarks und 6 Leptonen \Rightarrow 3 Familien
- ❑ 4 fundamentale Wechselwirkungen vermittelt durch Trägerteilchen
Gravitation: vernachlässigbar im subatomaren Bereich

Untersuchen von Teilchenreaktionen bei höchsten Energien
 \Rightarrow Blick zurück in die frühesten Phasen der Entstehung des Universums,
welche die Eigenschaften des heutigen Universums festgelegt haben

Dimensionen



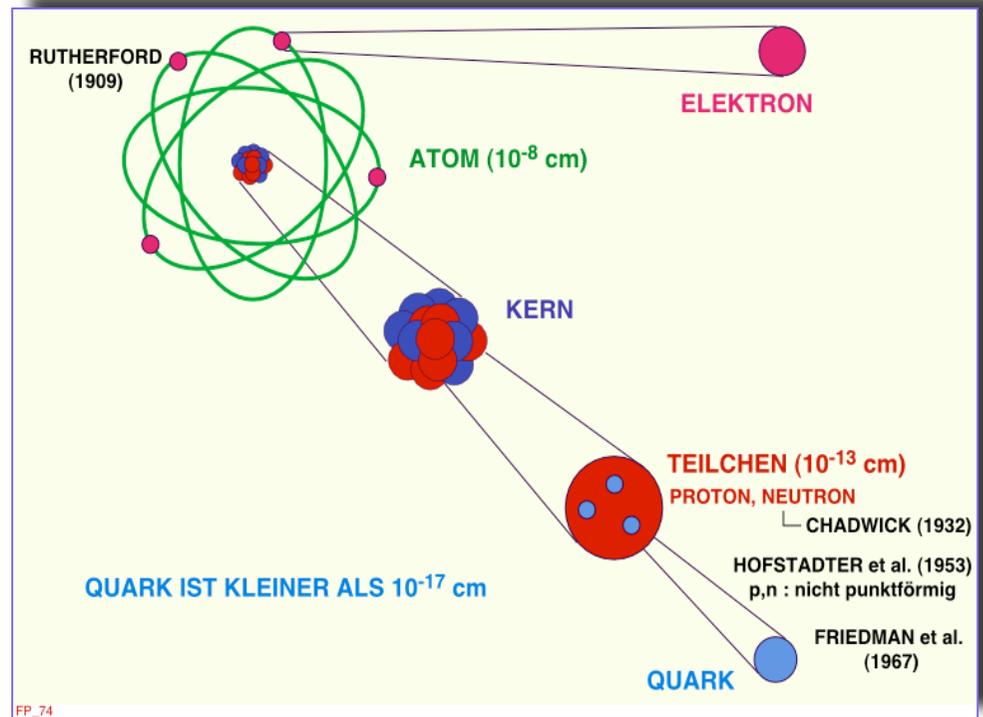


Beginn 1900:

Neue wichtige theoretische Erkenntnisse:
Einstein's Relativität und
Quantenmechanik

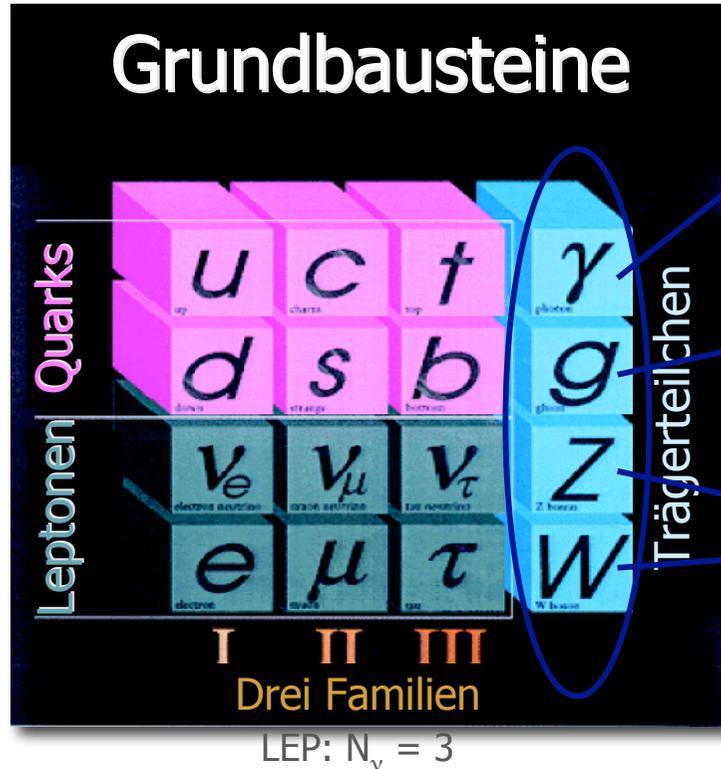
Die letzten 50 Jahre:
Faszinierende Zeit der Entdeckungen:
"seltsame" Teilchen
Symmetriebrechung zwischen
links und rechts
Vergangenheit und Zukunft
Neutrinos, mehr Quarks (c, b und t),
W und Z

