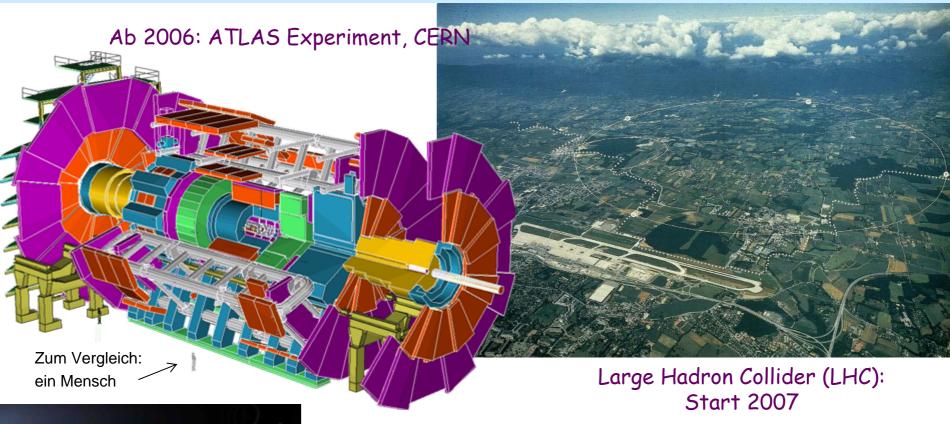
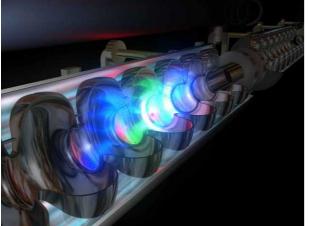
Experimentelle Elementarteilchenphysik



Beschleunigerexperimente



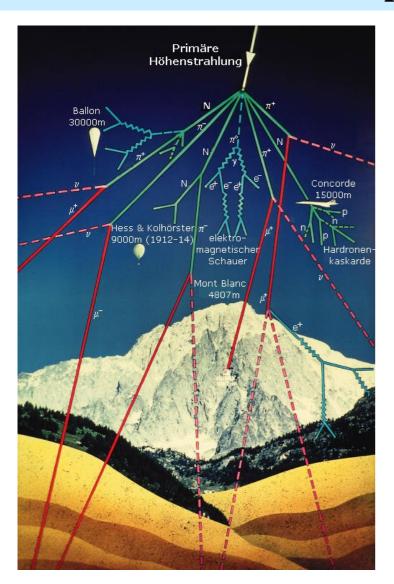


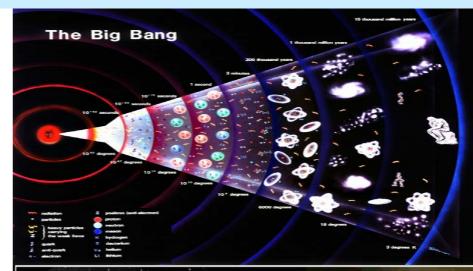
Higgs? Supersymmetrie? Extra-Dimensionen?

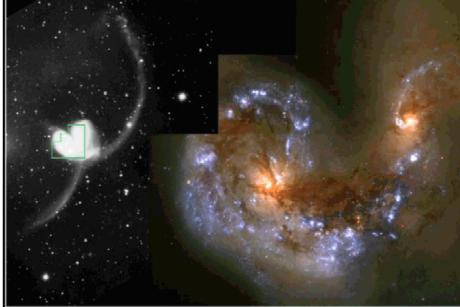
International Linear Collider (ILC): 2015?

... und der Kosmos:

Astroteilchenphysik und Kosmologie







Zu dem Wahlpflichtfach Elementarteilchenphysik

Vorlesungen zu Wahlpflichtfach Elementarteilchenphysik

- Standardmodell der Elementarteilchenphysik
- weiterführende theoretische Vorlesungen
- Seminare (theo. und exp.)
- Detektoren (nach dieser Vorlesung im selben Raum)
- Beschleuniger
- Datenanalyse

Forschungsaktivitäten auf diesem Gebiet an der HU

- experimentelle und theoretische Teilchenphysik und exp. Astroteilchenphysik
- Experimente: (T. Lohse, H. Kolanoski, NN)
 - DESY (Hamburg und Zeuthen): (HERA-B, E166/Polarisation für ILC)
 - CERN: ATLAS-Experiment am LHC (mit DESY)
 - Astroteilchenphysik: Lohse (HESS), Kolanoski, DESY (ICECUBE)
 - Zukunft: ILC
- Beschleunigerphysik (BESSY): E. Jaeschke, S.Khan

1. Kapitel: Einleitung

1.1 Inhalt

- Vertiefung ausgewählter Themen aus Kern- und Teilchenphysik
- Einführung der wichtigen Experimente zum
 - Test des Standardmodells der Materie und ihrer Wechselwirkungen
 - Test von Theorien, die über das Standardmodell hinausgehen

