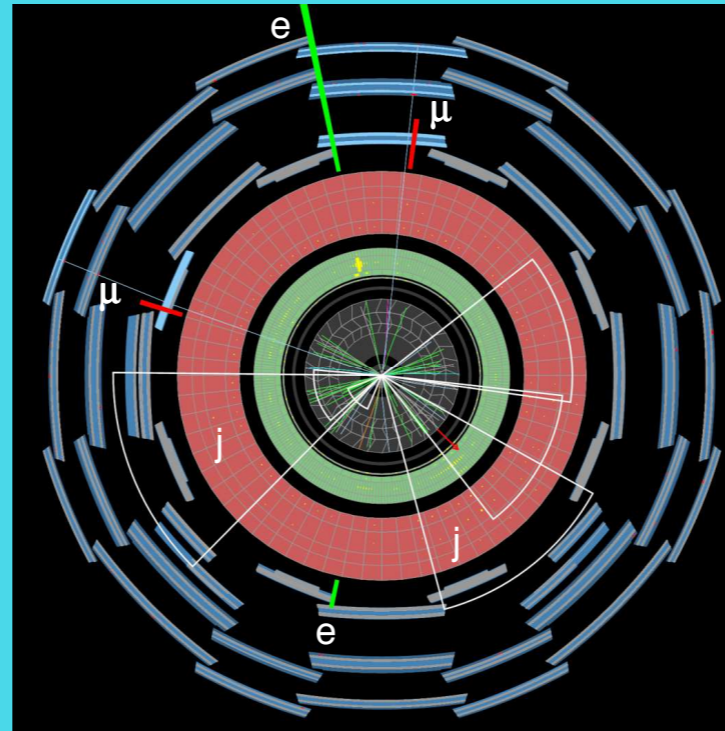


Хиггсовский бозон открыт: Что дальше?



Дмитрий Казаков

Лаборатория теоретической физики
Объединённый институт ядерных исследований (Дубна)

Московский Физико-Технический Институт

Научная сессия ОФН РАН "Физика на Большом адронном коллайдере. Бозон Хиггса".

26 февраля 2014 г.



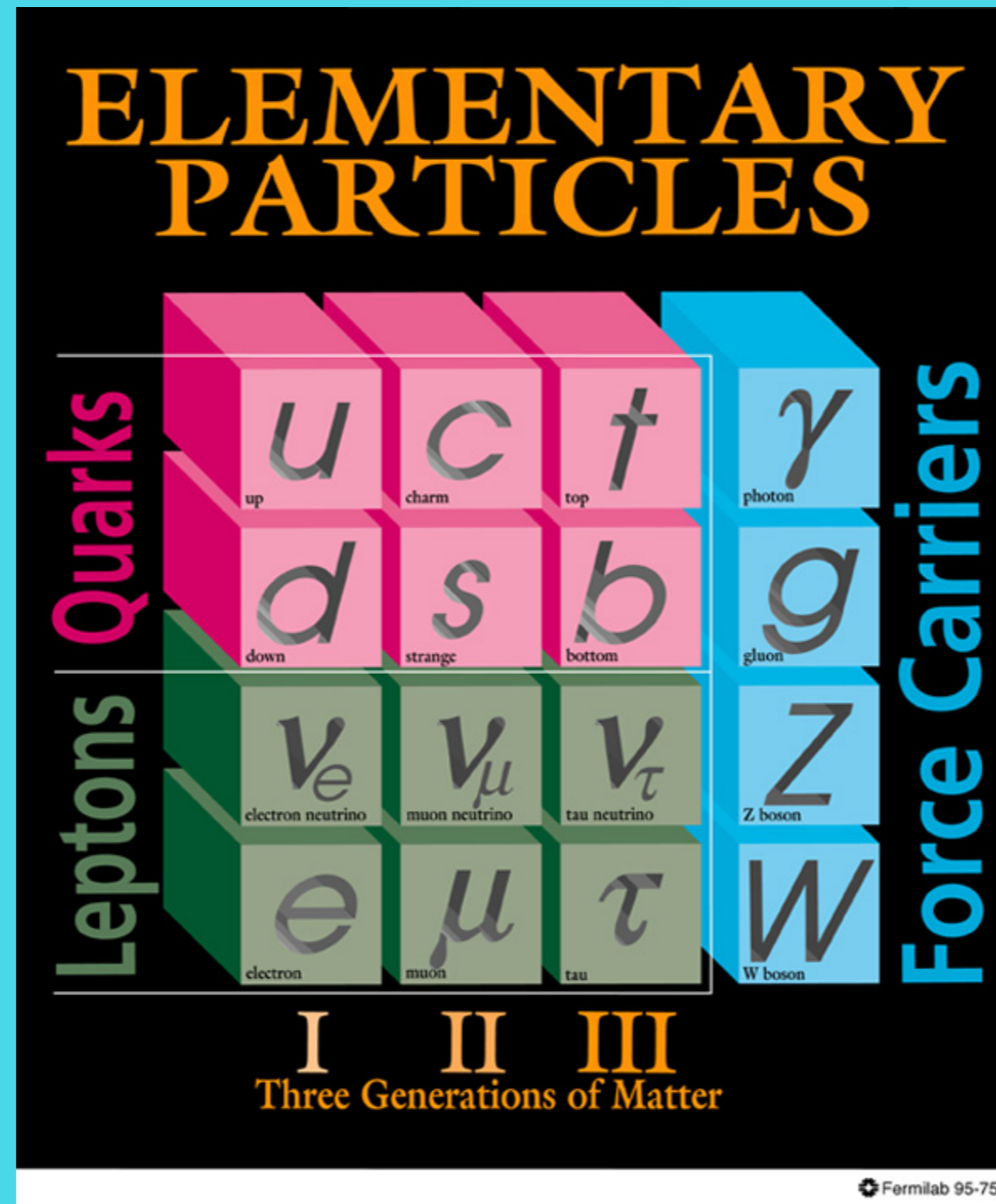
Стандартная Модель

SU(3)

SU(2)

U(1)

Фермионы



Силы

Электромагнитные

Сильные

Слабые

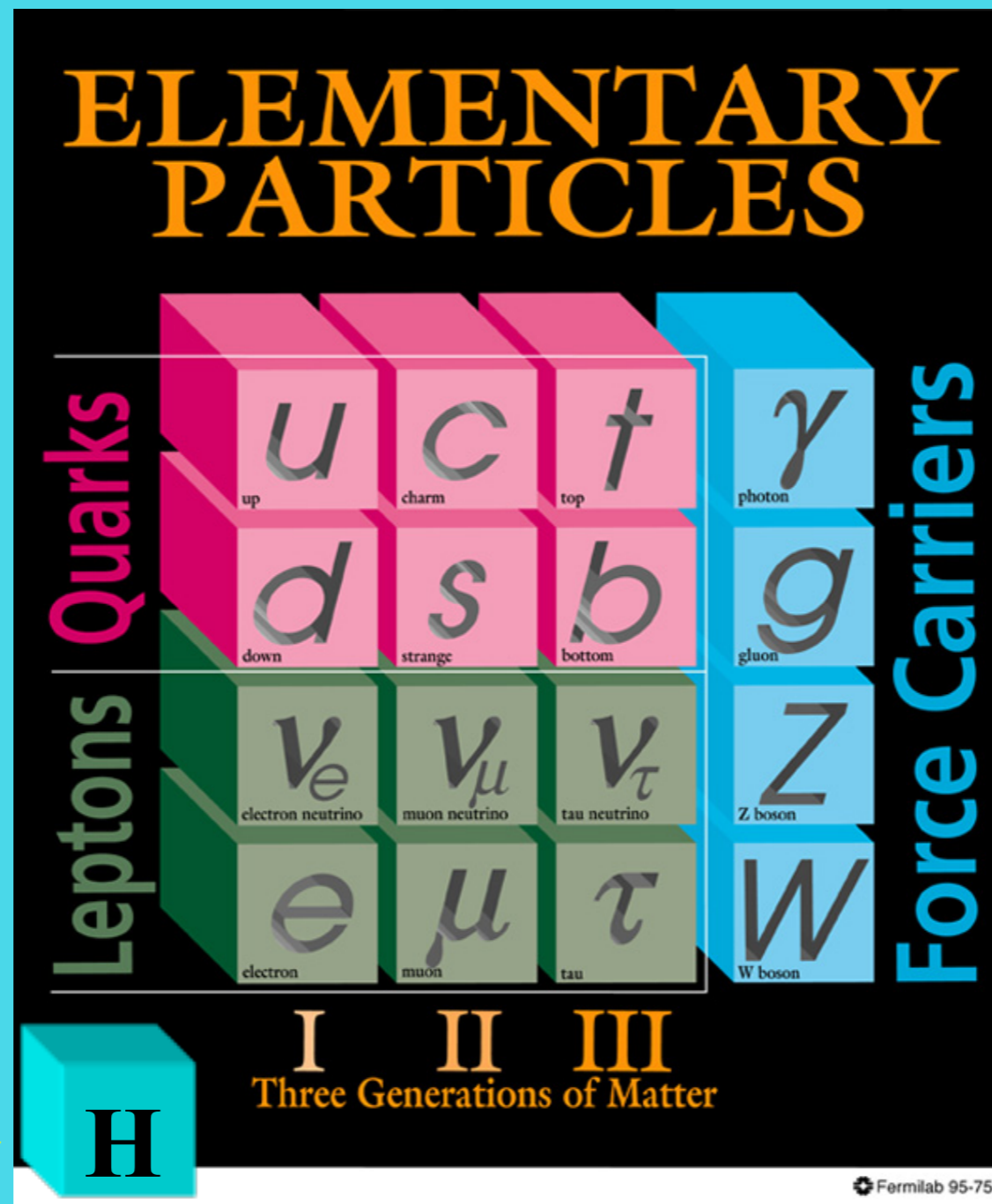
Стандартная Модель

SU(3)

