

Tests des Standardmodells der Teilchenphysik

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

WS 2007/08 und SS 2008

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

Inhalt

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
Tests der Quantenchromodynamik

2. Aktuelle experimentelle Tests des Standardmodells

- 2.1 Moderne Experimente der Teilchenphysik
 - 2.2 Präzisionsmessungen der elektroschwachen Wechselwirkung
-
- 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.

Übungen zur Vorlesung

Dr. Oliver Kortner

Themenauswahl:

1. Grundlagen der relativistischen Feldtheorie
2. Lösungen der Feldgleichungen
3. Symmetrien der Elementarteilchen
4. Anwendungen der Gruppentheorie in der Teilchenphysik
5. Lie-Gruppen
6. Eichsymmetrien
7. Spontane Symmetriebrechung
8. Grundlagen der Störungstheorie und Feynman-Diagramme
9. Berechnung von Wirkungsquerschnitten und Zerfallswahrscheinlichkeiten
10. Strahlungskorrekturen fuer Experimentalphysiker
11. Renormierung der Massen und Kopplungskonstanten
12. Tests der Quantenchromodynamik
13. Supersymmetrie
14. Modelle der "Grossen Vereinheitlichung"
15. Funktionsweise moderner Teilchendetektoren
16. Datenauswertung in aktuellen Teilchenphysikexperimenten mit praktischen Demonstrationen
17. Ausgewaehlte Themen nach Wunsch

Seminar

Physik am Large Hadron Collider

Dienstag, 14:00, am Max-Planck-Institut für Physik, Seminarraum 104

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 Alternativen zum Higgs-Mechanismus
- Suche nach supersymmetrischen Teilchen
- Präzisionstests des Standardmodells
- Kalibrierung des ATLAS-Detektors
- Test des ATLAS-Detektors mit Myonen aus der Höhenstrahlung
- Detektorentwicklung für einen Ausbau des Large Hadron Colliders

1 Das Standardmodell der Teilchenphysik

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>	~ 5 MeV	-1/3	~ 1964
	<i>u</i>	~ 7 MeV	+2/3	~ 1964
2	<i>s</i>	~ 150 MeV	-1/3	~ 1964
	<i>c</i>	~ 1.4 GeV	+2/3	Richter et al. (SLAC), Ting et al. (BNL) 1974
3	<i>b</i>	~ 4.5 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.

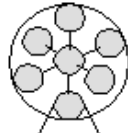
Review of Particle Properties: <http://pdg.lbl.gov>

Stabil

Materie

Antimaterie

Molekül



Antimolekül



Atom



Antiatom



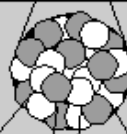
Elektronenhülle

Positronenhülle

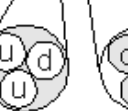
Atomkern



Antiatomkern



Proton

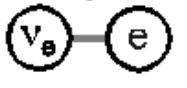


Antiproton



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



Farbkraft: Gluonen

elektromagnetische Kräfte: Photonen

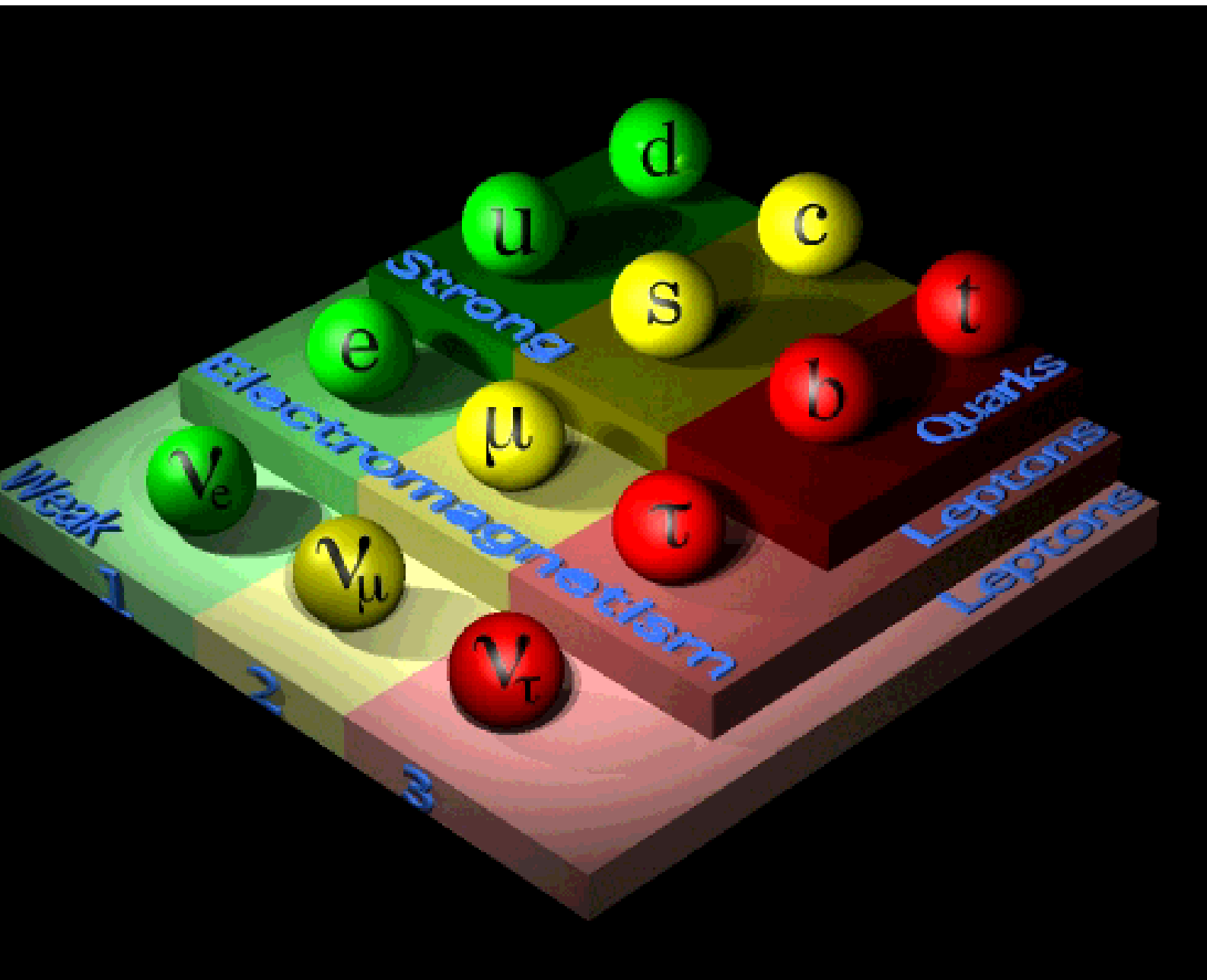
schwache Kräfte: W- und Z-Teilchen

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