

Перспективы открытия Суперсимметрии

ИНС

ЦЕ

e^- e^+

Дмитрий Казаков

ОИЯИ/ИТЭФ

Что такое Суперсимметрия?

СуСи – это симметрия между бозонами и фермионами

Бозоны и фермионы образуют пары

(φ, ψ)

(λ, A_μ)

(g, g)

Спин 0

Спин 1/2

Спин 1/2

Спин 1

Спин 3/2

Спин 2

Скаляр

Хиральный фермион

Матричные бозоны

Гравитон

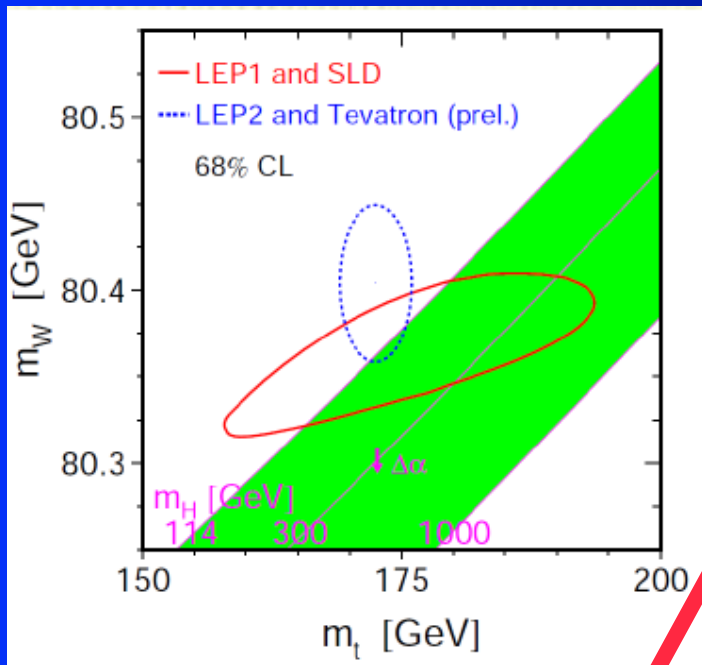
Состав частиц МССМ

Суперполе	Бозоны	Фермионы	$SU_c(3)$	$SU_L(2)$	$U_Y(1)$		
Калибровочное							
G^a	глюино g^a	ГЛЮИНО	\tilde{g}^a	8	1	0	
V^k	Слабые $W^k (W^\pm, Z)$	ВИНО, ЗИНО	$\tilde{w}^k (\tilde{w}^\pm, \tilde{z})$	1	3	0	
V'	Гиперзаряд $B(\gamma)$	бино(фотино)	$\tilde{b}(\tilde{\gamma})$	1	1	0	
Материя							
L_i	слептоны	ЛЕПТОНЫ	$\tilde{L}_i = (\tilde{\nu}, \tilde{e})_L$	$L_i = (\nu, e)_L$	1	2	-1
E_i				$E_i = e_R$	1	1	2
Q_i	скварки	КВАРКИ	$\tilde{Q}_i = (\tilde{u}, \tilde{d})_L$	$Q_i = (u, d)_L$	3	2	1/3
U_i				$U_i = u_R^c$	3*	1	-4/3
D_i				$D_i = d_R^c$	3*	1	2/3
Хиггсовское							
H_1	ХИГГСОВСКИЕ БОЗОНЫ	ХИГГСИНО	\tilde{H}_1	H_1	1	2	-1
H_2				H_2	1	2	1

Поиски Хиггсовского Бозона (бозонов) в СМ и МССМ

ХИГГСОВСКИЙ БОЗОН В СМ

- Косвенное ограничение из радиационных поправок
- Прямое ограничение из ненаблюдения на LEP II (ЦЕРН)
- Точное измерение M_W и m_t

