

Nachtrag zu χ_{SM} → slide: "finde aco "

λ^a : 8 Gell-Mann - Matrizen, Erzeugende der $SU(3)$
hermitesch, spurfrei $[\lambda^a, \lambda^b] = 2if^{abc}\lambda^c$

$$\lambda^1 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad \lambda^2 = \begin{pmatrix} 0 & -i & 0 \\ i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad \lambda^3 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$\lambda^4 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad \lambda^5 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & -i \\ 0 & 0 & 0 \\ i & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad \lambda^6 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

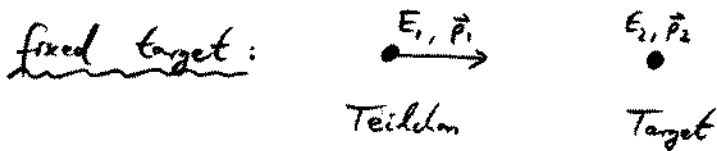
$$\lambda^7 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -i \\ 0 & i & 0 \end{pmatrix} \quad \lambda^8 = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -2 \end{pmatrix}$$

$$\text{Sp}(\lambda^a \lambda^b) = 2\delta^{ab}, \quad \sum_{a,c} \lambda^a_{bc} \lambda^a_{cd} = \frac{16}{3} \delta_{bd}$$

Nachweis wie "findet" man Teilchen?

mit misst man deren Eigenschaften? (Masse, Lebensdauer, ...)

→ slide: Teilchenbeschleuniger



+ leicht realisierbar (große Trefferrfläche)

- geringe Stoßenergie

$$(E_1 + E_2)^2 - (\vec{p}_1 + \vec{p}_2)^2 = (E_1 + m_2)^2 - \vec{p}_1^2 = m_1^2 + m_2^2 + 2E_1 m_2 \equiv s$$

$$E_1 \gg (m_1, m_2) \Rightarrow \sqrt{s} \approx \sqrt{2E_1 m_2}$$

Bsp: Proton ($m_1 = 938 \text{ MeV}/c^2$, $E_1 = 1 \text{ TeV}$) auf Proton ($m_2 = m_1$)
 $\Rightarrow \sqrt{s} = 43 \text{ GeV}$

Tab. 3.3 Liste einiger im Betrieb oder im Bau befindlicher Teilchenbeschleuniger und Speicherringe.

Name	Ort	Teilchen	Max. Strahl- energie/GeV	Fertig- stellung	Umfang/ Länge
<i>Protonen-Synchrotrons (fixed target)</i>					
CERN PS	Genf, Schweiz		28	1960	
BNL AGS	Brookhaven, USA		32	1960	
KEK	Tsukuba, Japan		12	1976	3.0 km
Serpukhov	Serpukhov, UdSSR		76	1967	
→ CERN SPS	Genf, Schweiz		450	1976	6.9 km
→ Fermilab Tevatron	Batavia, USA		900	1982	6.3 km
<i>Elektronenbeschleuniger</i>					
SLAC Linearbeschleuniger	Stanford, USA		20	1966	3.0 km
DESY-Synchrotron	Hamburg, BRD		7	1964	0.29 km
<i>Speicherringe (collider)</i>					
SPEAR	Stanford, USA	e^+e^-	4.2 + 4.2	1972	0.23 km
DORIS II	DESY, Hamburg	e^+e^-	5.6 + 5.6	1974/82	0.29 km
PETRA	DESY, Hamburg	e^+e^-	23 + 23	1978	2.3 km
→ PEP (als PEP-II 3.1+9)	Stanford, USA	e^+e^-	15 + 15	1980	2.2 km
CESR	Cornell, USA	e^+e^-	8 + 8	1979	0.77 km
TRISTAN	Tsukuba, Japan	e^+e^-	30 + 30	1986	3.0 km
→ LEP (bis Nov. 2000)	CERN, Schweiz	e^+e^-	104 50 + 50 104	1989	26.7 km
SpS	CERN, Schweiz	$p\bar{p}$	310 + 310	1982	6.3 km
→ Tevatron	Fermilab, USA	$p\bar{p}$	1000 900 + 900 1000	1987	6.3 km
→ HERA	Hamburg, BRD	ep	30e + 820p	1990	6.3 km
SSC	Dallas, USA	pp	20000 + 20000	→ 1998	87.1 km
LHC	CERN, Schweiz	pp	7000 + 7000	2007	26.7 km
?	?	$\mu^+\mu^-$	>2000 + >2000	?	- einige km
<i>Linearbeschleuniger mit kollidierenden Strahlen</i>					
SLC	Stanford, USA	e^+e^-	50 + 50	1988	3.0 km
NLC, TESLA	?	e^+e^-	250 + 250	?	30. km



