

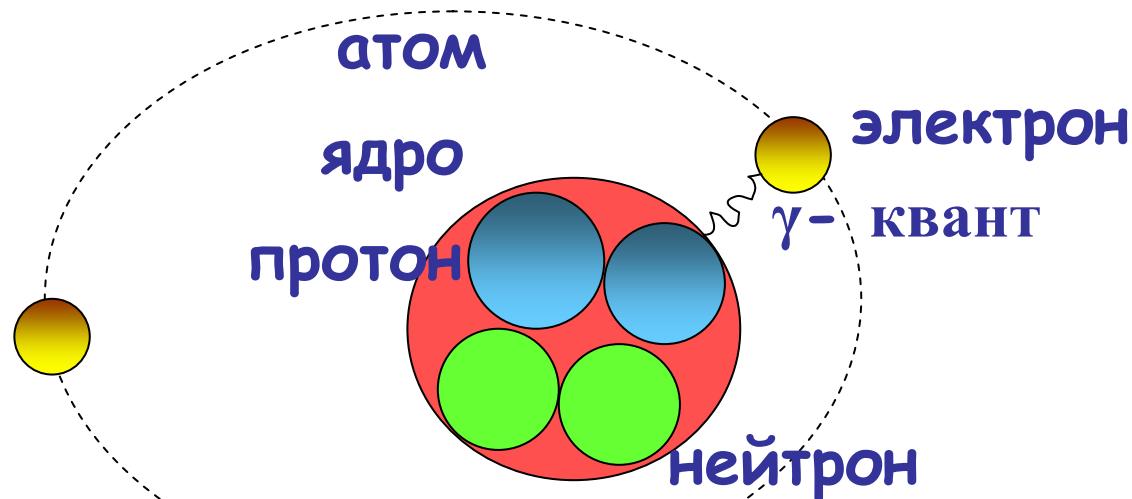
НИИЯФ МГУ  
27 апреля 2010

# *Фундаментальные Частицы и Взаимодействия*

*М. В. Данилов*

*Институт теоретической и экспериментальной  
физики*

# МАТЕРИЯ (1932)



## Силы

Электромагнитные - удерживают  $e$  в атомах

Сильные - удерживают протоны и нейтроны в ядрах

Слабые -  $n \rightarrow p + e^- + \nu_e$  - бета распад

(НЕЙТРИНО придумал В. Паули

для объяснения спектра электронов)

Гравитационные - много слабее

## АНТИМАТЕРИЯ (1932)

- Уравнение Дирака (1928)
  - замечательно описывает поведение электронов в атоме,  
но имеет решения с отрицательной энергией
- Дирак (1930) - это протон  
(для положительно заряженной частицы решения будут иметь положительную энергию)
- Опенгеймер и Тамм (1930) - не годится.  
Слишком велика разница масс  $e^-$  и  $p$
- Дирак (1931) -  
Значит есть новые частицы тождественные электронам, но имеющие противоположный заряд - антиэлектроны Революционная идея т.к. никаких признаков антиматерии вокруг нас
- Паули(1932) - эта идея не серьезна

## В. Паули (1932)

Neuerdings versuchte Dirac deshalb den bereits von Oppenheimer diskutierten Ausweg, die Löcher mit Antielektronen, Teilchen der Ladung  $+e$  und der Elektronenmasse, zu identifizieren. Ebenso müßte es dann neben den Protonen noch Antiprotonen geben. Das tatsächliche Fehlen solcher Teilchen wird dann auf einen speziellen Anfangszustand zurückgeführt, bei dem eben nur die eine Teilchensorte vorhanden ist. Dies erscheint schon deshalb unbefriedigend, weil die Naturgesetze in dieser Theorie in bezug auf Elektronen und Antielektronen exakt symmetrisch sind. Sodann müßten jedoch (um die Erhaltungssätze von Energie und Impuls zu befriedigen mindestens zwei)  $\gamma$ -Strahl-Protonen sich von selbst in ein Elektron und ein Antielektron umsetzen können. Wir glauben also nicht, daß dieser Ausweg ernstlich in Betracht gezogen werden kann.

Eine andere Modifikation der Theorie wurde von SCHRÖDINGER<sup>1</sup> versucht. Er schlägt vor, die Differenz...

В этом же 1932 году Андерсон открыл антиэлектрон  $e^+$

⇒ Всеобщая вера в идентичность законов физики для материи и antimатерии - зарядовая симметрия (C).

## АНТИМАТЕРИЯ (1956-67)

Ли и Янг (1956) - зеркальная симметрия нарушена в слабых взаимодействиях ( $\cancel{P}$ )

Иоффе, Окунь, Рудик (1956) - если  $\cancel{P}$  то и  $\cancel{C}$

Ву и др. (1957) -  $\cancel{P}$

Гаврин, Ледерман, Вайнрич, Фридман, Телегди (1957) -  $\cancel{C}$

Ландау (1956) - сохраняется  $CP$ ,

т.е. одновременное изменение зарядов и отражение в зеркале.

Переход от материи к антиматерии это  $CP$ -преобразование.

Снова не можем сказать можно ли пожать руку подлетающему инопланетянину (вдруг он из антиматерии!)

Кронин и Фитч (1964) -  $\cancel{CP}$  ( $\sim 0.1\%$ )

Сахаров (1967) -  $\cancel{CP}$  необходимо для доминирования материи во Вселенной, т.е. для нашего существования!

## МАТЕРИЯ (50е - 60е)

Десятки «элементарных» частиц открыто в 50е - 60е годы

Большинство из них **адроны** -

так Л.Окунь назвал сильно взаимодействующие частицы

**барионы** (спин полуцелый (**фермионы**)):  $p$ ,  $n$ , ... (Барионный заряд=1)

**мезоны** (спин целый (**бозоны**)):  $\pi^+$ ,  $\pi^-$ ,  $\rho^+$ , ...

Гелл-Манн, Цвейг (1964)

Все адроны состоят из трех кварков (барионы)

$$n = udd \quad p = uud$$

или кварка - антикварка (мезоны)

$$\pi^+ = u\bar{d} \quad \pi^- = \bar{u}d$$

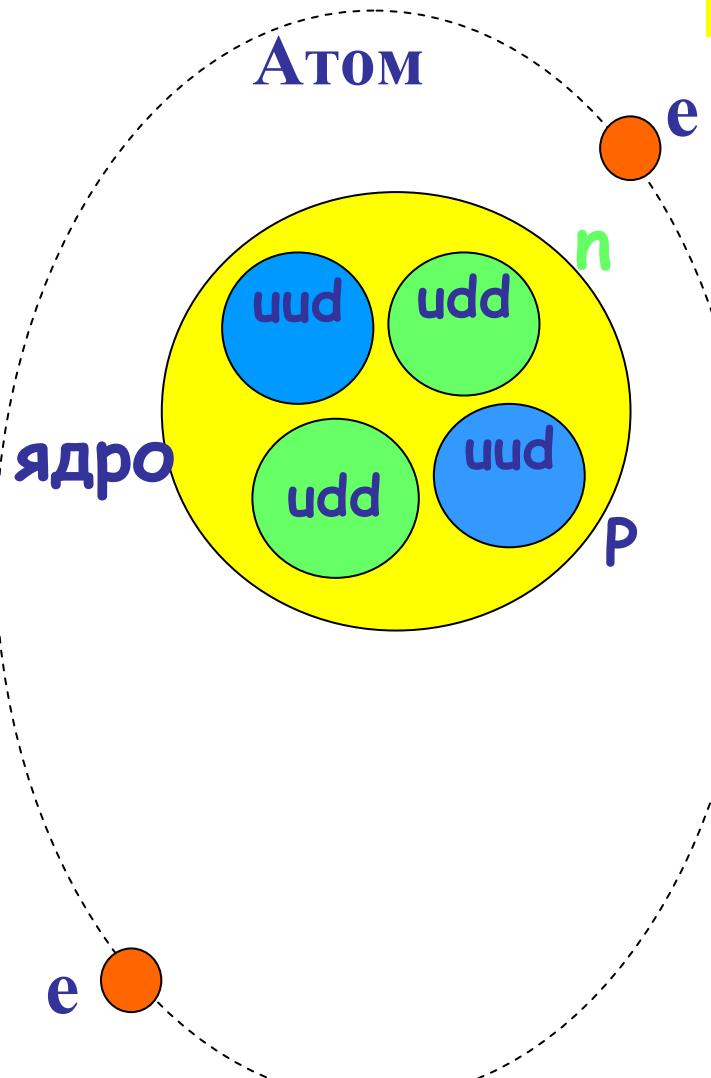
Кварки имеют спин  $S=1/2$ ,

дробные электрический и барионный заряды:

$$q_u = +2/3 q_e^+ \quad q_d = -1/3 q_e^+ \quad B = 1/3 \quad \text{и три цвета,}$$

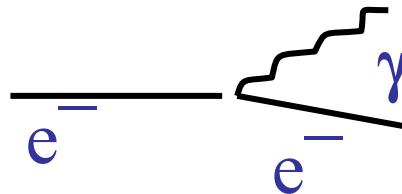
Цвет это аналог электрического заряда для сильного взаимодействия

# МАТЕРИЯ

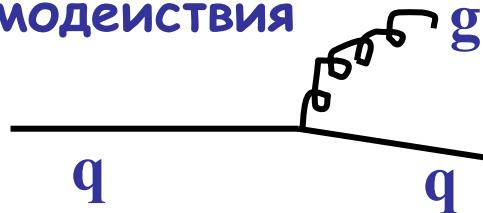


## Взаимодействия

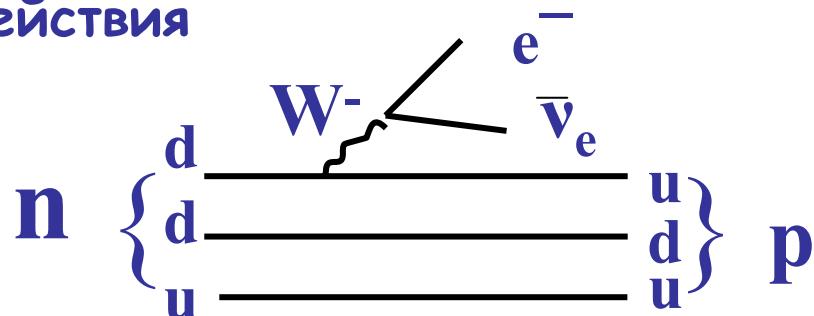
$\gamma$  - переносчик э/м взаимодействия



$g$  - глюон переносчик сильного взаимодействия

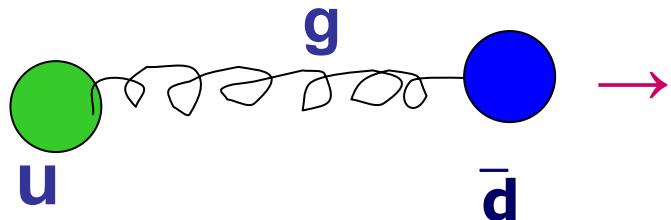


$W, Z$  - бозоны переносчики слабого взаимодействия

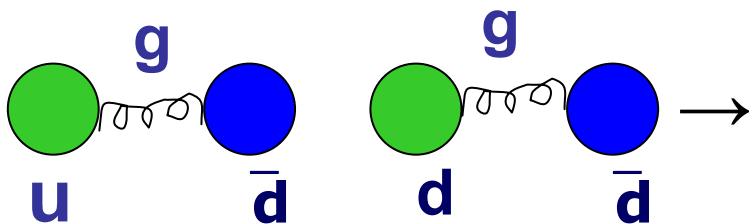


Бозон Хигса Н дает частицам массы. Он еще не найден

## Конфайнмент - невылетание夸арков



С ростом расстояния между  
кварками энергия струны  
глюонов растет

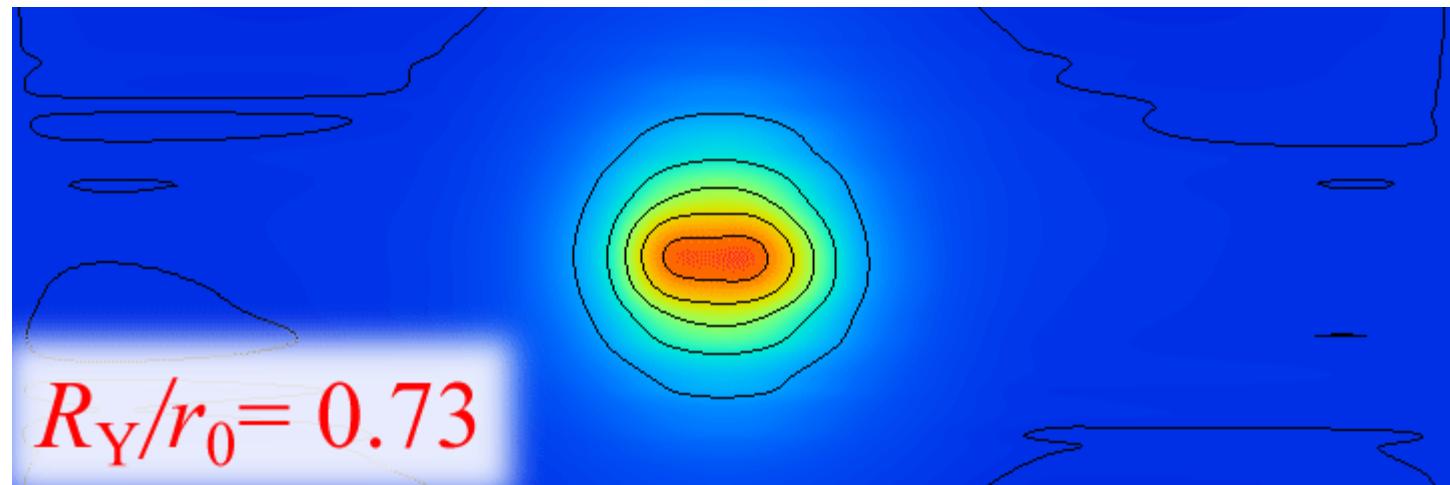


Энергетически выгоднее родить  
пару  $q \bar{q}$  и разорвать струну

Вместо свободных夸арков при натяжении  
глюонной струны возникает пучок частиц

Численные расчеты разрыва глюонной струны на крупнейших суперкомпьютерах включая Российский

(DESY-ITEP-Kanazawa Collaboration)



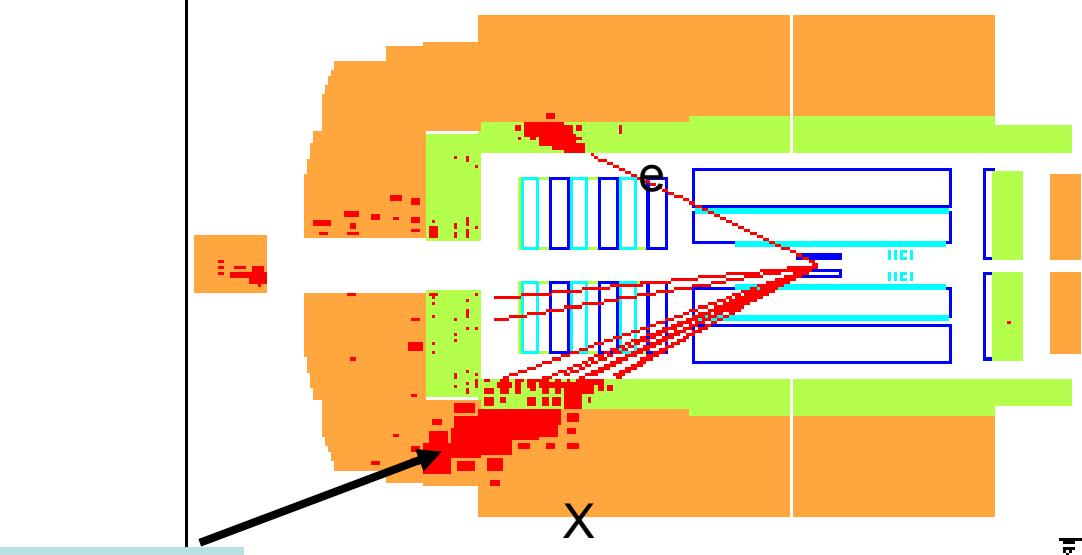
Сила притяжения кварков – 12 тонн!

# Рассеяние электрона на кварке

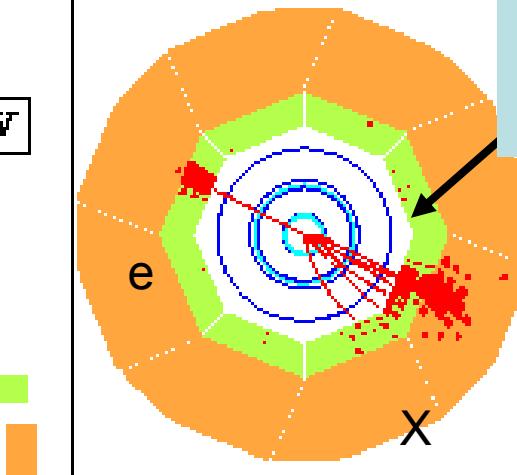
H1 Run 122145 Event 69506

Date 19/09/1995

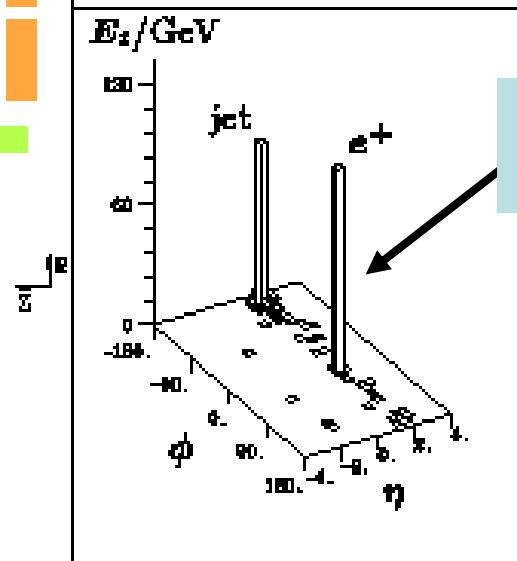
$$Q^2 = 25030 \text{ GeV}^2, \quad y = 0.59, \quad M = 211 \text{ GeV}$$



Side view  
(R-z)



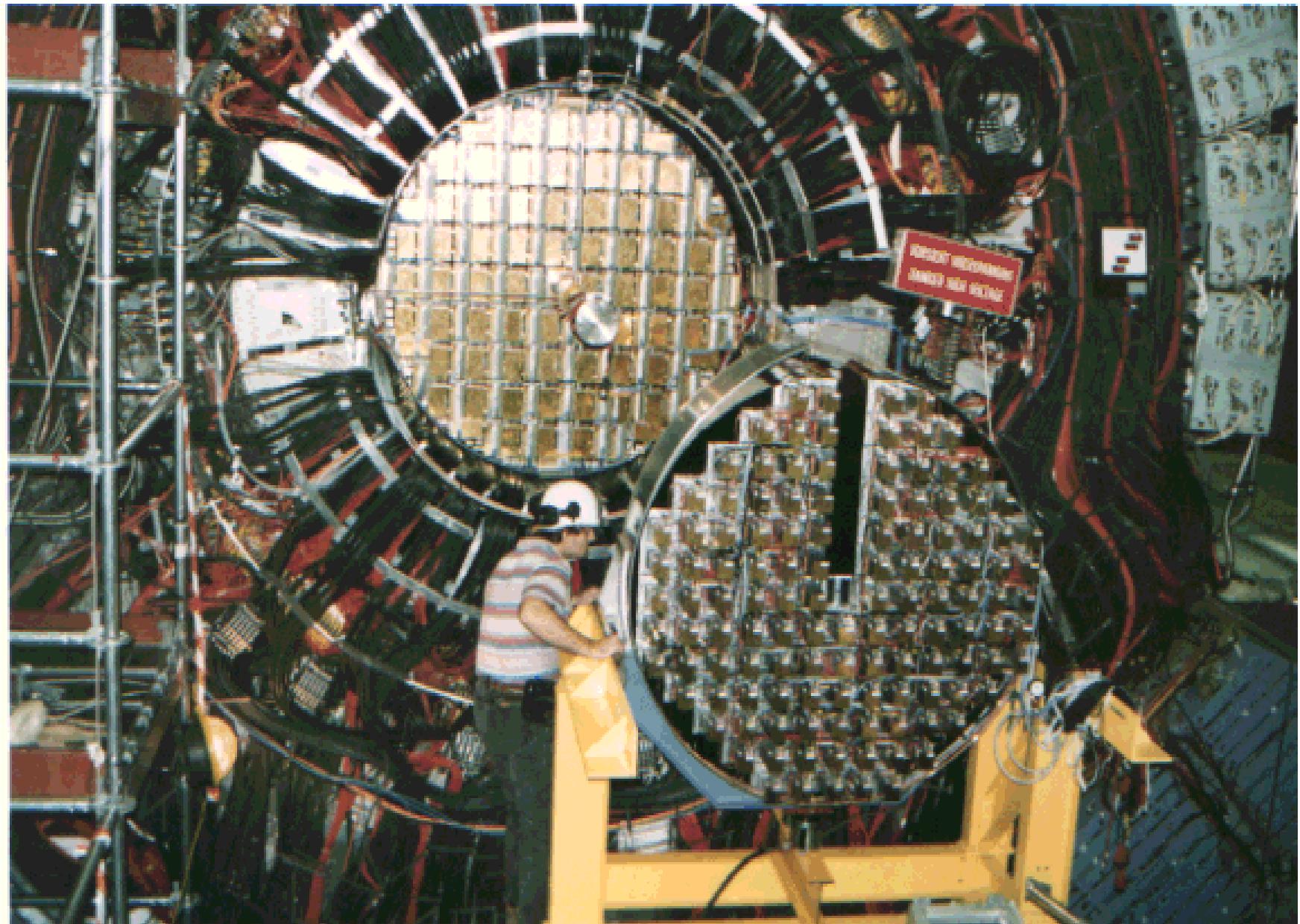
Transverse  
view  
(R-Phi)



Энергии в  
калориметре

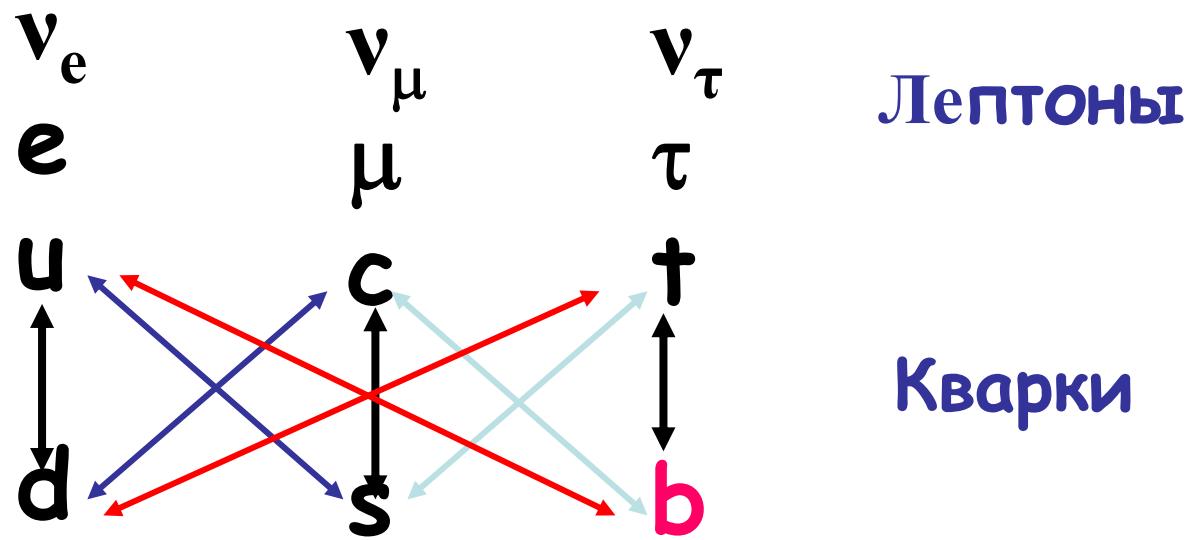
Кварк “наблюдается” как пучок частиц

# Установка сделанного в ИТЭФ калориметра в детектор H1 для изучения структуры протона



# ПОКОЛЕНИЯ КВАРКОВ И ЛЕПТОНОВ

Все, что нас окружает состоит из 2 кварков  $u, d$ ,  $e$  и  $\nu_e$



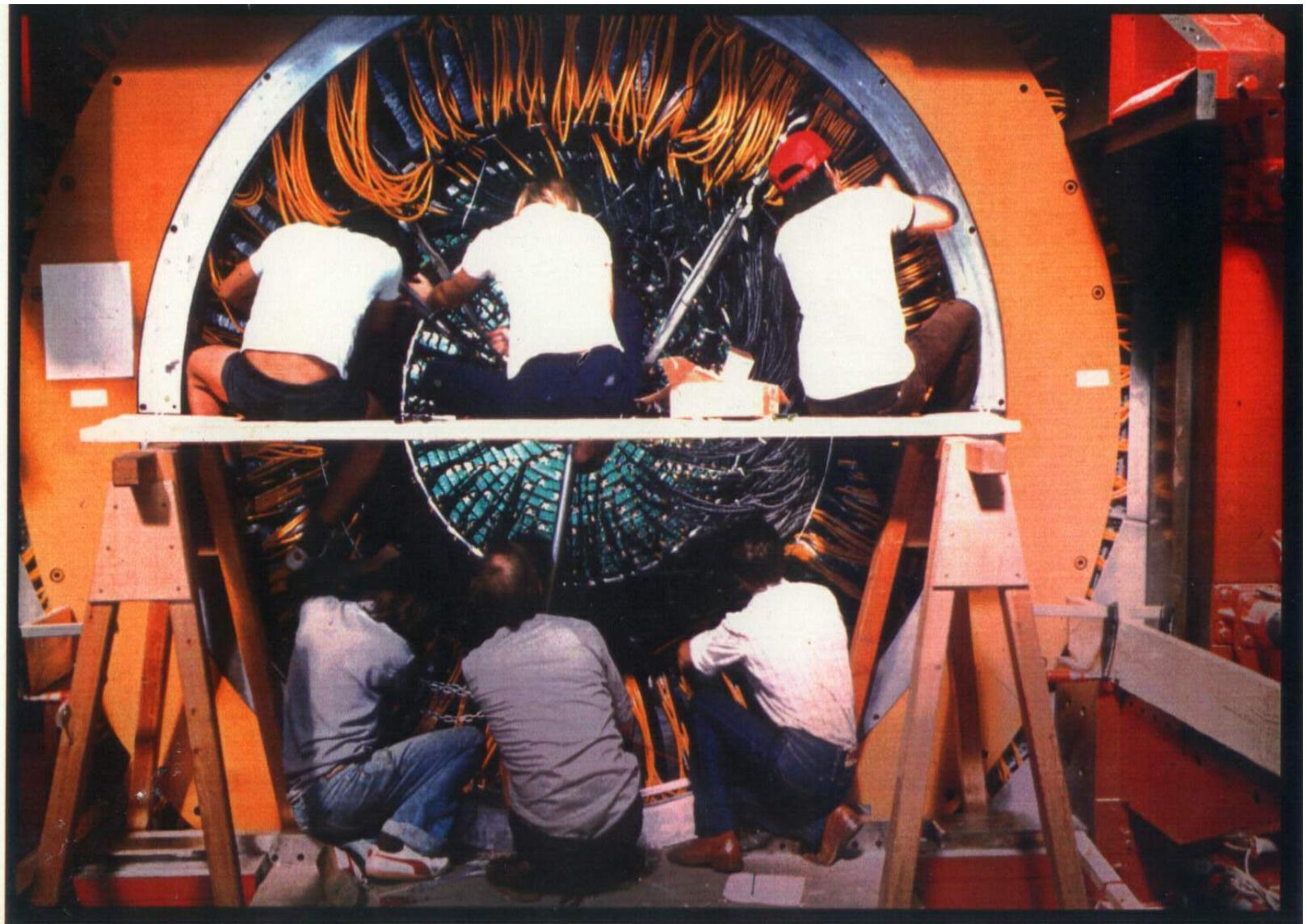
Природа создала еще два набора (поколения)  
кварков и лептонов