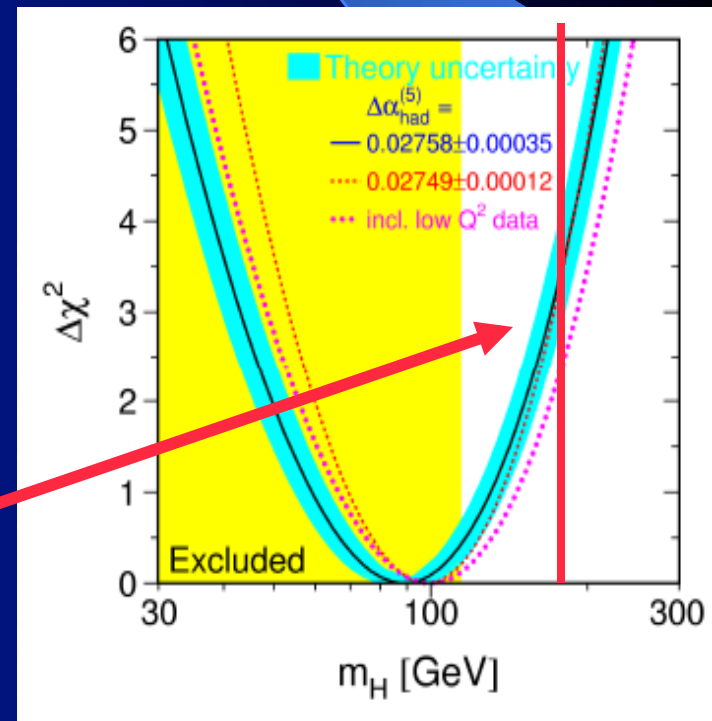


χ^2 versus M_H for SM Fit

$\pm M_H = 76 + 33 - 29$ 68%CL

$\pm M_H < 144$ GeV 95%CL

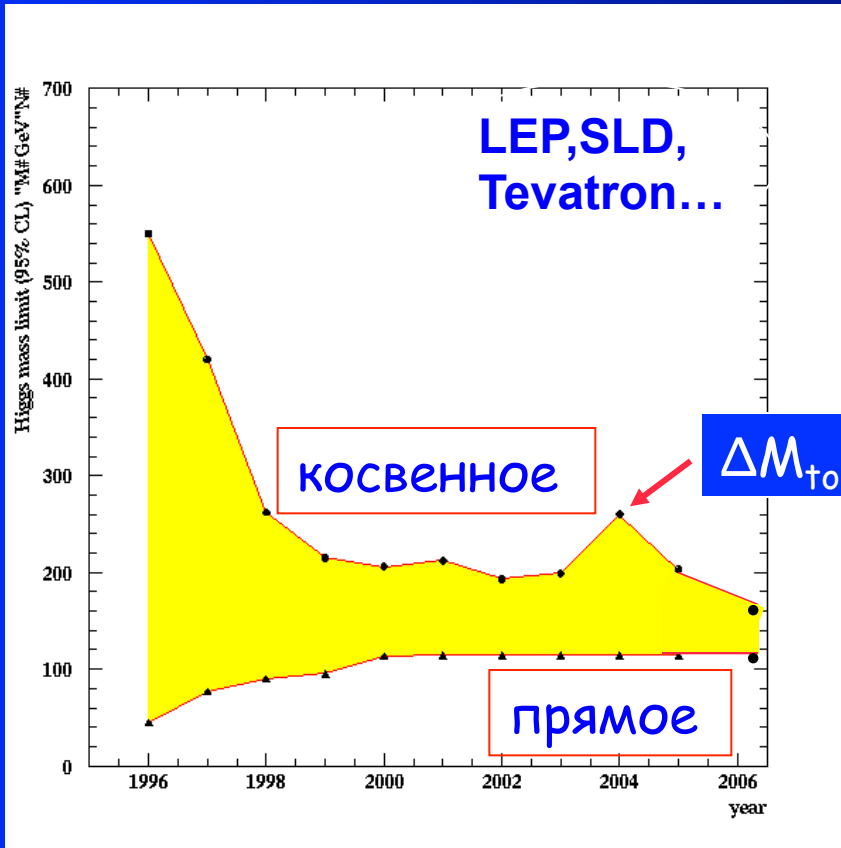
for $m_{top} = 172.5$ GeV



Если он здесь,
то мы его вскоре увидим

СМ: Радиационные поправки

Временная эволюция экспериментальных ограничений на массу хиггсовского бозона

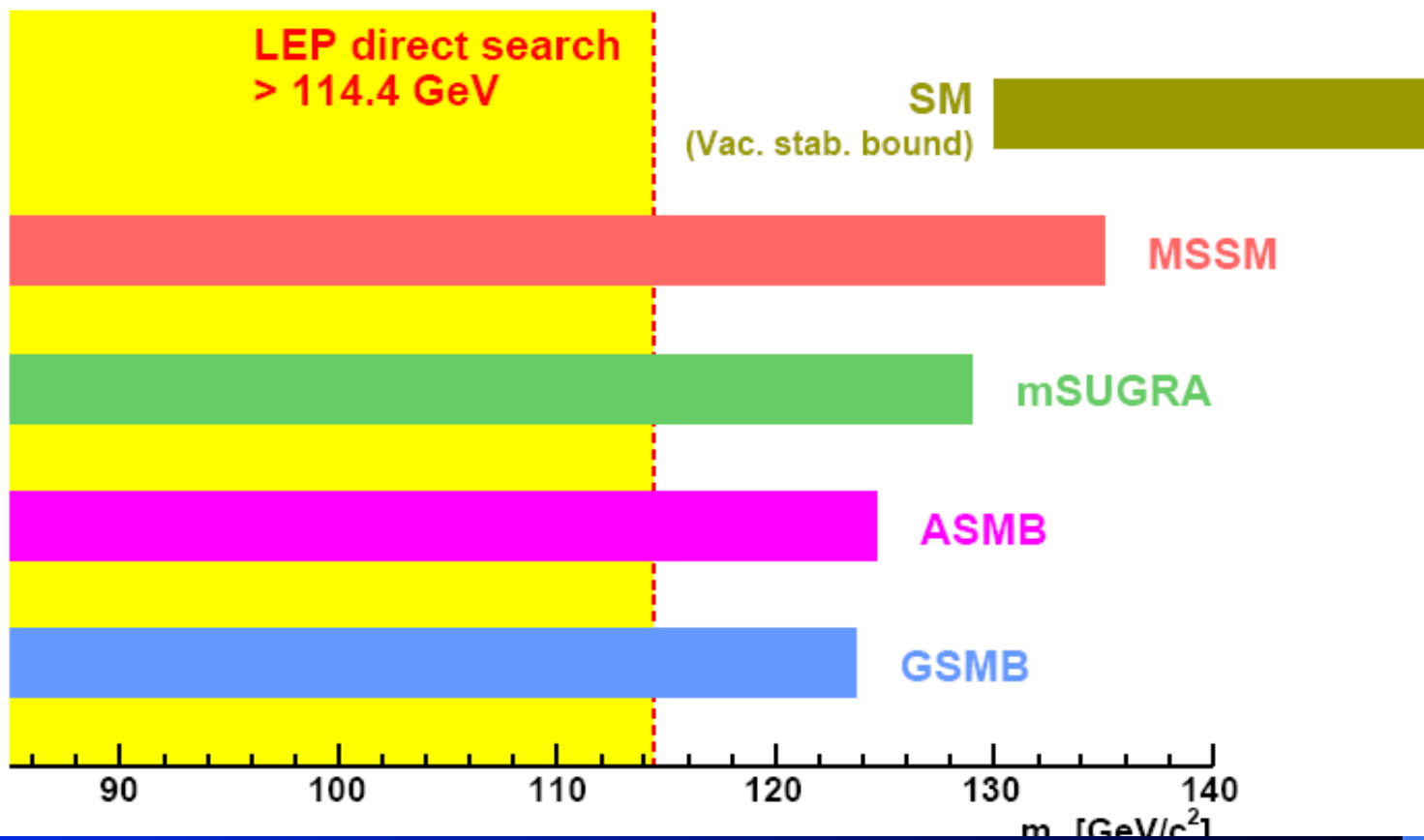


$$\propto \left(\frac{M_t}{M_W}\right)^2, \ln\left(\frac{M_h}{M_W}\right)$$

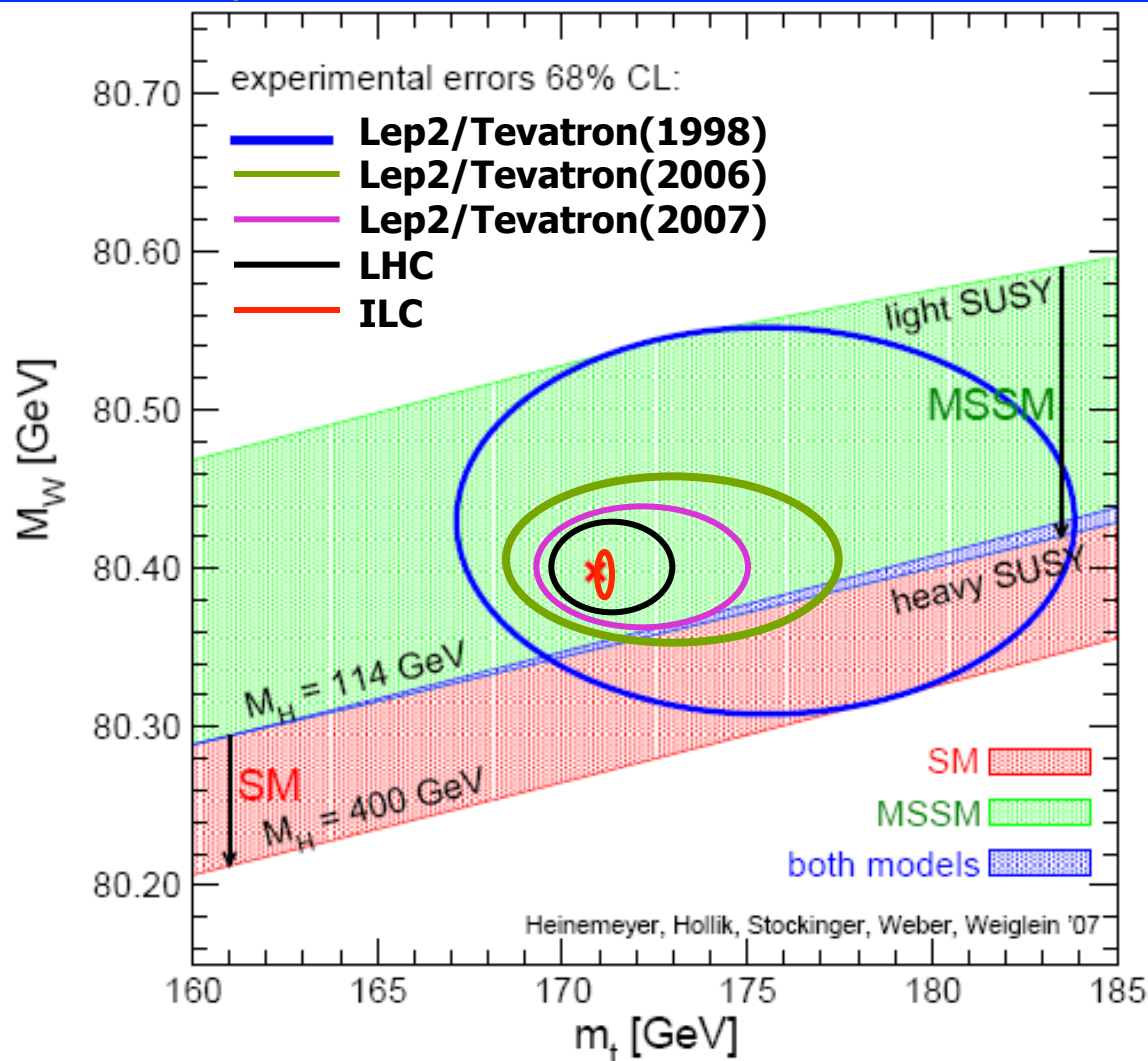
Полученные ограничения есть следствие комбинации данных полученных на различных ускорителях: лептонных и адронных коллайдерах

M_H между 114 и ~144 ГэВ

Сравнение предсказаний для массы хиггсовского бозона в различных моделях



Измерение M_W и m_t и сравнение с СМ и МССМ



MSSM band:
scan over
SUSY masses

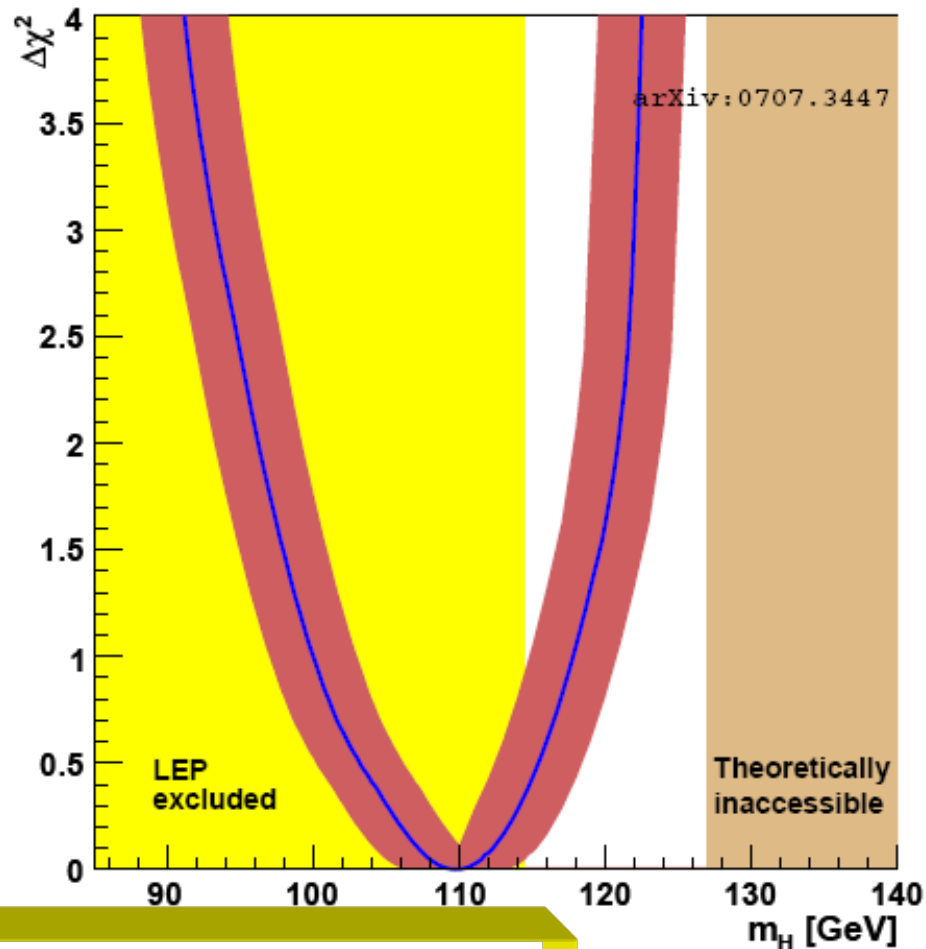
overlap:
SM is MSSM-like
MSSM is SM-like

SM band:
variation of M_H^{SM}

Фит ЭлСлаб наблюдаемых в МССМ

Red band plot:

[Buchmüller, Cavanaugh, de Roeck, S.H., Isidori, Paradisi, Ronga, Weber, G. Weiglein '07]

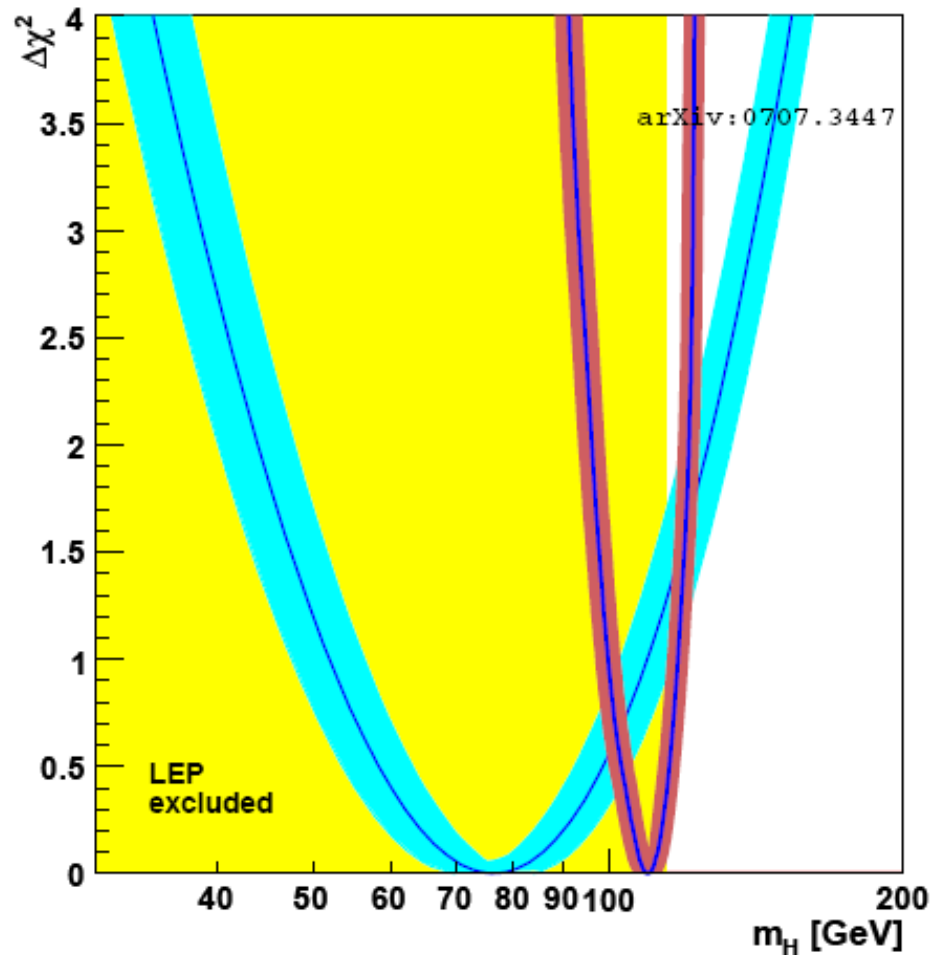


$$M_h = 110_{-10}^{+8} (\text{exp}) \pm 3(\text{theo}) \text{ GeV}$$

Сравнение СМ и МССМ

Blue/Red band plot:

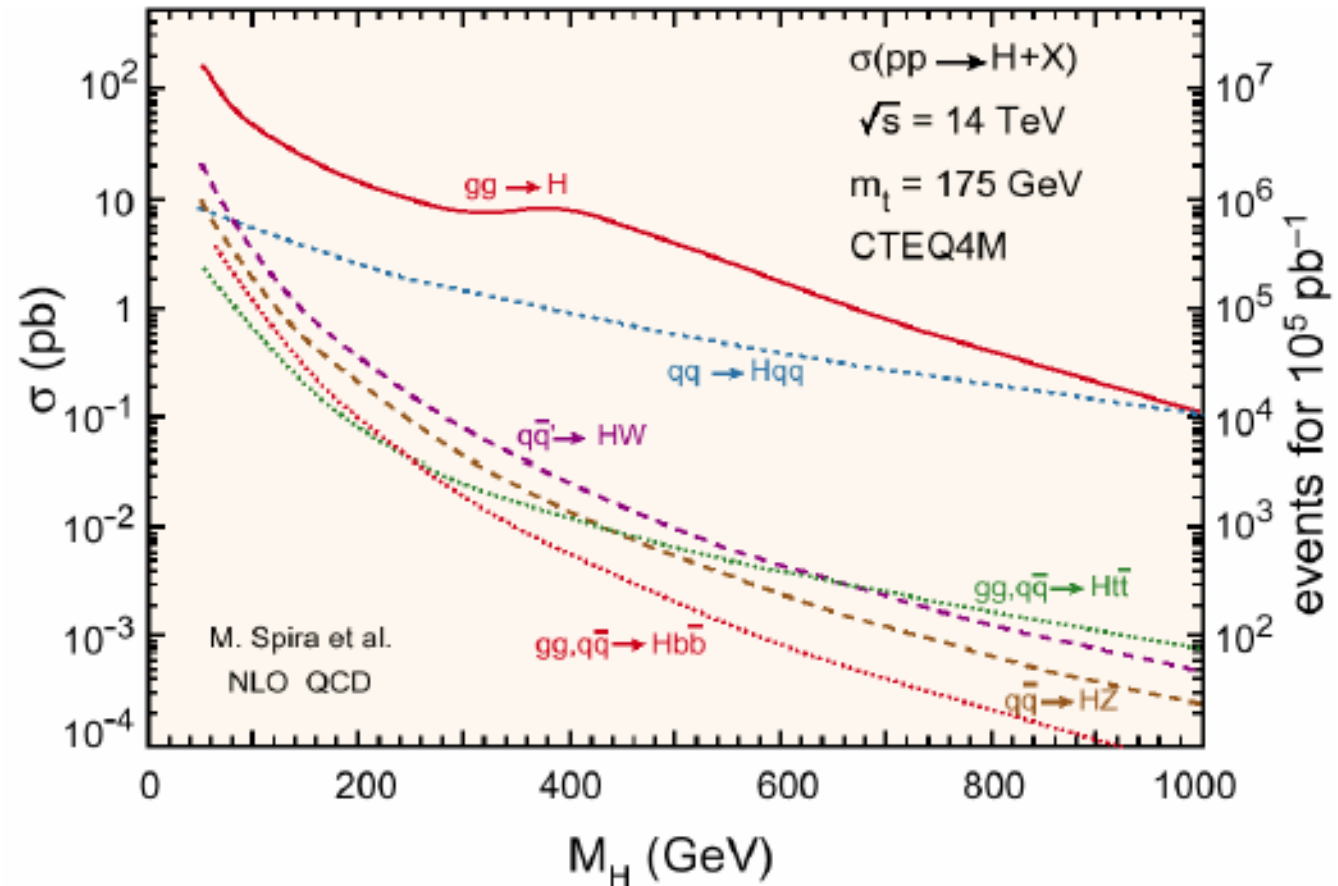
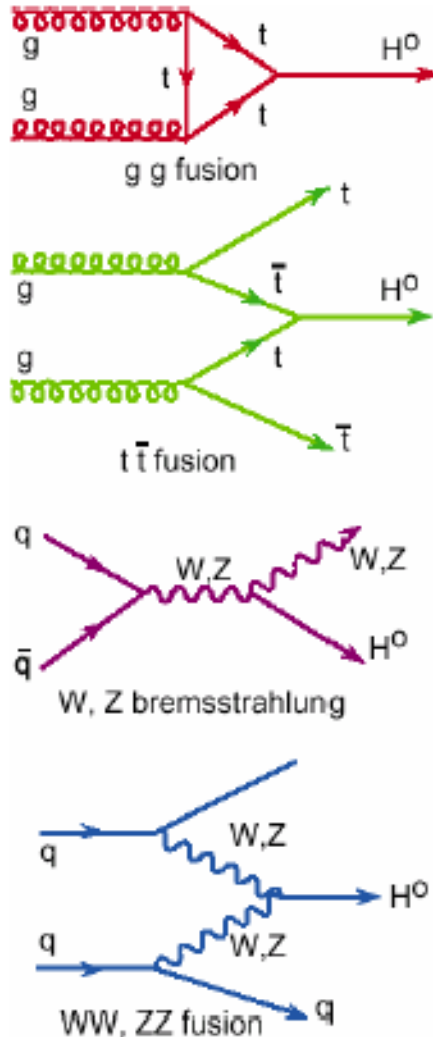
[Buchmüller, Cavanaugh, de Roeck, S.H., Isidori, Paradisi, Ronga, Weber, G. Weiglein '07]



CMSSM (despite its simplicity) is better than the SM

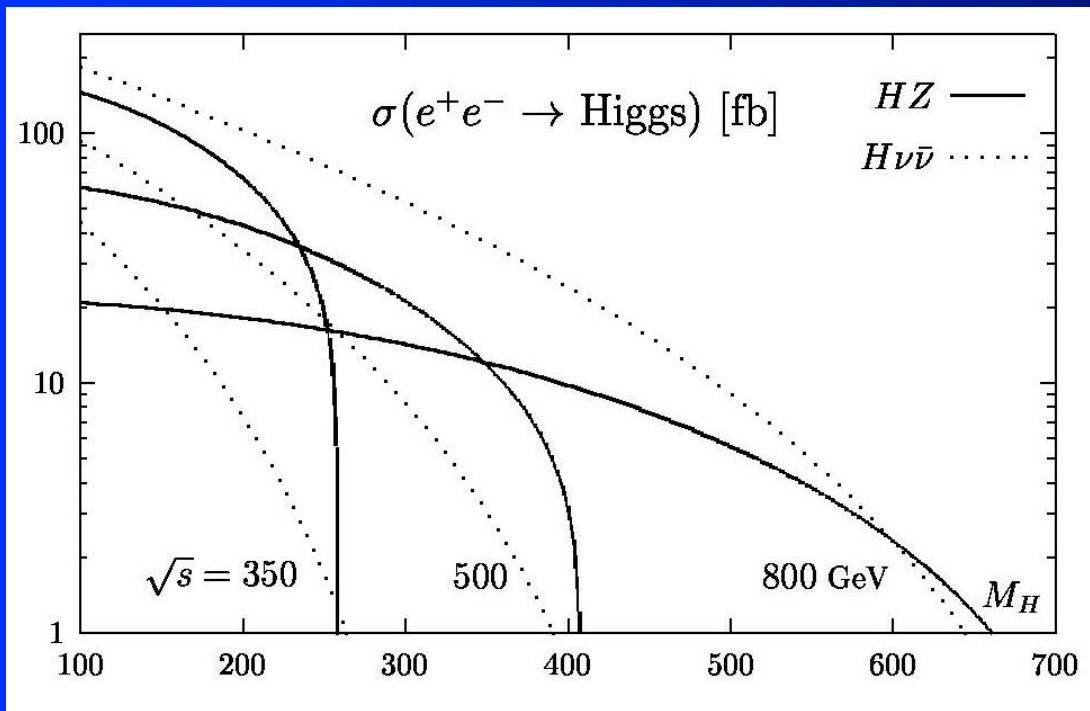
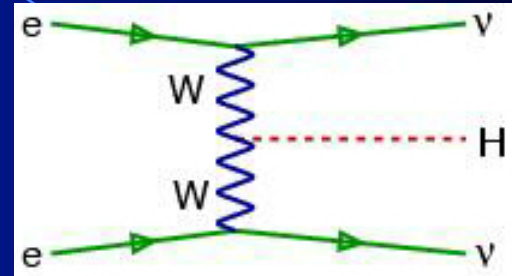
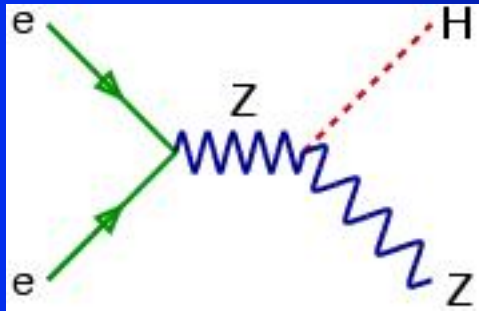
Поиски хиггсовского бозона на LHC

Механизмы и сечения рождения хиггсовского бозона



ХИГГСОВСКИЙ БОЗОН НА ILC

Доминирующий процесс рождения на ILC:



