

# Откроет ли LHC суперсимметрию и если нет, то что?

Д.Казаков

ИТЭФ 21 апреля 2014

# Две большие идеи



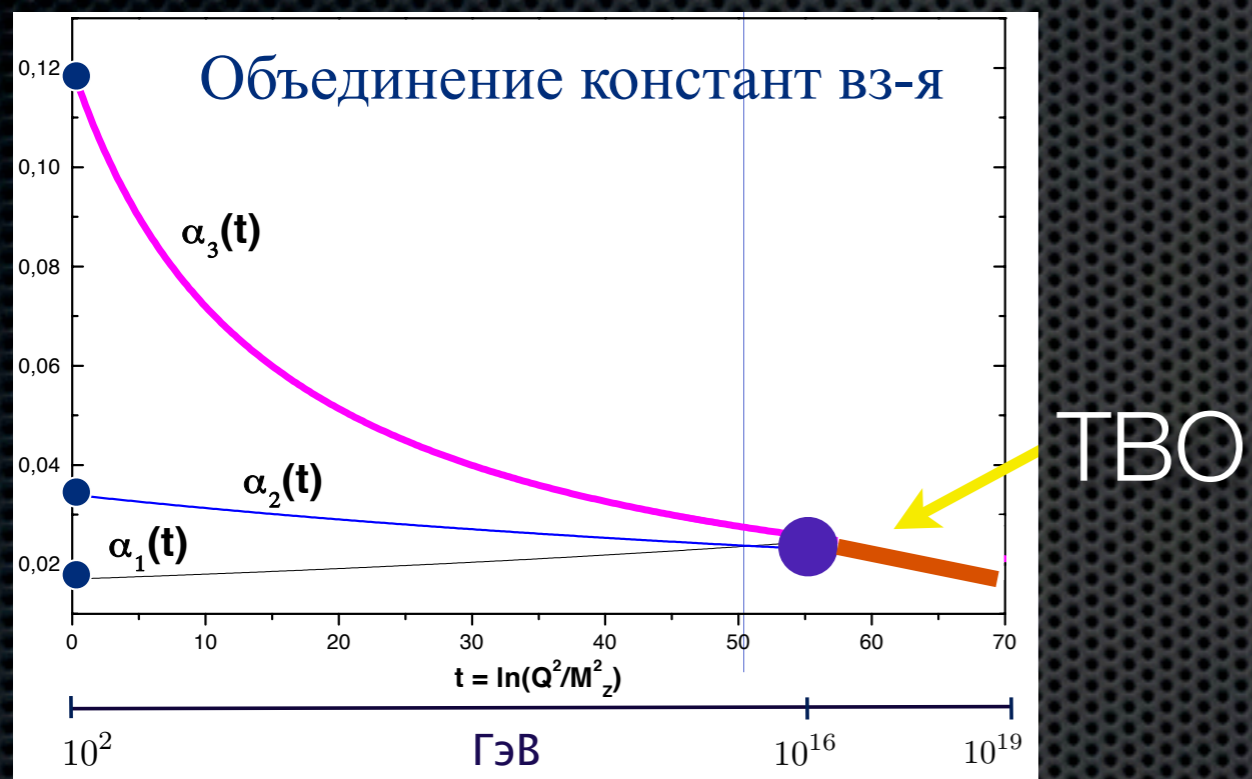
# Две большие идеи

## 1. Теория Великого объединения



# Две большие идеи

## 1. Теория Великого объединения

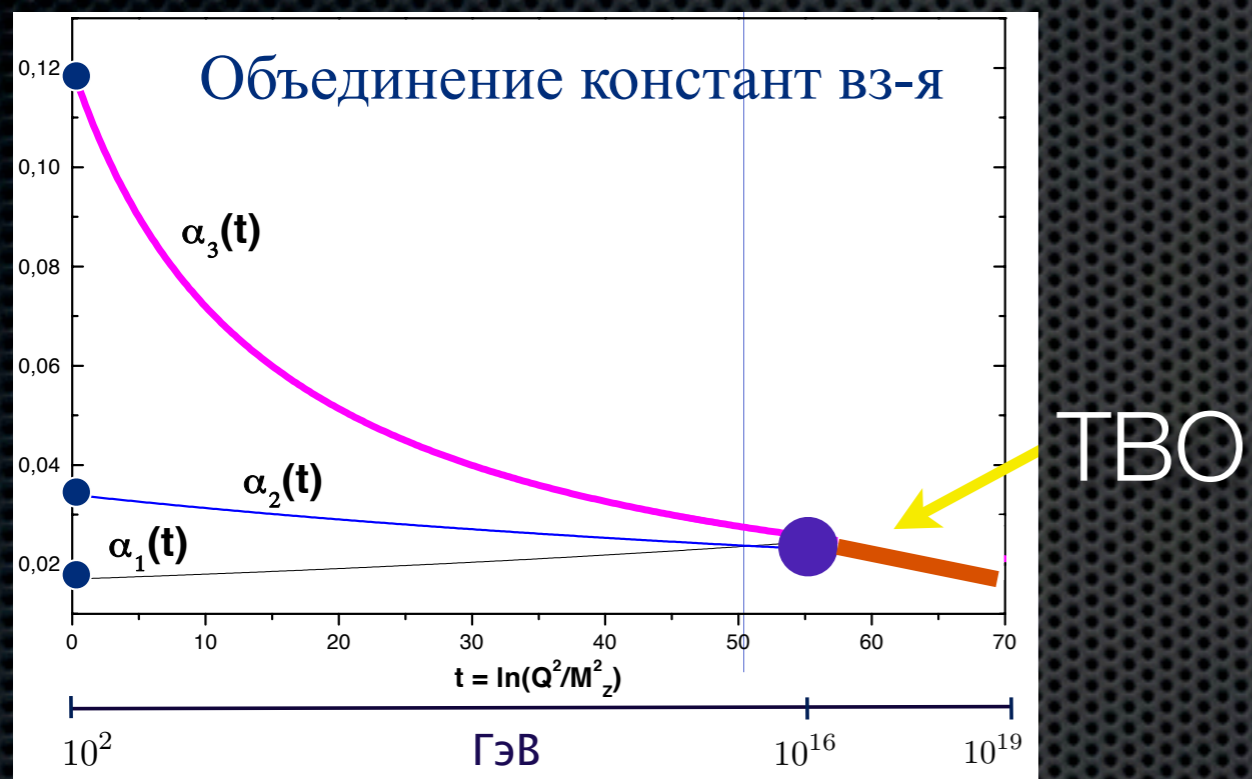


Объединение констант, частиц и взаимодействий



# Две большие идеи

## 1. Теория Великого объединения



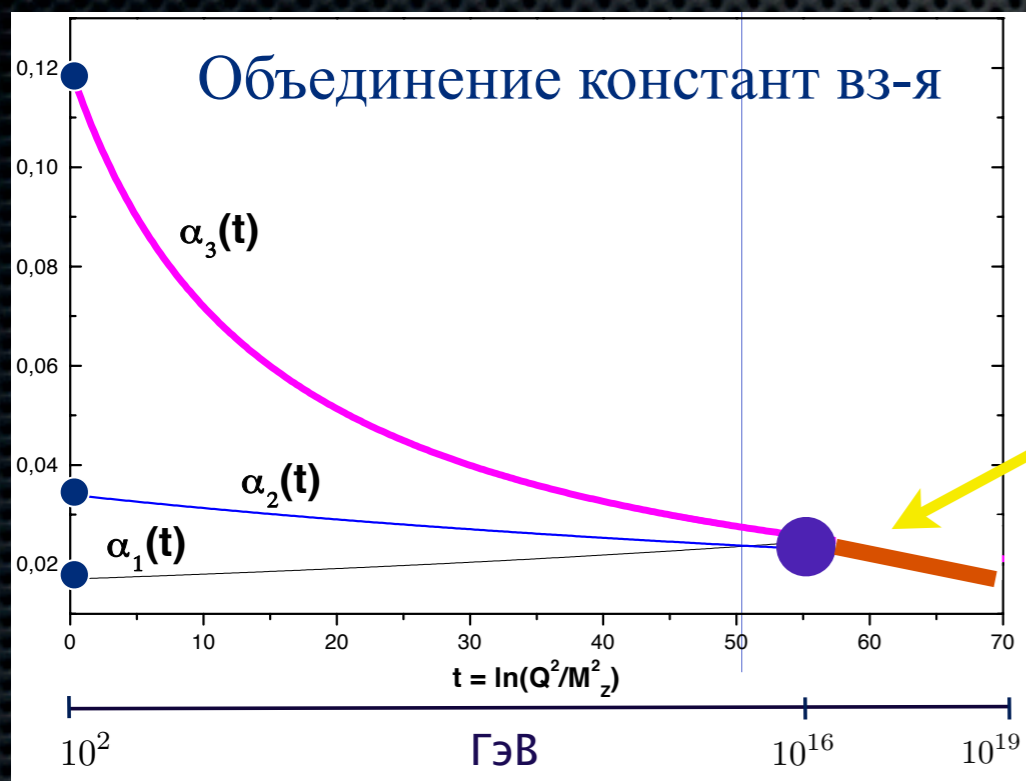
Предсказания ТВО

Объединение констант, частиц и взаимодействий



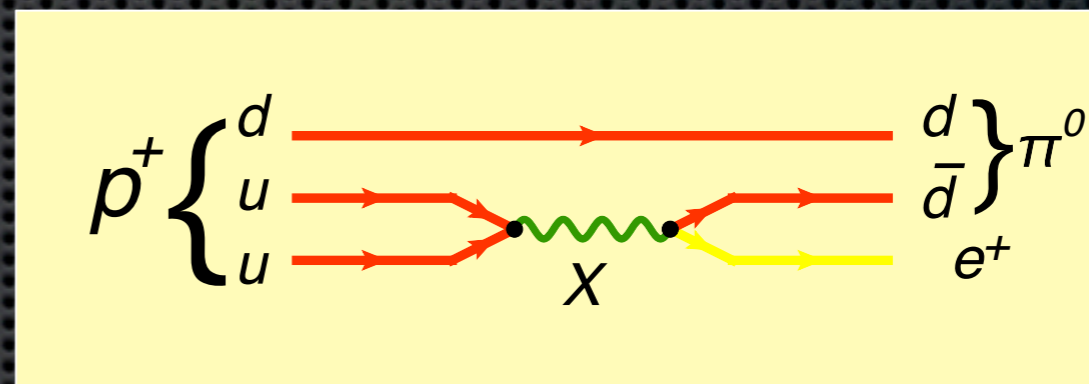
# Две большие идеи

## 1. Теория Великого объединения



ТВО

Предсказания ТВО



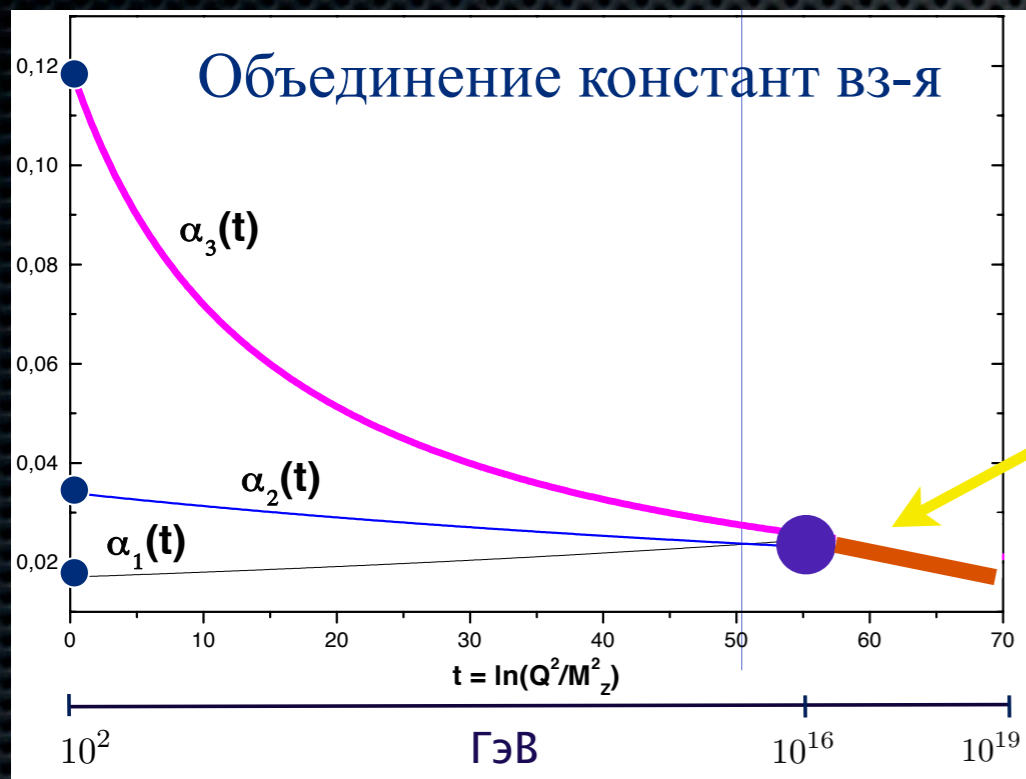
распад протона

Объединение констант, частиц и взаимодействий



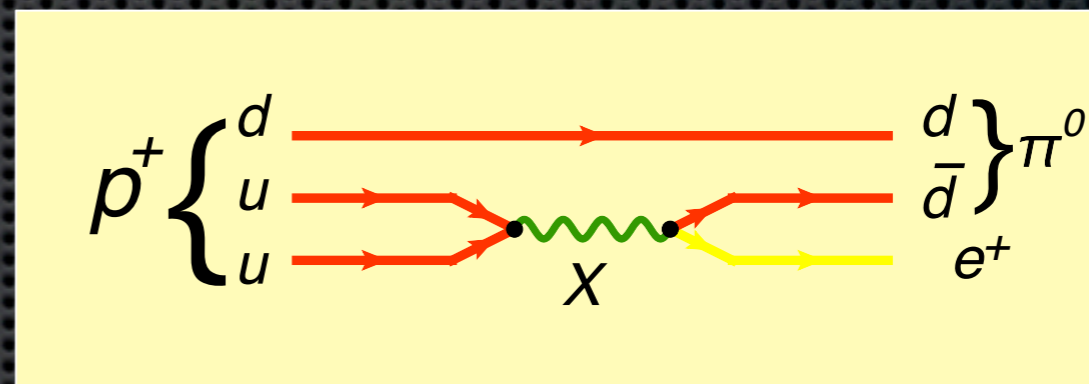
# Две большие идеи

## 1. Теория Великого объединения



ТВО

Предсказания ТВО



распад протона

Объединение констант, частиц и взаимодействий

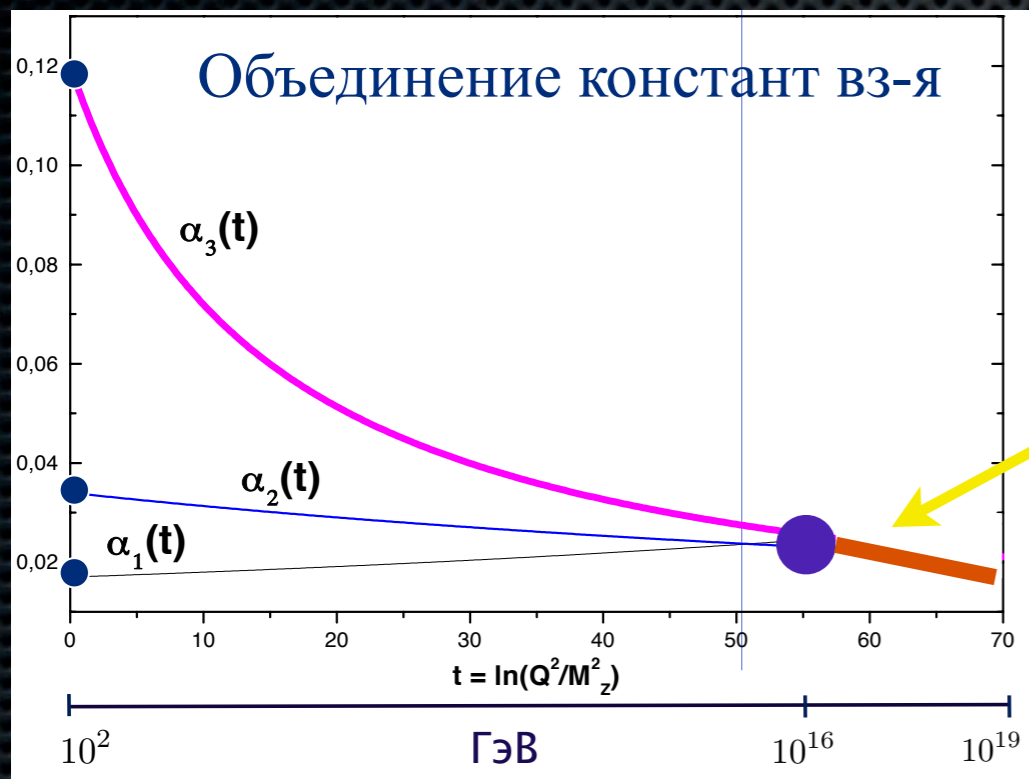
$$\tau_{\text{proton}} \sim 10^{32} \text{ years}$$

