

Tests des Standardmodells der Teilchenphysik

**Spezialfach
Kern-Teilchen-Astrophysik**

WS 2015/16 und SS 2016

PD Dr. Hubert Kroha

Max-Planck-Institut für Physik

Föhringer Ring 6

80805 München

E-mail: kroha@mppmu.mpg.de

URL: http://wwvatlas.mppmu.mpg.de/atlas_mdt

Skript:

<http://wwvatlas.mppmu.mpg.de/ftp/outgoing/vorlesung/ws15>

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, Feynmangraphen

2. Aktuelle experimentelle Tests des Standardmodells

- 2.1 Präzisionsmessungen der elektroschwachen Wechselwirkung
- 2.2 Physik am Large Hadron Collider
- 2.3 Die Entdeckung des Higgs-Bosons
- 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 (Englisch)

Mittwoch, 10:15-12:00 oder nach Vereinbarung

Raum PH 2271, Garching

Themenauswahl (nach Bedarf):

1. Grundlagen der relativistischen Feldtheorie
2. Lösungen der Feldgleichungen
3. Anwendungen der Gruppentheorie in der Teilchenphysik
4. Lie-Gruppen
5. Eichsymmetrien
6. Grundlagen der Störungstheorie und Feynman-Diagramme
7. Berechnung von Wirkungsquerschnitten
8. Strahlungskorrekturen
9. Neutrinooszillationen in Materie
10. Funktionsweise moderner Teilchendetektoren
11. Supersymmetrie
12. Andere ausgewählte Themen nach Wunsch

Proseminar

“Physics at the Large Hadron Collider” (Englisch)

Montag, 19.10.2015, 15:00: Vorbesprechung

Max-Planck-Institut für Physik,
Föhringer Ring 6
80805 München

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.

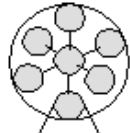
Review of Particle Properties: <http://pdg.lbl.gov>

Stabil

Materie

Antimaterie

Molekül



Antimolekül



Atom



Antiatom



Elektronenhülle

Positronenhülle

Atomkern



Antiatomkern



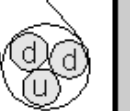
Proton



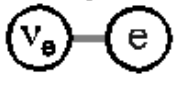
Antiproton



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 Kraft: Photonen

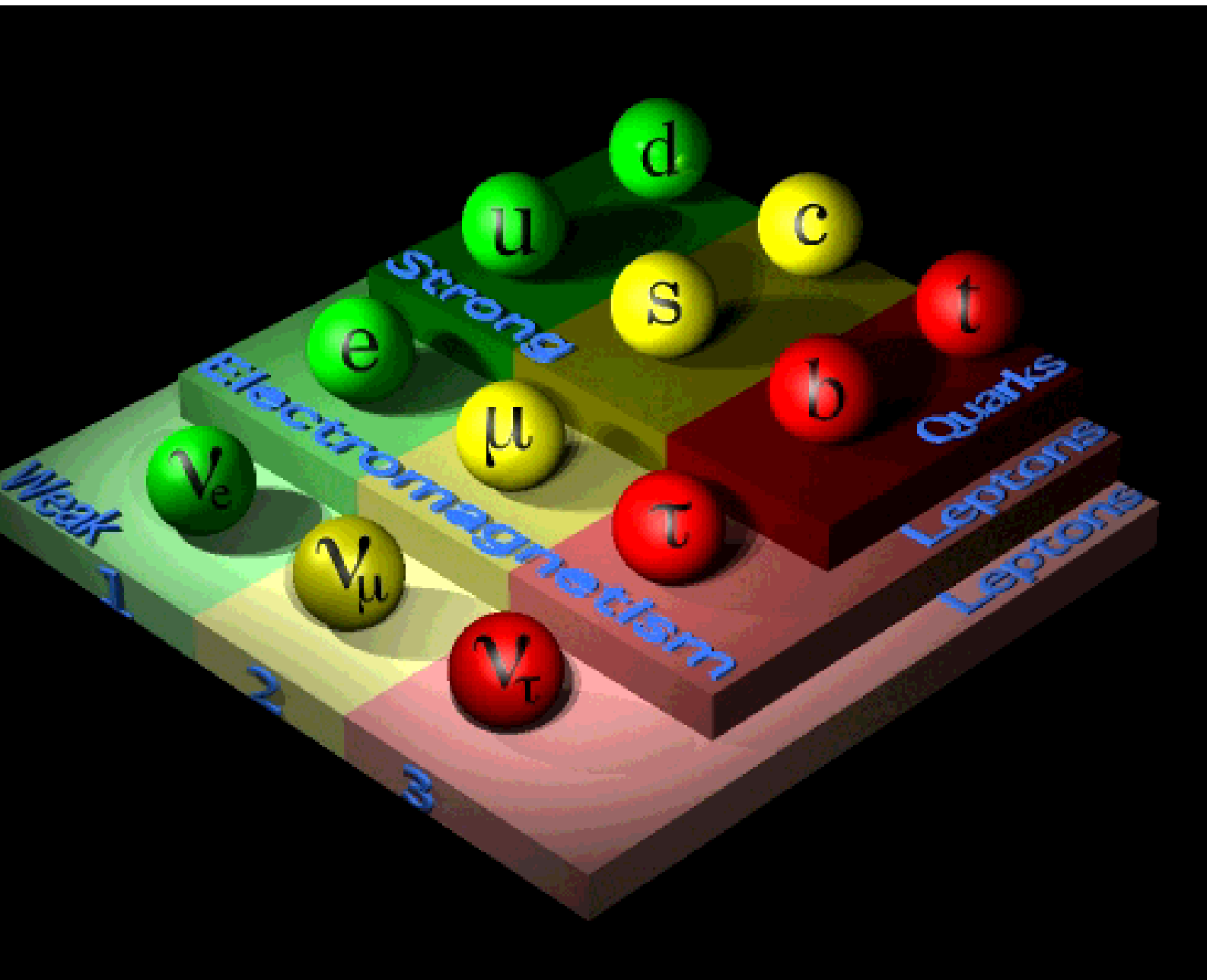
schwache Kraft: W- und Z-Teilchen

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