

Tests des Standardmodells der Teilchenphysik

**Spezialfach
“Experimentelle Methoden der Kern- und
Teilchenphysik”**

WS 2010/11 und SS 2011

PD Dr. Hubert Kroha

Max-Planck-Institut für Physik

Föhringer Ring 6

80805 München

E-mail: kroha@mppmu.mpg.de

URL: http://www.atlas.mppmu.mpg.de/atlas_mdt

Skript

1. Das Standardmodell der Teilchenphysik

- 1.1 Feldtheorien der Elementarteilchen
- 1.2 Eichsymmetrien und Wechselwirkungen
- 1.3 Die fundamentalen Kräfte und ihre Vereinheitlichung:
Quantenelektrodynamik, Quantenchromodynamik, elektroschwache Wechselwirkung
- 1.4 Ursprung der Teilchenmassen, Higgs-Mechanismus
- 1.5 Vergleich von Theorie und Experiment

2. Aktuelle experimentelle Tests des Standardmodells

- 2.1 Präzisionsmessungen der elektroschwachen Wechselwirkung
- 2.2 Physik am Large Hadron Collider
- 2.3 Suche nach dem Higgs-Boson
- 2.4 B-Mesonzerfälle und CP-Verletzung
- 2.5 Neutrinomassen und Neutrino-Oszillationen

3. Suche nach Erweiterungen des Standardmodells

- 3.1 Ungelöste Fragen im Standardmodell
- 3.2 Vereinheitlichung der Wechselwirkungen
- 3.3 Suche nach der Supersymmetrie zwischen Fermionen und Bosonen
- 3.4 Suche nach der Dunklen Materie im Universum

Literatur

1. B. Povh, K.Rith, Ch. Scholz, F. Zetsche:
Teilchen und Kerne,
Springer, 4. Auflage, 1997.
2. Ch. Berger:
Elementarteilchenphysik,
Springer, 2002.
3. P. Schmüser:
Feynmangraphen und Eichtheorien für Experimentalphysiker,
Springer, 2. Auflage, 1995.
4. I.J.R. Aitchison, A.J.G. Hey:
Gauge Theories in Particle Physics, Vol. 1,
Institute of Physics Publishing, neue Auflage, 2002.
5. W. Greiner, B. Müller:
Quantum Mechanics–Symmetries,
Springer, 2. Auflage, 1994.

Seminar

Physik am Large Hadron Collider

Montag 11:00 am Max-Planck-Institut für Physik, Seminarraum 313

Seminar für Studenten und Mitarbeiter, Theorie und Experiment

Aktuelle Themen und Überblicksvorträge zu

- Suche nach dem Higgs-Boson des Standardmodells
- Suche nach Higgs-Bosonen in Erweiterungen des Standardmodells
- Suche nach supersymmetrischen Teilchen
- Suche nach zusätzlichen Raumdimensionen
- Präzisionstests des Standardmodells
- Kalibrierung des ATLAS-Detektors
- Erste Ergebnisse vom Large Hadron Collider: Elektroschwache Wechselwirkung
- Erste Ergebnisse vom Large Hadron Collider: Top-Quarks
- Erste Ergebnisse vom Large Hadron Collider: Neue Teilchen

Teilchen und Wechselwirkungen

Fermionen (Spin 1/2)–Materiebausteine

Leptonen				
	Symbol	Masse	el. Ladung	Entdeckung
1	ν_e	$< 2.2(0.28) \text{ eV}$	0	Cowan, Reines 1956 (inverser β -Zerfall)
	e^-	0.5110 MeV	-1	Kathodenstrahlen vor 1900 (Positron 1932)
2	ν_μ	$< 190 \text{ keV}$	0	Ledermann, Schwartz, Steinberger 1962
	μ^-	105.7 MeV	-1	Kosmische Strahlung 1936
3	ν_τ	$< 18.2 \text{ MeV}$	0	DONUT Experiment (FNAL) 1997-2000
	τ^-	1777 MeV	-1	M. Perl et al. (MARK I Exp.) 1975

- Daß Neutrinos auch eine, wenn auch sehr kleine Masse besitzen, ist seit Sommer 1998 bekannt, als die sog. **Neutrino-Oszillationen** entdeckt wurden.

Quarks

	Symbol	Masse	el. Ladung	Entdeckung
1	<i>d</i>	$\sim 5 \text{ MeV}$	$-1/3$	~ 1964
	<i>u</i>	$\sim 7 \text{ MeV}$	$+2/3$	~ 1964
2	<i>s</i>	$\sim 150 \text{ MeV}$	$-1/3$	~ 1964
	<i>c</i>	$\sim 1.4 \text{ GeV}$	$+2/3$	Richter et al. (SLAC), Ting et al. (BNL) 1974
3	<i>b</i>	$\sim 4.5 \text{ GeV}$	$-1/3$	Lederman et al. (FNAL) 1977
	<i>t</i>	174.3 GeV	$+2/3$	CDF-, D0-Experimente (FNAL) 1994

Strangeness-Quantenzahl:

Assoziierte Produktion von Kaonen, 1953.