- (fokussierte) Strahlen müssen sich treffen (kleine Trefffläche)

+ hohe Stoßenergie

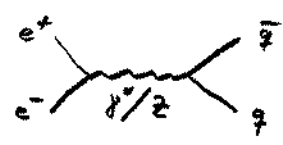
$$(E_1 + E_2)^2 - (\vec{p}_1 + \vec{p}_2)^2 = m_1^2 + m_2^2 + 2E_1 E_2 + 2|\vec{p}_1 \vec{p}_2| \approx s$$

Bsp: Proton auf Proton mit je $E_1 = E_2 = 0.5 \text{ TeV}$

$$\Rightarrow s \approx 1 \text{ TeV}, \text{ d.h. } \sqrt{s} \approx 2\sqrt{E_1 E_2}$$

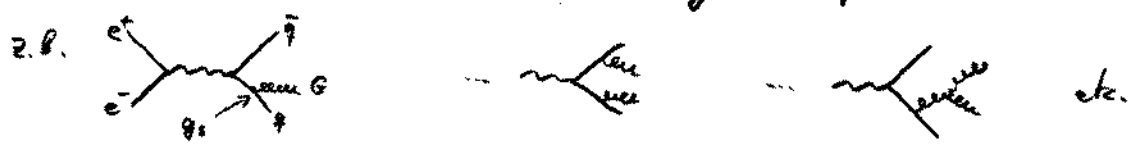
QCD in Collider-Experimenten

- e^+e^- grundlegender Prozess



hängt noch nicht von QCD ab (wohl aber von Farbladung: $\bar{q}, q \times 3$)

QCD kommt bei Prozessen höherer Ordnung ins Spiel

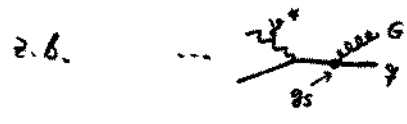


- ep grundlegender Prozess



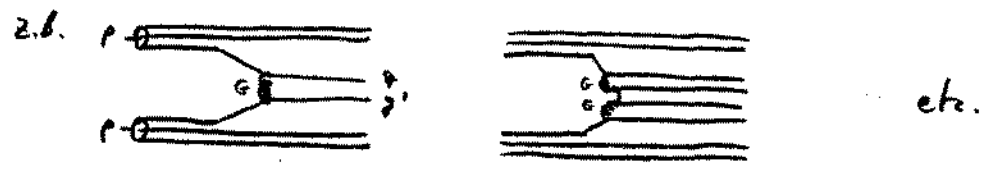
auch QCD-unabhängig.