Массы и константы связи кварков сильно различаются

Третье поколение связано слабее со вторым чем второе с первым

Третье с первым еще слабее

# В эксперименте ARGUS обнаружена связь夸克ов третьего и первого поколений



## МНОГО ВОПРОСОВ:

*Почему массы кварков так различаются?*

$$m_u \sim 2 \text{ МэВ}$$

$$m_d \sim 5 \text{ МэВ}$$

$$m_c \sim 1250 \text{ МэВ}$$

$$m_s \sim 100 \text{ МэВ}$$

$$m_t \sim 175000 \text{ МэВ}$$

$$m_b \sim 4200 \text{ МэВ}$$

*Откуда возникает иерархия констант связей?*

01

$$V_{ud} \approx V_{cs} \approx V_{tb} \approx 1 \quad V_{us} \approx V_{cd} \approx 0.2 \quad V_{bc} \approx V_{ts} \approx 0.04$$
$$V_{ub} \approx 0.5 \quad V_{td} \approx 0.004$$

*Зачем нужны три поколения?!*

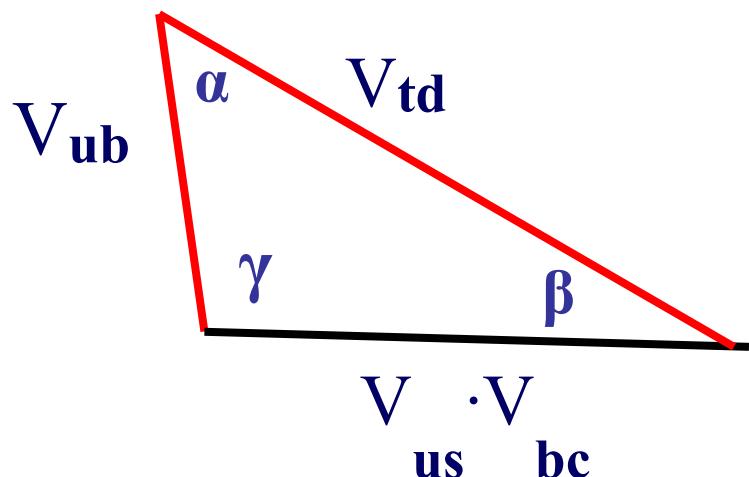
Кобаяши-Масакава (1973) - для нарушения симметрии между материей и антиматерией

*Зачем нужно это нарушение? -*

А.Сахаров - для барионной асимметрии Вселенной



# Константы связи кварков образуют треугольник на комплексной плоскости

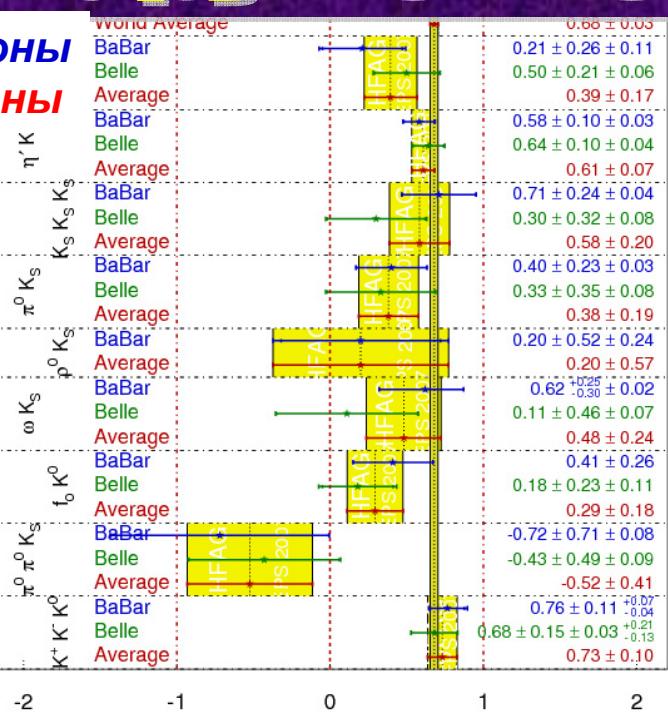
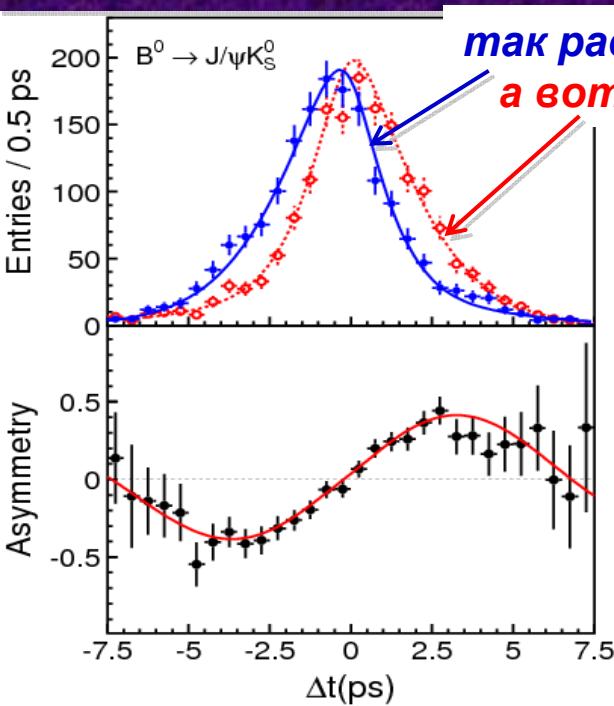


Углы этого треугольника определяют различие  
в распадах частиц и античастиц

$$\frac{\Gamma(t)(B^0 \rightarrow J/\Psi K^0 s) - \Gamma(t)(\bar{B}^0 \rightarrow J/\Psi \bar{K}^0 s)}{\Gamma(t)(B^0 \rightarrow J/\Psi K^0 s) + \Gamma(t)(\bar{B}^0 \rightarrow J/\Psi \bar{K}^0 s)} \sim \sin 2\beta \cdot \sin \Delta M \cdot t$$

Кобаяши и Маскава предложили свою теорию,  
когда третье поколение еще не было открыто!

# Различие свойств материи и антиматерии – СР нарушение



- НД іàðóøåíèå â ðàñïàäàð ïðåéåñòíûõ íàçíîâ ìòåðûòî **Belle** (ñ ó:àñòèåì ÁÊВÔ è ÈÓÝÔ) â 2001 ãîäó â ðàñïàäàð  $B^0 \rightarrow J/\psi K^0$ . Їðàéòè:åñòèè íàïðåäåííî òàéèé æå ðåçóëüòàð îñåòíèå **BaBar**

Сегодня сотрудничество *Belle* измерило параметр нарушения с точностью 3%, а также исследовало десятки других распадов...

# UT as a standard approach to test the consistency of SM

Mean values of angles and sides of UT are consistent with SM predictions

Accuracy of sides is limited by theory:<sup>1.5</sup>

- Extraction of  $|V_{ub}|$
- Lattice calculation of

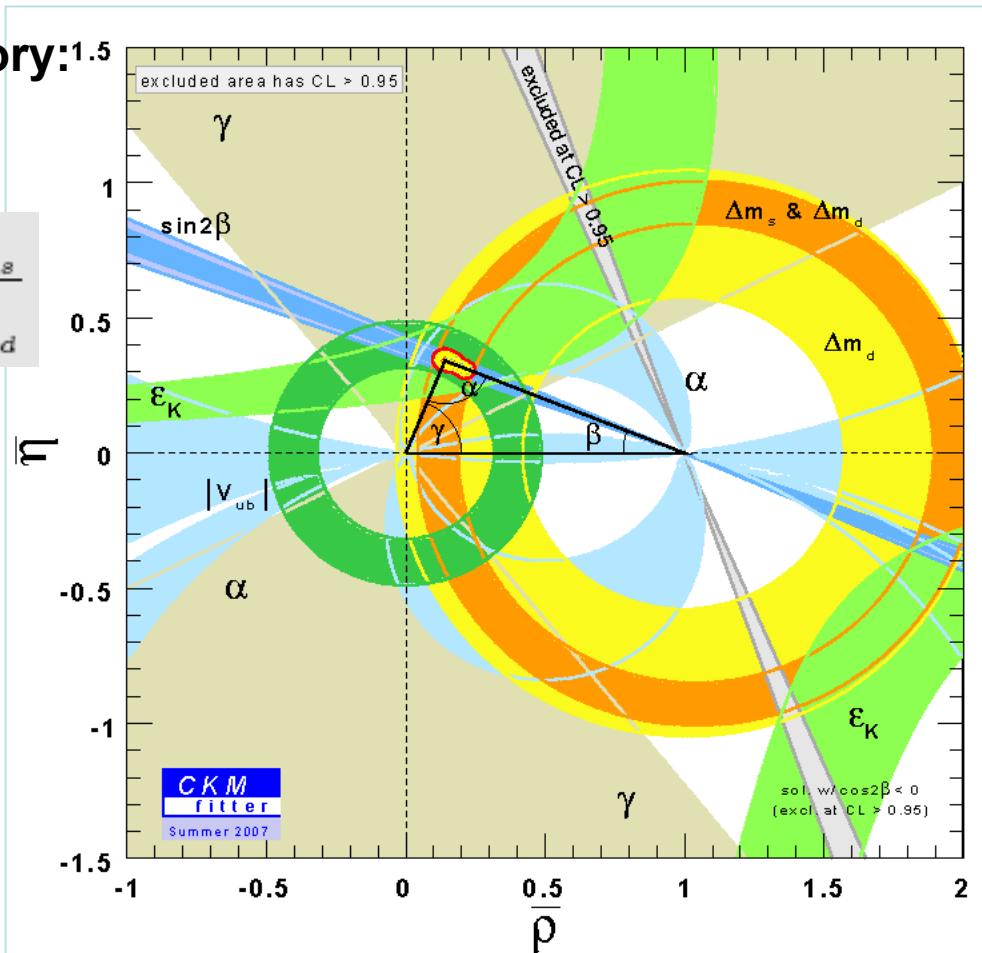
$$\xi^2 = \frac{\hat{B}_{B_s} f_{B_s}^2}{\hat{B}_{B_d} f_{B_d}^2}$$

Accuracy of angles is limited by experiment:

$$\alpha = \pm 13^\circ$$

$$\beta = \pm 1^\circ$$

$$\gamma = \pm 25^\circ$$



# *M. Kobayashi, T. Maskawa, 1974: theoretical mechanism for CP-violation in the SM*

**Нобелевская премия 2008**

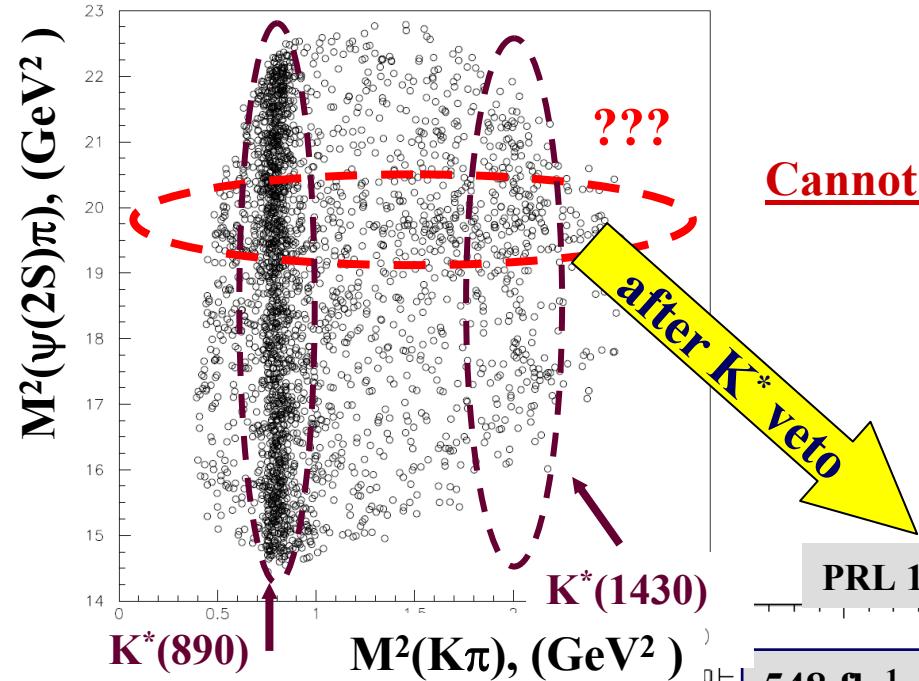


# Z(4430)<sup>+</sup> first charged charmonium like state

Cannot be conventional charmonium or hybrid

$$B \rightarrow KZ, Z(4430)^+ \rightarrow \pi^+ \psi(2S)$$

$$K = K^-, K^0_s ; \psi(2S) \rightarrow \ell^+ \ell^-, \pi^+ \pi^- J/\psi$$

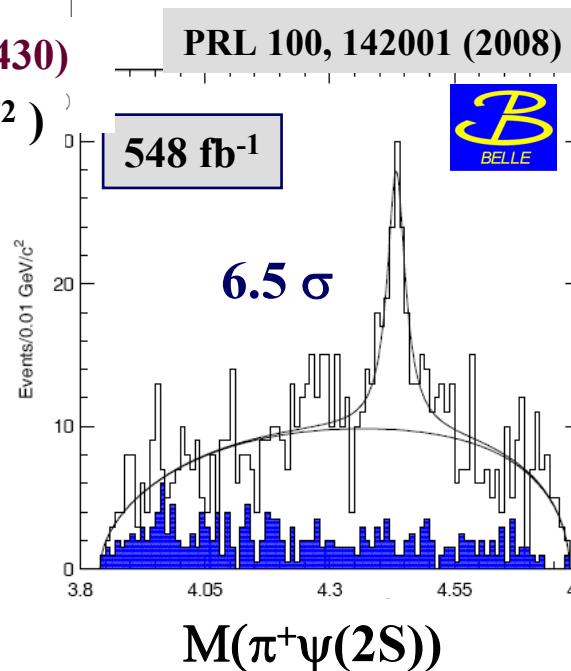


Fit: S-wave BW  
+ phase space like func

$$M = (4433 \pm 4 \pm 2) \text{ MeV}$$

$$\Gamma = (45^{+18}_{-13} {}^{+30}_{-13}) \text{ MeV}$$

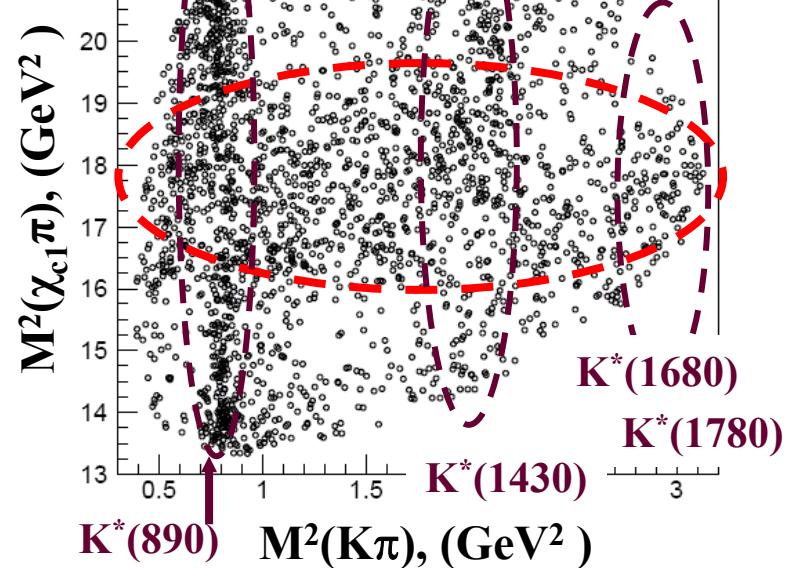
$$BF_{\pm}/BF_0 = 1.0 \pm 0.4$$



$$BF(B \rightarrow KZ) \times BF(Z \rightarrow \psi(2S)\pi) = (4.1 \pm 1.0 \pm 1.3) \cdot 10^{-5}$$

Interpretations:

- S -wave  $D^* D_1$  threshold effect
- J.L.Rosner ; D.V.Bugg
- $D^* D_1$  molecular state
- Meng C. et al; X.Lui et al.;
- Lee S.H. et al
- radially excited tetraquark
- L.Maiani, A.D.Polosa, V.Riquer
- baryonium state
- C.F.Qiao
- hadro-charmonium
- S.Dubinsky, M.B.Voloshin



- Hypothesis of two Z's resonances is favored over one Z resonance at  $5.7\sigma$

$$\begin{aligned} \mathcal{B}(\bar{B}^0 \rightarrow K^- Z_1^+) \times \mathcal{B}(Z_1^+ \rightarrow \pi^+ \chi_{c1}) &= (3.1^{+1.5+3.7}_{-0.9-1.7}) \times 10^{-5}, \\ \mathcal{B}(\bar{B}^0 \rightarrow K^- Z_2^+) \times \mathcal{B}(Z_2^+ \rightarrow \pi^+ \chi_{c1}) &= (4.0^{+2.3+19.7}_{-0.9-0.5}) \times 10^{-5}. \end{aligned}$$

Cannot be  
conventional charmonium  
or hybrid

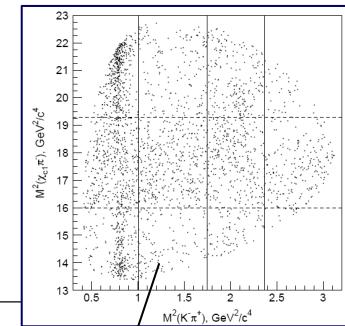
Galina Pakhlova, ITEP

$$B^0 \rightarrow \chi_{c1} \pi^+ K^-; \quad \chi_{c1} \rightarrow J/\psi \gamma$$

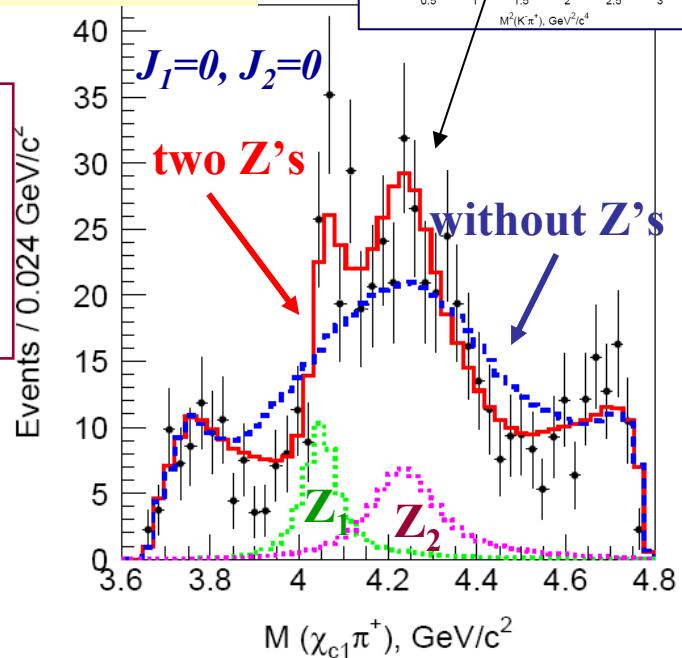
Dalitz analysis : fit  $B^0 \rightarrow \chi_{c1} \pi^+ K^-$  amplitude by coherent sum of RBW contributions

- known  $K\pi$  resonances
- $K^*$ 's + one ( $\chi_{c1}\pi$ ) resonance
- $K^*$ 's + two ( $\chi_{c1}\pi$ ) resonances

$$\begin{aligned} M_1 &= (4051 \pm 14^{+20}_{-41}) \text{ MeV}/c^2 \\ \Gamma_1 &= (82^{+21}_{-17} {}^{+47}_{-22}) \text{ MeV} \\ M_2 &= (4248^{+44}_{-29} {}^{+180}_{-35}) \text{ MeV}/c^2 \\ \Gamma_2 &= (177^{+54}_{-39} {}^{+316}_{-61}) \text{ MeV} \end{aligned}$$



- Spin of  $Z_{1,2}$  is not determined:  $J=0$  and  $J=1$  result in comparable fit qualities



## ТЕМНАЯ МАТЕРИЯ

Астрофизики показали что более 80% материи во Вселенной имеет неизвестную природу!

Первые указания получены в 1933 г. (Zwicky)

### Свидетельства существования темной материи

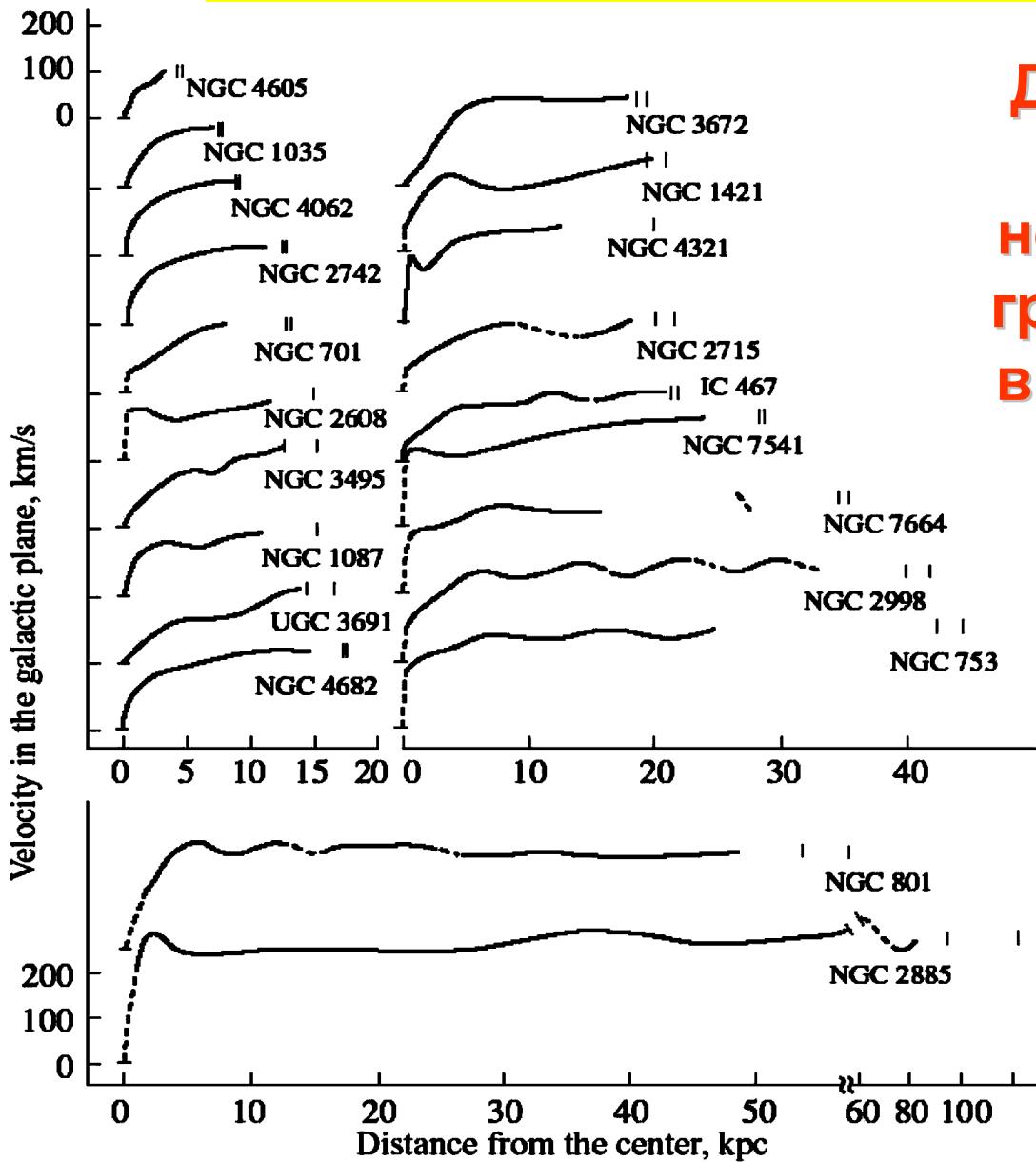
Скорости звезд, облаков газа не зависят от  $R$  до  $R$  во много раз больших видимых размеров галактик

Согласно Законам Ньютона

$$V_R \sim \sqrt{M(r < R)/R} \quad V_R = \text{const} \Rightarrow M(r < R) \sim R \Rightarrow$$

Есть невидимая – «темная материя»,  
там где уже нет звезд

## Кривые вращения различных галактик

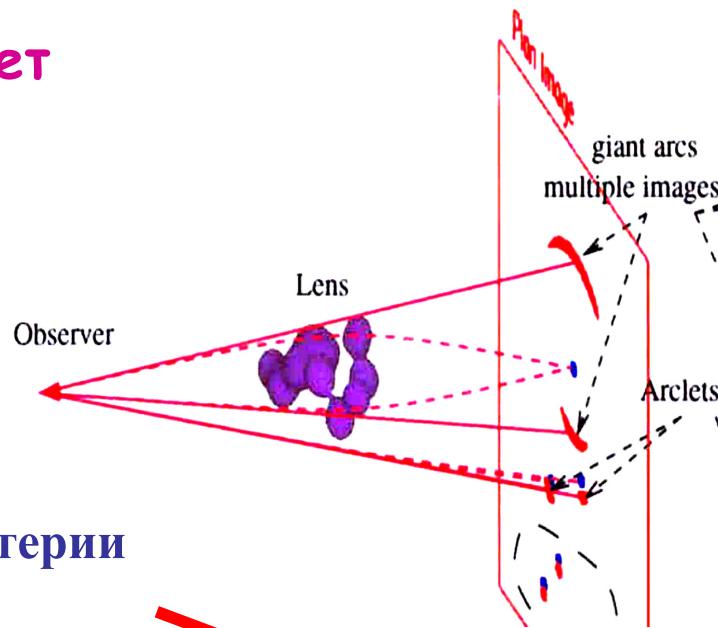


Для объяснения такого поведения кривых необходимо количество гравитирующей материи в  $\sim 10$  раз превышающее количество видимой!

