

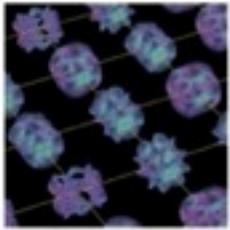
Физика высоких энергий: настоящее и будущее

Михаил Шифман, 19 сентября 2013 г., Москва

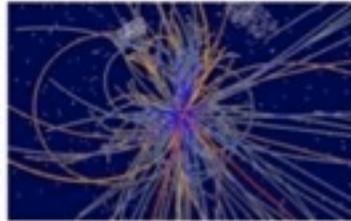


Масштабы физики

Planck
Scale



LHC



DNA



Earth



Observable
Universe



10^{-33} m

10^{-18} m

10^{-9} m

10^7 m

10^{26} m

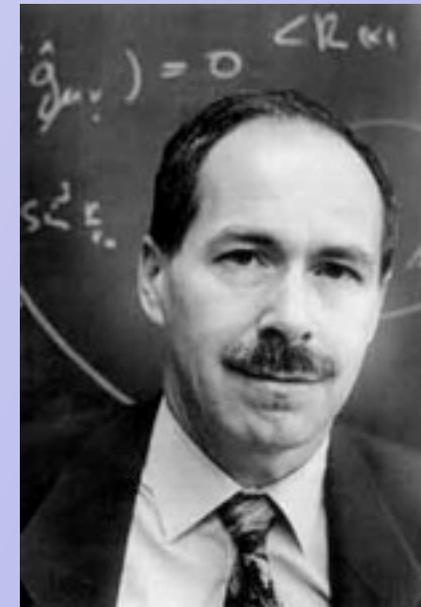
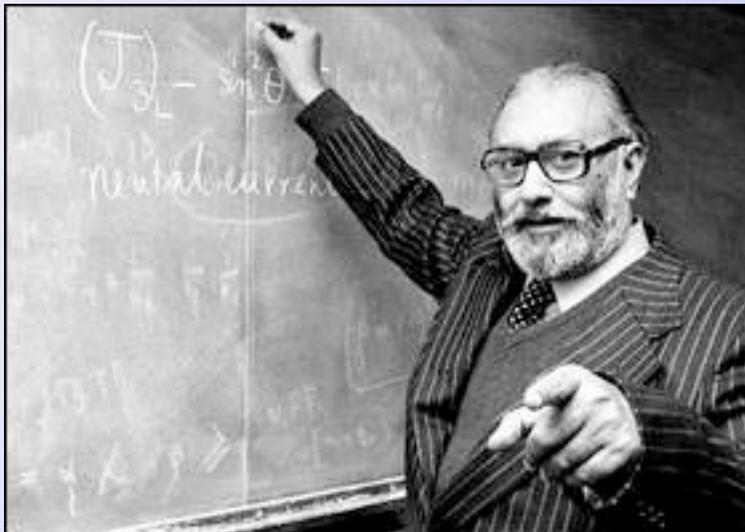
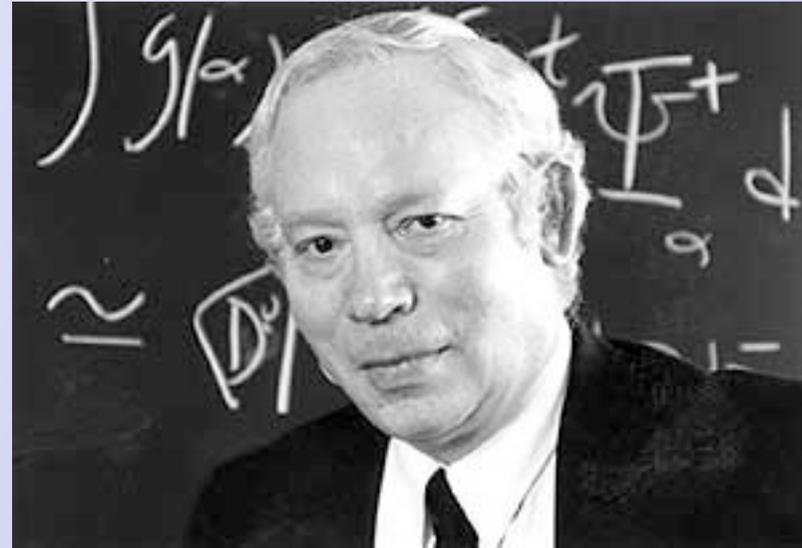
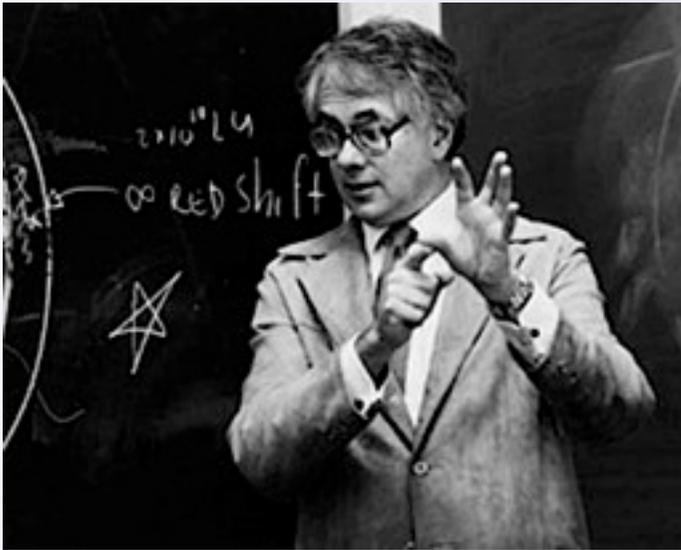
10^{27} eV

10^{12} eV

10^{-34} eV

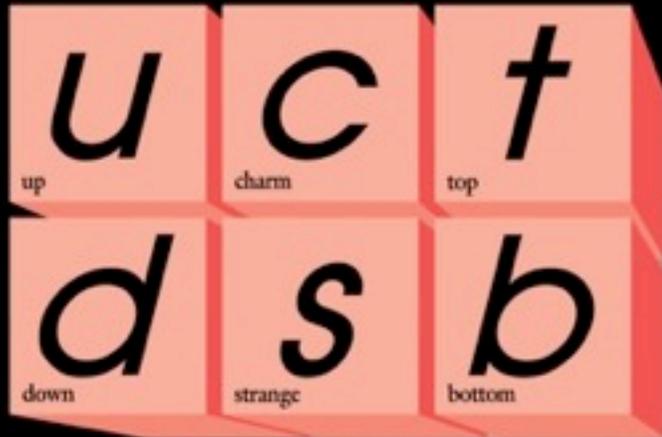
Energy

Картина мира как мы его знаем сегодня восходит к 1968-72 годам, когда возникла модель Глэшоу-Вайнберга-Салама - ныне известная как Стандартная модель - и 'т Хоофт доказал ее самосогласованность.

