

## 1.1 Einleitung

Ziele dieser Vorl:

Formulierung der Theorie des Standardmodells (SM)

(Quanten-) Feldtheorie, Feynmanregeln

Phänomenologie des SM

Einfache quantitative Aussagen herleiten

z.B. Wirkungsquerschnitte, Zerfallsraten  $\sim$  1. Ord. Stö.

Diskussion von Ideen zur Erweiterung des SM

Was diese Vorl nicht bietet

Quantenfeldtheorie ( $\rightarrow$  SS 2009;  $\sim$  6. Sem.)

Historische Entwicklung des SM ( $\rightarrow$  s. z.B. [Griffiths, S. 13-52])

Beschreibung der experimentellen Apparaturen + Daten

( $\rightarrow$  s. z.B. [Peskin])

als kleiner Appetizer:  $\rightarrow$  [einleitung.pdf]

$\hookrightarrow$  Teilchen; Wechselwirkungen; SM

## unbekannte Teile des SM

- Higgs- Boson  
gibt den anderen Teilchen Masse  
könnte schwer sein; exp. Suche läuft ( $E=mc^2$ )
- Massenspektrum der Neutrinos  $\nu$   
könnte Bedeutung für Expansionsrate des Universums haben  
viele Experimente zur Massenbestimmung

## Fragen, die über das SM hinausgehen

- Quantengravitation?  
wichtig z.B. in Innen von schwarzen Löchern
- (mathematische) Eleganz?  
warum drei Familien / verschiedene Ls / verschiedene Massen / ...
- SM bricht bei sehr hohen E zusammen  
Problem von "Divergenzen" in QFT-Rechnungen

## Ideen jenseits des SM

- Stringtheorie  
Teilchen  $\rightarrow$  Flächen + Vibrationen  $\swarrow$  exp. Nachweis?!  
 $\ni$  Quantengrav. (?) ;  $\exists$  zusätzliche Dimensionen
- Supersymmetrie  $\swarrow$  exp. Nachweis?!  
Teilchen  $\rightarrow$  2x Teilchen ; Fermionen  $\leftrightarrow$  Bosonen  
könnten "Dunkle Materie" sein
- GUT's  
mathemat. Struktur des SM vereinheitlichen / herleiten  
sagt z.B. Instabilität des Protons voraus  $\swarrow$  exp. Nachweis?!

## 1.2 Inventar des SM

4

→ offizielle Liste der Elementarteilchen + deren Eigenschaften:

Particle Data Group ; [pdg.lbl.gov](http://pdg.lbl.gov) → [ [pdgExamplePages.pdf](#) ]

Eigenschaften?

Masse

Lebensdauer bzw. Zerfallsrate

Zerfallskanäle (← bestimmt die Wdh des SM)

innere Struktur bzw. Quantenzahlen

Spin (Eigendrehimpuls)  $J$  (  $\left( \begin{array}{l} \text{Fermionen } \frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \dots \\ \text{Bosonen } 0, 1, \dots \end{array} \right)$  )

el. Ladung  $Q$  (in Einheiten von  $e$ )

Parität  $P = \pm 1$

Ladungskonjugation  $C = \pm 1$

Flavor-Quantenzahlen

Isospin  $I_3$  (  $= +\frac{1}{2} (u) , -\frac{1}{2} (d)$  )

Strangeness  $S$  (  $= -1 (s) , 0 (\text{sonst})$  )

Charmness  $C$  (  $= +1 (c) , \dots$  )

Bottomness  $B$  (  $= -1 (b) , \dots$  )

Topness  $T$  (  $= +1 (t) , \dots$  )

Leptonenzahl  $L$  (  $= +1 (e, \mu, \tau, \nu_e, \nu_\mu, \nu_\tau) , \dots$  )

Baryonzahl  $B$  (  $= +\frac{1}{3} (u, d, c, s, t, b) , \dots$  )

→ einige der Quantenzahlen sind bei allen Reaktionen  
exakt erhalten, einige nur in der starken W.

Antiteilchen?

Masse, Lebensdauer, Spin wie Teilchen

andere Quantenzahlen meist entgegengesetzt

Bezeichnung: z.B.  $\bar{p}, \bar{n}, \bar{\nu}_e, e^+, \mu^+, \dots$

Hadronen (unterliegen der starken W.)

Mesonen  $q\bar{q}$ -Systeme , z.B.  $\pi^+(u\bar{d}), K^0(d\bar{s}), \dots$  } viele!  
 Baryonen  $qqq$ -Systeme , z.B.  $p( uud), n( udd), \dots$  } → PDG

Leptonen (spüren starke W. nicht)

$e^-, \mu^-, \tau^- ; \nu_e, \nu_\mu, \nu_\tau$

### 1.3 Einheiten

früher: CGS (centimeter - gram - second)  
 → MKS (Meter - Kilogramm - Sekunde)  
 A (Ampere)

heute man setzt SI (Système International d'unités)

Energie SI:  $J = \frac{kg \cdot m^2}{s^2}$

Teilchenphys.:  $eV = 1.602 \cdot 10^{-19} J$   $CV = 1.602 \cdot 10^{-19} J$   
 $1 GeV = 10^9 eV$

Impuls SI:  $|p| = \frac{kg \cdot m}{s}$

Teilchenphys.:  $E = \sqrt{(mc)^2 + (\vec{p}c)^2}$   
 $\equiv \vec{p}_{neu} ; [\vec{p}_{neu}] = GeV$

Masse  $\equiv m_{neu} ; [m_{neu}] = GeV$

Geschwindigkeit  $v_{neu} = \frac{p_{neu}}{E} = \frac{p_{alt} \cdot c}{E} = \frac{v_{alt}}{c} = \beta_{alt}$

Lebensdauer  $[\tau] = s$

Zerfallsrate  $\Gamma \equiv \frac{1}{\tau} ; [\Gamma] = \frac{1}{s} \quad (neu: s.u.)$

Länge  $[l] = f_m = \text{fermi} = 10^{-15} m$

Wir wissen aus QM: Länge  $\hat{=} \text{Impuls}$

$\vec{p}_{alt} = \hbar \vec{k} = \hbar \frac{2\pi}{\lambda_{alt}} \vec{e}_k ; \hbar = \frac{h}{2\pi}$  ← Plancksche Konst.

$$l_{neu} \equiv \frac{\lambda_{alt}}{\hbar c}$$

$$\text{z.B. } \frac{f_m}{\hbar c} = \frac{10^{-15} m}{1.0546 \cdot 10^{-34} J \cdot s \cdot 2.9979 \cdot 10^8 m/s} = \frac{1}{197.3 MeV}$$

$$(\Rightarrow GeV \cdot f_m \approx 5 \hbar c)$$

Zerfallsrate  $\Gamma_{neu} \equiv \hbar \Gamma_{alt} ; \text{z.B. } \frac{\hbar}{10^{-23} s} = \frac{10^{23}}{s} \cdot 1.0546 \cdot 10^{-34} J \cdot s = 65.8 MeV$

Temperatur  $T_{neu} \equiv k_B T_{alt} ; \text{z.B. } 10^4 K \cdot k_B = 10^4 K \cdot 1.38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K} = 0.861 eV$

$\Rightarrow$  ab jetzt: wir schreiben alle Gln. in den neuen Größen  
 alles hat Dimension von Energie

"natürliche Einheiten",  $\boxed{\hbar = c = k_B = 1}$