Dynamical completions of generalized O'Raifeartaigh models

Lorenzo Di Pietro
(SISSA)

01-06-2012

(based on 1111 2307 by M Bertolini, LDP, F Porri)

Dynamical Susy Breaking:

$$M_{\cancel{SUSY}} = e^{-\frac{8\pi}{\beta_0 g^2}} M_{UV} \ll M_{UV}$$

scala generata dinamicamente dal

SETTORE NASCOSTO

(interazioni di gauge del SM/ gravità)

SETTORE VISIBILE

(qualche SSM)

Modello di O'Raifeartaigh (generalizzato)

* esempio semplice di $\cancel{\text{SUSY}}$
* molti modelli di DSB gli somigliano nell'IR [ISS (2006), ITIY (1996)]
* esempio "flessibile"

$$W = f X + (M_{ij} + X N_{ij}) \Phi^i \Phi^j + \mathcal{O}(\Phi^3)$$

$i, j = 1, \ldots, n$

$$\begin{cases} 0 = \partial_{\Phi^i} W = 2 (M_{ij} + X N_{ij}) \Phi^j + \mathcal{O}(\Phi^2) \\ 0 = \partial_X W = f + N_{ij} \Phi^i \Phi^j \end{cases}$$

se non c'è soluzione $\longrightarrow$ $\cancel{\text{SUSY}}$

minimo del potenziale: $\langle \Phi \rangle = 0$, $\langle X \rangle$ qualsiasi

$M^2_{\cancel{SUSY}} \sim f$

Obiettivo:

$$\boxed{W = fX + (M_{ij} + XN_{ij})\,\underline{\Phi}^i\,\underline{\Phi}'^j + \dots} \qquad \boxed{SSM}$$

DIRECT
GAUGE
MEDIATION

$\longrightarrow$ capire quali O'R hanno buone caratteristiche (condizioni su M & N)

$\longrightarrow$ cercare modelli di DSB che li ammettano come limite di bassa energia

Genericamente: $\cancel{SUSY}$ RICHIEDE $U(1)_R$ [Nelson Seiberg (1994)]

SENZA SIMMETRIE $\longrightarrow$ $\left.\begin{array}{l}\partial_X W = 0\\ \partial_{\Phi_i} W = 0\end{array}\right\}$ $n+1$ eq & $n+1$ incognite

$\Longrightarrow$ SUSY

CON $U(1)$: $\Phi_i' = \Phi_n^{-\frac{q_i}{q_n}} \Phi_i$ $\longrightarrow$ $\left.\begin{array}{l}\partial_X W = 0\\ \partial_{\Phi_i'} W = 0\end{array}\right\}$ n eq & n incognite

$i = 1, \ldots, n-1$

$\Longrightarrow$ SUSY

CON $U(1)_R$: $X' = \Phi_n^{-\frac{2}{R_n}} X$, $\quad \Phi_i' = \Phi_n^{-\frac{R_i}{R_n}} \Phi_i$ $\longrightarrow$ $\left.\begin{array}{l}\partial_{X'} W = 0\\ \partial_{\Phi_i'} W = 0\\ \& \; W = 0\\ (\text{perché } R(W) = 2)\end{array}\right\}$ $n+1$ eq & n incognite

$\Longrightarrow$ $\cancel{SUSY}$

Problemi con $U(1)_R$

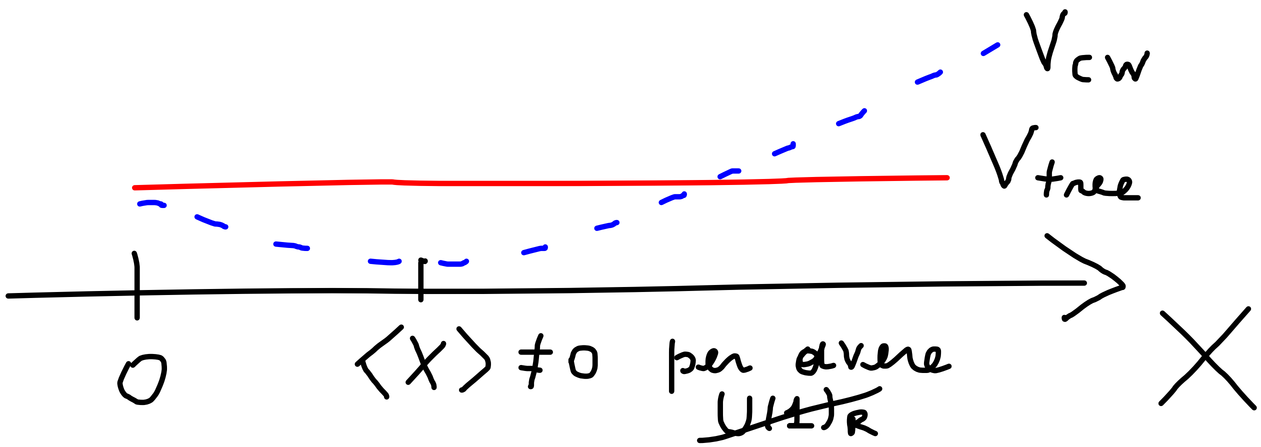
$$\boxed{W = fX + (M_{ij} + XN_{ij})\,\underline{\Phi}'\underline{\Phi}' + \ldots} \quad \sim\sim \quad \boxed{SSM}$$