SU(3)-flavour-Symmetrie: 1961.

Quarkmodell: Gell-Mann, Zweig 1964.

Substruktur der Hadronen (Partonen):

Hofstadter et al., Friedman, Kendall, Turner et al. (SLAC), 1969.

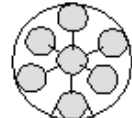
Review of Particle Properties: <http://pdg.lbl.gov>

Stabil

Materie

Antimaterie

Molekül



Antimolekül



Atom



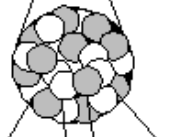
Antiatom



Elektronenhülle

Positronenhülle

Atomkern



Antiatomkern



Proton



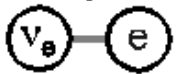
Antiproton



Neutron



Antineutron



Ladung: 0 -1
Leptonen

+2/3 -1/3
Quarks

+1/3 -2/3
Antiquarks

+1 0
Antileptonen

(ν = Neutrino)
(e = Elektron)
(μ = Myon)
(τ = Tau)

Baryonen

Antibaryonen



Mesonen



etwa 300
Hadronen

Farbkräfte: Gluonen

elektromagnetische Kräfte: Photonen

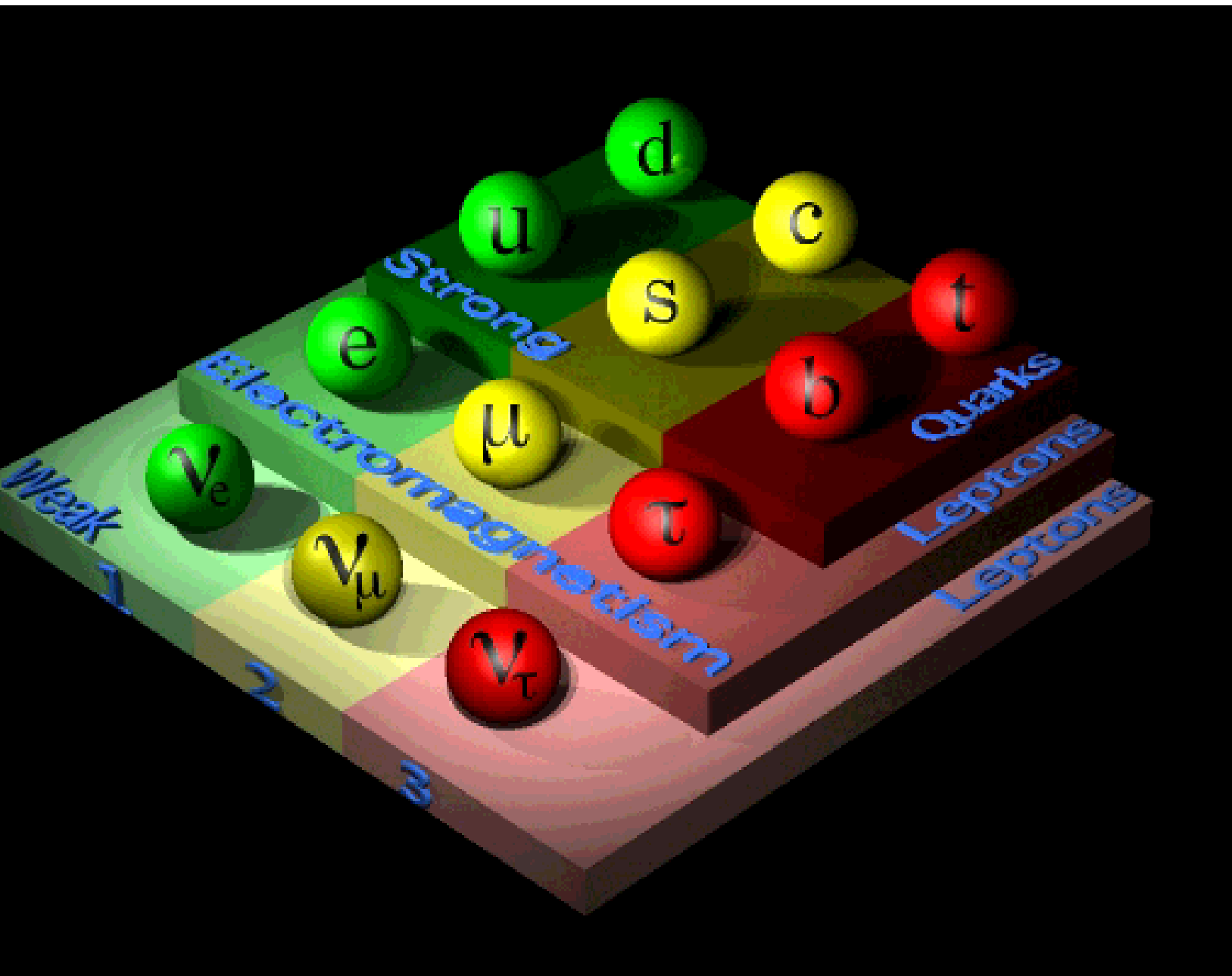
schwache Kräfte: W- und Z-Teilchen

Bosonen (Spin 1)–Vermittler der Wechselwirkungen

Kraft	rel. Stärke	wirkt auf	vermittelt durch	Theorie
Starke WW	1	Quarks und Gluonen (mit Farbladungen)	8 Gluonen g (masselos, Spin 1)	Quantenchromodynamik (QCD)
Elektromagnet. WW	10^{-3}	elektrisch geladene Teilchen	Photon γ (masselos, Spin 1)	Quantenelektrodynamik (QED)
Schwache WW	10^{-5}	Quarks, Leptonen (außer ν_R), W^\pm, Z^0	W^+, W^-, Z^0 (massiv, Spin 1)	Quantenflavourdynamik (QFD), GSW-Theorie
Gravitation	10^{-38}	alle Teilchen	Graviton (masselos, Spin 2)	Allgemeine Relativitätstheorie (ART)

Spin 0-Bosonen (Higgsboson)–Vermittler der Teilchenruhemassen

Die fundamentalen Wechselwirkungen des Standardmodells



Antiteilchen