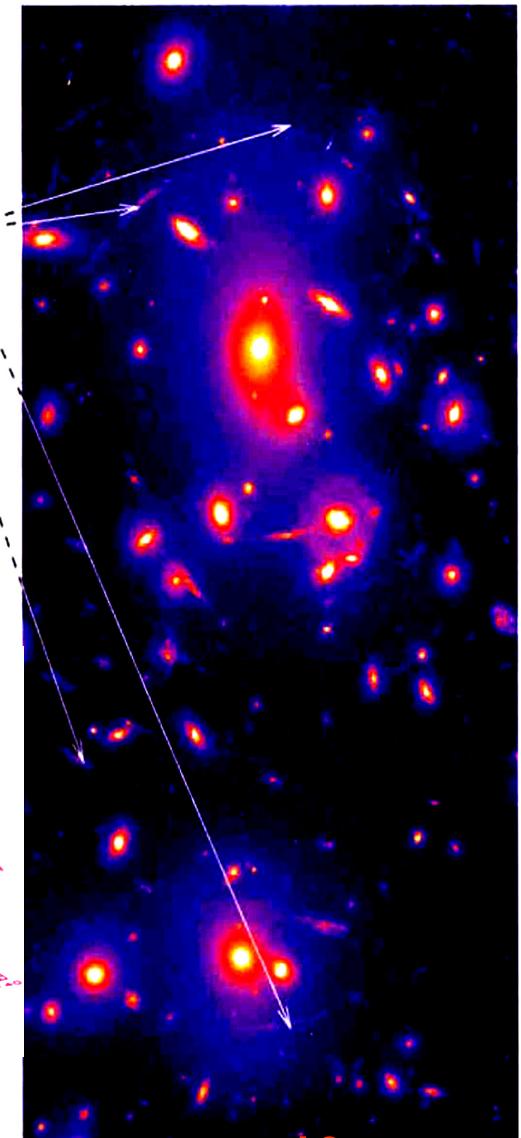
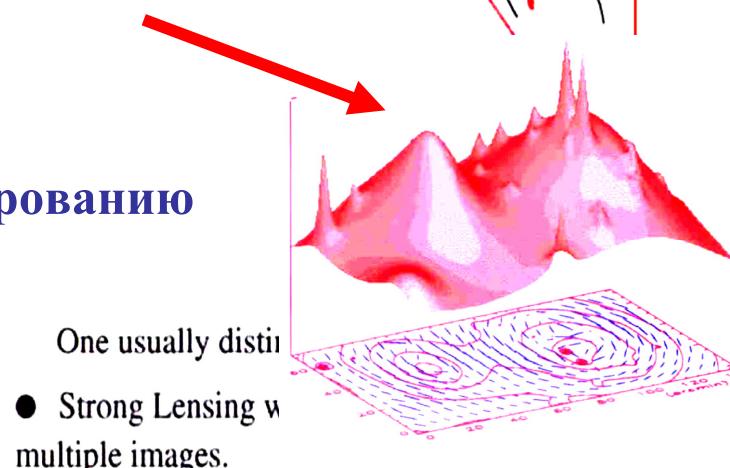
Движение галактик в кластерах так же требует значительно большей массы, чем видимая масса

# Тёмной Материи очень много в скоплениях галактик!

Гравитация действует  
на свет как линза



Профиль плотности материи  
В скоплении галактик,  
восстановленный по  
гравитационному линзированию



Необходимо количество гравитирующей материи в  $\sim 10$   
раз превышающее количество видимой!

## Кандидаты для Темной Материи

Обсуждалось много кандидатов для ТМ:

Нейтрино

Монополи

Черные дыры

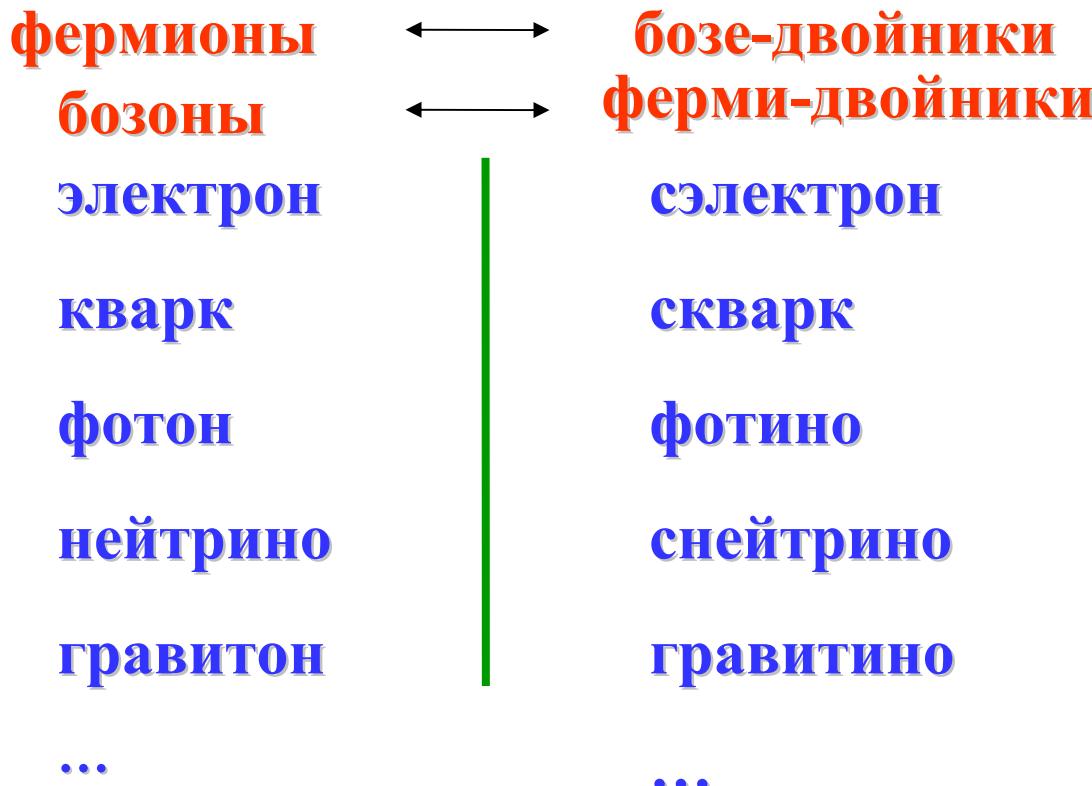
Аксионы

Зеркальная материя

...

Наиболее самосогласованным кандидатом является  
WIMP – Weakly Interacting Massive Particle

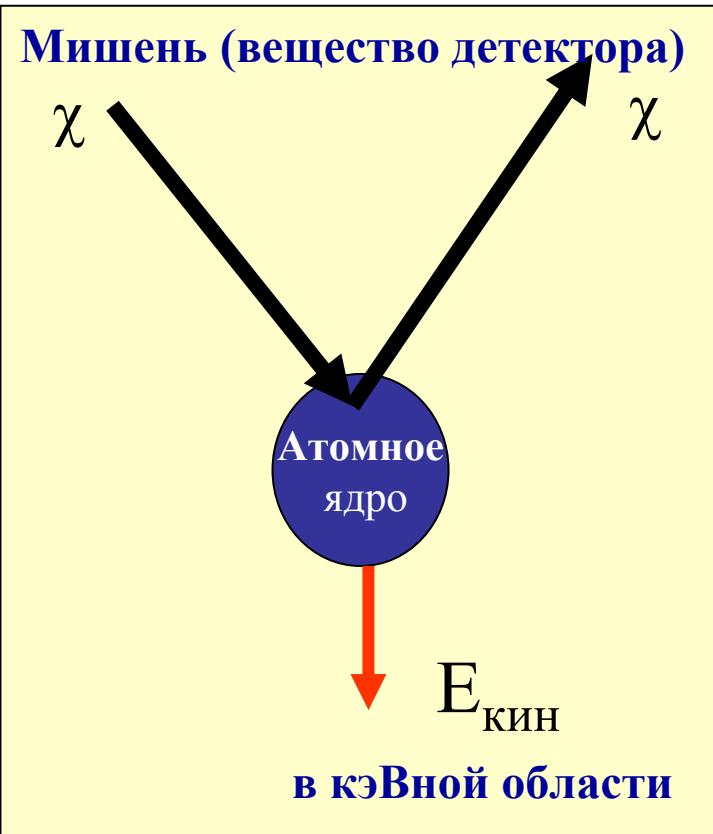
## Теория Суперсимметрии (SUSY) (Гольфанд и Лихтман (1971))



Частица ТМ не должна участвовать в сильном и электромагнитном взаимодействиях, только в слабом и гравитационном: **WIMP** - (Weakly Interacting Massive Particle)

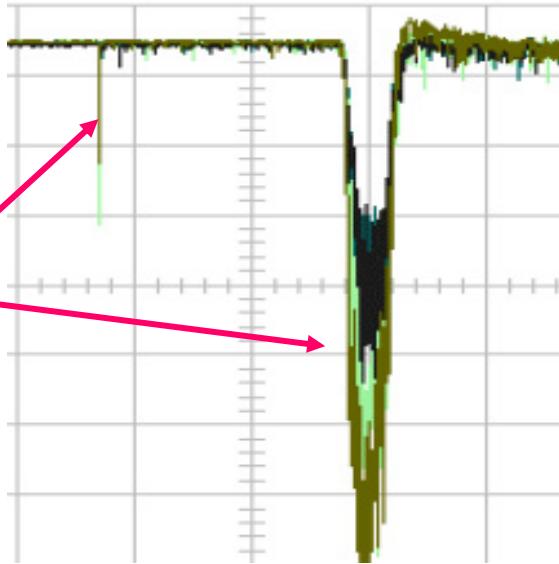
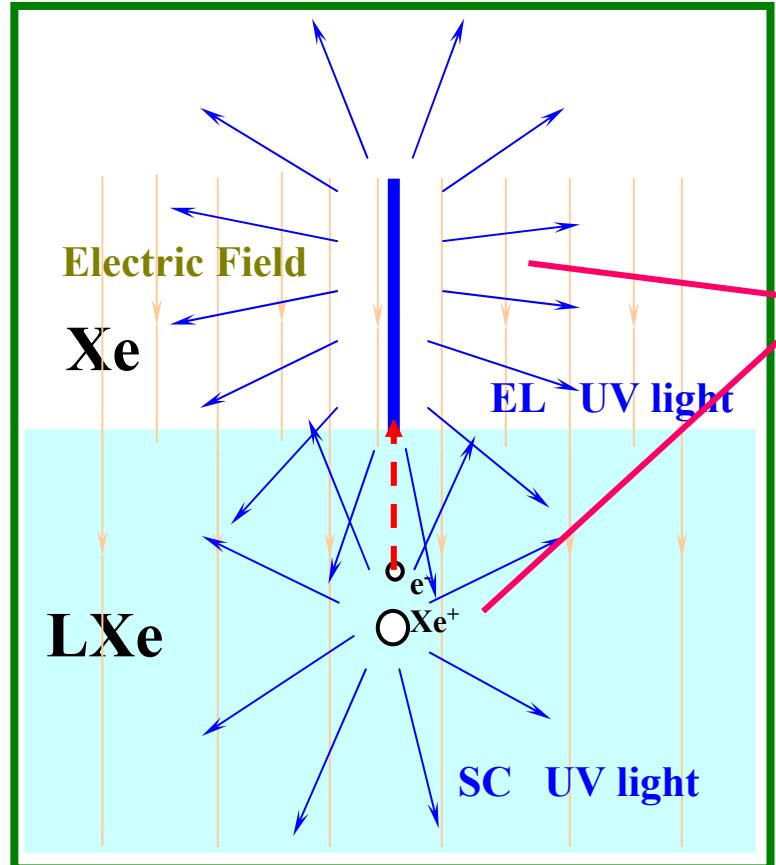
Нейтрилино  $\chi$  является наиболее обоснованным кандидатом в **WIMP**

## Регистрация WIMPa



Ядро может регистрироваться детектором:  
Величина сигнала  $\sim$  выделившейся энергии

# Детектирование ТМ с помощью двухфазного ксенона



Оба процесса регистрируются одними и теми же фотодетекторами

Дискриминация фона основана на анализе соотношения **EL/SC**

Для фона (в основном  $\gamma$  и  $e^-$ )      **EL/SC** велико

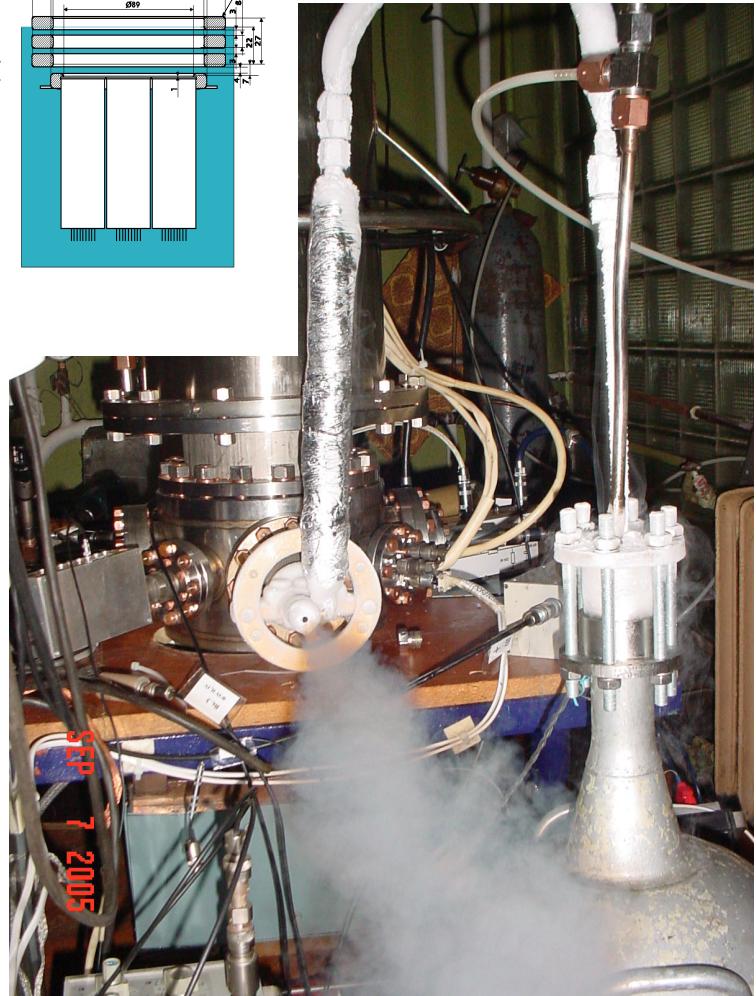
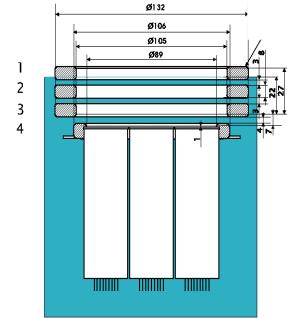
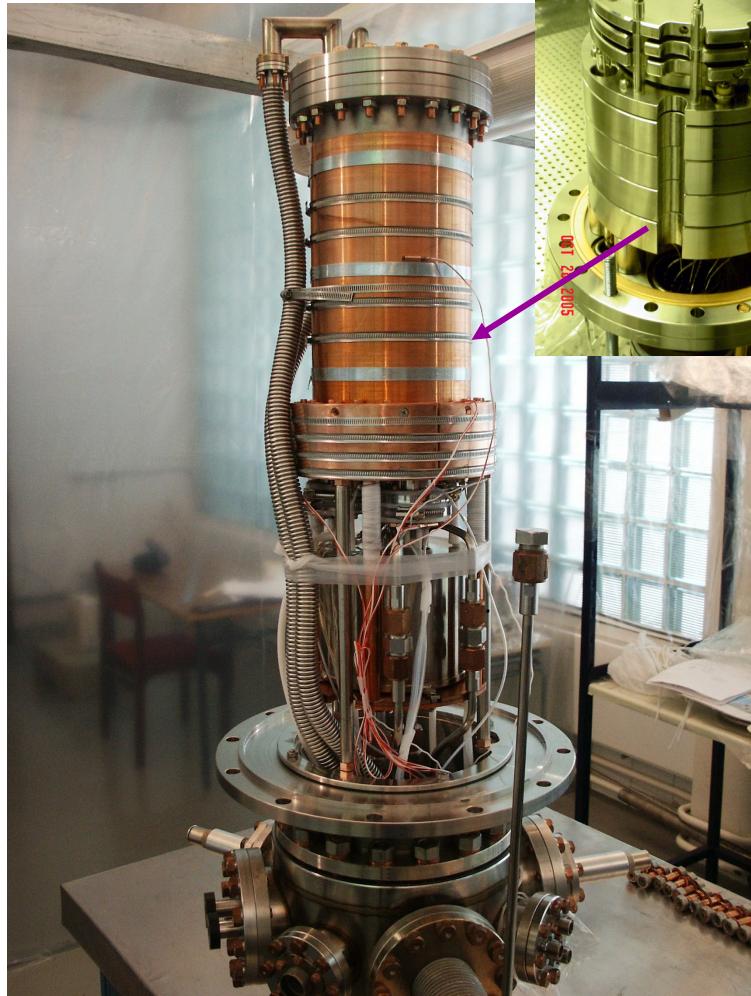
Для WIMP и нейтронов      **EL/SC** мало  
вследствие более сильной рекомбинации

Электролюминесценция **EL**:  
 $e^- + Xe \Rightarrow e^- + Xe^*$ ;  
 $Xe^* + Xe \Rightarrow Xe_2^*$ ;  
 $Xe_2^* \Rightarrow 2Xe + h\nu$

Выход **EL** - неск. сотен УФ фотонов на один  $e^-$

**SC** и **EL** 175 nm ВУФ

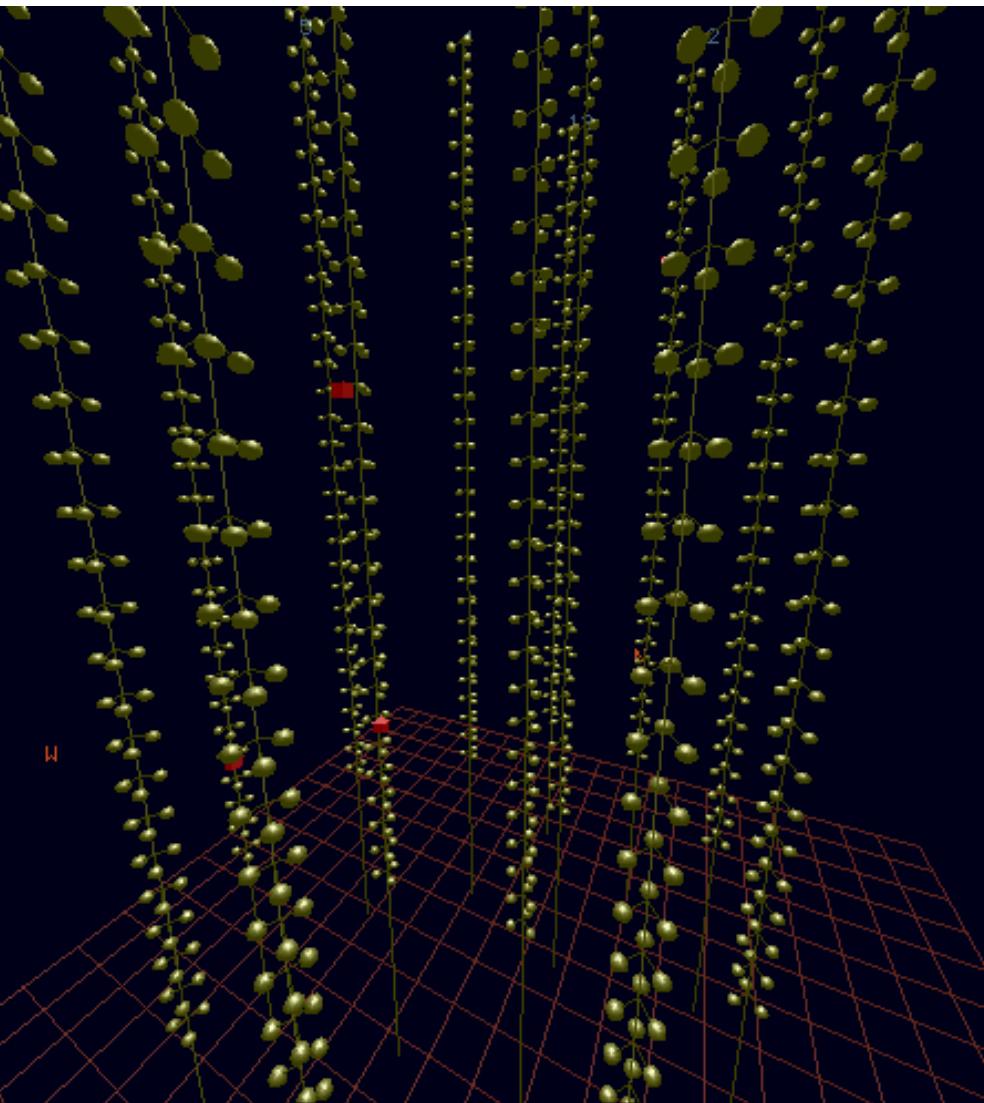
# Прототип детектора ZEPLIN III (ИТЭФ)