SU(2)

U(1)

Фермионы



Силы

Электромагнитные

Сильные

Слабые

Хиггсовский бозон



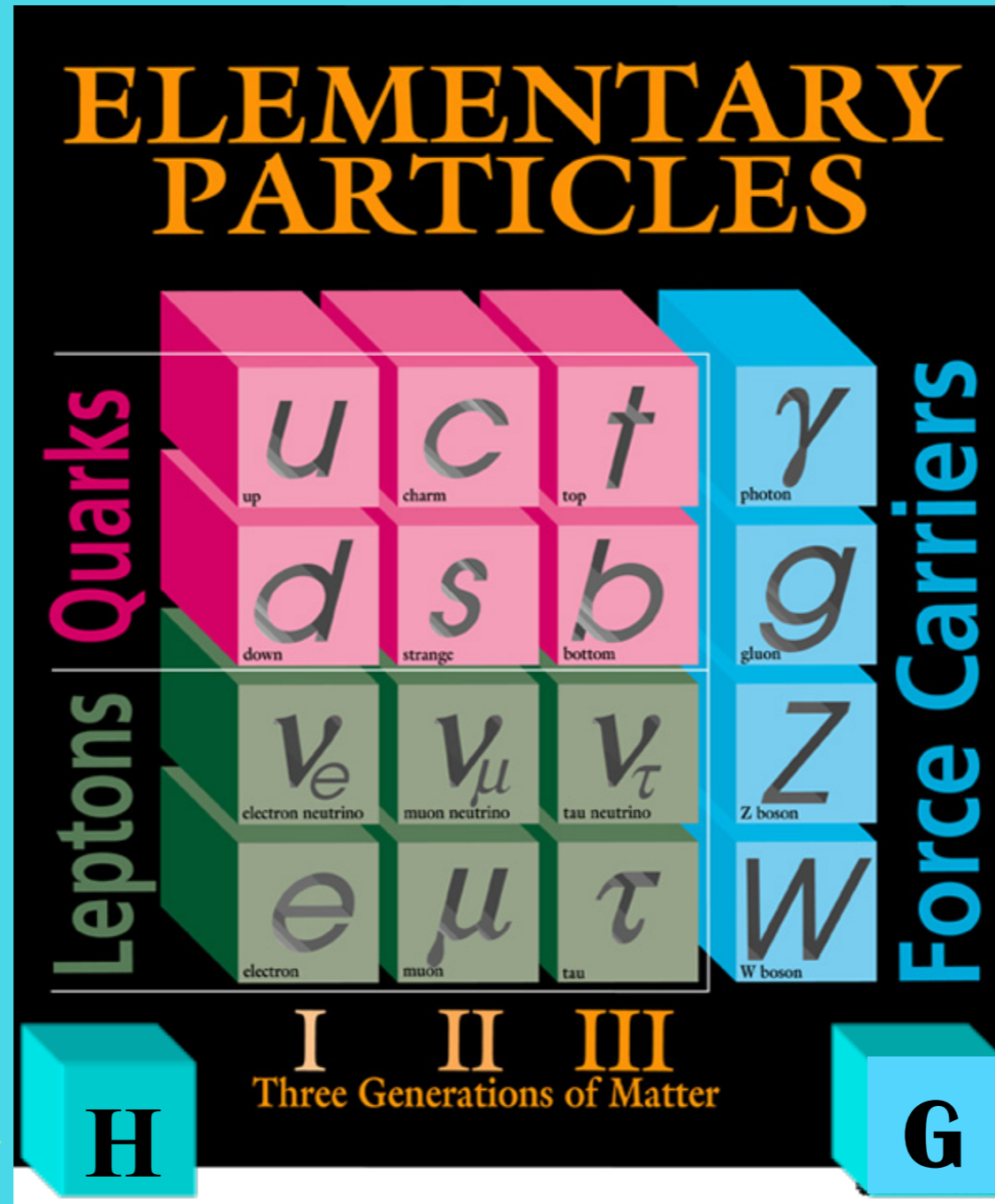
Стандартная Модель

SU(3)

SU(2)

U(1)

Фермионы



Хиггсовский бозон



Силы

Электромагнитные

Сильные

Слабые

Гравитация



Стандартная Модель

Стандартная Модель



Стандартная модель сильных, слабых и электромагнитных взаимодействий количественно описывает практически все наблюдаемые!

Стандартная Модель

-  **Стандартная модель** сильных, слабых и электромагнитных взаимодействий количественно описывает практически все наблюдаемые!
-  Нейтринные осцилляции требуют (возможно) лишь минимальной модификации модели.

Стандартная Модель

- 🌍 Стандартная модель сильных, слабых и электромагнитных взаимодействий количественно описывает практически все наблюдаемые!
- 🌍 Нейтринные осцилляции требуют (возможно) лишь минимальной модификации модели.
- 🌍 Имеются **5** фундаментальных сил природы переносимых частицами со спином 0, 1 и 2!

Стандартная Модель

- **Стандартная модель** сильных, слабых и электромагнитных взаимодействий количественно описывает практически все наблюдаемые!
- Нейтринные осцилляции требуют (возможно) лишь минимальной модификации модели.
- Имеются **5** фундаментальных сил природы переносимых частицами со спином 0, 1 и 2!
- Новые прецизионные тесты процессов с нарушением аромата и CP-нарушением прошли все проверки!

Стандартная Модель

- Стандартная модель сильных, слабых и электромагнитных взаимодействий количественно описывает практически все наблюдаемые!
- Нейтринные осцилляции требуют (возможно) лишь минимальной модификации модели.
- Имеются 5 фундаментальных сил природы переносимых частицами со спином 0, 1 и 2!
- Новые прецизионные тесты процессов с нарушением аромата и CP-нарушением прошли все проверки!

Это конец истории или этап?

Стандартная Модель

- **Стандартная модель** сильных, слабых и электромагнитных взаимодействий количественно описывает практически все наблюдаемые!
- Нейтринные осцилляции требуют (возможно) лишь минимальной модификации модели.
- Имеются **5** фундаментальных сил природы переносимых частицами со спином 0, 1 и 2!
- Новые прецизионные тесты процессов с нарушением аромата и CP-нарушением прошли все проверки!

Это конец истории или этап?

● Это начало большой программы исследований длиной в несколько десятилетий

Стандартная Модель Фундаментальных Взаимод.