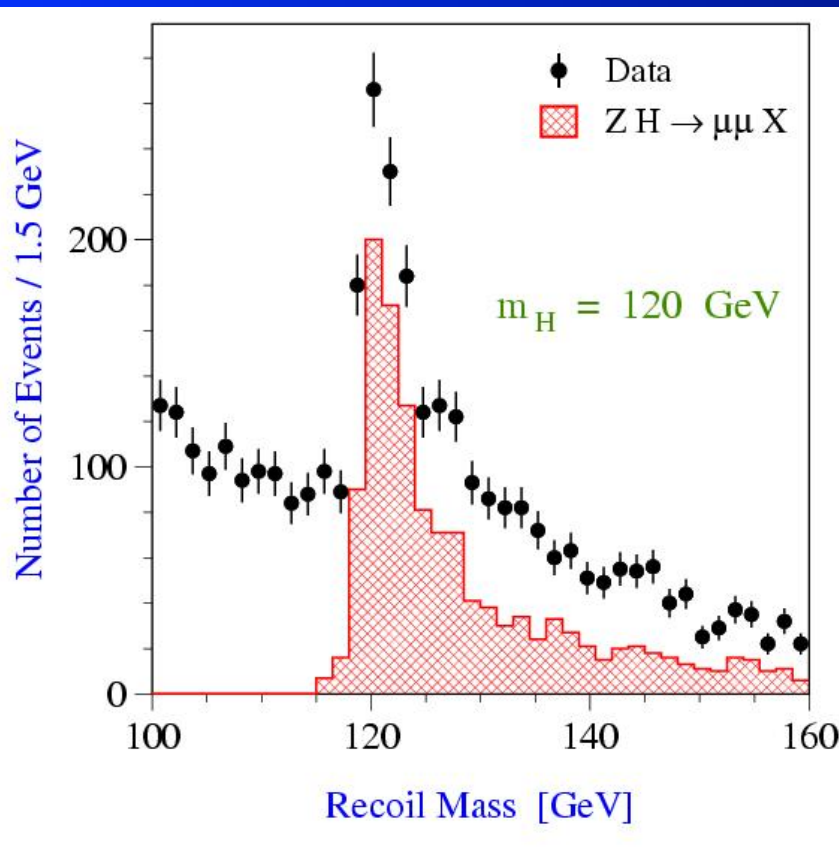
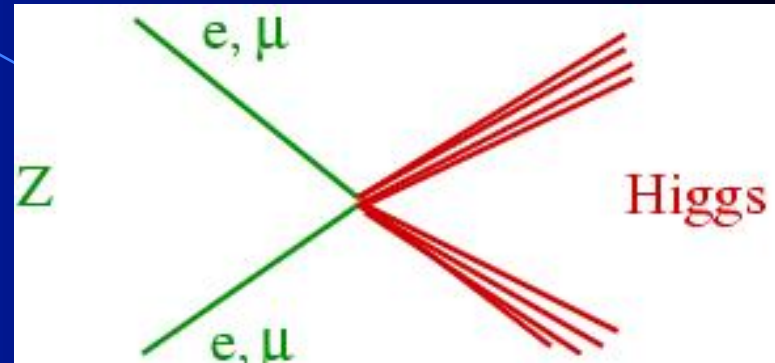
Задача ILC:

- Определить свойства хиггсовского бозона
- Установить механизм нарушения электрослабой Симметрии - источник возникновения масс частиц

... Вместе с LHC

Масса Хиггсовского бозона

Спектр масс остатка
 $ee \rightarrow HZ$ with $Z \rightarrow l^+l^-$



$D_s \sim 3\%$

Модельно независимые измерения

$D_m \sim 50 \text{ MeV}$

Точность ~ 0.001

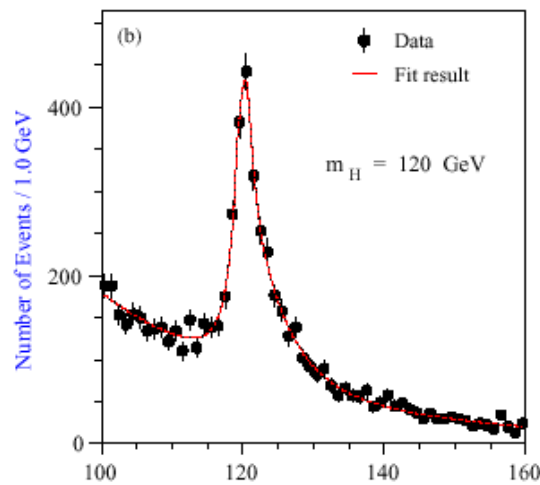
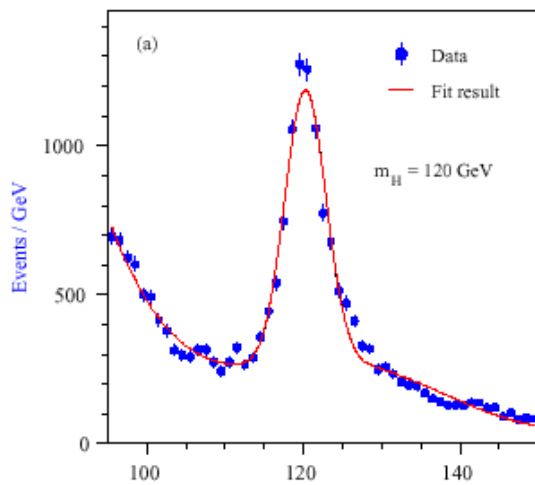
Прецизионные измерения

ХИГГСОВСКОГО БОЗОНА

$ee \rightarrow HZ$ различные каналы распада

$m_H = 120 \text{ GeV}$

$\rightarrow b\bar{b}q\bar{q}$

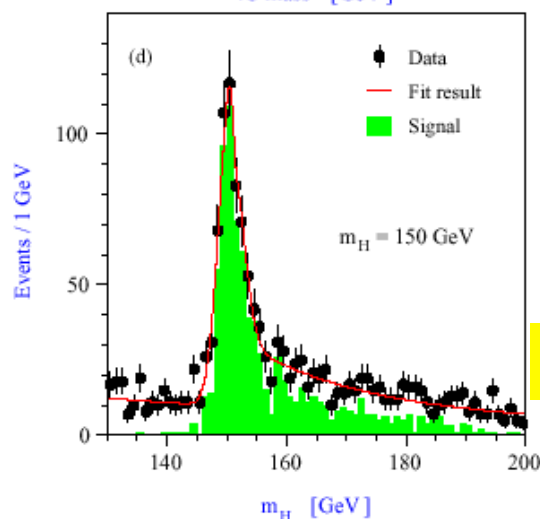
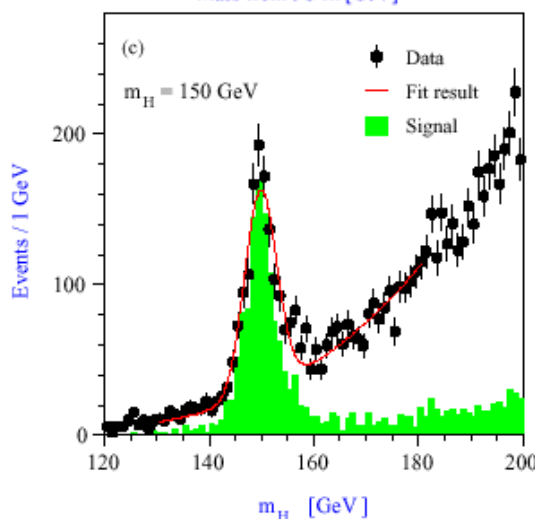


$\rightarrow q\bar{q}l^+l^-$

$\Delta m_H = 40 \text{ MeV}$

$m_H = 150 \text{ GeV}$

$\rightarrow W^+W^-q\bar{q}$



$\rightarrow W^+W^-l^+l^-$

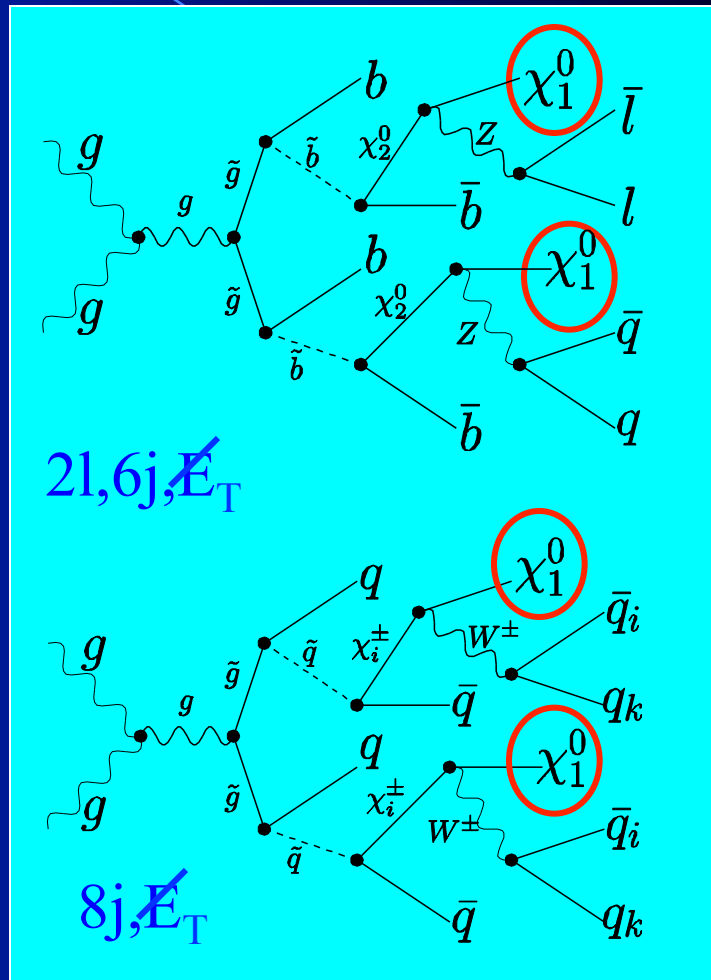
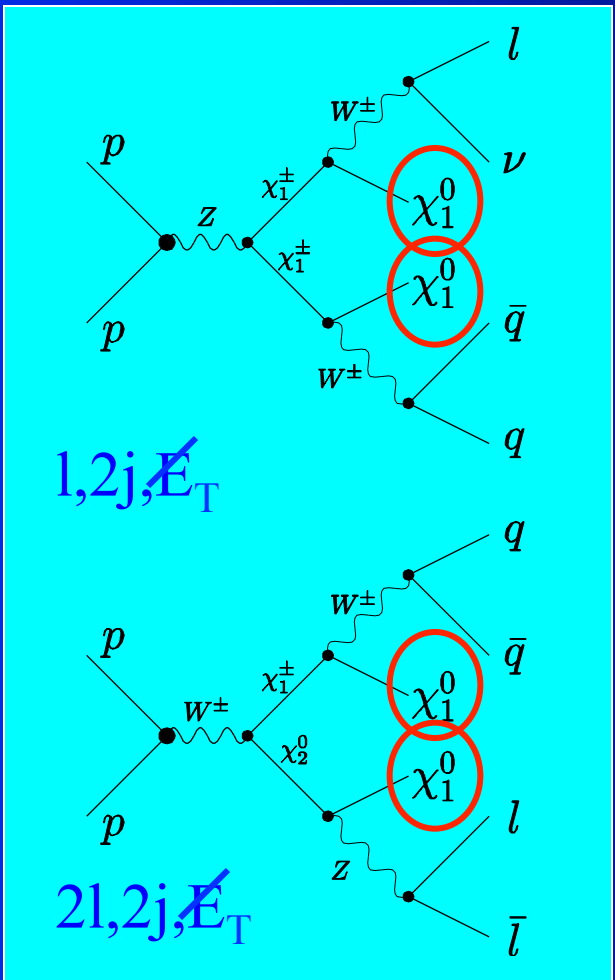
$\Delta m_H = 70 \text{ MeV}$