# Поиски ТМ по продуктам аннигиляции нейтрино

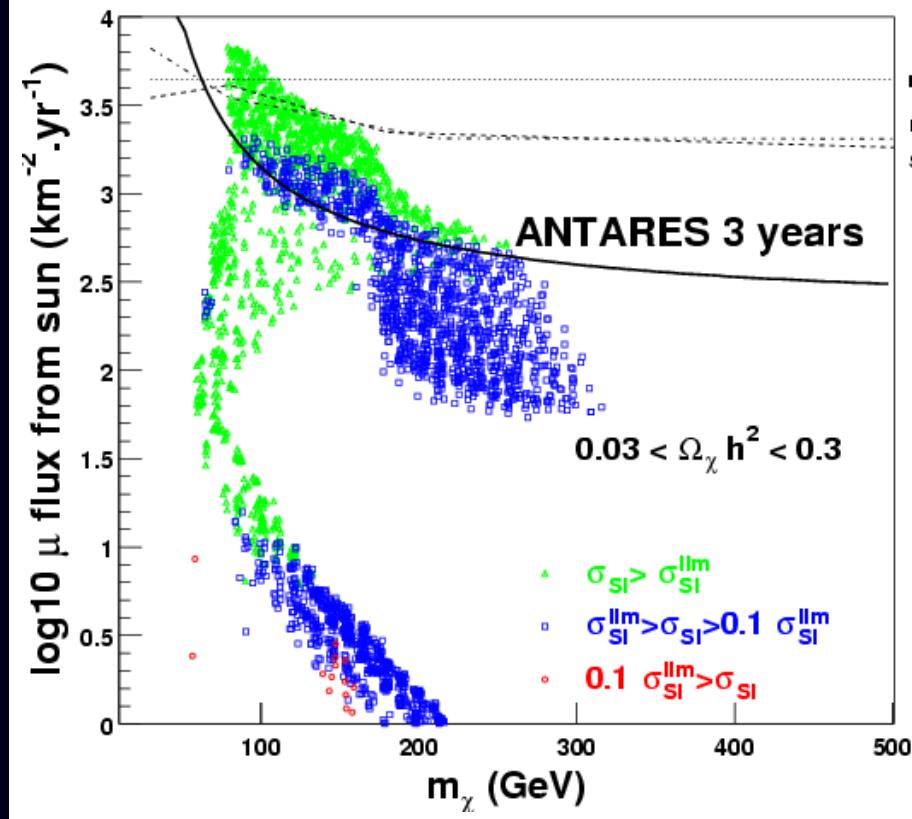


## Моделирование События в Антаресе



## Чувствительность к ТМ

Antares vs Edelweiss II in mSugra

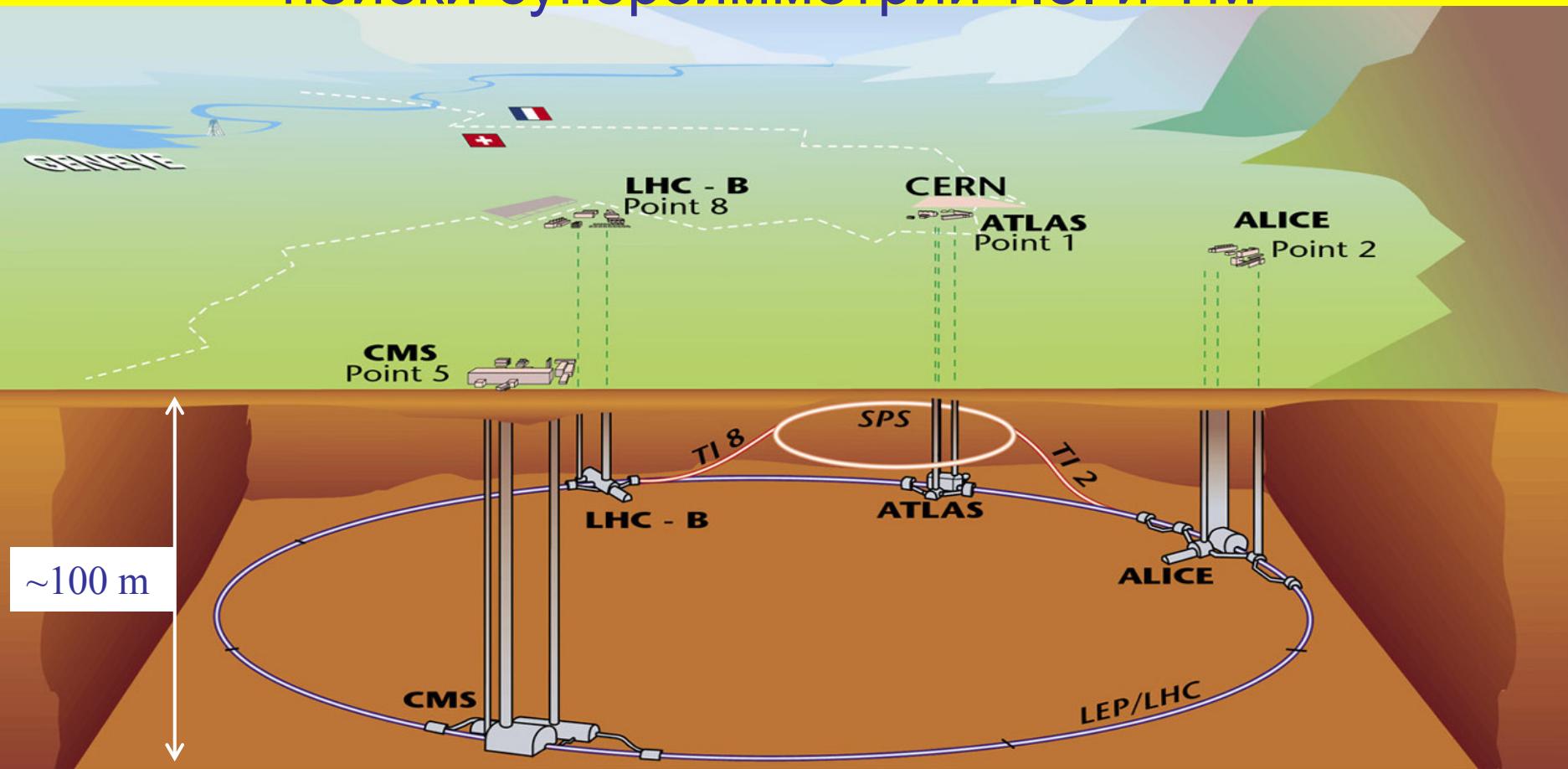


ИТЭФ, КИ, МГУ участвуют в создании эксперимента *AMS* на МКС  
для нового поиска антиматерии и Темной материи во Вселенной

Будущий вид детектора



Самый крупный ускоритель LHC создается в Женеве  
Одна из основных задач на нем –  
поиски суперсимметрии т.е. и ТМ



ИТЭФ участвует в создании всех четырех  
детекторов на LHC

*View of LHC tunnel*



## A1. MANUFACTURE AND DELIVERY OF DIPOLE AND QUADRUPOLE MAGNETS FOR LHC TRANSFER LINES.

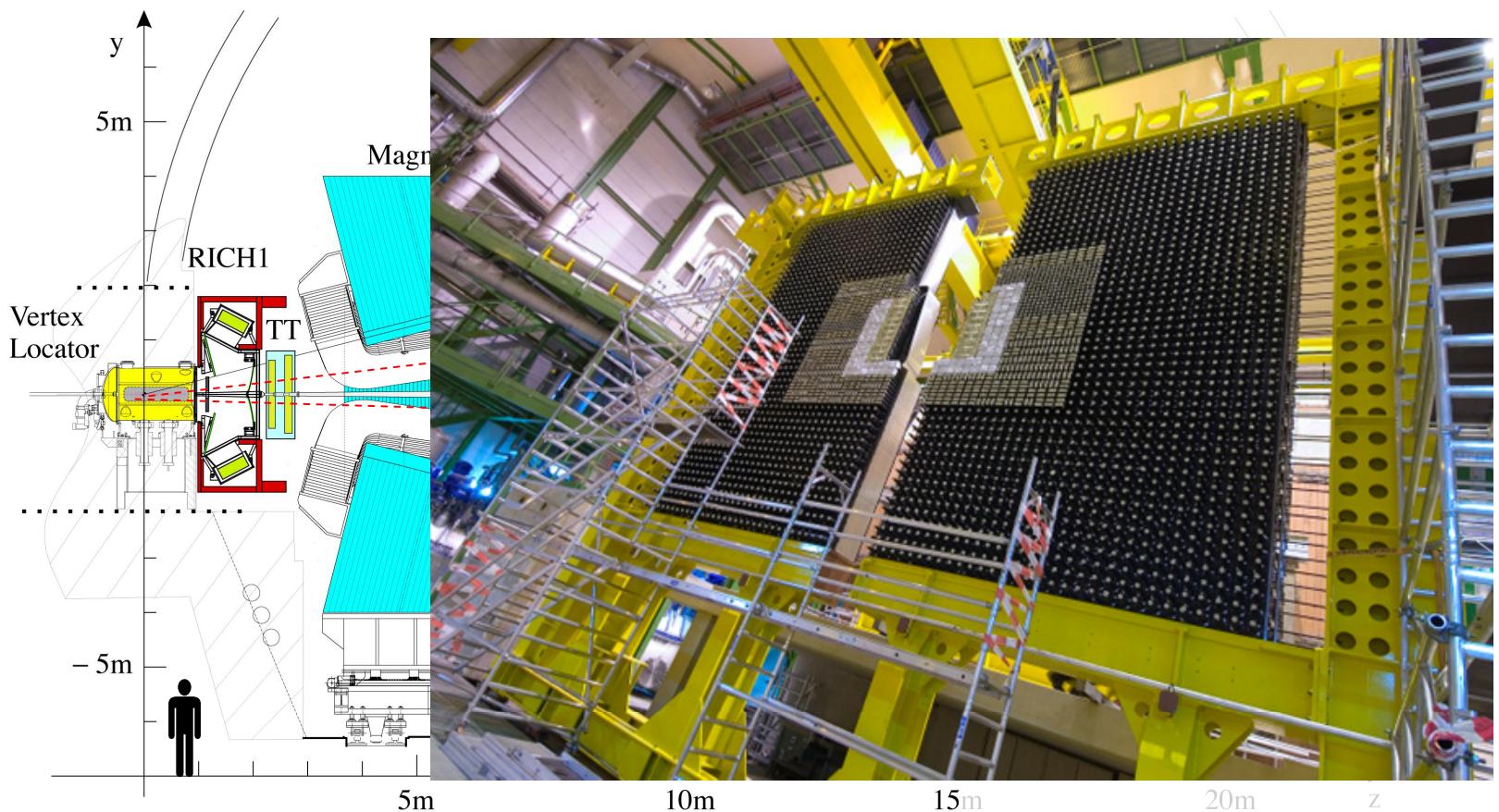
### Изготовленные в Новосибирске магниты для LHC

TOTAL COST: 26340 kCHF  
PERIOD: 1996–2001

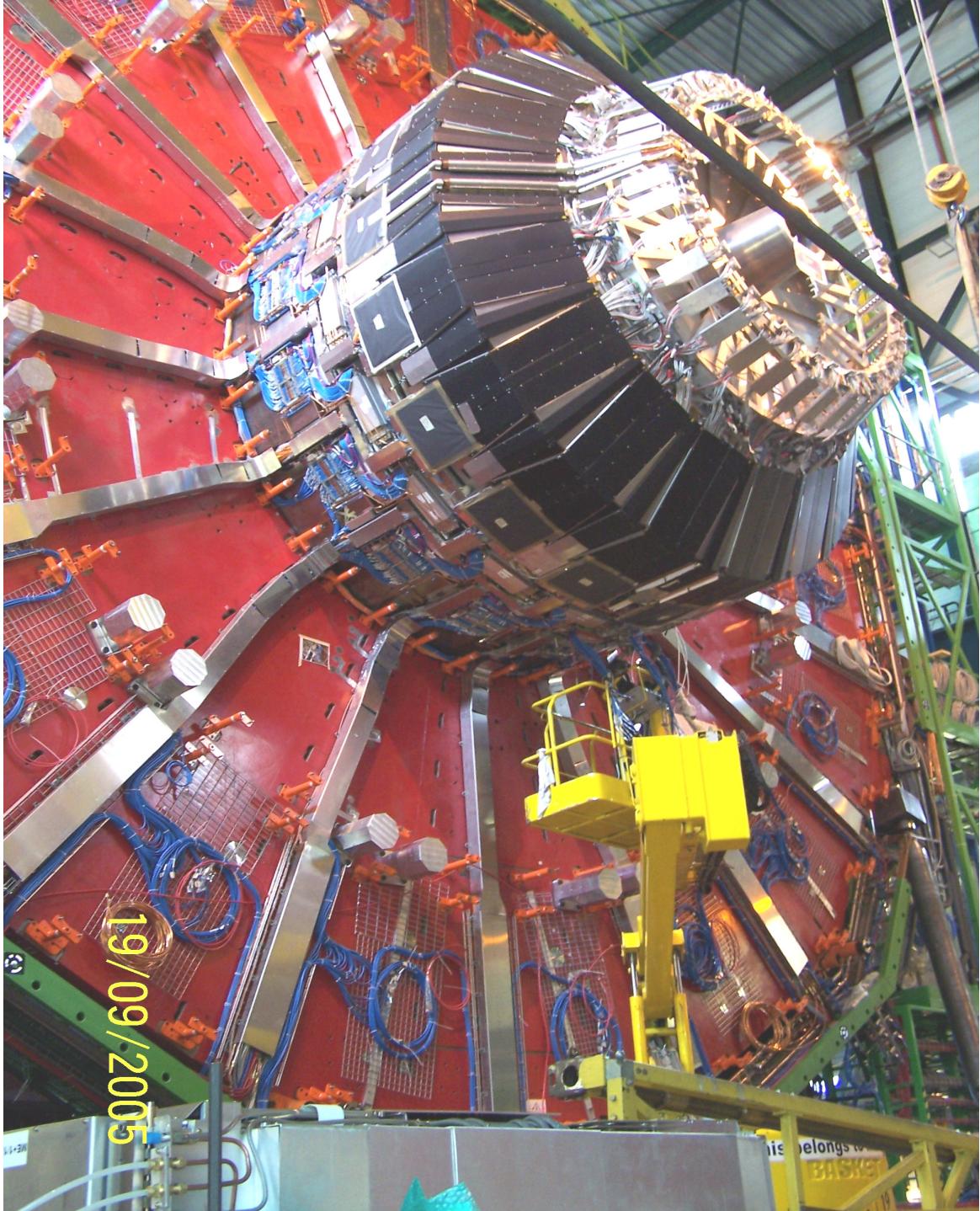
360 DIPOLES AND 180 QUADS — 4000 TONS MAGNETS AND VACUUM EQUIPMENT FOR LHC — DESIGNED, FABRICATED AND TRANSFERRED FROM NOVOSIBIRSK TO CERN (5000 KILOMETERS!) ACCORDING TO THE SCHEDULE AND SPECS.



# Изготовленный ИТЭФ электромагнитный калориметр LHCb

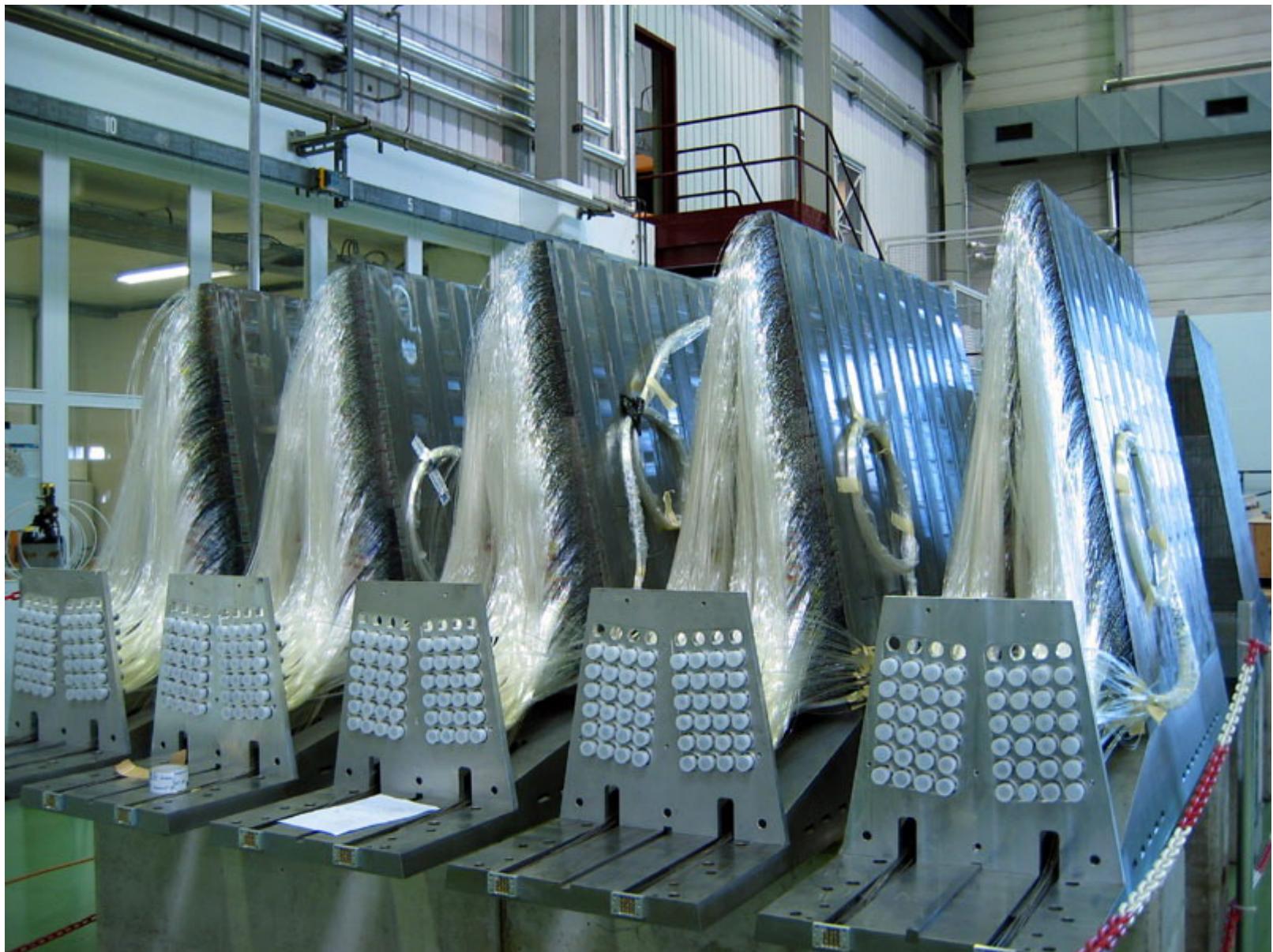


Руководитель эксперимента –  
профессор кафедры ФЭЧ(ИТЭФ) А.Голутвин

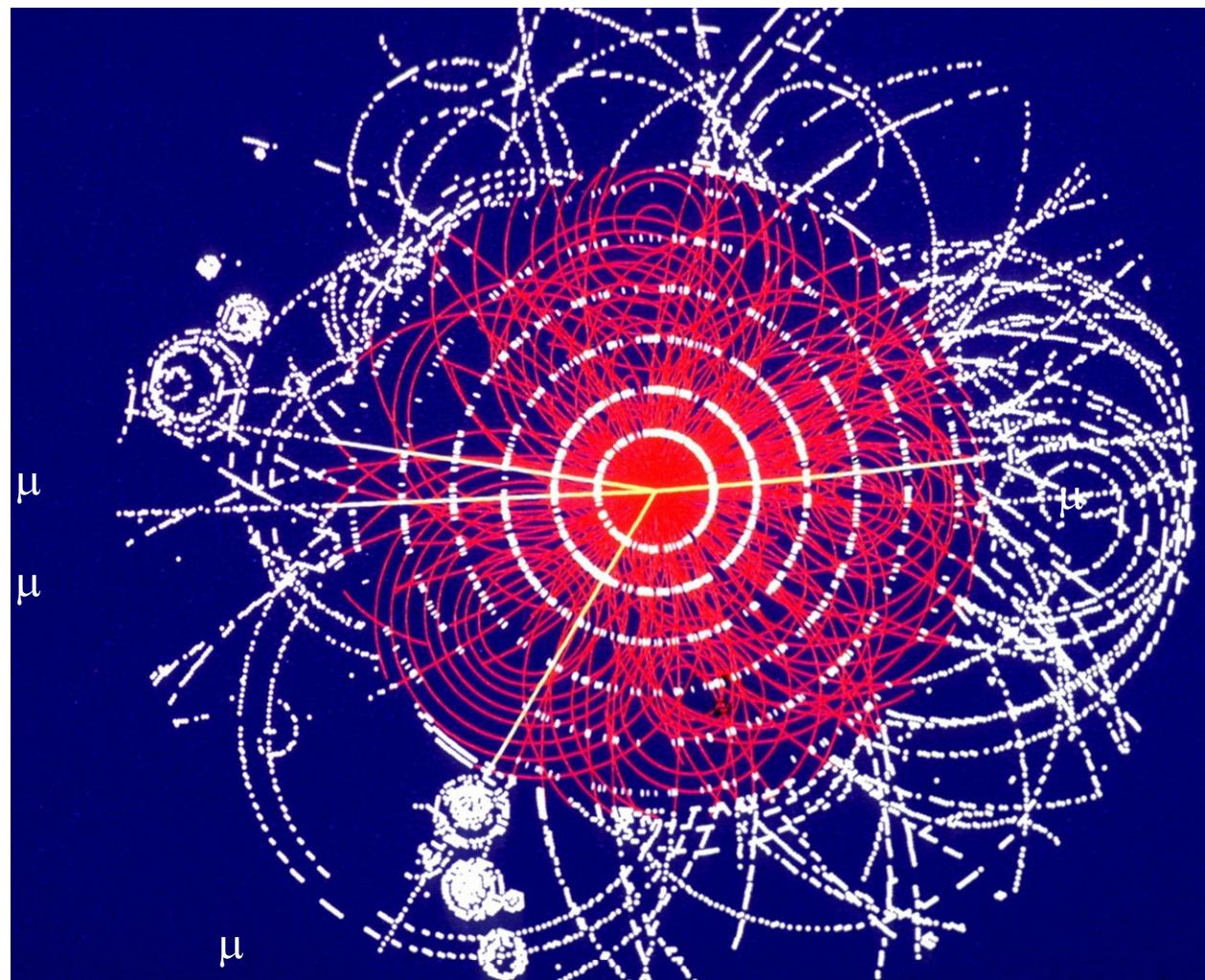
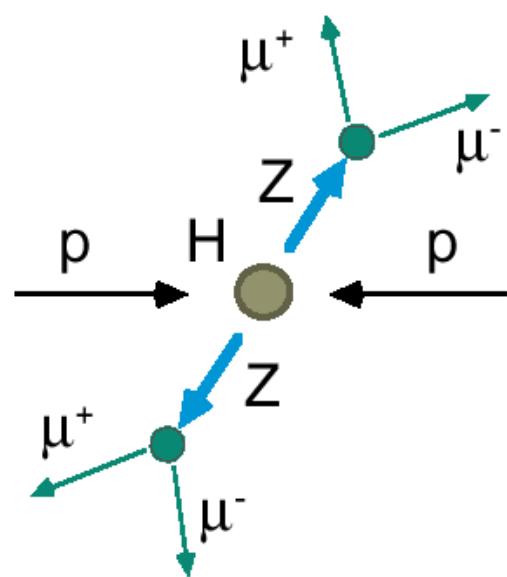


# Сборка Компактного детектора (CMS) на LHC

# Разработанный в ИТЭФ и США радиационно стойкий калориметер нового типа – кварцевый калориметр CMS

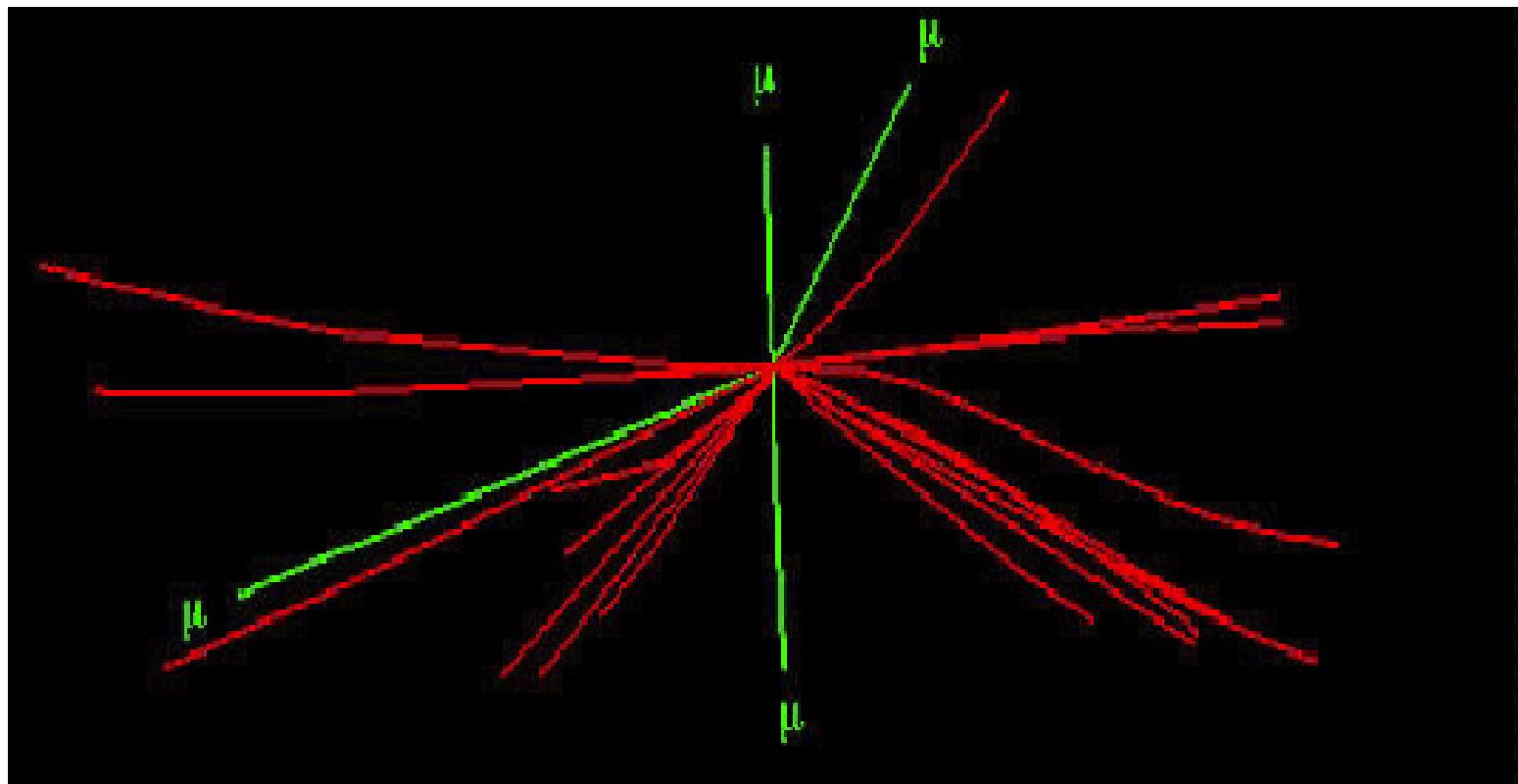


# Simulated Higgs decay

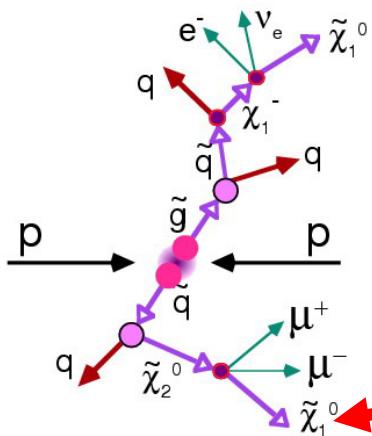


# 3D view

- However, keeping only those tracks with  $p_T > 25 \text{ GeV}$ :