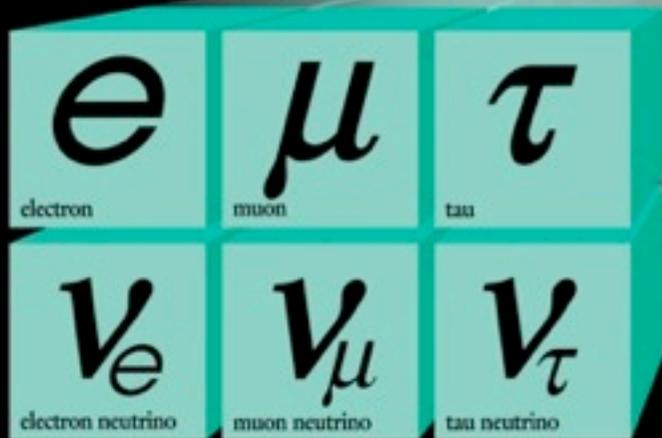


Фундаментальная теория
Для простоты гравитация
(пока) опущена

Quarks



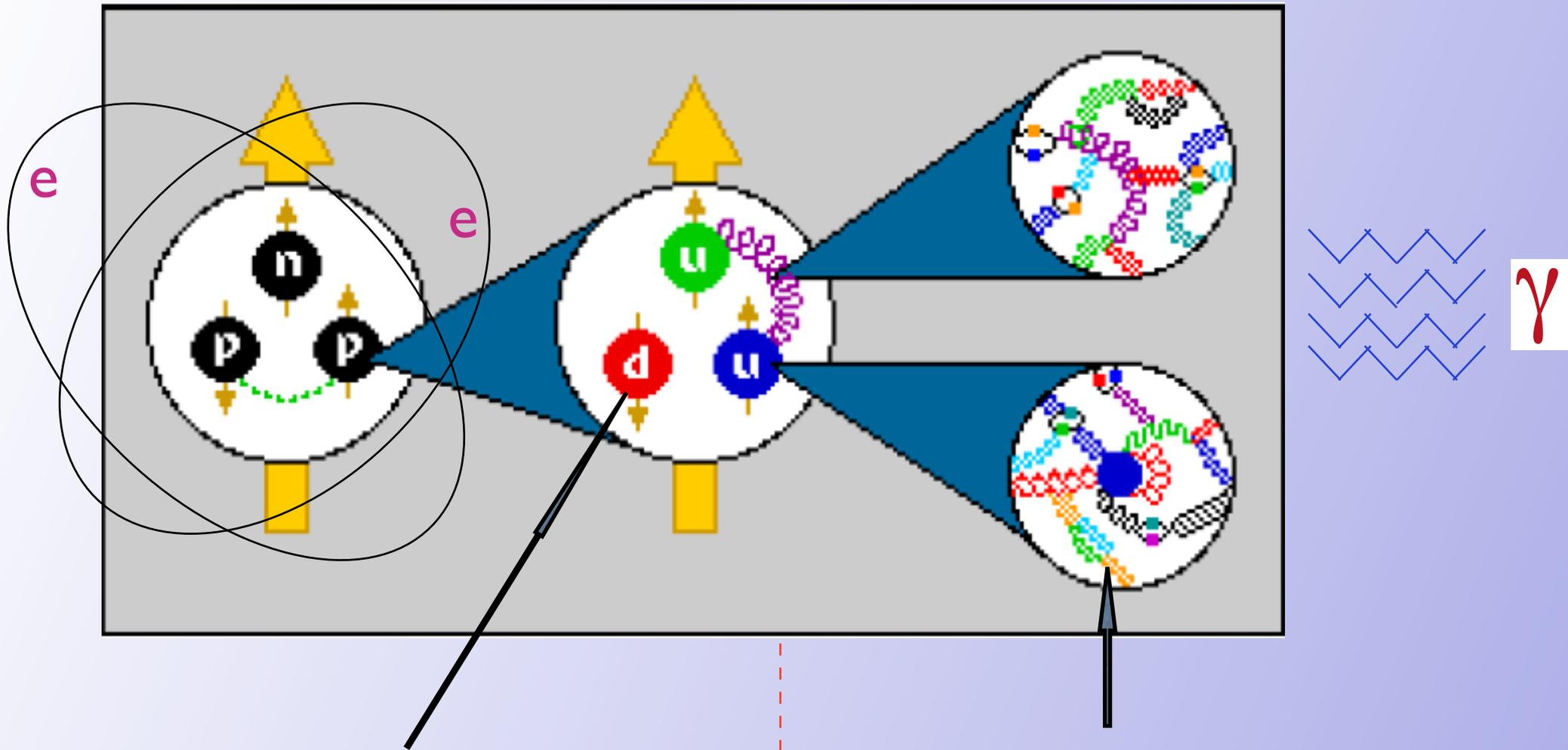
Forces



Leptons

Фермионы (спин 1/2)

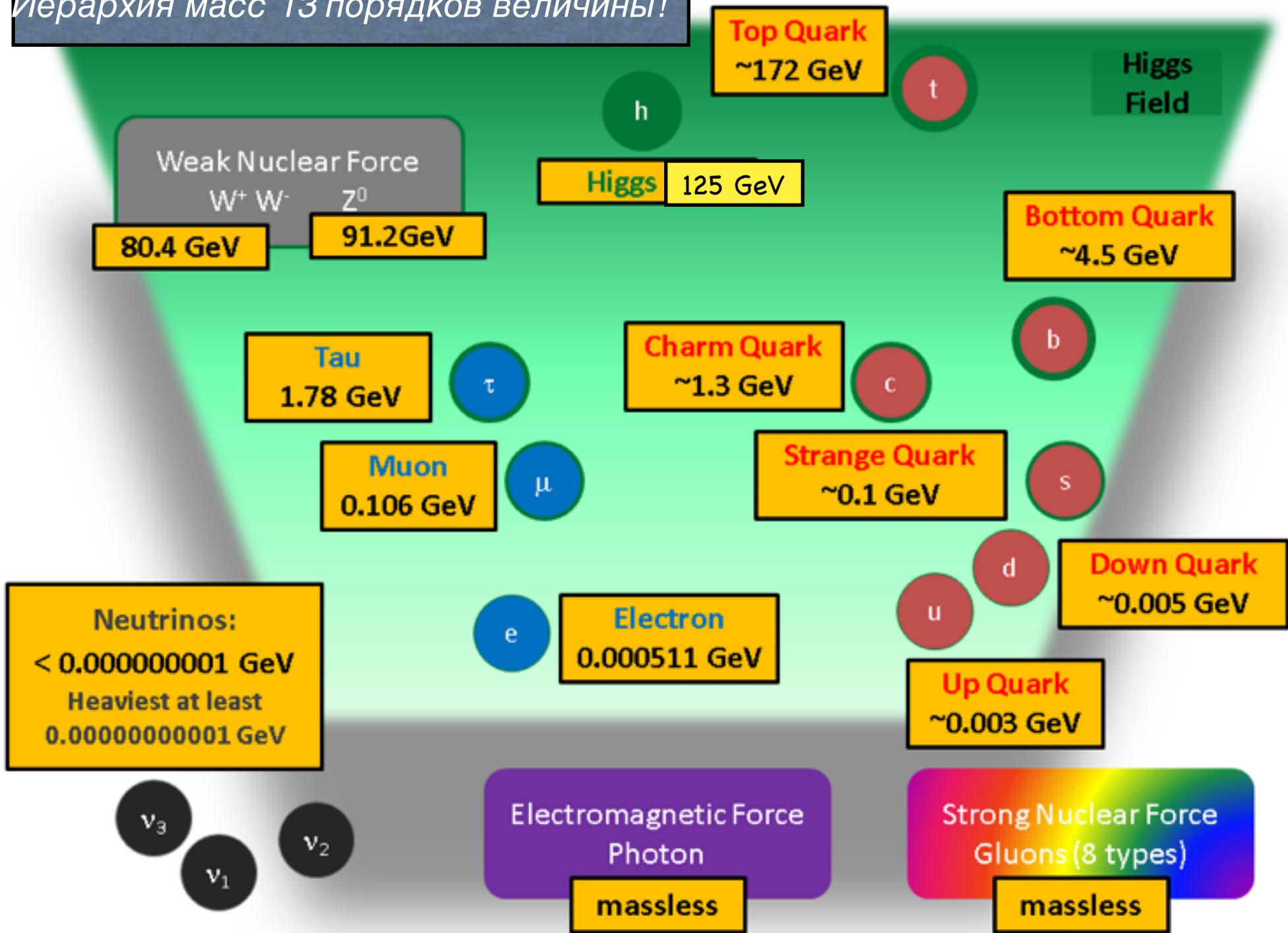
Бозоны (спин 1 или 0)