Поиски Суперпартнёров обычных частиц в МССМ

Рождение и распад Суперпартнёров в каскадных процессах на LHC

Weak

with

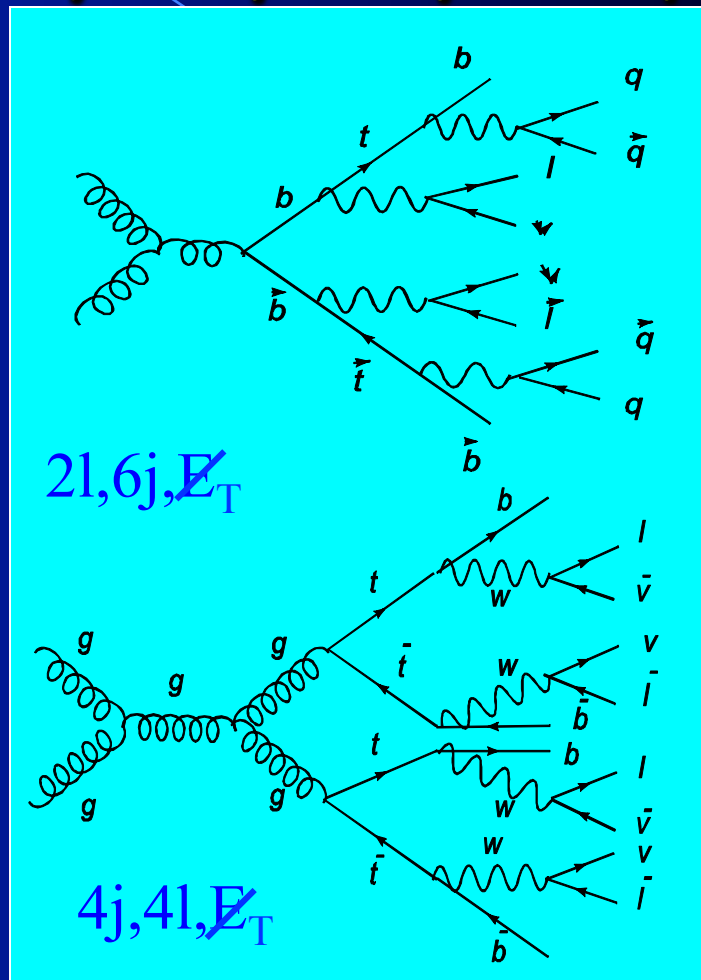
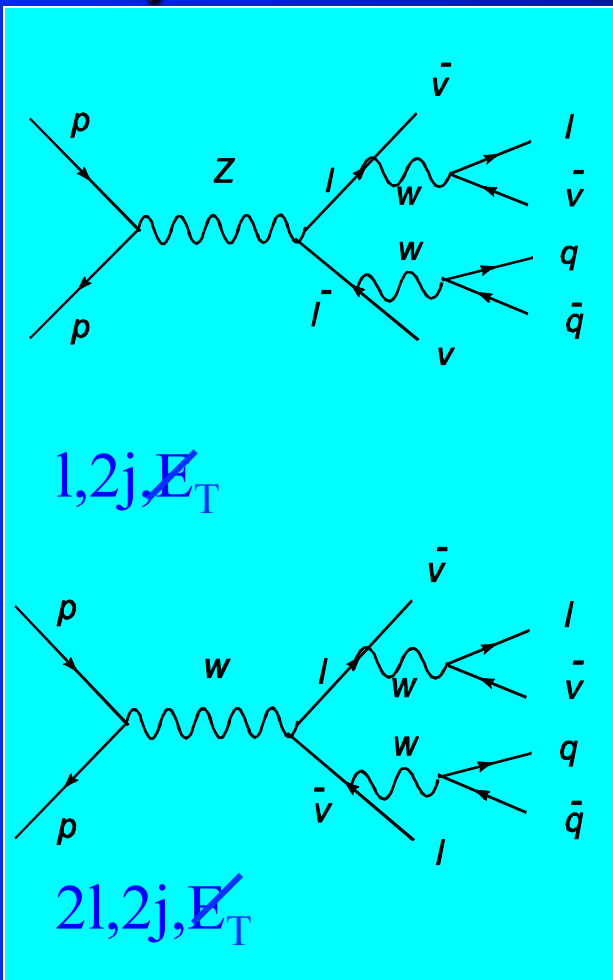


Strong

into

Типичная СуСи сигнатура: Недостающая энергия и поперечный импульс

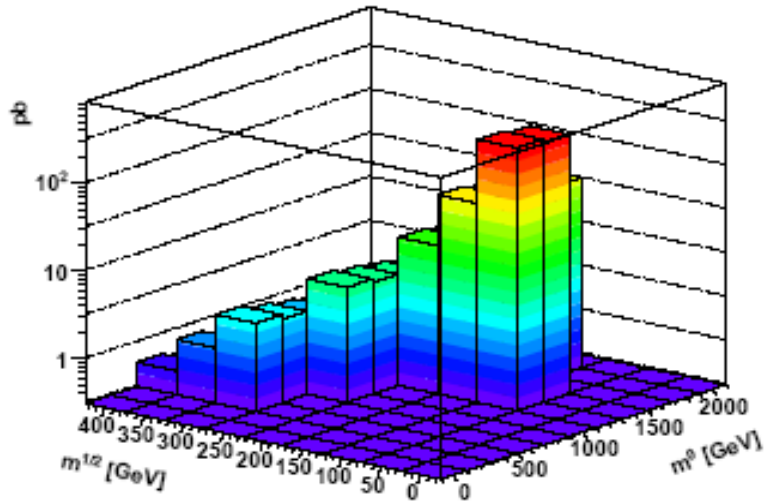
Фоновые процессы СМ для рождения суперпартнёров



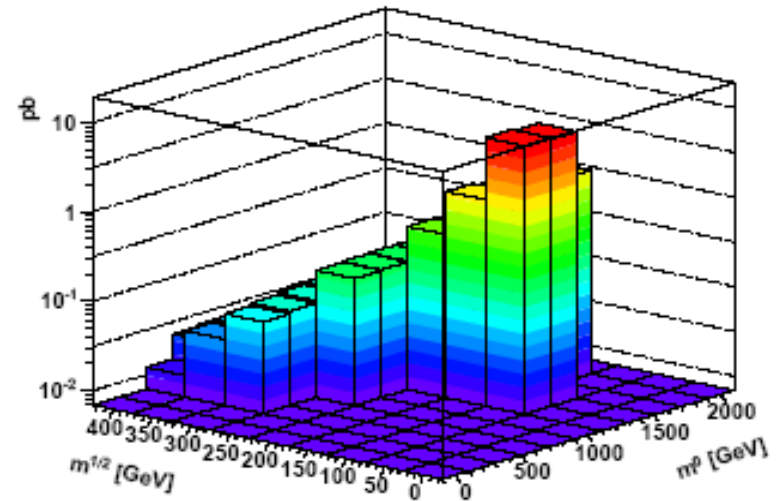
Сечения обычно в разы меньше чем для рождения СуСи

Сечения рождения СуСи на LHC

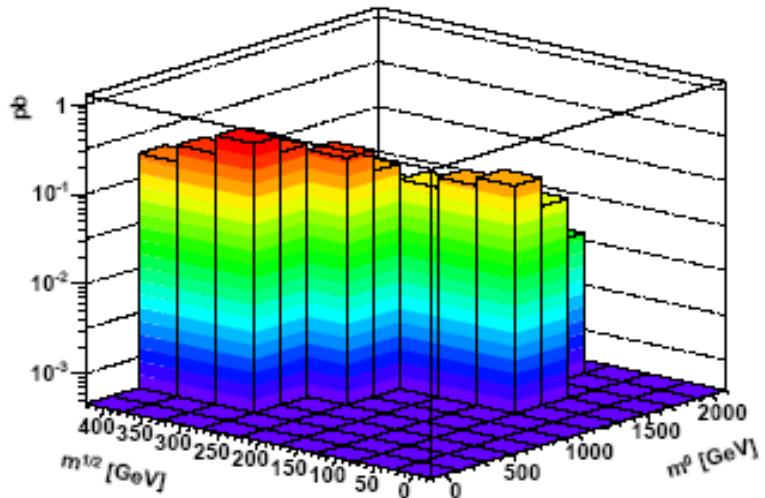
cross section p-p to $\tilde{g}\tilde{g}$



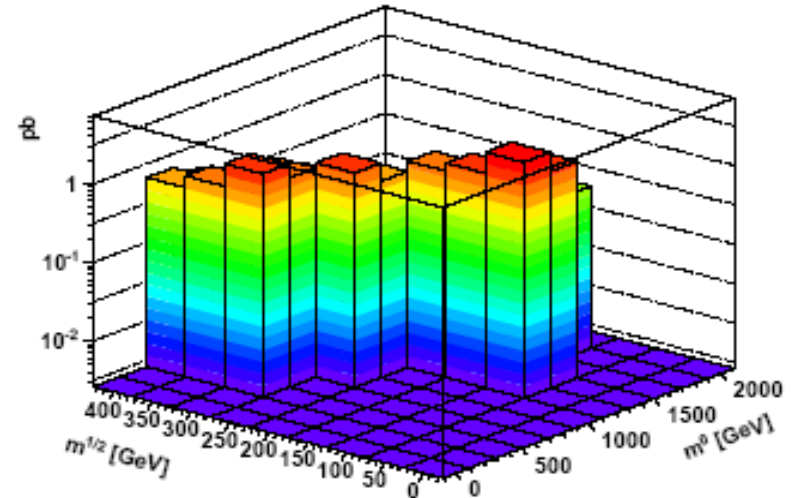
cross section p-p to $\tilde{\chi}_1^u\tilde{\chi}_2^u$