DIRECT GAUGE MEDIATION

↳ $U(1)_R$ vieta una massa di Majorana ai gaugini ($M\lambda\lambda + c.c.$)

I^a Richiesta vogliamo un $O'R$ tale che $\cancel{U(1)}_R$ spontaneamente

Vuoti ~~SUSY~~ al tree-level: $\langle \Phi \rangle = 0$, $\langle X \rangle$ generico $\rightsquigarrow$ pseudo-modulo



<u>Teorema di Shih:</u> [Shih (2007), Curtin, Komargodski, Shih, Tsai (2012)]

$$R\begin{pmatrix}\text{ogni}\\ \text{campo}\end{pmatrix} \geq 0 \implies R \text{ <u>NON</u> rotta a 1 loop}$$

ci serve $R\begin{pmatrix}\text{qualche}\\ \text{campo}\end{pmatrix} < 0$!

Gaugino Screening

anche $\cancel{U(1)}_R$ può non bastare per evitare

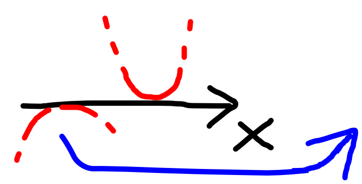
$$m_{\tilde g} \ll m_{\tilde f}$$

usando "analytic continuation into superspace"

$$m_{\tilde g} \propto F_X^* \frac{\partial}{\partial X} \log \det (M + XN) + \text{ordini più alti in } F/M^2 \ll 1$$

$$m_{\tilde f} \propto \mathcal{O}(F/M^2) \Longrightarrow \text{se } \frac{\partial}{\partial X}(\quad) = 0, \quad m_{\tilde g}/m_{\tilde f} \ll 1$$

[Komargodski, Shih (2009)]

* serve che  ci siano regioni dello p m INSTABILI

[Cheung, Fitzpatrick, Shih (2008)]

$* \; \frac{\partial}{\partial X} \log \det (M + XN) \neq 0$ richiede $\det M = 0$

II^a Richiesta: vogliamo O'R con $\det M = 0$

TIPICAMENTE

$R\left(\begin{smallmatrix}\text{qualche}\\ \text{campo}\end{smallmatrix}\right) < 0$ &

$\nearrow$ $\det M \neq 0 \longleftrightarrow$ instabilità per grandi $\langle X \rangle$

$\searrow$ $\det M = 0 \longleftrightarrow$ instabilità vicino $\langle X \rangle = 0$

IL PROBLEMA DIVENTA: esistono modelli di DSB

che nell'IR è O'R con: $\frac{\mathrm{I}^a}{\mathrm{II}^a}$ Richiesta ?

RISPOSTA NON BANALE: sia ISS che IT-IY nell'IR hanno $R \geq 0$ & $\det M \neq 0$!

Modello di I.T.-I.Y. (1996) e generalizzazioni [Chacko, Luty, Ponton (1998)]

$Usp(N_c)$ gauge theory con $N_f = N_c + 1$ flavors $Q_{i=1,\ldots,2N_f}$

$+$ singoletti $S_{ij} = -S_{ji}$

$V^{ij} = Q^i Q^j$ "mesone" gauge inv, SPAZIO DEI MODULI CLASSICO $\quad \mathrm{Pf}\, V = 0$

$W_{tree} = \lambda S_{ij} Q^i Q^j \Rightarrow \langle Q^i \rangle = 0, \langle S_{ij} \rangle$ qualsiasi

SPAZIO DEI MODULI QUANTISTICO : $\quad \mathrm{Pf}\, V = \Lambda^{2N_f}$

incompatibile con F-eqtns $\Rightarrow$ D.S.B.

Simmetria di Flavor: $SU(2N_f) \longrightarrow SU(2)^{N_f}$

in un punto generico di $\{Pf\, V = \Lambda^{2N_f}\}$

Espansione attorno a enhanced symmetry point: $\left\{\begin{array}{l} V = \Lambda(V_0 J + V') \\ S = S_0 J + S' \end{array}\right\}$ $Usp(N_f)$ simmetria residua

Risolvo il constraint per V_0 all' $\mathcal{O}(V'^2)$

$$\mathcal{W}_{eff} = f S_0 + h S_0 \operatorname{Tr}[JV'JV'] - \lambda \Lambda \operatorname{Tr}[S'V'] + \mathcal{O}(S_0 V'^3)$$

$(f \propto \lambda \Lambda^2, h \propto \lambda)$

$X \leftrightarrow S_0$, $\Phi \leftrightarrow (S', V')$: $O'R$ con $R \geq 0$, $\det M \neq 0$!