$$\tau_{\text{Universe}} \approx 14 \cdot 10^9 \text{ years}$$

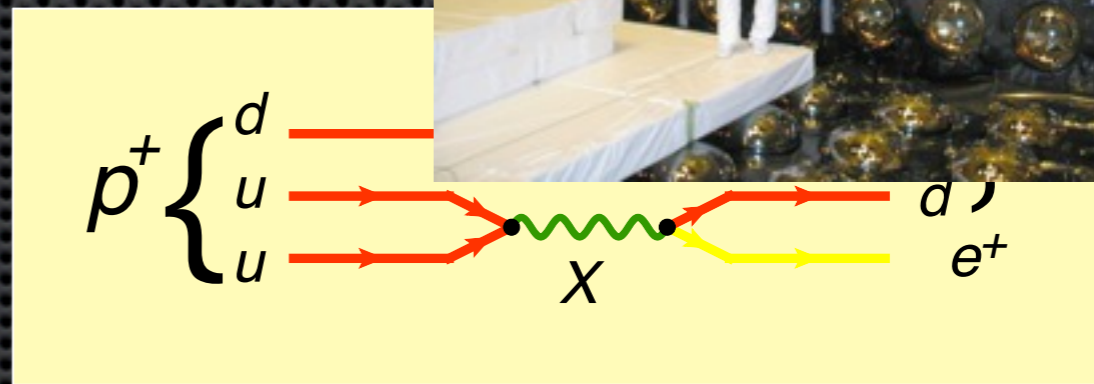


# Две большие идеи

## 1. Теория Великого объединения



ТВО



распад протона

Объединение констант, частиц и взаимодействий

$$\tau_{proton} \sim 10^{32} \text{ years}$$

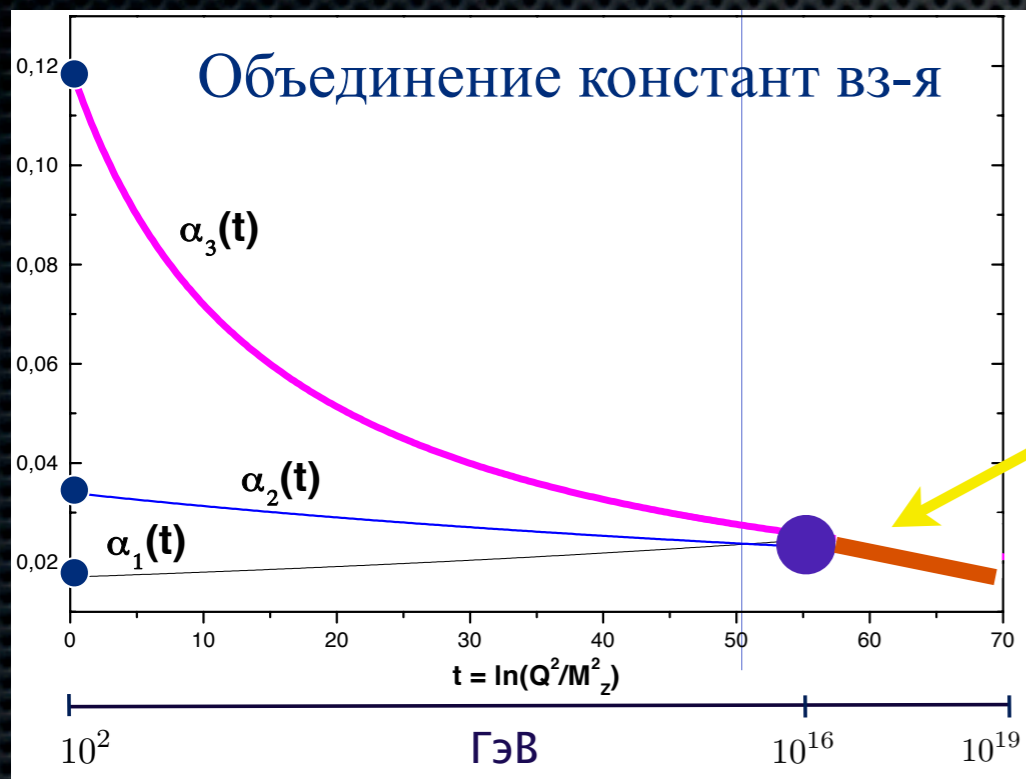
$$\tau_{Universe} \approx 14 \cdot 10^9 \text{ years}$$



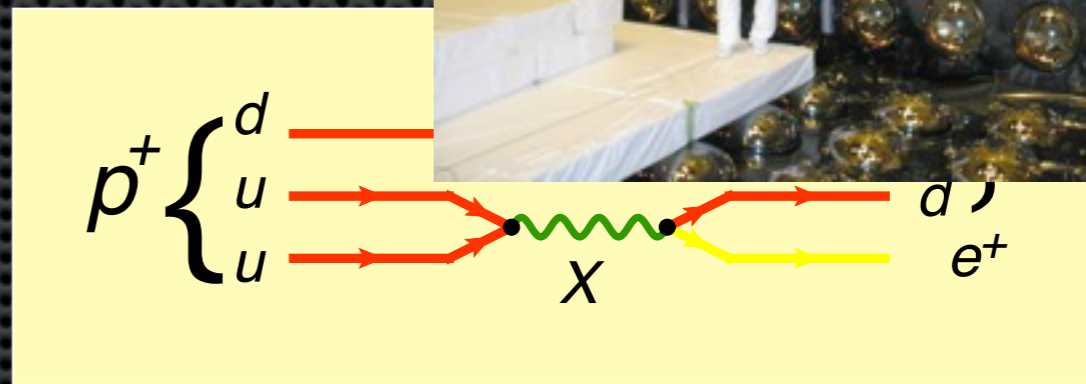


# Две большие идеи

## 1. Теория Великого объединения



ТВО



распад протона

Объединение констант, частиц и взаимодействий

$$\tau_{proton} \sim 10^{32} \text{ years}$$

$$\tau_{Universe} \approx 14 \cdot 10^9 \text{ years}$$

Проблема: стабилизация хиггсовского сектора СМ  
подверженного рад поправкам за счёт тяжёлых частиц ТВО

