



# **ФИЗИКА НА БОЛЬШОМ АДРОННОМ КОЛЛАЙДЕРЕ**

**В.Т. Ким**

**Петербургский Институт Ядерной Физики РАН, Гатчина**

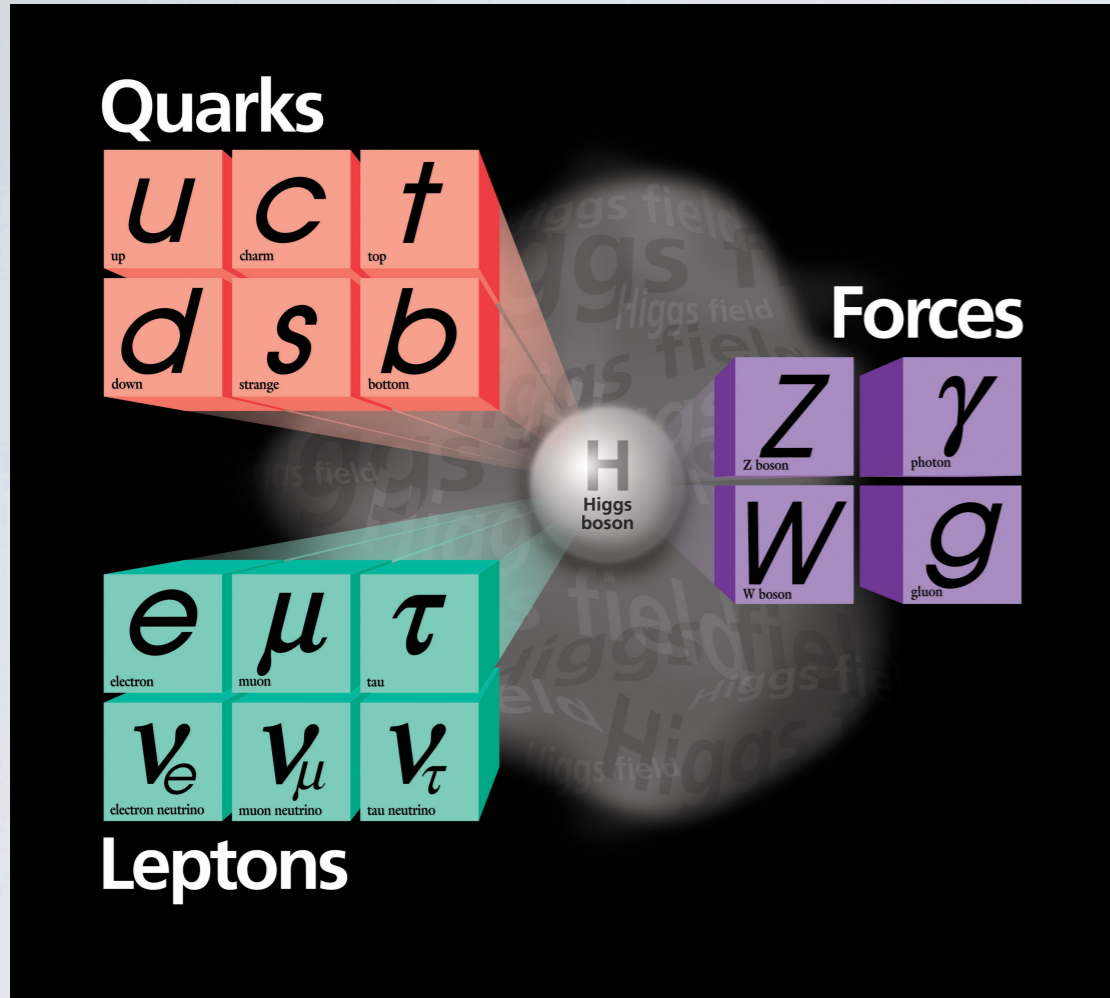


# ПЛАН ЛЕКЦИИ



## Проверка Стандартной Модели Поиски бозона Хиггса За пределами Стандартной Модели





## e.g. LEP and SM

Quantity	Value	Standard Model	Pull
$m_t$ [GeV]	$172.7 \pm 2.9 \pm 0.6$	$172.7 \pm 2.8$	0.0
$M_W$ [GeV]	$80.450 \pm 0.058$	$80.376 \pm 0.017$	1.3
	$80.392 \pm 0.039$		0.4
$M_Z$ [GeV]	$91.1876 \pm 0.0021$	$91.1874 \pm 0.0021$	0.1
$\Gamma_Z$ [GeV]	$2.4952 \pm 0.0023$	$2.4968 \pm 0.0011$	-0.7
$\Gamma(\text{had})$ [GeV]	$1.7444 \pm 0.0020$	$1.7434 \pm 0.0010$	—
$\Gamma(\text{inv})$ [MeV]	$499.0 \pm 1.5$	$501.65 \pm 0.11$	—
$\Gamma(\ell^+\ell^-)$ [MeV]	$83.984 \pm 0.086$	$83.996 \pm 0.021$	—
$\sigma_{\text{had}}$ [nb]	$41.541 \pm 0.037$	$41.467 \pm 0.009$	2.0
$R_e$	$20.804 \pm 0.050$	$20.756 \pm 0.011$	1.0
$R_\mu$	$20.785 \pm 0.033$	$20.756 \pm 0.011$	0.9
$R_\tau$	$20.764 \pm 0.045$	$20.801 \pm 0.011$	-0.8
$R_b$	$0.21629 \pm 0.00066$	$0.21578 \pm 0.00010$	0.8
$R_c$	$0.1721 \pm 0.0030$	$0.17230 \pm 0.00004$	-0.1
$A_{FB}^{(0,e)}$	$0.0145 \pm 0.0025$	$0.01622 \pm 0.00025$	-0.7
$A_{FB}^{(0,\mu)}$	$0.0169 \pm 0.0013$		0.5
$A_{FB}^{(0,\tau)}$	$0.0188 \pm 0.0017$		1.5
$A_{FB}^{(0,b)}$	$0.0992 \pm 0.0016$	$0.1031 \pm 0.0008$	-2.4
$A_{FB}^{(0,c)}$	$0.0707 \pm 0.0035$	$0.0737 \pm 0.0006$	-0.8
$A_{FB}^{(0,s)}$	$0.0976 \pm 0.0114$	$0.1032 \pm 0.0008$	-0.5
$\bar{s}_\ell^2(A_{FB}^{(0,q)})$	$0.2324 \pm 0.0012$	$0.23152 \pm 0.00014$	0.7
	$0.2238 \pm 0.0050$		-1.5
$A_e$	$0.15138 \pm 0.00216$	$0.1471 \pm 0.0011$	2.0
	$0.1544 \pm 0.0060$		1.2
	$0.1498 \pm 0.0049$		0.6
$A_\mu$	$0.142 \pm 0.015$		-0.3
$A_\tau$	$0.136 \pm 0.015$		-0.7
	$0.1439 \pm 0.0043$		-0.7
$A_b$	$0.923 \pm 0.020$	$0.9347 \pm 0.0001$	-0.6
$A_c$	$0.670 \pm 0.027$	$0.6678 \pm 0.0005$	0.1
$A_s$	$0.895 \pm 0.091$	$0.9356 \pm 0.0001$	-0.4
$g_L^2$	$0.30005 \pm 0.00137$	$0.30378 \pm 0.00021$	-2.7
$g_R^2$	$0.03076 \pm 0.00110$	$0.03006 \pm 0.00003$	0.6
$g_V^{e\ell}$	$-0.040 \pm 0.015$	$-0.0396 \pm 0.0003$	0.0
$g_A^{e\ell}$	$-0.507 \pm 0.014$	$-0.5064 \pm 0.0001$	0.0
$A_{PV}$	$-1.31 \pm 0.17$	$-1.53 \pm 0.02$	1.3
$Q_W(\text{Cs})$	$-72.62 \pm 0.46$	$-73.17 \pm 0.03$	1.2
$Q_W(\text{Tl})$	$-116.6 \pm 3.7$	$-116.78 \pm 0.05$	0.1
$\frac{\Gamma(b \rightarrow s\gamma)}{\Gamma(b \rightarrow Xev)}$	$3.35^{+0.50}_{-0.44} \times 10^{-3}$	$(3.22 \pm 0.09) \times 10^{-3}$	0.3
$\frac{1}{2}(g_\mu - 2 - \frac{\alpha}{\pi})$	$4511.07 \pm 0.82$	$4509.82 \pm 0.10$	1.5
$\tau_\tau$ [fs]	$290.89 \pm 0.58$	$291.87 \pm 1.76$	-0.4

СМ : замечательная и наиболее проверенная теория



# СТАНДАРТНАЯ МОДЕЛЬ: НЕДОСТАТКИ



где бозон Хиггса?

