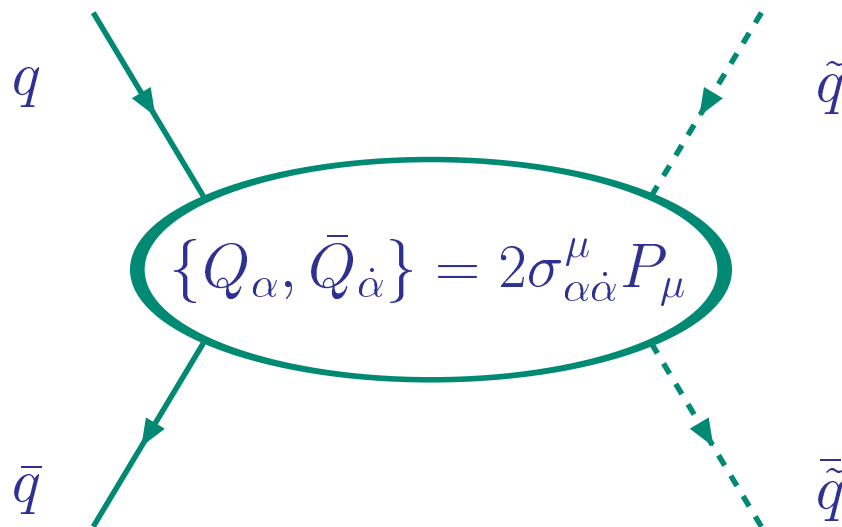


“Fenomenologia do MSSM com
conservação da paridade R ”



Marcos C. Rodriguez

*Universidade Federal do Rio Grande-FURG
Instituto de Matemática, Estatística e Física
Av. Itália, km 8, Campus Carreiros
96201-900, Rio Grande, RS
e-mail: marcosrodriguez@furg.br*

História:

Revisão da Teoria Quântica dos Campos

1967, Coleman e Mandula simetrias da matriz S

- Invariância de Poincaré, com geradores P_m M_{mn}

- Simetrias Globais “internas”, relacionadas à números quânticos conservados. Os geradores de tais simetrias geram uma álgebra de Lie:

$$[B_\ell, B_k] = iC_{\ell k}^j B_j$$

$C_{\ell k}^j$ constantes de estrutura.

- Simetrias Discretas: C, P e T

álgebra de simetria apenas comutadores

Proposta Teórica da Supersimetria

- Yu. Gol'fand & E. Lichtman (violação da Paridade) (1971)
- D. Volkov & V. Akulov (existem part. de goldstone de spin $(1/2)$?) (1972)
- J. Wess & B. Zumino (SUSY em 4 dim em cordas) (1974)

1975 Haag, Lopuszański e Sohnius supersimetria é a única simetria adicional permitida a matriz S se introduzimos anticomutadores como geradores de simetria

Consequências da Álgebra de SUSY

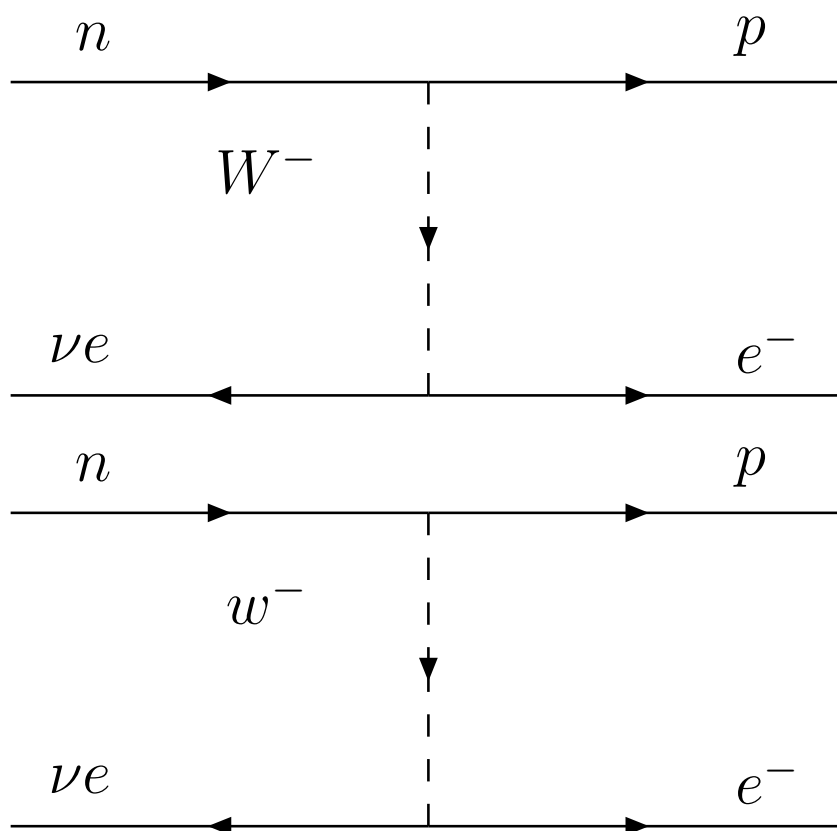
- 1** Cada supermultiplete contém o mesmo número de graus de liberdade fermiônicos e bosônicos
- 2** As massas de todos os estados em um supermultiplete são degenerados, logo as massas dos bósons e férmions pertencentes ao mesmo supermultiplete são iguais, assim como todos os outros números quânticos que o caracterizam → Isto implica que SUSY é quebrada

Revisão da Fenomenologia

- Modelo Padrão construído em 67, 68
- P.Fayet “SUSY in the early days inappropriate description of our world”
 1. Conhece-se mais férmions (18) do que bósons (8), Caminho do Octeto 1961
 - (a) Que bósons e férmions devem ser relacionados?
 - (b) Deve SUSY atuar à nível fundamental, isto é à nível de léptons, quarks e bósons de gauge?
 2. quark c descoberto em 1974
 3. lépton τ foi descoberto em 1976 (chargino?) em 1978 quark b
 4. em 1980 foi descoberto o bóson neutro Z^0

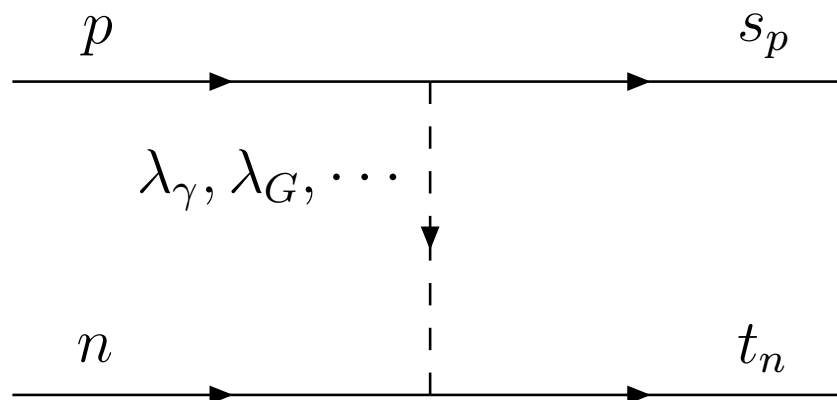
5. Como definir número bariônico e fermiônico em uma teoria que satisfaz SUSY?
 - (a) Férmions tipo Dirac conservam simetria $U(1)$ férmions de Majorana não
 - (b) Solução atribuir B e L para os superparceiros dos férmions.....
6. Como evitar interações indesejáveis entre os sférmions?
 - (a) Introduzir Paridade R
7. Como Quebrar SUSY? e o Goldstino?
 - (a) Solução fornecida por Girardello e Grisaru em 1982
8. Uso dos termos soft fazem estas questões irrelevantes

- Em 1975 P. Fayet relaciona o fóton com neutrinos e elétron com o W^- e constrói a primeira versão supersimétrica do Modelo Padrão (envolvia apenas uma família)
- Em 1976 P. Fayet inclui os quarks e glúons em seu modelo original
- Introduce Simetria R para evitar problemas no Decaimento do múon e β

