

Veranstaltungsankündigung: Prof. Dr. O. Biebel

A: Standardmodell der Teilchenphysik und seine Erweiterungen

Inhalt der Vorlesung:

- Standardmodell: elektroschwache Wechselwirkung
 - $SU(2)_L \times U(1)_Y$ Eichgruppe, Spontane Symmetriebrechung, Higgs-Mechanismus
 - Experimente zu W- und Z-Bosonen
- Standardmodell: starke Wechselwirkung
 - Farbladung, $SU(3)$ Eichgruppe, Renormierung und deren Konsequenzen
 - laufende starke Kopplungskonstante und asymptotische Freiheit
- Gültigkeitsgrenzen des Standardmodells
- Supersymmetrie
 - theoretisches Konzept und Phänomenologie
 - SUSY-Suche an Beschleunigern und mit kosmischer Strahlung
- Grand-Unified-Theories (GUT)
 - theoretisches Konzept und Phänomenologie
 - Suche nach Leptoquarks
- Alternativen zum Standardmodell Higgs-Mechanismus:
 - Little Higgs
 - Higgslose Modelle
 - Technicolor und Topcolor
- Compositeness
 - Präonen, Rishonen
 - Suche nach Signalen für Compositeness
- Stringtheorie
 - Large Extra Dimensions (LED)
 - Mini Schwarze Löcher

für Studenten ab dem sechsten Fachsemester

(3 stündig, ohne Übungen, ohne Scheinvergabe)

Voraussetzungen: Quantenmechanik, Teilchenphysik

Literatur zur Vorlesung:

allgemeine Lehrbücher, z.B.:

- Perkins: Introduction to High Energy Physics (Addison Wesley)
- Griffith: Introduction to Elementary Particles (Wiley&Sons)
- Halzen, Martin: Quarks&Leptons (Wiley&Sons)
- Renton: Electroweak Interactions (Cambridge)
- Particle Data Group: <http://pdg.lbl.gov>
- SLAC Spire Literatur Datenbank: <http://www.slac.stanford.edu/spires/index.shtml>

Termin der Vorlesung:

Donnerstag 8:30 - 11 Uhr, Seminarraum: 4/20

Beginn: 14. April 2005

gez. O.Biebel

A: Standardmodell der Teilchenphysik und seine Erweiterungen

Inhalte:

1) Einführung

- Standardmodell der starken und elektroschwachen Wechselwirkungen
 - * Kräfte
 - * Teilchen
- Konzepte der Quantenfeldtheorie
 - * Eichfeldtheorie + Eichinvarianz (insbesondere: erhaltene Ladung)
 - * QED als Beispiel einer Eichtheorie
- Experimente zum Standardmodell: Beschleuniger und Detektoren
 - * LEP und OPAL (+ALEPH, DELPHI, L3)
 - * Tevatron und DØ (+CDF)
 - * LHC und ATLAS (+CMS)
 - * ILC
 - * andere Experimente (B-Fabriken, Neutrino-Experimente, astrophys. Experimente, etc.)

2+3) Standardmodell: starke Wechselwirkung

- Farbladung, SU(3) Eichgruppe, Renormierung
 - * Konzept der Eichtheorie (QED)
 - * Phänomenologie der Farbladung, experimentelle Evidenzen für Farbladung
 - * Konzept der Renormierung (QED)
 - * Konsequenzen aus Renormierung: laufende renormierte Kopplungen und Massen
- laufende starke Kopplungskonstante und asymptotische Freiheit
- Strukturfunktion und Partondichteverteilungen (PDF) im Proton
 - * theoretische Beschreibung
 - * Messung der Strukturfunktion (HERA)
 - * DGLAP-Entwicklungsgleichung
 - * Bestimmung der PDFs mittels DGLAP
 - * Bedeutung/Nutzung der PDF in Lepton-Hadron- und Hadron-Hadron-Kollisionen
- Nachweis des top-Quarks und Bestimmung der Masse (Tevatron)

4+5) Standardmodell: elektroschwache Wechselwirkung

- $SU(2) \times U(1)$ Eichgruppe, Spontane Symmetriebrechung, Higgs-Mechanismus
 - * Lagrangedichte und deren Eichinvarianz
 - * spontane Brechung der $SU(2) \times U(1)$ -Symmetrie in $U(1)_{em}$
 - * Symmetriebrechung \leftrightarrow Goldstone-Bosonen
 - * Massenterme für W- und Z-Bosonen durch Higgs-Mechanismus
- Entdeckung der W- und Z-Bosonen (NC-Reaktionen, UA1/UA2)

- Präzisionsmessung am Z-Boson
 - * Resonanzkurve: Z-Masse & -Breite
 - * Zahl leichter Neutrino-Generationen
 - * Z-Fermion-Kopplungen (u.a. Identifikation von Quarkflavours)
 - * schwacher Mischungswinkel $\sin^2\theta_{eff}$ (leptonische & hadronische Endzustände)
- V – A-Struktur der elektroschwachen Kopplung aus τ -Leptonzerfall
- Präzisionsmessung am W-Boson
 - * Massen- und Breitenbestimmung (an Schwelle, aus Endzustand, an LEP, an Tevatron)
 - * Triple-Eichboson-Kopplung
 - * Suche nach anomalen Kopplungen
- Konsistenz des Standardmodells
 - * Fermi-Relation
 - * elektromagnetische und elektroschwache Strahlungskorrekturen
 - * Übereinstimmung direkter \leftrightarrow indirekter W- und top-Quark-Massenbestimmungen
 - * Higgs-Massengrenze (Blueband-Plot)
- direkte Suche nach dem Higgs-Boson
 - * in e^+e^- an LEP
 - * in $p\bar{p}$ an Tevatron