# Две большие идеи



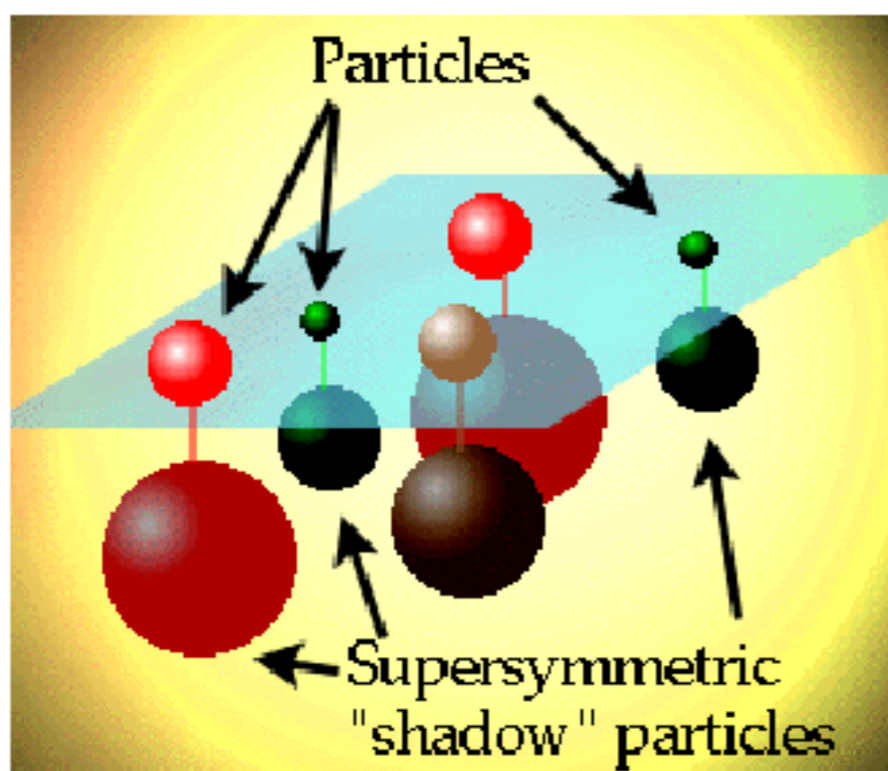
# Две большие идеи

## 2. Теория суперсимметрии



# Две большие идеи

## 2. Теория суперсимметрии

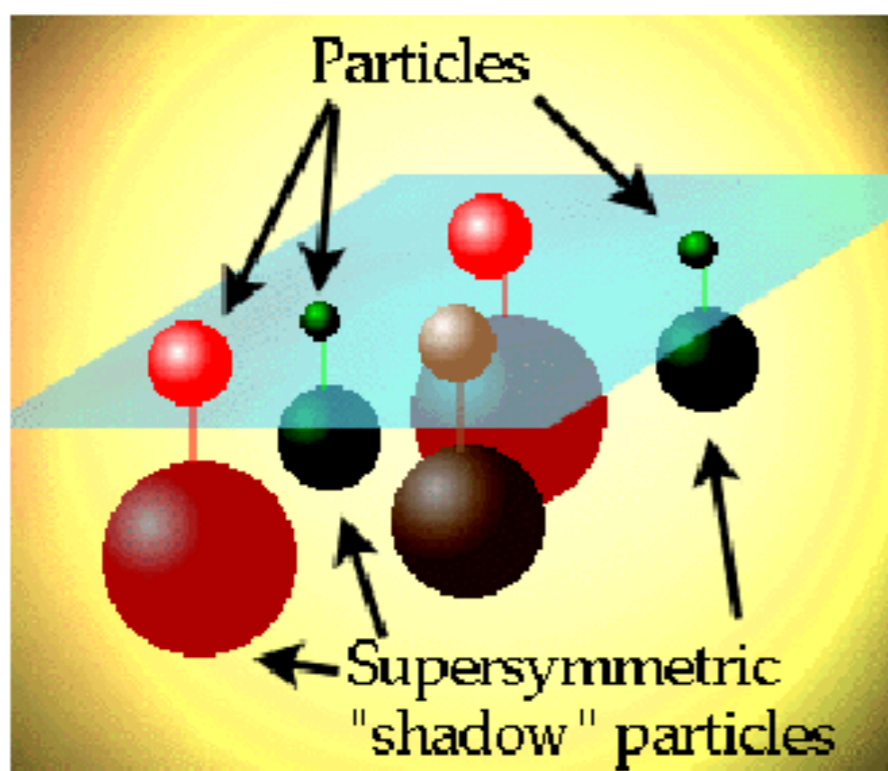


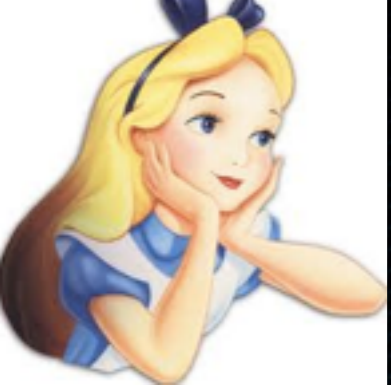


# Две большие идеи

2. Теория суперсимметрии

Предсказания СУСИ

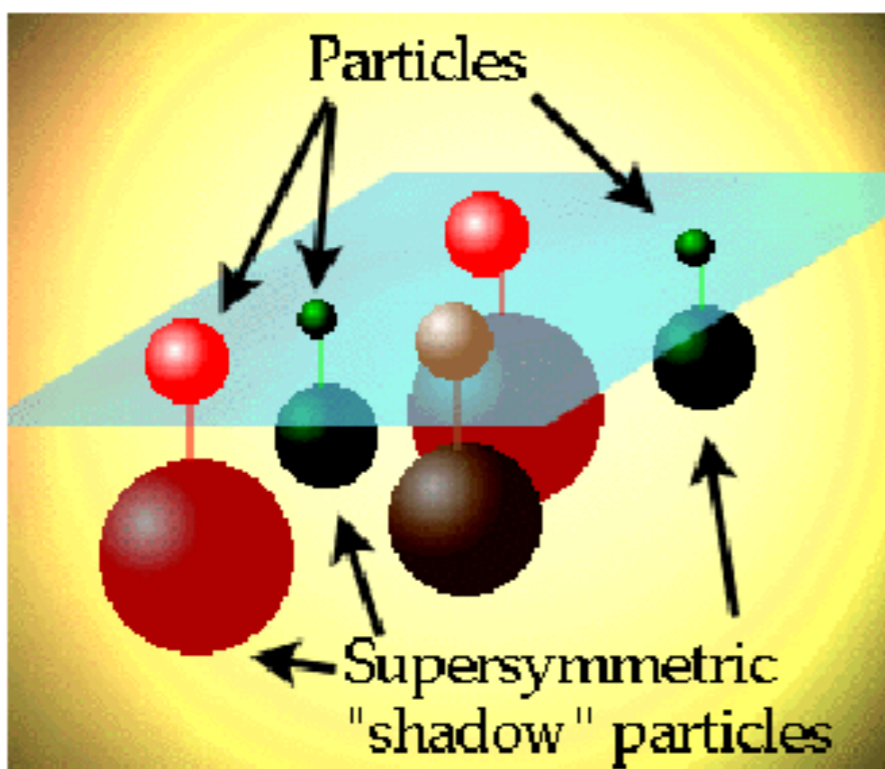




# Две большие идеи

## 2. Теория суперсимметрии

## Предсказания СУСИ



кварк

$$q \rightarrow \tilde{q}$$

скварк

лептон

$$l \rightarrow \tilde{l}$$

слептон

W-бозон

$$W \rightarrow \tilde{W}$$

вино

Z-бозон

$$Z \rightarrow \tilde{Z}$$

зино

глюон

$$g \rightarrow \tilde{g}$$

глюино

фотон

$$\gamma \rightarrow \tilde{\gamma}$$

фотино

Хиггс

$$H \rightarrow \tilde{H}$$

Хиггсино

гравитон

$$G \rightarrow \tilde{G}$$

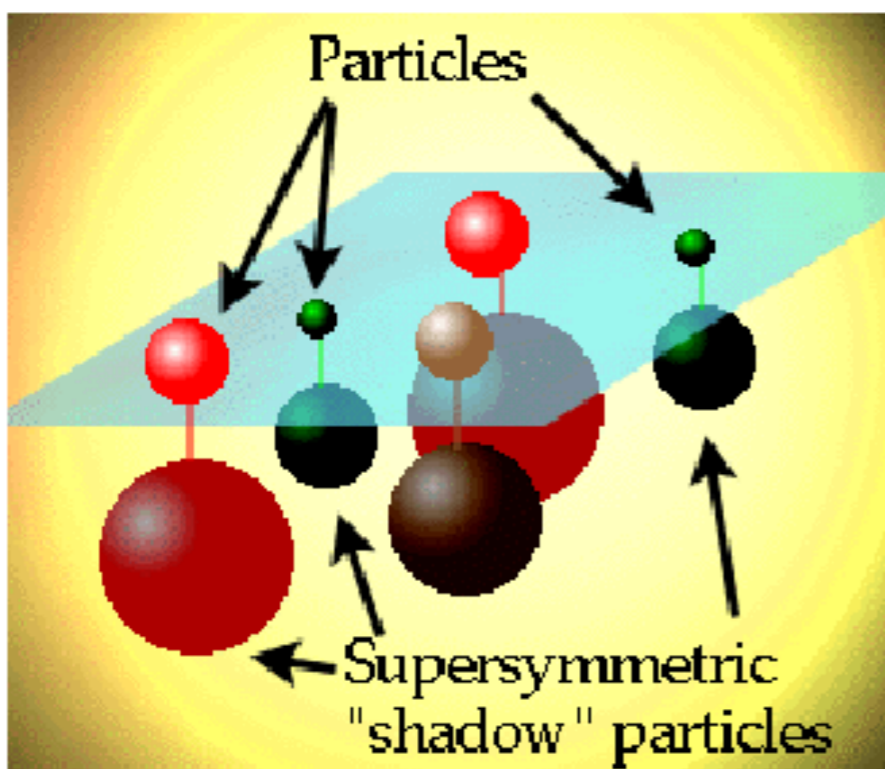
гравитино



# Две большие идеи

## 2. Теория суперсимметрии

## Предсказания СУСИ



кварк

$$q \rightarrow \tilde{q}$$

скварк

лептон

$$l \rightarrow \tilde{l}$$

слептон

W-бозон

$$W \rightarrow \tilde{W}$$

вино

Z-бозон

$$Z \rightarrow \tilde{Z}$$

зино

глюон

$$g \rightarrow \tilde{g}$$

глюино

фотон

$$\gamma \rightarrow \tilde{\gamma}$$

фотино

Хиггс

$$H \rightarrow \tilde{H}$$

Хиггсино

гравитон

$$G \rightarrow \tilde{G}$$

гравитино

Решает проблемы ТВО

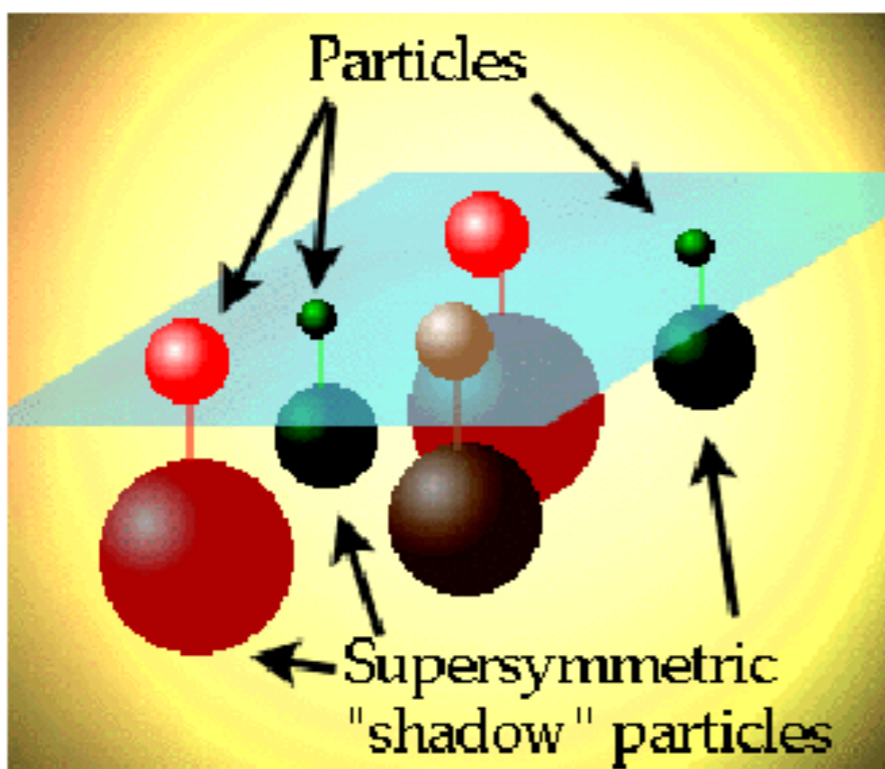
- объединение констант
- стабилизация хиггсовского сектора



# Две большие идеи

## 2. Теория суперсимметрии

## Предсказания СУСИ



кварк

$$q \rightarrow \tilde{q}$$

скварк

лептон

$$l \rightarrow \tilde{l}$$

слептон

W-бозон

$$W \rightarrow \tilde{W}$$

вино

Z-бозон

$$Z \rightarrow \tilde{Z}$$

зино

глюон

$$g \rightarrow \tilde{g}$$

глюино

фотон

$$\gamma \rightarrow \tilde{\gamma}$$

фотино

Хиггс

$$H \rightarrow \tilde{H}$$

Хиггсино

гравитон

$$G \rightarrow \tilde{G}$$

гравитино

Решает проблемы ТВО

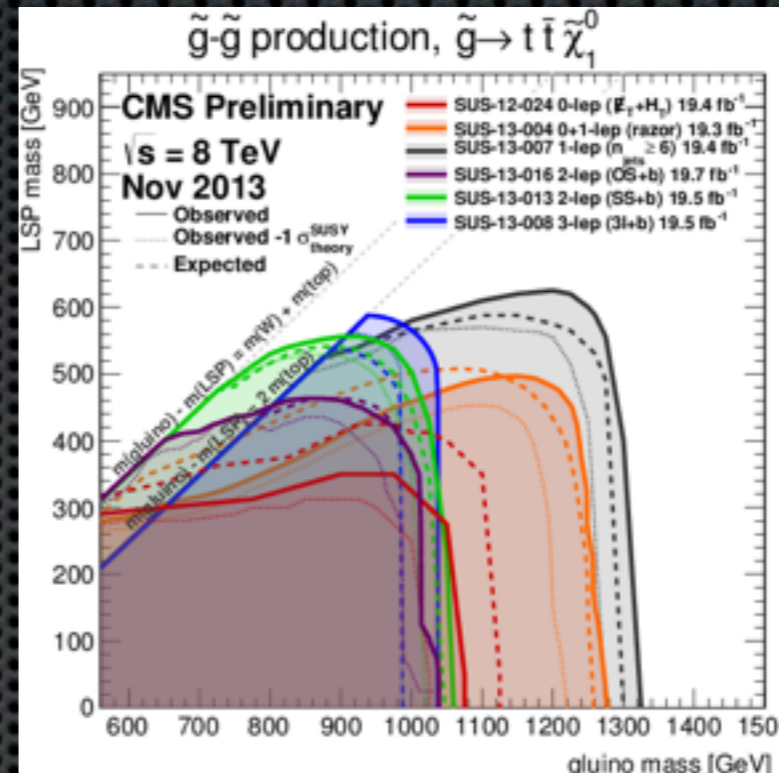
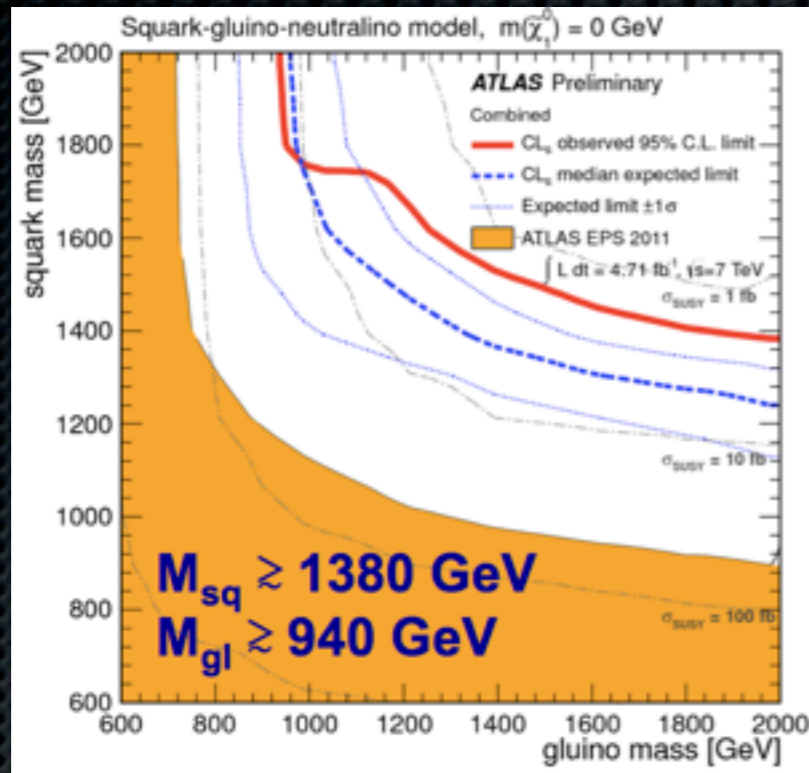
- объединение констант
- стабилизация хиггсовского сектора

Ключевая проверка - рождение суперпартнёров на коллайдере



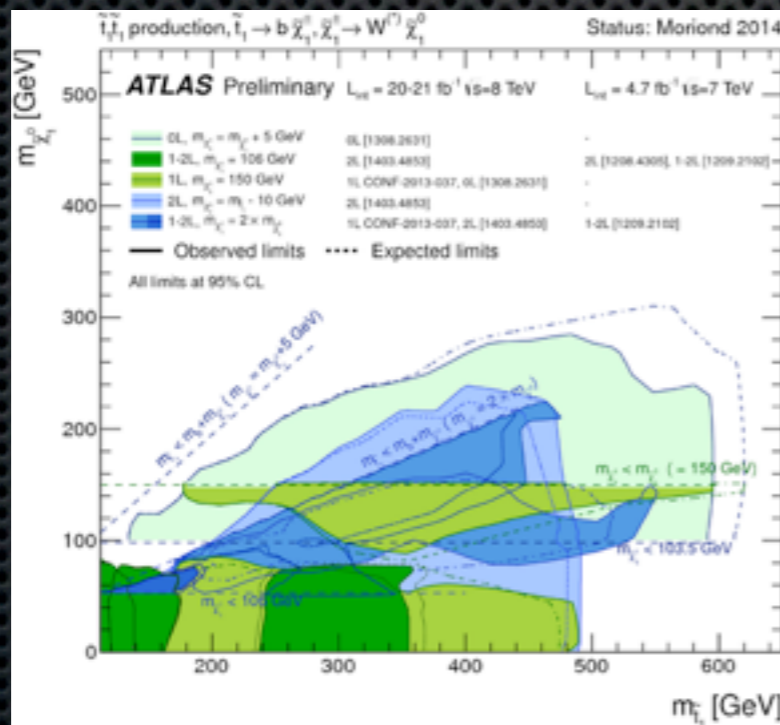
# Поиски СУСИ на коллайдерах

$\tilde{g} \tilde{q}$

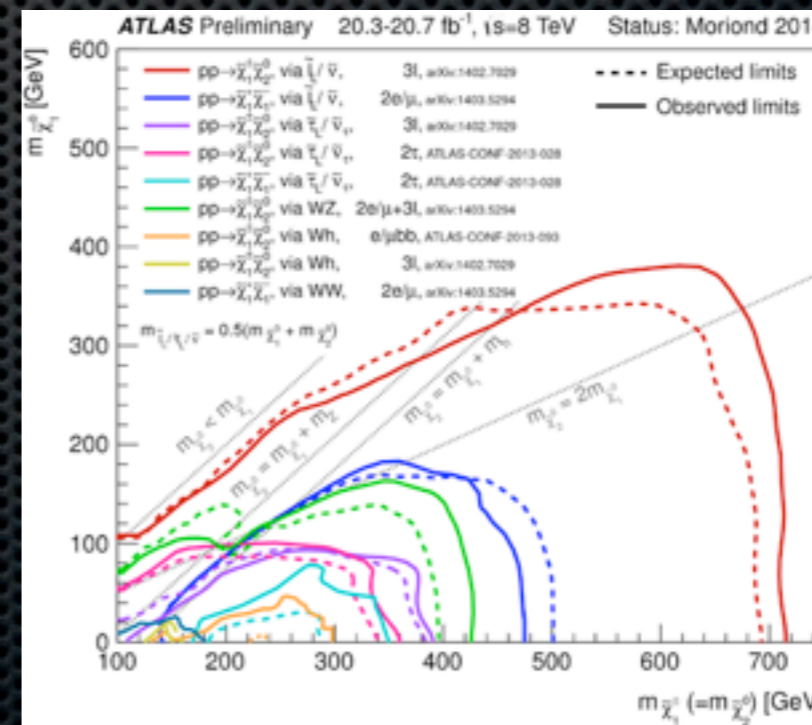


$\tilde{g} \tilde{\chi}^0$

$\tilde{t} \tilde{\chi}^0$



$\tilde{\chi}^+ \tilde{\chi}^0$



# Третье поколение легче

Механизм качелей

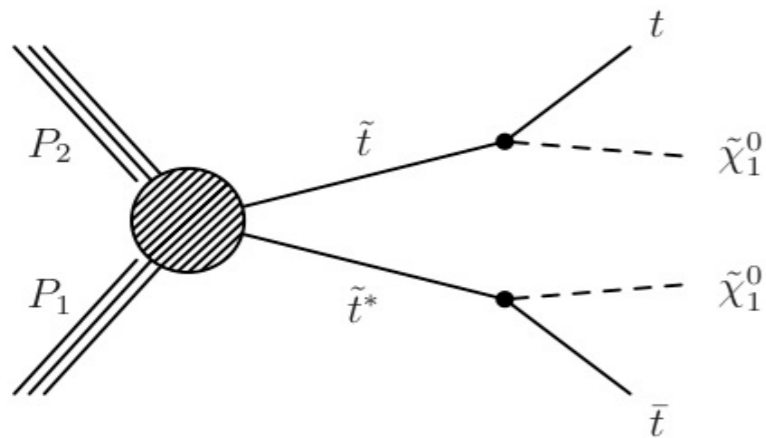
$$m_{\tilde{q}}^2 = \begin{pmatrix} \tilde{q}_L & \tilde{q}_R \\ \tilde{q}_L & \tilde{q}_R \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \tilde{m}_L^2 & m_q X_q \\ m_q X_q & \tilde{m}_R^2 \end{pmatrix}, \quad X_q = A_q - \mu \cot \beta$$

# Третье поколение легче

Механизм качелей

$$m_{\tilde{q}}^2 = \begin{pmatrix} \tilde{q}_L & \\ & \tilde{q}_R \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \tilde{m}_L^2 & m_q X_q \\ m_q X_q & \tilde{m}_R^2 \end{pmatrix}, \quad X_q = A_q - \mu \cot \beta$$

Di-stop production resulting in 2 top quarks +MET final states

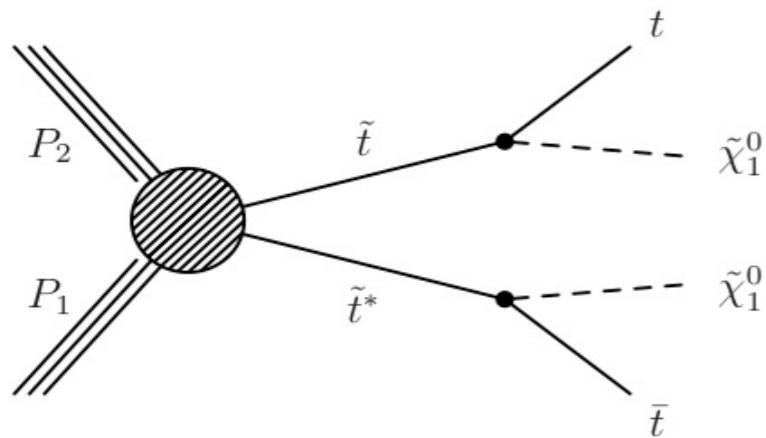


# Третье поколение легче

Механизм качелей

$$m_{\tilde{q}}^2 = \begin{pmatrix} \tilde{q}_L & \\ & \tilde{q}_R \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \tilde{m}_L^2 & m_q X_q \\ m_q X_q & \tilde{m}_R^2 \end{pmatrix}, \quad X_q = A_q - \mu \cot \beta$$

Di-stop production resulting in 2 top quarks +MET final states



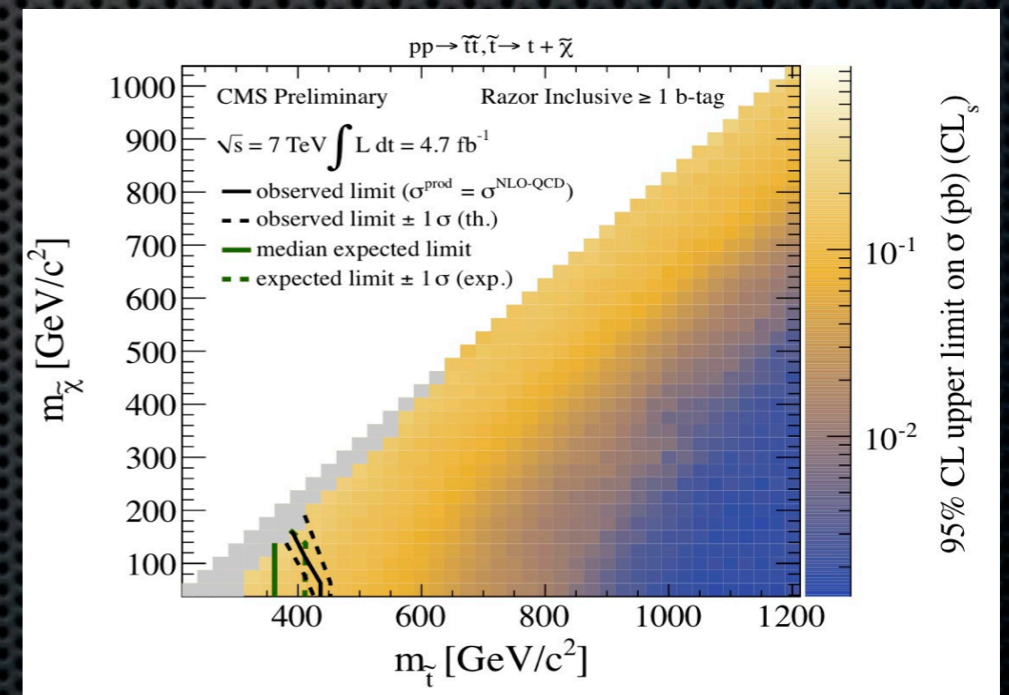
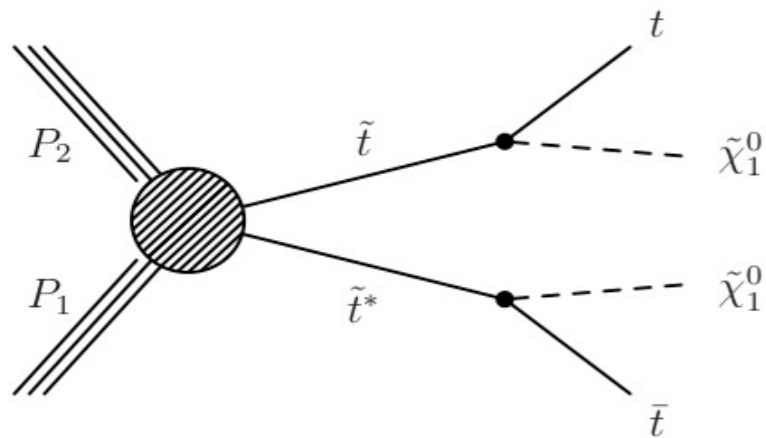
Малое фазовое пространство