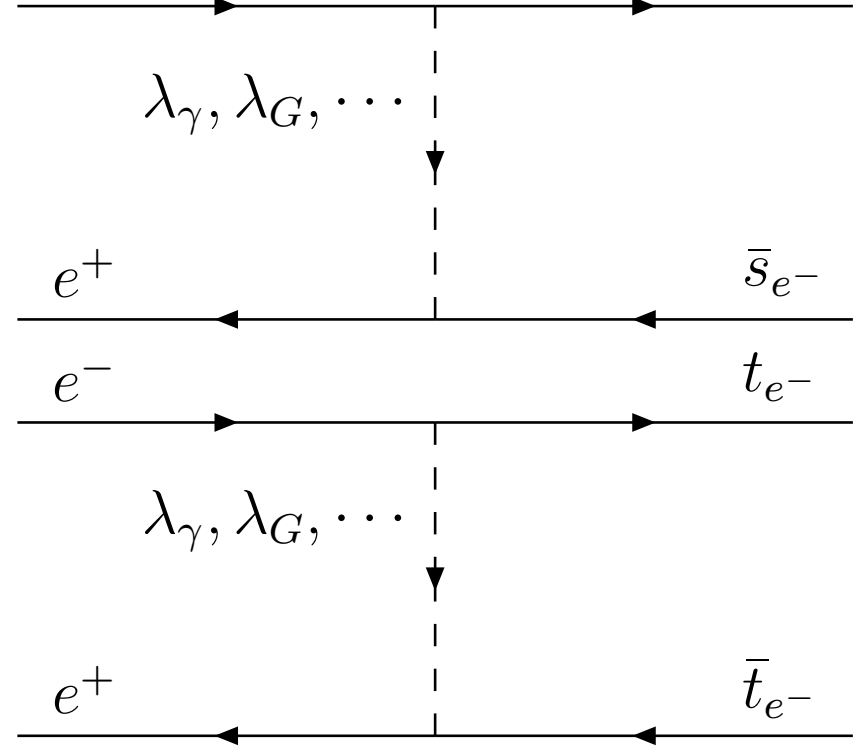
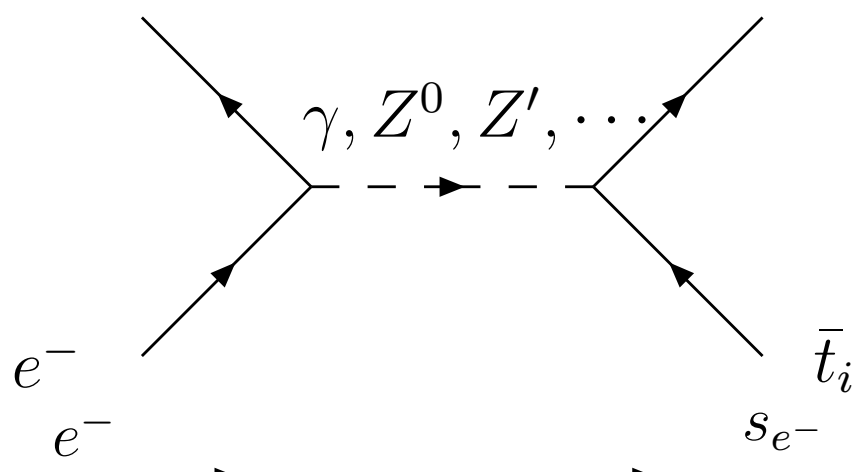
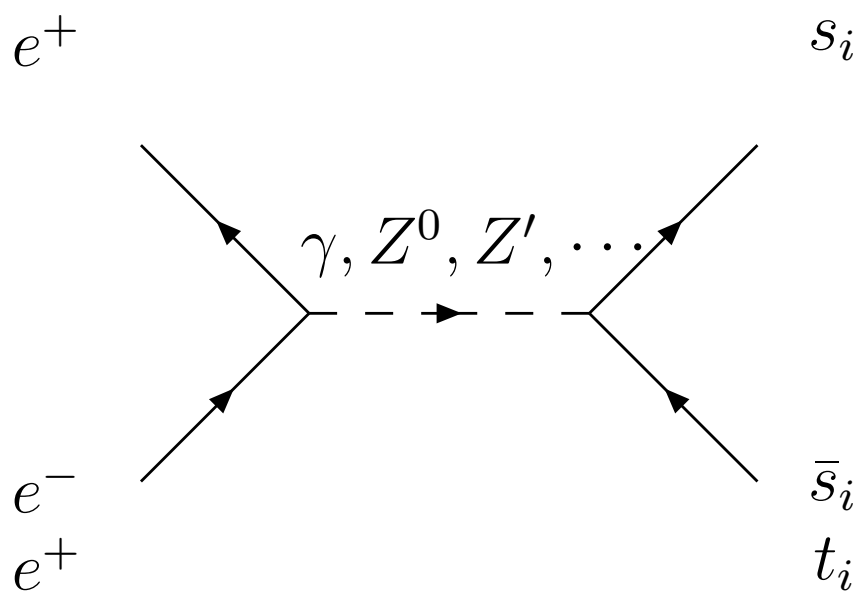


- Em 1977 P. Fayet
 - ν e e carregam número leptônico
 - γ e W não carregam número leptônico
 - Logo ν e γ não podem ser parceiros supersimétricos
 - Para solucionar o problema prevê
 1. fotino $\tilde{\gamma}$ (“neutrino” $\tilde{\gamma}$)
 2. gaugino \tilde{W} “Heavy Electron”
 3. sneutrino $\tilde{\nu}$
 4. selétron \tilde{e} (“septons” and “teptons”)
 5. squarks (“sarks” and “tarks”)
 6. gluinos (“gluon-neutrinos”)

- Traz estudos de busca por SUSY junto com G. Ferrar
 1. Introduz o conceito de "R"-hadrons (gluinos+quarks e glúons) em 1978
 2. Produção de squarks, gluinos e selétrons

