

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. Tiefeinelastische 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

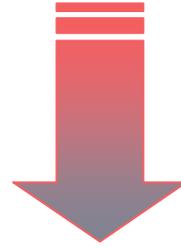
IV. Teilchenphysik und Kosmologie

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
SS2006**

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

Kapitel 1: Einleitung

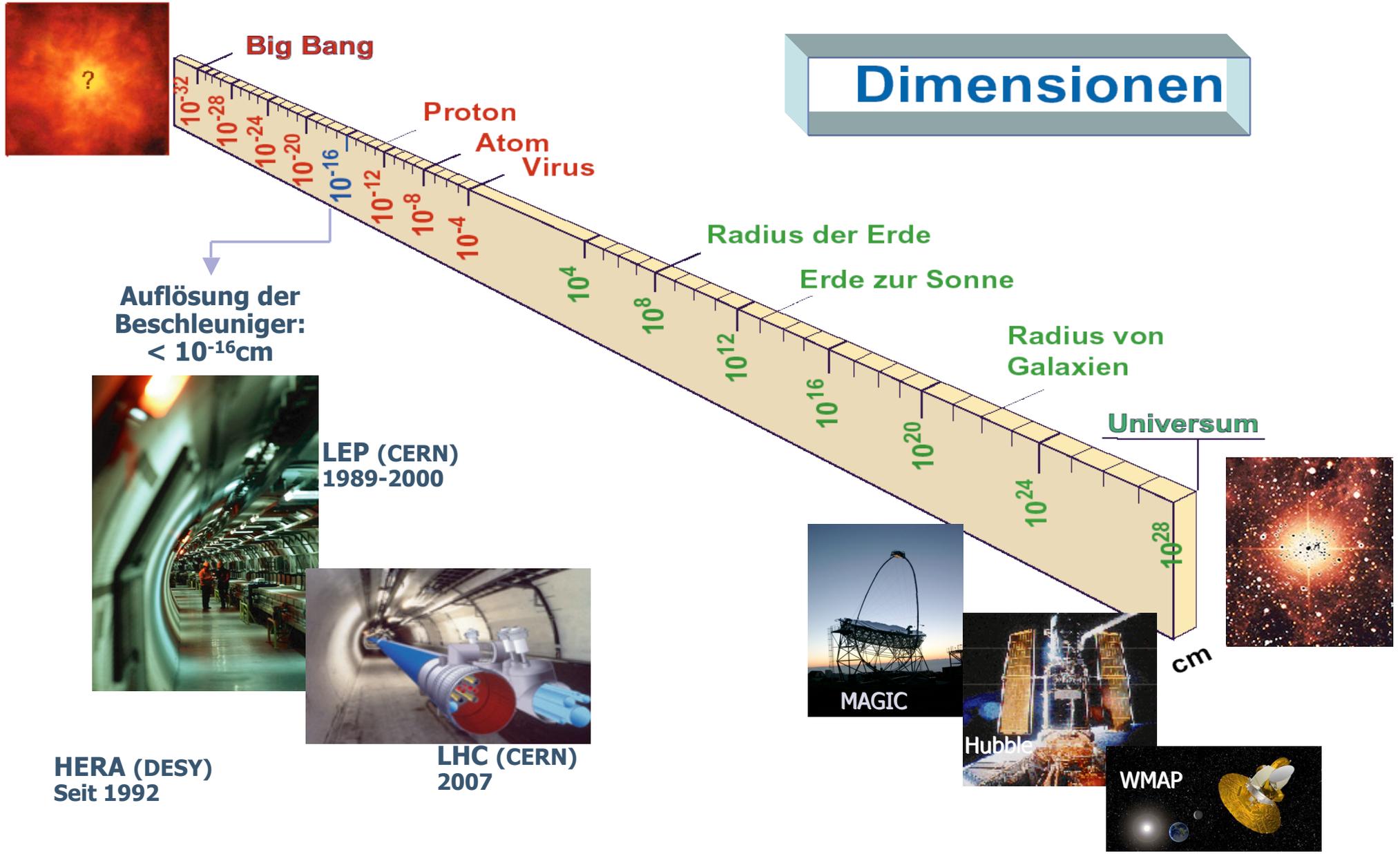
- 1.1 Allgemeine Einführung
- 1.2 Einheiten
- 1.3 Symmetrien und Erhaltungssätze