Фермионы (спин 1/2,) Строительные блоки материи
Абсолютные индивидуалисты ↔ Принцип Паули

Бозоны (спин 0, 1,)...Переносчики сил и помощники в деликатных вопросах ... Любят собираться в толпы и быть похожими
Большая толпа ↔ классическое поле

Иерархия масс 13 порядков величины!



Аксионы???

Если вспомнить о гравитации, то иерархия становится еще хуже ↔ масса Планка:

$$m_P = \sqrt{\frac{\hbar c}{G}} \approx 1.22 \times 10^{19} \text{ GeV}/c^2 = 2 \times 10^{-5} \text{ г}$$

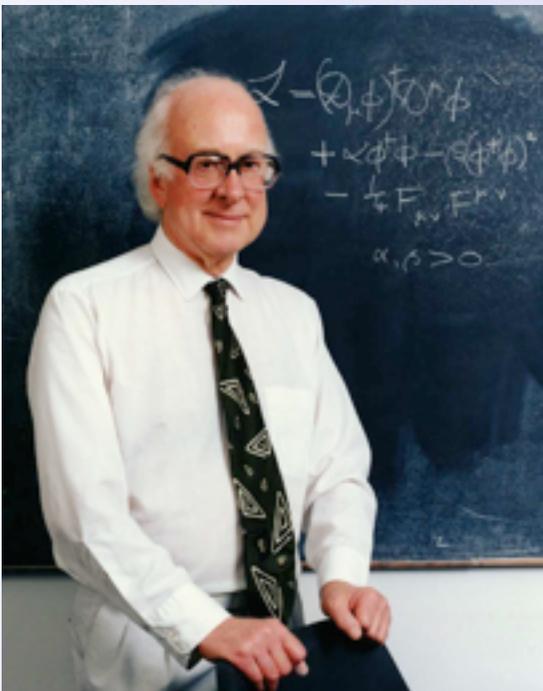
Иерархия в 30 порядков величины!

(И это еще не все ☹ ☹ ☹)

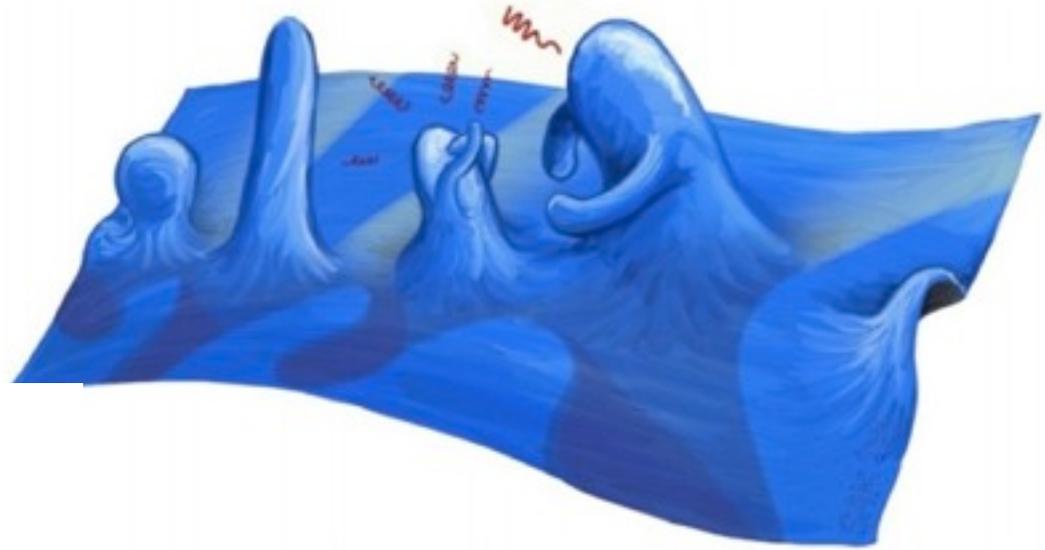
Все массы частиц от Хиггса ↔ Хиггсовский механизм

