



ФИЗИКА НА БОЛЬШОМ АДРОННОМ КОЛЛАЙДЕРЕ

В.Т. Ким

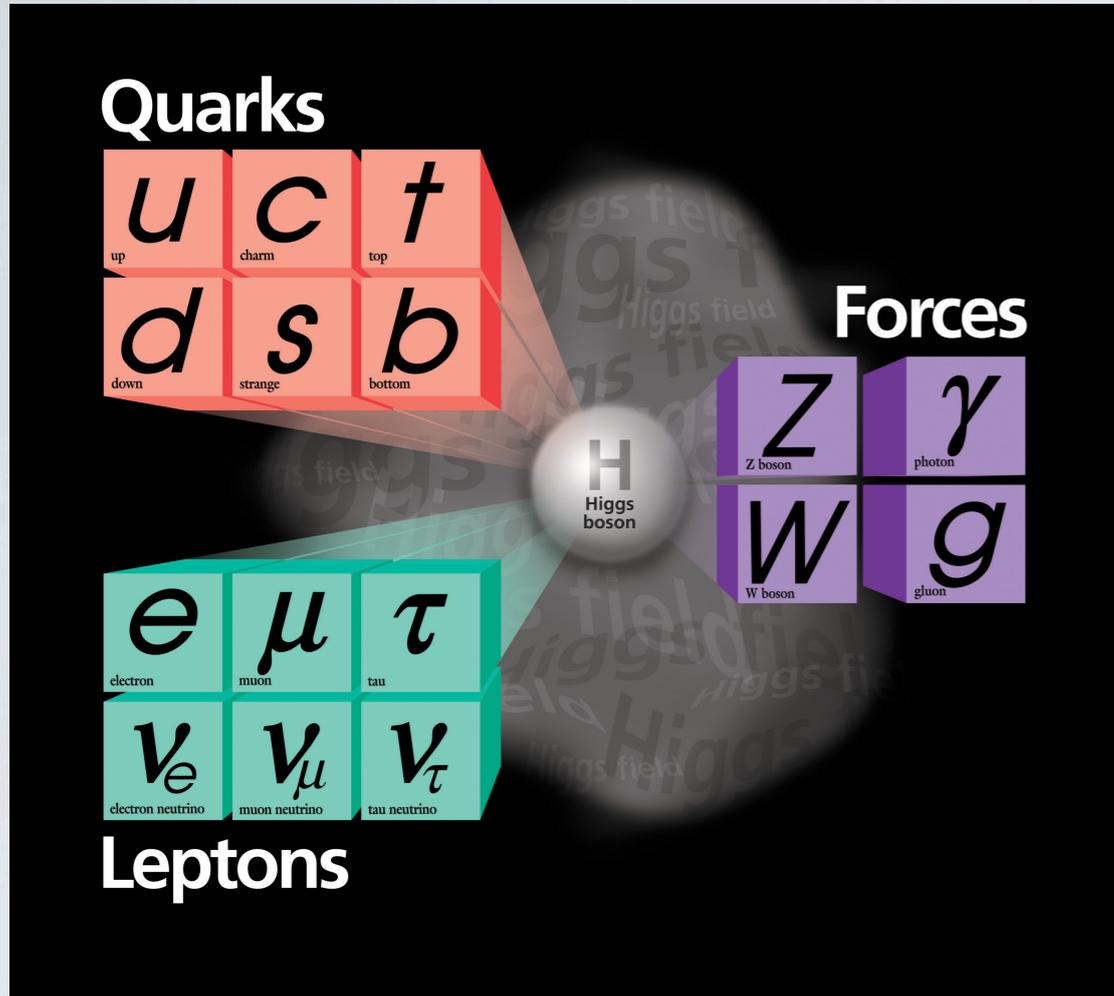
Петербургский Институт Ядерной Физики РАН, Гатчина



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

СМ : замечательная и наиболее проверенная теория



СТАНДАРТНАЯ МОДЕЛЬ: НЕДОСТАТКИ



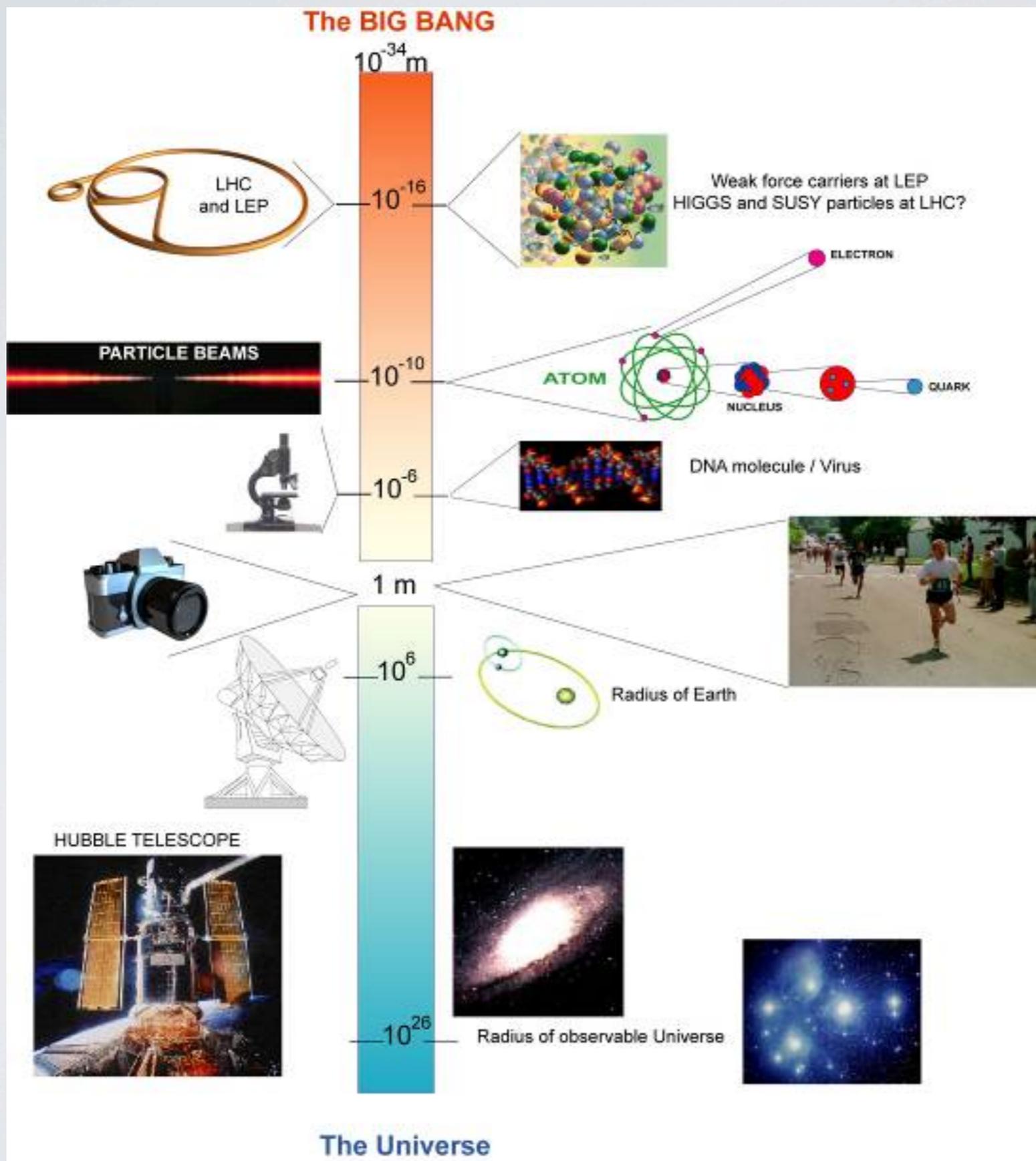
где бозон Хиггса?