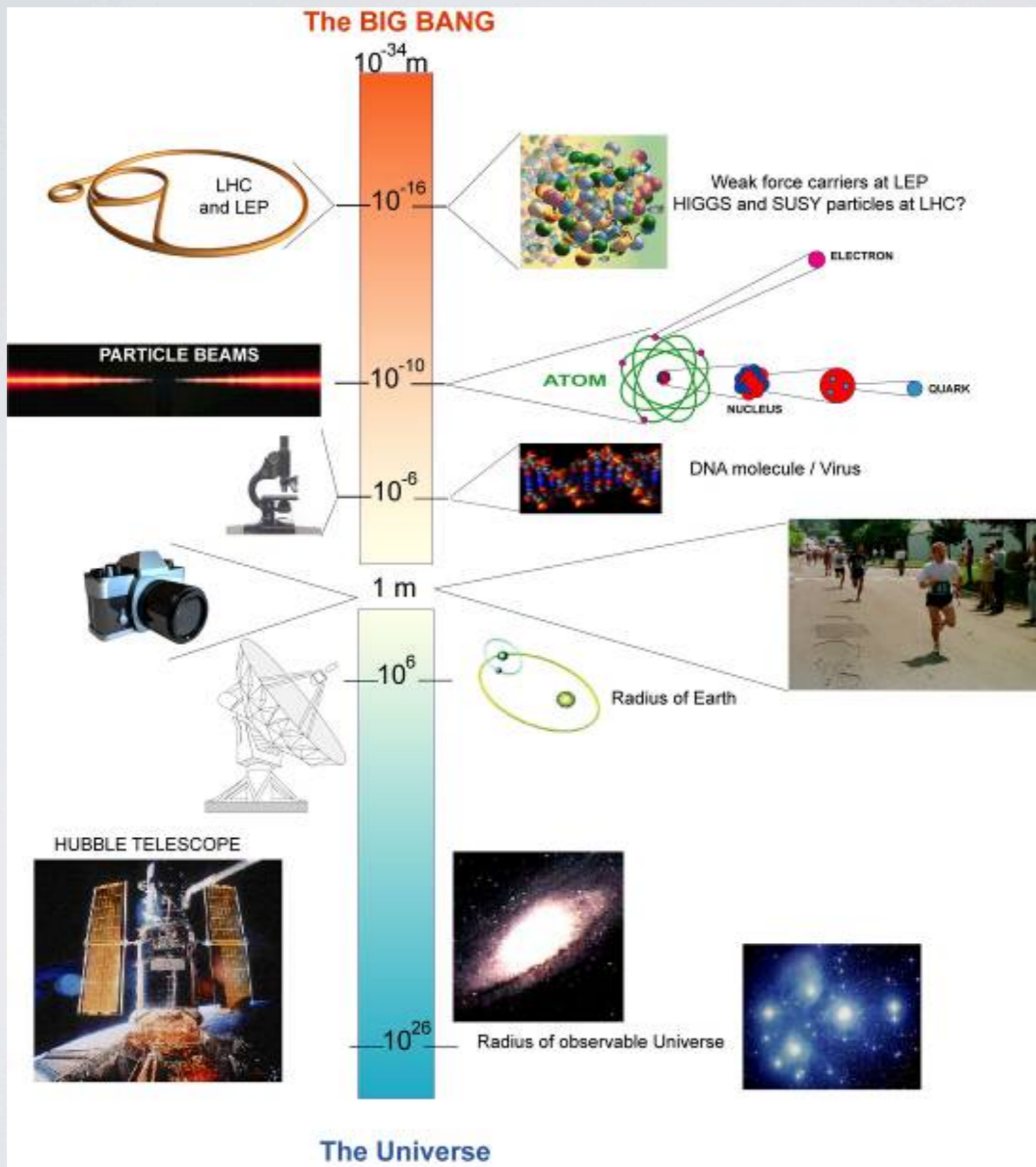
происхождение и иерархия масс?  
природа CP-нарушения?

новые состояния кварк-глюонной материи?

слишком много параметров: более 20

что с гравитацией?







# СОВРЕМЕННЫЕ КОЛЛАЙДЕРЫ



Фермилаб Тэватрон (Чикаго)

pp: 1 ТэВ x 1 ТэВ

$$E^L = 2 \cdot 10^3 \text{ ТэВ}$$

БНЛ RHIC (Нью-Йорк)

AA: 100 ГэВ/нук. x 100 ГэВ/нук.

$$E^L = 20 \text{ ТэВ/нук.}$$

ЦЕРН БАК (Женева)