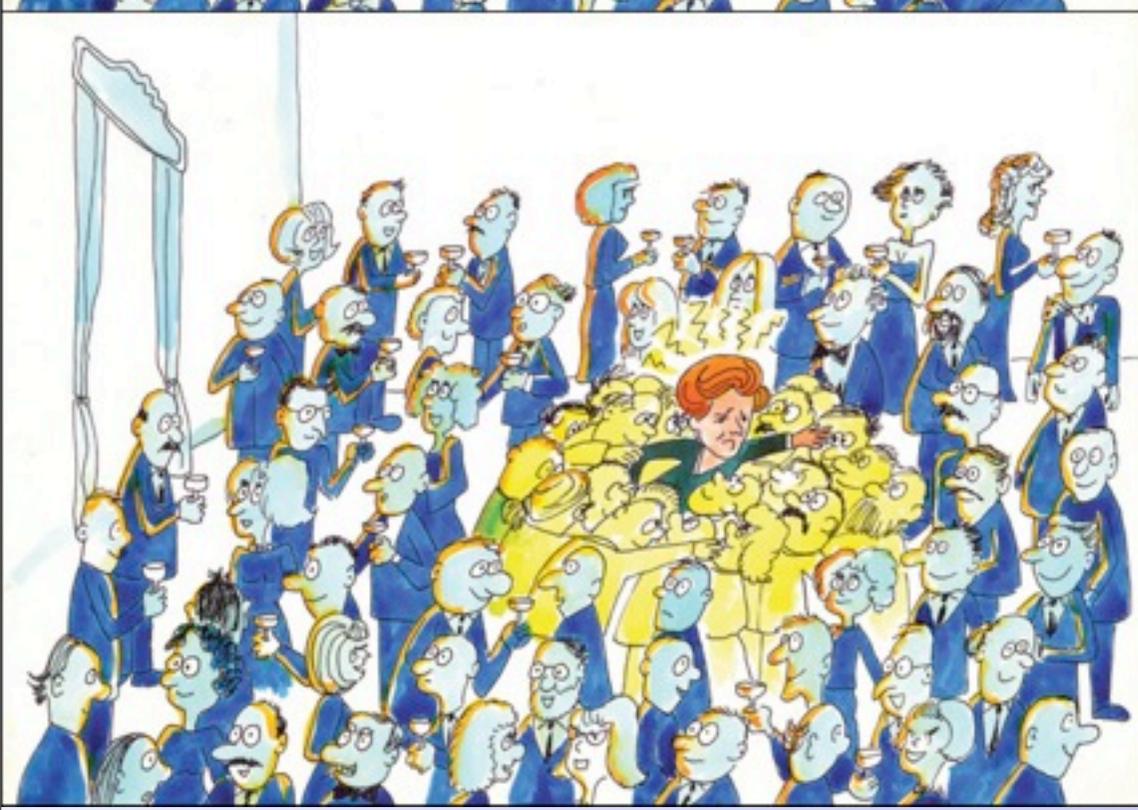
*Higgs, Brout †, Englert, Guralnik, Hagen and Kibble.
1960-ые: (в твердом теле Андерсон, Вакс и Ларкин)*

“Предположим, есть неизвестное поле, своего рода вещество, присутствующее во всем пространстве - то есть разлитое равномерно по всему пространству и времени. Это поле и будет генерировать массы W и Z бозонов и всех частиц.”



Fields are primary, particles secondary





*Дальняя аналогия
ХИГГСОВСКОГО МЕХАНИЗМА*

Естественность (*naturalness*)



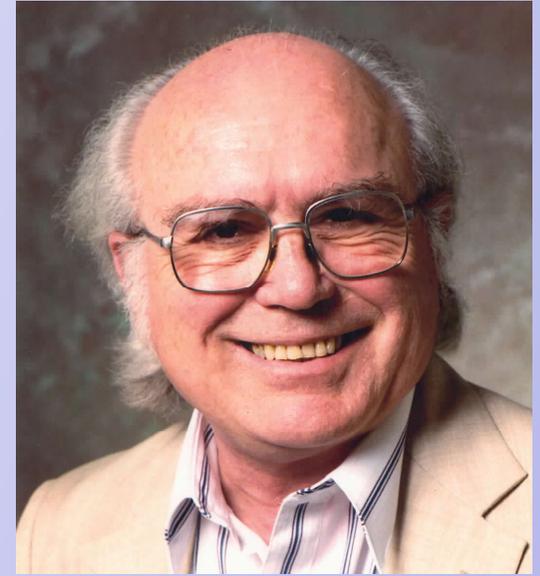
(Стандартная модель в высшей степени неестественна ☹ ☹ ☹)

Естественно \leftrightarrow хиггсовское вакуумное поле $\sim M_P$; тогда и массы всех частиц $\sim M_P$; иерархия исчезает, Но ... в таком мире жить нельзя!