Zu jedem Elementarteilchen gibt es das zugehörige **Antiteilchen** mit entgegengesetzten Ladungsquantenzahlen, aber der gleichen Masse und Lebensdauer. Dies gilt aufgrund der **CPT-Symmetrie**, die für alle Teilchen und Wechselwirkungen gilt.

Die elektrisch neutralen Bosonen γ , Z^0 und H sind mit ihren Antiteilchen identisch. Bei den elektrisch neutralen Neutrinos ist noch nicht geklärt, ob sie mit ihren Antiteilchen identisch sind (**Majorana-Neutrinos**). Alle anderen fundamentalen Teilchen besitzen von ihnen verschiedene Antiteilchenzustände.

Damit sich der offensichtliche Überschuß von Materie gegenüber Antimaterie im Weltall bilden konnte, muß u.a. die CP-Symmetrie verletzt sein (s.u.).

Quantenzahlen der Standard Modell-Teilchen

Teilchen	Spin	Elektr. Ladung Q	Schwacher Isospin (I, I_z)	Farbe
ν_{eL}	1/2	0	(1/2, +1/2)	0
$e_{L,R}^-$	1/2	-1	(1/2, -1/2)	0
$\nu_{\mu L}$	1/2	0	(1/2, +1/2)	0
$\mu_{L,R}^-$	1/2	-1	(1/2, -1/2)	0
$\nu_{\tau L}$	1/2	0	(1/2, +1/2)	0
$\tau_{L,R}^-$	1/2	-1	(1/2, -1/2)	0
$u_{L,R}$	1/2	+2/3	(1/2, +1/2)	r, g, b
$d_{L,R}$	1/2	-1/3	(1/2, -1/2)	r, g, b
$c_{L,R}$	1/2	+2/3	(1/2, +1/2)	r, g, b
$s_{L,R}$	1/2	-1/3	(1/2, -1/2)	r, g, b
$t_{L,R}$	1/2	+2/3	(1/2, +1/2)	r, g, b
$b_{L,R}$	1/2	-1/3	(1/2, -1/2)	r, g, b
ν_{eR}	1/2	0	(0,0)	0
$\nu_{\mu R}$	1/2	0	(0,0)	0
$\nu_{\tau R}$	1/2	0	(0,0)	0
γ	1	0	(0, 0)	0
Z^0	1	0	(1, 0)	0
W^-	1	-1	(1, -1)	0
Gluonen	1	0	(0, 0)	$g\bar{r}, r\bar{b}, b\bar{g},$ $r\bar{g}, b\bar{r}, g\bar{b},$ $r\bar{r} - g\bar{g},$ $r\bar{r} + g\bar{g} - 2b\bar{b}$
Higgs H	0	0	(1/2, -1/2)	0