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

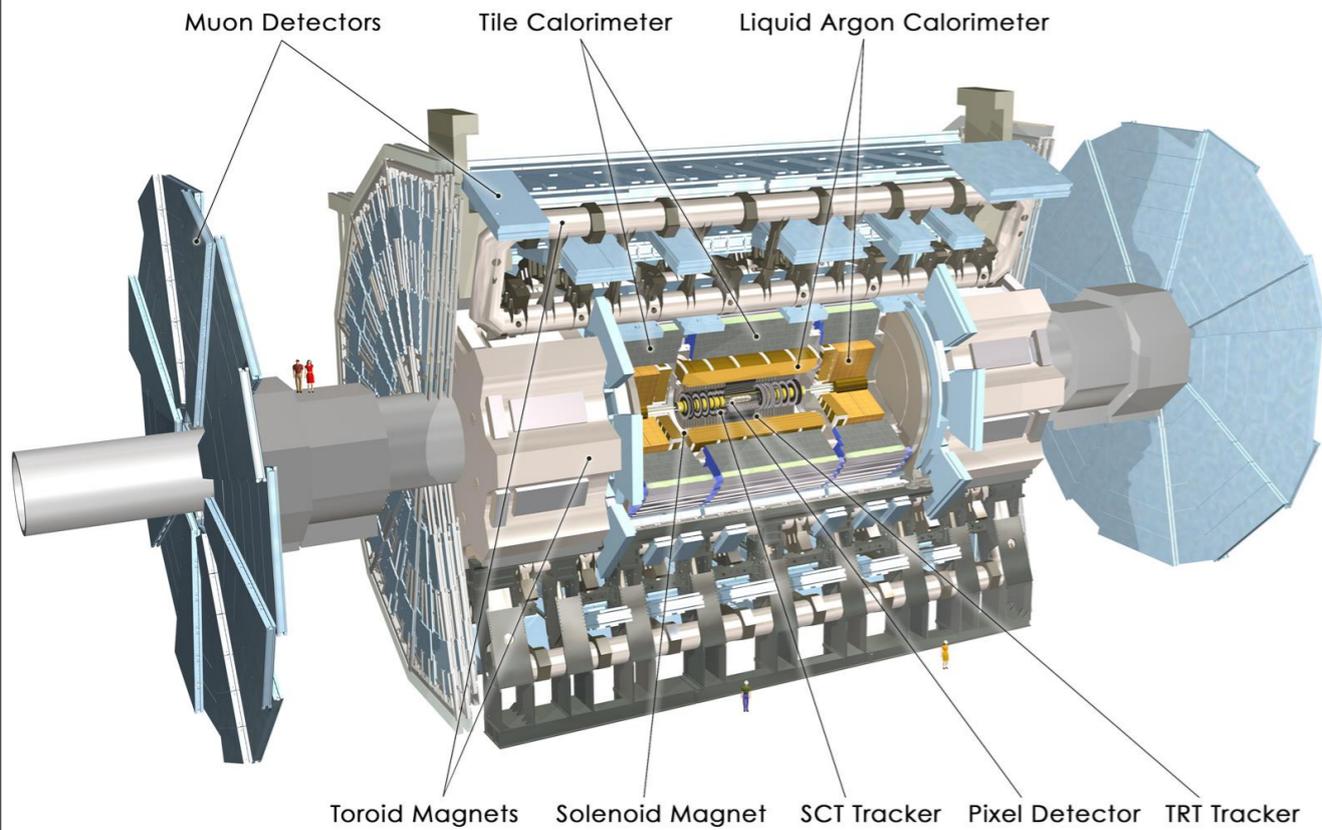
$$E^L = 2 \cdot 10^4 \text{ ТэВ}$$

$$E^L = 10^5 \text{ ТэВ}$$

AA: ?

БОЛЬШОЙ АДРОННЫЙ КОЛЛАЙДЕР





TRIGGER, DATA ACQUISITION & OFFLINE COMPUTING
Austria, Brazil, CERN, Finland, France, Greece, Hungary, Ireland, Italy, Korea, Poland, Portugal, Switzerland, UK, USA

TRACKER
Austria, Belgium, CERN, Finland, France, Germany, Italy, Japan*, Mexico, New Zealand, Switzerland, UK, USA

CRYSTAL ECAL
Belarus, CERN, China, Croatia, Cyprus, France, Italy, Japan*, Portugal, Russia, Serbia, Switzerland, UK, USA

PRESHOWER
Armenia, CERN, Greece, India, Russia, Taiwan

FORWARD CALORIMETER
Hungary, Iran, Russia, Turkey, USA

FEET
Pakistan, China

MUON CHAMBERS
Barrel: Austria, Bulgaria, CERN, China, Germany, Hungary, Italy, Spain, Endcap: Belarus, Bulgaria, China, Colombia, Korea, Pakistan, Russia, USA