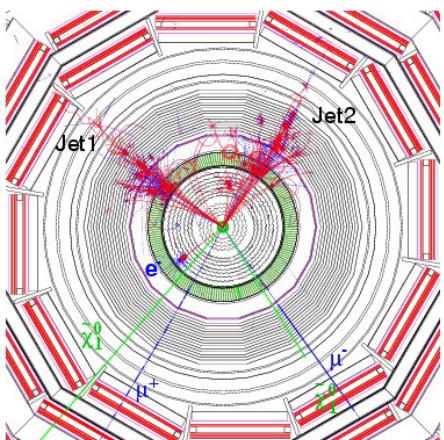


# Sparticles

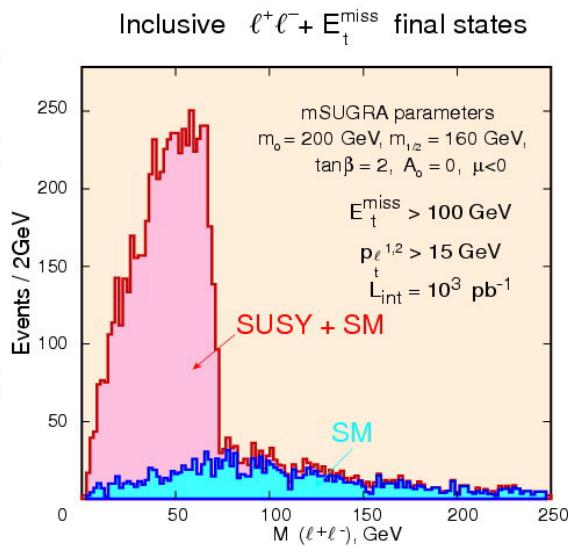


Production of sparticles may reveal itself through some spectacular kinematical spectra, with a pronounced "edge" in the  $\ell^+\ell^-$  mass spectrum reflecting  $\chi_2^0 \rightarrow \ell^+\ell^- \chi_1^0$  production and decay. An example of such a spectrum in inclusive  $\ell^+\ell^- + E_t^{\text{miss}}$  and of a 3  $\ell^\pm$  production event are shown below

**Частица Тёмной Материи**



SUSY event with  
3 leptons + 2 Jets signature

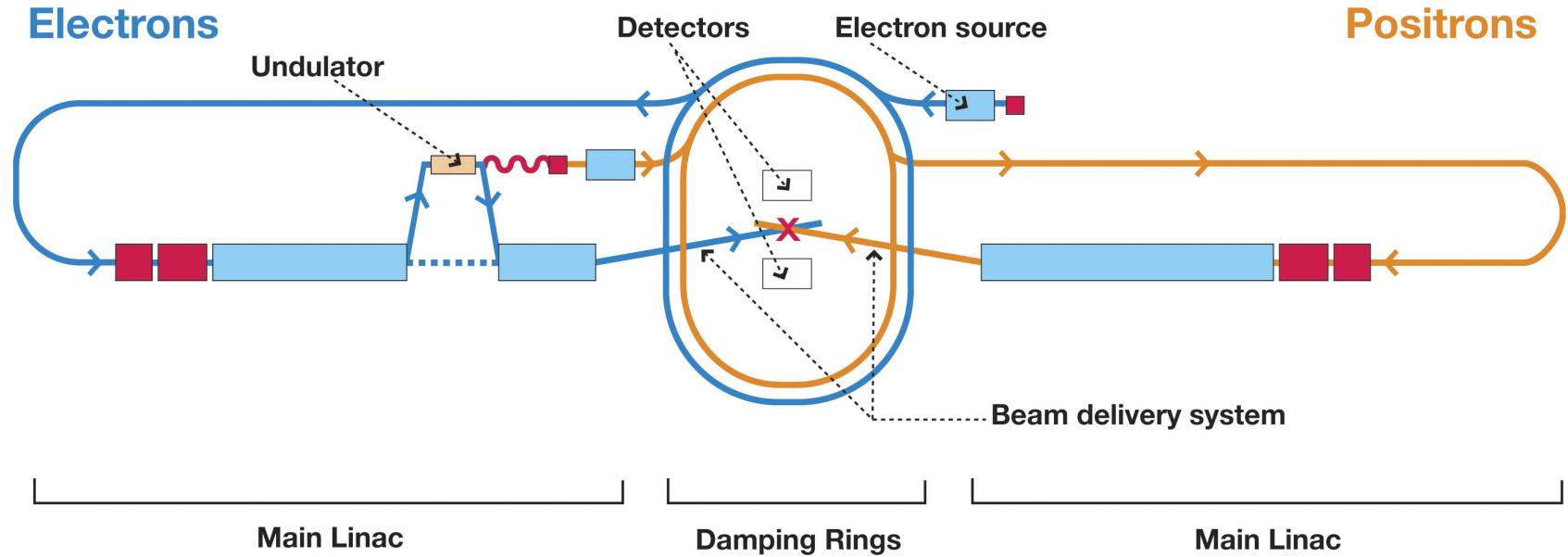


**LHC может открыть  
SUSY с массой до  $\sim 1$  ТэВ**

**Однако определить все  
свойства этих частиц  
будет сложно**

**Для этого планируется  
создать е+е- коллайдер-  
ILC с энергией 0.5-1 ТэВ**

# Международный е+е- линейный коллайдер (ILC)



ИТЭФ, МИФИ и МГУ участвуют в создании  
прототипа калоримера для ILC  
на основе Российских технологий

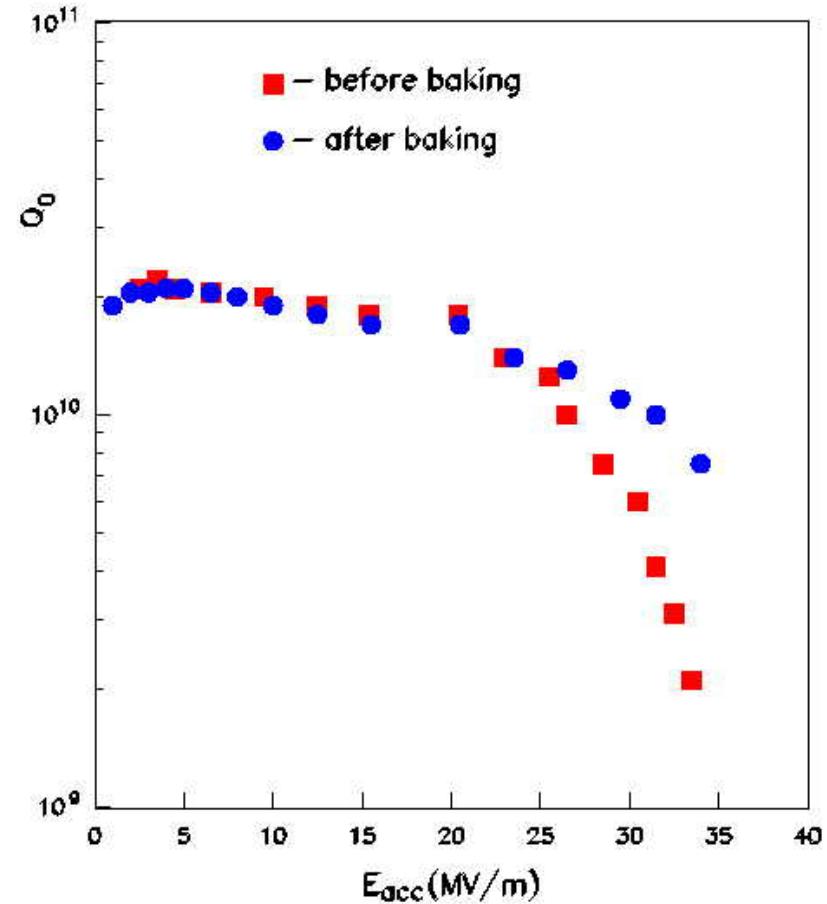
# Russia has technologies useful for SC cavities

*Purity of Russian Nb is the best in the world*

	DESY	ITEP-GIREDMET
Ta	500	2.2
W	70	6
Mo	50	<1
Ti	50	<0.03
N	10	3
C	10	3

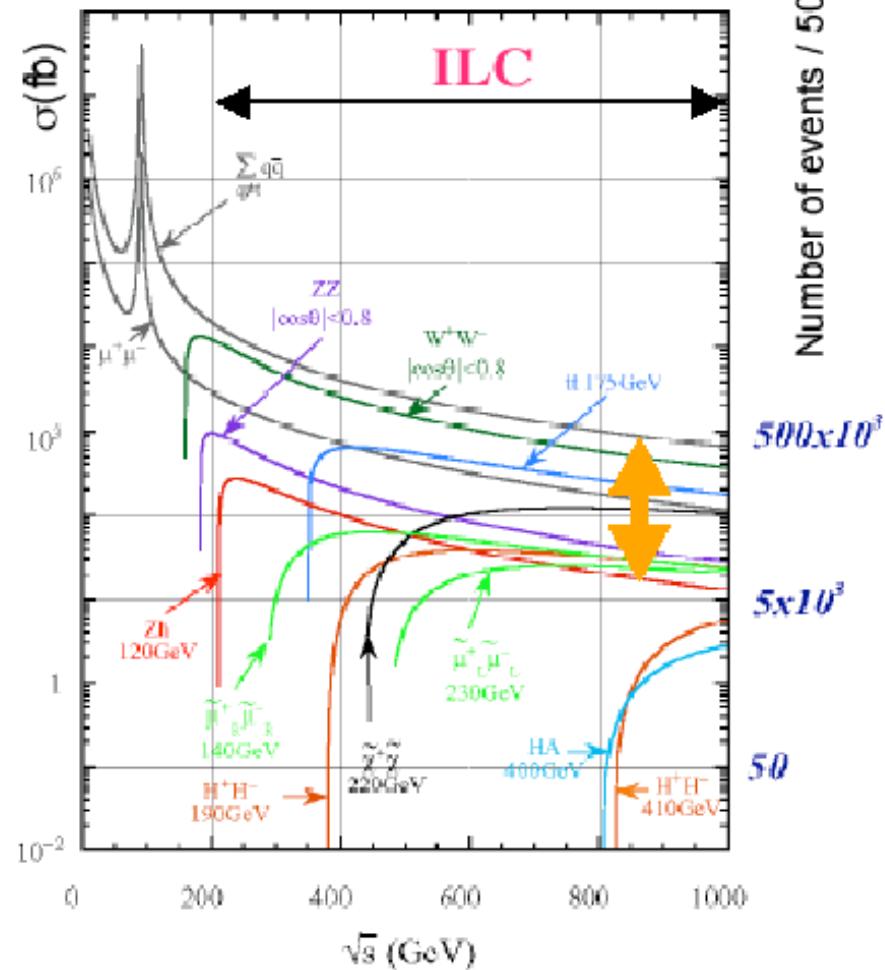
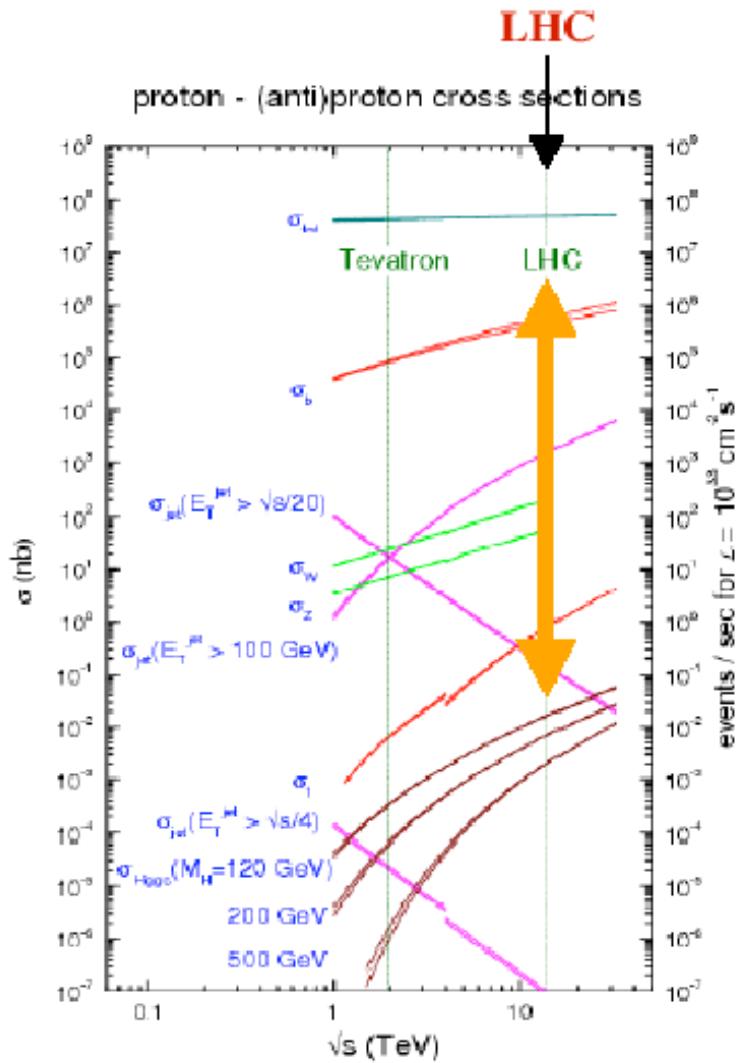
---

RRR                    300                     $\sim 1000$



$\sim 35$  MeV/M

# Signal and background Cross-section

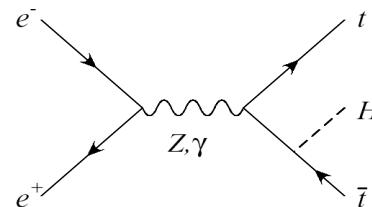


**Signal/ background ratio is much better at ILC**

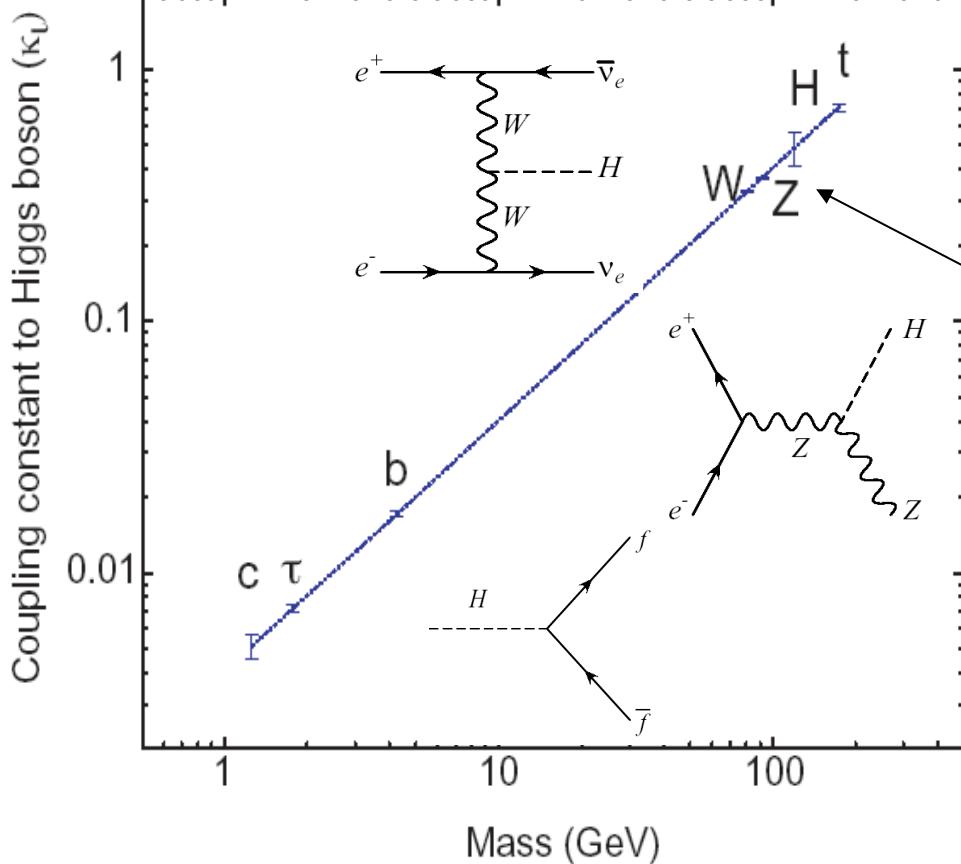
# Coupling measurements at ILC

$$m_i = v \times \kappa_i$$

Coupling-Mass Relation

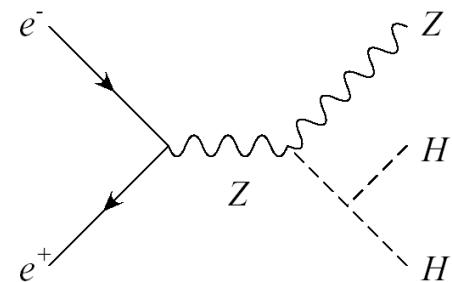


(Ecm>700 GeV)



LHC: (10)% for ratios of coupling constants  
ILC: a few % determination

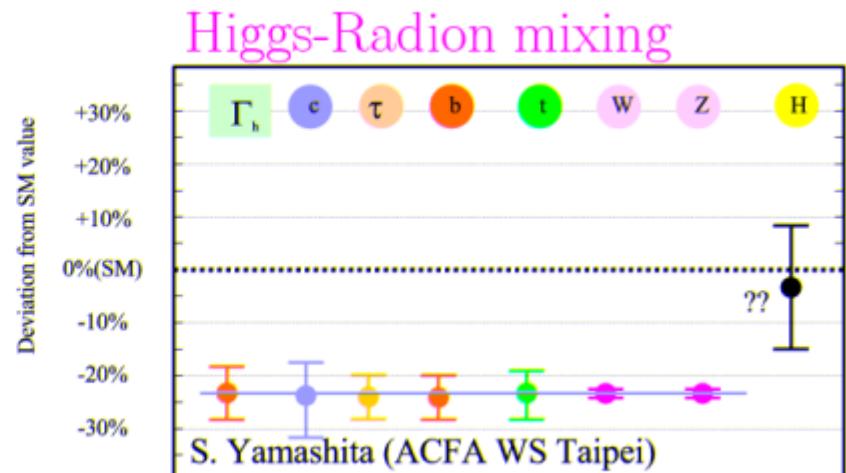
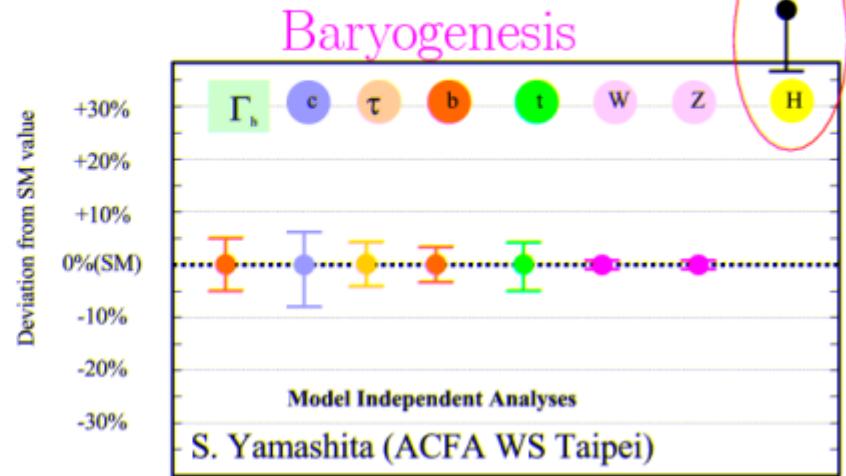
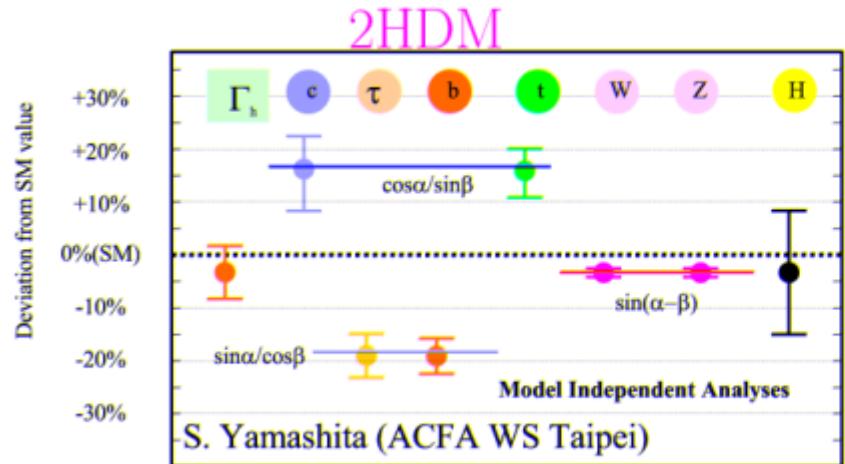
Higgs self-coupling



$m_H=120$  GeV, Ecm=300-500 GeV, L=500fb $^{-1}$

## Applications of precision Higgs couplings

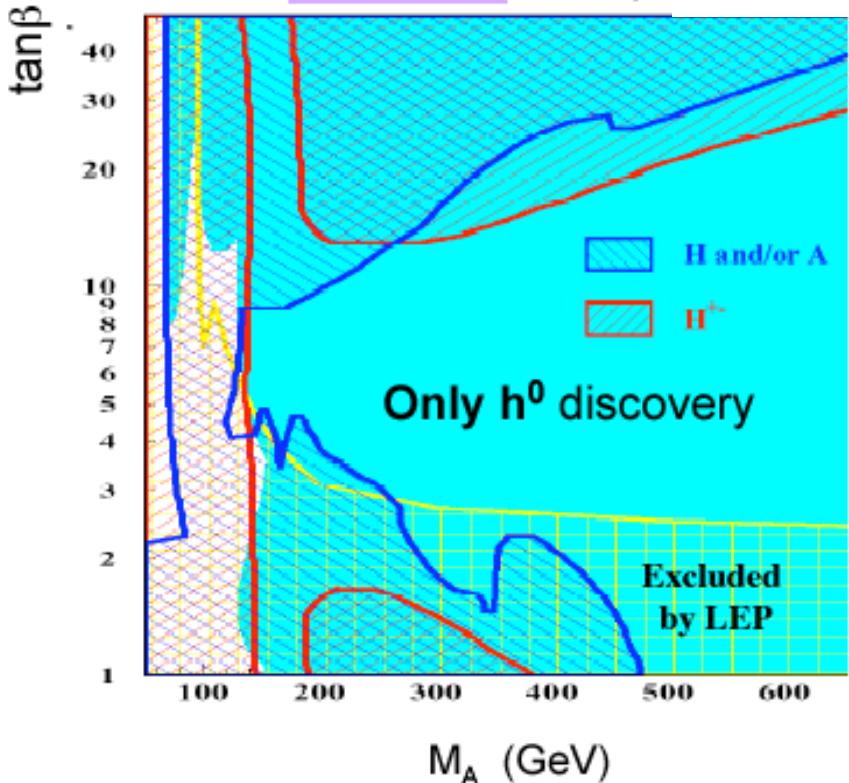
The Higgs-coupling measurements allow for a powerful distinction between models



# Heavy Higgs ( $A^0$ , $H^0$ , $H^{+-}$ ) Discovery Reach

LHC

M<sub>hmax</sub> scenario

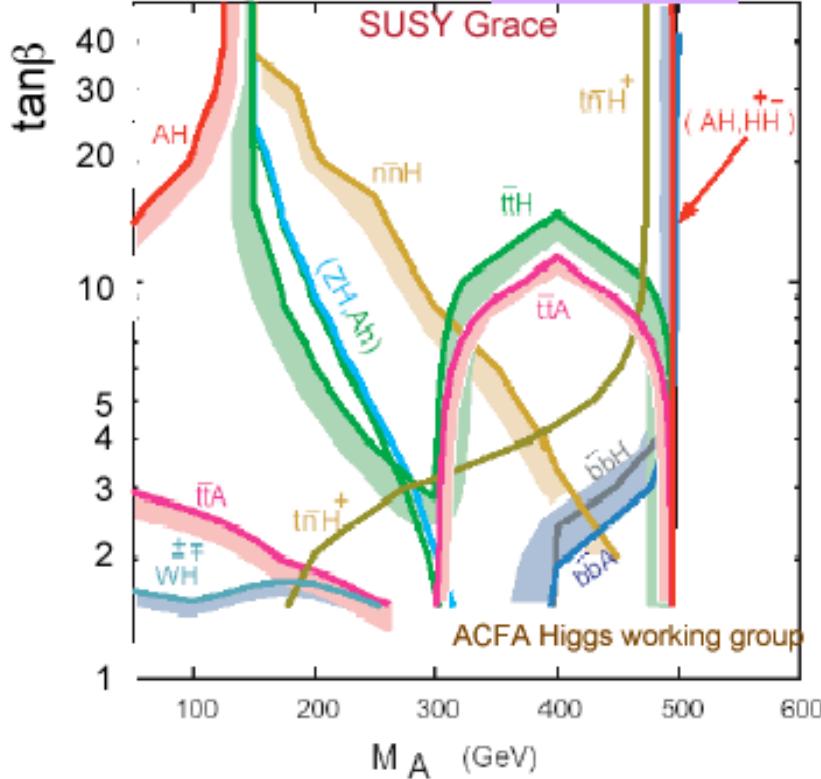


Discovery reach depends on  $\tan\beta$  and model

Good at large  $\tan\beta$  case

ILC

$\sqrt{s} = 1000$  (GeV)