Gliederung:

- Wiederholung: Bausteine, WW, Wellenfkten, Eichung, ...
- Standardmodell der Elementarteilchen (Anschluss an Theorievorl.)
- Neutrale Ströme: Physik des Z-Bosons
- Geladene Ströme: Physik des W-Bosons
- Quarks: CKM-Matrix
- Leptonen: Neutrino-Oszillationen
- Gluonaustausch: Quantenchromodynamik
- Ursprung der Massen: Physik des Higgs-Bosons
- Ursprung der Materie: Verletzung der CP-Symmetrie
- jenseits des Standard Modells: Supersymmetrie

Voraussetzungen

- Vorlesung ,Struktur der Materie (c)'.
- Die theor. Vorlesung "Einführung ins Standardmodell der Teilchenphysik" (wird jeweils im Wintersemester gelesen) ist als Vorbereitung nützlich.

Grobgliederung Theorie (Bietenholz/Müller-Preußker)

- Grundzüge der Quantenfeldtheorie
- Skalare Feldtheorie und der Higgs Mechanismus
- Eichfelder der elektroschwachen Wechselwirkung
- Leptonen und Quarks
- Quanten Chromodynamik und chirale Störungstheorie
- Phaenomenologie der starken Wechselwirkung
- Feldtheorie auf dem Gitter
- Topologie der Eichfelder

Organisatorisches

http://www-zeuthen.desy.de/~kolanosk/

⇒ <u>Lehrveranstaltungen</u> ⇒ **SS 2006**: <u>Experimentelle Elementarteilchenphysik</u>

•Vorlesung: VL Do 9-11 wöch. NEW 15 3'101 H. Kolanoski
UE Mi 17-19 wöch. NEW 15 3'101 J. Kretzschmar
Beginn Übung: 26.4.2006 um 17 Uhr c.t.

Leistungsnachweis

Prüfungsstoff im WPF.

Leistungsnachweis wird bei erfolgreicher Bearbeitung der Übungsaufgaben (> 50%)

für die 2 SWS Vorlesung erteilt.

Übungsaufgaben werde während der Vorlesung ausgegebenen und eingesammelt.

Die 2 SWS Übungen dienen zur Vertiefung bzw. Besprechung der Aufgaben und sind fakultativ.

Literatur

- •E. Leader and E. Predazzi: "Gauge theories and modern particle physics", Cambridge Mongraphs (1996)
- •D.Perkins: "Hochenergiephysik", Addison-Wesley
- •C. Berger: "Elementarteilchenphysik", Springer (2002)
- •F. Halzen and A.D. Martin: "Quarks and Leptons", John Wiley
- •B.R. Martin and G. Shaw: "Particle Physics", John Wiley (1997)
- •P.Schmüser: "Feynman-Graphen und Eichtheorien fuer Experimentalphysiker
- Aitchison and Hey: 'Gauge Theories in Particle Physics'
- Cahn and Goldhaber: 'The Experimental Foundations of Particle Physics'
- Particle Data Group (PDG): Review of Particle Physics, Phys.Lett.B592 (2004);
 http://pdg.lbl.gov

1.2 Bausteine der Materie:

Spin-1/2 - Fermionen

| | | | Qua | Leptonen | | | |
|---|------------|----|---------------|--|---------|------------|---------------------------|
| | Ladur | ng | $\frac{2}{3}$ | $-\frac{1}{3}$ | -1 | 0 | |
| | ion | 1. | | $d_r d_b d_g$ | | $ u_e$ | |
| | Generation | 2. | $c_r c_b c_g$ | $S_r S_b S_g$ | μ^- | $ u_{\mu}$ | |
| | Ge | 3. | | $\mathbf{b}_r \ \mathbf{b}_b \ \mathbf{b}_g$ | | $ u_{	au}$ | + Antifermionen |
| _ | | | | | | 48 f | ↓ undamentale Fermione |

EW: L-Dubletts R-Singuletts en



Fermionen-Massen

Quantenzahlen: Flavour, Colour, Leptonflavour, Ladung: $QZ(f) = -QZ(\bar{f})$

| | I_3 | C | S | T | В | В' | L _e | \mathbf{L}_{μ} | $\mathbf{L}_{	au}$ | M [~ MeV] |
|-------------------------|-------|---|----|---|----|-----|----------------|--------------------|--------------------|-----------|
| u | 1/2 | | | | | 1/3 | | | | 5 |
| d | -1/2 | | | | | 1/3 | | | | 10 |
| c | | 1 | | | | 1/3 | | | | 1300 |
| S | | | -1 | | | 1/3 | | | | 200 |
| t | | | | 1 | | 1/3 | | | | 180000 |
| b | | | | | -1 | 1/3 | | | | 4300 |
| e | | | | | | | 1 | | | 0.5 |
| υ_{e} | | | | | | | 1 | | | 0 |
| μ | | | | | | | | 1 | | 106 |
| υ_{μ} | | | | | | | | 1 | | 0 |
| τ | | | | | | | | | 1 | 1780 |
| $\upsilon_{	au}$ | | | | | | | | | 1 | 0 |