1970's: *Суперсимметрия*



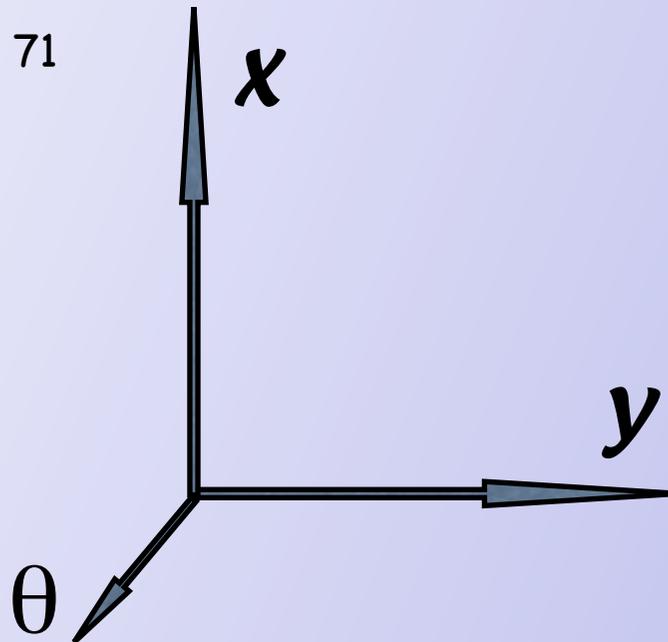
Волков, Акулов 72



Гольфанд & Лихтман, 71

$$\theta^2 = 0$$

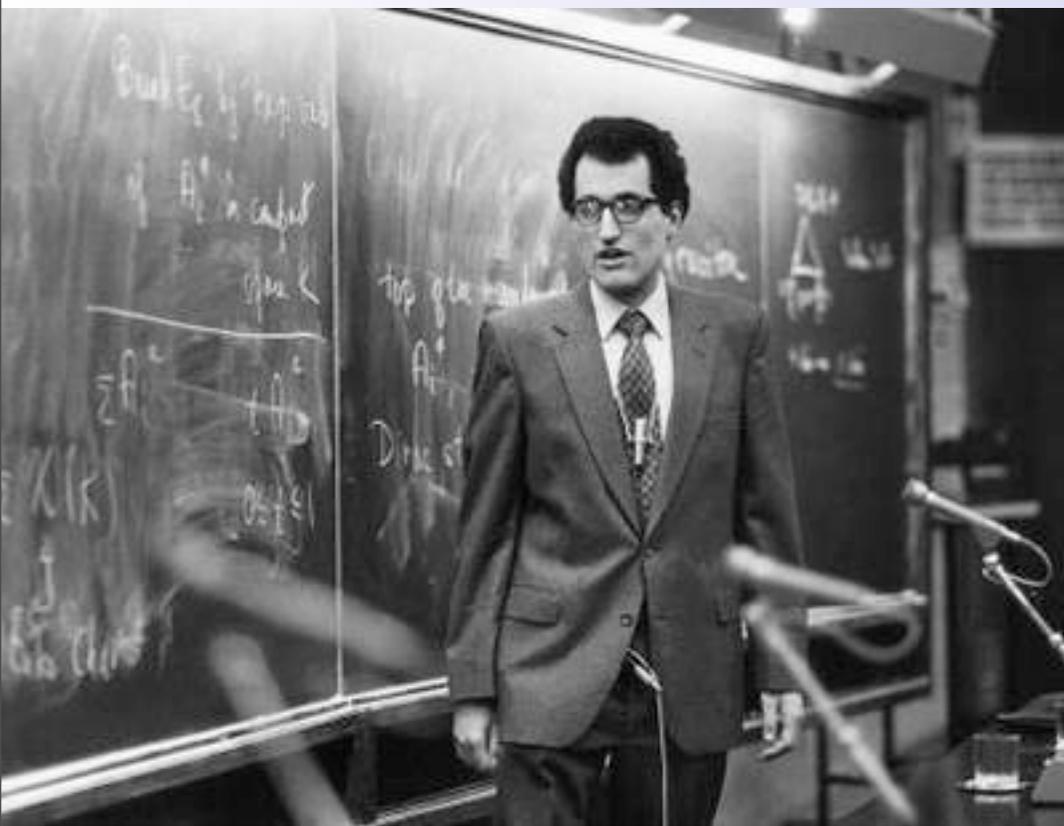
*“fermion” direction
of the superspace*



Wess & Zumino, 73

In 1+3 dimensions

$$\{t, x, y, z\} \longrightarrow \{t, x, y, z; \theta_{\alpha}^i\}$$



Эдвард Виттен, 1982

- ★ Суперсимметрия стабилизирует иерархию (т.е. хиггсовское поле)*
- ★ Точная суперсимметрия обнуляет космологический член!*
- ★ В суперсимметричном сценарии мира есть естественный кандидат на роль темной материи - нейтралино.*

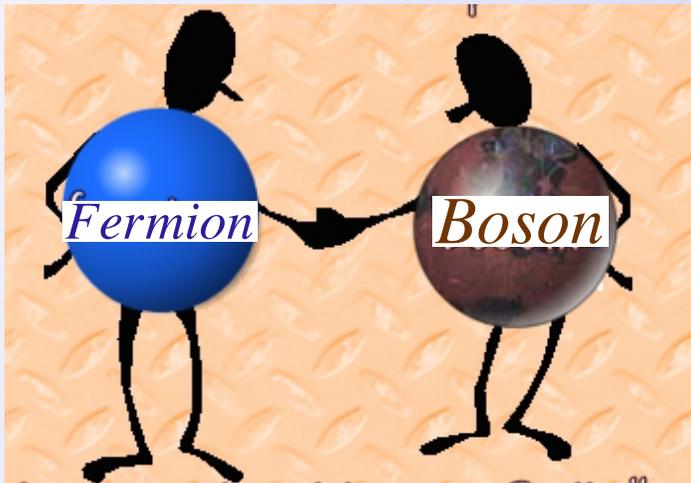
С тех пор напечатано ~ 40000 работ по суперсим/гравитации

E. Witten:

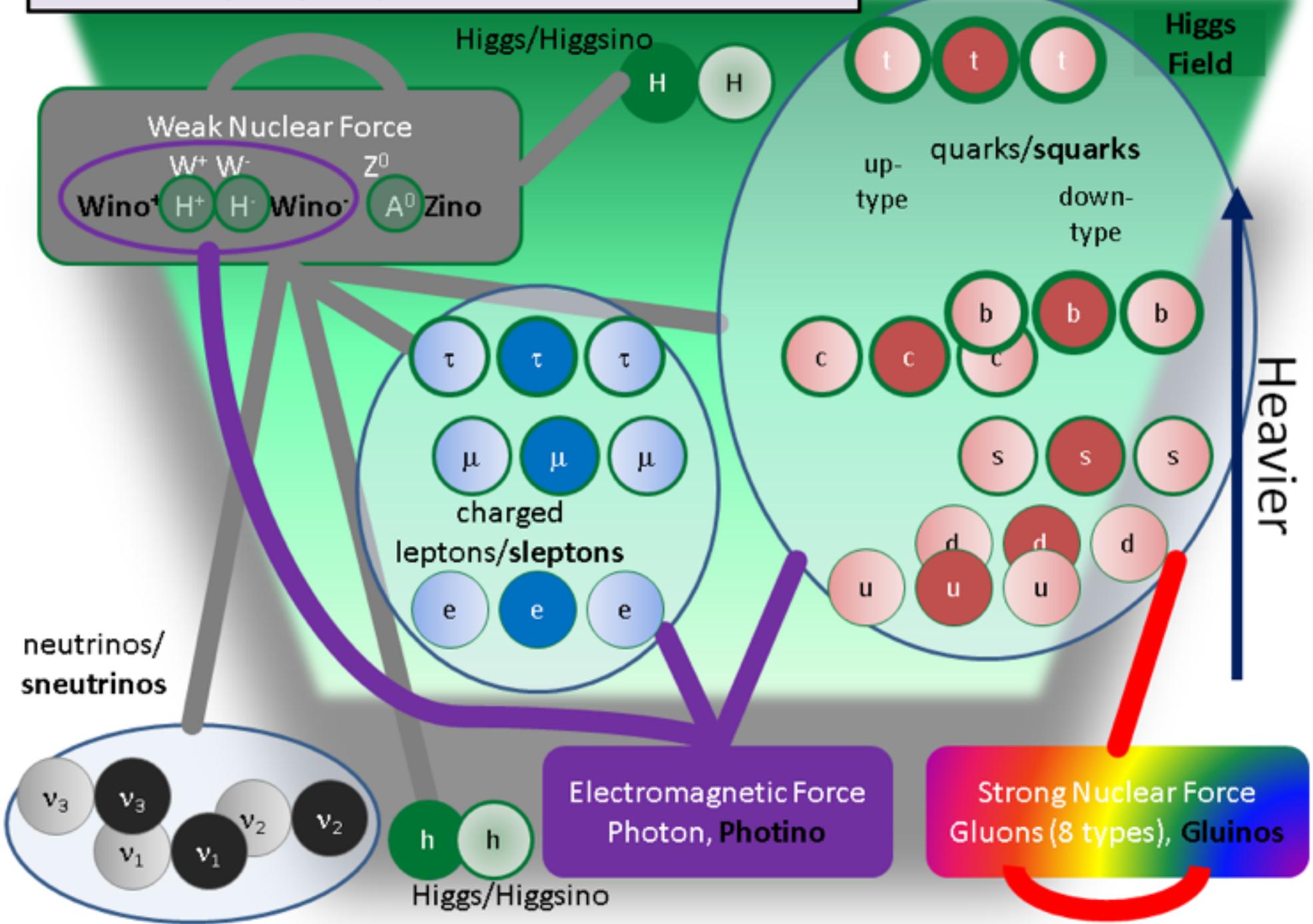
Суперсимметрия, если она имеет место и в природе, является частью квантовой структуры пространства и времени. В повседневной жизни мы измеряем пространство и время числами: «Сейчас 3 часа, высота десять метров," и так далее. Числа - классические понятия, известные человечеству задолго до квантовой механики открытой в начале 20-го века. Открытие квантовой механики изменило наше понимание почти всего в физике, но наш основной способ мышления о пространстве и времени не был затронут.