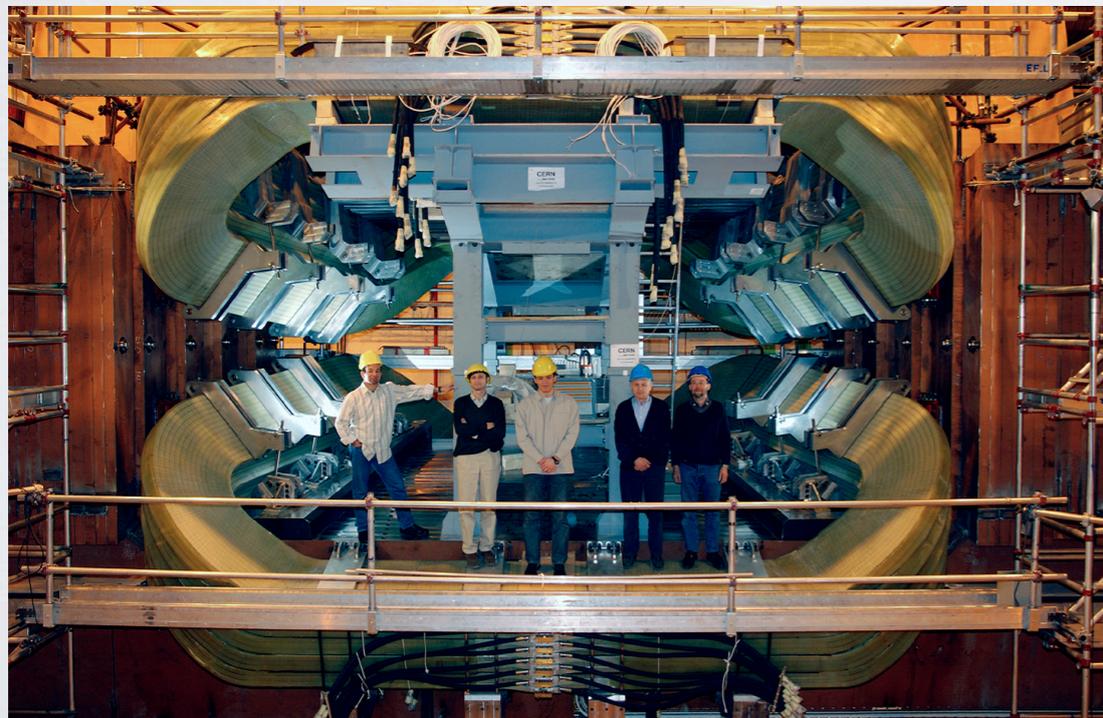
RETURN YOKE
Barrel: Czech Rep., Estonia, Germany, Greece, Russia Endcap: Japan*, USA

SUPERCONDUCTING MAGNET
All countries in CMS contribute to Magnet financing in particular: Finland, France, Italy, Japan*, Korea, Switzerland, USA

HCAL
Barrel: Bulgaria, India, Spain*, USA Endcap: Belarus, Bulgaria, Georgia, Russia, Ukraine, Uzbekistan HO: India

Total weight : 12500 T
Overall diameter : 15.0 m
Overall length : 21.5 m
Magnetic field : 4 Tesla