# Третье поколение легче

Механизм качелей

$$m_{\tilde{q}}^2 = \begin{pmatrix} \tilde{q}_L & \\ & \tilde{q}_R \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \tilde{m}_L^2 & m_q X_q \\ m_q X_q & \tilde{m}_R^2 \end{pmatrix}, \quad X_q = A_q - \mu \cot \beta$$

Di-stop production resulting in 2 top quarks +MET final states



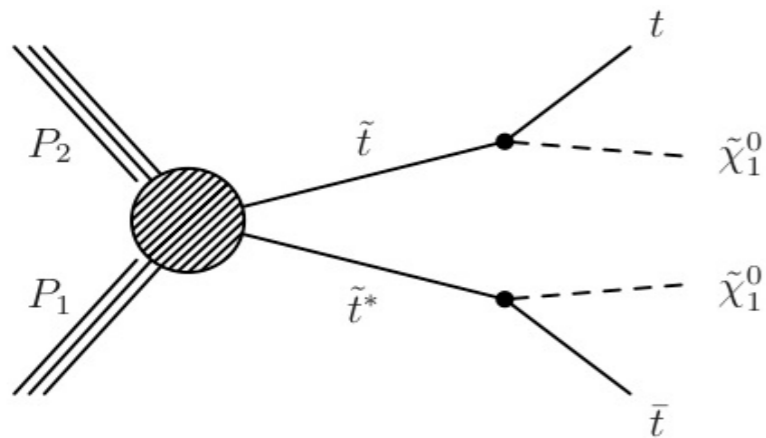
Малое фазовое пространство

# Третье поколение легче

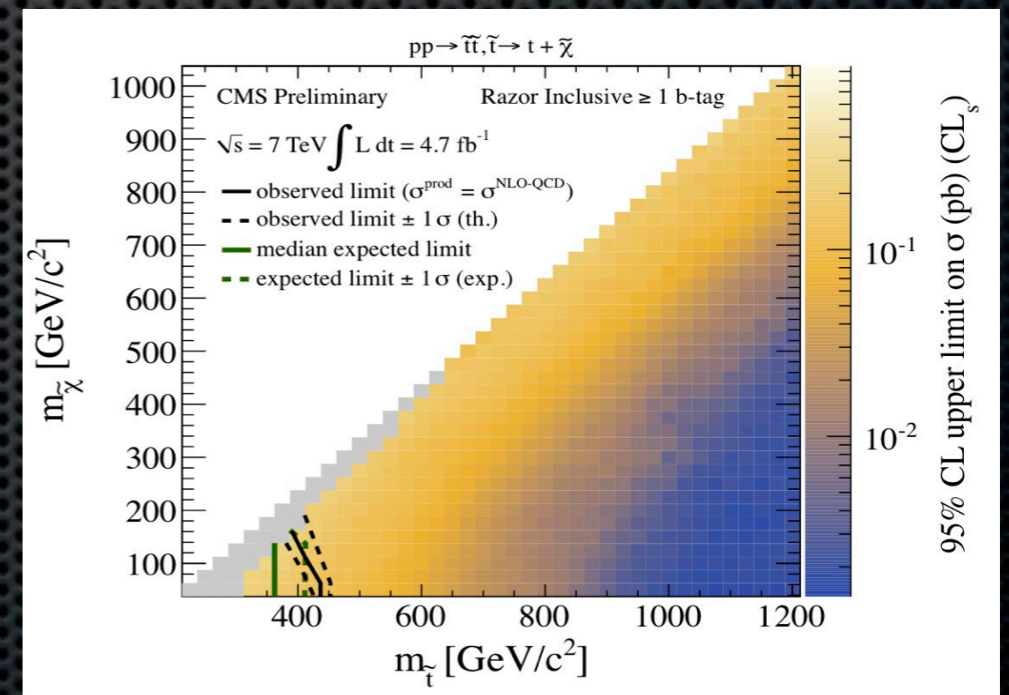
Механизм качелей

$$m_{\tilde{q}}^2 = \begin{pmatrix} \tilde{q}_L & \\ & \tilde{q}_R \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \tilde{m}_L^2 & m_q X_q \\ m_q X_q & \tilde{m}_R^2 \end{pmatrix}, \quad X_q = A_q - \mu \cot \beta$$

Di-stop production resulting in 2 top quarks +MET final states



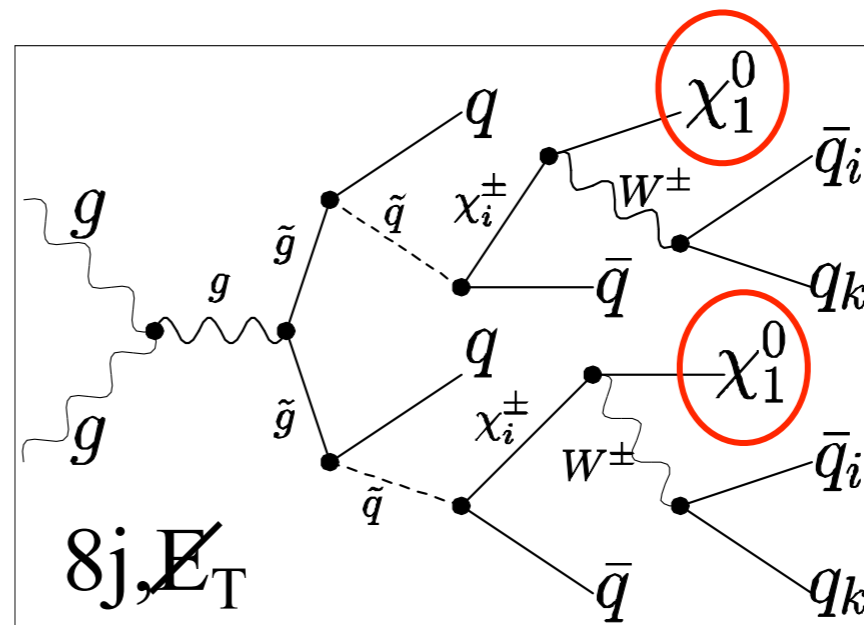
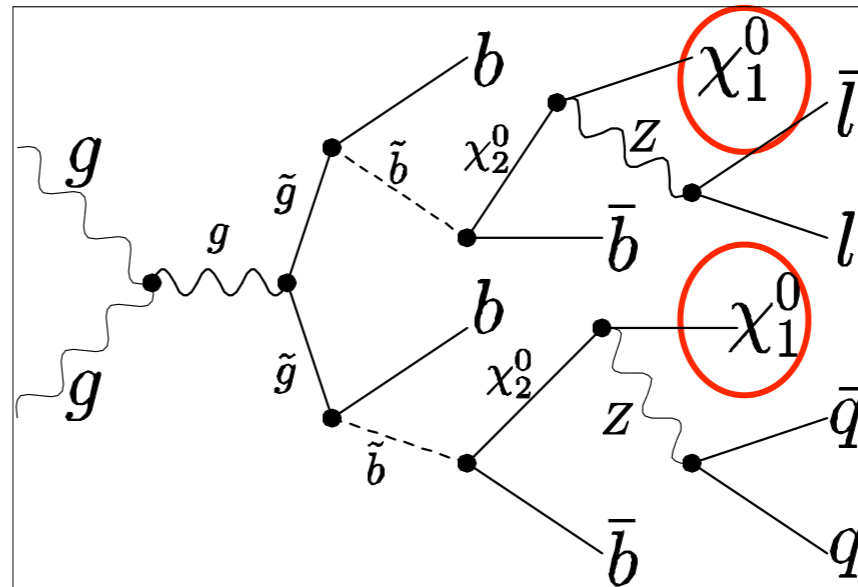
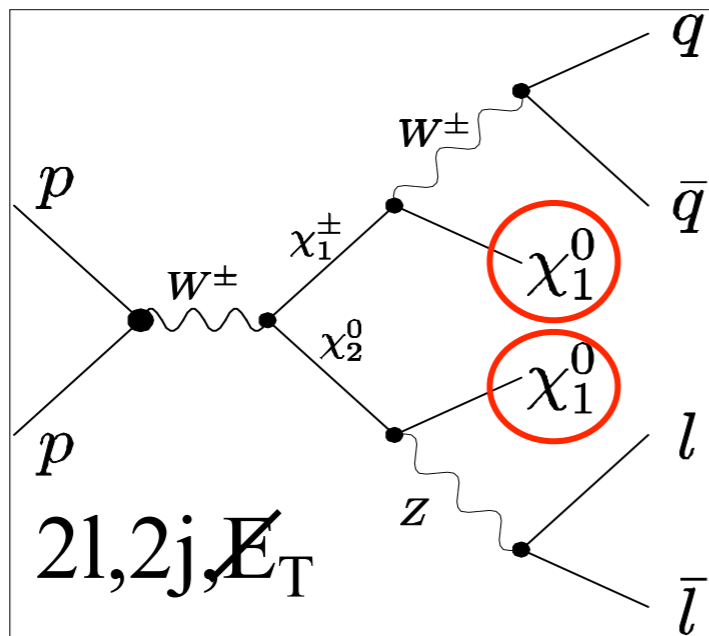
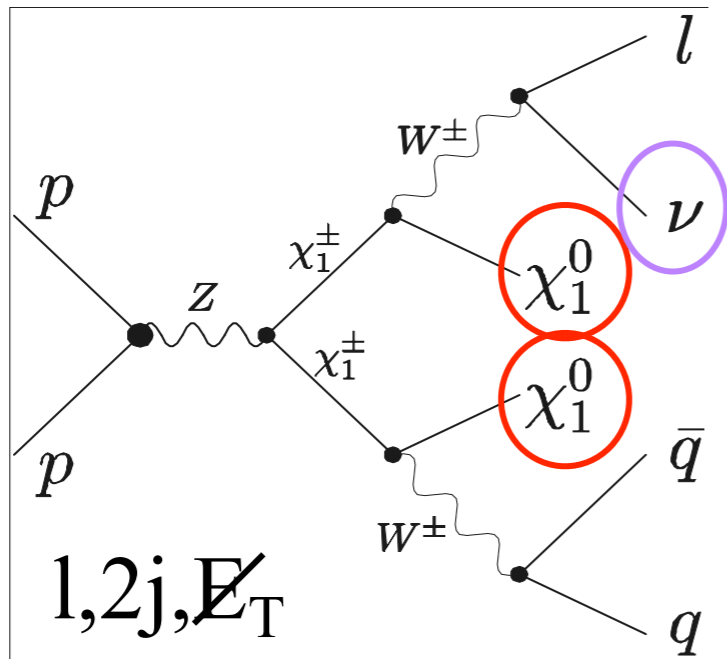
Малое фазовое пространство



Ещё велика неисследованная область возможностей

# Каскадные процессы рождения

Слабые ВЗ-Я



Сильные ВЗ-Я

Недостающая энергия !

# До куда дотянется LHC?

Универсальный сценарий

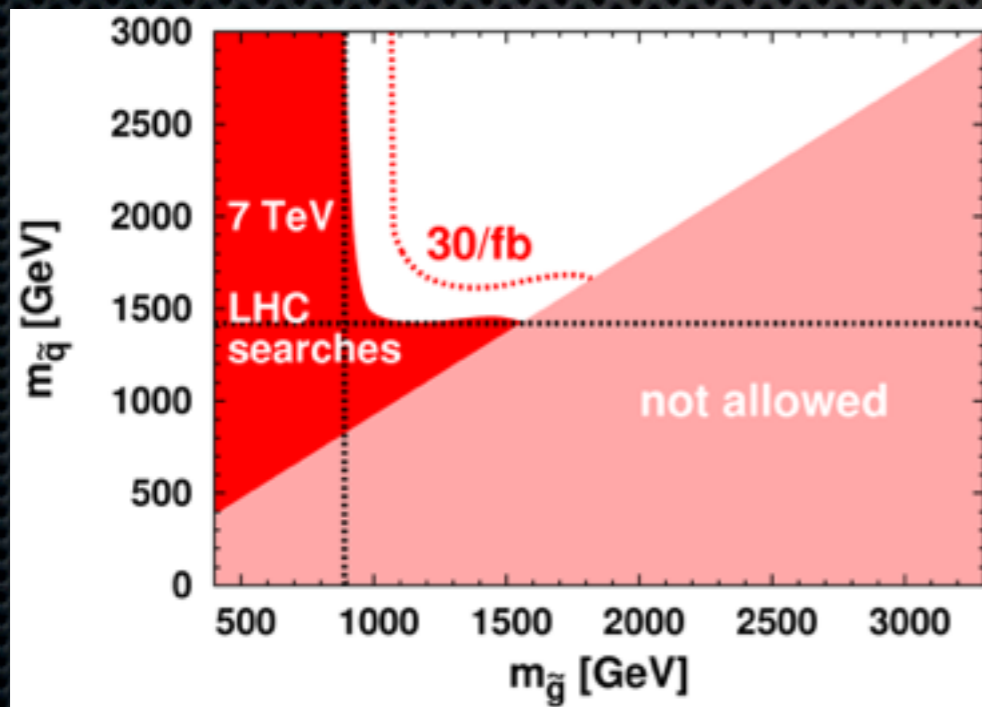
Массы суперпартнёров



# До куда дотянется LHC?

Универсальный сценарий

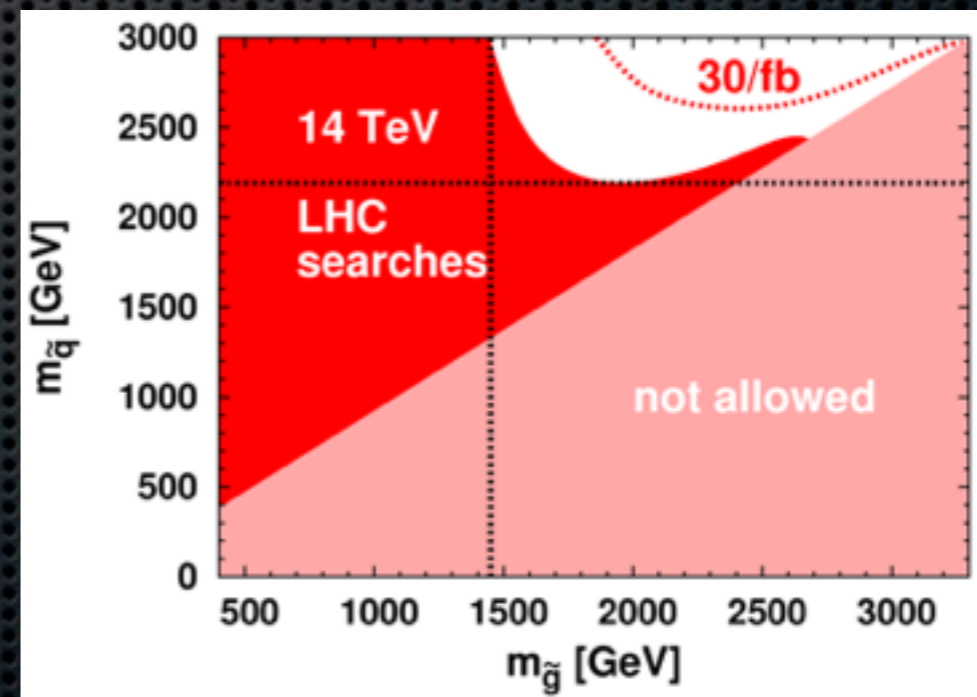
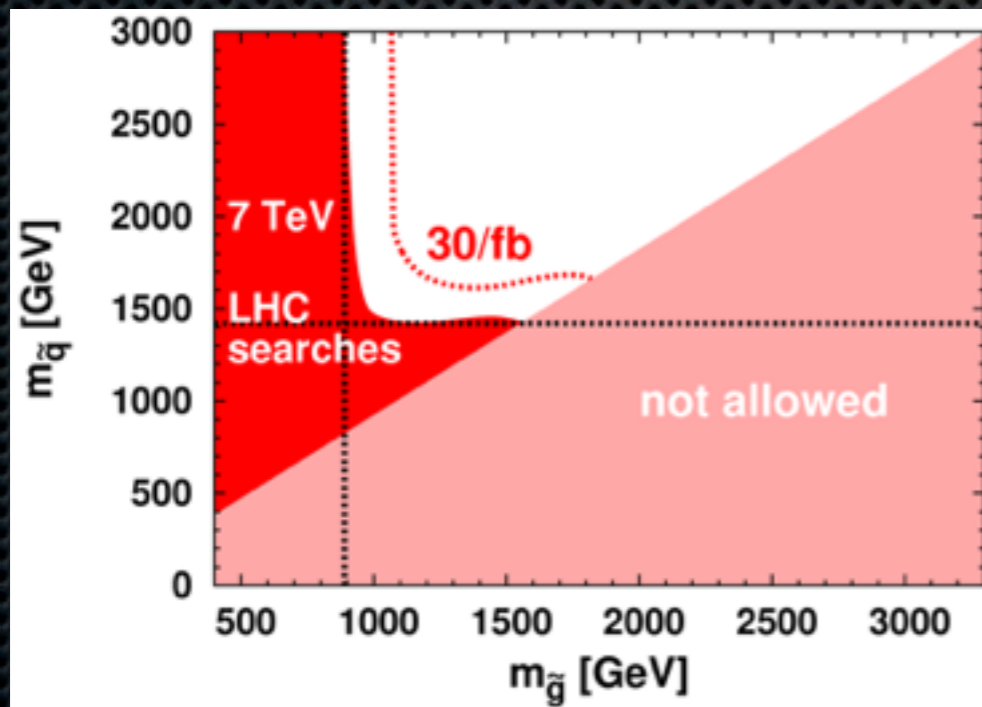
Массы суперпартнёров



