Die Berechnung von Schwellenkorrekturen im Exzeptionellen Supersymmetrischen Standardmodell (E_6SSM)

Alexander Voigt

Technische Universität Dresden
Institut für Kern- und Teilchenphysik

Maria Laach
07.–17. September 2010

Inhalt

1. Das Exzeptionelle Supersymmetrische Standardmodell (E_6SSM)
    - Modellmotivation
    - Modelldefinition
    - Eingeschränktes Modell (cE_6SSM)
2. Was sind Schwellenkorrekturen und warum benötigen wir sie?
3. Prozedur zur Berechnung von Schwellenkorrekturen
    - Matching-Bedingungen
    - Schwellenkorrektur für die starke Kopplung g_3
4. Ergebnisse
5. Zusammenfassung und Ausblick

Motivation durch String-Theorie

[F. del Aguila, G. A. Blair, M. Daniel, G. G. Ross, Nucl.Phys.B272 (1986)]

Heterotische String-Theorie

$E_8 \times E_8'$

$\Big\downarrow$ Kompaktifizierung

$E_6 \times E_8'$

$\Big\downarrow$ Entkopplung

$E_6 +$ sanfte SUSY-Brechung

Motivation durch das μ-Problem

MSSM-Superpotential:

$$\mathcal{W}_{\text{MSSM}} = \mu H_d H_u - h^u_{ij}(H_u Q_i)u^c_j - h^d_{ij}(H_d Q_i)d^c_j - h^e_{ij}(H_d L_i)e^c_j$$

- bilinearer Term $\mu H_d H_u$ gegenwärtig vor SUSY-Brechung
- Modell-Definition an hoher Energieskala $M_X \to \mu \approx M_X$
- Aber aus EWSB-Bedingungen folgt

$$\frac{1}{2}m_Z^2 = \frac{m^2_{H_d} - m^2_{H_u}\tan^2\beta}{\tan^2\beta - 1} - \mu^2$$

daher muss $\mu \sim m_Z$, damit $v = 174\,\text{GeV}$

[D. J. H. Chung et Al. Phys.Rept.407 (2005)]

[S. F. King, S. Moretti, R. Nevzorov, Phys.Rev.D73:035009 (2006)]

Definition des E_6SSM

Supersymmetrische Eichtheorie basierend auf E_6 Eichgruppe; gebrochen an GUT-Skala

$$E_6 \to SU(3)_\mathrm{c} \times SU(2)_\mathrm{L} \times U(1)_Y \times U(1)_N$$

$U(1)_N$ gebrochen oberhalb der elektroschwachen Skala

$$SU(3)_\mathrm{c} \times SU(2)_\mathrm{L} \times U(1)_Y \times U(1)_N \\ \longrightarrow SU(3)_\mathrm{c} \times SU(2)_\mathrm{L} \times U(1)_Y$$

Definition des E_6SSM – Materieinhalt

Materieinhalt

- 3 vollst. fundamentale 27-Multipletts $(\mathbf{27})_i$ der E_6
- 2 higgsartige Dubletts H', $\overline{H'}$ aus $(\mathbf{27})'$, $(\overline{\mathbf{27}})'$
- Vektorsuperfelder aus adjungierter Darstellung der $SU(3)_\mathrm{c} \times SU(2)_\mathrm{L} \times U(1)_Y \times U(1)_N$

Q_i, u_i^c, d_i^c, L_i, e_i^c, n_i^c	Standardmodell-Felder
S_i	$U(1)_N$ Singulettfelder
H_{1i}, H_{2i}	higgsartige Felder
X_i, $\overline{X}_i$	exotische farbige Felder (Diquarks/ Leptoquarks)
H', $\overline{H'}$	extra higgsartige Dubletts
V^Y, $\vec{V}^W$, V_g^a, V^N	Eichbosonen, Gauginos

Näherungen des Superpotentials:

- $Z_2^{B/L}$-Symmetrie (analog zu R-Parität) und (näherungsweise) Z_2^H-Symmetrie um Protonzerfall und FCNC zu unterdrücken
- Ausintegrieren von n_i^c, H', $\overline{H'}$
- nur dominante Terme