Хиггсовский
Сектор

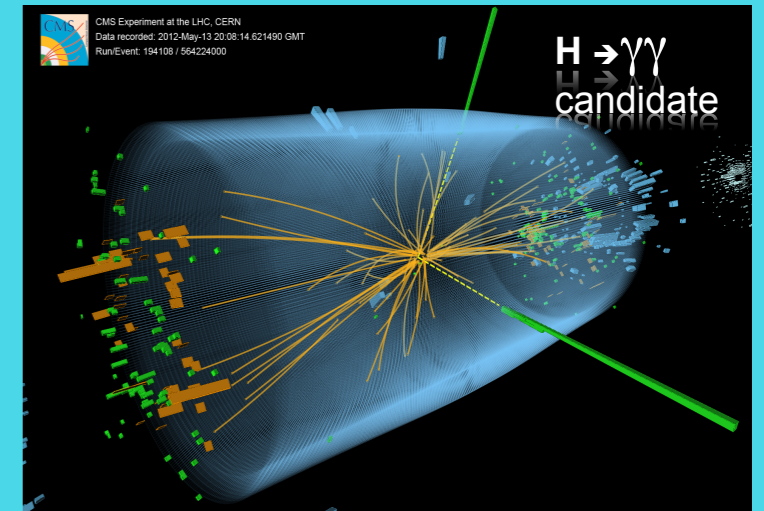
Нейтринный
Сектор

Поколения
и Ароматы

Тёмная
Материя

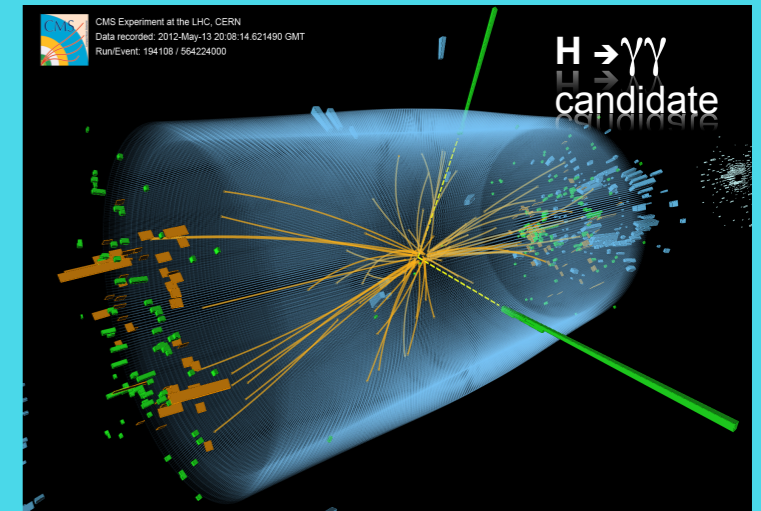
Новые частицы и взаимодействия

Хиггсовский сектор



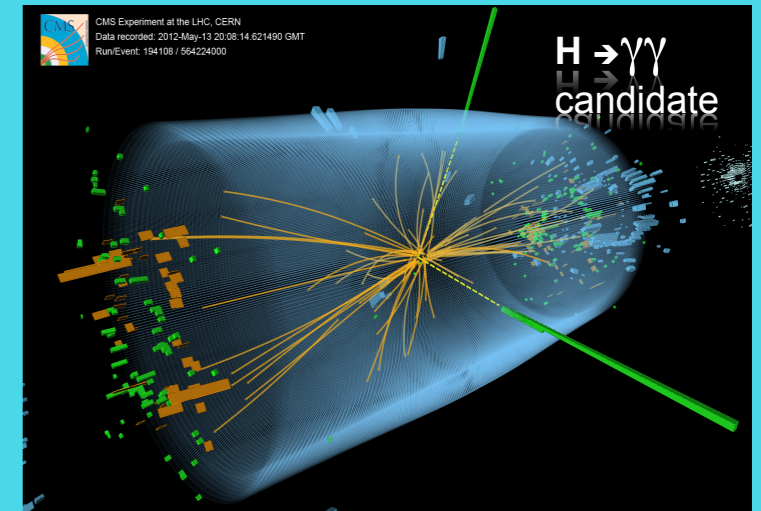
Хиггсовский сектор

- Это бозон Хиггса? - Вероятнее всего, да



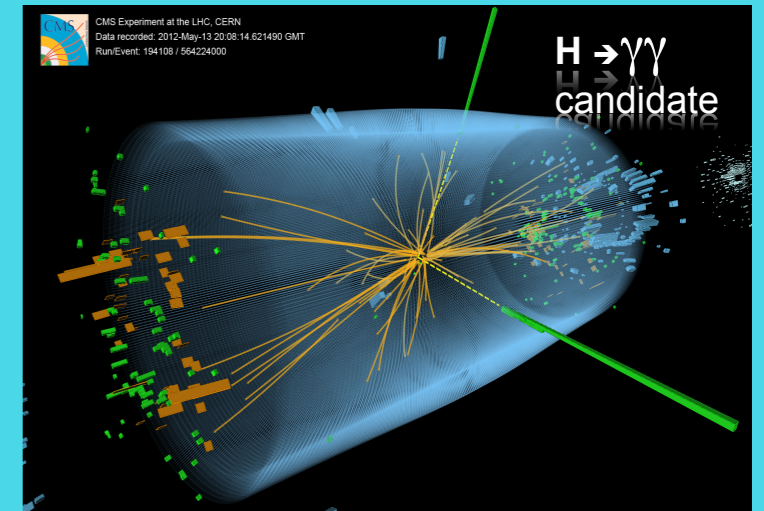
Хиггсовский сектор

- Это бозон Хиггса? - Вероятнее всего, да
- Это Бозон Хиггса Стандартной Модели? - Похоже



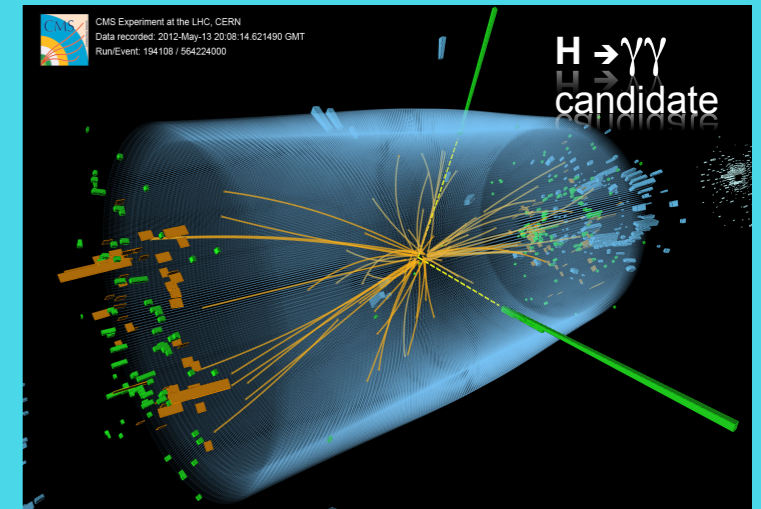
Хиггсовский сектор

- Это бозон Хиггса? - Вероятнее всего, да
- Это Бозон Хиггса Стандартной Модели? - Похоже
- Существуют ли альтернативы? - Да



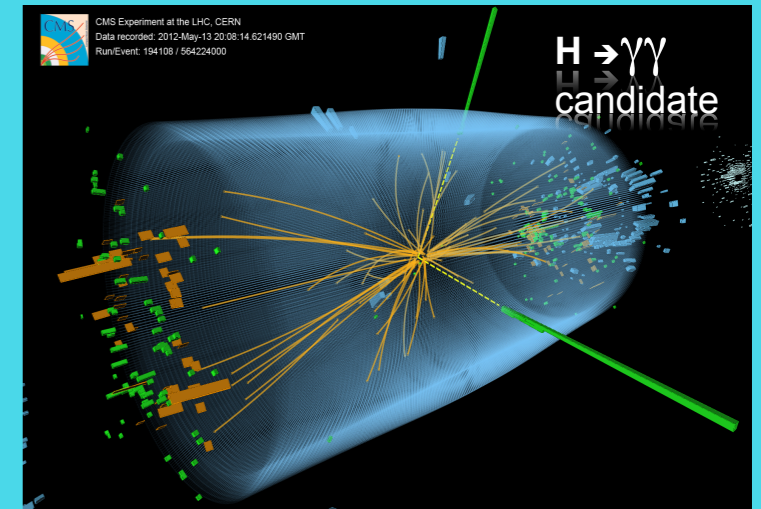
Хиггсовский сектор

- Это бозон Хиггса? - Вероятнее всего, да
- Это Бозон Хиггса Стандартной Модели? - Похоже
- Существуют ли альтернативы? - Да
- Может ли быть что мы видим не один бозон Хиггса? - Возможно



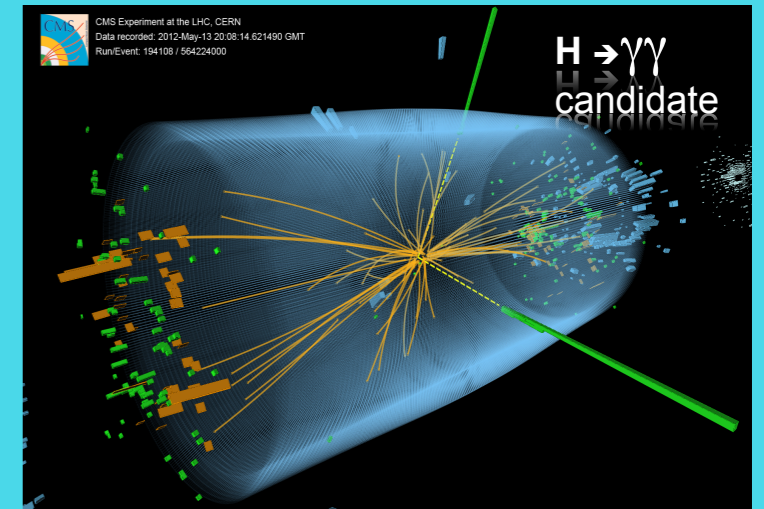
Хиггсовский сектор

- Это бозон Хиггса? - Вероятнее всего, да
- Это Бозон Хиггса Стандартной Модели? - Похоже
- Существуют ли альтернативы? - Да
- Может ли быть что мы видим не один бозон Хиггса? - Возможно
- Можно ли и как получить достоверные ответы на эти вопросы? - Да