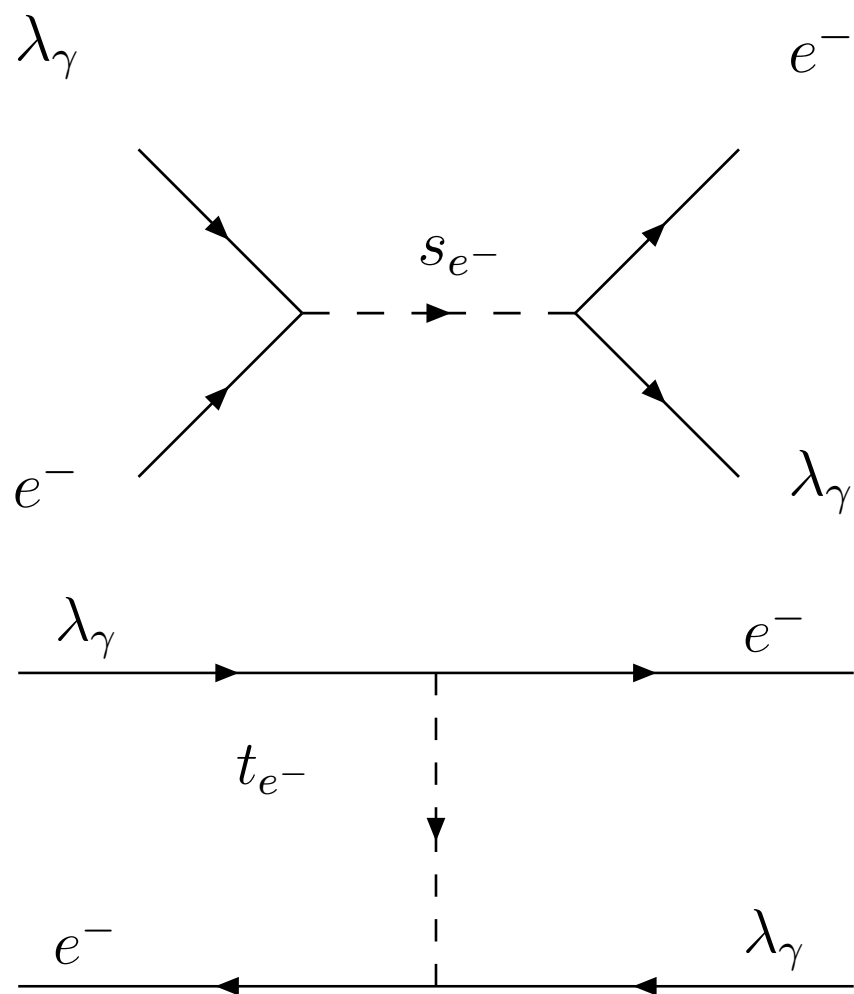


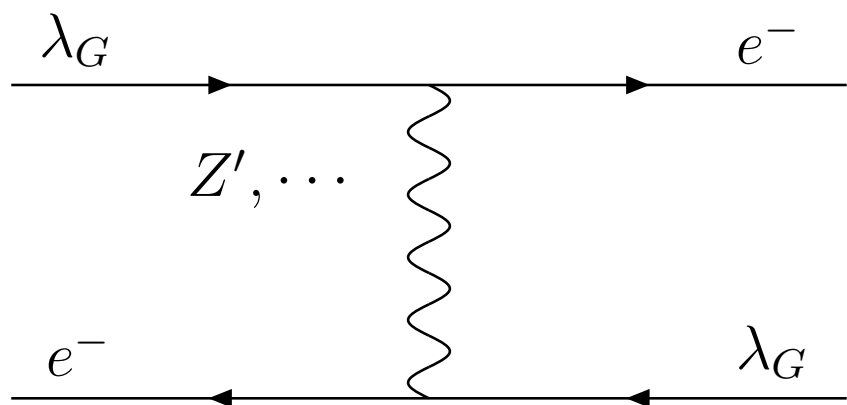
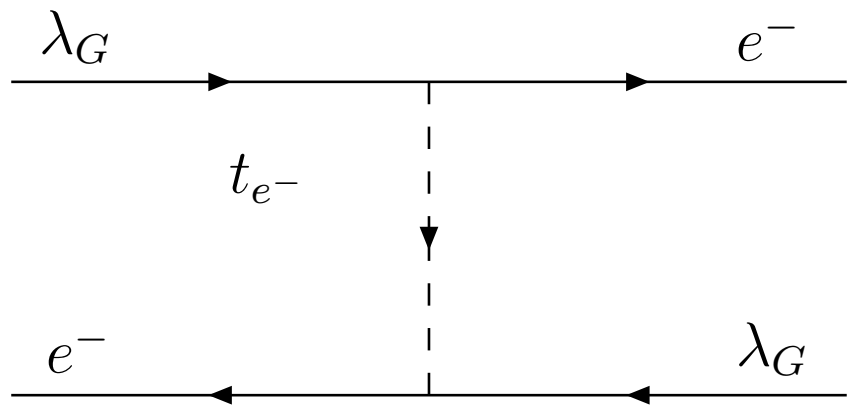
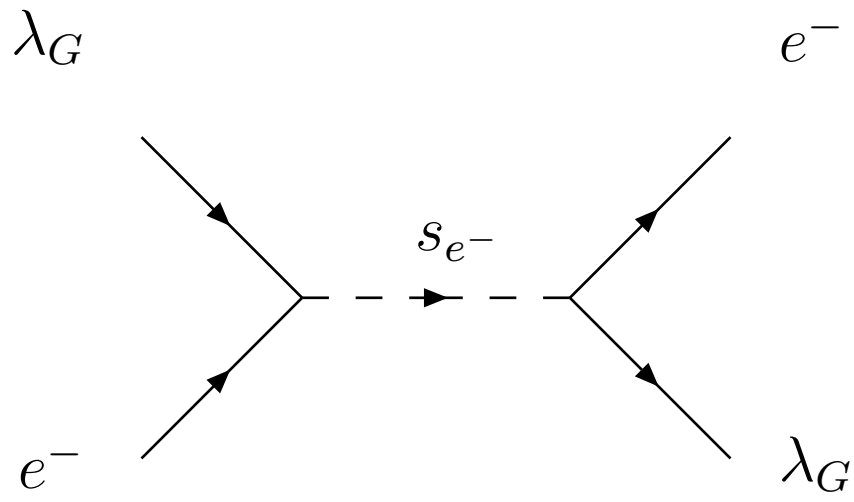
Este processo pode ser relevante para a evaporação de buracos Negros



- Primeiras buscas experimentais que procuraram gluínos, fotínos, selétrons em 1978-1980 (SPEAR, PETRA e LEP)
- P. Fayet relaciona paridade R com conservação de B e L no ano de 1978, o que implica que
 1. As spartículas só podem ser produzidas aos pares
 2. “Lighest Supersymmetric Particle” (LSP) é estável e candidato à “matéria escura”

Processos importantes para o resfriamento estelar





Evidências Indiretas de SUSY

- 1980 — Pode estabilizar a hierarquia das escalas de massas.
- 1982 — Proporciona uma explicação para o mecanismo de Higgs.
- 1982 — Unificação dos acoplamentos de Gauge.
- 1982 — Proporciona candidato para matéria escura fria.
- 1982 — Prediz que o quark top é pesado.
- 1992 — Pode explicar a assimetria bariônica do Universo.

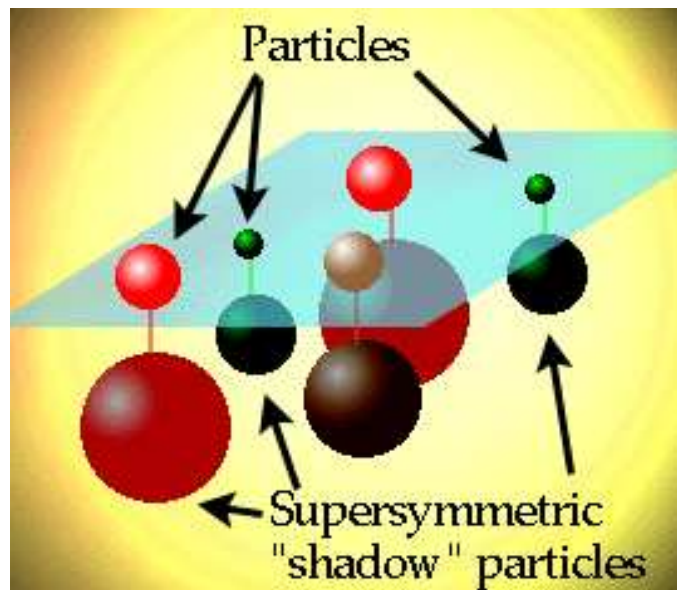
- 1993 — Bóson de Higgs leve em Teorias Supersimétricas.

1 ^o	1970-73	O nascimento
2 ^o	1974	Primeiras Teorias Quânticas
3 ^o	1975	Supersimetria Local, supergravidade
4 ^o	1979-83	Supersymmetria resolve vários problemas
5 ^o	2009	superparceiros serão observados experimentalmente

Motivação para estudar SUSY

1. Unifica bósons e férmions Gerador Q

$$Q|bóson \rangle = |\text{férmion} \rangle$$
$$Q|\text{férmion} \rangle = |bóson \rangle$$



As sombras do parceiros supersimétricos das partículas conhecidas

2. SUSY local unifica com a Gravidade (Supergravidade)

- *idéia geral* é a unificação de todas as forças da natureza

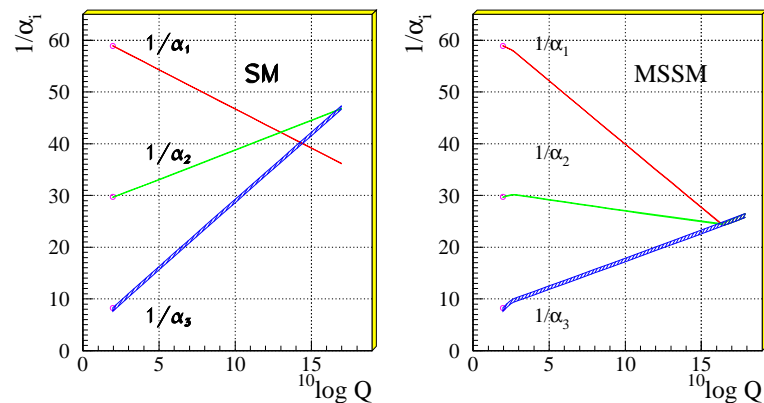
$$\text{spin}2 \rightarrow \text{spin}\frac{3}{2} \rightarrow \text{spin}1 \rightarrow \text{spin}\frac{1}{2} \rightarrow \text{spin}0$$