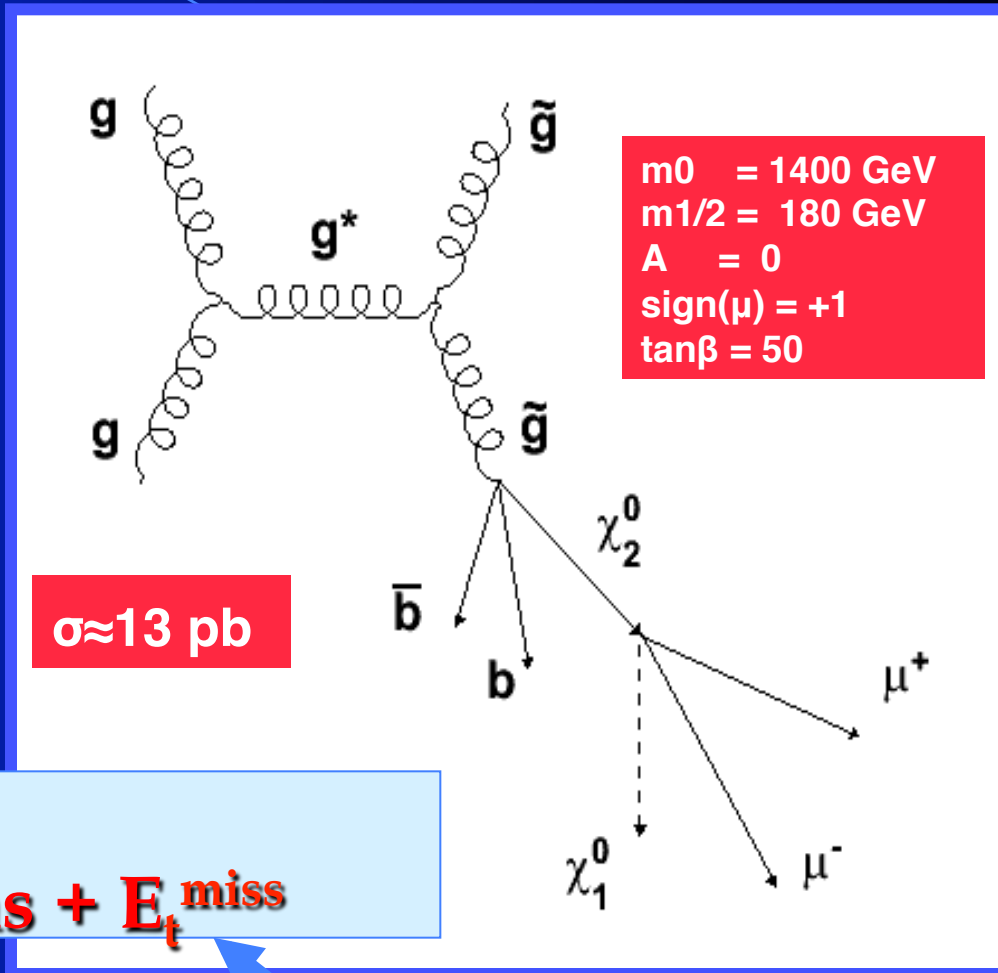
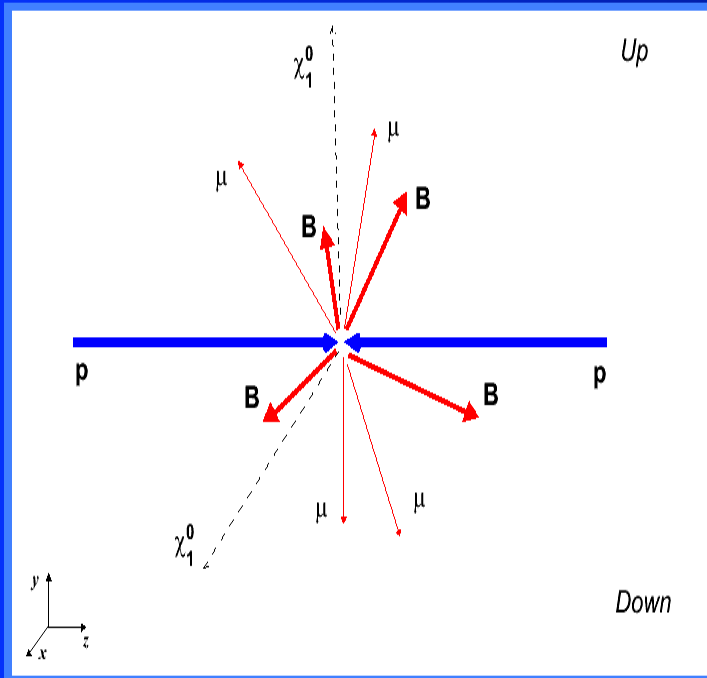
cross section p-p to $u\tilde{L}u\tilde{R}$



cross section p-p to $u\tilde{L}\tilde{g}$



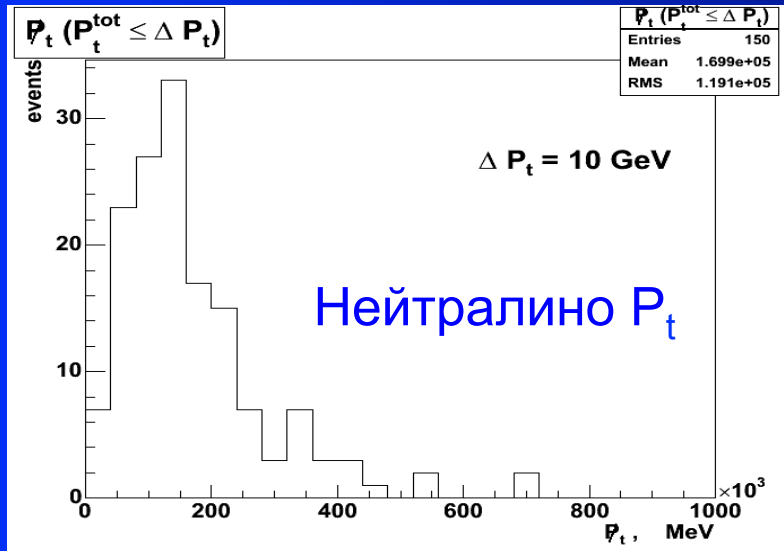
Рождение глюино @ LHC



Сигнатура:
4 b-jets + 4 muons + E_t^{miss}

Большая!

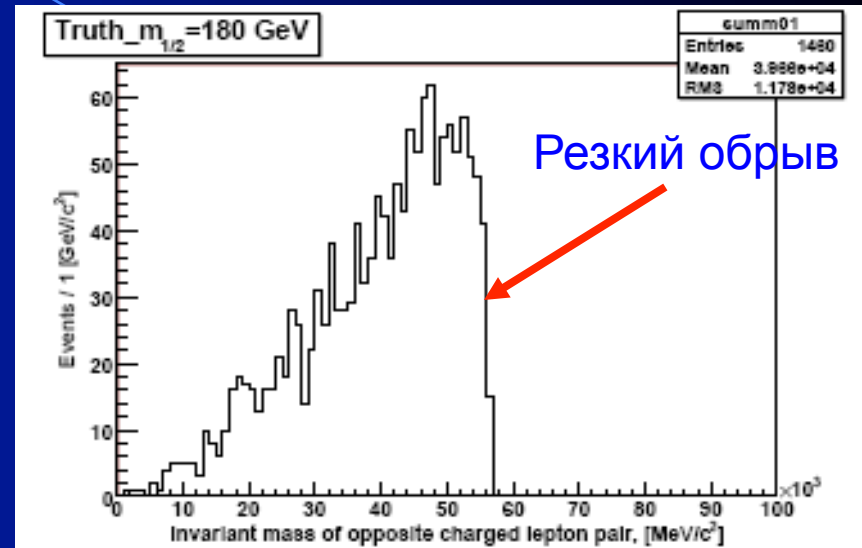
Суси Сигнал @ ATLAS



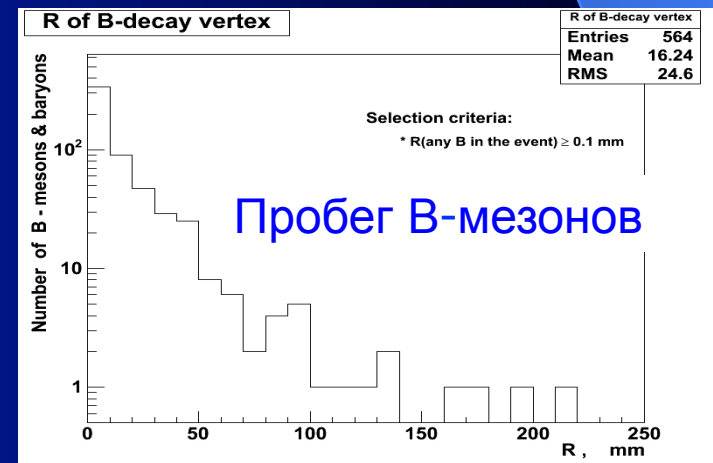
Недостающий импульс

$$\sum P_t^{B,B,\mu,\mu} \text{ (down)} - \sum P_t^{B,B,\mu,\mu} \text{ (up)} = P_t \equiv \cancel{E}_t$$

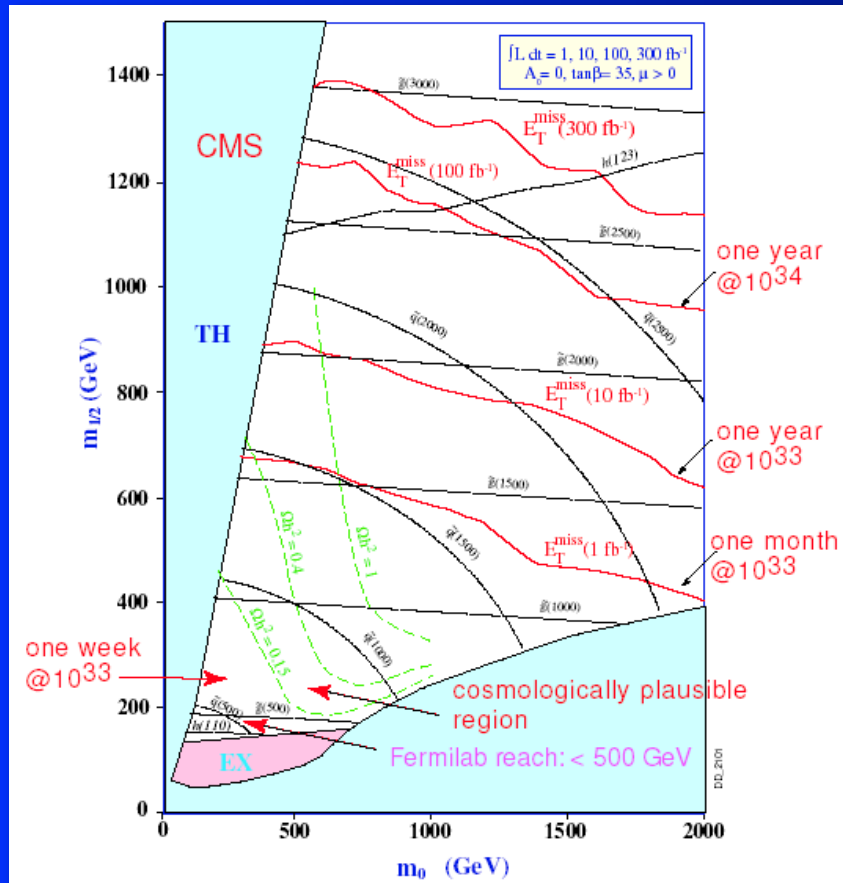
Pythia within ATHENA,
B-vertex tagging
JINR ATLAS Group