# До куда дотянется LHC?

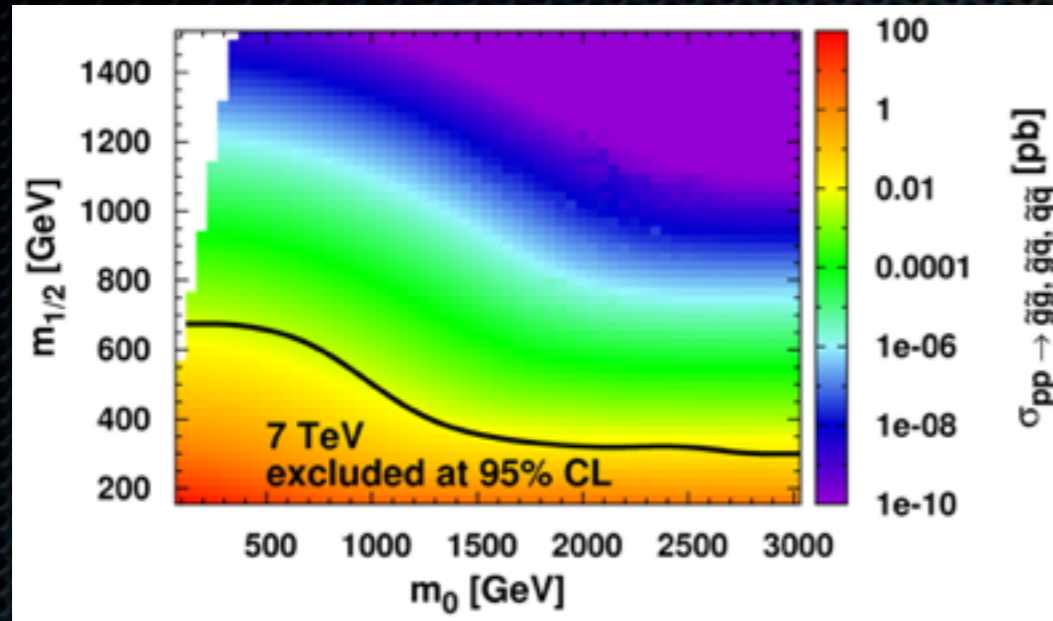
Универсальный сценарий

Массы суперпартнёров

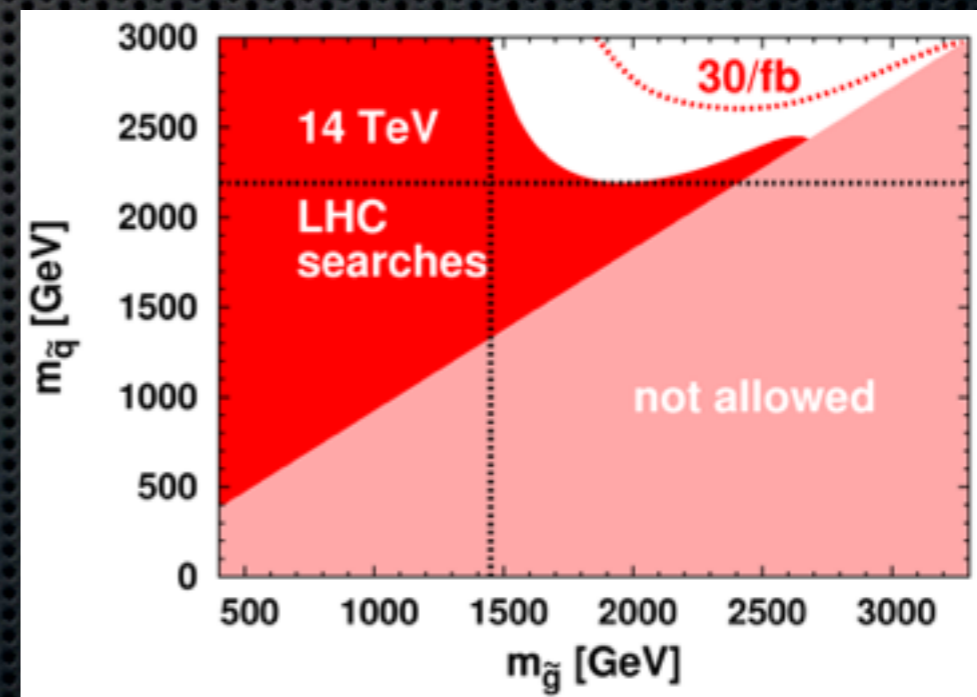
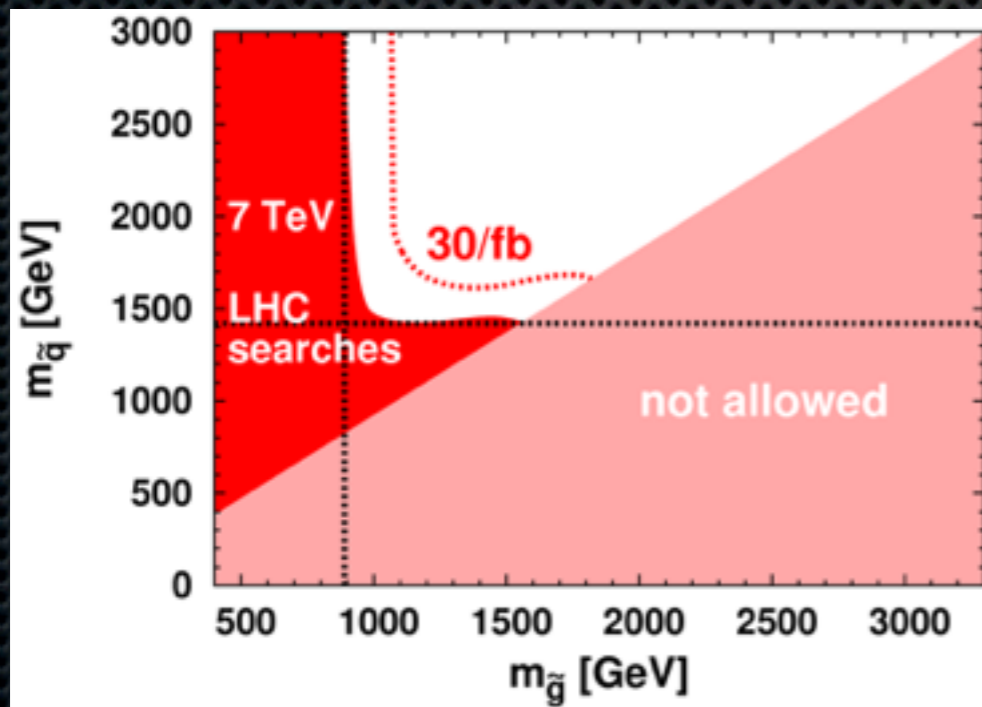


# До куда дотянется LHC?

Универсальный сценарий

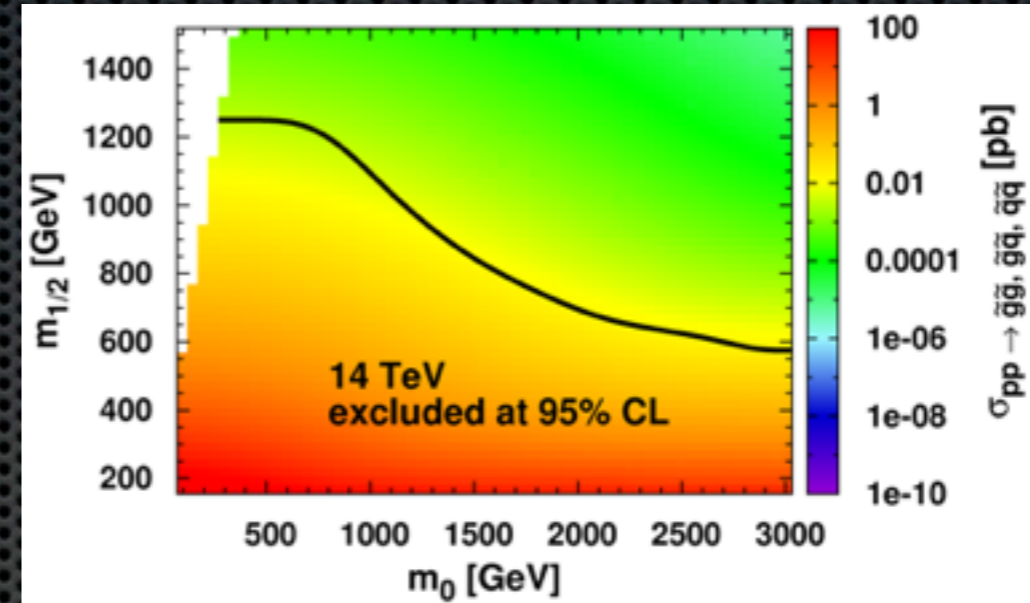
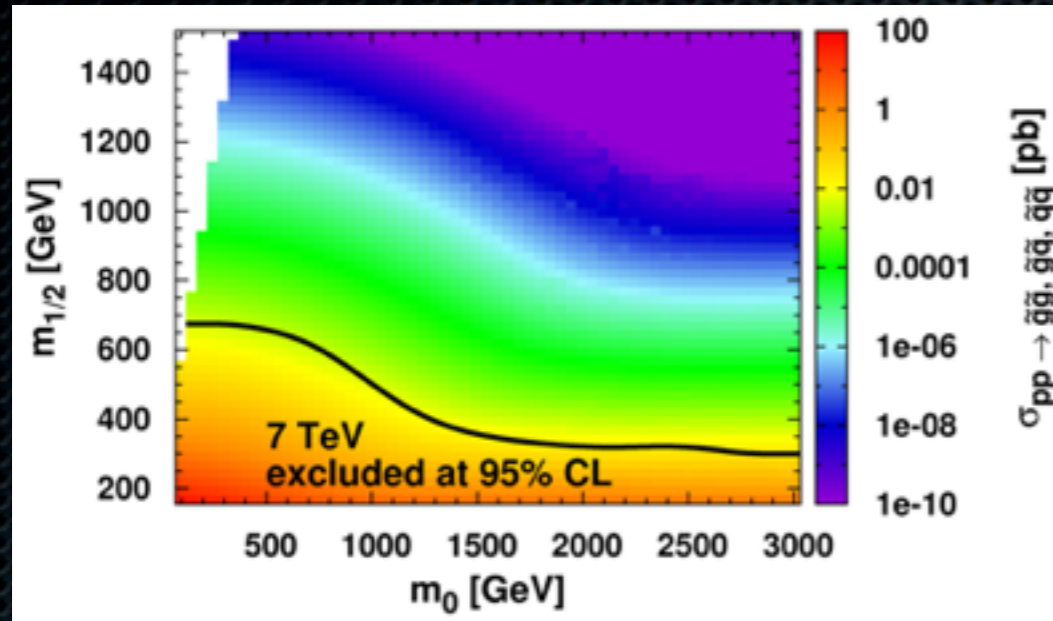


Массы суперпартнёров

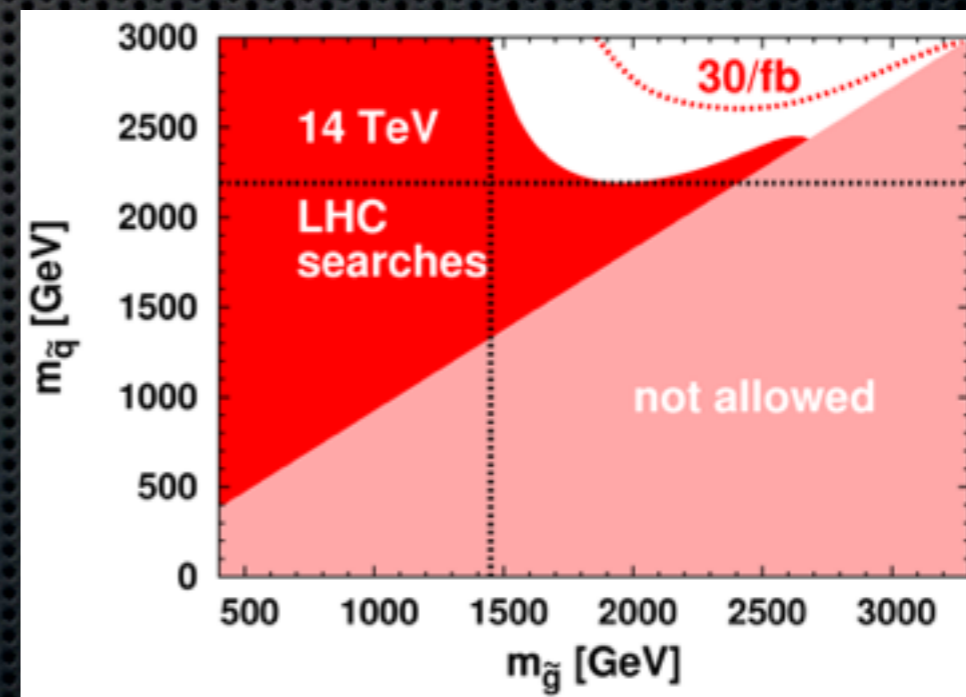
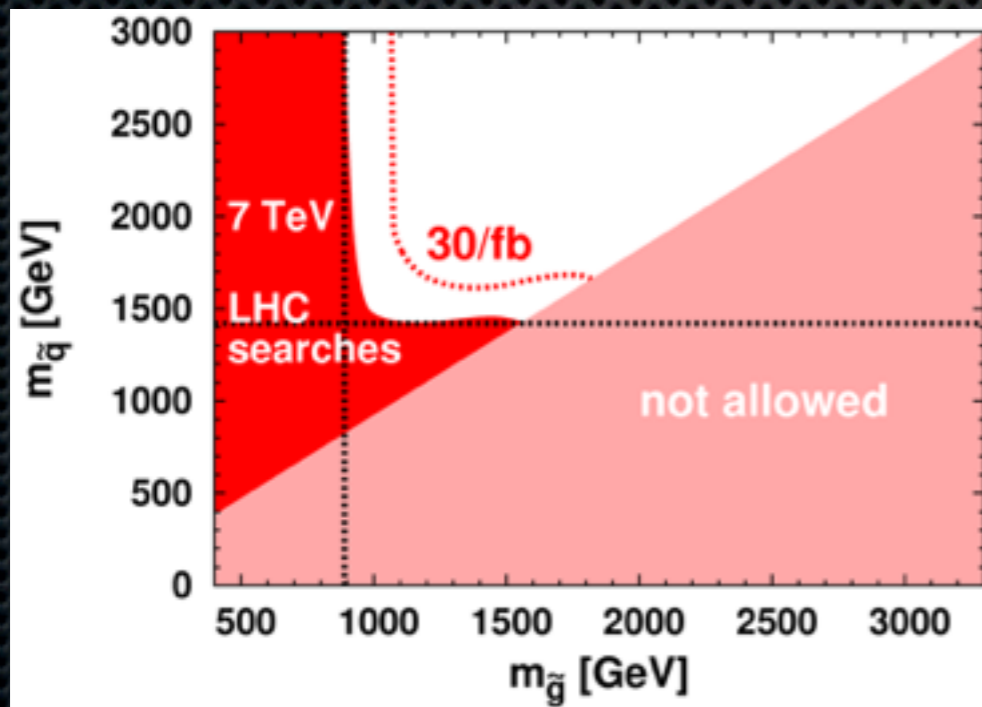