Full discovery in many channels  
independent of  $\tan\beta$

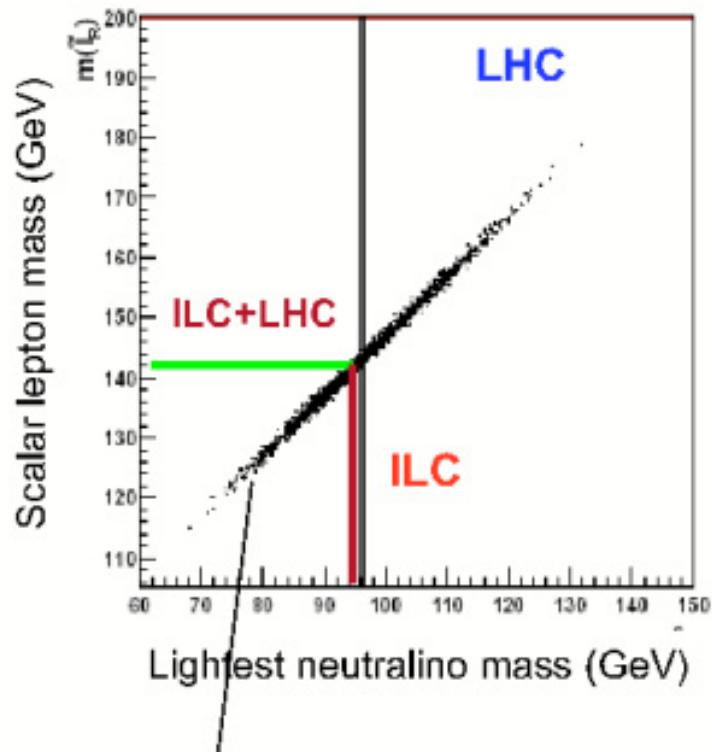
Reach up to  $\sim$  beam energy

SUSY particle masses, quantum numbers, couplings, mixing angles can be determined with high accuracy at ILC

300 fb<sup>-1</sup>@LHC  
 $\Delta M$  values in GeV

	LHC	LHC+LC (0.2%)
$\Delta m_{\tilde{\chi}_1^0}$	4.8	0.19 (ILC input)
$\Delta m_{\tilde{l}_R}$	4.8	0.34
$\Delta m_{\tilde{\chi}_2^0}$	4.7	0.24
$\Delta m_{\tilde{q}_L}$	8.7	4.9
$\Delta m_{\tilde{b}_1}$	13.2	10.5

Significant improvements even if only  $m(\tilde{\chi}_1^0)$  is measured at ILC



Strong correlation at LHC

An input from ILC resolve this correlation

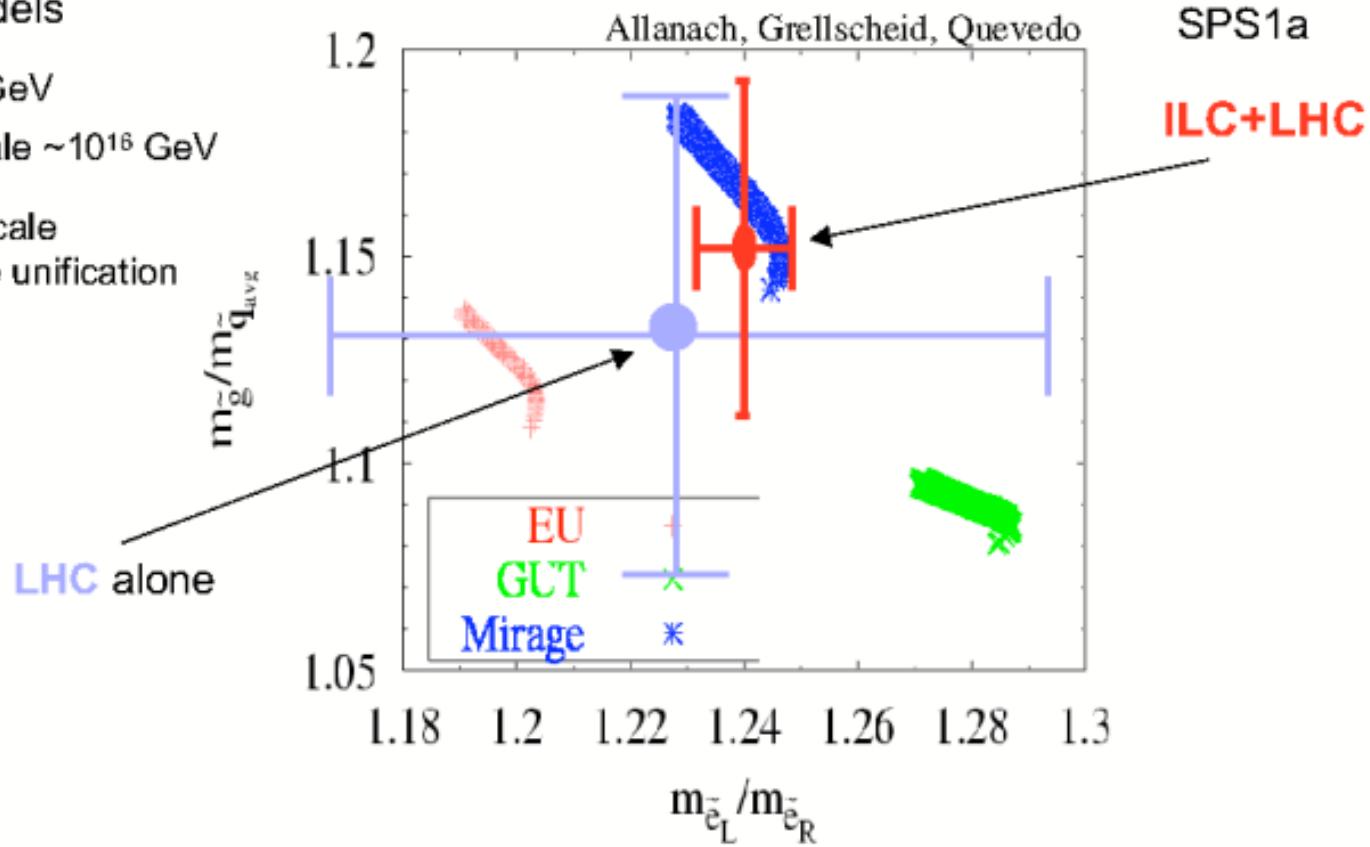
# Discrimination between different SUSY-breaking scenarios

Type-I string inspired models

EU: early unification at  $10^{11}$  GeV

GUT: string scale at GUT scale  $\sim 10^{16}$  GeV

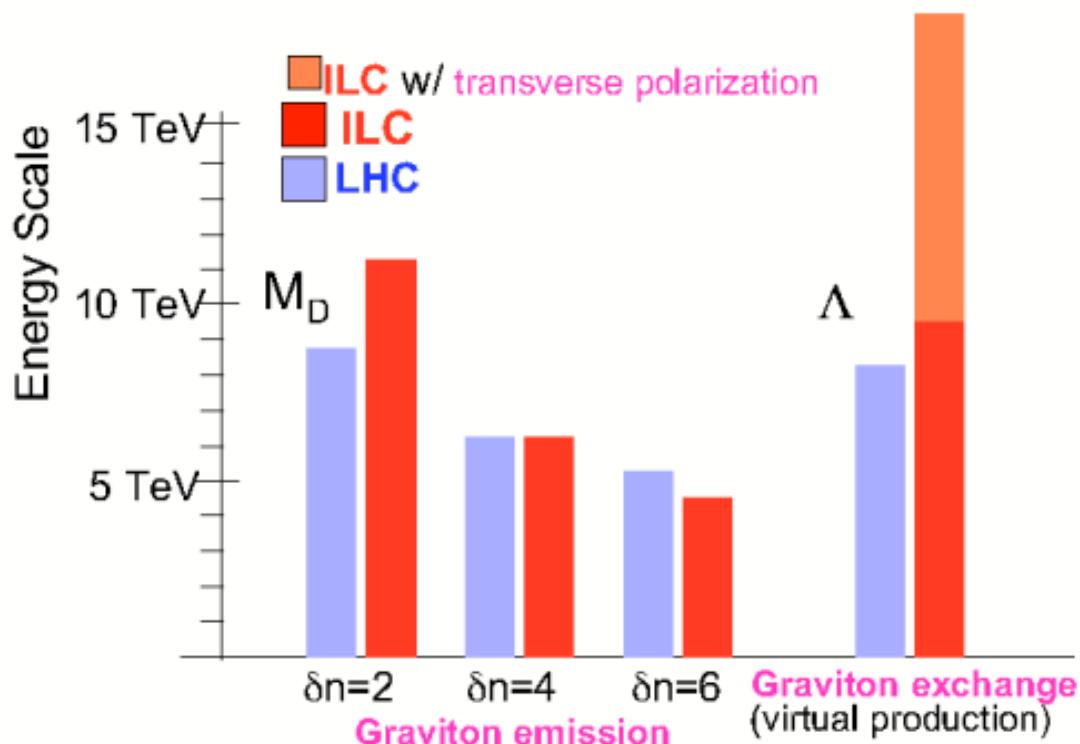
Mirage: Intermediate string scale  
at  $10^{11}$  GeV + Mirage unification



Precise determination of SUSY parameters at ILC and LHC allows to achieve accuracy in SUSY Dark Matter density comparable to the accuracy of Planck measurements

# Examples: Reach and beyond

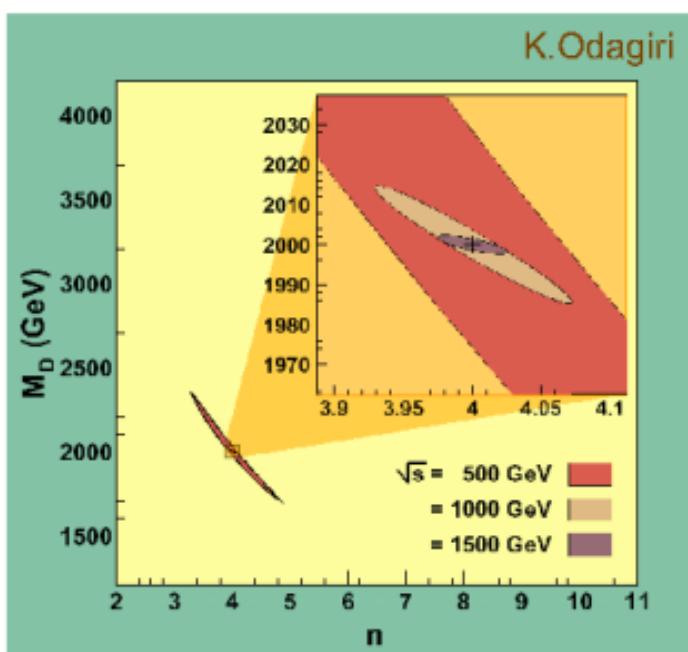
## Large Extra Dimension Reach



Numbers are taken  
From J.Hewett et al



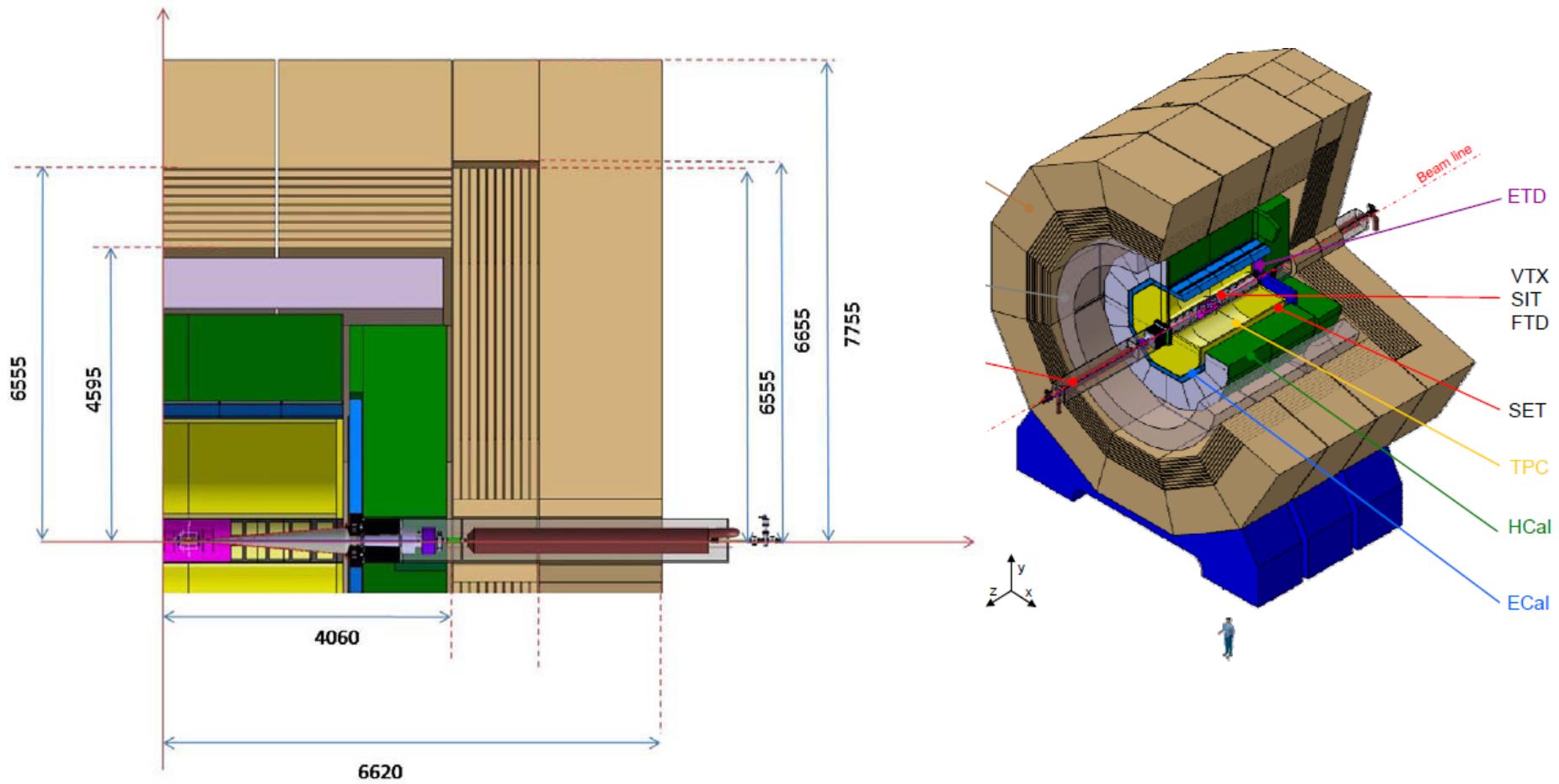
## Not only the reach !



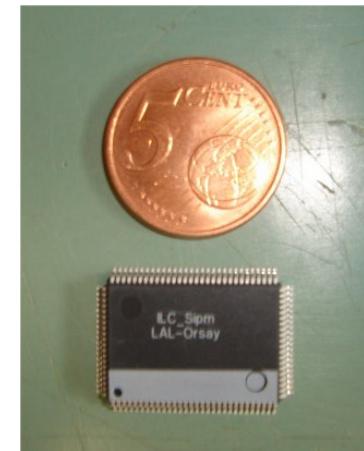
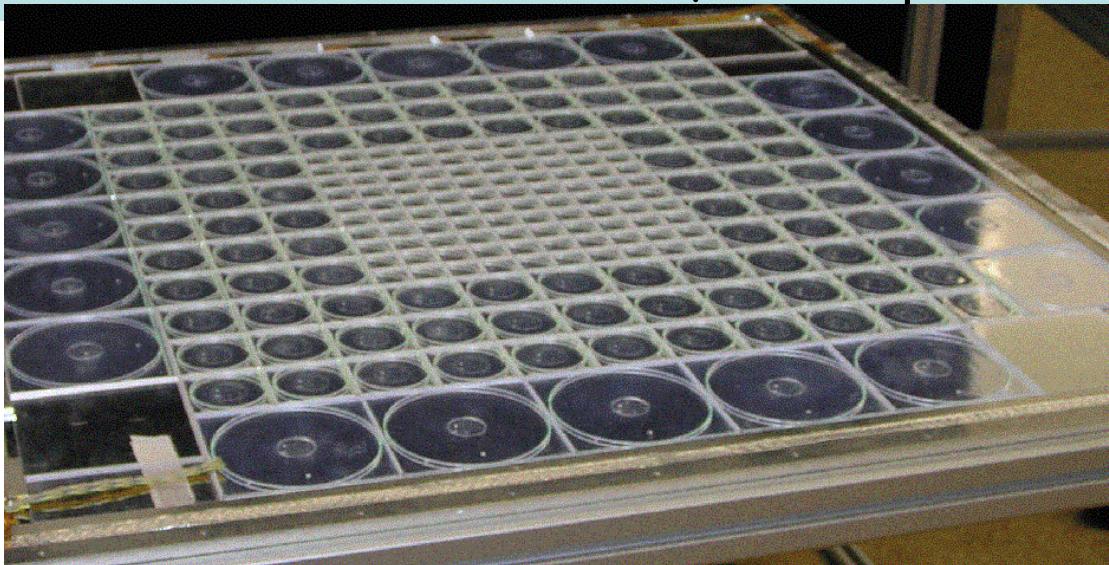
# of extra-dimensional space

The size and number of  
the extra-space  
to be determined at ILC.

# The ILD Detector

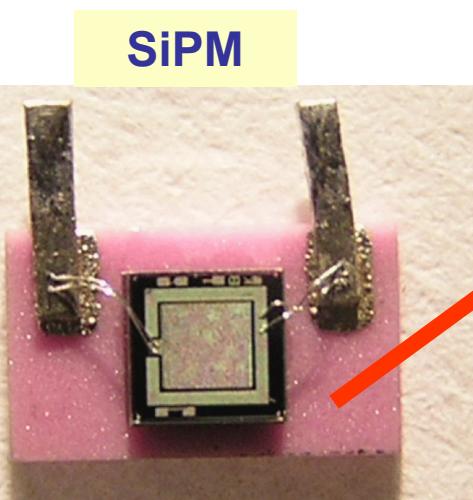


The CALICE HCAL prototype comprises 38 planes of scintillating detectors with 216 tiles in first 30 planes and 145 tiles in 8 last ones.

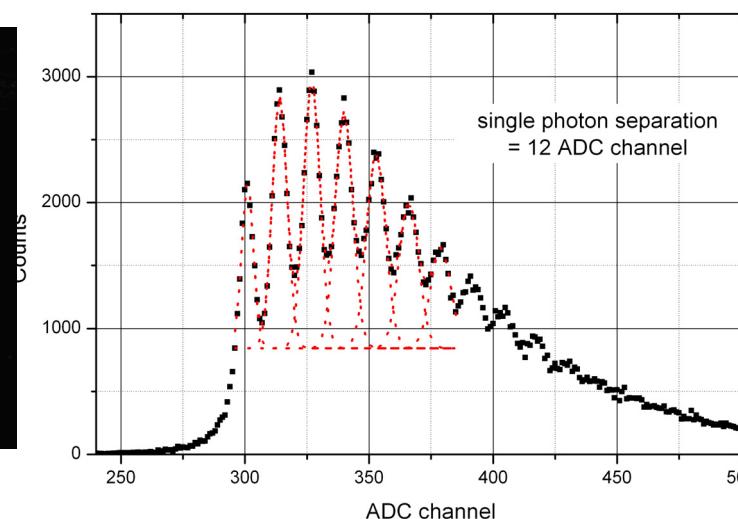
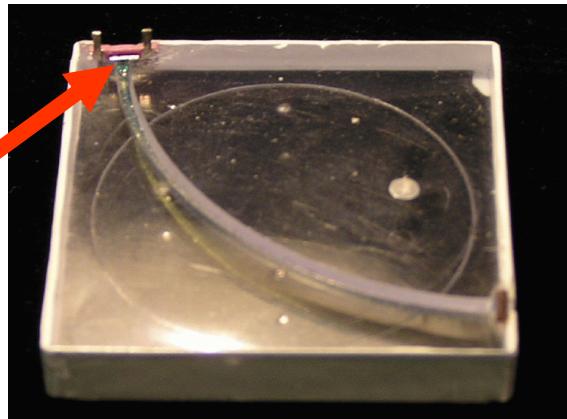


Light from a tile is read out via WLS fiber and SiPM

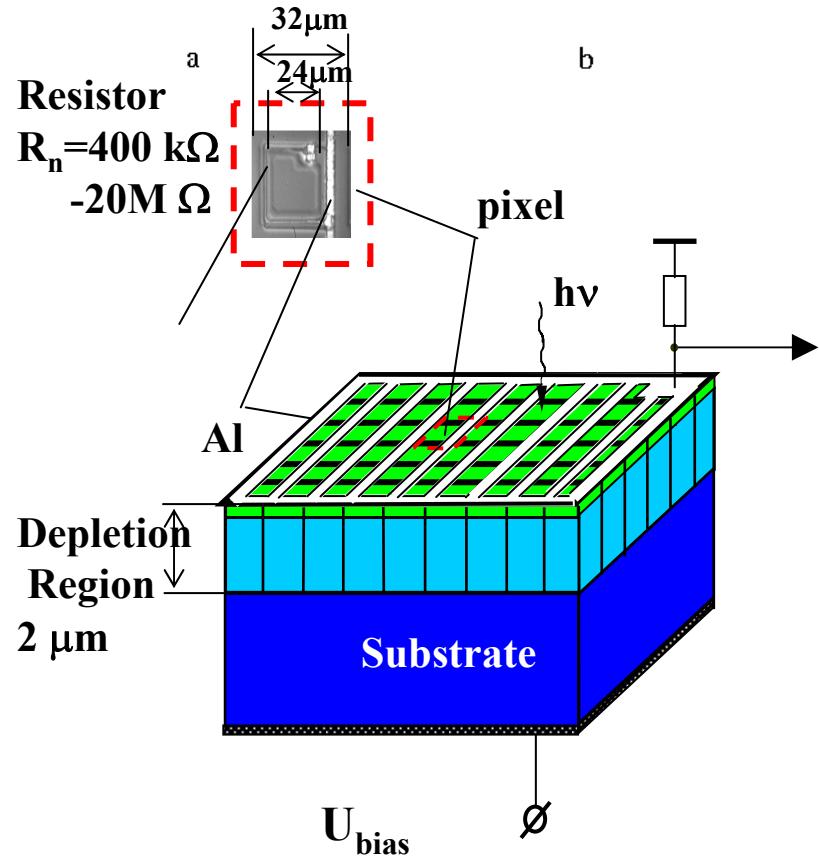
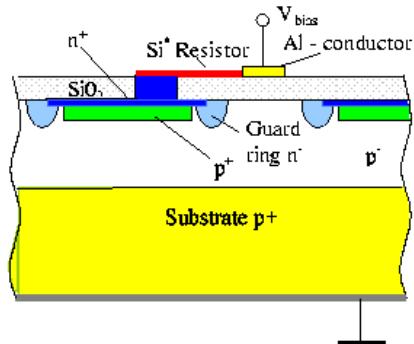
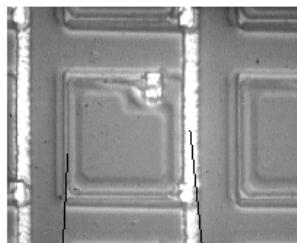
LAL 18 ch. SiPM  
FE chip