Если природа суперсимметрична, то неизбежно радикальное изменение: будут выявлены квантовые измерения пространства и времени, не выражаемые обычными числами. Квантовые измерения проявятся в существовании новых элементарных частиц, которые будут рождаться на ускорителях и чье поведение будет описываться суперсимметричными законами.

Суперсимметрия \Rightarrow у каждой найденной элементарной частицы, есть зеркальный партнер, который ей полностью идентичен за исключением спина. Для бозонов со спином 1 (это фотон, W , Z , и глюон) партнеры таковы: фотино, вино, зино и глюино со спином $1/2$. Фермионам со спином $1/2$ (лептонам и кваркам) соответствуют слептоны и скварки со спином 0.



The Exactly-Supersymmetric Standard Model



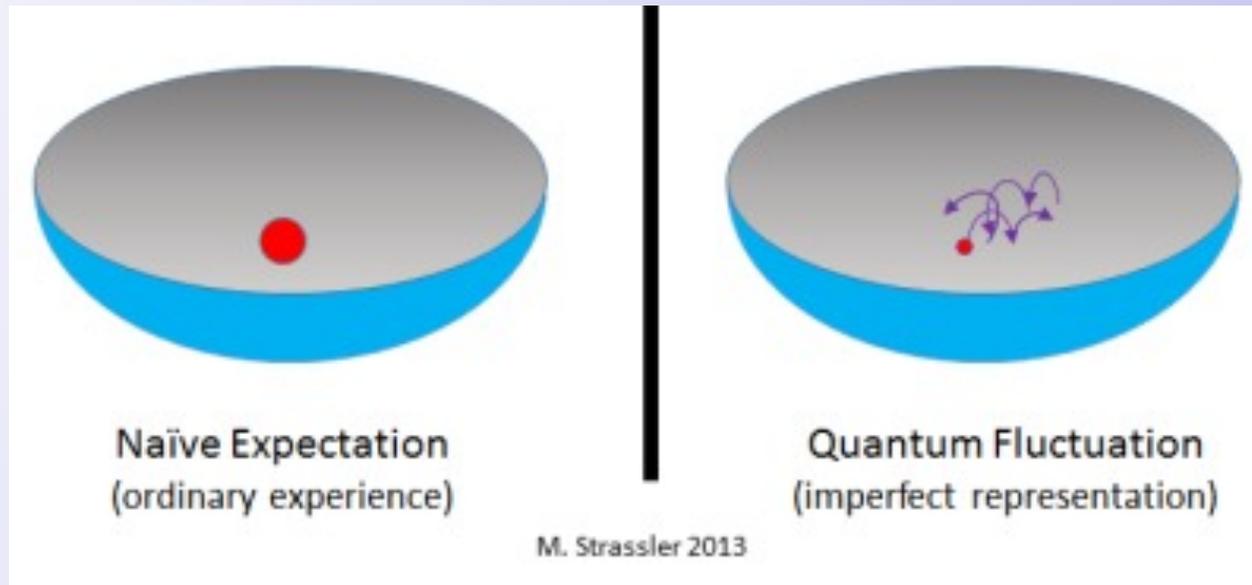
Конечно, должна быть (слегка) нарушена

- ☺ Открытие хиггсовской частицы с массой ≈ 125 ГэВ (и ничего более) стало ударом по MSSM-феноменологии. Относительно простая модель с единым масштабом нарушения SUSY близким к электрослабому масштабу мертва!
- ☺ Проблемы иерархии масс и натуральности вернулись, масса $\tilde{t} \geq 5-10$ ТэВ, *finetuning* \sim (неск) промилле!
- ☺ *Split supersymmetry, spread supersymmetry, A-terms, you name it, still called "natural"*
(например, в первом и втором поколении суперпартнеры чрезвычайно тяжелые и не проявятся, масса \tilde{t} подгоняется под 10 ТэВ, глюино и вино тяжелые и не будут видны на LHC)

Исходная парадигма потерпела фиаско ☹ ☹ ☹
У нас есть еще 4-5 лет!

Космологическая постоянная или энергия вакуума (темная энергия)

Эйнштейн положил его равным нулю



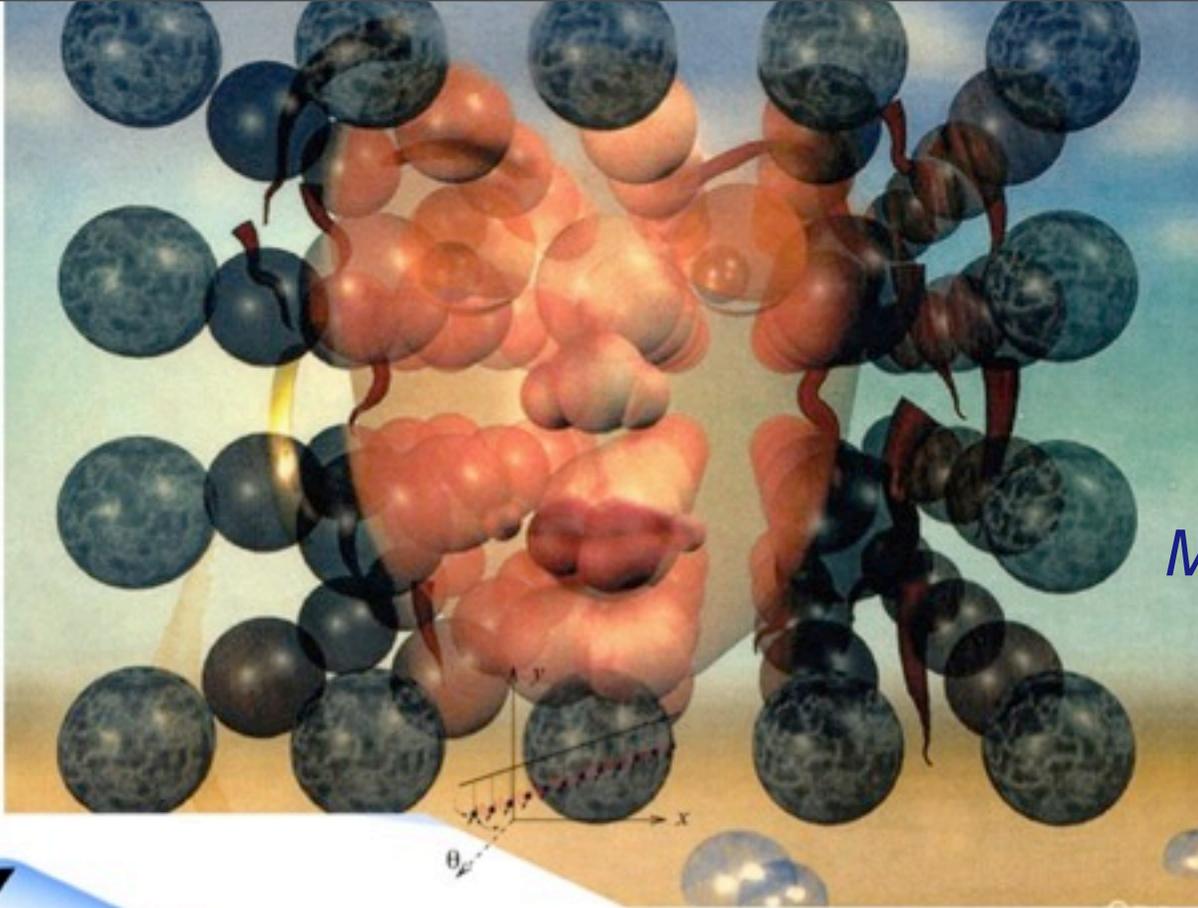
В квантовой теории поля естественное значение