Suche nach den Grundbausteinen der Materie



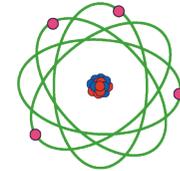
Standardmodell der Teilchenphysik

Standardmodell der Teilchenphysik



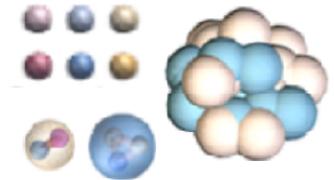
elektromagnetische
Wechselwirkung

Photon (γ)



starke
Wechselwirkung

Gluon (g)



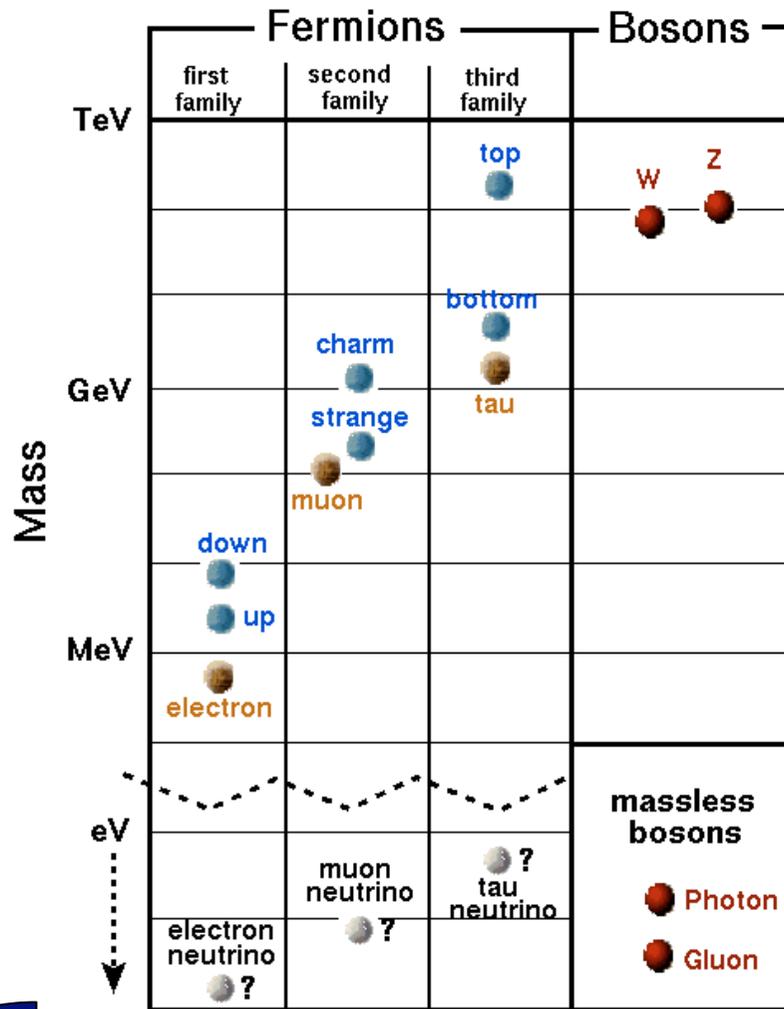
schwache
Wechselwirkung

W, Z



Alle SM Teilchen – ausser Higgs-Teilchen – entdeckt

WW: beschrieben durch Quantenfeldtheorien



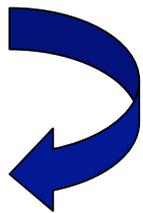
Mass spectrum of lepton, quarks (fermions)

and

carrier of forces (bosons)



Ursprung der Teilchenmassen (Higgs) ?