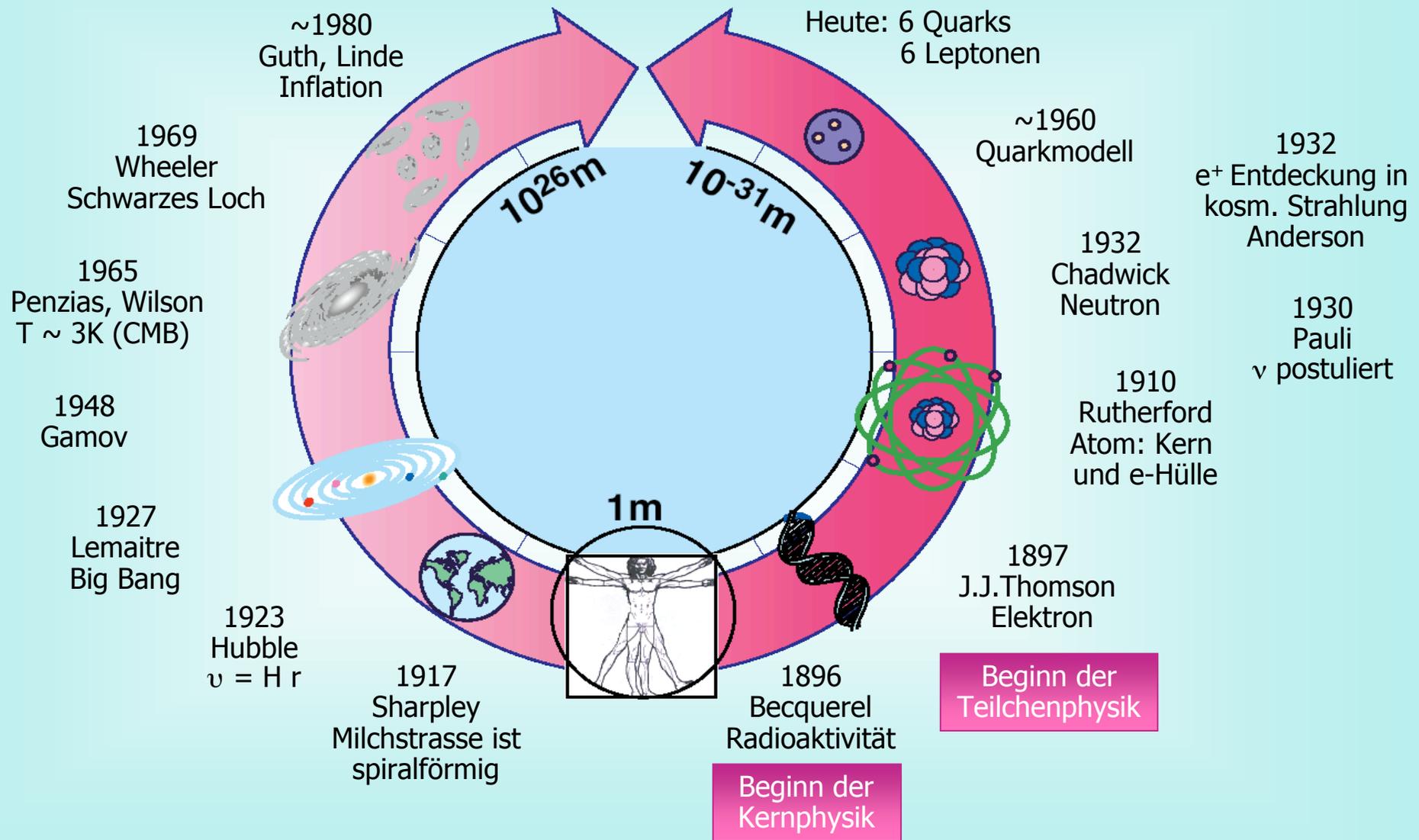
1.1 Allgemeine Einführung

- ❑ 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



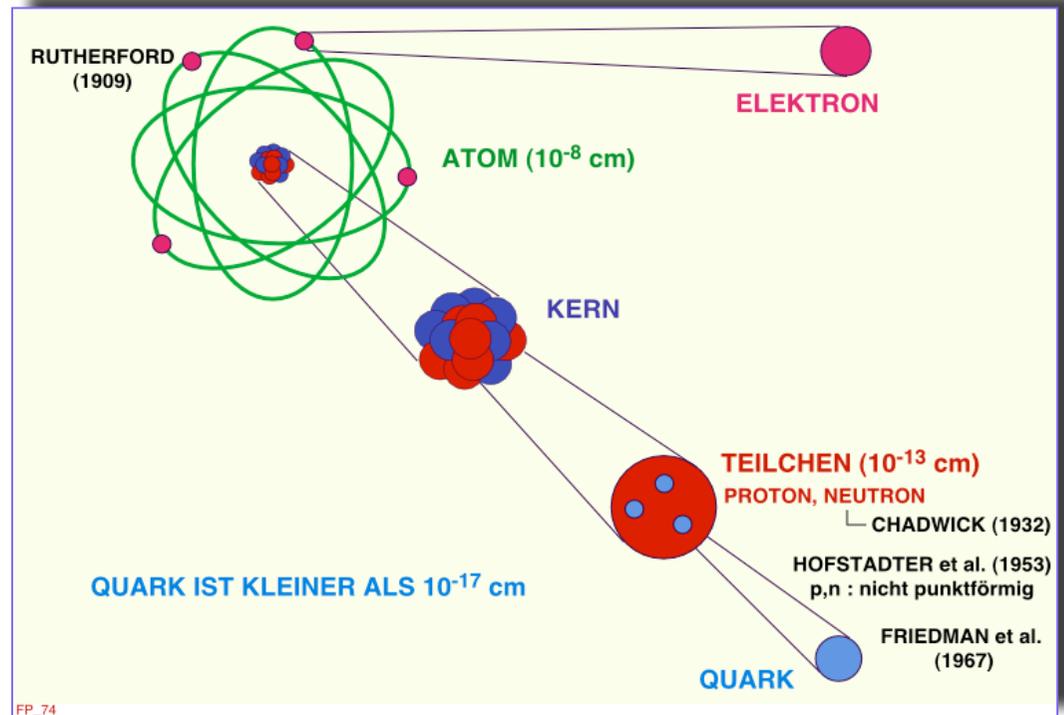


Beginn 1900:

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

Grundbausteine der Materie

	ν_e	ν_μ	ν_τ
Leptonen	e	μ	τ
	u	c	t
Quarks	d	s	b

LEP: $N_\nu = 2.984 + 0.011$

Fundamentale Wechselwirkungen

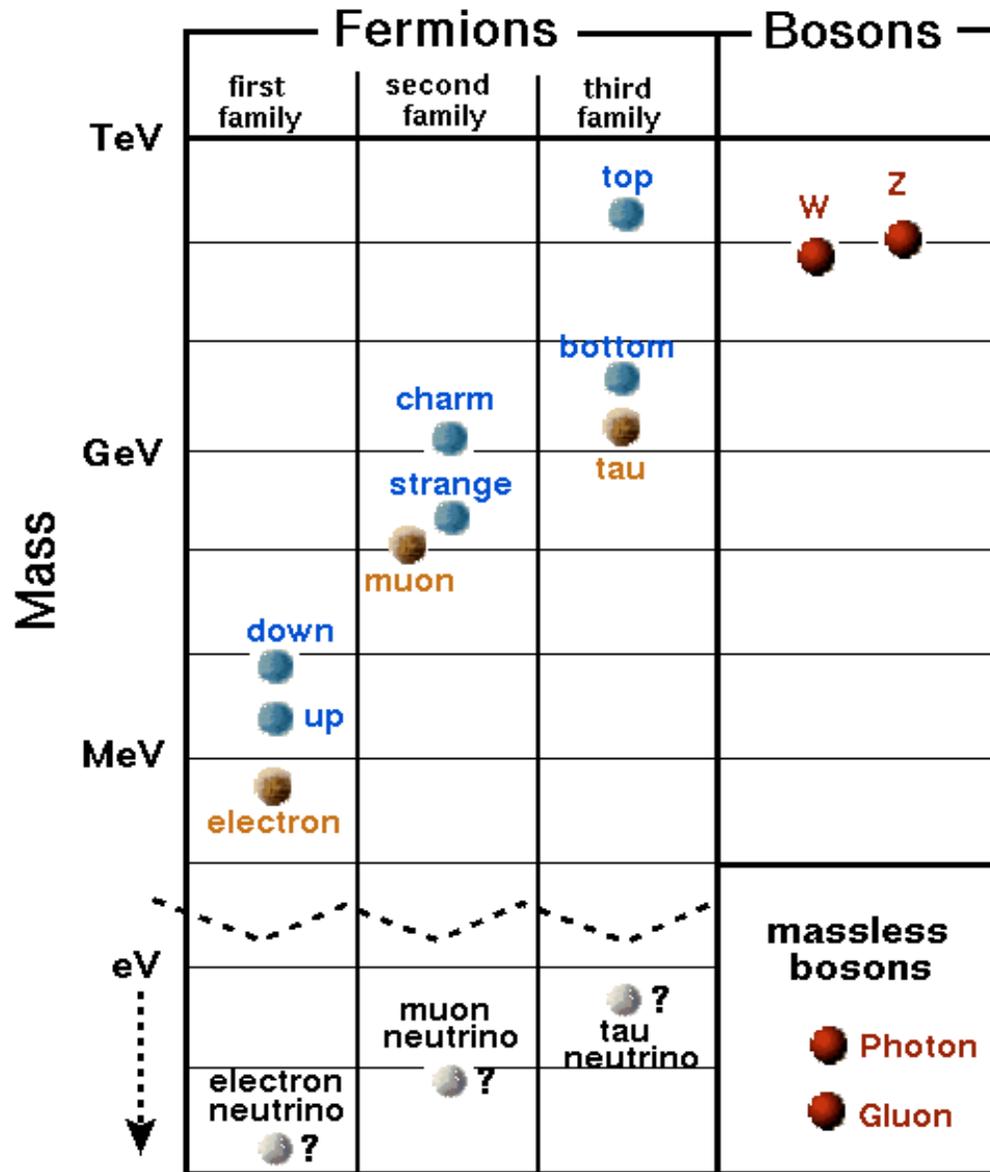
Wechselwirkung	Träger
* Elektromagnetisch	Photon
Schwach	W, Z
Stark	Gluon
Gravitation	Graviton

* Elektroschwache Theorie auf 0.1% getestet (LEP)
 QCD Tests (starke WW) am LEP, Hera, ..
 Gravitation: vernachlässigbar für Studium der Grundbausteine der Materie



**Ursprung der Teilchenmassen (Higgs)?
 Vereinheitlichung der Kräfte ?
 etc**





Mass spectrum of lepton, quarks (fermions) and carrier of forces (bosons)

Elementarteilchen

Leptonen: $e \ \mu \ \tau \ \nu_e \ \nu_\mu \ \nu_\tau$ 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:

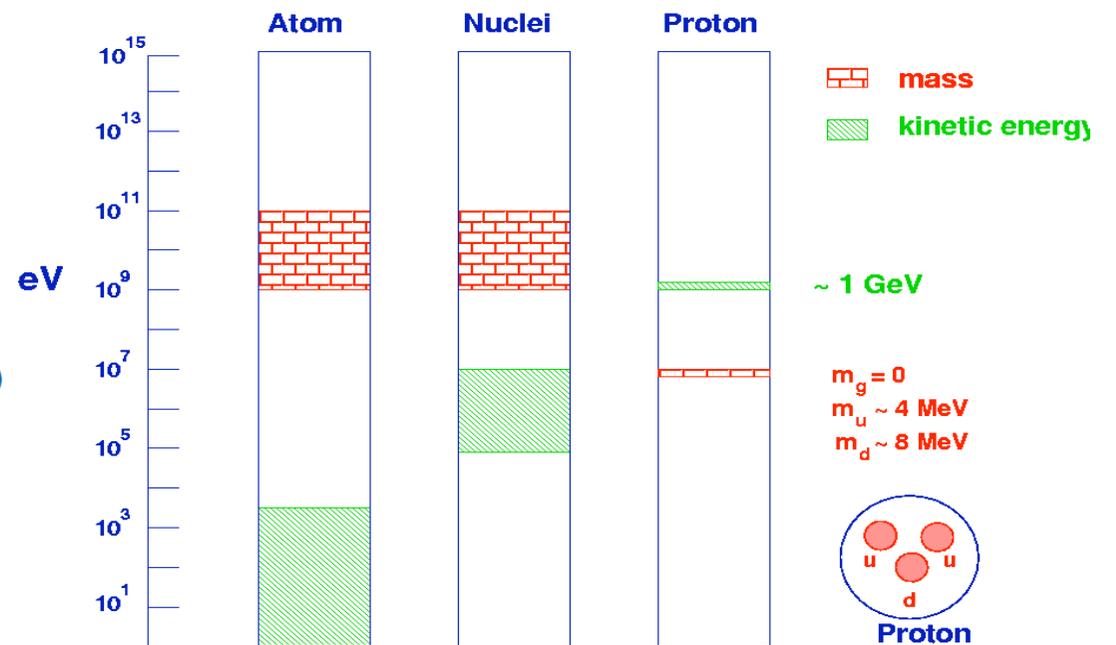
$\pi^+ (u\bar{d}), \pi^- (\bar{u}d), K^+ (u\bar{s}), K^- (\bar{u}s)$

Baryonen:

$p(uud), n(udd), \Lambda(uds), \Omega(sss)$

Siehe Particle Physics Booklet

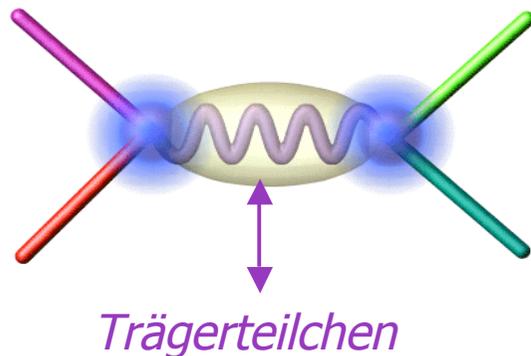
Mass and Kinetic Energy



"Mass without Mass"