pp: 3.5 ТэВ x 3.5 ТэВ

7 ТэВ x 7 ТэВ

$$E^L = 2 \cdot 10^4 \text{ ТэВ}$$

$$E^L = 10^5 \text{ ТэВ}$$

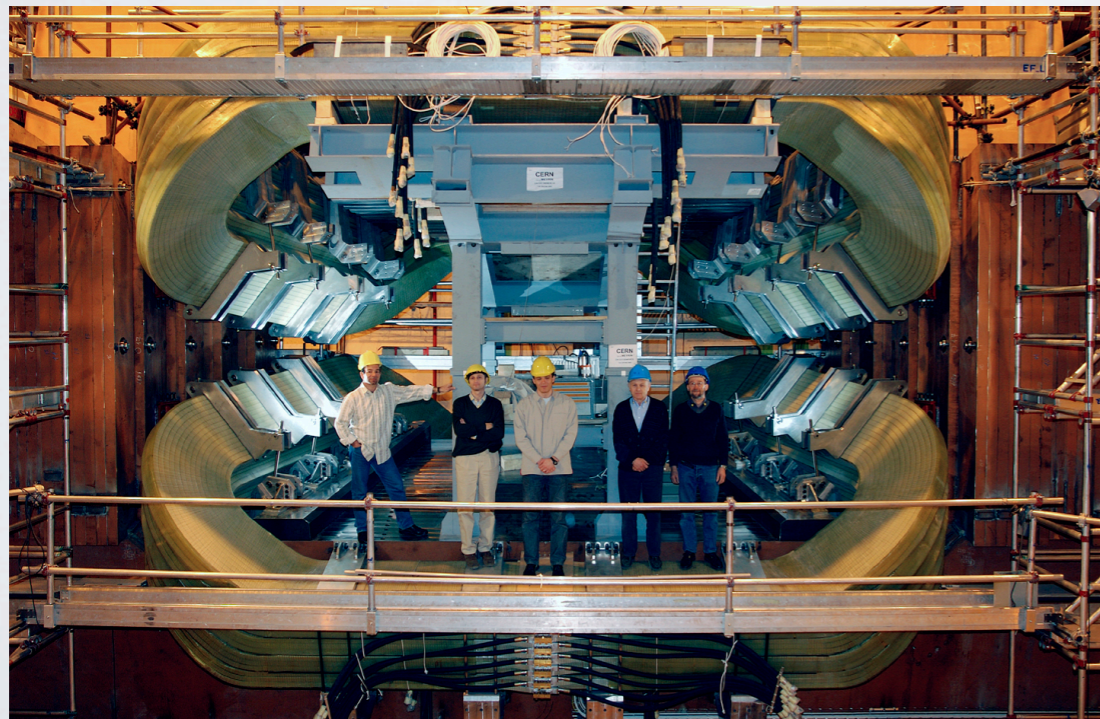
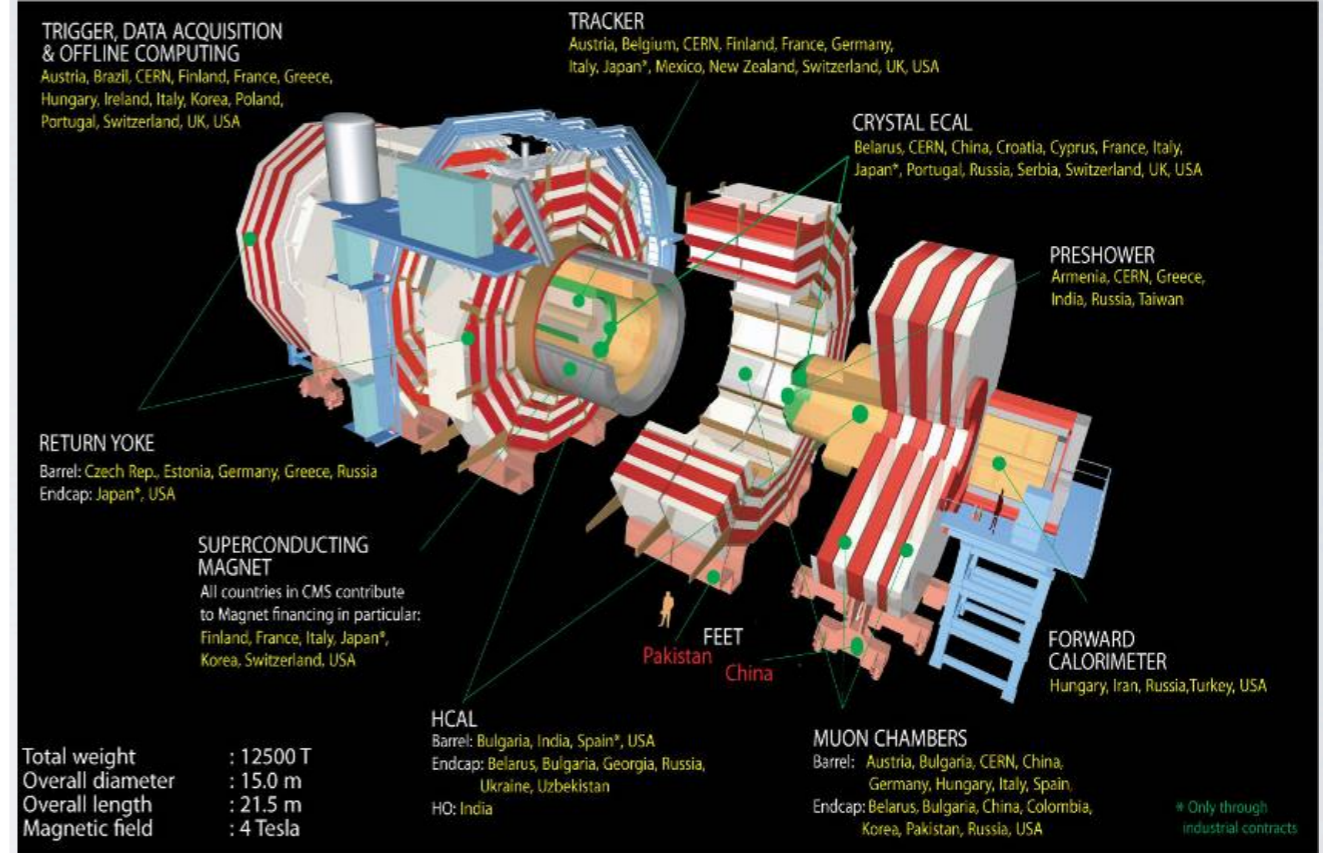
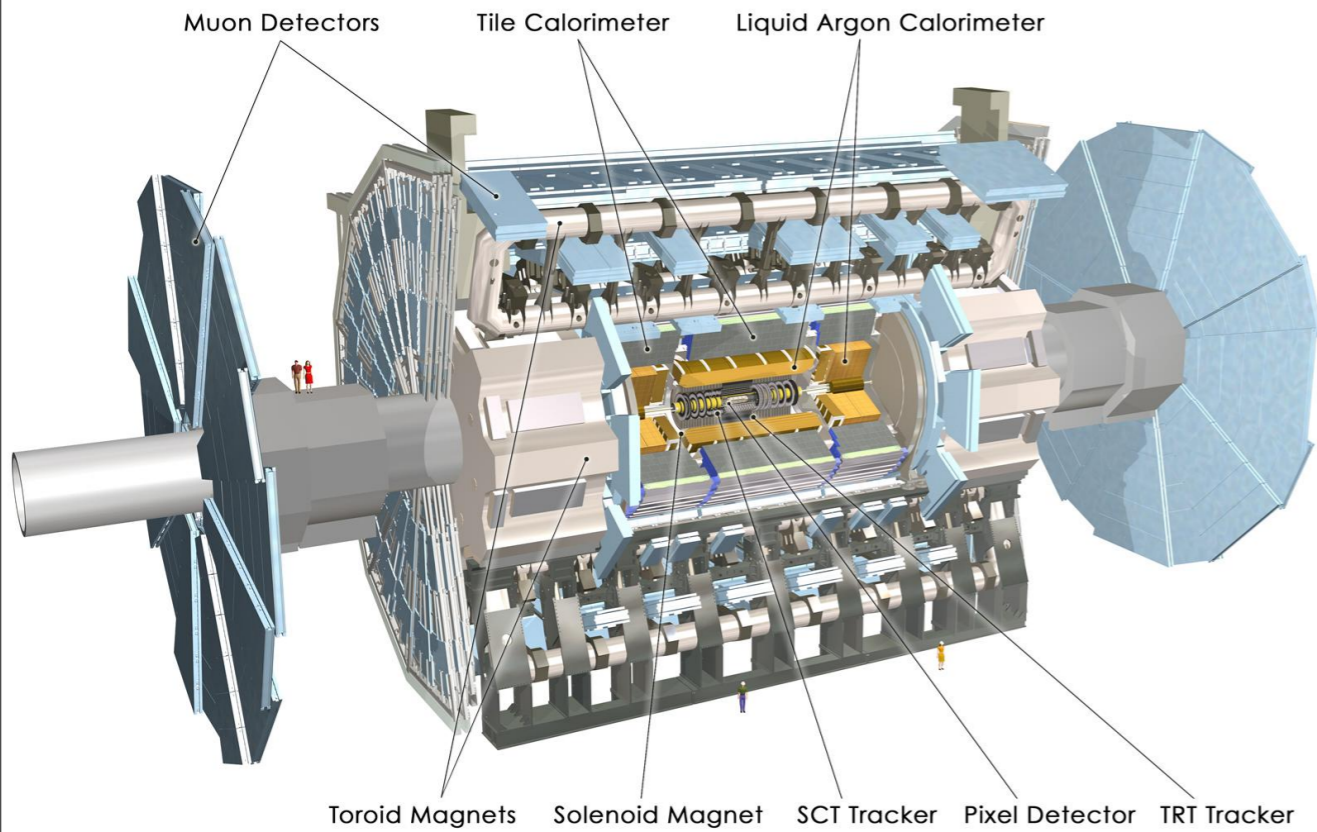
AA: ?