# До куда дотянется LHC?

Универсальный сценарий



Массы суперпартнёров

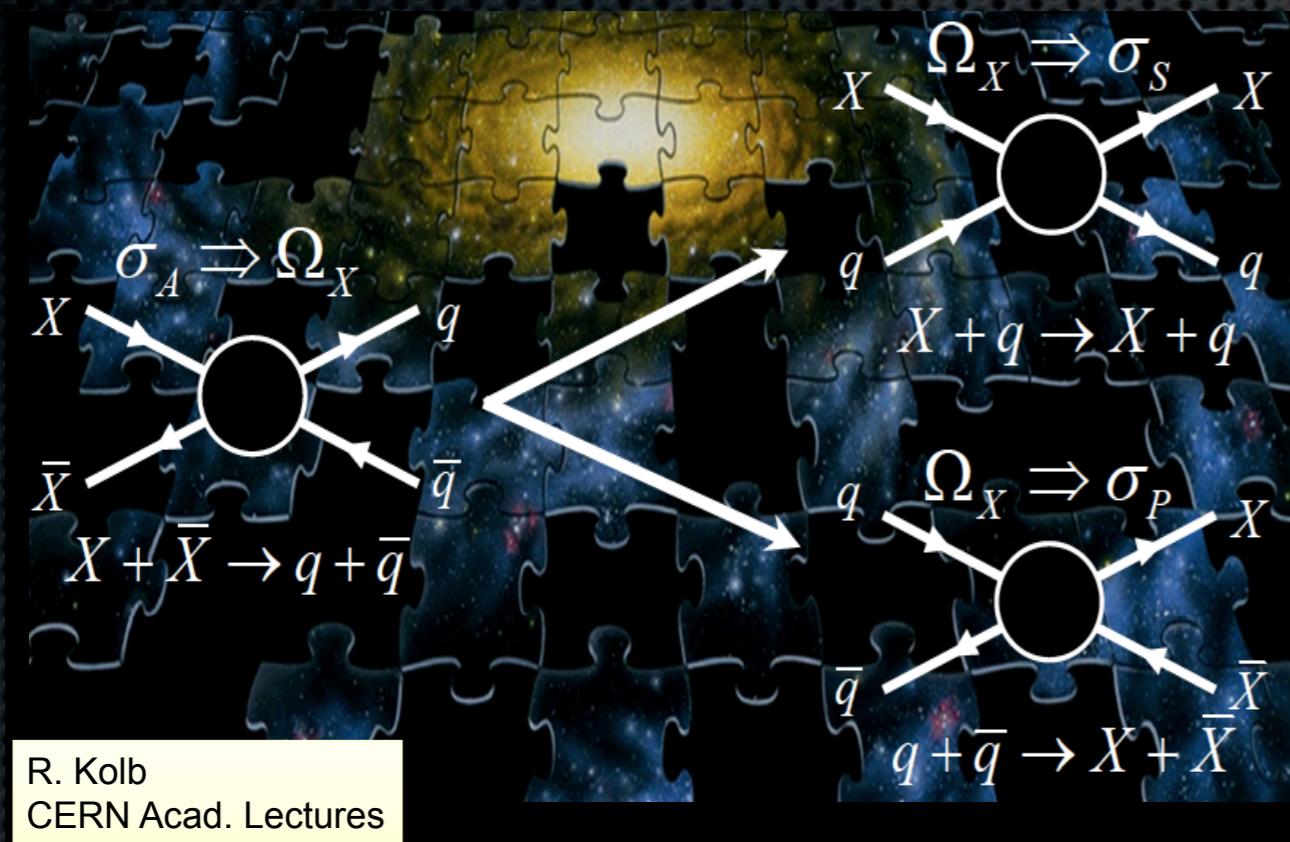


# Тёмная материя: три реакции в одном флаконе

# Тёмная материя: три реакции в одном флаконе

Д. Хоер: «Должно быть что-то вне СМ типа суперсимметрии. Я мечтаю о том, что на LHC нам удастся найти следы частиц тёмной материи» 2 апреля, ЦЕРН

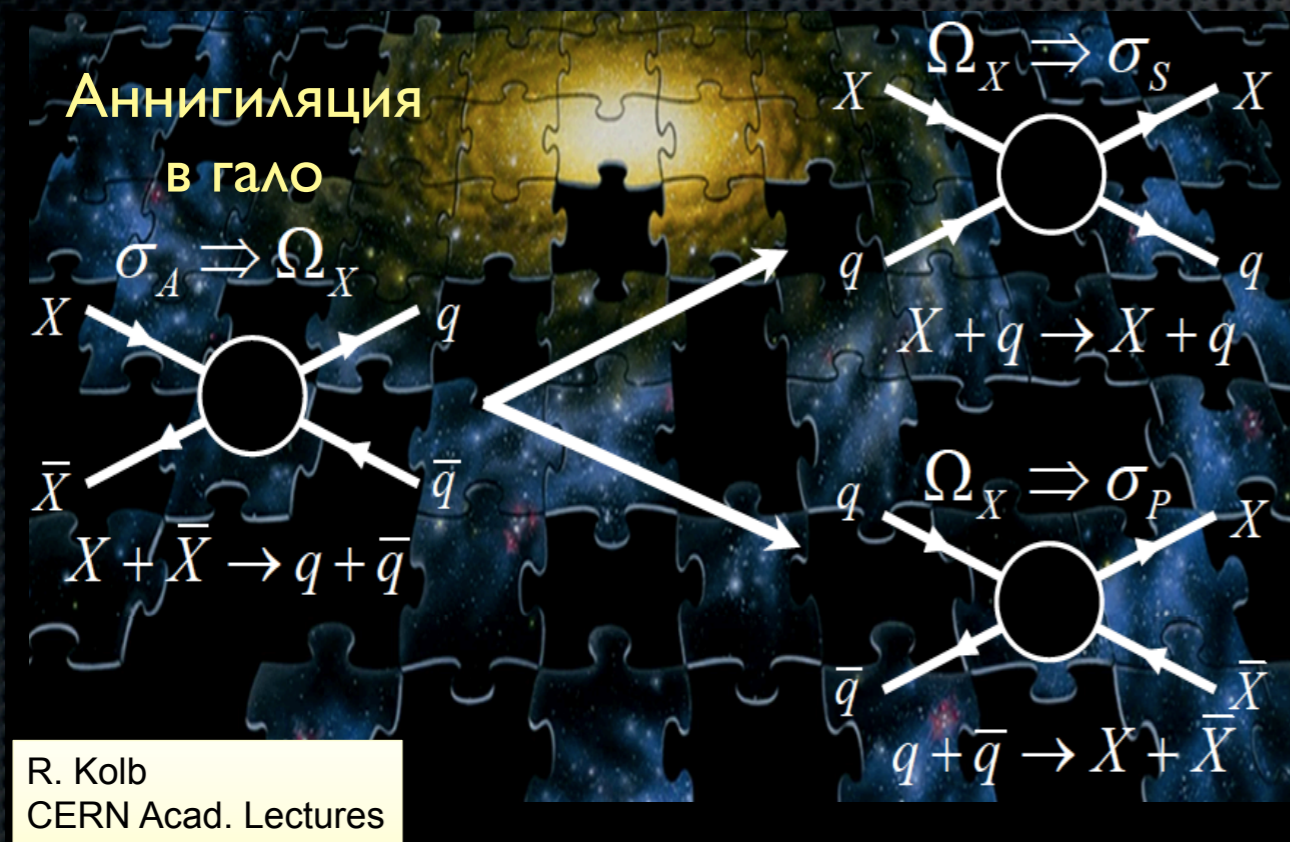
# Тёмная материя: три реакции в одном флаконе



Д. Хоер: «Должно быть что-то вне СМ типа суперсимметрии. Я мечтаю о том, что на ЛНС нам удастся найти следы частиц тёмной материи» 2 апреля, ЦЕРН

R. Kolb  
CERN Acad. Lectures

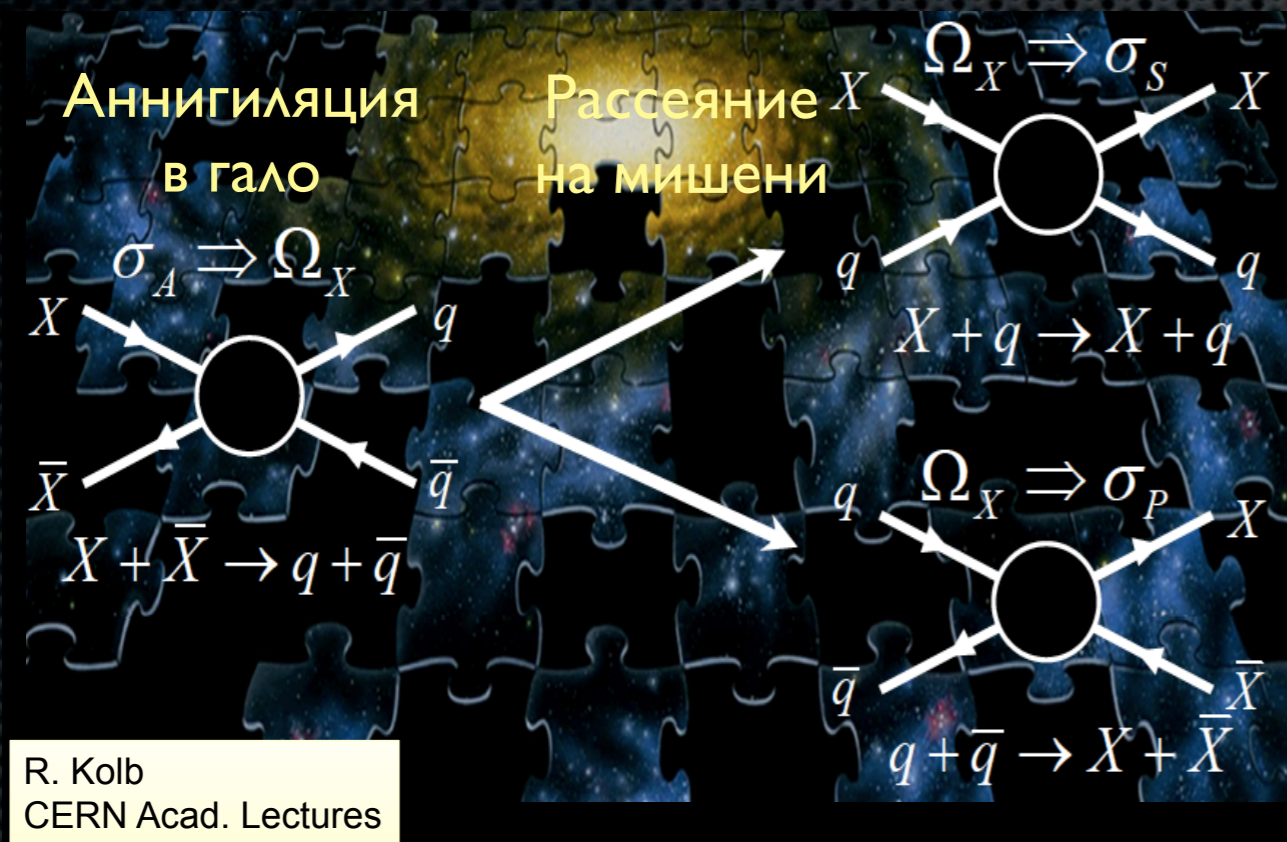
# Тёмная материя: три реакции в одном флаконе



Д. Хоер: «Должно быть что-то вне СМ типа суперсимметрии. Я мечтаю о том, что на LHC нам удастся найти следы частиц тёмной материи» 2 апреля, ЦЕРН