Teoria menos divergente que a gravitação quântica

3. Unifica as constantes de gauge

- *hipótese*: Todas as interações conhecidas são diferentes ramificações de uma única interação associada a um único grupo de Gauge. A Unificação ocorre a altas energias

Unification of the Coupling Constants
in the SM and the minimal MSSM



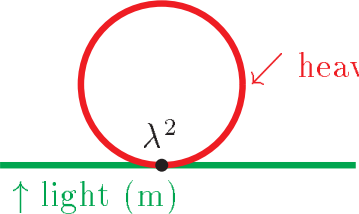
4. Soluciona o problema da hierarquia

O aparecimento de duas diferentes escalas $V \gg v$ em GUT leva a um problema conhecido como *problema da hierarquia*

$$\begin{aligned} m_H &\sim v \sim 10^2 \text{ GeV} \\ m_\Sigma &\sim V \sim 10^{16} \text{ GeV} \end{aligned}$$

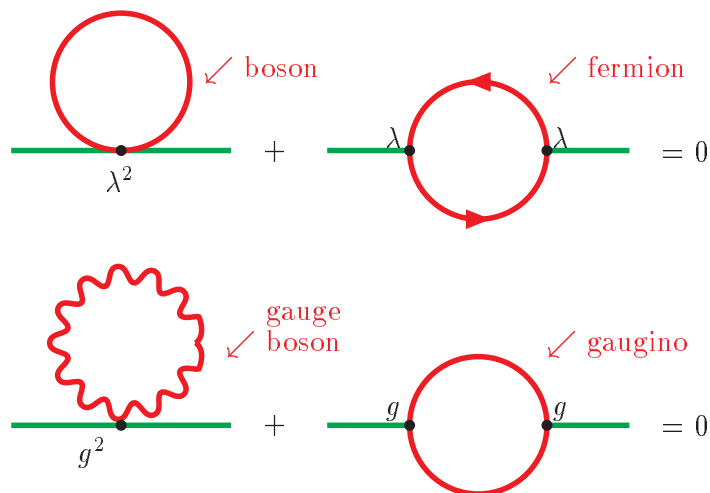
$$\frac{m_H}{m_\Sigma} \sim 10^{-14} \ll 1,$$

A correção na massa do Higgs do MP é


$$\Rightarrow \delta m^2 \sim \lambda^2 \cdot M^2$$

$\lambda \quad \lambda \quad \lambda$
 $10^2 \quad 10^{-1} \quad 10^{16}$

Mas em SUSY temos o higgsinos e teremos



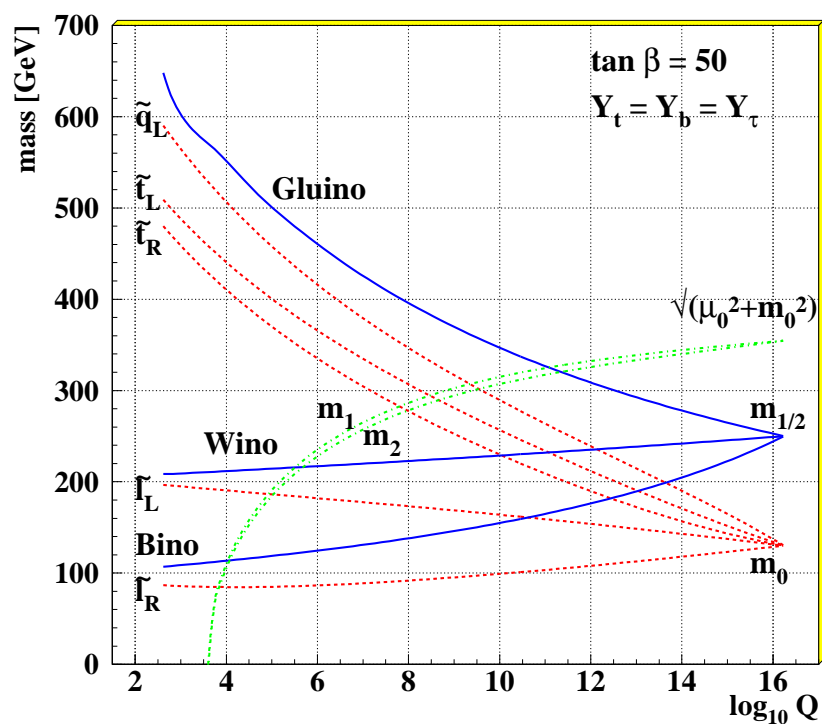
Cancelamento das divergências para a massa do escalar

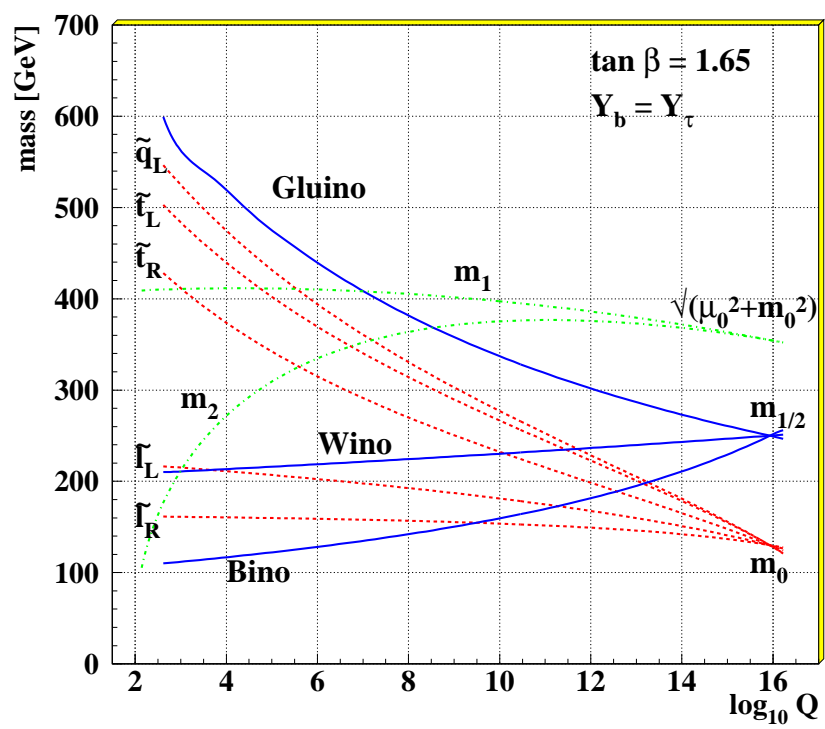
$$\sum_{bosons} m^2 - \sum_{fermions} m^2 = M_{SUSY}^2 \leq 1\text{TeV} \quad (1)$$