Elementarteilchen

Leptonen: e μ τ ν_e ν_μ ν_τ kommen frei in der Natur vor

Quarks: u d s c b t kommen nicht frei in der Natur vor

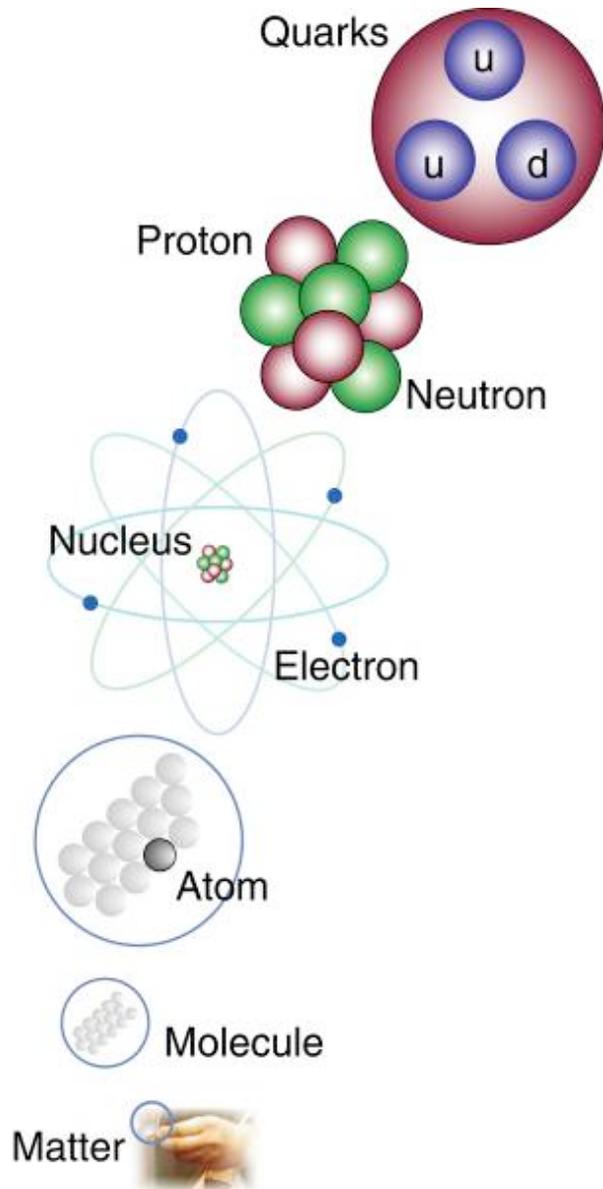
"Elementarteilchen" werden aus Quarks aufgebaut