# БОЛЬШОЙ АДРОННЫЙ КОЛЛАЙДЕР

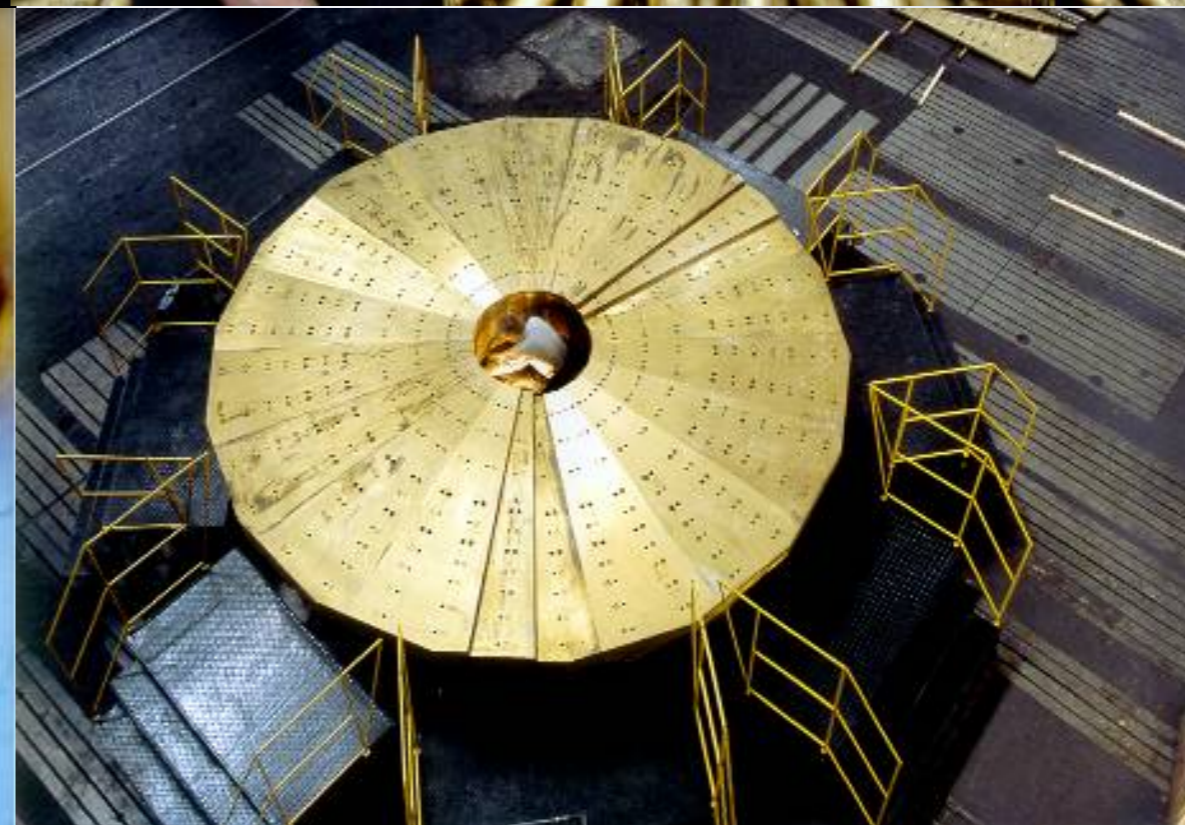






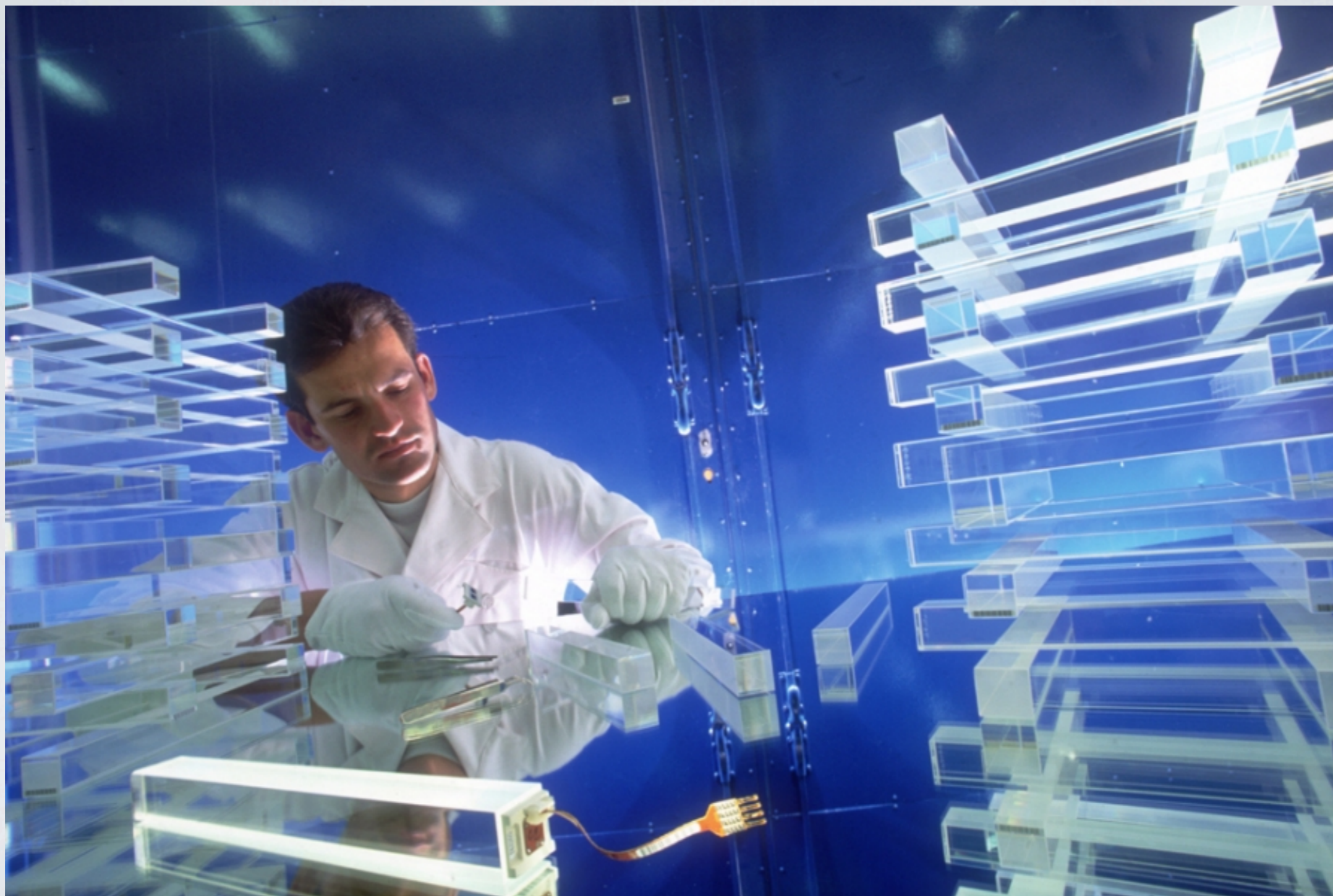


# КОНВЕРСИЯ ВПК ДЛЯ БАК: SMS





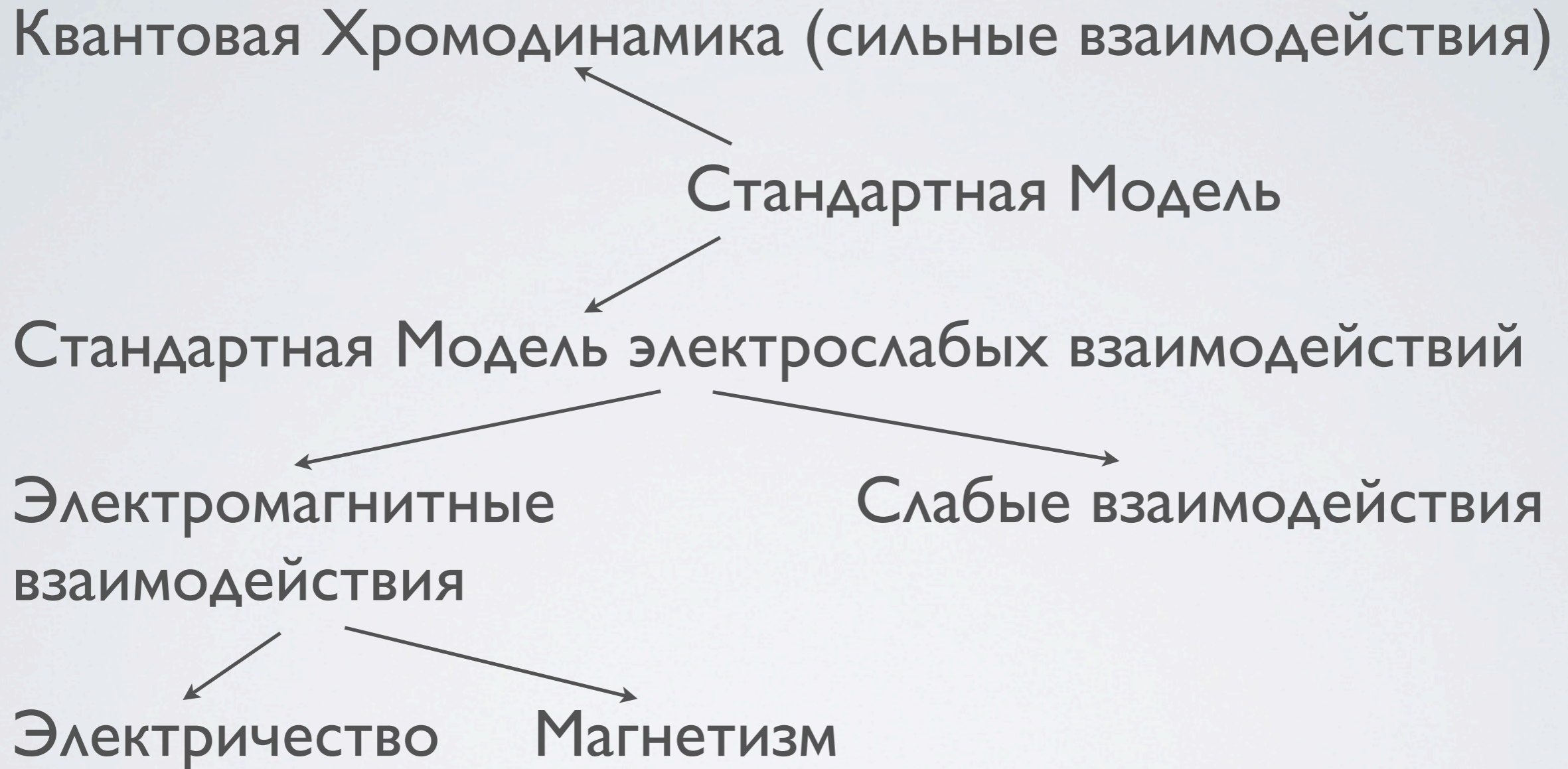