Higgs Boson

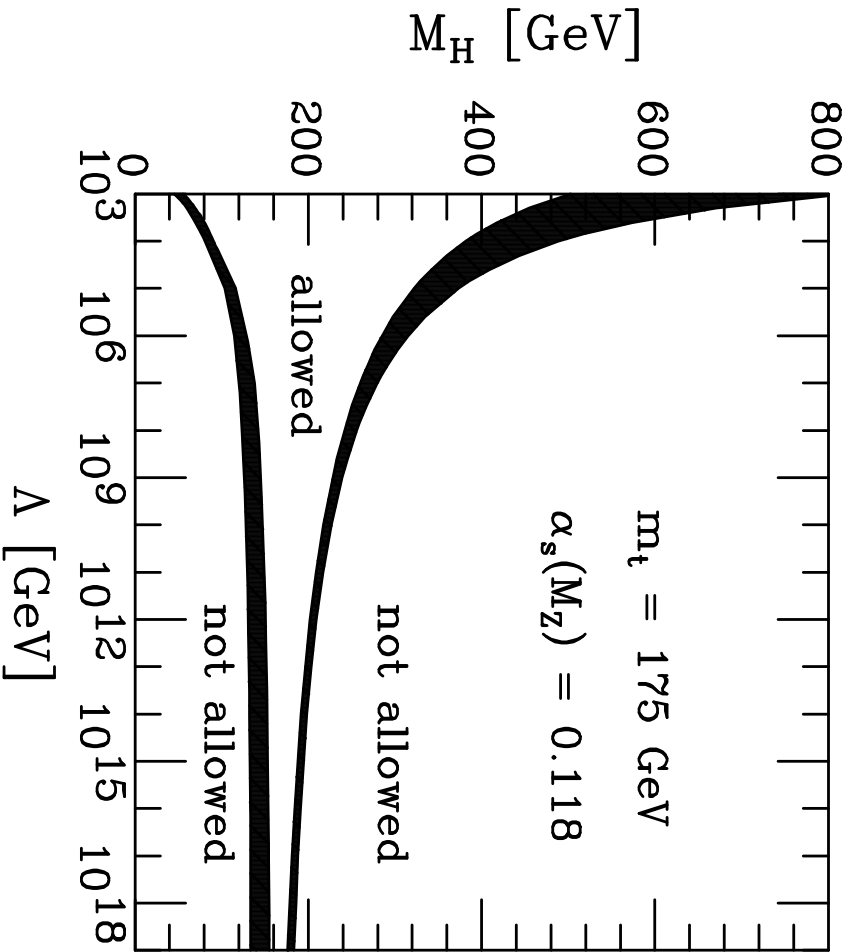
$$\delta M_h^2 \sim g^2 M_{SUSY}^2 \sim M_h^2 \quad (2)$$

Explica a Quebra Espontânea de Simetria de Gauge:Mostra que é possível começarmos com $\mu > 0$ e depois ele torna-se negativo





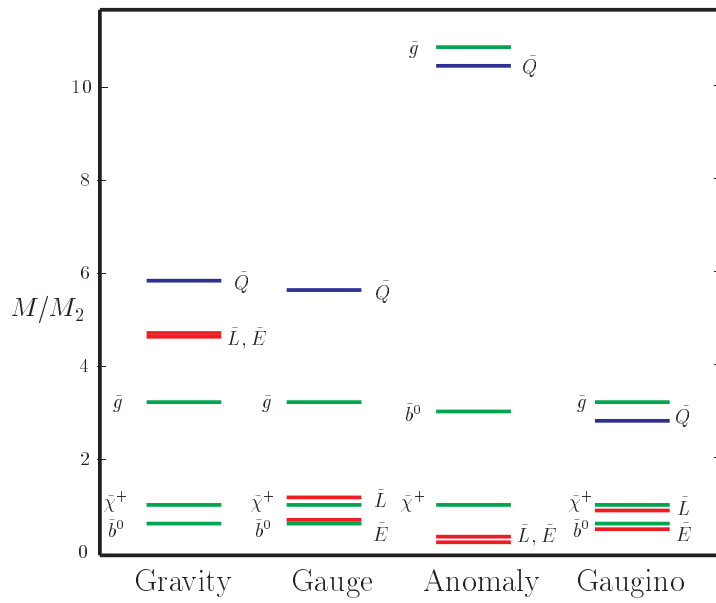
Para $m_t \sim 174$ GeV devemos ter $M_h \sim 200$ GeV



Conteúdo Mínimo de Partículas

Spin 1	Spin 1/2	Spin 0
gluons photon <hr/> W^\pm Z	gluinos \tilde{g} photino $\tilde{\gamma}$ <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> winos $\tilde{W}_{1,2}^\pm$ zino \tilde{Z} higgsinos \tilde{h}^0	<hr/> H^\pm } H } Higgs } bosons h, A }
	leptons l quarks q	sleptons \tilde{l} squarks \tilde{q}

SPARTICLE SPECTRA

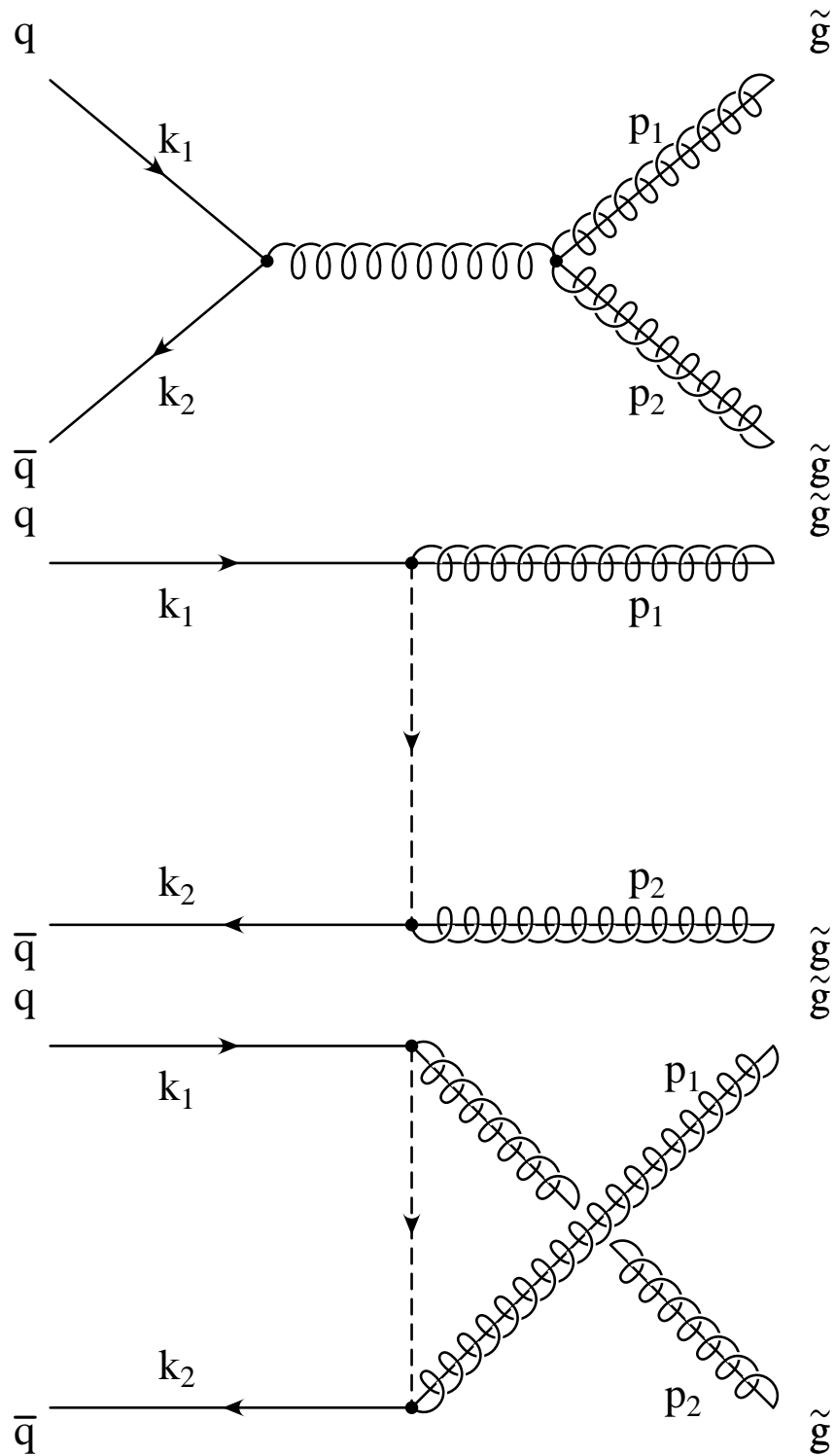


Convenção Snowmass Points and Slopes (SPS)