$\Rightarrow$

$$\mathcal{W}_{\mathrm{E_6SSM}} \approx h_t(H_u Q)t^c + h_b(H_d Q)b^c + h_\tau(H_d L)\tau^c \\ + \lambda_i S_3(H_{1i}H_{2i}) + \kappa_i S_3(X_i \overline{X}_i)$$

Bem.: $\mu H_{1i} H_{2i}$ verboten durch $U(1)_N$ Eichsymmetrie

Eingeschränktes Exzeptionelles Supersymmetrisches Standardmodell cE_6SSM

[P. Athron, S. F. King, D. J. Miller, S. Moretti, R. Nevzorov, Phys.Rev.D80:035009 (2009)]

eingeschränktes Modell definiert durch Massenuniversalität bei M_X:

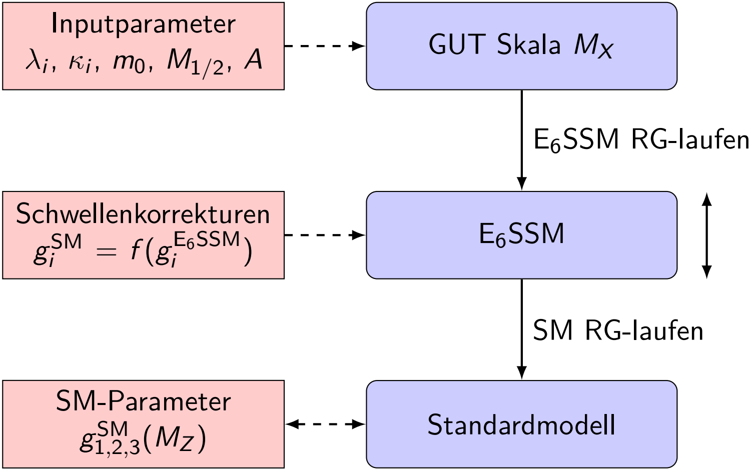
$$\begin{aligned} \text{Skalar-Massen} &= m_0, \\ \text{Gaugino-Massen} &= M_{1/2}, \\ \text{trilineare Kopplungen} &= A \end{aligned}$$

Inputparameter für eingeschränktes Modell:

$$\begin{aligned} & \lambda_i(M_X), \kappa_i(M_X), m_0, M_{1/2}, A \\ \Leftrightarrow \quad & \lambda_i(M_X), \kappa_i(M_X), v, \tan\beta, \langle S_3 \rangle \end{aligned}$$

Ziel: präzisere Vorhersage der Teilchenmassen

Warum benötigen wir Schwellenkorrekturen?



Matching-Prozedur

Dominant: Eichkopplung g_3 der $SU(3)_\mathrm{c}$, weil $\beta_3^{1\mathrm{L}} = 0$

Lagrangedichte der vollen und effektiven Theorie:

$$\begin{aligned}
\mathcal{L}^{\mathrm{E_6SSM}} &= \mathcal{L}^{\mathrm{E_6SSM}}(\psi_i, \Psi_j; g_k) \\
&= \bar{q}(\mathrm{i}\not{D} - m_q)q + \sum_{i=1}^{2}\left(|D_\mu \tilde{q}_i|^2 - m_{\tilde{q}_i}^2 \tilde{q}_i^* \tilde{q}_i\right) + \cdots \\
\mathcal{L}^{\mathrm{SM}} &= \mathcal{L}^{\mathrm{SM}}(\hat{\psi}_i; \hat{g}_k) \\
&= \hat{\bar{q}}(\mathrm{i}\hat{\not{D}} - \hat{m}_q)\hat{q} + \cdots
\end{aligned}$$

wobei

$$\begin{aligned}
D_\mu &= \partial_\mu + \mathrm{i}g_3 T^a A_\mu^a \\
\hat{D}_\mu &= \partial_\mu + \mathrm{i}\hat{g}_3 T^a \hat{A}_\mu^a
\end{aligned}$$