3x3 cm<sup>2</sup> tile with SiPM



# SiPM main characteristics (MEPhI-Pulsar example)

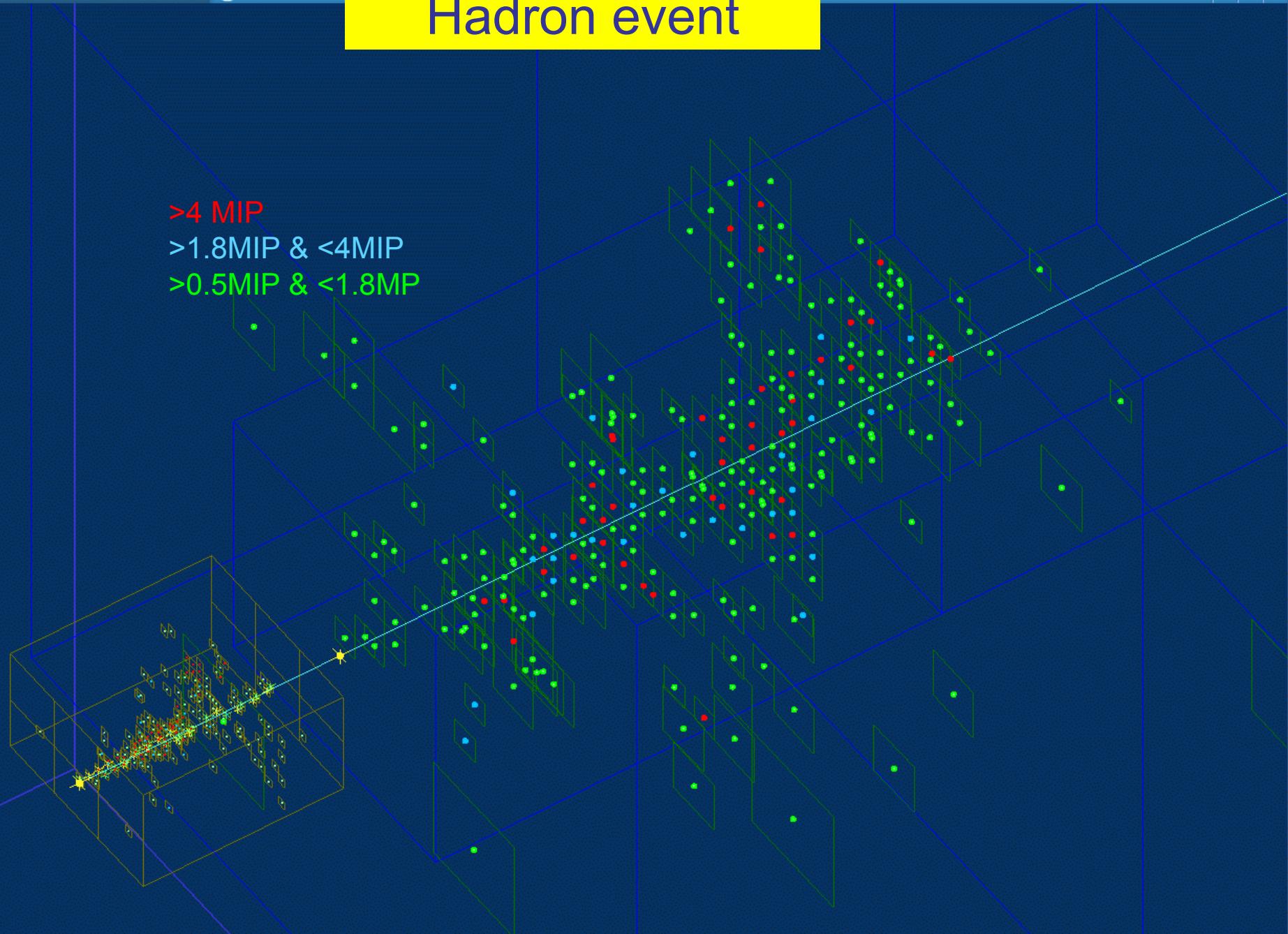


- 1156 pixels of  $32 \times 32 \mu\text{m}^2$  (active area  $24 \times 24$ )
- Working point:  $V_{Bias} = V_{breakdown} + \Delta V \sim 50-60 \text{ V}$   
 $\Delta V \sim 3 \text{ V}$  above breakdown voltage
- Each pixel behaves as a Geiger counter with  
 $Q_{pixel} = \Delta V C_{pixel}$  with  $C_{pixel} \sim 50 \text{ fF} \rightarrow$   
 $Q_{pixel} \sim 150 \text{ fC} = 10^6 \text{ e}$
- Noise at 0.5 p.e.  $\sim 2 \text{ MHz}$
- Optical inter-pixel cross-talk:  
- due to photons from Geiger discharge initiated by one electron and collected on adjacent pixels  
- Xtalk grows with  $\Delta V$ . Typical value  $\sim 20\%$ .
- PDE  $\sim 15\%$  for Y11 spectrum

Insensitive to magnetic field (tested up to 4 Tesla)  
Very short Geiger discharge development  $< 100 \text{ ps}$   
Pixel recovery time =  $(C_{pixel} R_{pixel}) \sim 20 \text{ ns}$  (for small R)  
Dynamic range  $\sim$  number of pixels (1156) ➔ saturation

# Hadron event

>4 MIP  
>1.8MIP & <4MIP  
>0.5MIP & <1.8MP



## Заключение

Мы знаем из чего состоит Материя и её взаимодействия

Скоро на LHC поймём механизм возникновения массы

Но возможно мы знаем только половину фундаментальных частиц

Есть надежда прояснить это в ближайшие 10 лет

Мы выяснили основной механизм различия свойств Материи и Антиматерии в случае кварков (механизм КМ)

Но он не объясняет доминирование Материи во Вселенной

Нужны новые механизмы нарушения CP-инвариантности

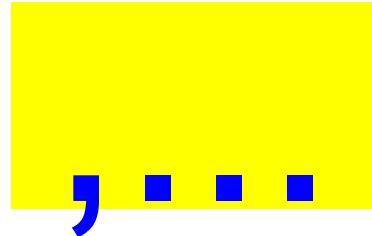
Их поиски ведутся

Астрофизики показали, что ТМ в 6 раз больше чем барионной

Но природа её не известна

Есть надежда выяснить это в ближайшие 10 лет

**Самое время приходить в ИТЭФ!**



Природа и астрофизики  
не устают нас удивлять

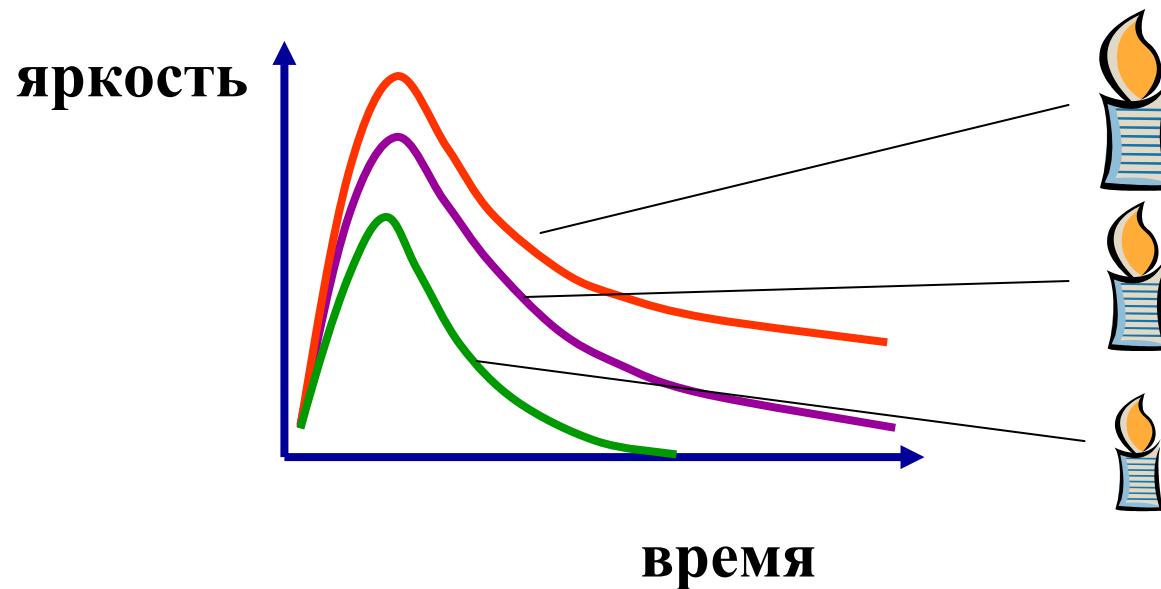
Барионная и Темная Материя составляют  
лишь 30% плотности Вселенной

Остальное - Темная Энергия

# Ещё одно важнейшее открытие последних лет: отклонение от закона Хаббла –

**Вселенная расширяется с ускорением!**

Сверхновые в удалённых галактиках  
были выбраны в качестве  
"стандартных свечек"



Оказалось, что  
яркость  
сверхновой и  
время затухания  
хорошо  
коррелируют  
между собой.

Измерив время  
затухания,  
можно узнать  
яркость, а  
значит, и  
расстояние

Сравнив расстояние и скорость (определенную по красному смещению) увидели - Вселенная расширяется с ускорением

## Состав Вселенной

From CMB + SN1a



## Вопросы вместо Заключения

Что определяет иерархию масс и констант связи?

Зачем нужны 3 поколения夸арков и лептонов?

Каков механизм возникновения массы?

Существует ли Суперсимметрия?

Каковы новые механизмы нарушения симметрии между Материей и Антиматерией?

Почему Материя доминирует во Вселенной над Антиматерией?

Из чего состоит Тёмная Материя?

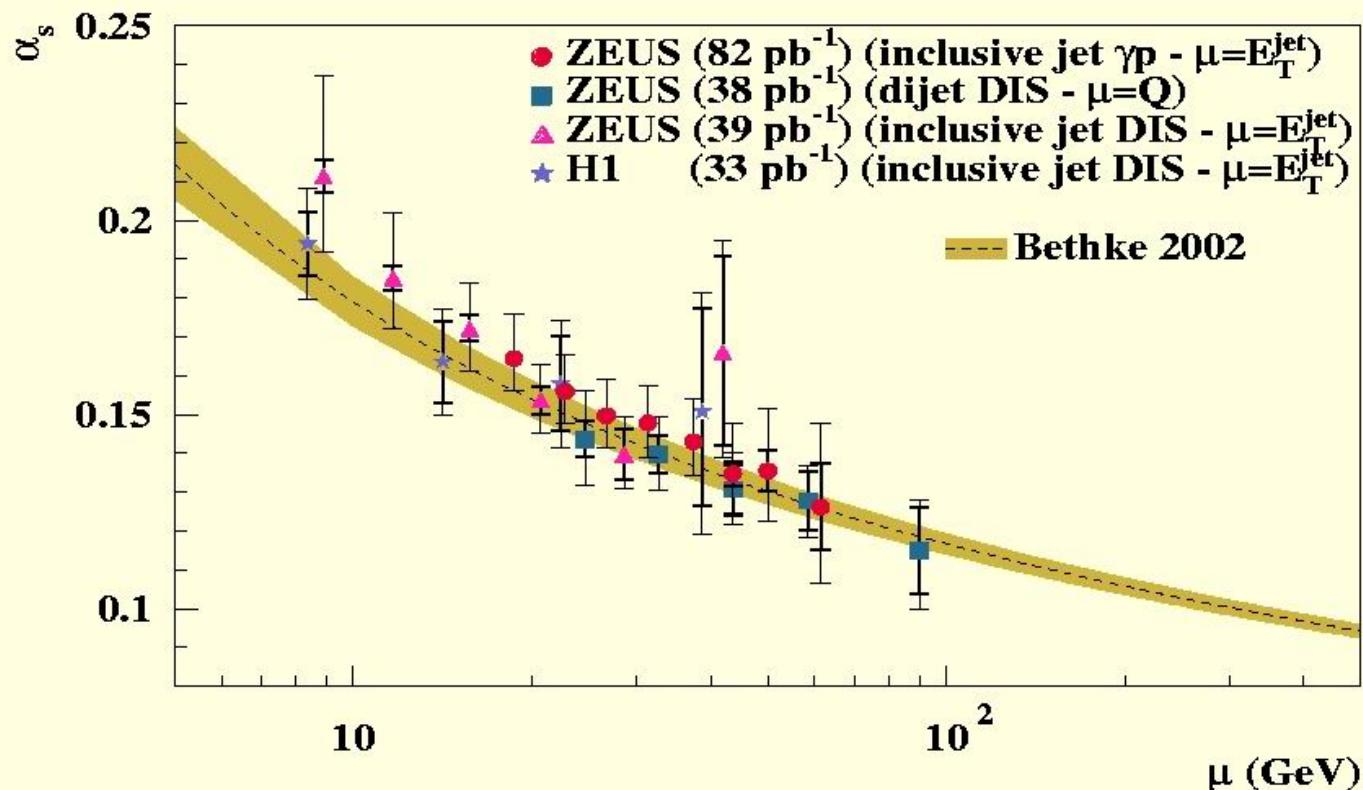
Что такое Тёмная Энергия?

Точечны ли фундаментальные частицы?

Сколько измерений в нашем Пространстве?

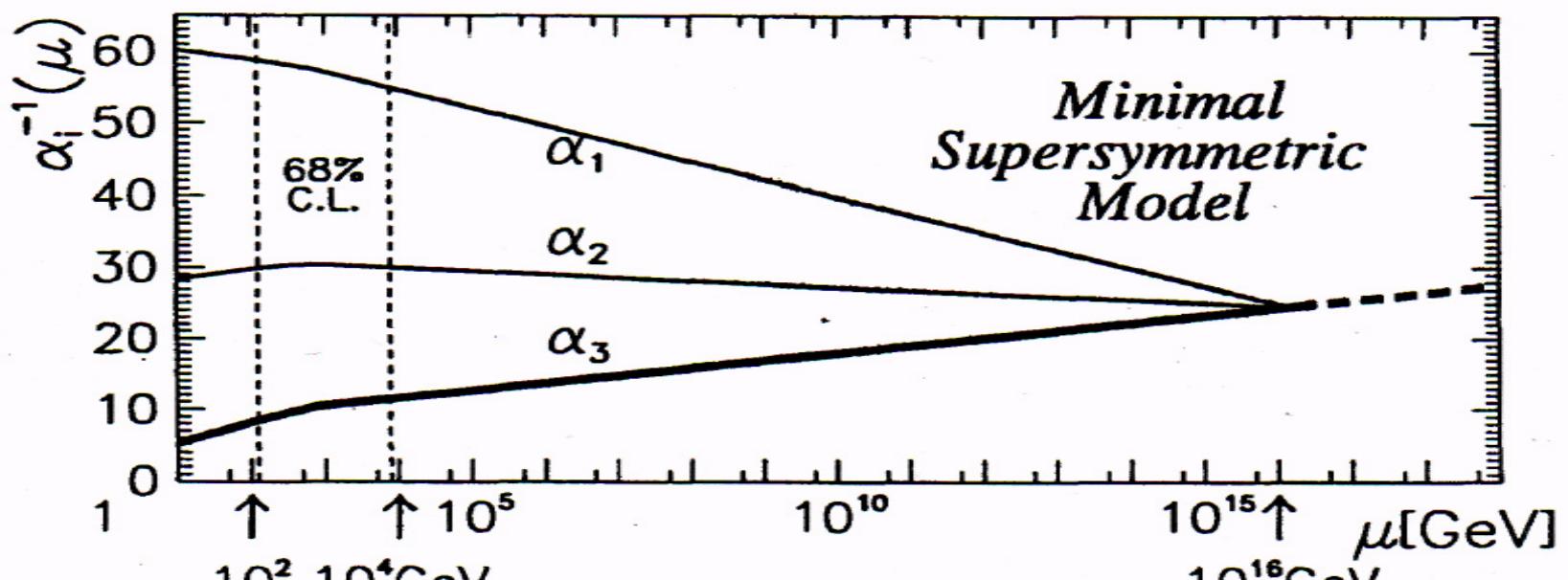
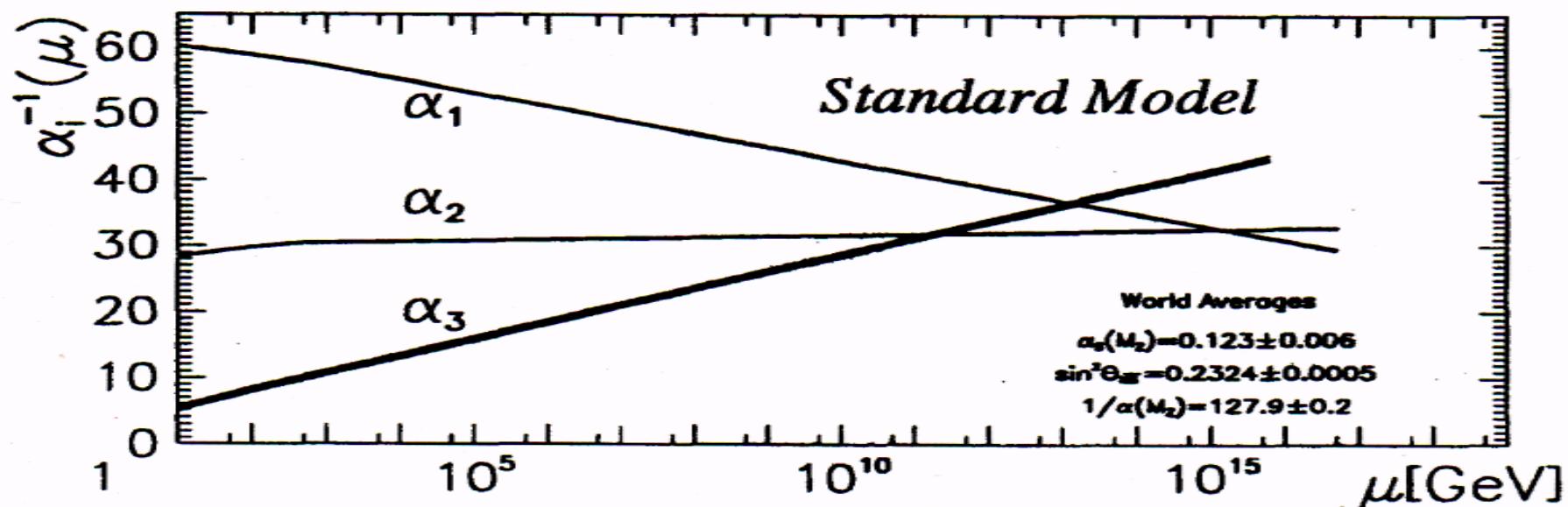
...?

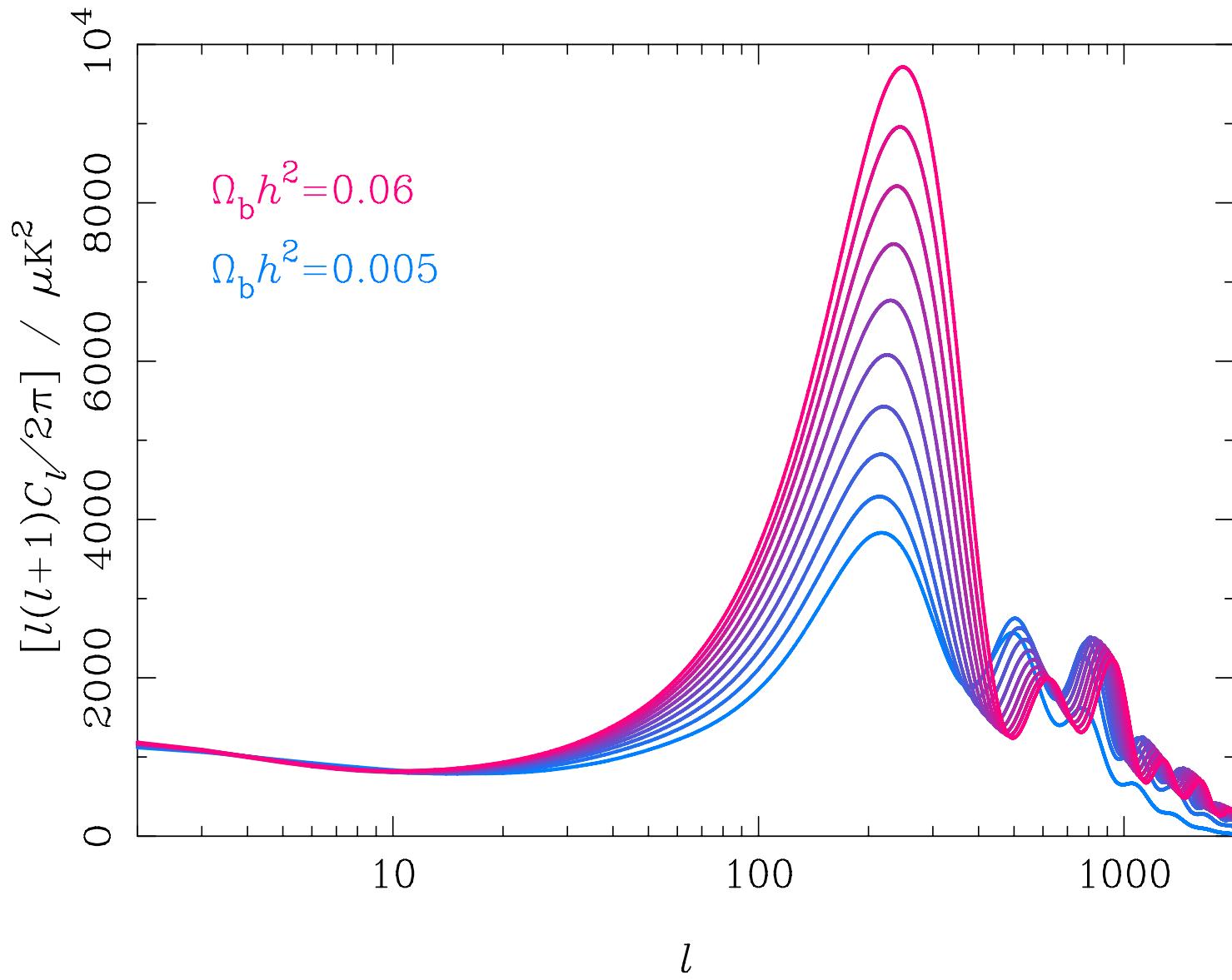
# Strong interaction coupling “constant” becomes weak at large energies



These data were used by Nobel Committee in 2004  
to demonstrate asymptotic freedom

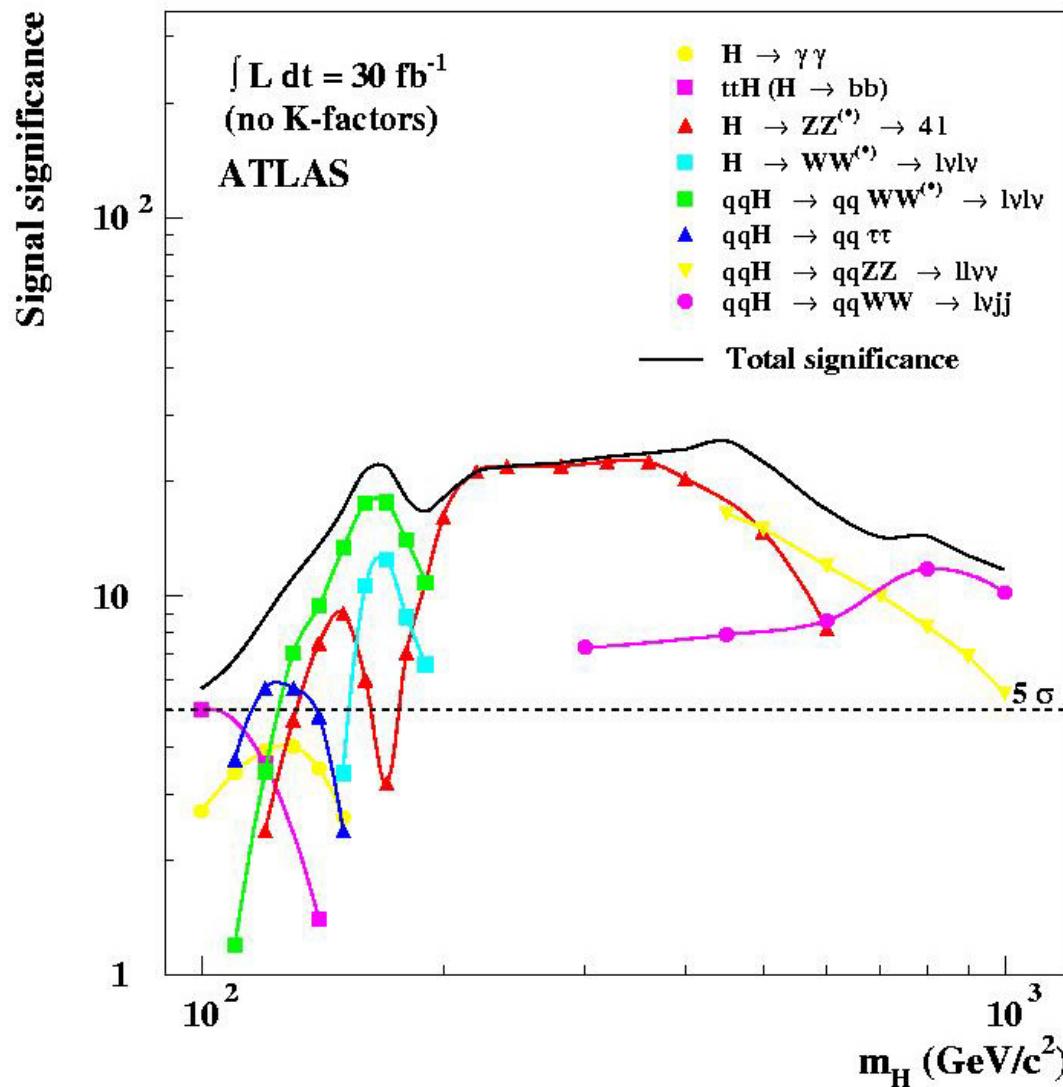
*Unification of the Couplings of the  
Electromagnetic, Weak and Strong Forces*