Хиггсовский сектор

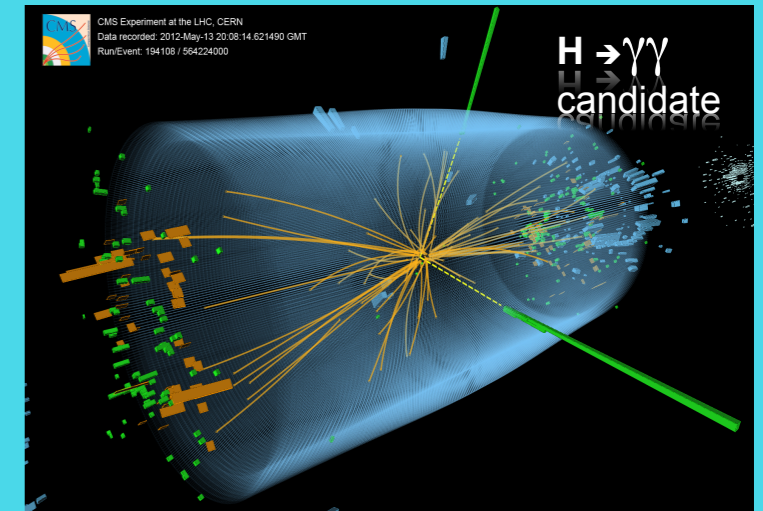
- Это бозон Хиггса? - Вероятнее всего, да
- Это Бозон Хиггса Стандартной Модели? - Похоже
- Существуют ли альтернативы? - Да
- Может ли быть что мы видим не один бозон Хиггса? - Возможно
- Можно ли и как получить достоверные ответы на эти вопросы? - Да



Новые эксперименты на LHC при удвоенной энергии и на новых (если будут построены) ускорителях позволят ответить на эти вопросы с хорошей точностью

Хиггсовский сектор

- Это бозон Хиггса? - Вероятнее всего, да
- Это Бозон Хиггса Стандартной Модели? - Похоже
- Существуют ли альтернативы? - Да
- Может ли быть что мы видим не один бозон Хиггса? - Возможно
- Можно ли и как получить достоверные ответы на эти вопросы? - Да



Новые эксперименты на LHC при удвоенной энергии и на новых (если будут построены) ускорителях позволят ответить на эти вопросы с хорошей точностью

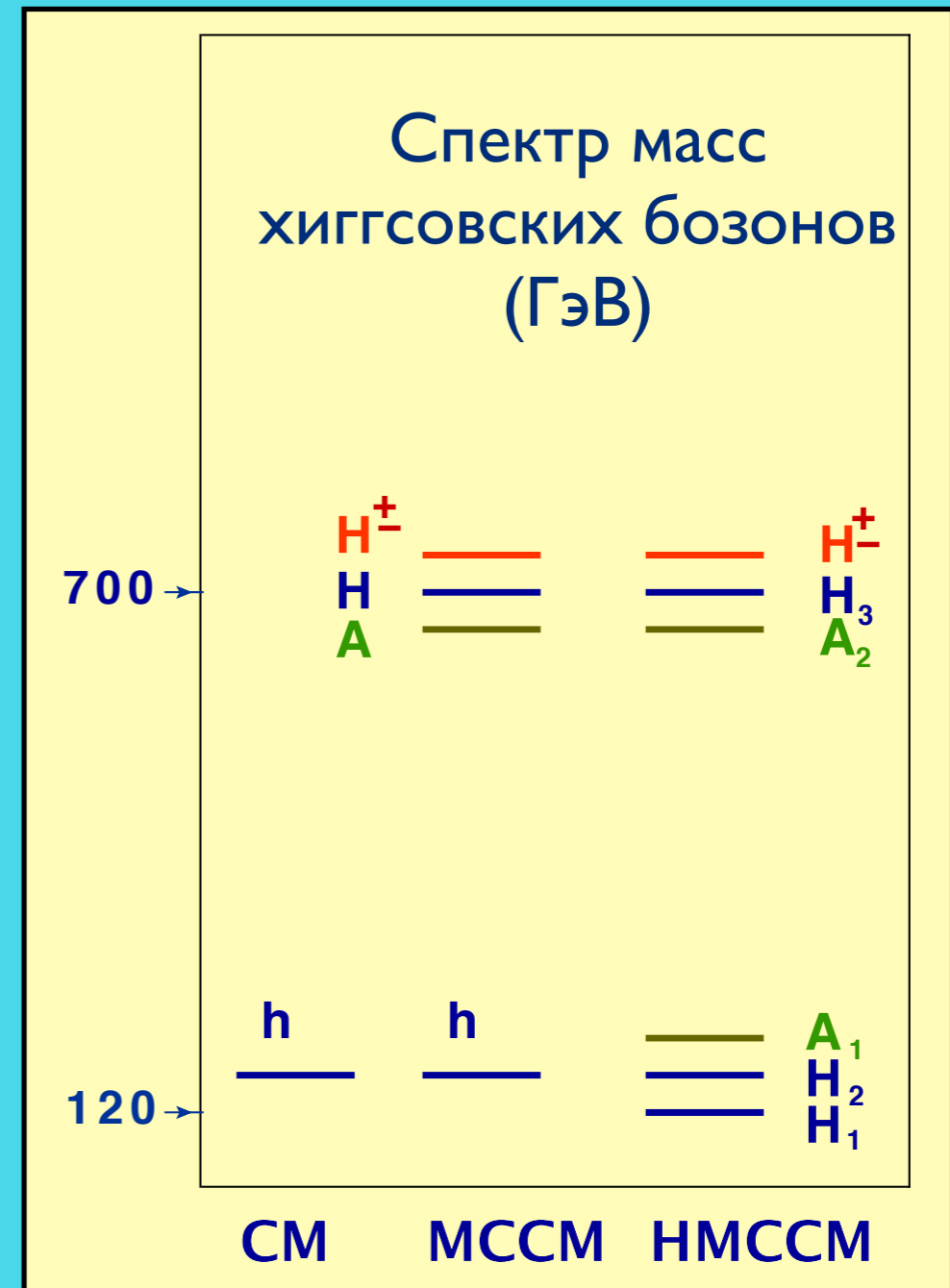
Мы получили подтверждение того, что частицы приобретают свои массы в результате взаимодействия с полем Браута-Энглера-Хиггса (какой-бы модели не соответствовал хиггсовский бозон).

Хиггсовский сектор: Альтернативы

Модель	Состав полей
SM	h CP-чётный
2HDM/MSSM	h, H CP-чётные A CP-нечётный H^\pm
NMSSM	H_1, H_2, H_3 CP-чётные A_1, A_2 CP-нечётные H^\pm
Composite	h CP-чётный + возбуждённые состояния