$$\Lambda = (M_P)^4 \approx 10^{77} \text{ GeV}^4$$

Эксп. по ускорению расширения вселенной →

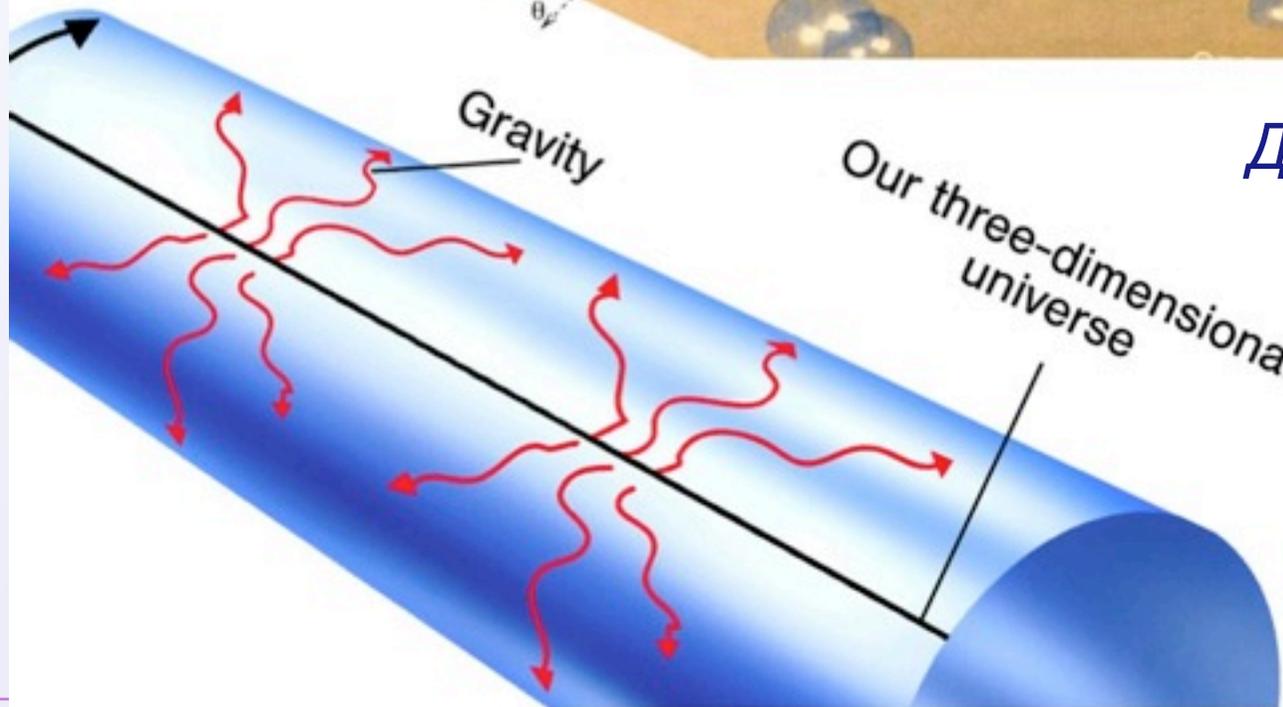
$$\Lambda = (M_P)^4 \approx 10^{-46} \text{ GeV}^4$$

Расхождение 123 порядка !!!!! ☹ ☹ ☹ ☹ ☹



Есть ли выход?

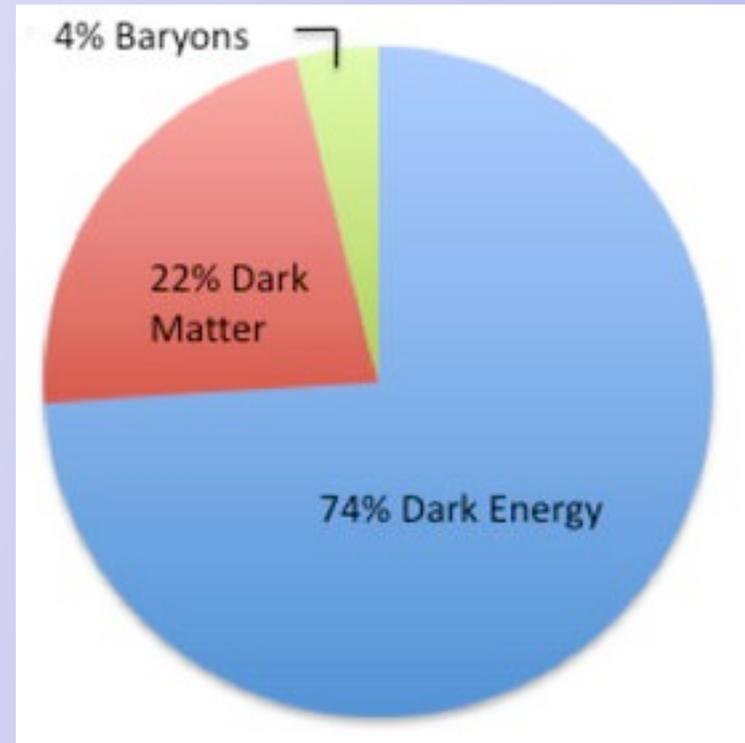
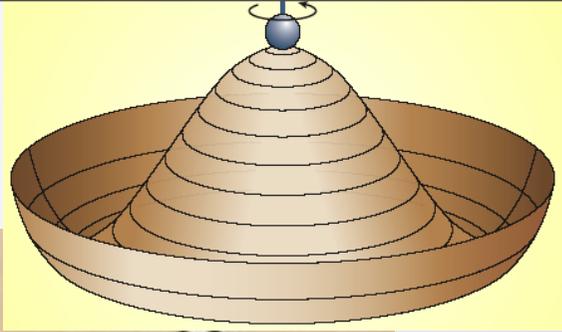
*Множественные вселенные
(Multiverse)*



Дополнительные измерения

**** ??????*

Спасибо!