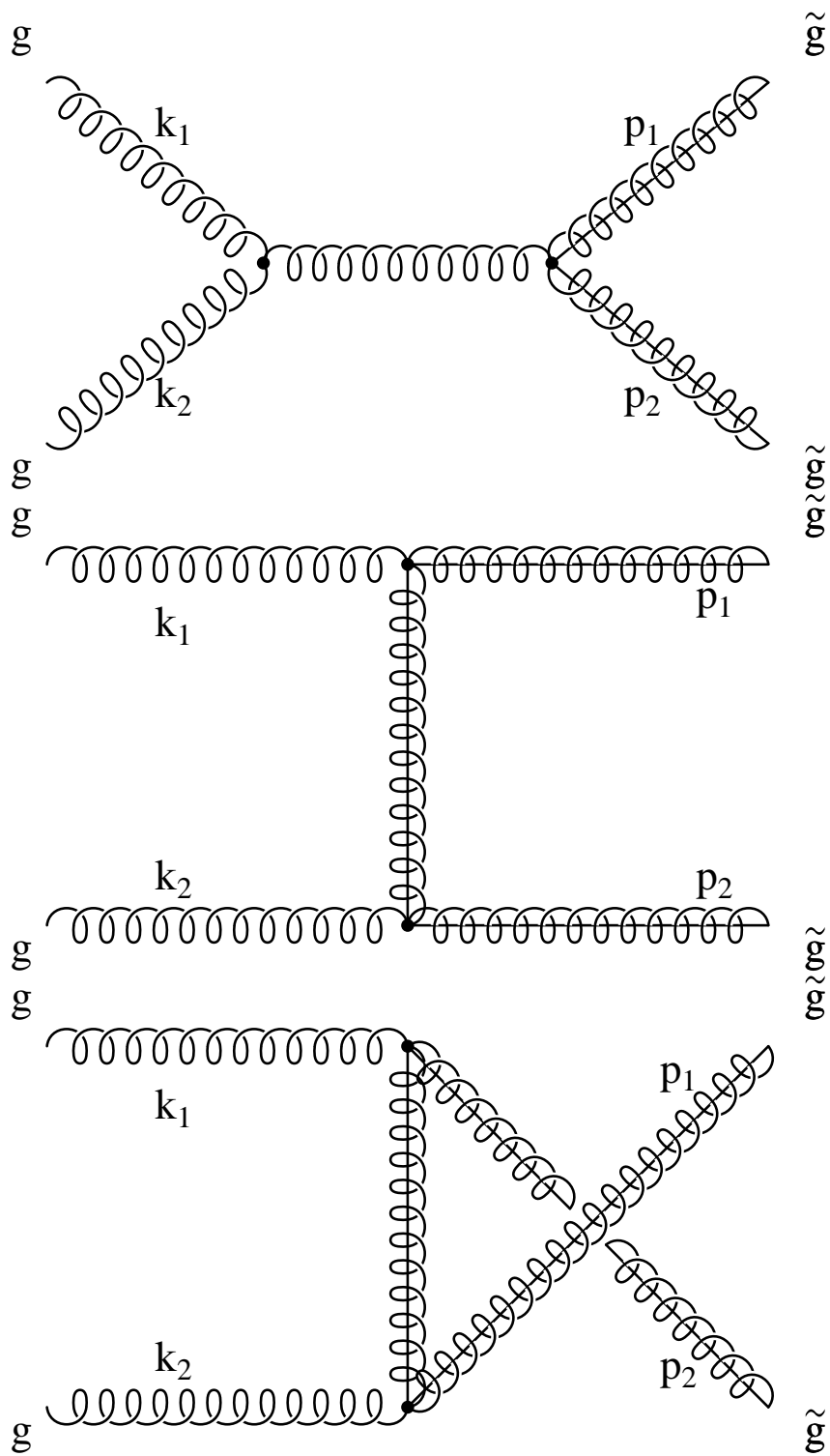
Cenário	$m_{\tilde{g}} (GeV)$	$m_{\tilde{q}} (GeV)$
SPS1a (mSUGRA)	595.2	539.9
SPS1b (mSUGRA)	916.1	836.2
SPS2 (mSUGRA)	784.4	1533.6
SPS3 (mSUGRA)	914.3	818.3
SPS4 (mSUGRA)	721.0	732.2
SPS5 (mSUGRA)	710.3	643.9
SPS6 (mSUGRA)	708.5	641.3
SPS7 (GMSB)	926.0	861.3
SPS8 (GMSB)	820.5	1081.6
SPS9 (mAMSB)	1275.2	1219.2