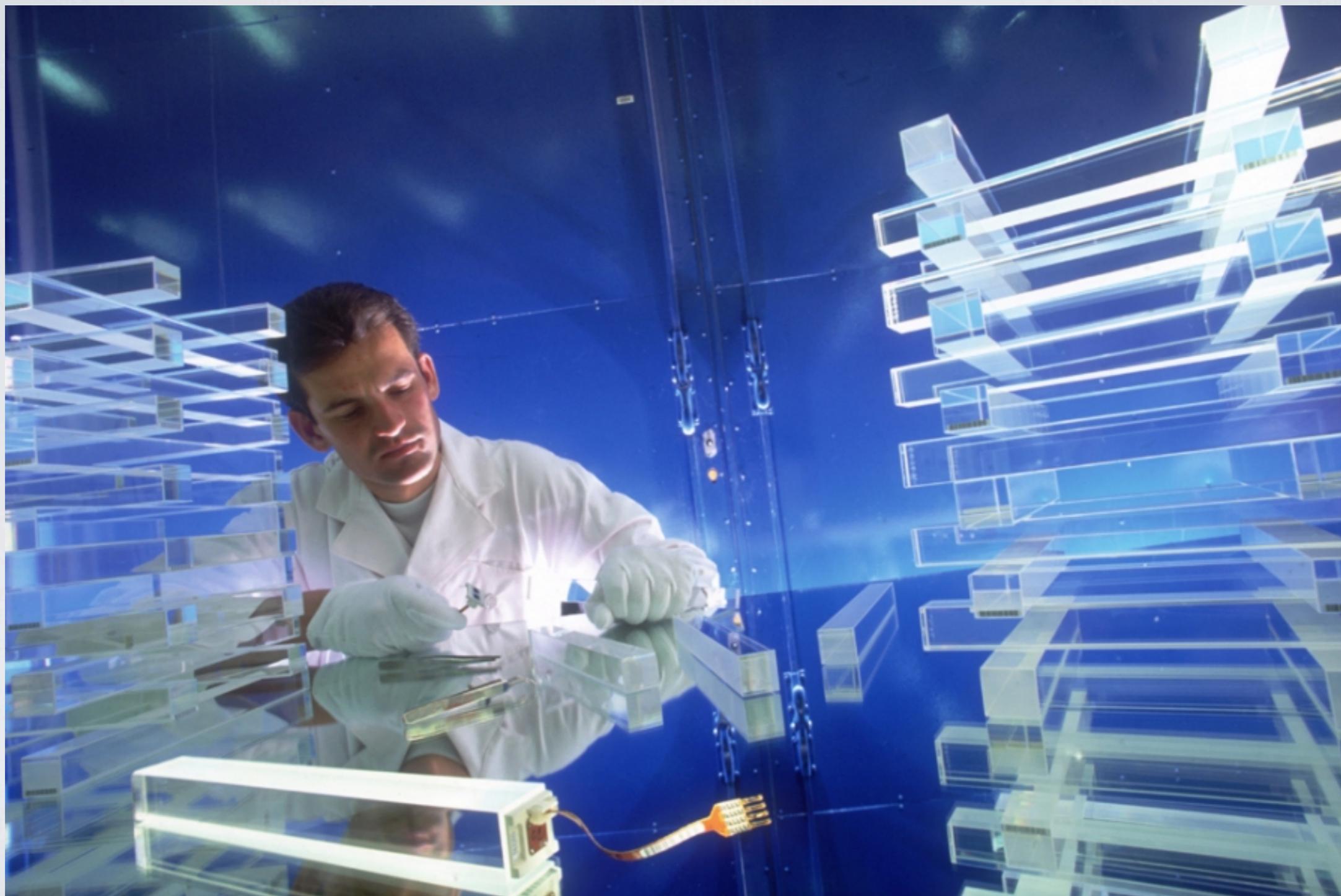
* Only through industrial contracts



КОНВЕРСИЯ ВПК ДЛЯ БАК: SMS

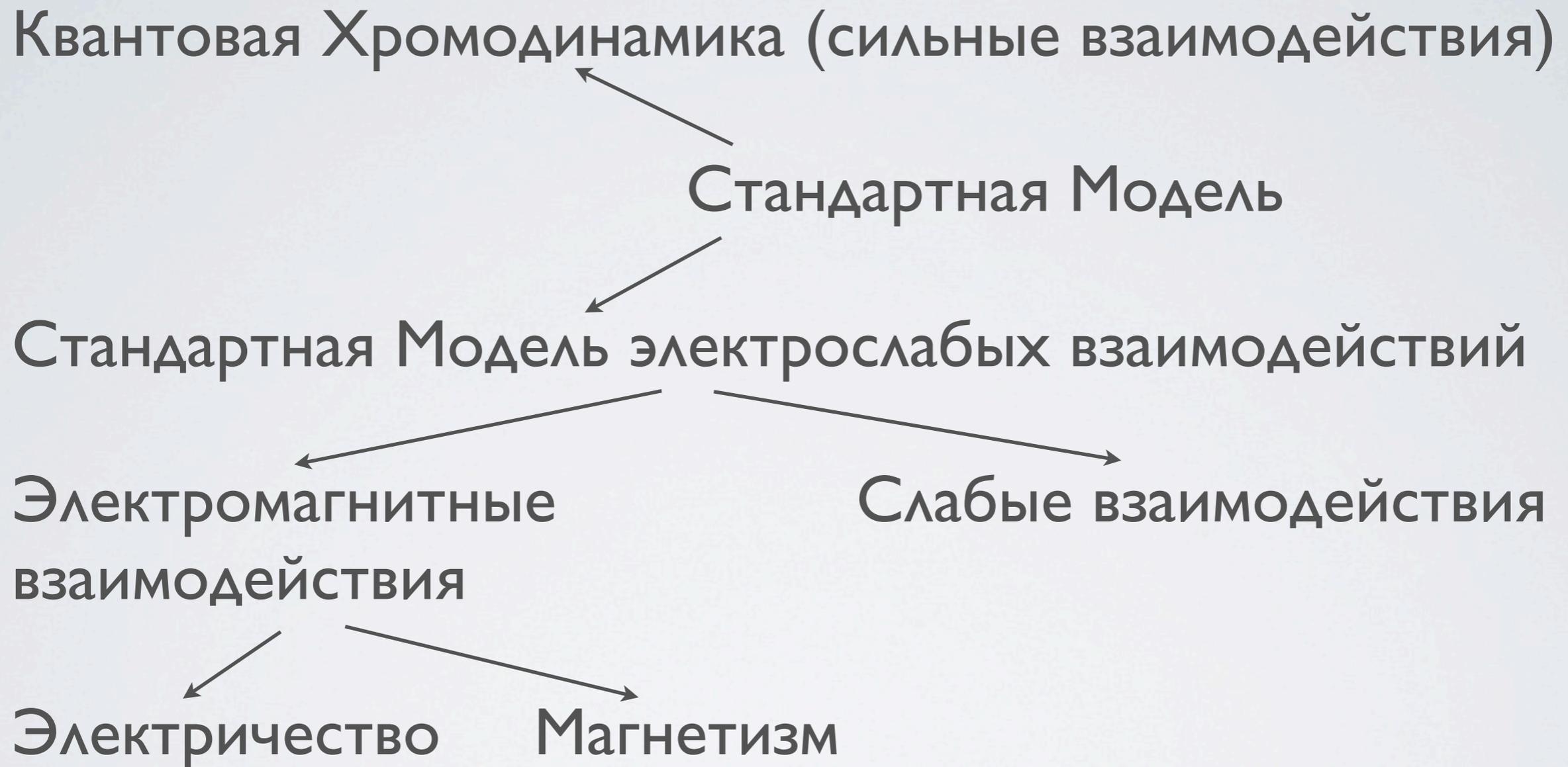


КОНВЕРСИЯ ВПК ДЛЯ БАК: КРИСТАЛЛЫ ДЛЯ ЕСАЛ CMS





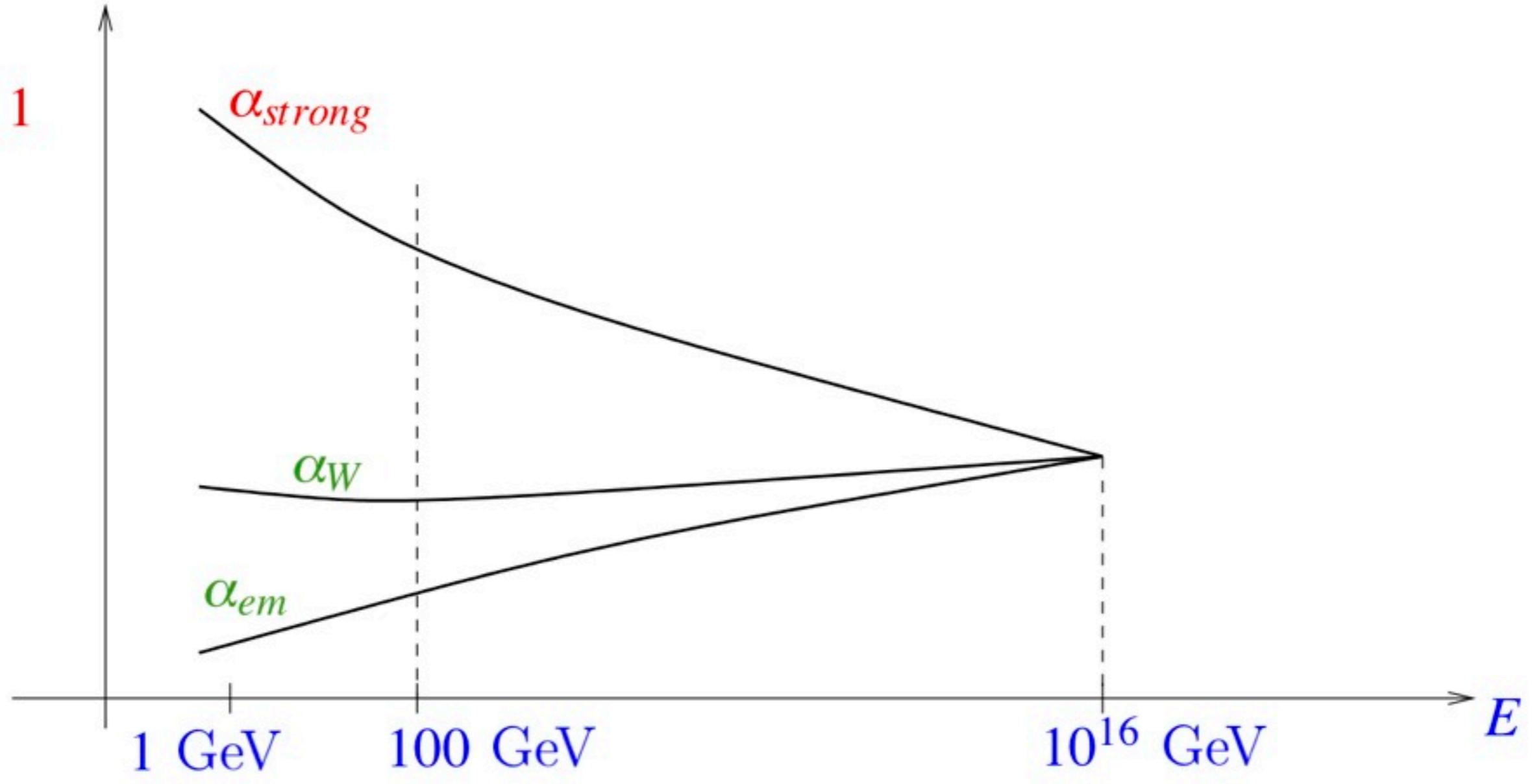
СТАНДАРТНАЯ МОДЕЛЬ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ



МАСШТАБ ЭНЕРГИЙ СТАНДАРТНОЙ МОДЕЛИ

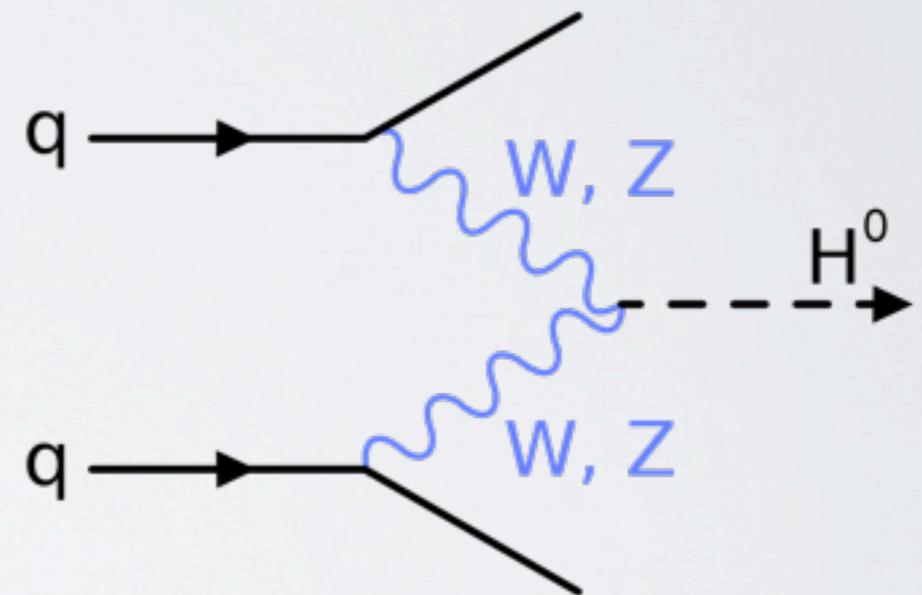
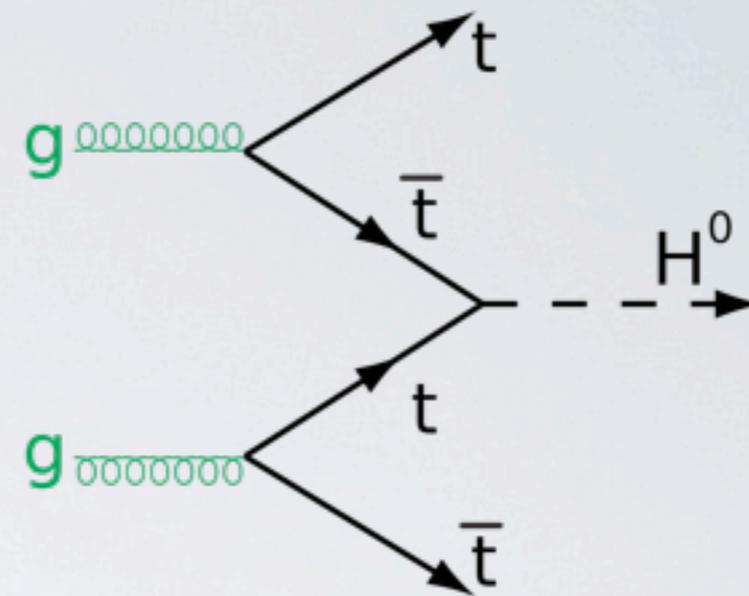


$\alpha \sim 1$



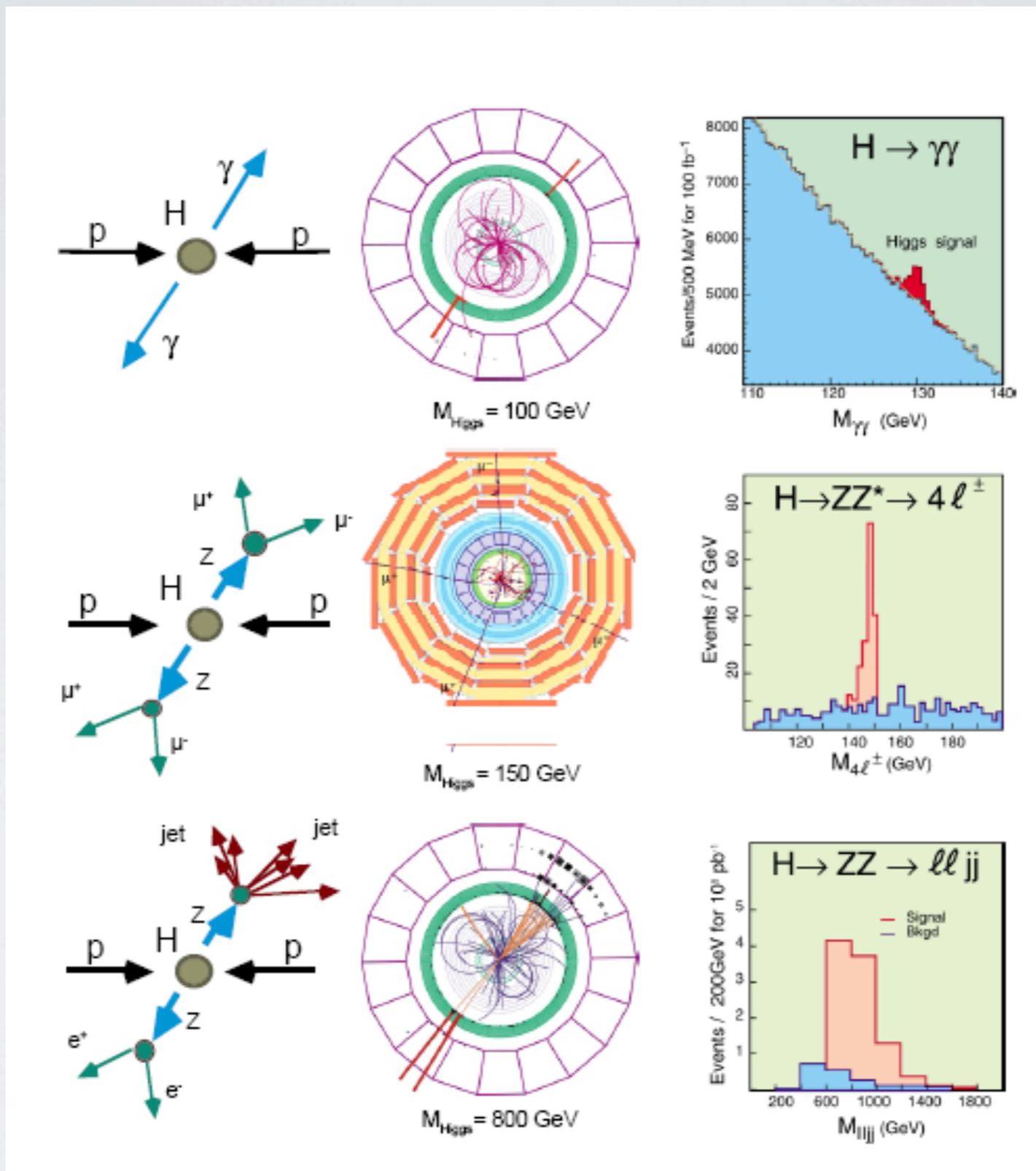
Вычисление сечений
взаимодействий частиц:

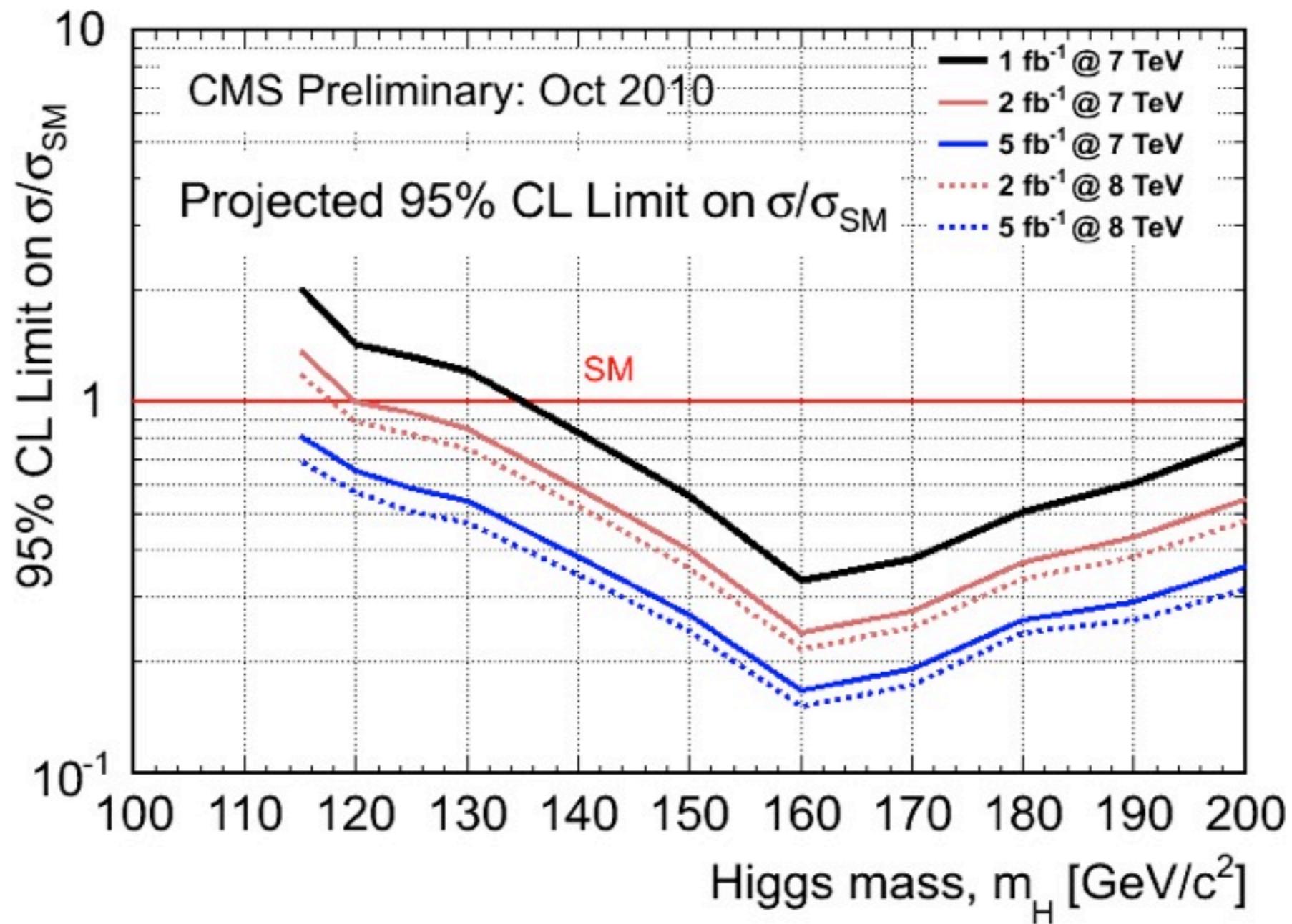
$$\text{сечение} = |\text{амплитуда процесса}|^2$$