ХАРАКТЕР ФИЗИЧЕСКИХ ЗАКОНОВ



Что же можно сказать о будущем этого увлекательного приключения? Чем же все это кончится? Мы угадываем все новые и новые законы. Сколько же их будет, в конце концов, этих новых законов? Не знаю. Некоторые из моих коллег говорят, что этот основной аспект нашей науки сохранится всегда. Но мне кажется, что трудно рассчитывать на постоянную смену старого новым, скажем в течение ближайших 1000 лет. Не может быть, чтобы это движение вперед продолжалось вечно и чтобы мы могли открывать все новые и новые законы. Ведь если бы это было так, то нам быстро надоело бы все это бесконечное наложение знаний. Мне кажется, что в будущем произойдет одно из двух. Либо мы узнаем все законы, т. е. мы будем знать достаточно законов для того, чтобы делать все необходимые выводы, а они всегда будут согласоваться с экспериментом, на чем наше движение вперед закончится. Либо окажется, что проводить новые эксперименты все труднее и труднее, и все дороже и дороже, так что мы будем знать о 99,9% всех явлений, но всегда будут такие явления, которые только что открыты, которые очень трудно наблюдать и которые расходятся с существующими теориями, а как только вам удалось объяснить

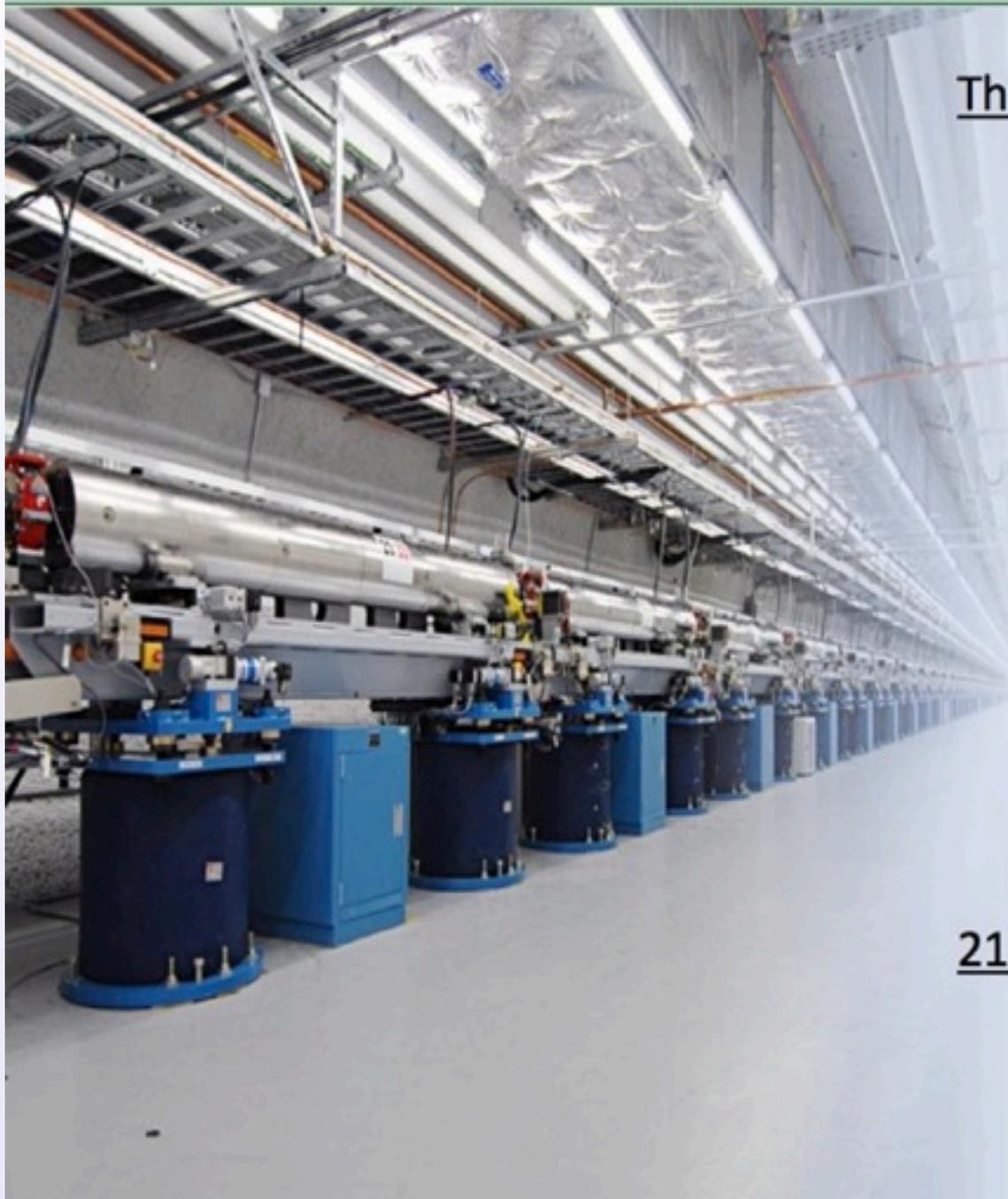
одно из них, возникает новое, и весь этот процесс становится все более медленным и все менее интересным. Так выглядит другой вариант конца. Но мне кажется, что так или иначе, но конец должен быть.

Нам необыкновенно повезло, что мы живем в век, когда еще можно делать открытия. Это как открытие Америки, которую открывают раз и навсегда. Век, в который мы живем, это век открытия основных законов природы, и это время уже никогда не повторится. Это удивительное время, время волнений и восторгов, но этому наступит конец. Конечно, в будущем интересы будут совсем другими. Тогда будут интересоваться взаимосвязями между явлениями разных уровней — биологическими и т. п. или, если речь идет об открытиях, исследованием других планет, но все равно это не будет тем же, что мы делаем сейчас.

Кроме того, в конце концов наступит время, когда все станет известным или дальнейший поиск окажется очень нудным, и тогда сами собой замолкнут кипучие споры по основным вопросам философии физики и исчезнет забота о тщательном обосновании всех тех принципов, о которых мы беседовали в этих лекциях. Наступит время философов, которые все время стояли в стороне, делая глупые замечания. Тогда нам не удастся уже оттереть их, сказав: «Если бы вы были правы, нам удалось бы сразу открыть все остальные законы». Ведь как только все законы станут известны, они смогут придумать для них объяснение. Например, всегда находится объяснение трехмерности нашего мира. Ведь у нас всего один мир, и трудно сказать, верно это объяснение или нет, так что, если бы все было известно, наверняка нашлось бы какое-то объяснение, почему эти законы верны. Но это объяснение уже нельзя будет критиковать за то, что оно не дает нам двигаться дальше. Наступит время вырождения идей, вырождение того же сорта, которое знакомо географу-первооткрывателю, узнавшему, что по его следам двинулись полчища туристов.

DOE Office of Science budget ~ \$5 billion/y

Science to Meet the Nation's Challenges Today and into the 21st Century



The Frontiers of Science

- Supporting research that led to over 100 Nobel Prizes during the past 6 decades—more than 20 in the past 10 years
- Supporting 25,000 Ph.D. scientists, graduate students, undergraduates, engineers, and support staff at more than 300 institutions
- Providing 45% of Federal support of basic research in the physical and energy related sciences and key components of the Nation's basic research in biology and computing

21st Century Tools of Science

- Providing the world's largest collection of scientific user facilities to over 29,000 users each year

DOE Office of Science Funding: % of Total Appropriation