<http://spa.desy.de/spa/>

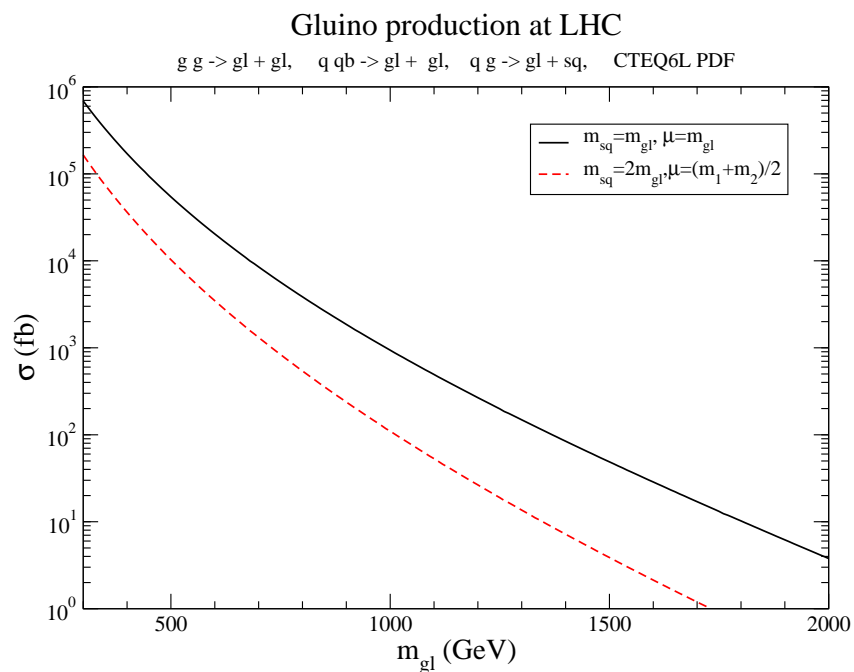
Produção de Gluinos Colisão de Quarks



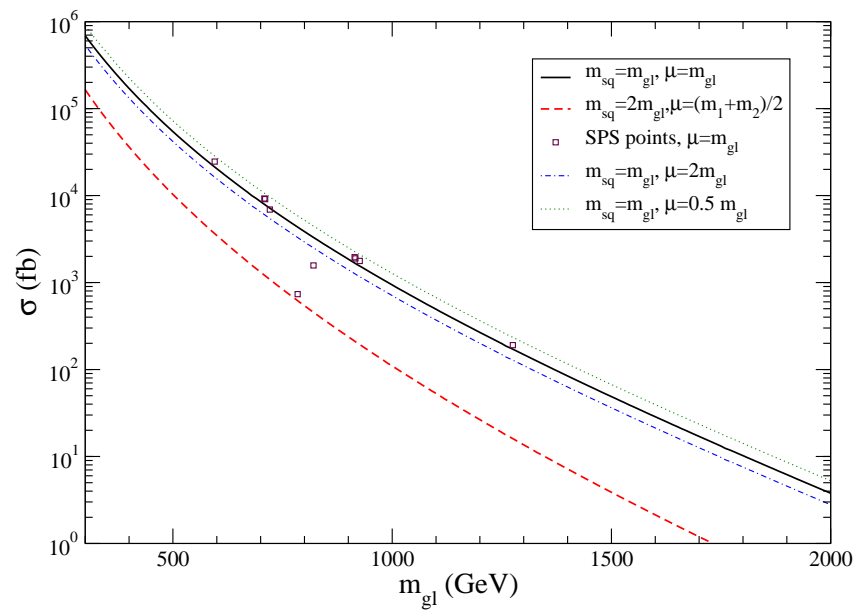
Colisão de Glúons



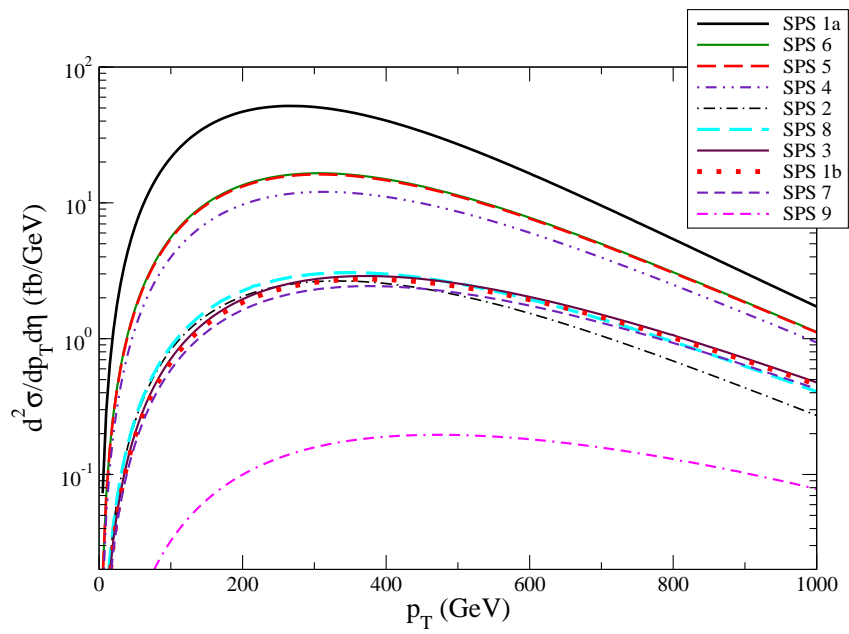
Resultados da produção de gluinos (mestrado Danusa)



seção de choque vs gluino massas (densidade de partons CTEQ6L)

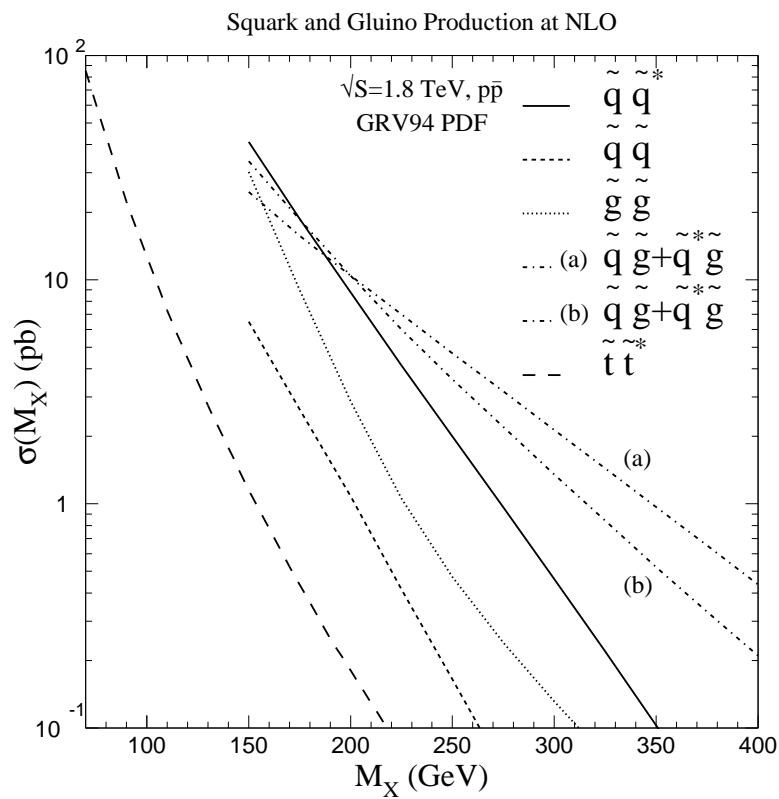


Os pontos são os resultados para os pontos SPS

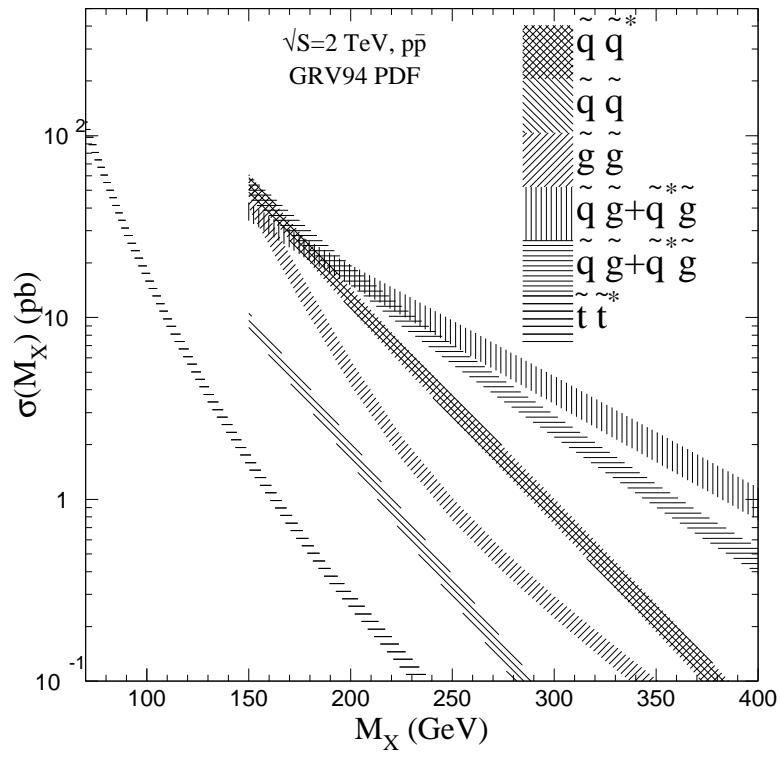


distribuição p_T para um único gluino no LHC
 $(|\eta| < 2.5)$

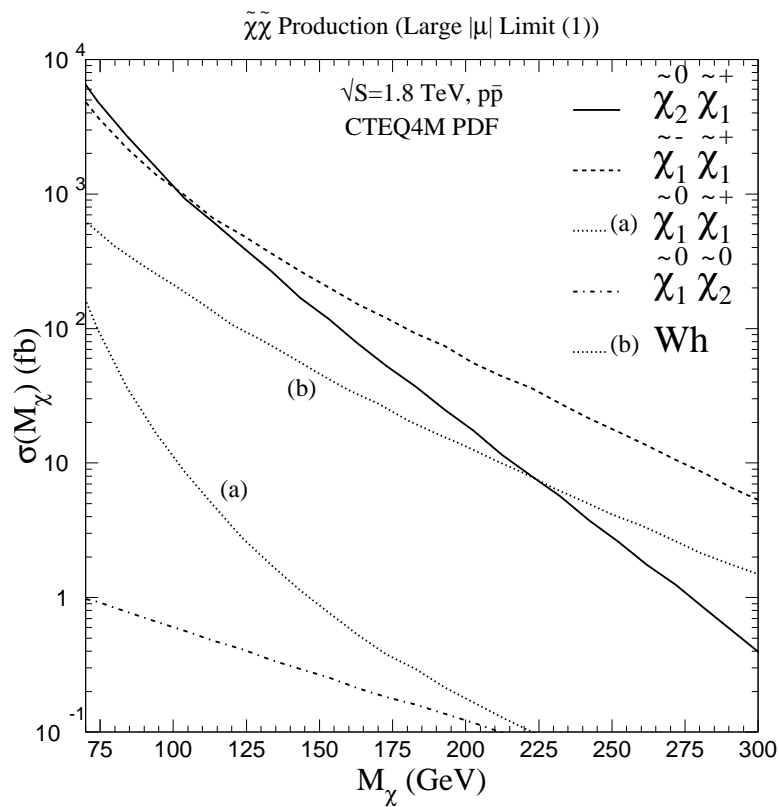
Valores das seções de choque para a produção de squarks e gluinos para o TEVATRON