6) Standardmodell-Beschreibung der CP-Verletzung

- CKM-Matrix und Wolfenstein-Parametrisierung
- CP-Verletzung und Teilchen-Antiteilchen-Oszillationen
 - * im Kaon-Sektor
 - * im B-Sektor

7) Rätsel und Gültigkeitsgrenzen des Standardmodells

- Zahl der Raumdimensionen
- Masse der Teilchen (Higgs-Mechanismus, Yukawa-Kopplung)
- Massen-Hierarchie der Quarks und Leptonen
- Hierarchie-Problem (elschw. vs. Planck-Skala)
- Feintuning-Problem (Higgsmassen-Stabilisierung)
- Vereinheitlichung der Kopplungen
- Divergenz der Selbstwechselwirkung (\rightarrow Renormierung)
- CP-Verletzung in der starken Wechselwirkung
 - * CP-verletzender θ -Term der Lagrangedichte
 - * elektrisches Dipolmoment des Neutrons
 - * Peccei-Quinn-Symmetrie und Axion-Teilchen
 - * Suche nach Axion-Teilchen (CAST)

8) Bekanntermaßen notwendige Erweiterung des Standardmodells

- massive Neutrinos

- * Problem der Sonnenneutrinos
- * Problem der atmosphärischen Neutrinos
- * Neutrino-Oszillationen
- * Neutrinomassen in Lagrangedichte des Standardmodell
- * Neutrinomassen und Higgs-Mechanismus
- MNS-Mischungsmatrix für Neutrinos
 - * Massenquadratdifferenzen und Mischungswinkel (Δm^2 vs. $\tan(\theta)$)
- Links-rechts-symmetrische Modelle (Seesaw-Mechanismus)
- Dirac- vs. Majorana-Neutrinos

9) Grand Unified Theory (GUT)

- theoretisches Konzept
 - * SU(5), SO(10), ...
 - * Anomaliefreiheit \rightarrow Ladungsgleichheit von Elektron und Proton
 - * neue X-, Y-Bosonen (Leptoquarks)
 - * Materie-Antimaterie-Asymmetrie durch CP-Verletzung
 - * Problem des Protonzerfalls
 - * Suche nach und Grenzen auf Leptoquarks an Tevatron

10+11) Supersymmetrie

- theoretisches Konzept
 - * Symmetrie zw. Bosonen und Fermionen
 - * R-Parität
 - * Brechung der Symmetrie (soft breaking, Hidden Sector, Messenger Particles, ...)
- Phänomenologie:
 - * Modelle: mSUGRA, CMSSM, AMSB, ...
 - * besondere Teilchen: LSP, NLSP
 - * R-Paritätsverletzung
- Suche nach Supersymmetrie an LEP und Tevatron
- Grenzen auf Parameter und Massen in SUSY-Modellen
- Grenzen auf SUSY-Teilchen durch astrophysikalische Messungen
 - * Materieinhalt des Universums
 - * Nukleosynthese im Urknall
 - * Cosmic Concordance (LambdaCDM)
 - * Dunkle Materie
 - * Suche nach WIMP-Teilchen

12) Alternativen zum Standardmodell-Higgs-Mechanismus

- Technicolor und Topcolor
 - * theoretisches Konzept (Techni-Teilchen statt Higgs)
 - * Probleme und Lösungen (ETC, walking TC, topcolour assisted TC, ...)

- * Phänomenologie der Technicolour
- * Suche nach Anzeichen für Technicolour
- Little Higgs Modell
 - * theoretisches Konzept
 - * Phänomenologie
- Higgslose Modelle

13) Compositeness

- theoretische Konzepte: Präonen, Rishonen, Tohu, Vohu, etc.
- Probleme der theoretischen Realisierung (Anomalien)
- Phänomenologie von Compositeness
 - * Excited Leptons, Excited Quarks, Excited Gauge Bosons
- Suche nach Anzeichen für und Grenzen auf Compositeness

14) (Super-)Stringtheorie

- theoretisches Konzept
 - * Kompaktifizierung zusätzliche Raumdimensionen
 - * 10dim String- vs. 11dim M-Theorie
- “realistisches Modell”: E_6 -GUT
- Phänomenologie einer Stringtheorie mit großen zusätzlichen Raumdimensionen (LED)
 - * ADD-Modell (Kaluza-Klein-Towers, geändertes Gravitationsgesetz)
 - * RS-Modell (5dim anti deSitter space, AdS_5 , and warped extra dimensions)
 - * MOND-Theorien (Modification Of Newtonian Dynamics)
 - * Phänomenologie von ADD- und RS-LED an LEP und Tevatron
 - * Suche nach Signalen und Grenze auf die Größe zusätzlicher Raumdimensionen

15) kosmologisch geforderte Erweiterungen

- Inflaton-Feld (Inflationstheorie)
- Sphaleron-Prozess (Materie-Antimaterie-Asymmetrie)
- Dunkle Energie (Quintessenz, Cosmon-Teilchen)

Literatur

vielfältige Auswahl, z.B.:

- E. Lohmann : Einführung in die Elementarteilchenphysik
Teubner, ~15€
- E. Lohmann : Hochenergiephysik
Teubner, ~20€
- D. Perkin : Hochenergiephysik ; Introduction to High Energy Phys.
Oldenbourg, ~45€ ; Cambridge UP, ~60€
- D. Griffith : Introduction to Elementary Particles
Wiley & Sons, ~105€ HC, (~40€ SC)
- B. Povh u.a. : Teilchen und Kerne
Springer Berlin, ~35€
- C. Berger : Elementarteilchenphysik
Springer Berlin, ~45€
- R. Mohapatra : Unification and Supersymmetry
Springer Berlin, ~86€

und viele andere