HADRONEN: Mesonen und Baryonen

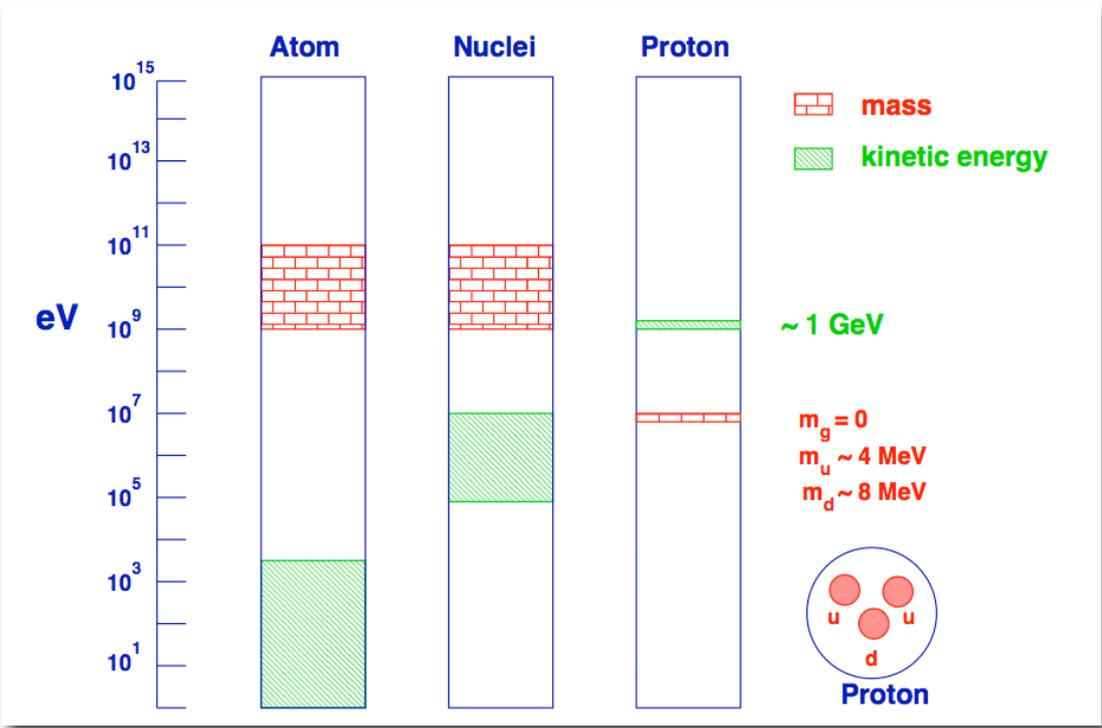
Mesonen: π^+ ($u\bar{d}$), π^- ($\bar{u}d$), K^+ ($u\bar{s}$), K^- ($\bar{u}s$)

Baryonen: p (uud), n (udd), Λ (uds), Ω (sss)

Siehe Particle Physics Booklet



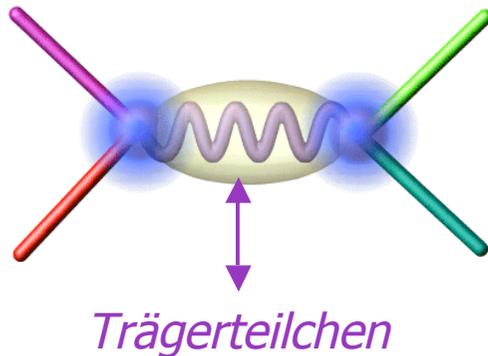
Masse und kinetische Energie



“Masse ohne Masse”

Wechselwirkungen

Wechselwirkungen zwischen Grundbausteinen basiert auf einfachem Prinzip:



Wechselwirkung via Austausch eines *Trägerteilchens*:

<i>Photon</i>	elektromagnetische Wechselwirkung
<i>W, Z</i>	schwache Wechselwirkung
<i>Gluon</i>	starke Wechselwirkung

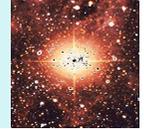
Wechselwirkungen durch Eichtheorien (Quantenfeldtheorie) beschrieben