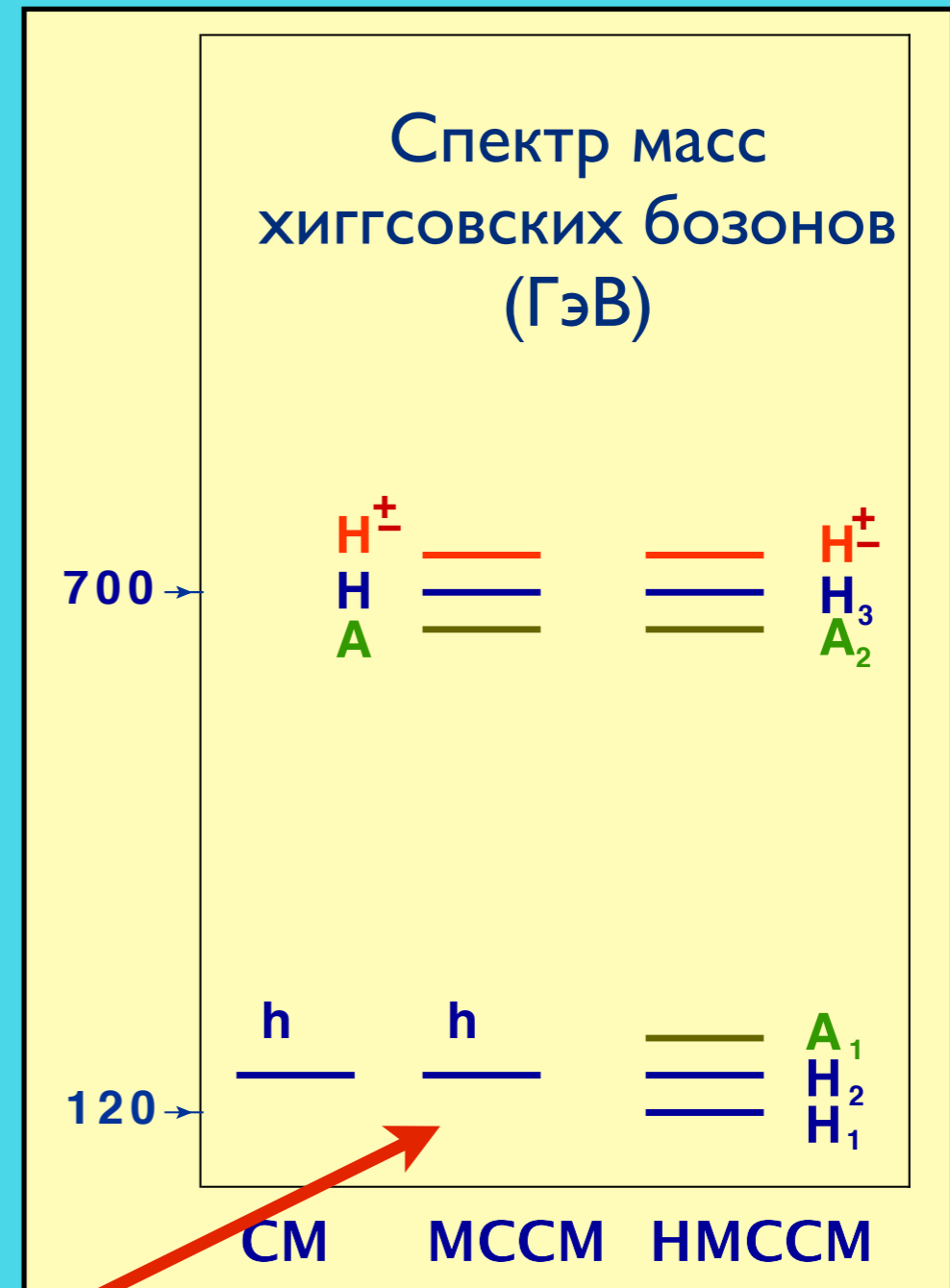
Хиггсовский сектор: Альтернативы

Модель	Состав полей
SM	h CP-чётный
2HDM/MSSM	h, H CP-чётные A CP-нечётный H^\pm
NMSSM	H_1, H_2, H_3 CP-чётные A_1, A_2 CP-нечётные H^\pm
Composite	h CP-чётный + возбуждённые состояния



Хиггсовский сектор: Альтернативы

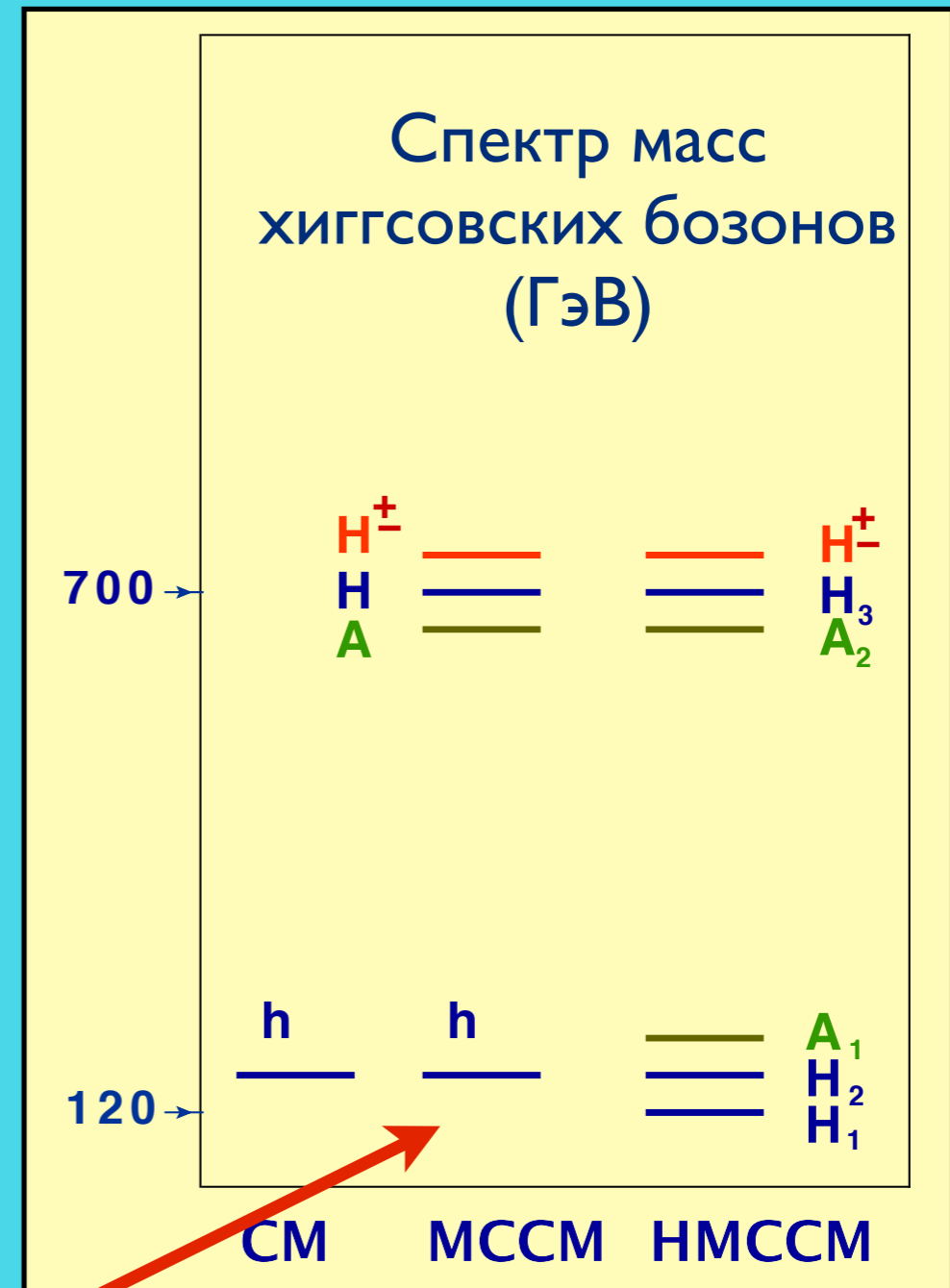
Модель	Состав полей
SM	h CP-чётный
2HDM/MSSM	h, H CP-чётные A CP-нечётный H^\pm
NMSSM	H_1, H_2, H_3 CP-чётные A_1, A_2 CP-нечётные H^\pm
Composite	h CP-чётный + возбуждённые состояния



Вполне возможно, что мы видим одно из ЭТИХ состояний

Хиггсовский сектор: Альтернативы

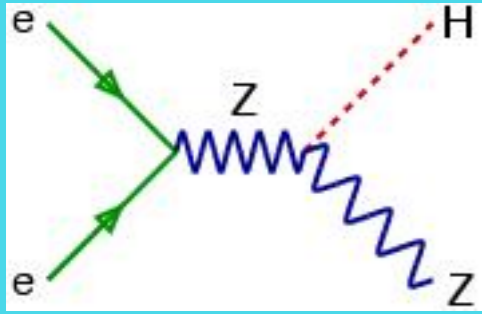
Модель	Состав полей
SM	h CP-чётный
2HDM/MSSM	h, H CP-чётные A CP-нечётный H^\pm
NMSSM	H_1, H_2, H_3 CP-чётные A_1, A_2 CP-нечётные H^\pm
Composite	h CP-чётный + возбуждённые состояния