# КОНВЕРСИЯ ВПК ДЛЯ БАК: КРИСТАЛЛЫ ДЛЯ ЕСАЛ CMS



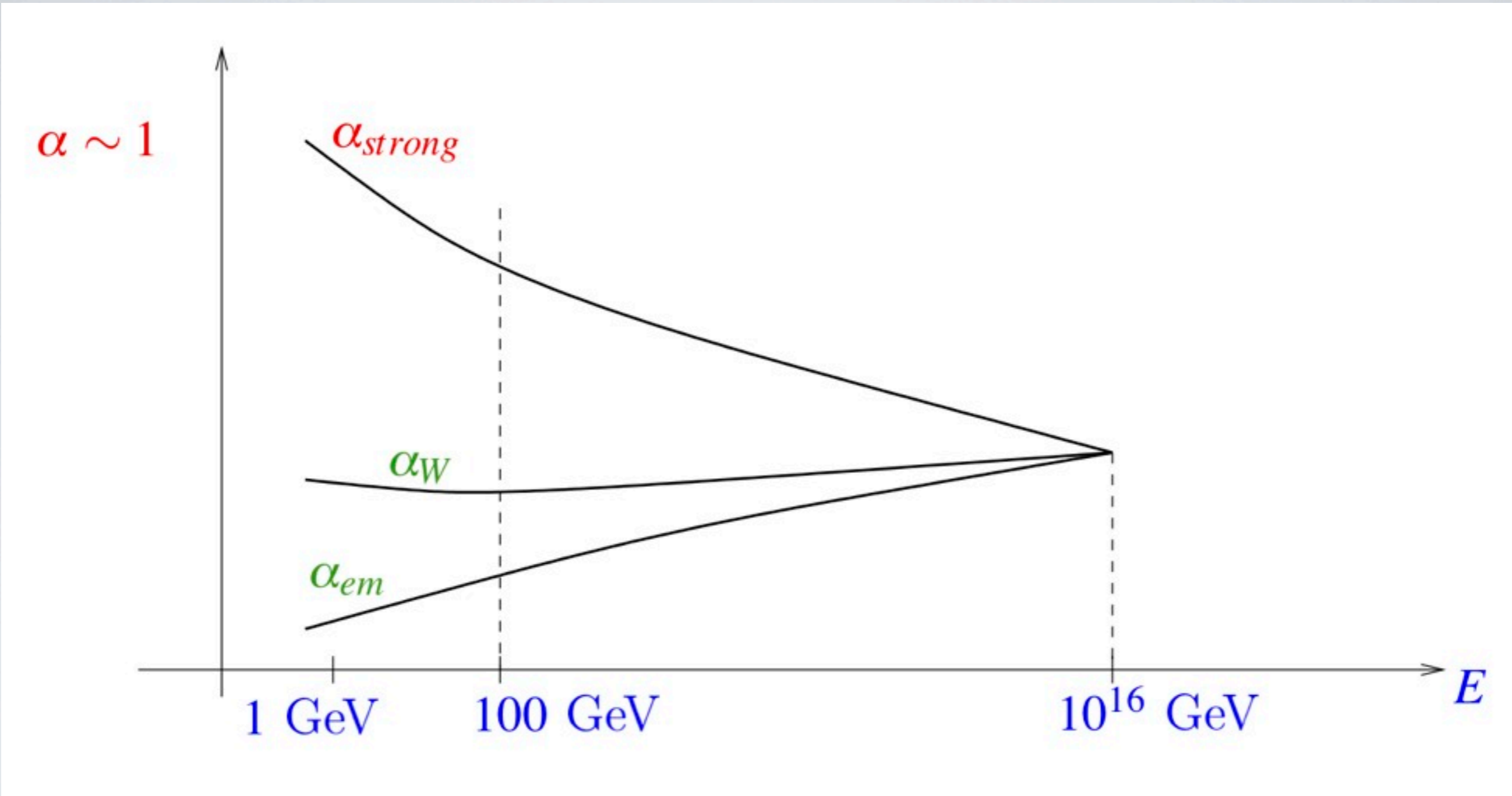




# СТАНДАРТНАЯ МОДЕЛЬ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ



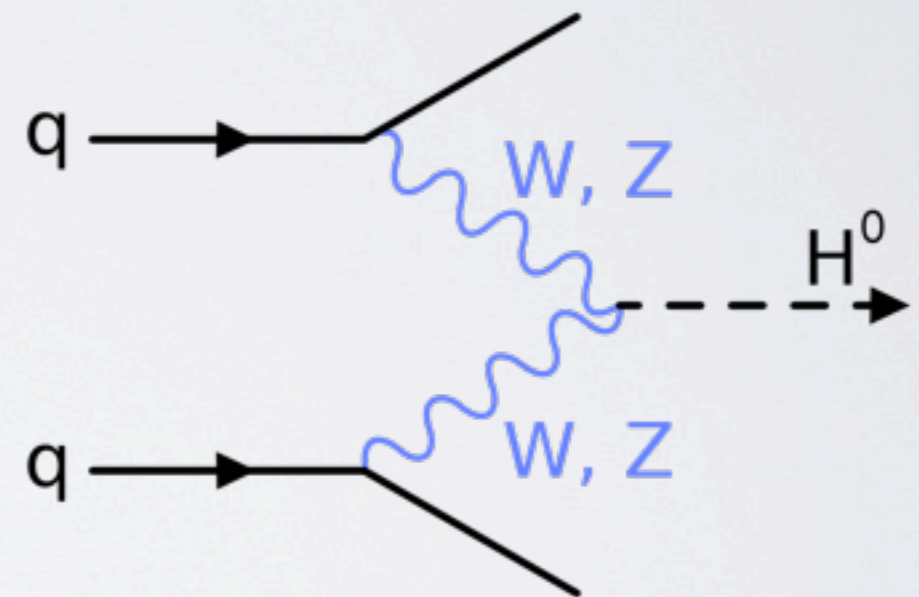
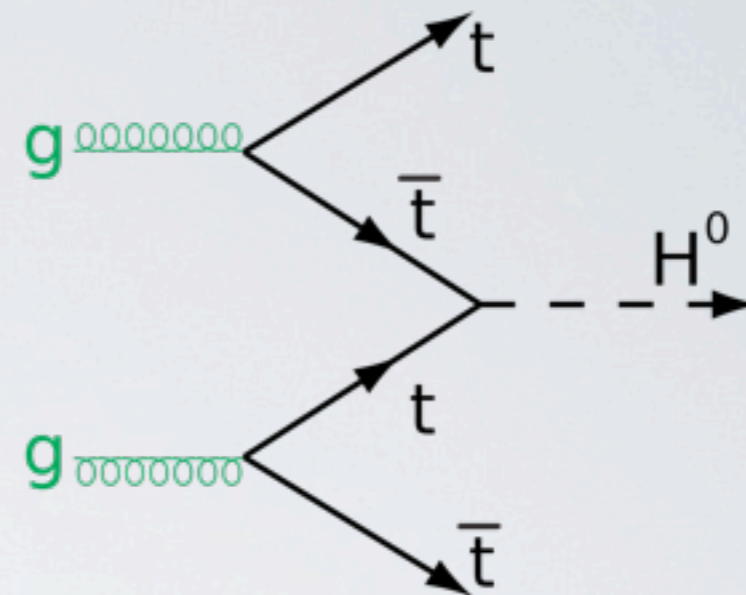