Matching-Prozedur – Schritt 1

relative Feldrenormierung

relative Feldrenormierung zwischen leichten Feldern der vollen und effektiven Theorie

$$\hat{\psi}_i = \left(1 + \frac{1}{2} K_{\psi_i}\right) \psi_i$$

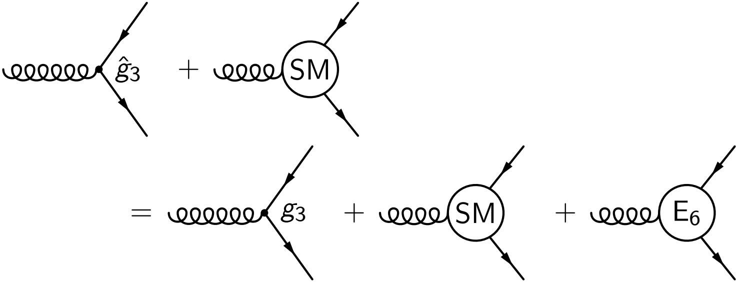
Matching-Prozedur – Schritt 2

Matching-Bedingung

Im Grenzfall $p = 0$ müssen alle 1-Teilchen-irreduziblen Greensfunktionen (und deren Ableitungen) mit leichten externen Feldern in der vollen und effektiven Theorie gleich sein.

$$\begin{aligned} \Gamma^{(m),\mathrm{E_6SSM}}_{\psi_1,\dots,\psi_n}\Big|_{p=0} &= \Gamma^{(m),\mathrm{SM}}_{\psi_1,\dots,\psi_n}\Big|_{p=0} \\ &= \left(1 + \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n} K_{\psi_i}\right) \Gamma^{(m),\mathrm{SM}}_{\hat{\psi}_1,\dots,\hat{\psi}_n}\Big|_{p=0} \end{aligned}$$

Ergebnis für starke Kopplung

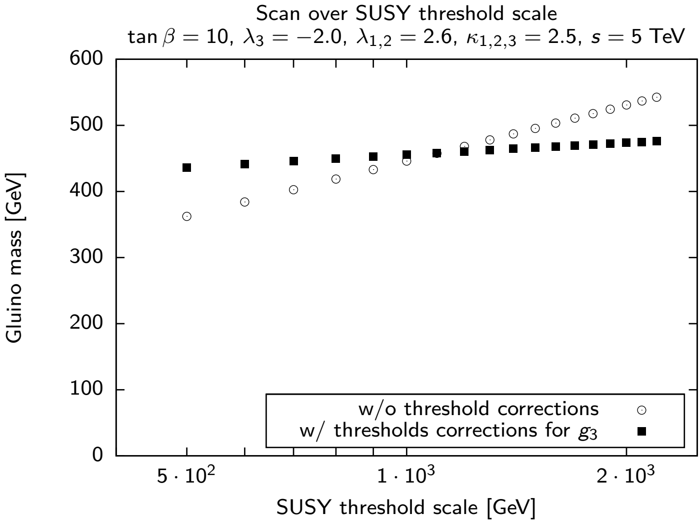


$\Rightarrow$

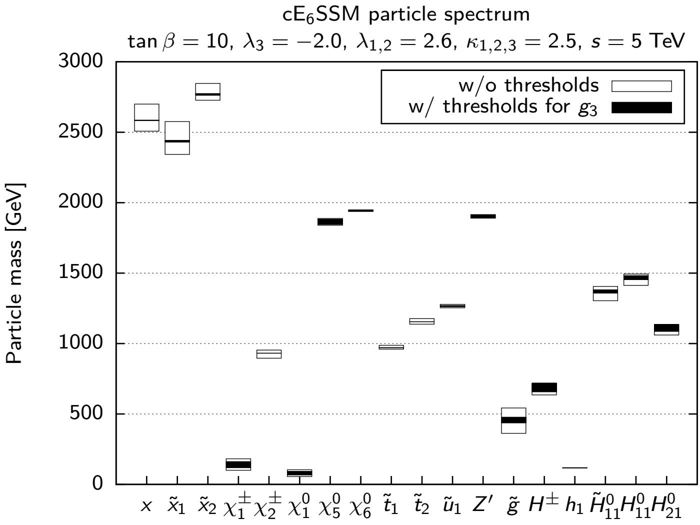
$$g_3^{\overline{\text{DR}}} = \hat{g}_3^{\overline{\text{MS}}} + \frac{\hat{g}_3^3}{(4\pi)^2}\left\{\frac{1}{2} - 2\log\left(\frac{m_{\tilde{g}}}{\mu}\right) - \frac{1}{6}\sum_{\tilde{q}}\log\left(\frac{m_{\tilde{q}}}{\mu}\right) - \frac{2}{3}\sum_{x}\log\left(\frac{m_x}{\mu}\right) - \frac{1}{6}\sum_{\tilde{x}}\log\left(\frac{m_{\tilde{x}}}{\mu}\right)\right\}$$