Вполне возможно, что мы видим одно из этих состояний

Необходимо убедиться в наличии или отсутствии тяжёлых хиггсовских бозонов

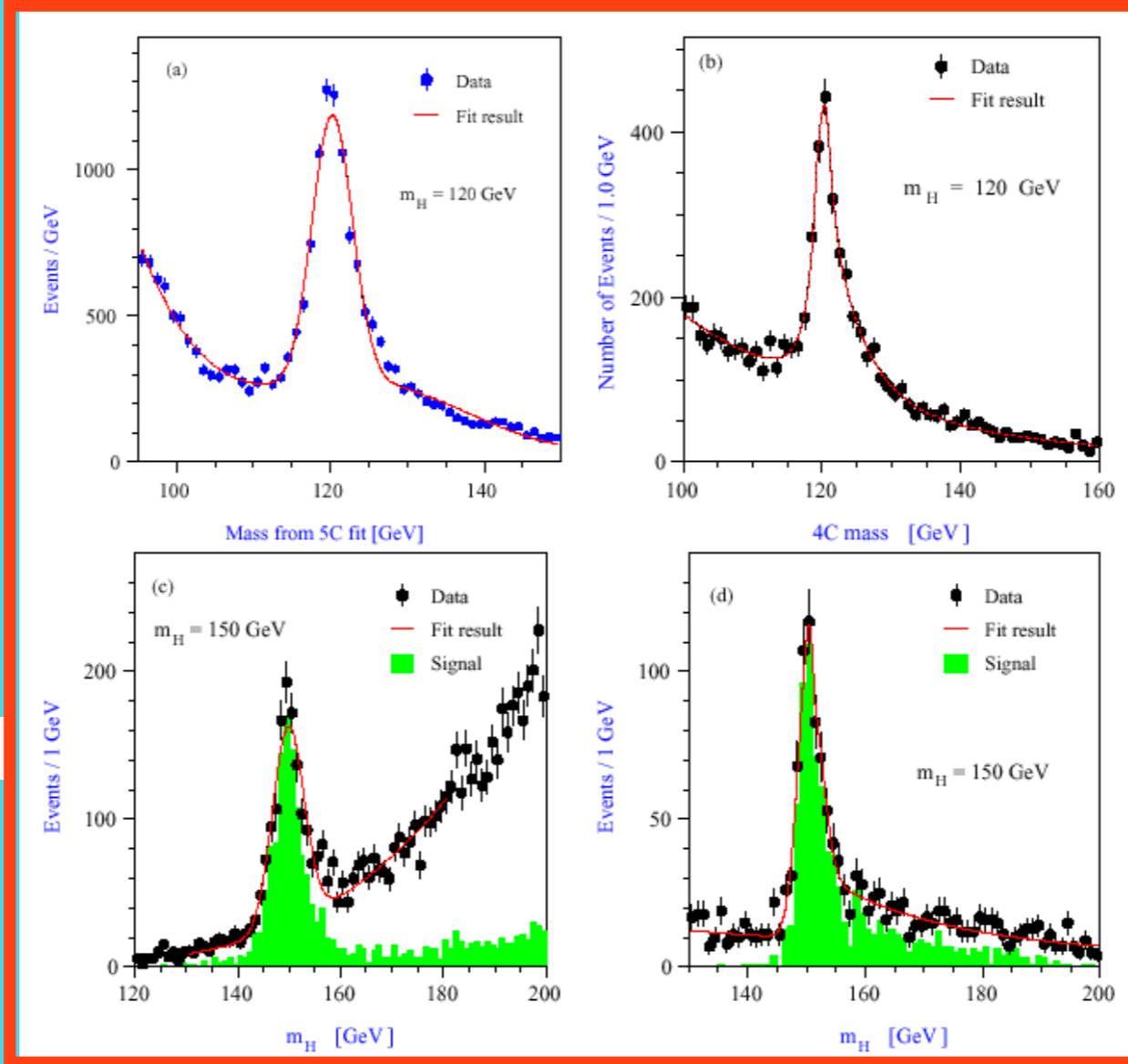
Прецизионная физика хиггсовских бозонов



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

$ee \rightarrow HZ$ diff. decay channels

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



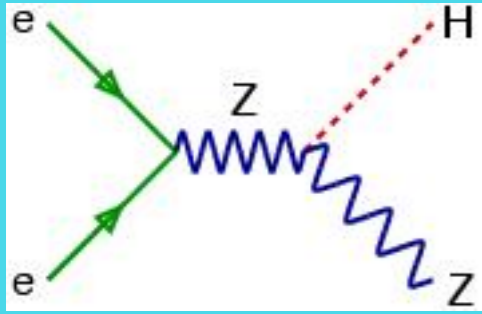
$\rightarrow q\bar{q}l^+l^-$

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

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

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

Прецизионная физика хиггсовских бозонов

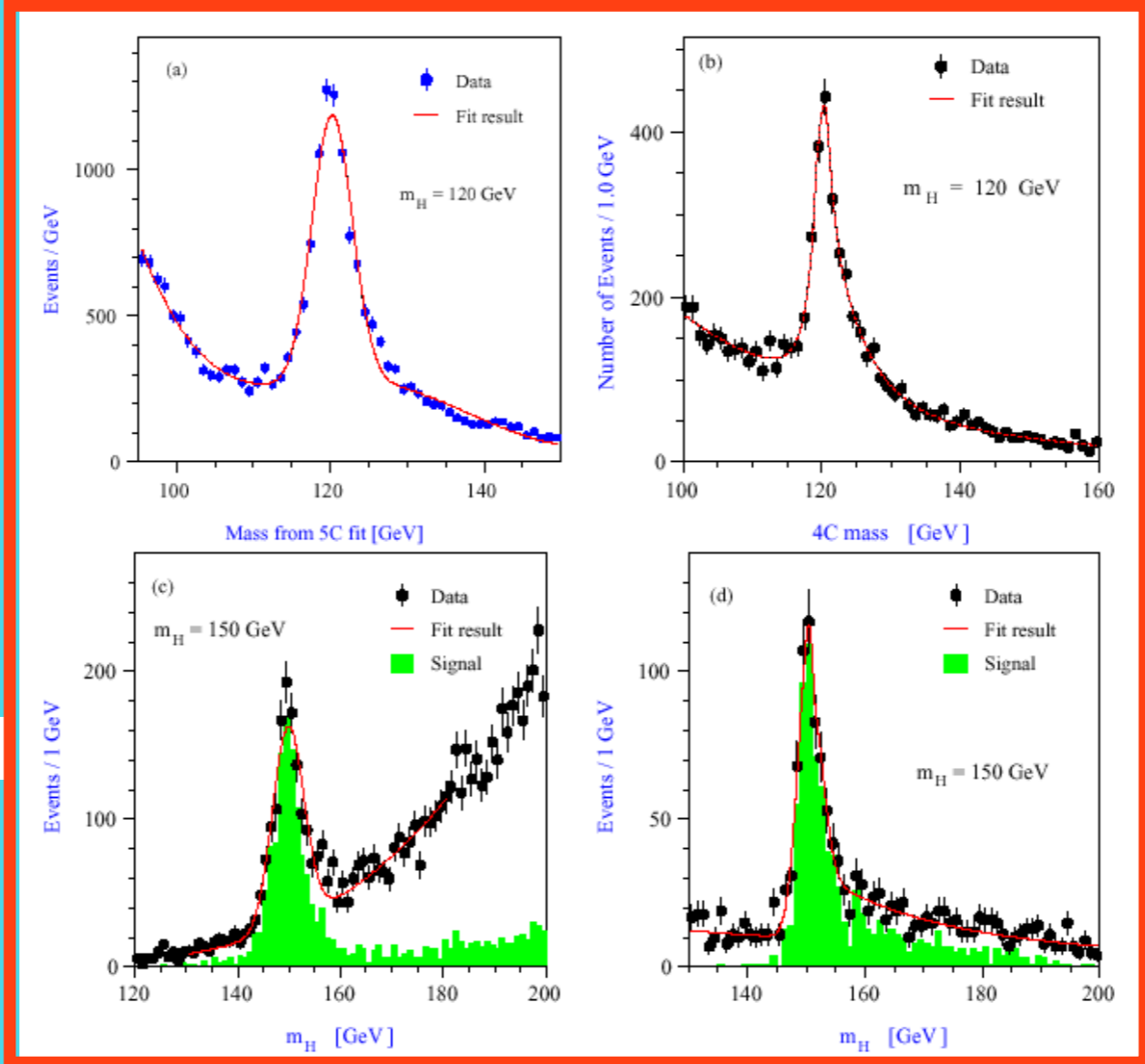


$$\rightarrow b\bar{b}q\bar{q}$$

$ee \rightarrow HZ$ diff. decay channels

Int Linear Collider

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



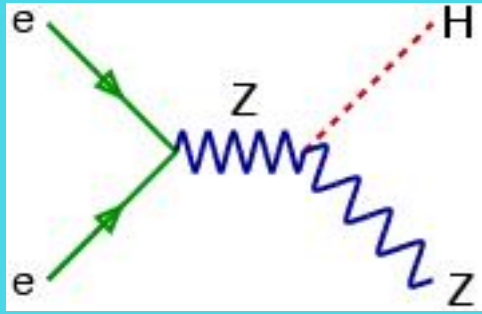
$$\rightarrow q\bar{q}l^+l^-$$

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

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