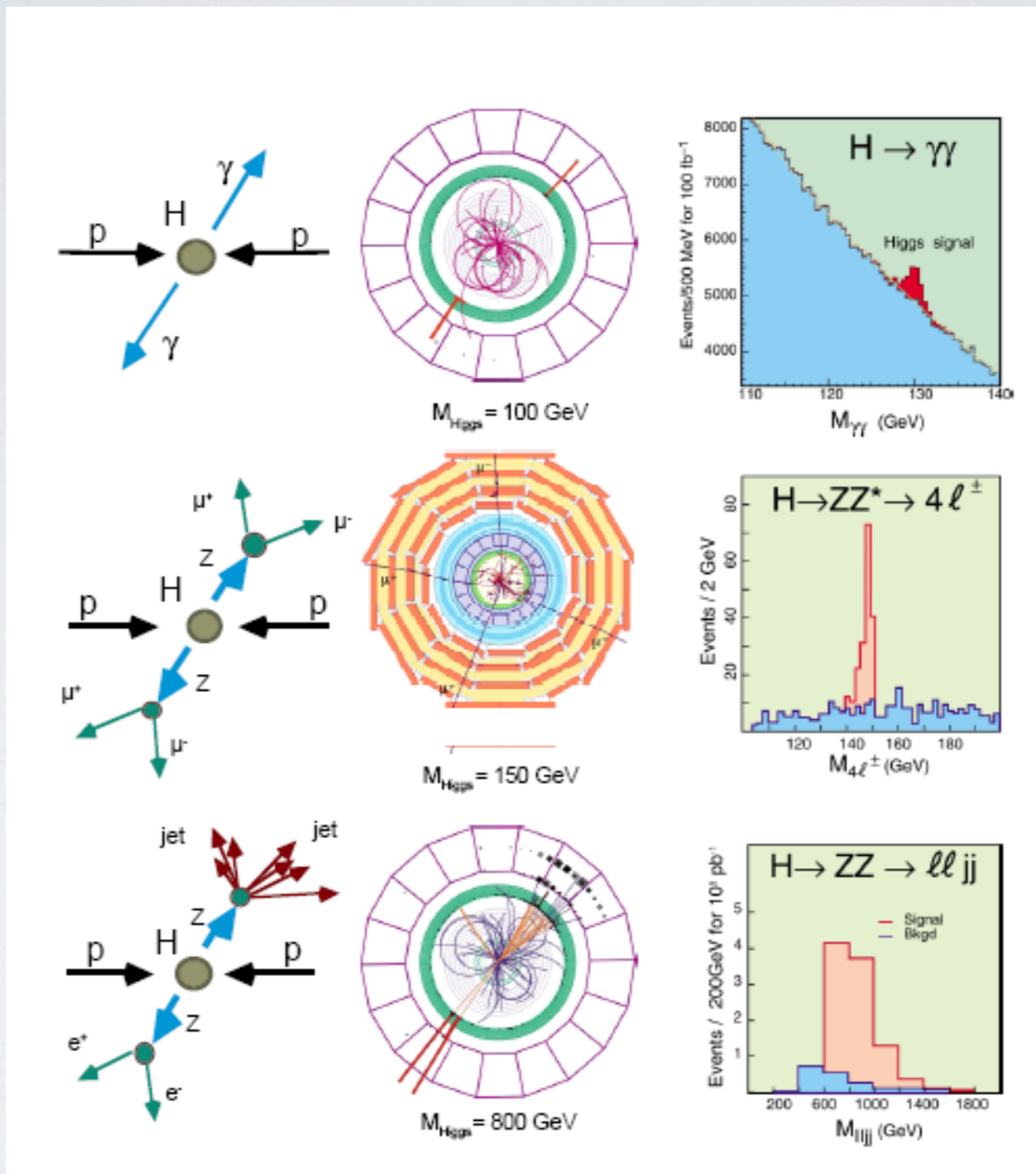
Вычисление сечений  
взаимодействий частиц:

$$\text{сечение} = |\text{амплитуда процесса}|^2$$

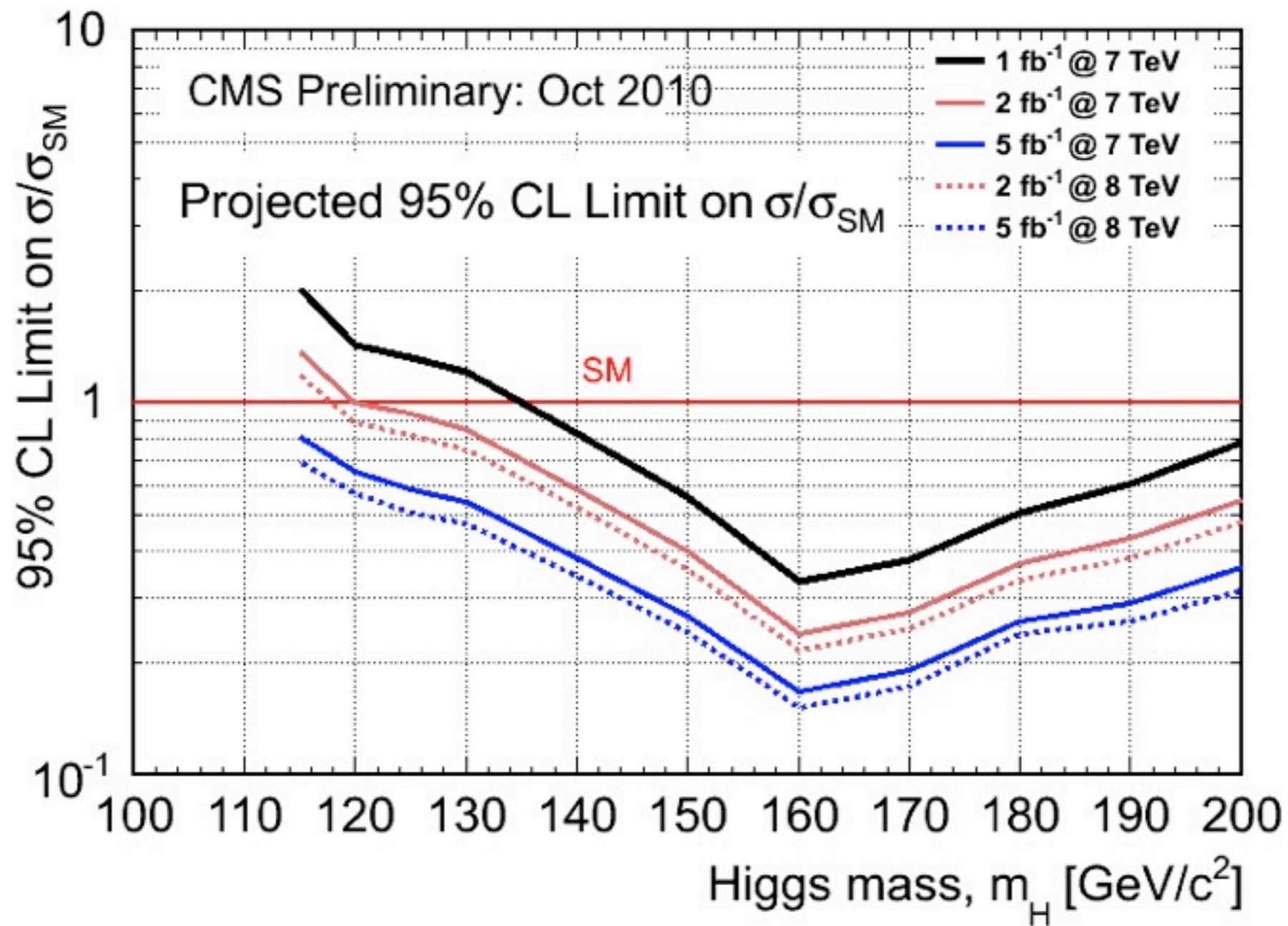


Амплитуды вероятностей процесса  $\Leftrightarrow$  диаграммы Фейнмана

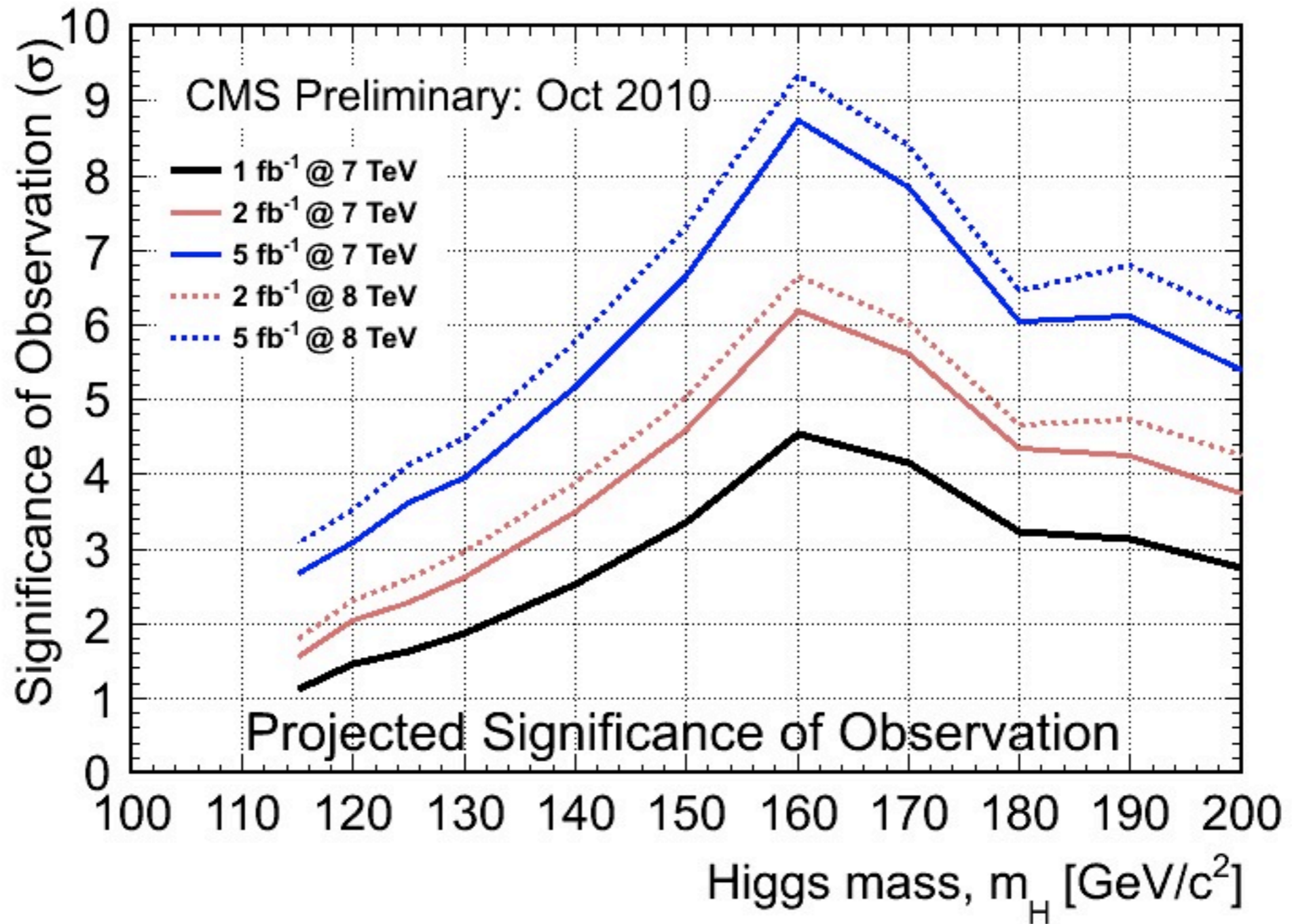










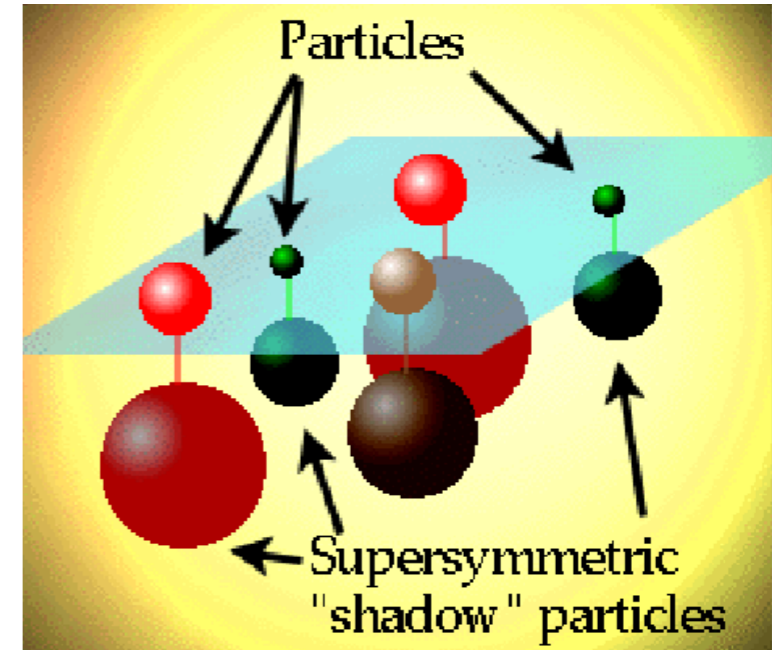




SUSY (симметрия бозон-фермион)

$Q|boson\rangle = |fermion\rangle$

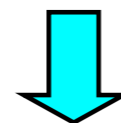
$Q|fermion\rangle = |boson\rangle$



Новые частицы - суперпартнеры частиц Стандартной модели



Одна из возможных реализаций -  
Minimal Supersymmetric Standard Model (MSSM)



Хиггсы MSSM ( $h$ ,  $H$  - нейтральный скаляр,  $A$  - neutral псевдоскаляр,  $H^\pm$  - заряженный скаляр) + суперпартнеры бозонов Хиггса



## “Зоопарк” частиц MSSM

Суперполя	Бозоны	Фермионы	$SU_C(3)$	$SU_L(2)$	$U_Y(1)$
<b>Gauge</b> $G^a$ $V^K$ $V^{\square}$	gluon: $g^a, a=1,2,3$ weak: $W^K (W^{\square}, Z)$ hypercharge: $B(\square)$	gluino: $\tilde{g}^a$ wino, zino: $\tilde{w}^K (\tilde{w}^{\pm}, \tilde{z})$ bino: $\tilde{b} (\tilde{\gamma})$	8 1 1	0 3 1	0 0 0
<b>Matter</b> $L_i$ $\square_i$	<b>sleptons</b> $\begin{cases} \tilde{L}_i = (\tilde{\nu}, \tilde{e})_L \\ \tilde{\epsilon}_i = \tilde{e}_R \end{cases}$	<b>leptons</b> $\begin{cases} L_i = (\nu, e)_L \\ \epsilon_i = e_R \end{cases}$	1 1	2 1	-1 2
<b>Matter</b> $Q_i$ $U_i$ $D_i$	<b>squarks</b> $\begin{cases} \tilde{Q}_i = (\tilde{u}, \tilde{d})_L \\ \tilde{U}_i = \tilde{u}_R \\ \tilde{D}_i = \tilde{d}_R \end{cases}$	<b>quarks</b> $\begin{cases} Q_i = (u, d)_L \\ U_i = u_R^c \\ D_i = d_R^c \end{cases}$	3 3* 3*	2 1 1	1/3 -4/3 2/3
<b>Higgs</b> $H_1$ $H_2$	two higgs doublets $H_1$ $H_2$	<b>higgsions</b> $\begin{cases} \tilde{H}_1 \\ \tilde{H}_2 \end{cases}$	1 1	2 2	-1 1



## Возможные массы частиц в MSSM

SUSY masses, GeV		
	low $\tan \beta$ (1.71)	high $\tan \beta$ (35)
$h$	95	119
$H$	1344	565
$A$	1340	565
$H^\pm$	1344	571
$\tilde{\chi}_1^0(\tilde{b}), \tilde{\chi}_2^0(\tilde{w}^3)$	214,413	170,322
$\tilde{\chi}_3^0(\tilde{H}_1), \tilde{\chi}_4^0(\tilde{H}_2)$	1028,1016	481,498
$\tilde{\chi}_1^\pm(\tilde{w}^\pm), \tilde{\chi}_2^\pm(\tilde{H}^\pm)$	413,1026	322,499
$\tilde{g}$	1155	950
$\tilde{e}_L, \tilde{e}_R$	303,270	663,621
$\tilde{\nu}_L$	290	658
$\tilde{t}_1, \tilde{t}_2$	279,403	537,634
$\tilde{q}_L, \tilde{q}_R$	1028,936	1040,1010
$\tilde{b}_1, \tilde{b}_2$	953,1010	835,915
$\tilde{t}_1, \tilde{t}_2$	727,1017	735,906

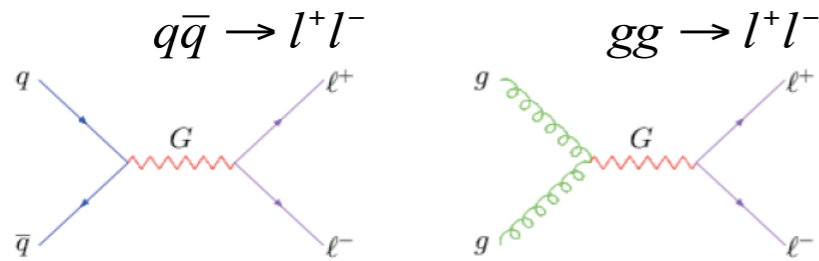
	low $\tan \beta$	high $\tan \beta$
$\tan \beta$	1.71	35
$m_0$	200 GeV	600 GeV
$m_{1/2}$	500 GeV	400 GeV
$\tilde{M}(0)$	1084 GeV	-558
$A(0)$	0	0
$\tilde{M}_{GUT}^{-1}$	24.8	
$M_{GUT}$	$1.6 \times 10^{16}$ GeV	