Fundamentale offene Frage

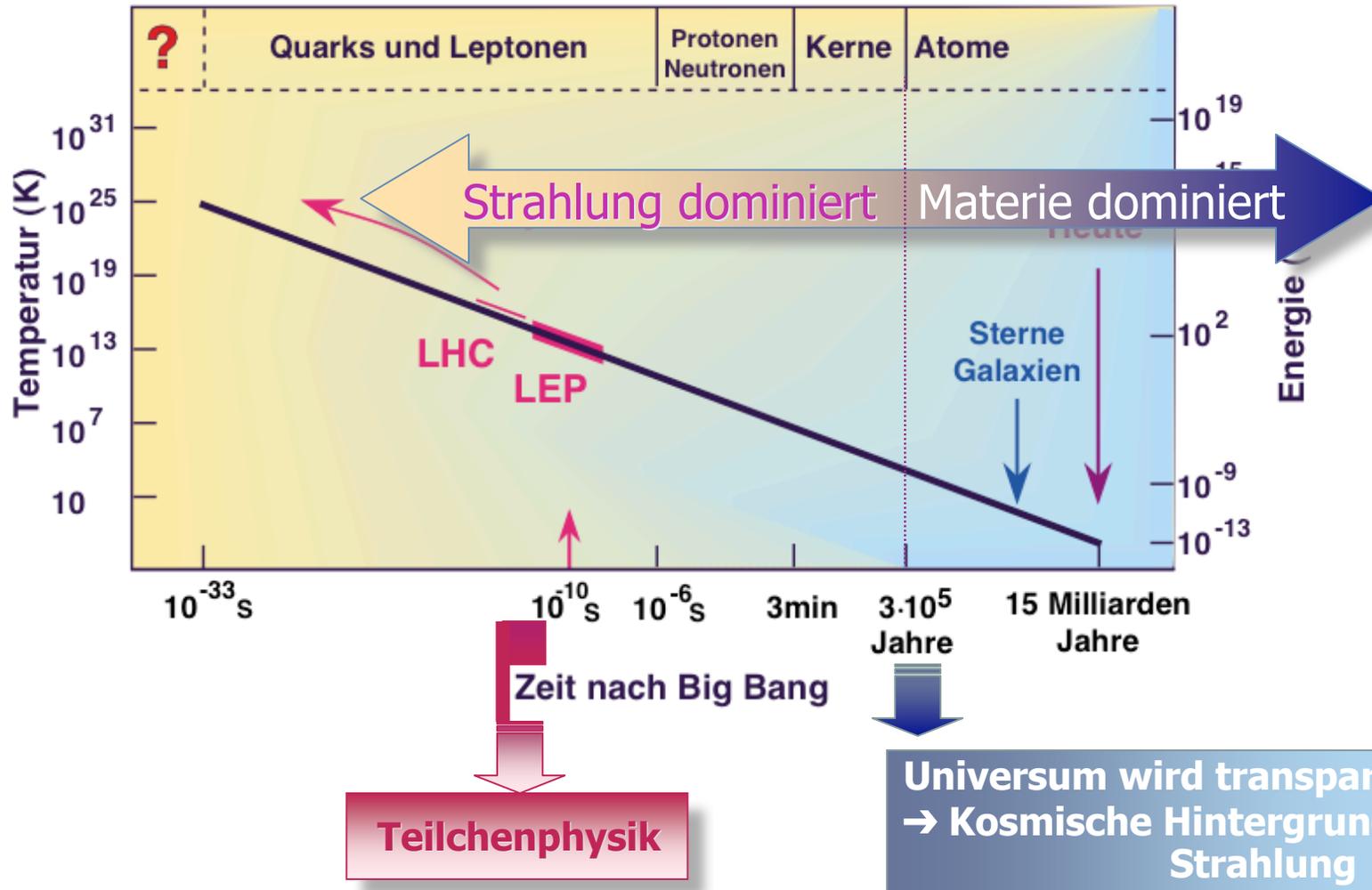
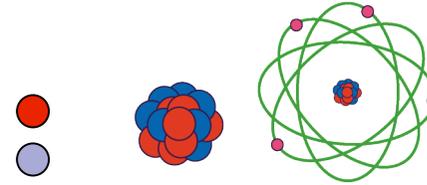
Existiert eine grosse Vereinheitlichung aller Wechselwirkungen ?
Eine solche Symmetrie zwischen Kräften sollte zu Beginn des Universums existiert haben



Evolution des Universums



Grundbausteine
der Materie



1.2 Einheiten

- In Kern- und Teilchenphysik benutzte Einheiten:

Länge: $1 \text{ fm} = 10^{-15} \text{ m}$

Energie: Elektronvolt (eV): $1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$

$\text{MeV} = 10^6 \text{ eV}$, $\text{GeV} = 10^9 \text{ eV}$, $\text{TeV} = 10^{12} \text{ eV}$

$E^2 = p^2 c^2 + m^2 c^4 \implies$ Masse: eV/c^2 , Impuls: eV/c

- Relativistische Quantenprozesse: 2 Naturkonstante (\hbar, c)
charakteristische Skala:

$$\frac{\hbar}{2\pi} = \hbar = 6.582 \times 10^{-22} \text{ MeV} \cdot \text{s} \quad \text{Planck-Konstante}$$

$$c = 2.998 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad \text{Lichtgeschwindigkeit}$$

$$\hbar \cdot c \sim 200 \text{ MeV} \cdot \text{fm}$$

- Kopplungskonstante der elektromagnetischen Wechselwirkung:

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

- Natürliche Einheiten: $\hbar = c = 1$

$$\implies [E] = [T]^{-1} = [p] = [L]^{-1} = [M]$$

$$1 \text{ kg} = 5.607 \times 10^{26} \text{ GeV}$$

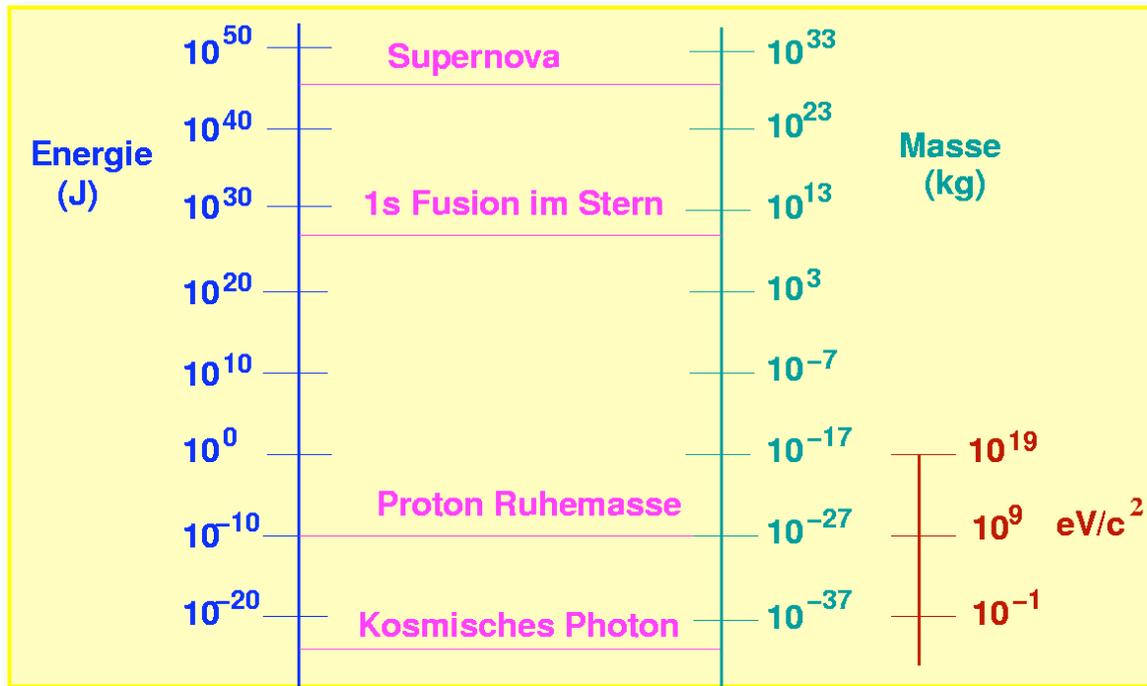
$$1 \text{ m} = 5.068 \times 10^{15} \text{ GeV}^{-1}$$

$$1 \text{ s} = 1.519 \times 10^{24} \text{ GeV}^{-1}$$

$$1 \text{ fm} \sim 5 \text{ GeV}^{-1} \sim \frac{1}{200 \text{ MeV}}$$

Verwenden i.A. SI-Einheiten und führen Konstanten mit

Energieskalen



Energieskalen in unserem
Universum und ihre
Masse - Energieäquivalenz

$$1 \text{ eV} = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Energie	Physikalische Interpretation
eV	Energieskala des e in äusserer Elektronenschale im Atom
keV = 10^3 eV	Energieskala des e in innerer Elektronenschale im Atom
MeV = 10^6 eV	Energieskala der n, p im Atomkern
GeV = 10^9 eV	Energieskala der Quarks im Proton
TeV = 10^{12} eV	Energieskala des zukünftigen Beschleunigers LHC