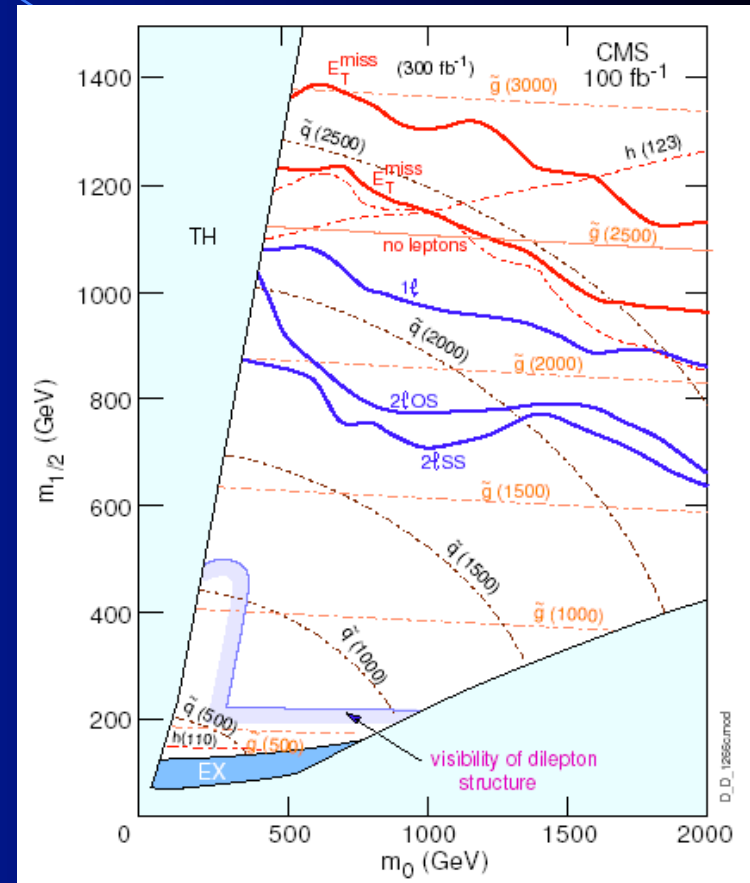
Инвариантная масса лептонной пары



Поиск Суперсимметрии на LHC

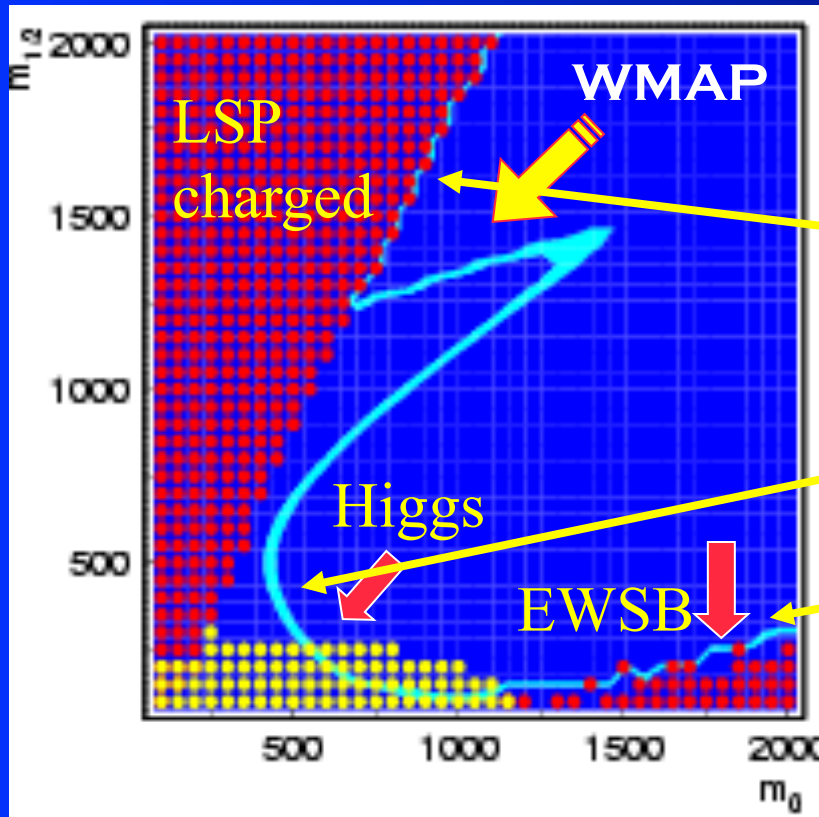


5σ граница достижимости
 reach в канале: струи + \cancel{E}_T



Области достижимости в различных
 каналах при светимости в 100 fb^{-1}

Долгоживущие суперчастицы



Причина по которой частицы могут жить долго – вырождение по массе с LSP

Долгоживущие	$\tilde{\tau}^{\pm}$
Долгоживущие	\tilde{t}^{\pm}
Долгоживущие	$\tilde{\chi}_2^0, \tilde{\chi}_1^{\pm}$

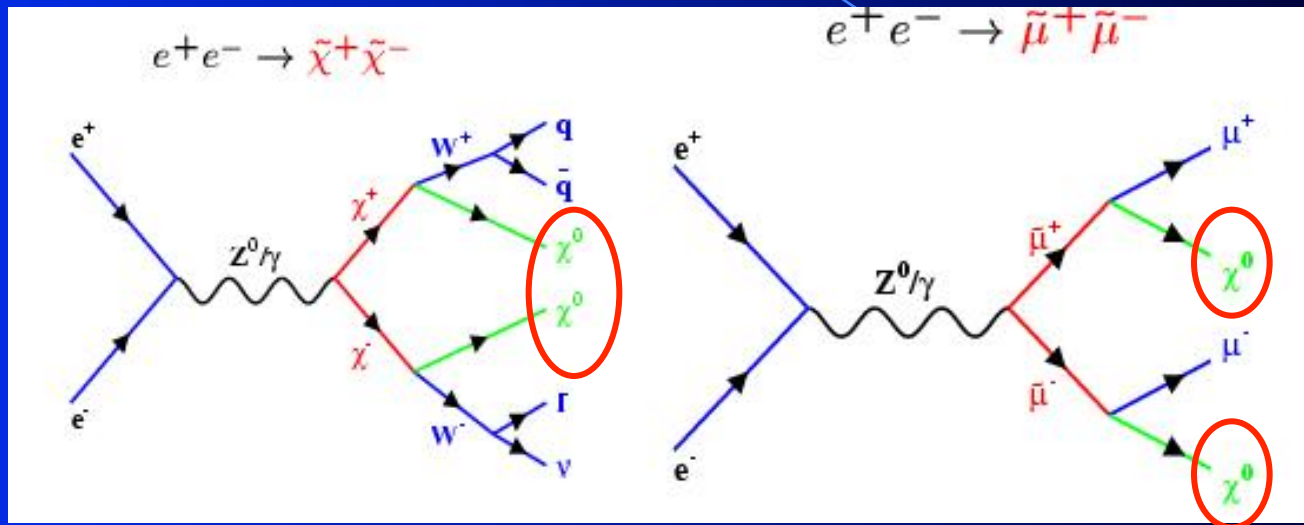
Время жизни $> 10^{-10}$ сек, $M \sim 100$ ГэВ
 Распад с образованием вторичной вершины
 или пролёт сквозь детектор

Пространство параметров MSSM

Требует тонкой подстройки параметров

Рождение и распад Суперпартнёров в каскадных процессах на ILC

ПРОЦЕСС

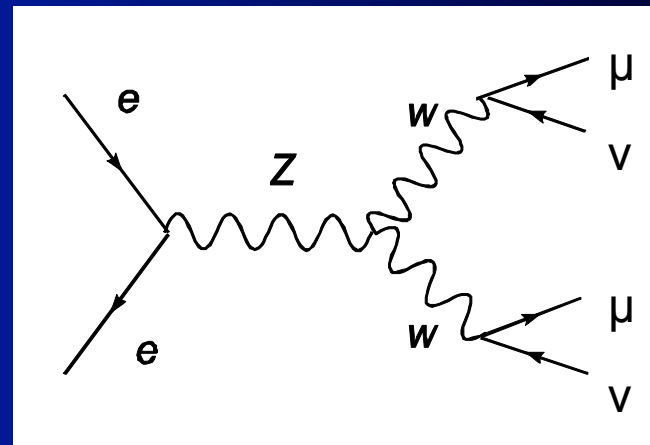
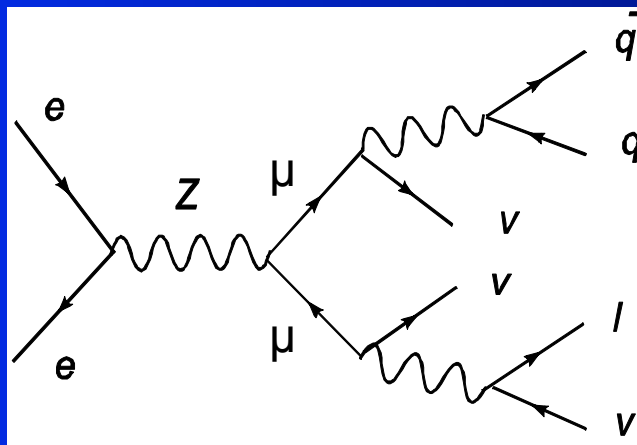