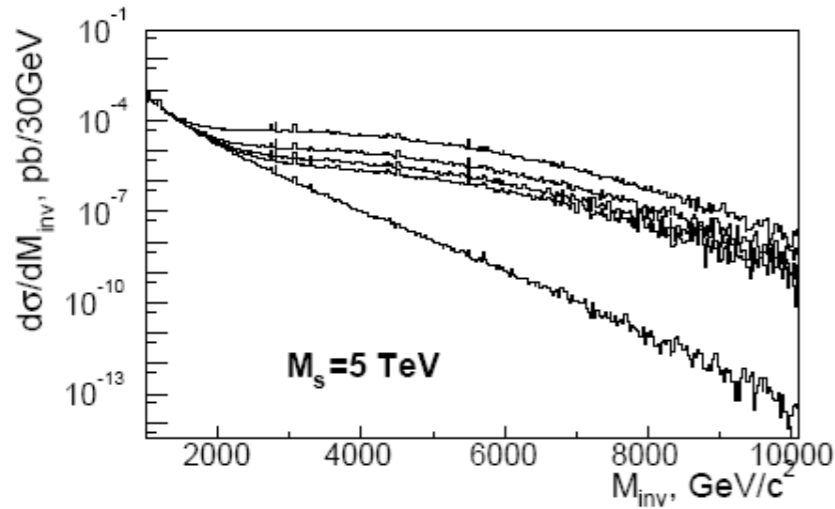
## ADD Model

N. Arkani-Hamed, S. Dimopoulos, G. Dvali  
 Phys.Lett. B429(1998), Nuc.Phys.B544(1999)

Вклад гравитонов в спектр части СМ  
 (виртуальное рождение)

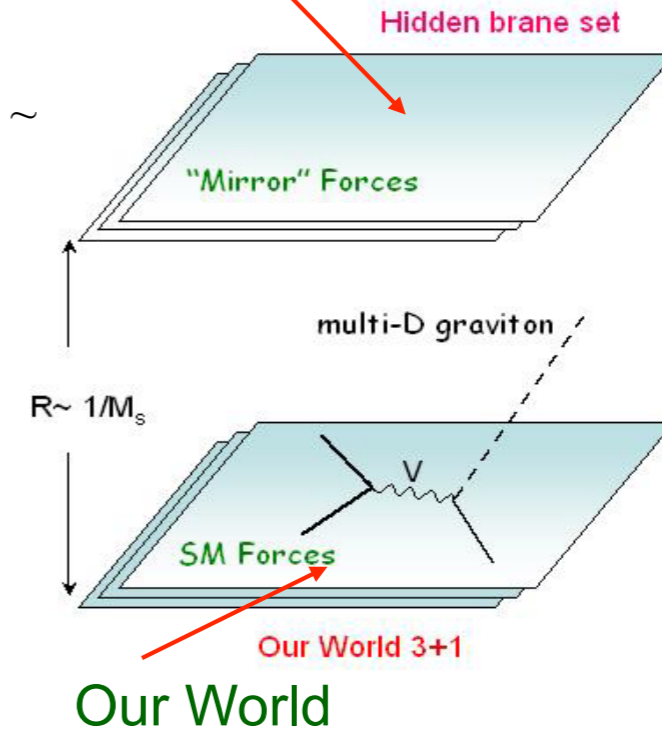


Превышение числа пар лептонов

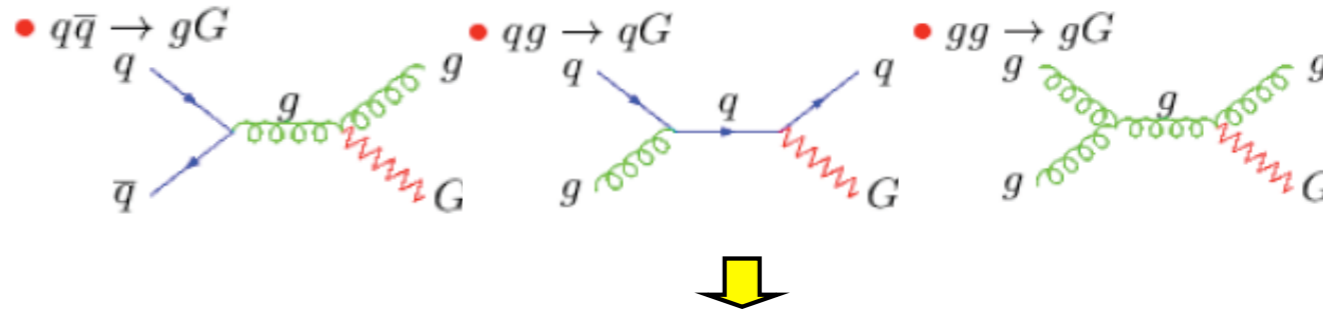


$$R \sim M^{-1} \left( \frac{M_{Pl}}{M} \right)^{2/n} \sim 10^{32/n} \times 10^{-17} \text{ sm}$$

A "Parallel" World



Прямое рождение гравитонов



струя + недостающая E\_T,  
 γ + недостающая E\_T





# УДИВИТЕЛЬНЫЙ МИР ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ



Физика элементарных частиц - мир квантовых объектов и околосветовых скоростей

Ответы на вопрос: Из чего сделан и как устроен мир?





# ПРОДОЛЖЕНИЕ СЛЕДУЕТ ...



“Физика на Большом адронном коллайдере”

Проверка Стандартной Модели

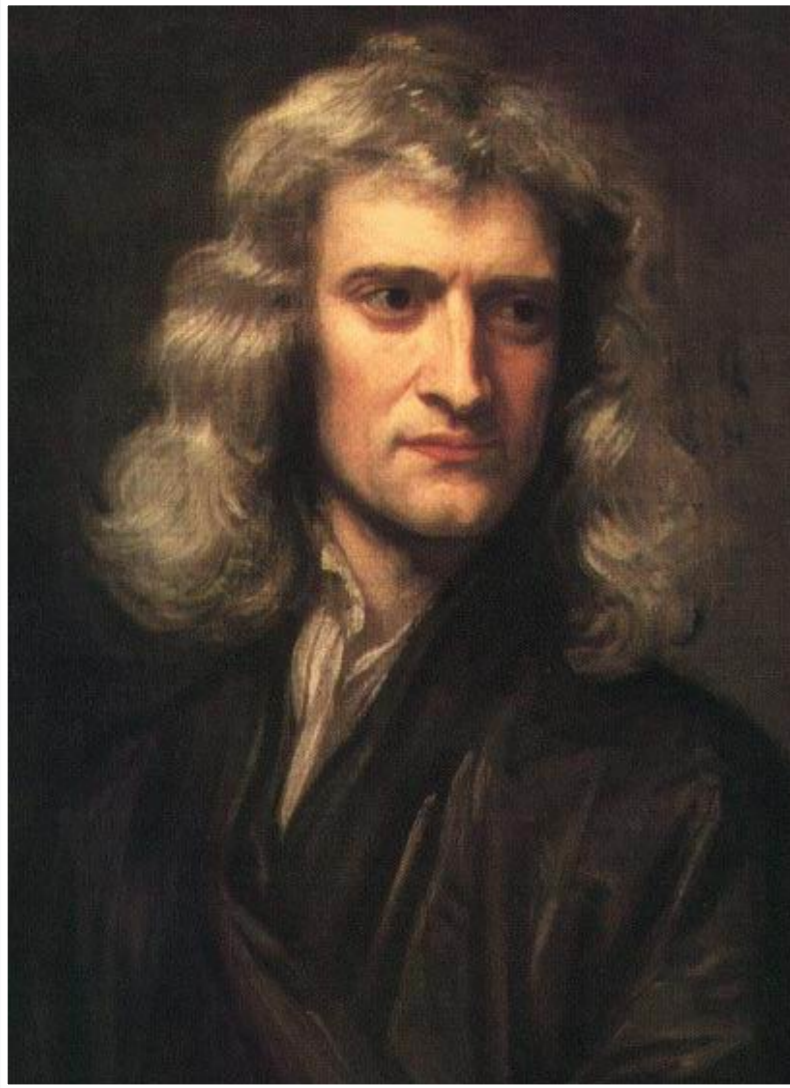
Поиски бозона Хиггса

Поиски новой физики пределами Стандартной Модели  
на БАК: поиски дополнительных размерностей,  
гравитона, черных дыр ...



# ЭПИЛОГ

Сэр Исаак Ньютон



“Для меня на земле нет выше любой почести и отличия, чем быть причастным к научным достижениям”

“Я себе кажусь маленьким мальчиком играющим на берегу с выброшенной красивой галькой или блестящей ракушкой, в то время как океан непознанной истины плещется рядом”