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

Прецизионная физика хиггсовских бозонов

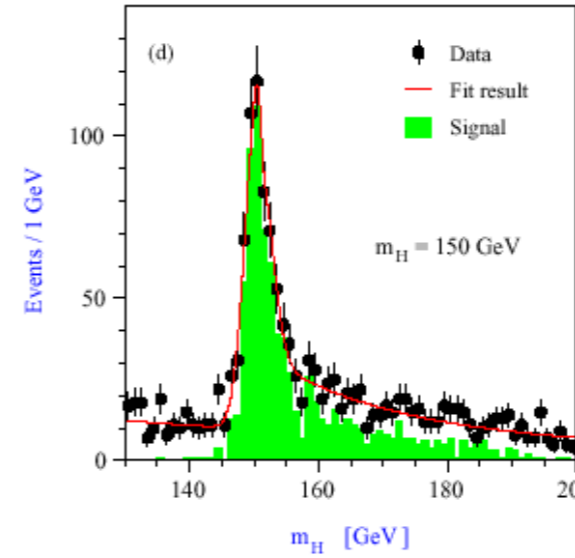
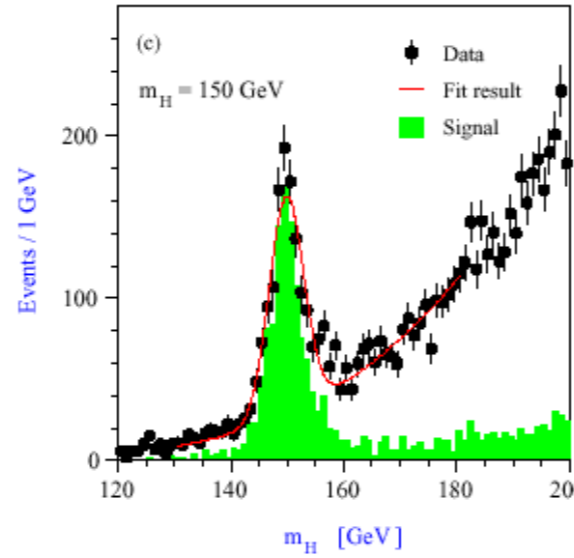
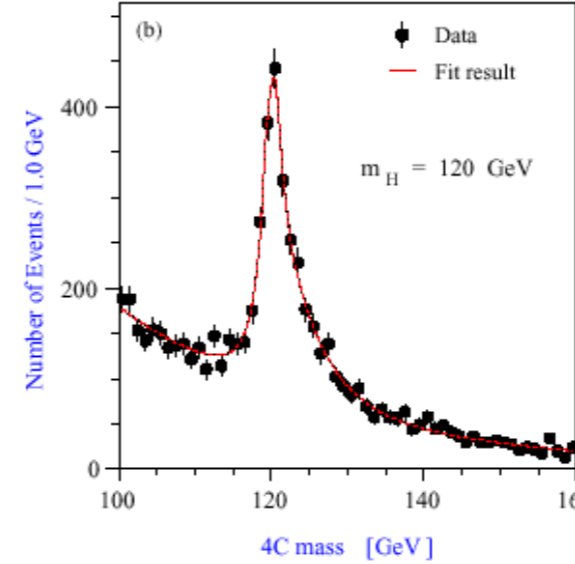
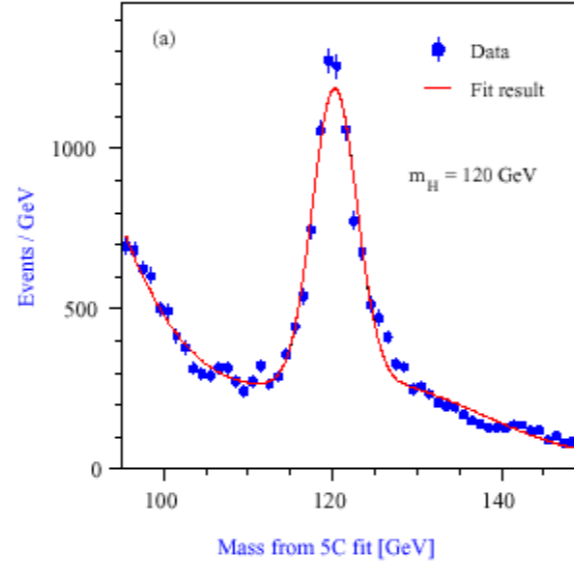


$$\rightarrow b\bar{b}q\bar{q}$$

$ee \rightarrow HZ$ diff. decay channels

Int Linear Collider

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



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

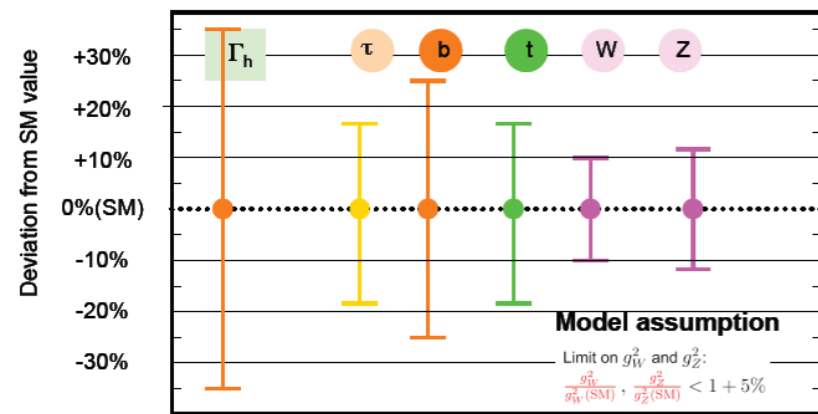
$$\Delta m_H = 40 \text{ MeV}$$

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

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

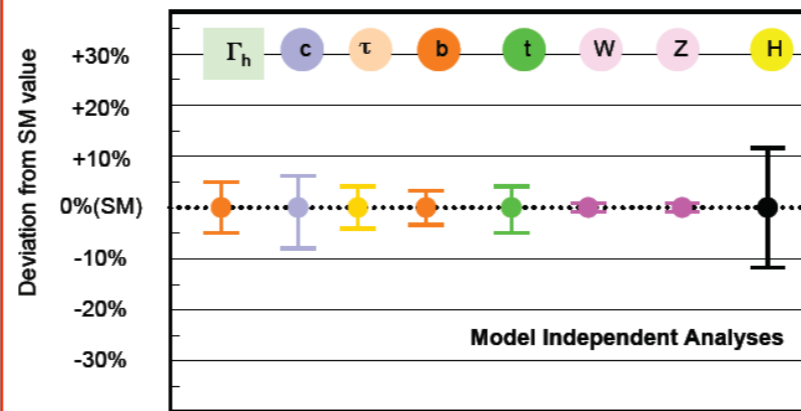
Coupling Precision

LHC 300 fb⁻¹ x 2

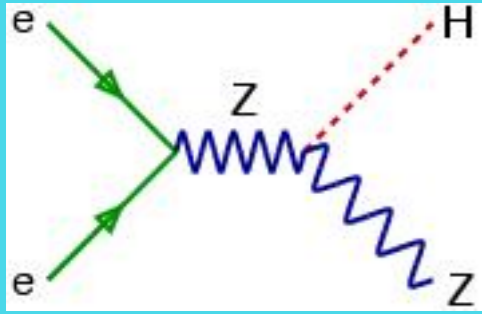


Coupling Precision

ILC



Прецизионная физика хиггсовских бозонов

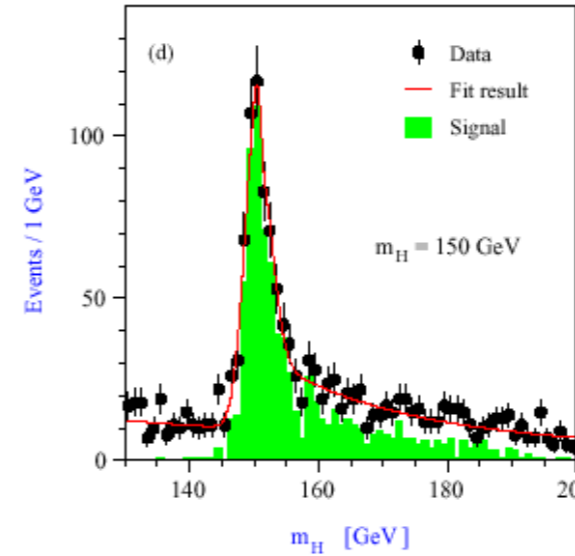
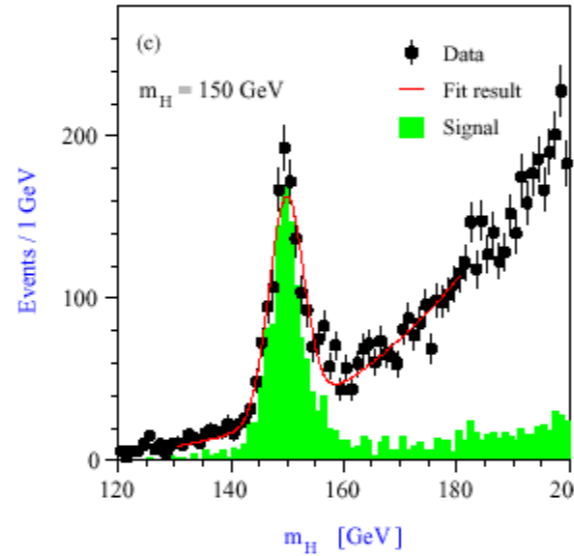
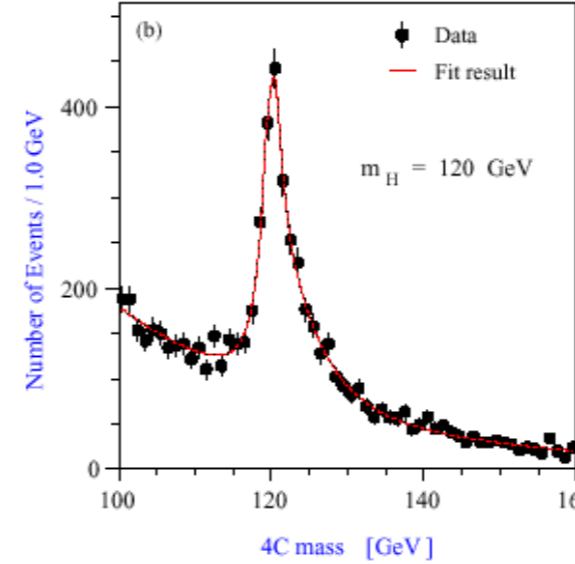
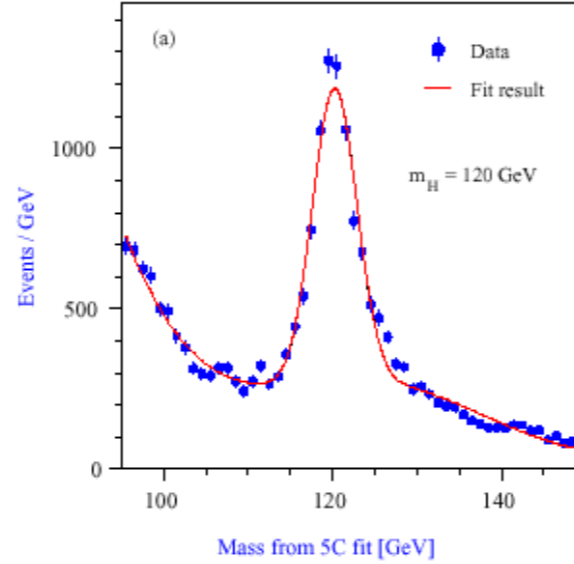