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

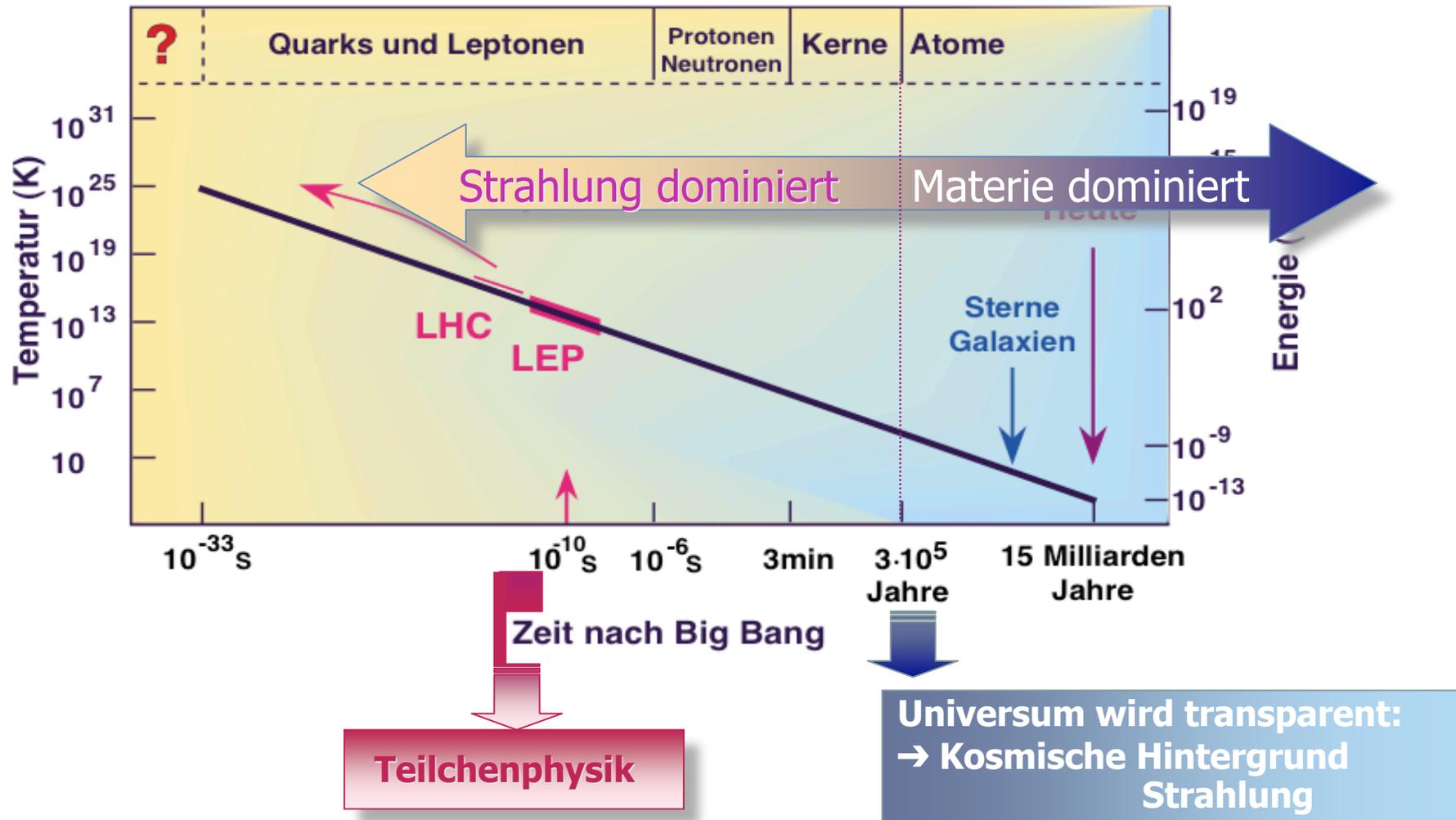
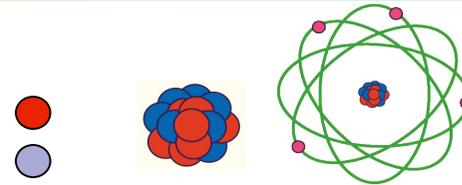
Wechselwirkungen durch Eichtheorien (Quantenfeldtheorie) beschrieben

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 benützte 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:

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

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