Fermionen-Wellenfunktionen

(siehe Skript Struktur C)

Die Wellenfunktionen der Fermionen sind 4-komponentige Spinoren und erfuellen die **Dirac-Gleichung**:

$$\left(i\gamma^{\mu}\frac{\partial}{\partial x^{\mu}} - m\right)\psi = 0$$

Loesungen der Dirac-Gleichung:

$$\psi(x) = u(p, s)e^{-ipx}, \quad E > 0$$
 (1.72)

$$\psi(x) = v(p, s)e^{ipx}, \quad E < 0$$
 (1.73)

$$u(p,s) = \sqrt{E+m} \begin{pmatrix} \phi^s \\ \frac{\vec{\sigma}\vec{p}}{E+m} \cdot \phi^s \end{pmatrix}$$
 (1.74)

$$v(p,s) = \sqrt{|E| + m} \begin{pmatrix} \frac{\vec{\sigma}\vec{p}}{|E| + m} \cdot \chi^s \\ \chi^s \end{pmatrix}$$
 (1.75)

Die ϕ^s und χ^s sind 2-komponentige Spinoren:

$$\phi^{1/2} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} = \chi^{-1/2} \tag{1.76}$$

$$\phi^{-1/2} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \chi^{1/2} \tag{1.77}$$

Strom:

$$j^{\mu} = \begin{pmatrix} \rho \\ \vec{j} \end{pmatrix} = \overline{\psi} \gamma^{\mu} \psi$$

mit dem 'adjungierten' Spinor:

$$\overline{\psi}=\psi^{\dagger}\gamma^{0}.$$

Stromerhaltung: $\partial^{\mu} j_{\mu} = 0$

$$\psi^{\dagger} = \psi^{T*}$$

12

γ-Matrizen

• die γ^{μ} 4 × 4-Matrizen sind, die den Anti-Kommutator-Relationen

$$\{\gamma^{\mu}, \gamma^{\nu}\} = \gamma^{\mu}\gamma^{\nu} + \gamma^{\nu}\gamma^{\mu} = 2g^{\mu\nu} \cdot I \tag{1.66}$$

genügen ($I = 4 \times 4$ -Einheitsmatrix).

Eine Darstellung der γ -Matrizen ist:

$$\gamma^0 = \begin{pmatrix} I & 0 \\ 0 & -I \end{pmatrix}; \quad \gamma^k = \begin{pmatrix} 0 & \sigma^k \\ -\sigma^k & 0 \end{pmatrix}, \ k = 1, 2, 3. \tag{1.67}$$

Dabei sind die Elemente der Matrizen in (1.67) 2×2-Matrizen:

$$I = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}; \ \sigma^1 = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}; \ \sigma^2 = \begin{pmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{pmatrix}; \ \sigma^3 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}. \tag{1.68}$$

$$\gamma_5 = i\gamma^0 \gamma^1 \gamma^2 \gamma^3 \tag{8.18}$$

Siehe Skript in <u>Struktur der Materie c: Kern- und Elementarteilchenphysik:</u> (WS03/04)

Vierervektoren

$$p = \begin{pmatrix} E \\ p_x \\ p_y \\ p_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} p_0 \\ p_1 \\ p_2 \\ p_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E \\ (c)\vec{p} \end{pmatrix}$$
 (1.7)

$$x = \begin{pmatrix} t \\ x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_0 \\ x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (c)t \\ \vec{x} \end{pmatrix}$$
 (1.8)

$$m^2 = E^2 - \vec{p}^2 = E'^2 - \vec{p}'^2 \tag{1.6}$$

Metrik

$$x_{\mu}x^{\mu} = \sum_{\mu=0}^{3} x_{\mu}x^{\mu} \tag{1.11}$$

Man nennt

$$x_{\mu} = \begin{cases} x^{0} & \mu = 0 \\ -x^{\mu} & \mu = 1, 2, 3 \end{cases}$$

den 'kovarianten' und x^{μ} den 'kontravarianten' Vektor. Beide sind durch den 'metrischen Tensor'

$$(g_{\mu\nu}) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix} = (g^{\mu\nu}) \tag{1.12}$$

über die Beziehungen

$$x_{\mu} = g_{\mu\nu}x^{\nu}; \qquad x^{\mu} = g^{\mu\nu}x_{\nu}$$
 (1.13)

verknüpft.

Die Masse läßt sich so durch das Skalarprodukt des Viererimpulses ausdrücken:

$$m^2 = p^2 = p_\mu p^\mu = p_0^2 - \vec{p}^2 = E^2 - \vec{p}^2$$
 (1.14)