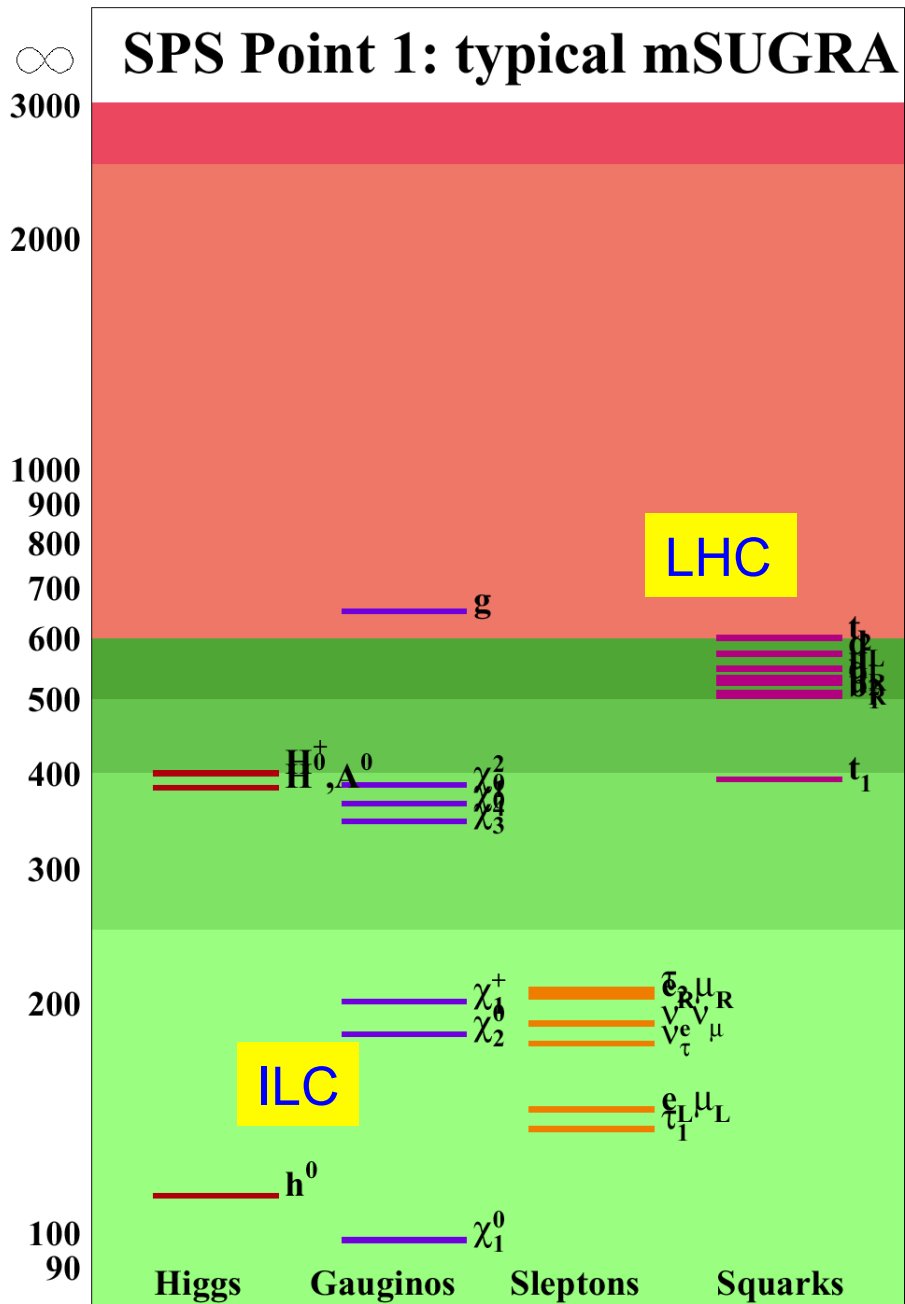
чарджино

СМЮОНЫ

НОФ

СМ





Суперсимметрия

Спектр масс зависит от выбора параметров модели...

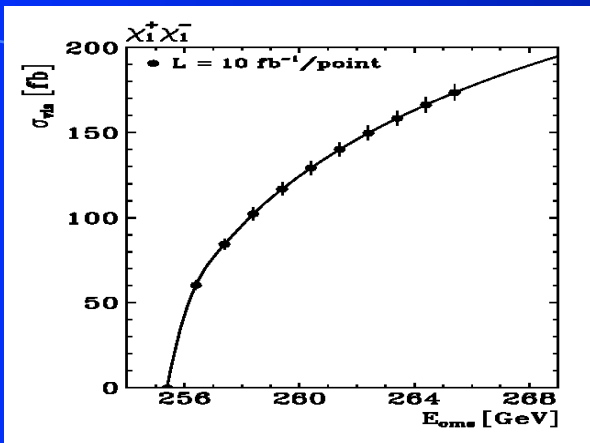
Огромная область исследований на **ILC**:

-Измерение характеристик суперчастиц (масс, сечений, J^{PC} , констант взаимодействия, киральности, смешивания) с **высокой точностью**

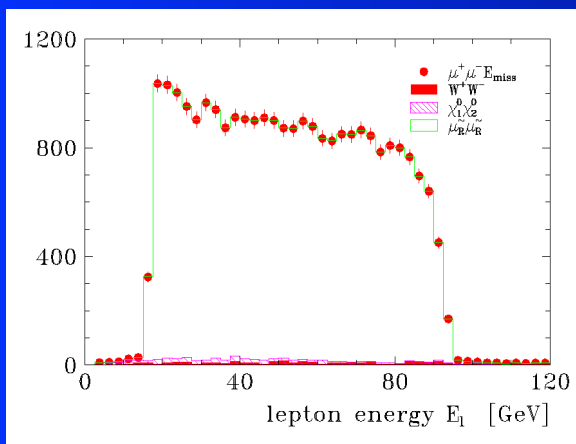
- Использование этих данных + **LHC** для определения конкретной СуСи модели и механизма нарушения суперсимметрии

Массы Суси частиц на ILC

Threshold excitations



Decay edges



“Absolute” mass determination

filling voids
accuracy increased
by one to two orders

	Mass, ideal	“LHC”	“ILC”	“LHC+ILC”
$\tilde{\chi}_1^\pm$	179.7	–	0.55	0.55
$\tilde{\chi}_2^\pm$	382.3	–	3.0	3.0
$\tilde{\chi}_1^0$	97.2	4.8	0.05	0.05
$\tilde{\chi}_2^0$	180.7	4.7	1.2	0.08
\tilde{e}_R	143.9	4.8	0.05	0.05
\tilde{e}_L	207.1	5.0	0.2	0.2
$\tilde{\nu}_e$	191.3	–	1.2	1.2
$\tilde{\mu}_R$	143.9	4.8	0.2	0.2
$\tilde{\tau}_1$	134.8	5-8	0.3	0.3
$\tilde{\tau}_2$	210.7	–	1.1	1.1
\tilde{q}_L	570.6	8.7	–	4.9
\tilde{t}_1	399.5	–	2.0	2.0
\tilde{t}_2	586.3	–	–	–
\tilde{g}	604.0	8.0	–	6.5
h^0	110.8	0.25	0.05	0.05
A^0	399.4	–	1.5	1.5

voids in spectrum
percent accuracy
mass diff permille

Coherent LHC - ILC
comprehensive and high re
solution SUSY picture

Определение Спина Частиц

LHC

$$\tilde{q}_L \rightarrow q\tilde{\chi}_2^0 \rightarrow ql^+\tilde{l}^- \rightarrow ql^+l^-\tilde{\chi}_1^0 \rightarrow ql^+l^-E_{miss}$$

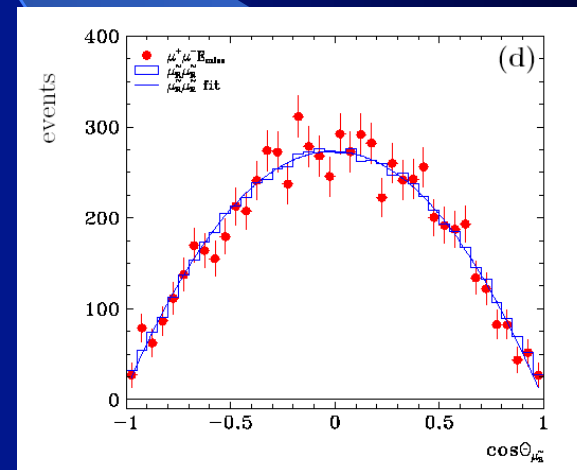
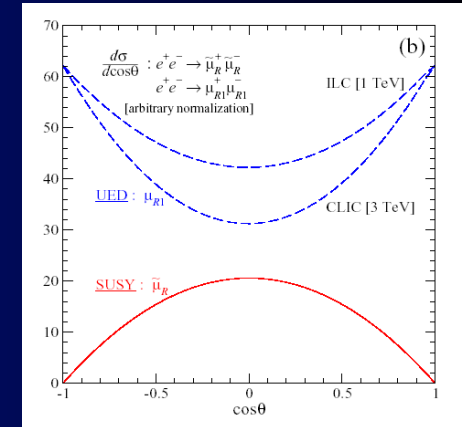
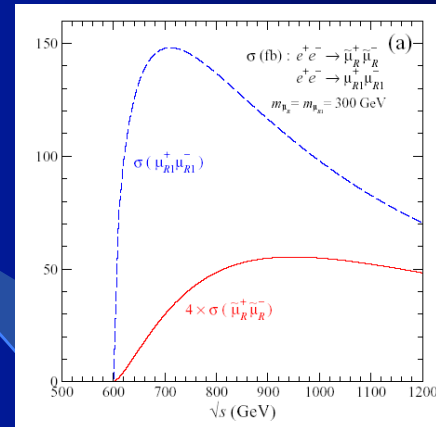
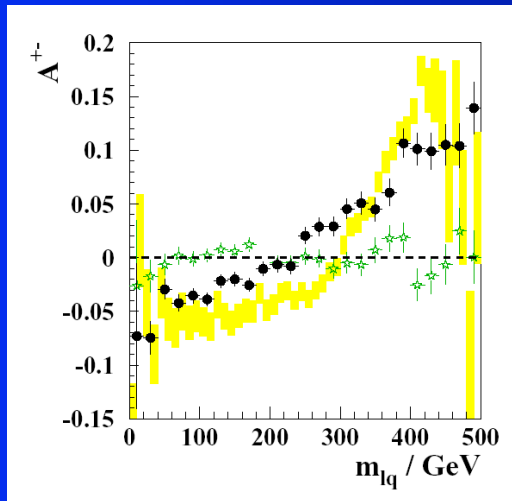
ILC

Пороговые возб.

Угловые распред

[q, l⁺, l⁻] инвариантная масса
Зависящая от промеж. спинов

Зарядовая ассимм. в [ql⁺] and [ql⁻]



Выводы для LHC

- LHC имеет все потенциальные возможности для открытий уже в первый год работы (1 день работы LHC при светимости 10^{33} = 10 годам работы предыдущих машин)
- СуСи может быть открыта “быстро”, лёгкий Хиггсовский бозон - сложнее
- Достижение высокой светимости является определяющим в первый год работы
- Однако: большое количество данных и времени потребуется вначале для
 - настройки детекторов
 - стабильной работы установок
 - понимания физики СМ на энергиях $\sqrt{s}=14$ TeV

Задачи и возможности ILC

0. Рождение топ- кварка на пороге
1. 'Лёгкий' Хиггсовский бозон (Совместный с ЭлСлаб тестами)
⇒ проверка хиггсовского механизма в деталях
2. 'Тяжёлый' Хиггсовский бозон (несовместный с Эл.Слаб тестами)
⇒ поиск причины несоответствия
3. Новые частицы (СуСи, Доп.Изм., Little H, Z', ...)
⇒ точная спектроскопия новых частиц
⇒ точное измерение констант взаимодействия и свойств новых частиц
4. В отсутствии хиггсовского бозона
⇒ поиск причин несоответствия в ЭлСлаб наблюдаемых
⇒ поиск других источников нарушения ЭлСлаб симметрии

Данные LHC вероятно укажут направления исследований
→ выбор стратегии для ILC