Ci servono modifiche

ITIY modificato

Strategia $\quad Usp(N_f)\times U(1)_{R\geq 0} \longrightarrow G\times U(1)_{R'}$ qualsiasi

sotto $G\subset Usp(N_f)$ $\quad \begin{cases} V' = (V_1, \ \ , V_K) \\ S' = (S_1, \ \ , S_K) \end{cases}$

$$\mathcal{W}_{eff} = \underbrace{f S_0}_{\displaystyle fX} + \underbrace{S_0 h C^{IJ} V_I V_J}_{\displaystyle X N_{ij} \Phi_i \Phi_j} - \underbrace{\lambda_I \Lambda S^I V_I}_{\displaystyle M_{ij} \Phi^i \Phi^j} \ , \quad I,J = 1, \ \ , K$$

$\Rightarrow \det N = 0 \neq \det M$

ⓐ: Aggiungo $\delta \mathcal{W} = m_I S^{I\,2} \xrightarrow[\text{OUT}]{\text{INT}} \dfrac{\lambda_I \Lambda^2}{m_I} V_I^2$

$\Rightarrow$ ancora $\det M \neq 0$ ma $R'\left(\begin{smallmatrix}\text{qualche}\\ \text{campo}\end{smallmatrix}\right) < 0$ $\quad \left(\underset{+2}{h S_0} C^{IJ} \underset{+1\,-1}{V_I V_J} \right)$

ⓑ: Elimino $\cancel{S^I}$ $\Rightarrow \det M = 0$ $\qquad$ OK!

Modifiche $\rightarrow$ tornano vuoti SUSY?

a $\rightarrow$ runaway con $S_0 \to \infty$
b $\rightarrow$ runaway con $S_0 \to 0$

in accordo col comportamento dell' O'R

TIPICAMENTE

$R\left(\begin{smallmatrix}\text{qualche}\\ \text{campo}\end{smallmatrix}\right) < 0$ &

$\nearrow$ $\det M \neq 0 \leftrightarrow$ instabilità per grandi $\langle X \rangle$

$\searrow$ $\det M = 0 \leftrightarrow$ instabilità vicino $\langle X \rangle = 0$

Per avere un esempio concreto che funzioni

$\nearrow$ cosa succede nella teoria UV lungo il runaway?

$\rightarrow$ esiste a 1-loop un vuoto metastabile e longevo?

$\searrow$ le correzioni al Kahler sono controllabili?

Esempio: $G = SO(N_f)$

$$V' = \left(\begin{array}{c|c} V_1 & V_2 \\ \hline -V_2^T & V_3 \end{array}\right), \quad S' = \left(\begin{array}{c|c} S_1 & S_2 \\ \hline -S_2^T & S_3 \end{array}\right) \quad \left[\left(\begin{array}{c|c} \Theta & 0 \\ \hline 0 & \Theta \end{array}\right), \Theta \in SO(N_f) \right]$$

dopo qualche modifica $\rightsquigarrow$ $W_{eff} = f S_0 - 2h S_0 V_1 V_2 - \frac{\lambda_1^2 \Lambda^2}{2m_1} V_1^2$ } esempio più semplice che soddisfi I^a e II^a

Checks

→ La direzione del runaway dell'O'R è tale che si genera un ADS nell'UV ✓

→ Se $y = \frac{fh}{m_{V_1}^2} \lesssim 10^{-3}$ il CW stabilizza lo p.m in un vuoto $\not{R}$, parametricamente longevo ✓

↓

$$K = K_{diag} + \Lambda^2 \, G\left(\frac{hS_0}{\Lambda}, \frac{h^* S_0^\dagger}{\Lambda}\right):$$ correzioni soppresse rispetto a V_{CW} se $y \ll 1$ ✓

Riassumendo

Per evitare $\frac{m_{\tilde{g}}}{m_{\tilde{f}}} \ll 1$, serve che:

I^a: il settore nascosto sia $\cancel{U(1)}_R$

II^a: per un O'R nel limite $F/M^2 \ll 1$
serve anche $\det M = 0$

Abbiamo trovato un esempio di D.S.B. che a bassa energia realizza I^a e II^a] ITIY modificato con rottura esplicita
$Usp(N_f) \times U(1)_R \to G \times U(1)_{R'}$

DA NOTARE: esempio di vuoti metastabili ~~SUSY~~ in una teoria SQCD-like NON nella free-magnetic phase (come ISS)

Possibili Sviluppi

* Esempi con altri G, checks?

* Costruire un modello feno di GM con questo settore nascosto (spettro? Landau poles?)

* Trovare un esempio di D S B. in cui $U(1)_R$ sia emergente nell'IR (oltre a I^a e II^a)