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

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

- Kopplungskonstante der elektromagnetischen Wechselwirkung:

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

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

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

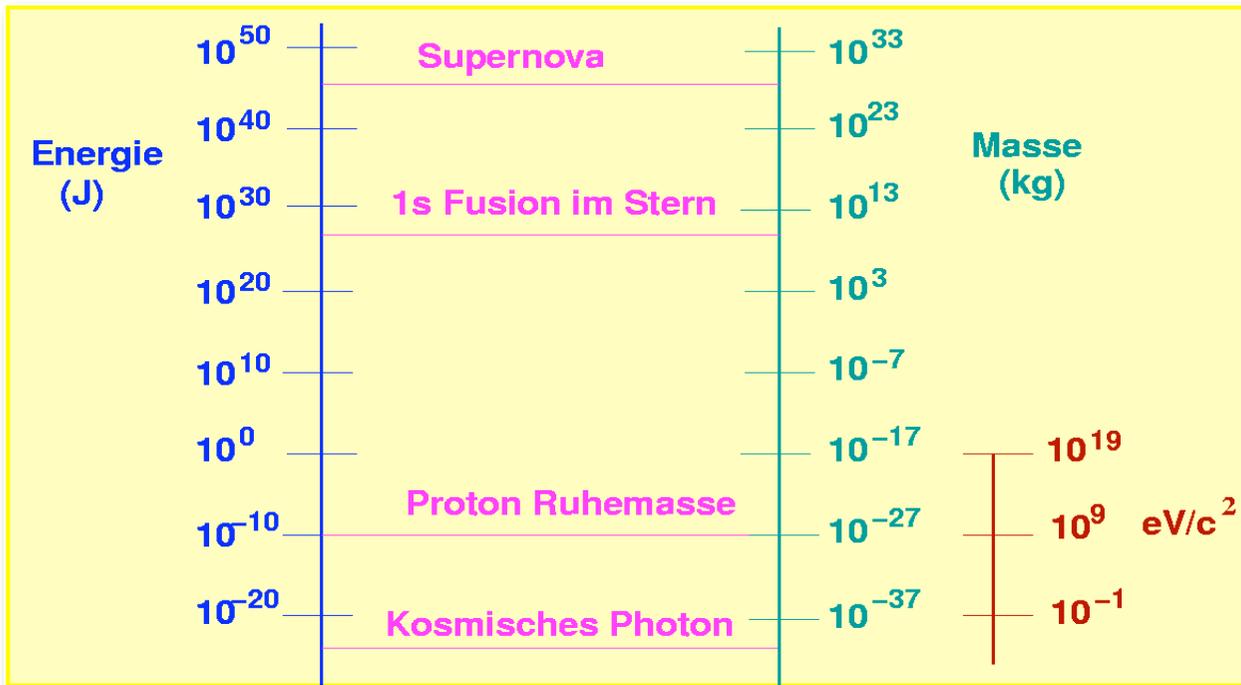
$$1 \text{ m} = 5.068 \times 10^{15} \text{ GeV}^{-1}$$