[J. L. Hall, Nucl.Phys.B178 (1981)]

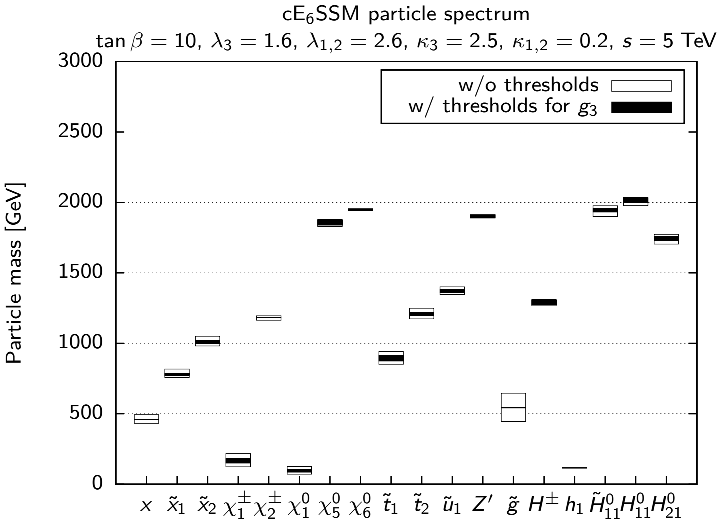
Matchingskala-Abhängigkeit



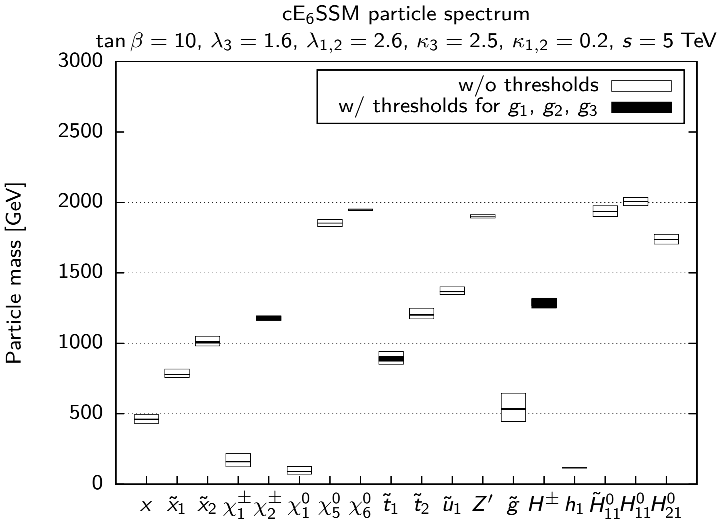
Matchingskala-Abhängigkeit



Matchingskala-Abhängigkeit



Matchingskala-Abhängigkeit



Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassung:

- (c)E_6SSM ist ein interessantes, wohl motiviertes Modell
- erste Studie von Schwelleneffekten im cE_6SSM
- Sehr breites Spektrum $\rightarrow$ Schwellenkorrekturen wichtig
- Schwellenkorrekturen reduzieren Abhängigkeit der Teilchenmassen von der Matchingskala

Ausblick:

Erhöhung der Präzision der Vorhersage der Teilchenmassen

- Berechnung von E_6SSM-Schwellenkorrekturen für Yukawa-Kopplungen
- Berechnung von Skalarmassen auf 2-Schleifenniveau
- Berechnung von Shifts zu Polmassen