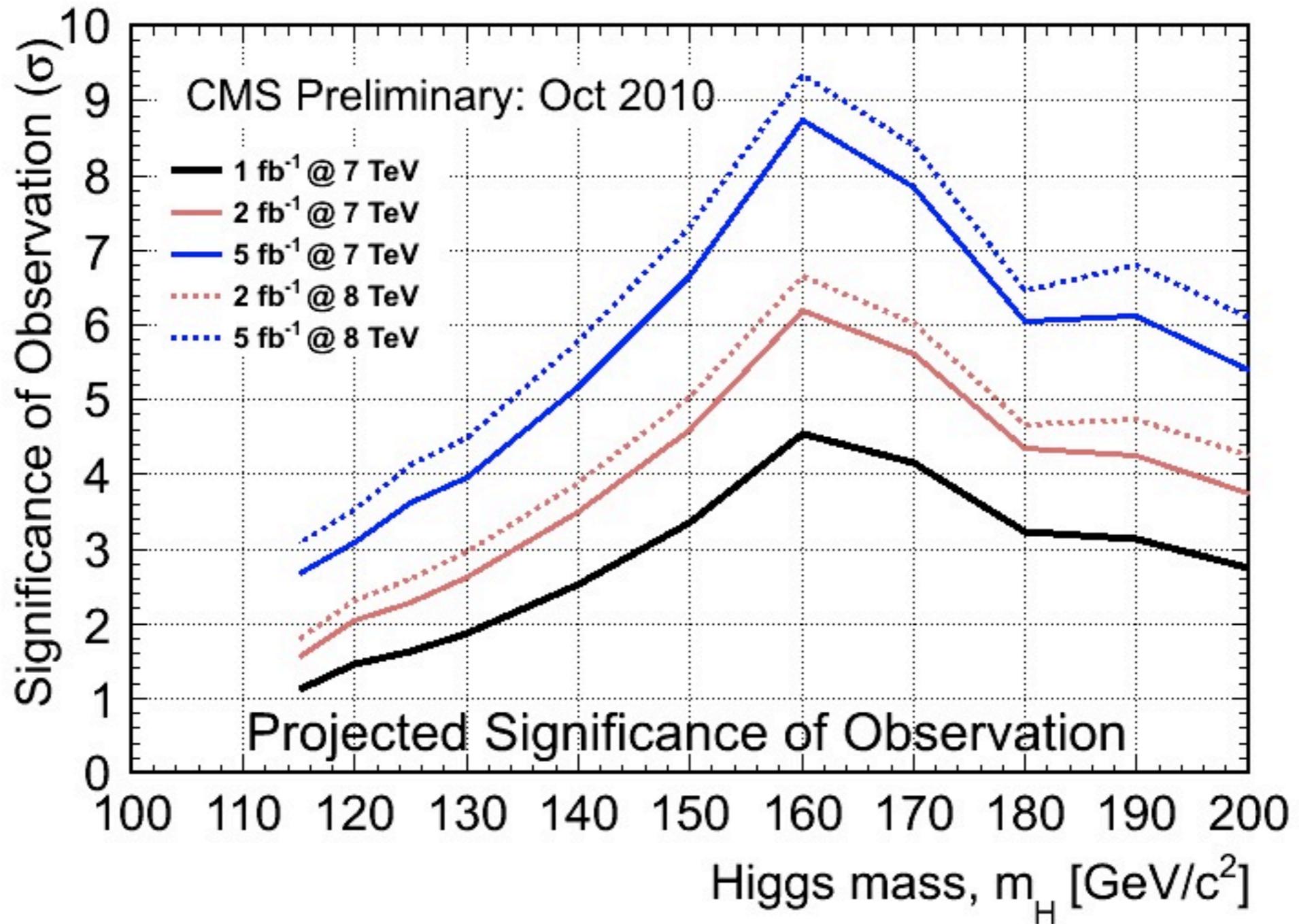


Амплитуды вероятностей процесса \Leftrightarrow диаграммы Фейнмана

ПОИСКИ БОЗОНА ХИГГСА



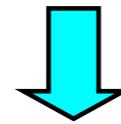
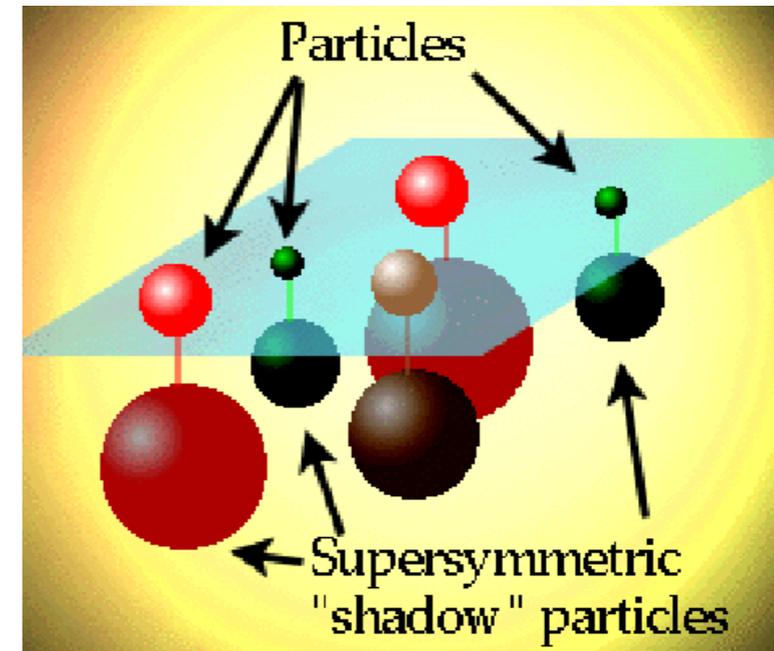




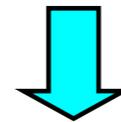
SUSY (симметрия бозон-фермион)

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

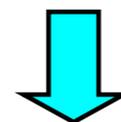
$Q|fermion\rangle = |boson\rangle$



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	$SU_C(3)$	$SU_L(2)$	$U_Y(1)$
Gauge 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
Matter L_i \square_i	sleptons $\begin{cases} \tilde{L}_i = (\tilde{\nu}, \tilde{e})_L \\ \tilde{\epsilon}_i = \tilde{e}_R \end{cases}$	leptons $\begin{cases} L_i = (\nu, e)_L \\ \epsilon_i = e_R \end{cases}$	1 1	2 1	-1 2
Matter Q_i U_i D_i	squarks $\begin{cases} \tilde{Q}_i = (\tilde{u}, \tilde{d})_L \\ \tilde{U}_i = \tilde{u}_R \\ \tilde{D}_i = \tilde{d}_R \end{cases}$	quarks $\begin{cases} Q_i = (u, d)_L \\ U_i = u_R^c \\ D_i = d_R^c \end{cases}$	3 3* 3*	2 1 1	1/3 -4/3 2/3
Higgs H_1 H_2	two higgs doublets H_1 H_2	higgsions $\begin{cases} \tilde{H}_1 \\ \tilde{H}_2 \end{cases}$	1 1	2 2	-1 1

Возможные массы частиц в MSSM

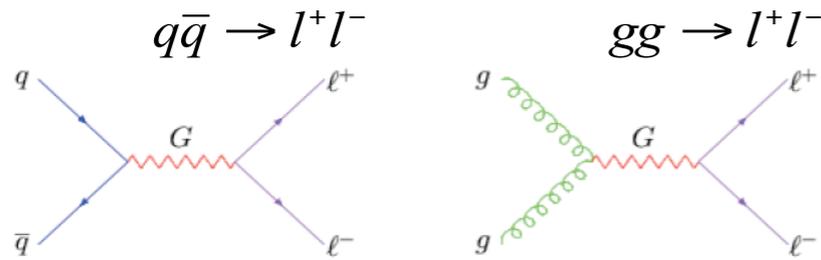
SUSY masses, GeV		
	low $\tan \beta$ (1.71)	high $\tan \beta$ (35)
h	95	119
H	1344	565
A	1340	565
H^\pm	1344	571
$\tilde{\chi}_1^0(\tilde{b}), \tilde{\chi}_2^0(\tilde{w}^3)$	214,413	170,322
$\tilde{\chi}_3^0(\tilde{H}_1), \tilde{\chi}_4^0(\tilde{H}_2)$	1028,1016	481,498
$\tilde{\chi}_1^\pm(\tilde{w}^\pm), \tilde{\chi}_2^\pm(\tilde{H}^\pm)$	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}	1.6×10^{16} GeV	