QCD wichtig bei Gluon-Abschaltung, analog e^+e^-

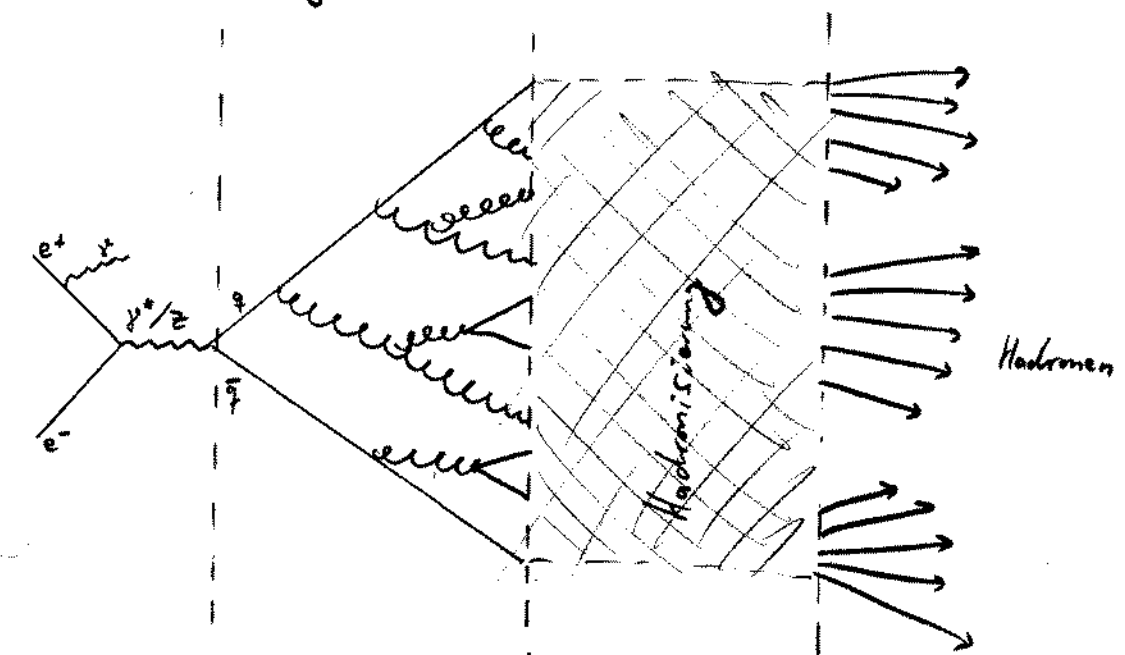


- pp bzw. $p\bar{p}$

hier ist QCD immer mit von der Partie.



Hadronisierung



	<u>(QCD) Theorie</u>	Relation?	<u>Experiment</u>
	Partonen	phänomenologische Modelle	Hadronen
Vernichtung	Parton-Kaskade		
Bremsstrahlung	volle Rechnung	+ Parameter-anpassung	
	log. Näherung ...	+ Untersuchung der Hadronisierung	
	Renormierung		

Quantitative Tests des SM

→ solides
"global fits"

"beyond SM" (hier: zwei Beispiele)

11

NMSSM New Minimal Standard Model (Murayama et al.)

Versucht eine minimale Erweiterung des SM

um neue experimentelle Erkenntnisse einzubeziehen

→ viele (offene) theoretische Fragen ... extremes Fräsewerk der Parameter...

• dunkle Materie

→ 1 reelles Klein-Gordon Feld S Higgs

$$\mathcal{L} = \frac{1}{2}(\partial_\mu S)(\partial^\mu S) - \frac{1}{2}m_S^2 S^2 - \frac{\kappa}{2}|H|^2 S^2 - \frac{\lambda}{4!} S^4$$

• dunkle Energie

→ 1 kosmolog. Term: "kosmologische Konstante" Λ

$$\mathcal{L} = (2.3 \times 10^{-3} \text{ eV})^4$$

• Neutrino-Massen und -Mischungen

Baryon-Asymmetrie

→ rechtshänd. (Majorana) Neutrinos

$$\mathcal{L} = \bar{N}_\alpha i \not{\partial} N_\alpha - \left(\frac{M_\alpha}{2} N_\alpha N_\alpha + L_V^{\alpha i} N_\alpha L_i \tilde{H} + \text{c.c.} \right)$$

$$\tilde{H} = i\sigma_2 H^*$$

• Dichte-Fluktuationen des Universums (→ CMB)

→ Inflation. 1 reelles Klein-Gordon Feld φ "Inflaton"

$$\mathcal{L} = \frac{1}{2}(\partial_\mu \varphi)(\partial^\mu \varphi) - \frac{1}{2}m^2 \varphi^2 - \frac{\kappa}{3!} \varphi^3 - \frac{\lambda}{4!} \varphi^4$$

+ (renormierbare) Kopplungen

$$-\mathcal{L} = g_1 \varphi |H|^2 + g_2 \varphi S^2 + g_3 \varphi^2 |H|^2 + g_4 \varphi^2 S^2 + (g_{\alpha\beta}^{\alpha\beta} \varphi N_\alpha N_\beta + \text{c.c.})$$

((• gehen aus von SM + Θ -Term + klass. Gravitation))

MSSM Minimal Supersymmetric Standard Model

→ slides. $\mathcal{L}_{\text{MSSM}} \sim 22$ Seiten (!)

aber: theore. Berechnungen möglich (+ durchgeführt),

z.B. 2-Schleifen Korrekturen zur Higgs-Masse (→ LHC!)