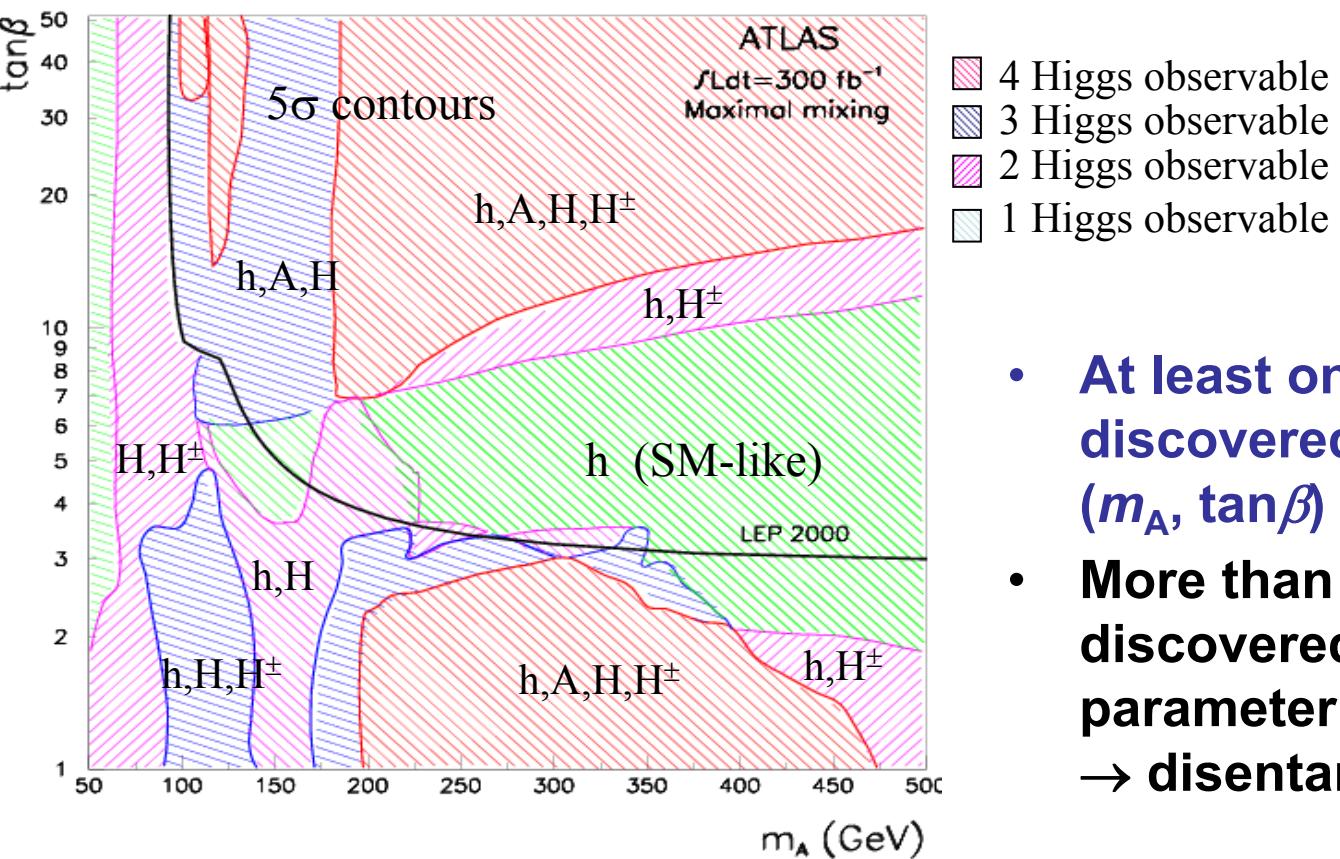
# Significance of Higgs signal

- Simulated data from ATLAS o  
 $L_{\text{int}} = 100 \text{ fb}^{-1}$   
**(1 year of nominal luminosity)**  
Gives  $> 5\sigma$  significance for discovery of the Higgs over full interesting mass range using just those two channels
- Similar results from CMS
- Many more channels are studied  
Altogether they should allow the Higgs boson to be discovered even with lower luminosity

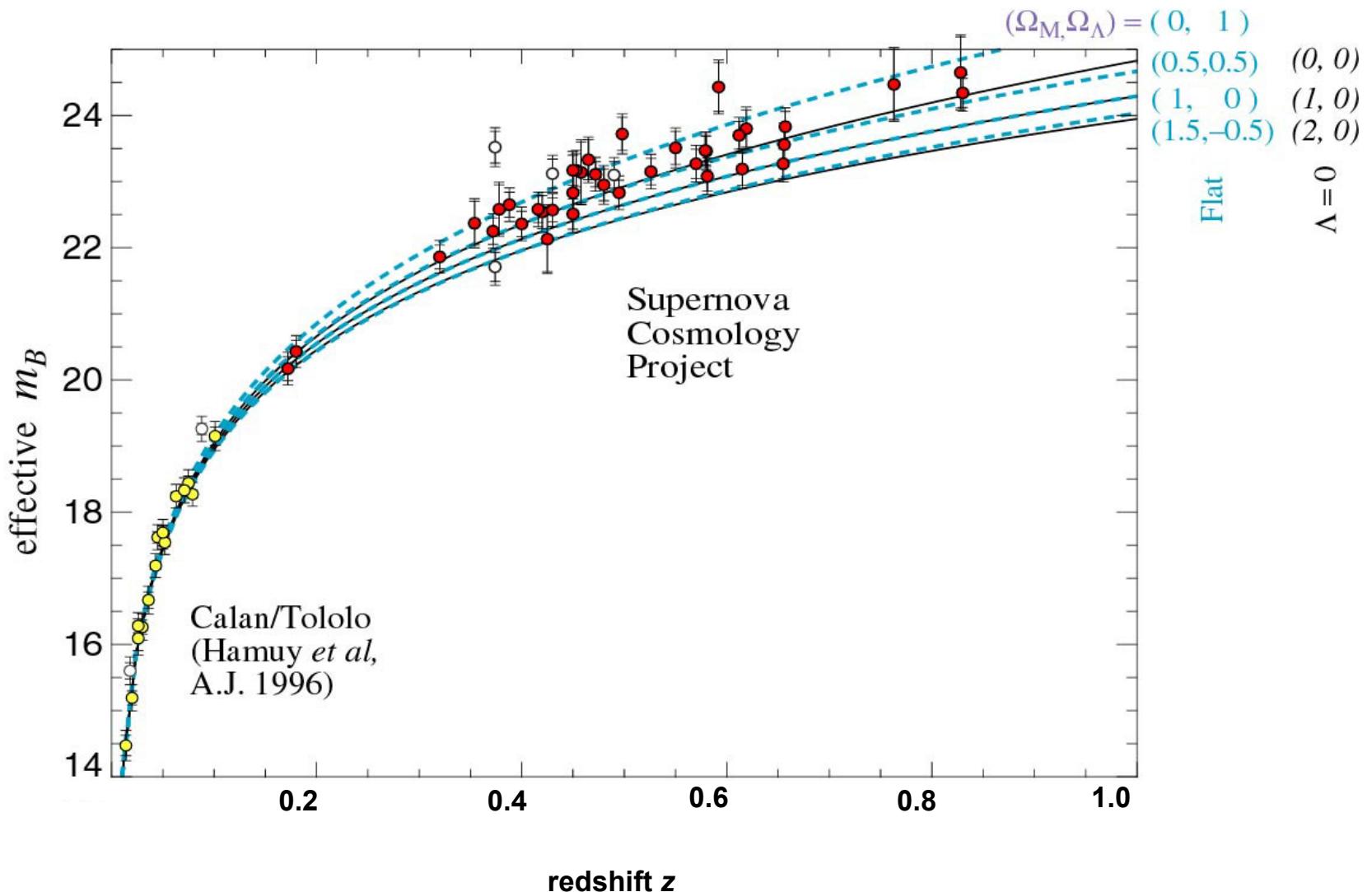


# Supersymmetric Higgs

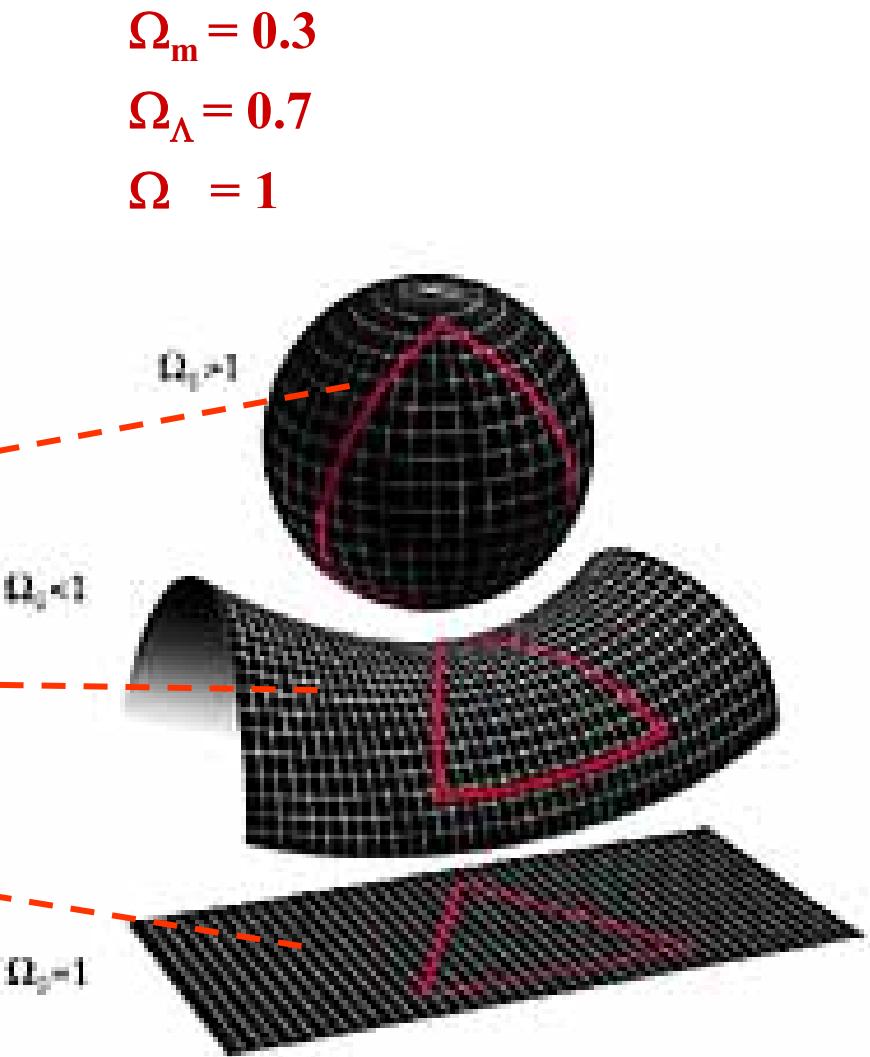
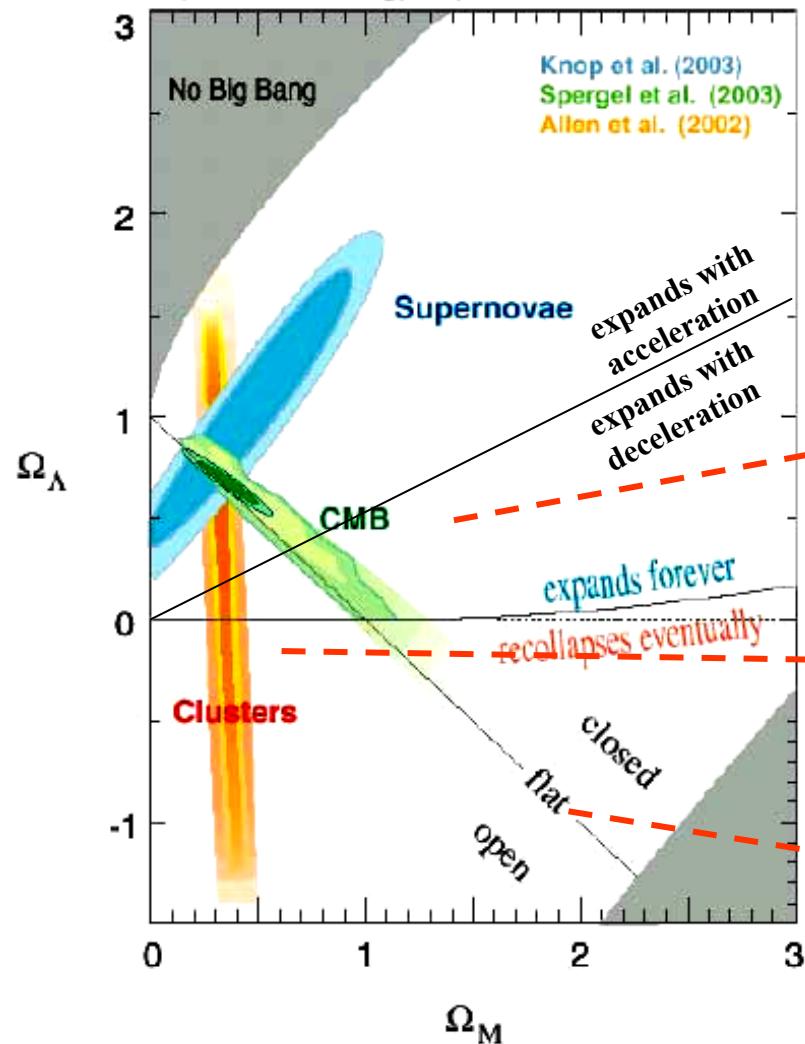
- In Supersymmetry there are *five* Higgs particles:  $h, A, H^0, H^+, H^-$   
Properties are determined by two SUSY parameters:  $m_A, \tan\beta$   
 $\tan\beta = \text{ratio of vacuum expectation values of } h \text{ and } H^0$
- At least one of the Higgs bosons is light:  $m_h < 135 \text{ GeV}$



# Отклонение от закона Хаббла

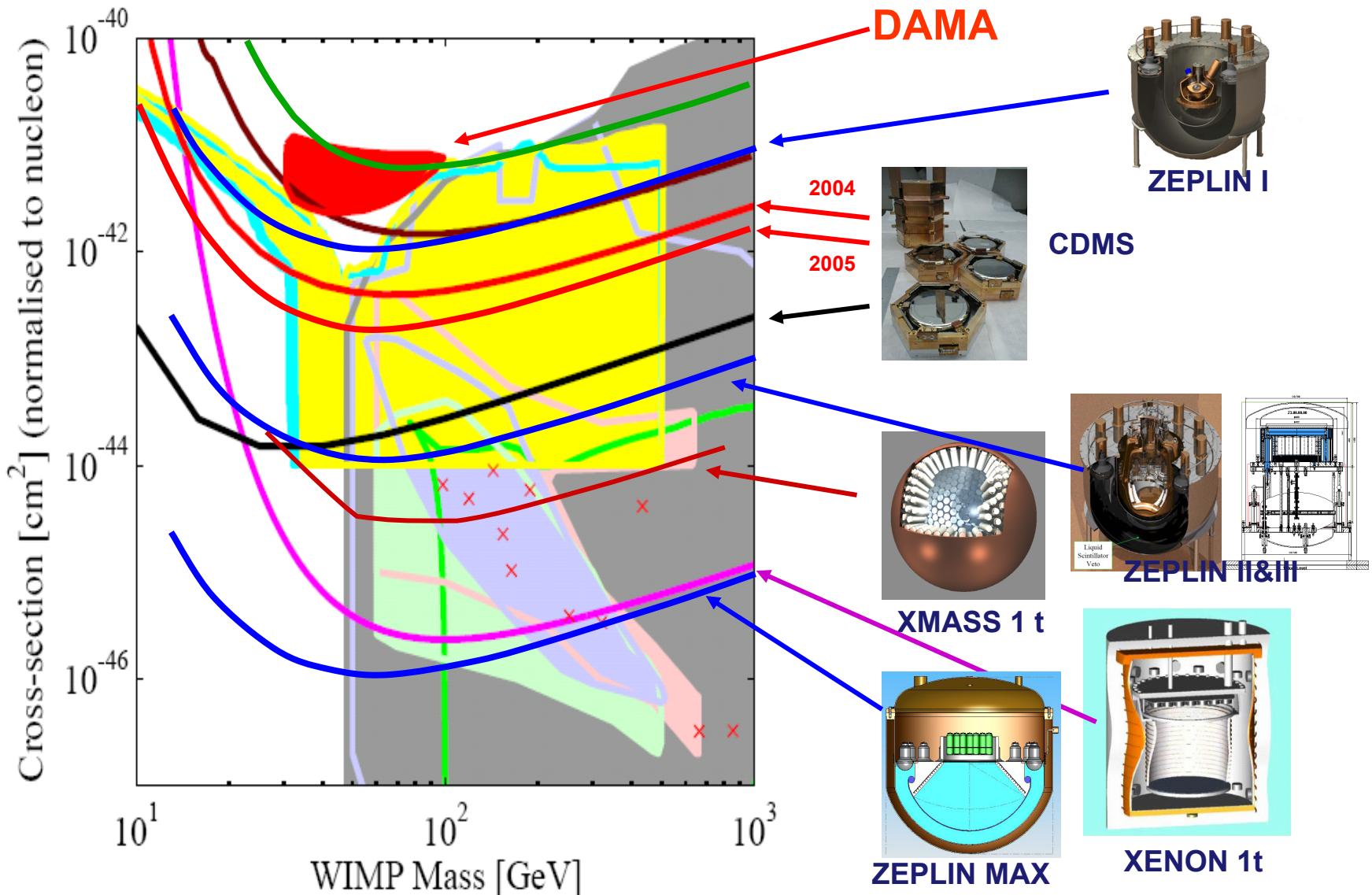


Supernova Cosmology Project



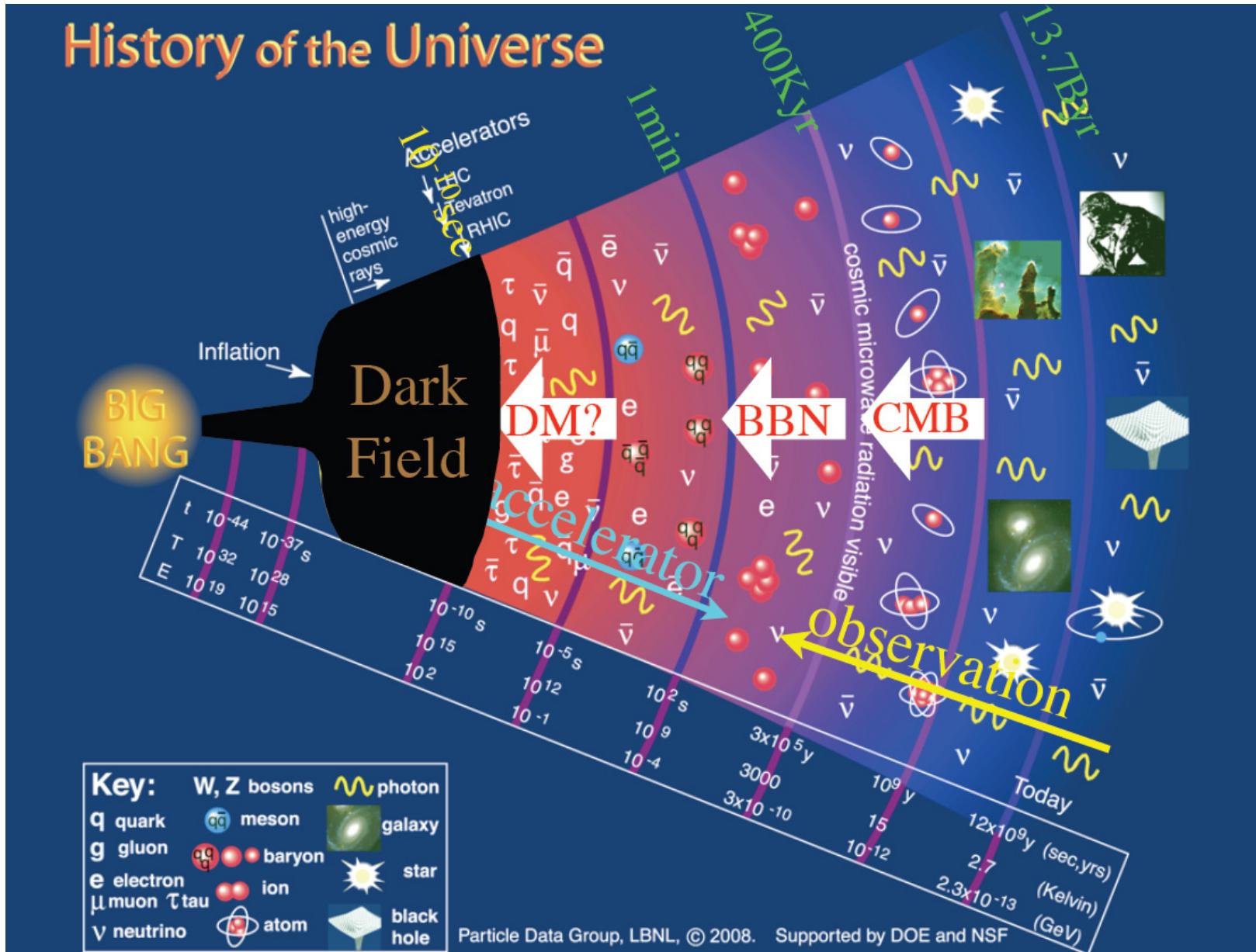
# Области исключения параметров $\sigma$ и $M_{\text{W}}$

(полученные к настоящему времени и проектируемые)



Нужны детекторы с массой около тонны

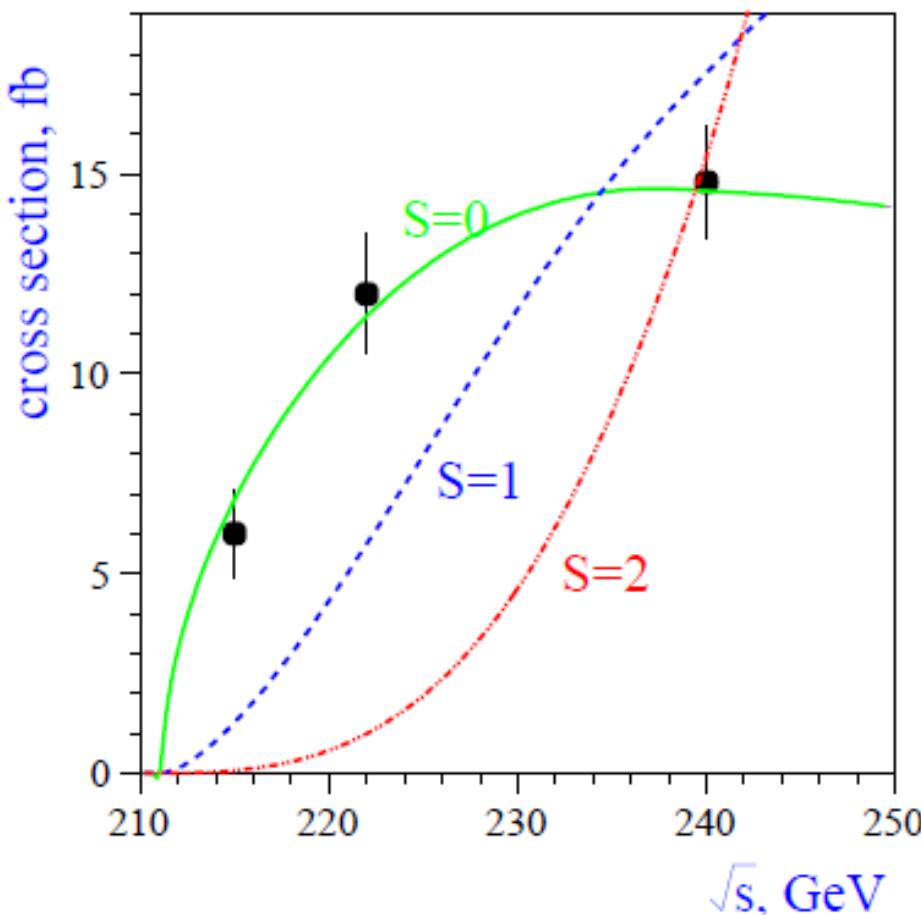
# History of the Universe



## Measurement of the H quantum numbers

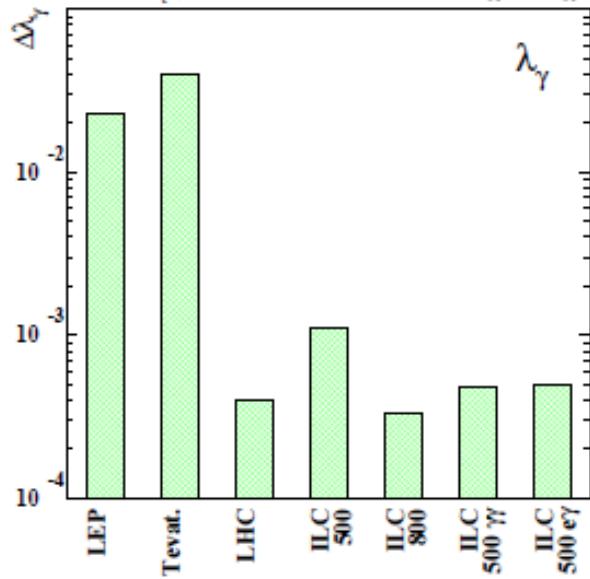
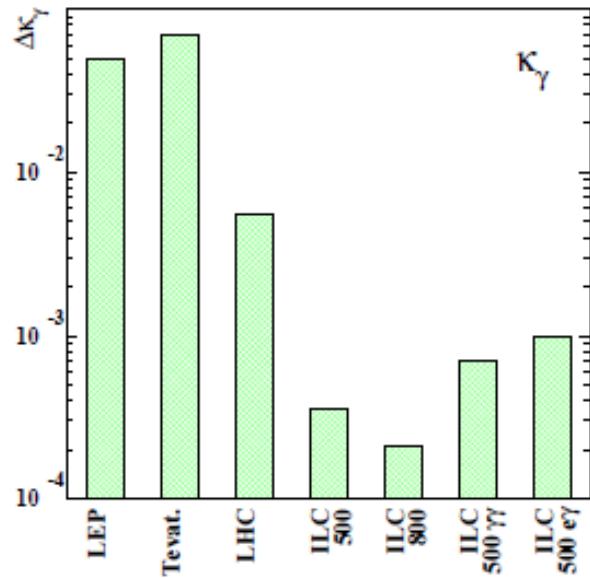
After the H has been discovered it has to be proven that its quantum numbers are really  $0^+$

At the LC this can be done with a threshold scan of  $e^+e^- \rightarrow ZH$ :



- Large sensitivity to the different states
- The few remaining ambiguities can be resolved from angular dependences and the observation of  $H \rightarrow \gamma\gamma$

## Gauge boson anomalous couplings



- LC much better than LHC for  $\kappa$ , somewhat better for  $\lambda$
- If new physics scale is high, effects are expected in  $\kappa$  because of lower dimension  
➡ big advantage for LC
- If new physics scale is low, both couplings can show effects and LHC probes at higher scales where new physics might be visible directly  
➡ advantage for LHC
- If some effect is found somewhere it is definitely invaluable to have complementary information