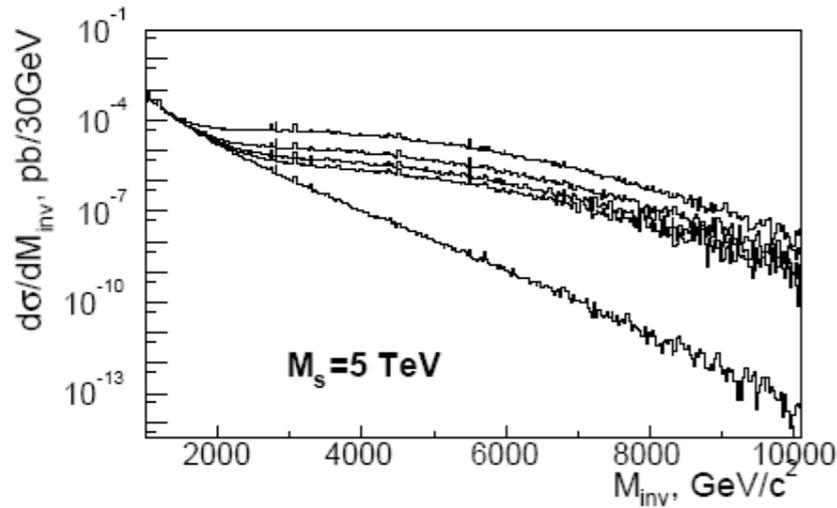
ADD Model

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

Вклад гравитонов в спектр части СМ
 (виртуальное рождение)

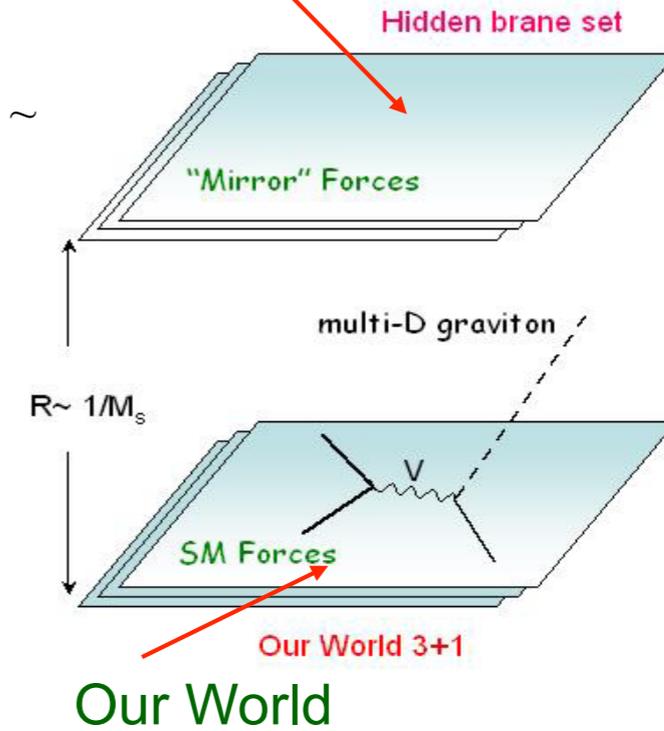


Превышение числа пар лептонов

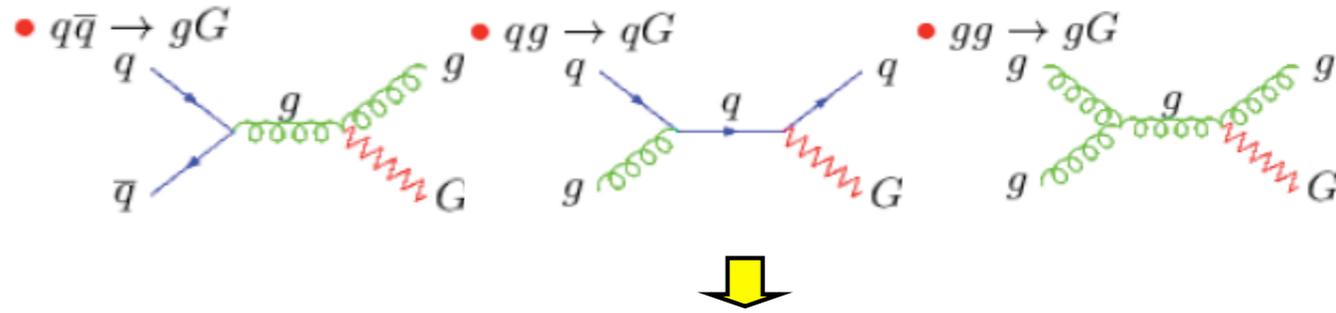


$$R \sim M^{-1} \left(\frac{M_{Pl}}{M} \right)^{2/n} \sim 10^{32/n} \times 10^{-17} \text{ sm}$$

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”

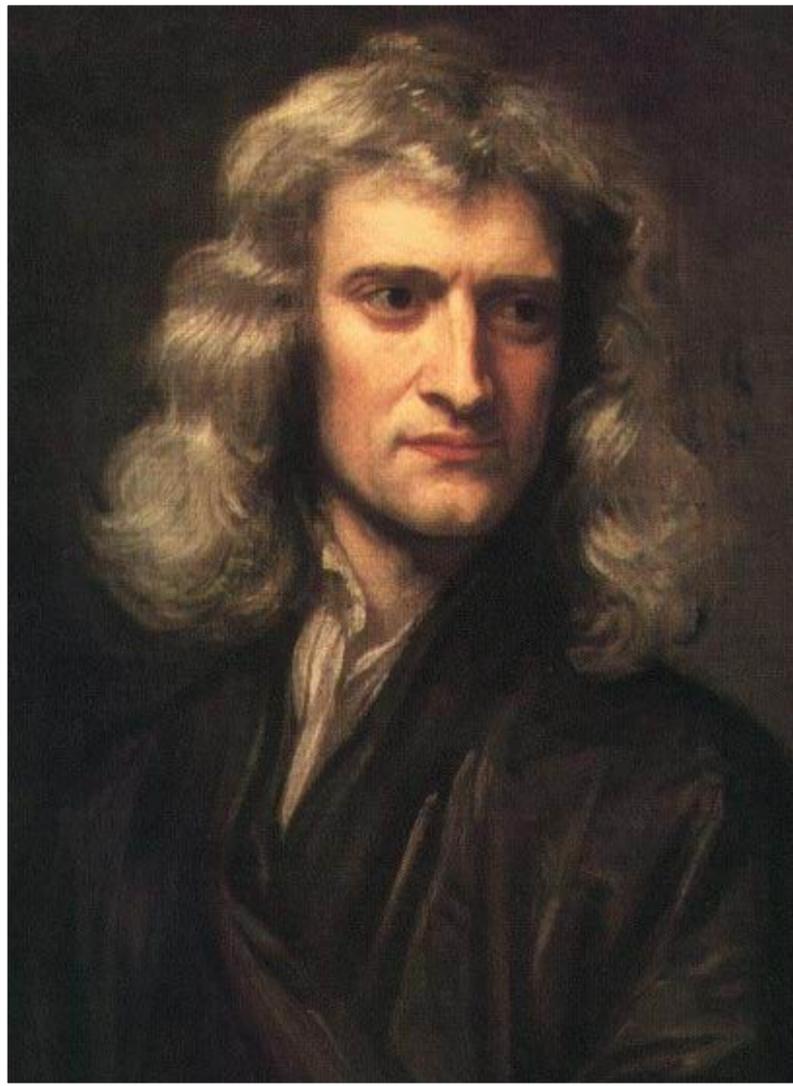
Проверка Стандартной Модели

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”