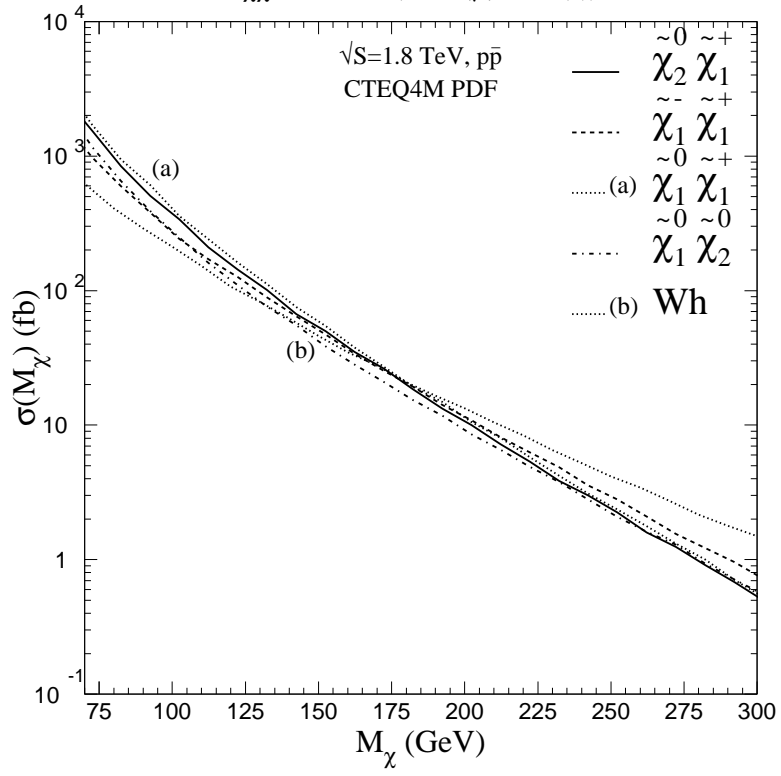
Squark and Gluino Production at NLO

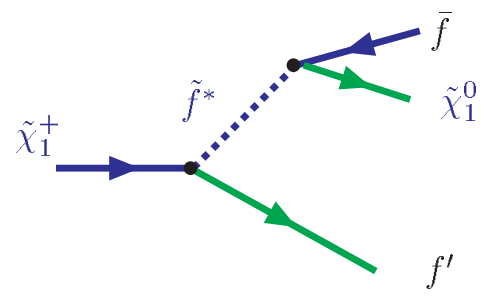
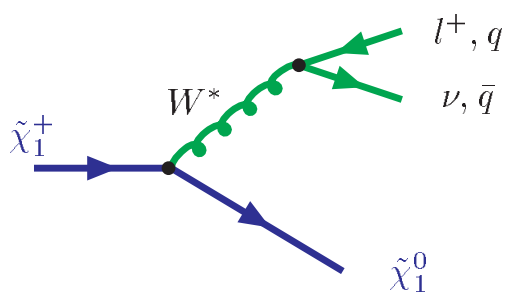
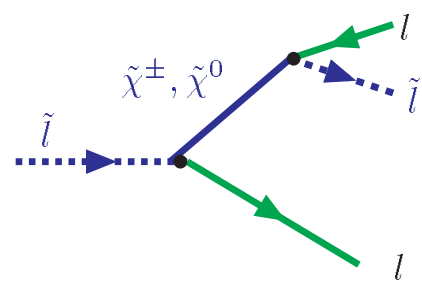
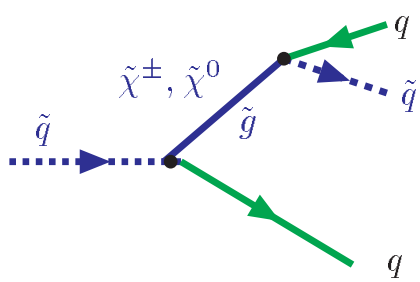


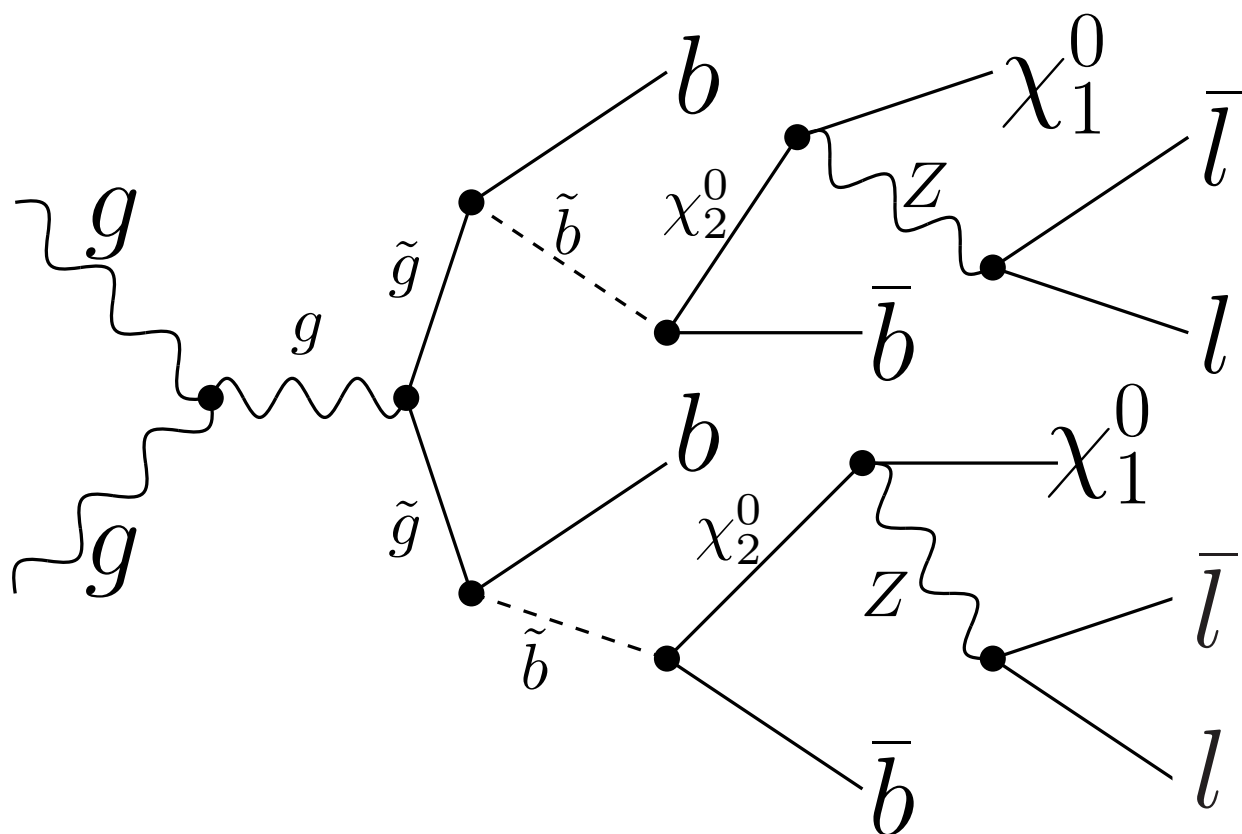
Seções de choques para a produção de charginos e neutralinos para o caso do TEVATRON



$\tilde{\chi}\tilde{\chi}$ Production (Small $|\mu|$ Limit (2))







$$\begin{aligned}
 \tilde{q}\tilde{q} &\rightarrow (q\tilde{\chi}_2^0)(\bar{q}\tilde{\chi}_1^0) \rightarrow (q\tilde{\chi}_1^0 l^+ l^-) (\bar{q}\tilde{\chi}_1^0) \\
 &\rightarrow 4\text{jatos} + 4\text{léptons} + \cancel{E_T}. \quad (4)
 \end{aligned}$$

Apresentamos brevemente neste seminário como o Modelo Padrão Supersimétrico Mínimo pode ser comprovado pelo Large Hadron Collider (LHC) que em breve estará em funcionamento em cenários em que paridade R é conservada.