1.3 Symmetrien und Erhaltungssätze

Symmetrien spielen eine wichtige Rolle in der Physik

Noether Theorem:

Ist ein physikalisches Gesetz (z.B. Bewegungsgleichung) bezüglich Symmetrioperation invariant, so gibt es einen dazugehörigen Erhaltungssatz

Gesetze der klassischen Physik: invariant gegenüber kontinuierlicher Transformation bezüglich Zeit, Ort und räumlicher Orientierung:

- Homogenität der Zeit \implies Energieerhaltung
- Homogenität des Raumes \implies Impulserhaltung
- Isotropie des Raumes \implies Drehimpulserhaltung

Beispiele diskreter Transformationen:

- Paritätstransformation **P**: System zum Spiegelbild transformiert
Paritätserhaltung: Spiegelsymmetrie in der Quantenmechanik
- Ladungskonjugations-Transformation **C** :
Teilchen \longleftrightarrow Antiteilchen
C entspricht Symmetrie, welche Teilchen und Antiteilchen verbindet

Bemerkung: Manche Symmetrien sind unter bestimmten Bedingungen (Wechselwirkungen) verletzt

Inhalt

Wirkungsquerschnitt Störungstheorie
Fermi Goldene Regel Feynman Diagramme

Beschleuniger Detektoren

Elastische \Rightarrow Tiefinelastische Streuung



Quarks in Hadronen
Starke Wechselwirkung

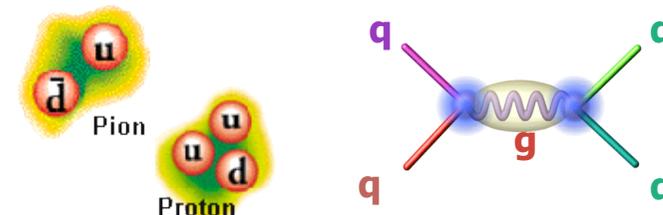
Bemerkung

Mathematisches "Werkzeug"
Spezielle Relativität, QM

Experimentelles "Werkzeug"

Lerne über Struktur des Targets

Strahlenergie erhöhen:
 \Rightarrow Grundbausteine der Materie
(Quarks und Leptonen)



Inhalt

Bemerkung

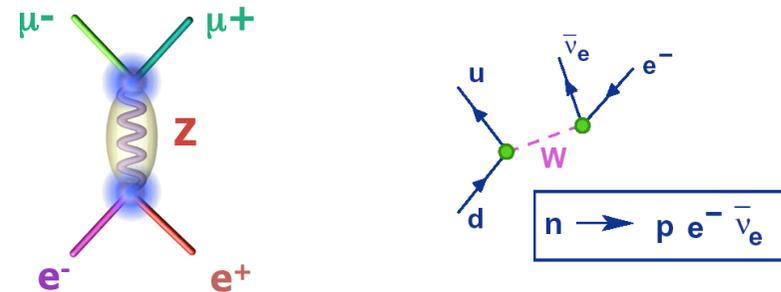
Schwache Wechselwirkung

P-Verletzung

CP-Verletzung

Elektroschwache Wechselwirkung

Standardmodell: Tests, offene Fragen



Kernkraft

Aufbau und Stabilität der Kerne

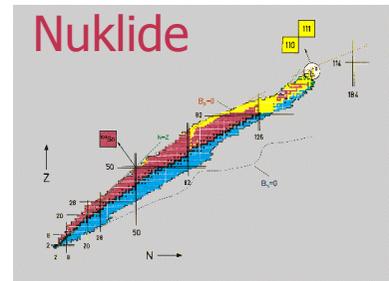
Kernspaltung Kernfusion

Energieerzeugung in der Sonne

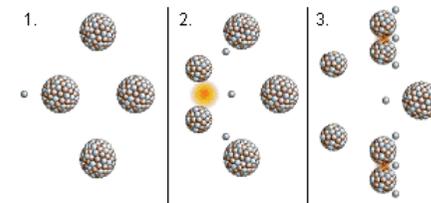
Neutrinos und Physik jenseits SM

Teilchenphysik und Kosmologie

Dunkle Materie, Energie des Vakuums



Kernspaltung



Kernfusion