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

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

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 Symmetrieoperation 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 \rightsquigarrow Tiefinelastische Streuung



Quarks in Hadronen
Starke Wechselwirkung

Bemerkung

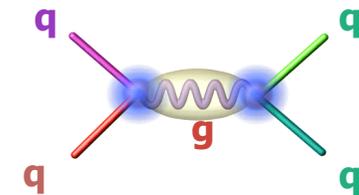
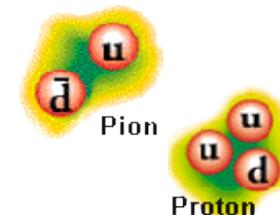
Mathematisches "Werkzeug"
Spezielle Relativität, QM

Experimentelles "Werkzeug"

Lerne über Struktur des Targets

Strahlenergie erhöhen:

\rightsquigarrow Grundbausteine der Materie
(Quarks und Leptonen)



Inhalt

Schwache Wechselwirkung

P-Verletzung

CP-Verletzung

Elektroschwache Wechselwirkung

Standardmodell: Tests, offene Fragen

Kernkraft

Aufbau und Stabilität der Kerne

Kernspaltung Kernfusion

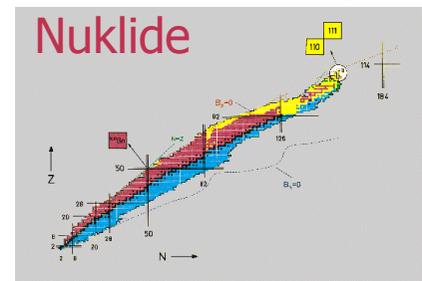
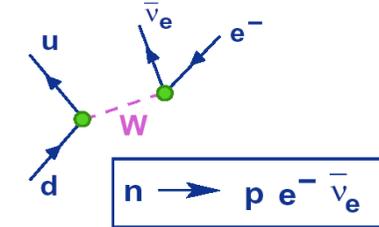
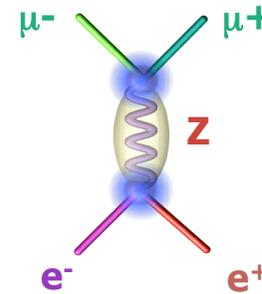
Energieerzeugung in der Sonne

Neutrinos und Physik jenseits SM

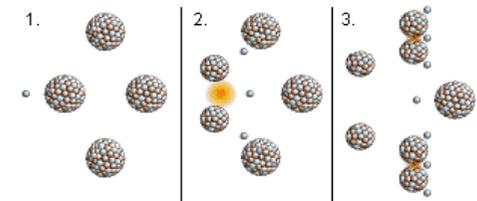
Teilchenphysik und Kosmologie

Dunkle Materie, Energie des Vakuums

Bemerkung



Kernspaltung



Kernfusion