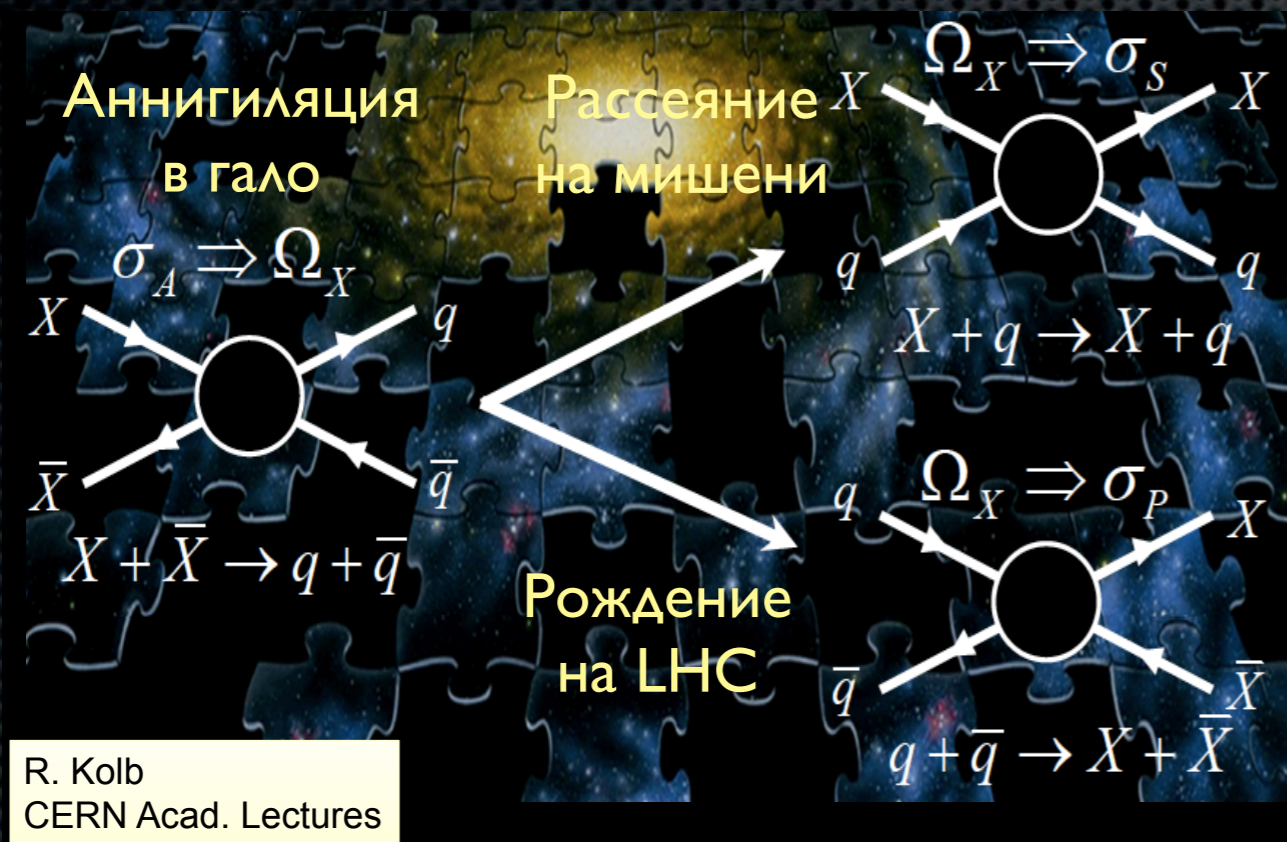


# Тёмная материя: три реакции в одном флаконе



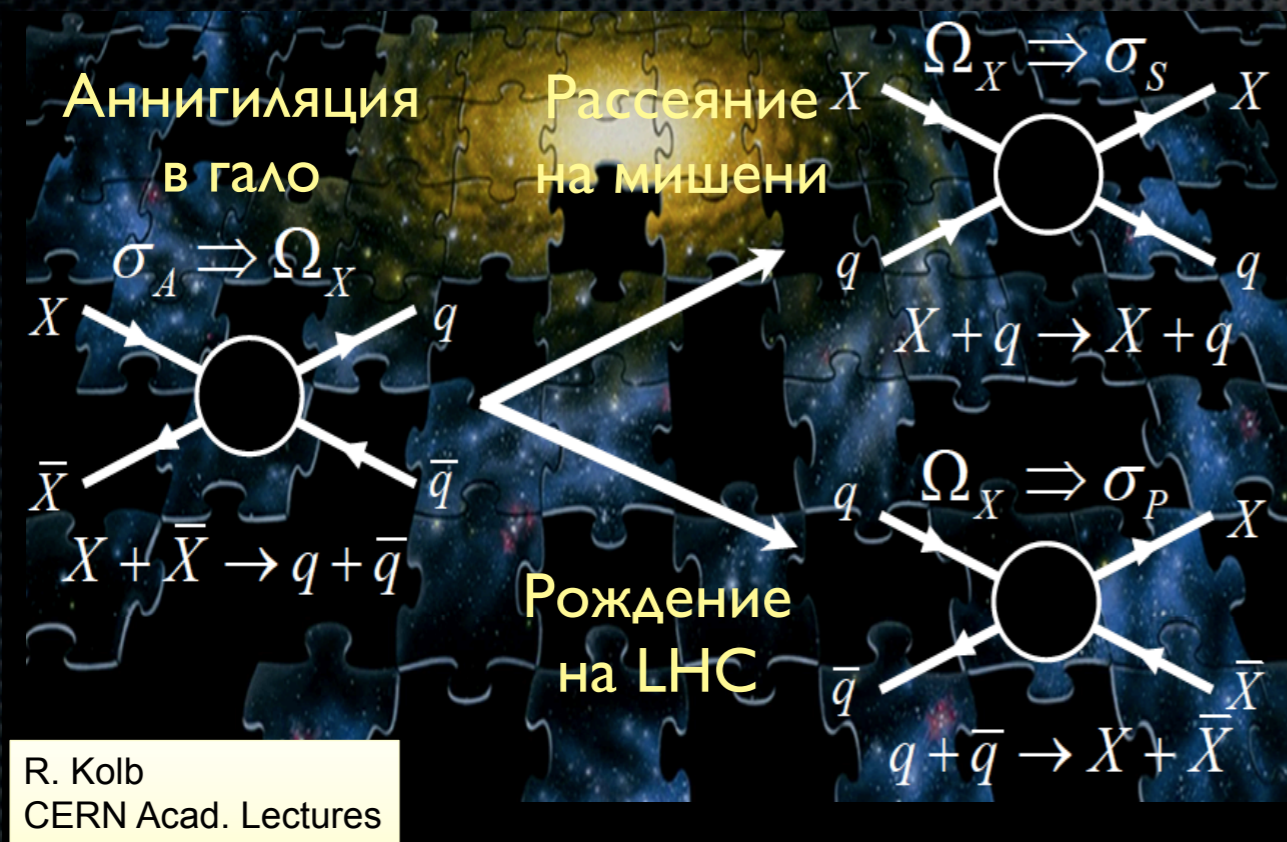
Д. Хоер: «Должно быть что-то вне СМ типа суперсимметрии. Я мечтаю о том, что на LHC нам удастся найти следы частиц тёмной материи» 2 апреля, ЦЕРН

# Тёмная материя: три реакции в одном флаконе

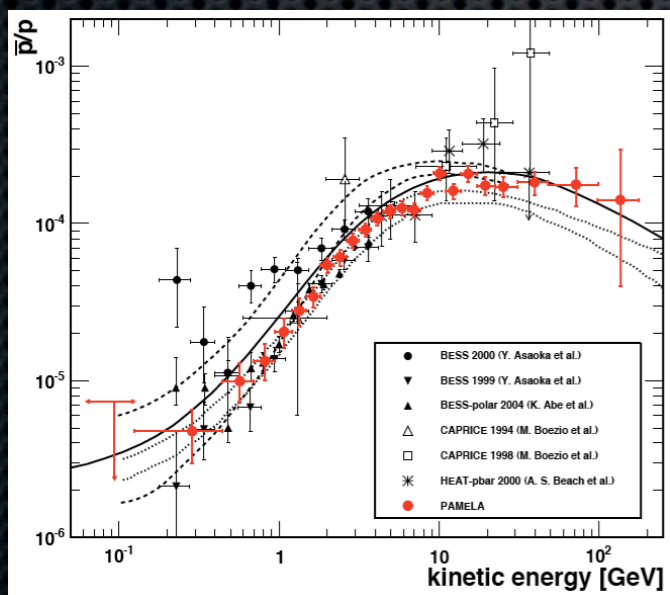


Д. Хоер: «Должно быть что-то вне СМ типа суперсимметрии. Я мечтаю о том, что на LHC нам удастся найти следы частиц тёмной материи» 2 апреля, ЦЕРН

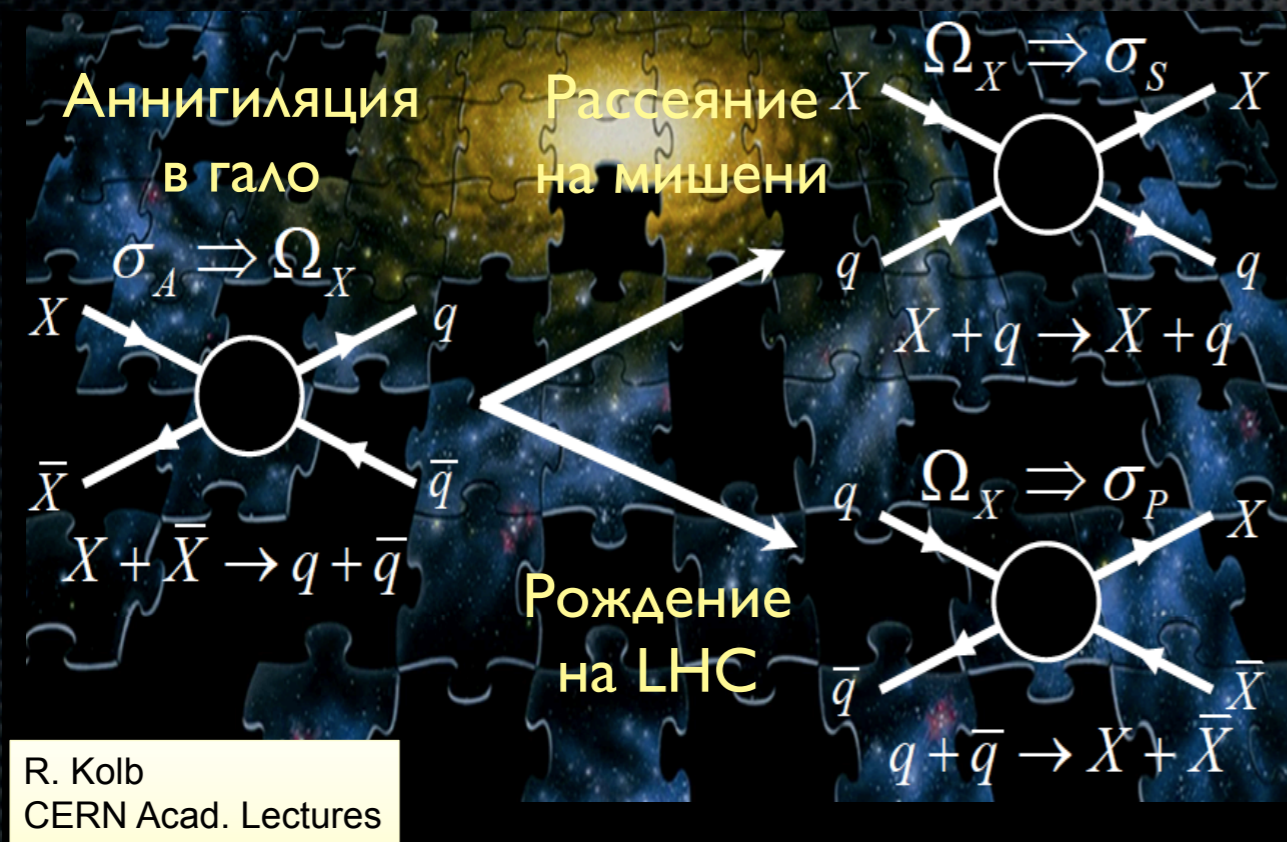
# Тёмная материя: три реакции в одном флаконе



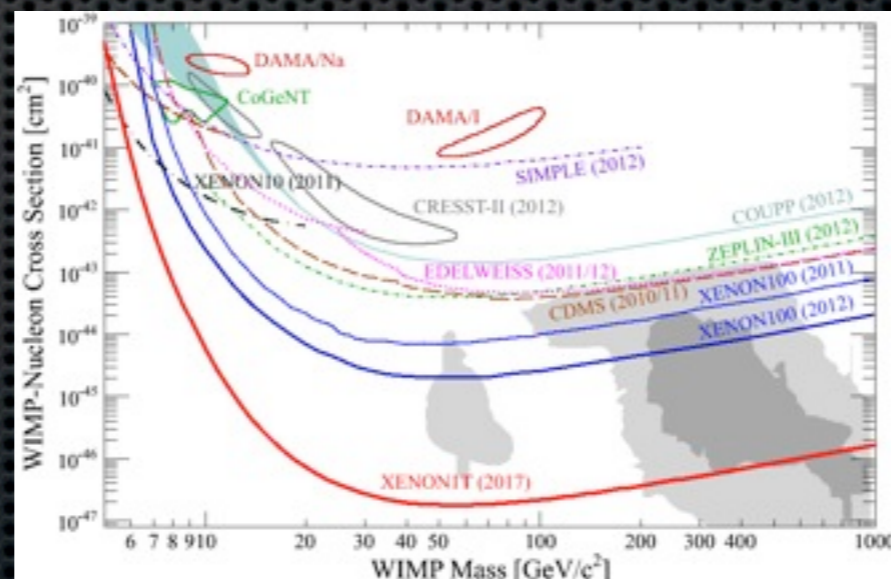
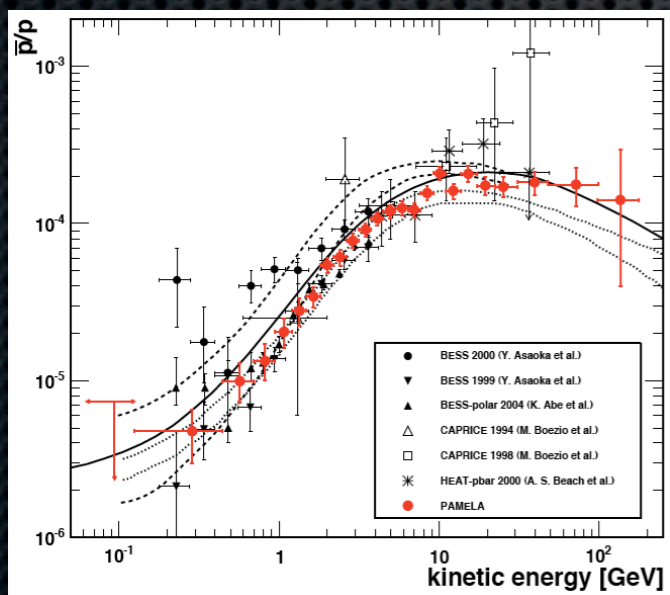
Д. Хоер: «Должно быть что-то вне СМ типа суперсимметрии. Я мечтаю о том, что на LHC нам удастся найти следы частиц тёмной материи» 2 апреля, ЦЕРН



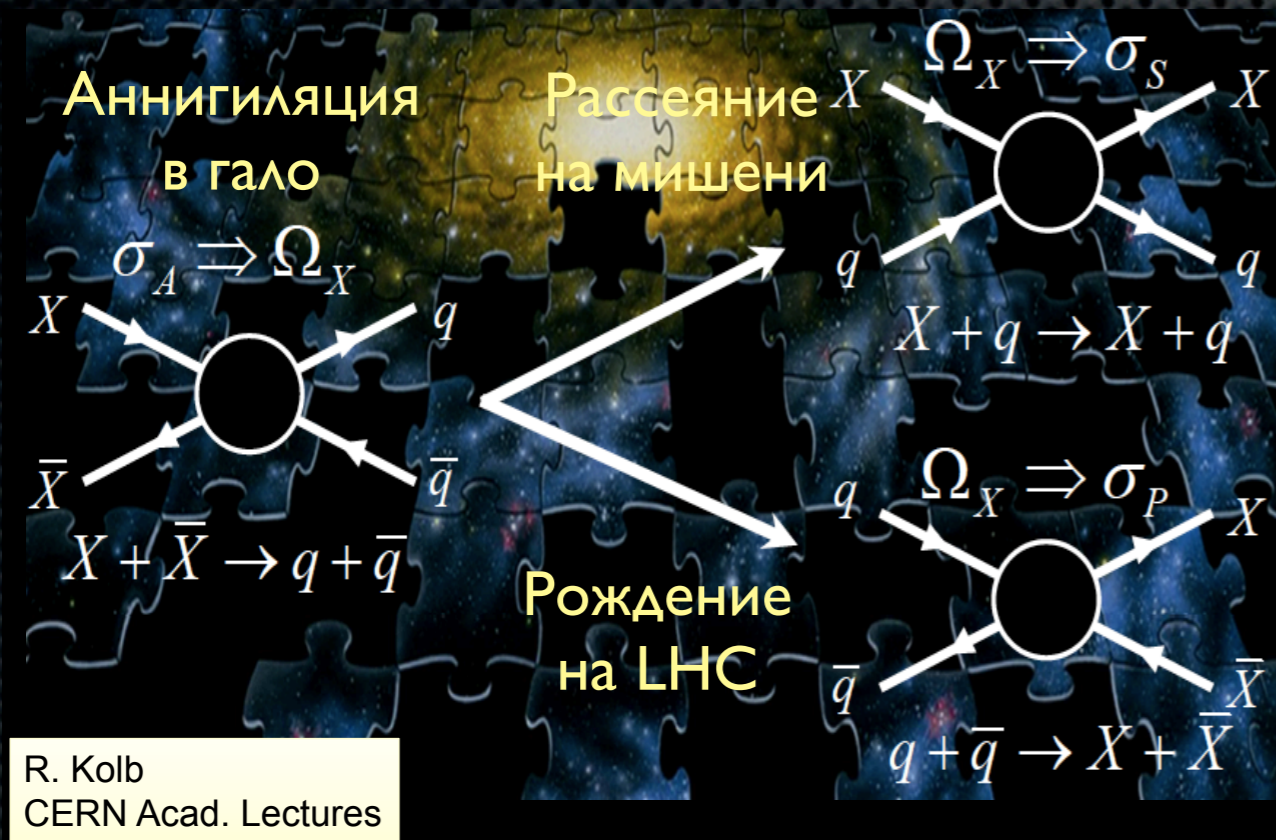
# Тёмная материя: три реакции в одном флаконе



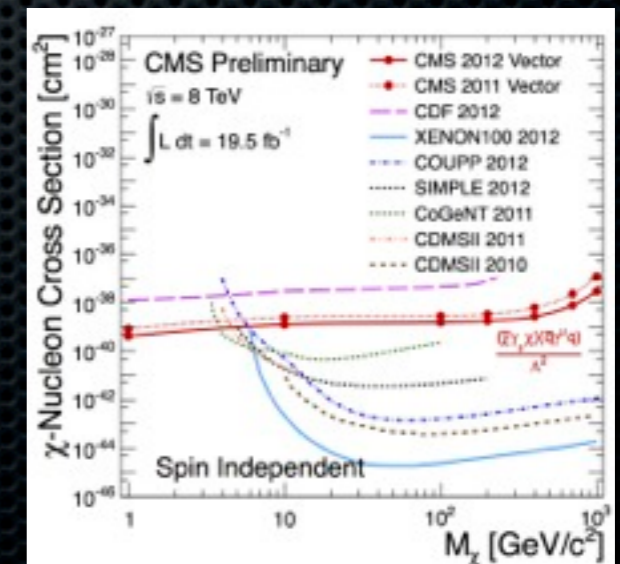
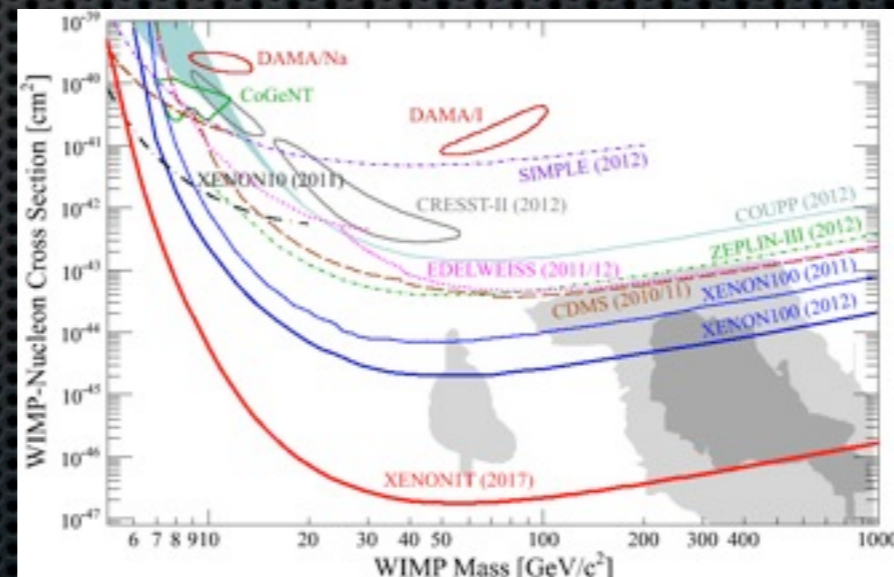
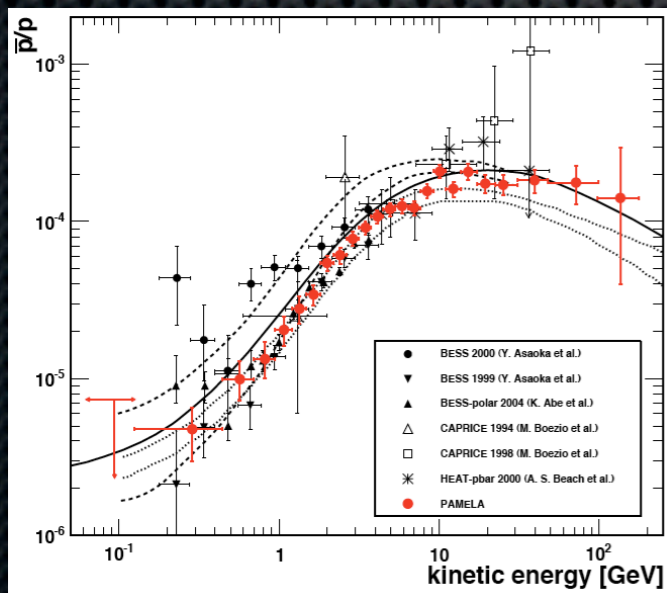
Д. Хоер: «Должно быть что-то вне СМ типа суперсимметрии. Я мечтаю о том, что на LHC нам удастся найти следы частиц тёмной материи» 2 апреля, ЦЕРН



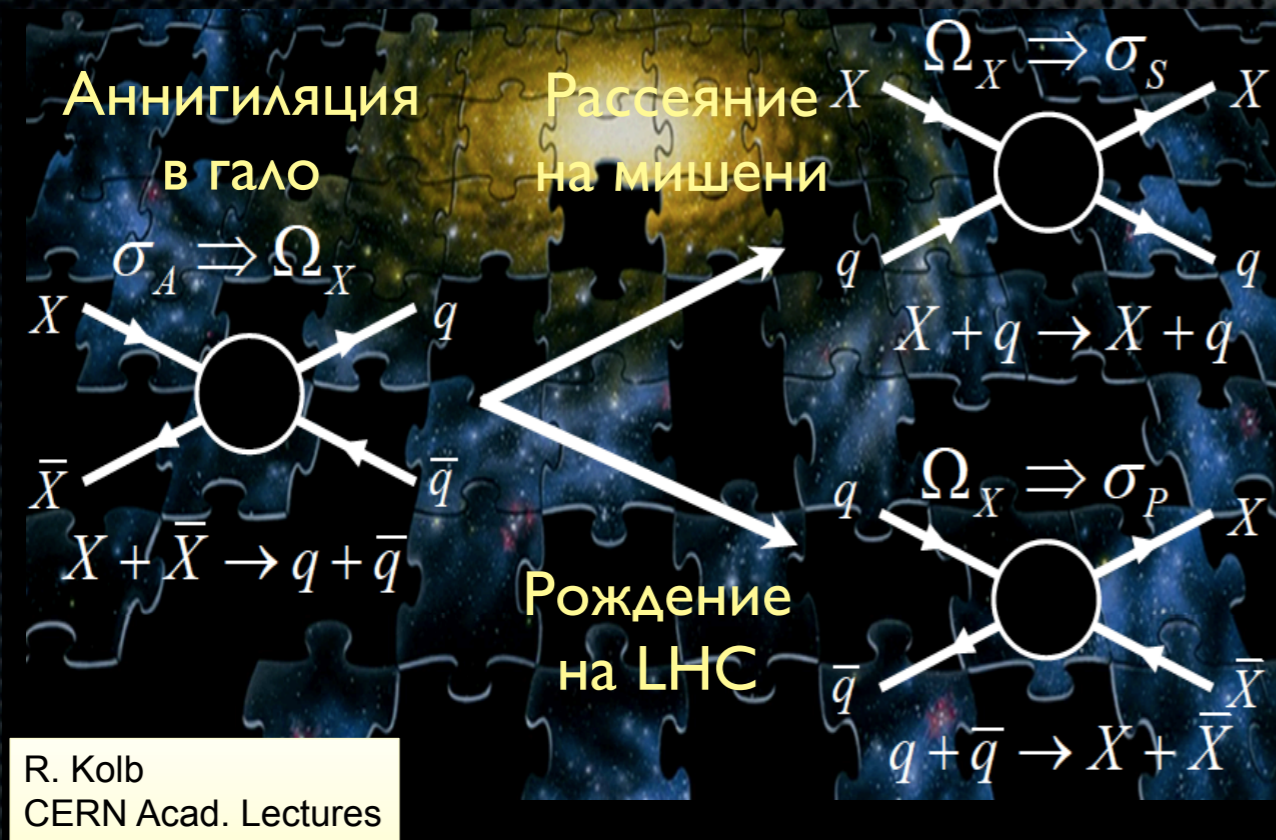
# Тёмная материя: три реакции в одном флаконе



Д. Хоер: «Должно быть что-то вне СМ типа суперсимметрии. Я мечтаю о том, что на LHC нам удастся найти следы частиц тёмной материи» 2 апреля, ЦЕРН

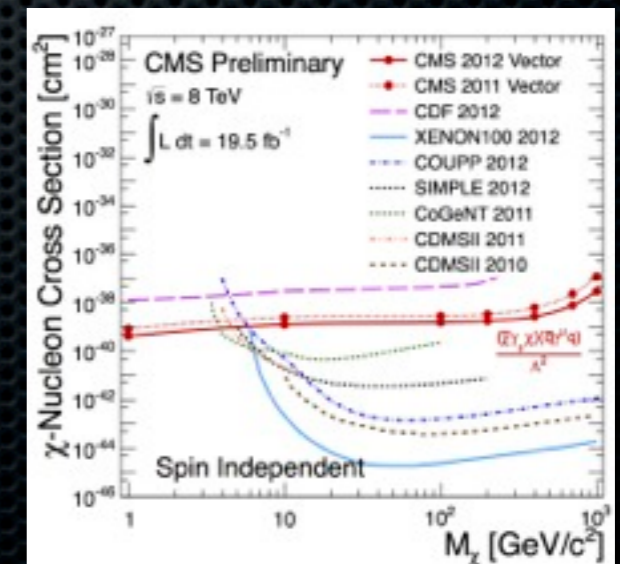
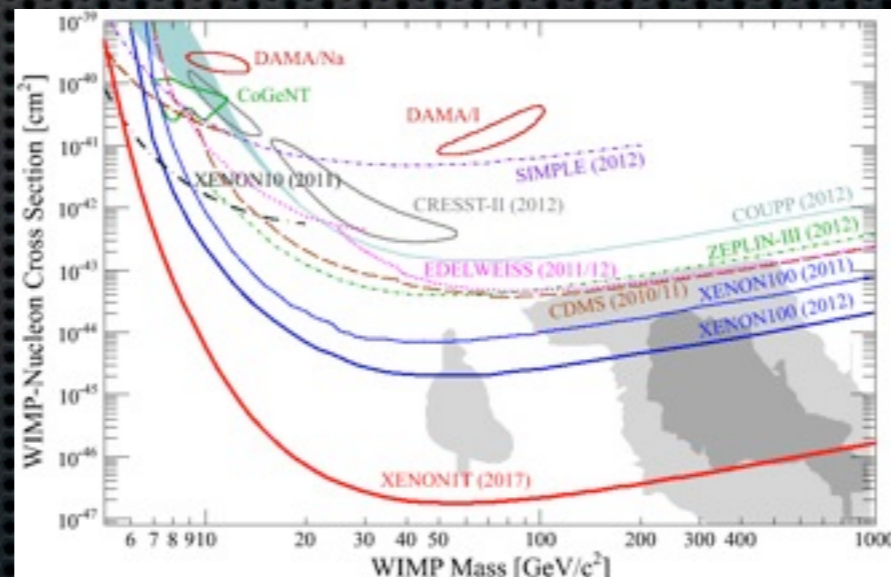
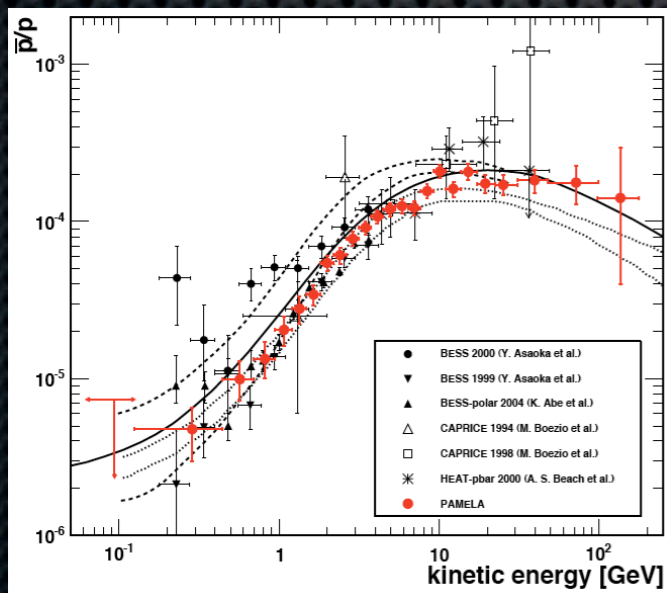


# Тёмная материя: три реакции в одном флаконе



Д. Хоер: «Должно быть что-то вне СМ типа суперсимметрии. Я мечтаю о том, что на LHC нам удастся найти следы частиц тёмной материи» 2 апреля, ЦЕРН

Только совокупность трёх сигналов позволит утверждать об обнаружении ТМ



Если не найдут СУСИ на ЛНС,  
то что?

# Если не найдут СУСИ на LHC, ТО ЧТО?

## *Paris Sphicas* Parting word on SUSY

- **Further guidance from theory (heard at Moriond 13):**  
“Supersymmetry will be alive even if we don’t find it at the LHC”  
→ **My take: sure, but ~ noone will be looking for it.**



# Если не найдут СУСИ на LHC, ТО ЧТО?

## *Paris Sphicas* Parting word on SUSY

- **Further guidance from theory (heard at Moriond 13):**  
“Supersymmetry will be alive even if we don’t find it at the LHC”  
→ **My take: sure, but ~ noone will be looking for it.**

**Мой комментарий:**

# Если не найдут СУСИ на LHC, ТО ЧТО?

## *Paris Sphicas* Parting word on SUSY

- **Further guidance from theory (heard at Moriond 13):**  
“Supersymmetry will be alive even if we don’t find it at the LHC”  
→ **My take: sure, but ~ noone will be looking for it.**

**Мой комментарий:**  
- смотреть будет негде

# Если не найдут СУСИ на LHC, ТО ЧТО?

## *Paris Sphicas* Parting word on SUSY

- **Further guidance from theory (heard at Moriond 13):**  
“Supersymmetry will be alive even if we don’t find it at the LHC”  
→ **My take: sure, but ~ noone will be looking for it.**

**Мой комментарий:**  
- смотреть будет негде  
- СУСИ феноменология  
остановится

# Если не найдут СУСИ на LHC, ТО ЧТО?

## *Paris Sphicas* Parting word on SUSY

- **Further guidance from theory (heard at Moriond 13):**  
“Supersymmetry will be alive even if we don’t find it at the LHC”  
→ **My take: sure, but ~ noone will be looking for it.**

- Мой комментарий:**
- смотреть будет негде
  - СУСИ феноменология остановится
  - СУСИ теория останется

# Если не найдут СУСИ на LHC, ТО ЧТО?

## *Paris Sphicas* Parting word on SUSY

- **Further guidance from theory (heard at Moriond 13):**  
“Supersymmetry will be alive even if we don’t find it at the LHC”  
→ **My take: sure, but ~ noone will be looking for it.**

- Мой комментарий:**
- смотреть будет негде
  - СУСИ феноменология остановится
  - СУСИ теория останется

**Суперсимметрия изменила квантовополевой ландшафт:**

# Если не найдут СУСИ на LHC, ТО ЧТО?

## *Paris Sphicas* Parting word on SUSY

- **Further guidance from theory (heard at Moriond 13):**  
“Supersymmetry will be alive even if we don’t find it at the LHC”  
→ **My take: sure, but ~ noone will be looking for it.**

- Мой комментарий:**
- смотреть будет негде
  - СУСИ феноменология остановится
  - СУСИ теория останется

**Суперсимметрия изменила квантовополевой ландшафт:**  
- теории без УФ расходимостей

# Если не найдут СУСИ на LHC, ТО ЧТО?

## *Paris Sphicas* Parting word on SUSY

- **Further guidance from theory (heard at Moriond 13):**  
“Supersymmetry will be alive even if we don’t find it at the LHC”  
→ **My take: sure, but ~ noone will be looking for it.**

- Мой комментарий:**
- смотреть будет негде
  - СУСИ феноменология остановится
  - СУСИ теория останется

**Суперсимметрия изменила квантовополевой ландшафт:**

- теории без УФ расходимостей
- точные результаты во всех порядках ТВ

# Если не найдут СУСИ на LHC, ТО ЧТО?

## *Paris Sphicas* Parting word on SUSY

- **Further guidance from theory (heard at Moriond 13):**  
“Supersymmetry will be alive even if we don’t find it at the LHC”  
→ **My take: sure, but ~ noone will be looking for it.**

- Мой комментарий:**
- смотреть будет негде
  - СУСИ феноменология остановится
  - СУСИ теория останется

## Суперсимметрия изменила квантовополевой ландшафт:

- теории без УФ расходимостей
- точные результаты во всех порядках ТВ
- AdS/CFT соответствие



# Если не найдут СУСИ на LHC, ТО ЧТО?

## *Paris Sphicas* Parting word on SUSY

- **Further guidance from theory (heard at Moriond 13):**  
“Supersymmetry will be alive even if we don’t find it at the LHC”  
→ **My take: sure, but ~ noone will be looking for it.**

- Мой комментарий:**
- смотреть будет негде
  - СУСИ феноменология остановится
  - СУСИ теория останется

## Суперсимметрия изменила квантовополевой ландшафт:

- теории без УФ расходимостей
- точные результаты во всех порядках ТВ
- AdS/CFT соответствие
- концептуально новый взгляд на калибровочные теории

# Если не найдут СУСИ на LHC, ТО ЧТО?

## *Paris Sphicas* Parting word on SUSY

- **Further guidance from theory (heard at Moriond 13):**  
“Supersymmetry will be alive even if we don’t find it at the LHC”  
→ **My take: sure, but ~ noone will be looking for it.**

- Мой комментарий:**
- смотреть будет негде
  - СУСИ феноменология остановится
  - СУСИ теория останется

**Суперсимметрия изменила квантовополевой ландшафт:**

- теории без УФ расходимостей
- точные результаты во всех порядках ТВ
- AdS/CFT соответствие
- концептуально новый взгляд на калибровочные теории

**Суперсимметрия обещает в конечном счёте выйти за рамки ТВ и впервые построить точно-решаемую модель квантовой теории поля**

# Если не найдут СУСИ на LHC, ТО ЧТО?

## *Paris Sphicas* Parting word on SUSY

- **Further guidance from theory (heard at Moriond 13):**  
“Supersymmetry will be alive even if we don’t find it at the LHC”  
→ **My take: sure, but ~ noone will be looking for it.**

- Мой комментарий:**
- смотреть будет негде
  - СУСИ феноменология остановится
  - СУСИ теория останется

**Суперсимметрия изменила квантовополевой ландшафт:**

- теории без УФ расходимостей
- точные результаты во всех порядках ТВ
- AdS/CFT соответствие
- концептуально новый взгляд на калибровочные теории

**Суперсимметрия обещает в конечном счёте выйти за рамки ТВ и впервые построить точно-решаемую модель квантовой теории поля  
Квантовая гравитация через суперсимметрию!**

За круглый стол посажу друзей ..



С юбилеем Миша !