$$\rightarrow b\bar{b}q\bar{q}$$

$ee \rightarrow HZ$ diff. decay channels

Int Linear Collider

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



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

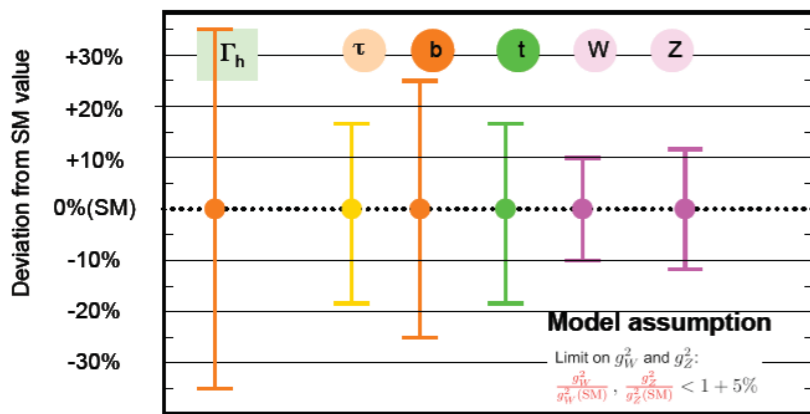
$$\Delta m_H = 40 \text{ MeV}$$

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

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

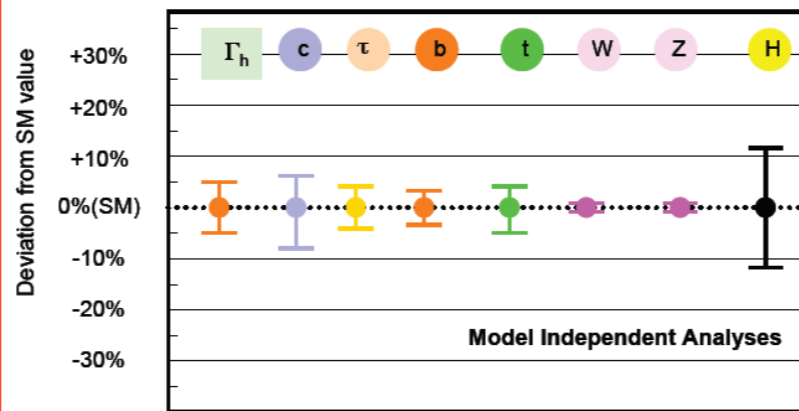
Coupling Precision

LHC 300 fb⁻¹ x 2



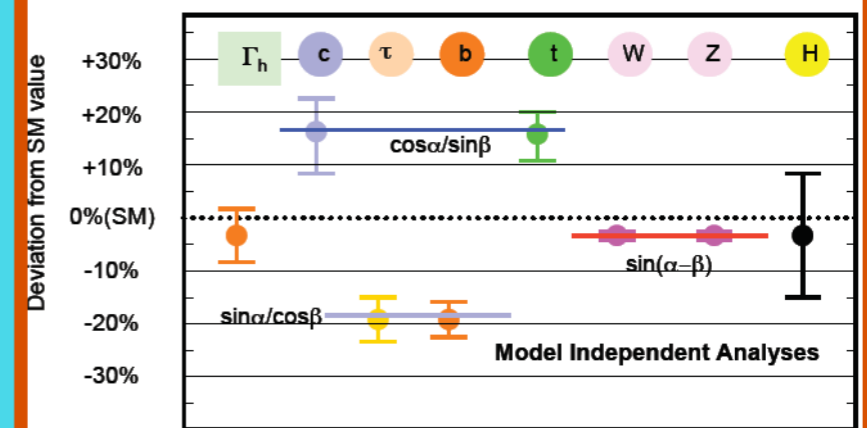
Coupling Precision

ILC



SUSY or 2HDM

ILC



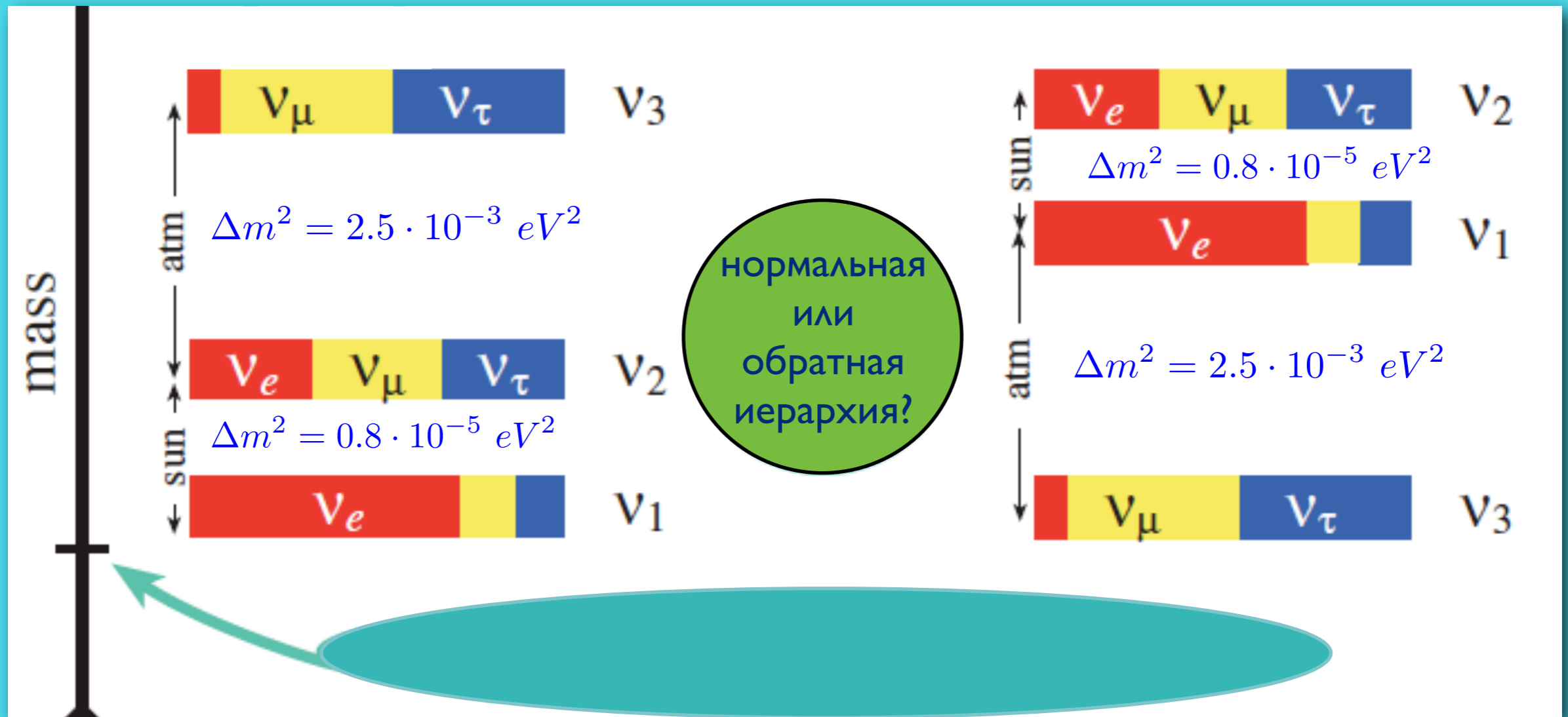
Нейтринный сектор

Нейтринный сектор

Массы нейтрино

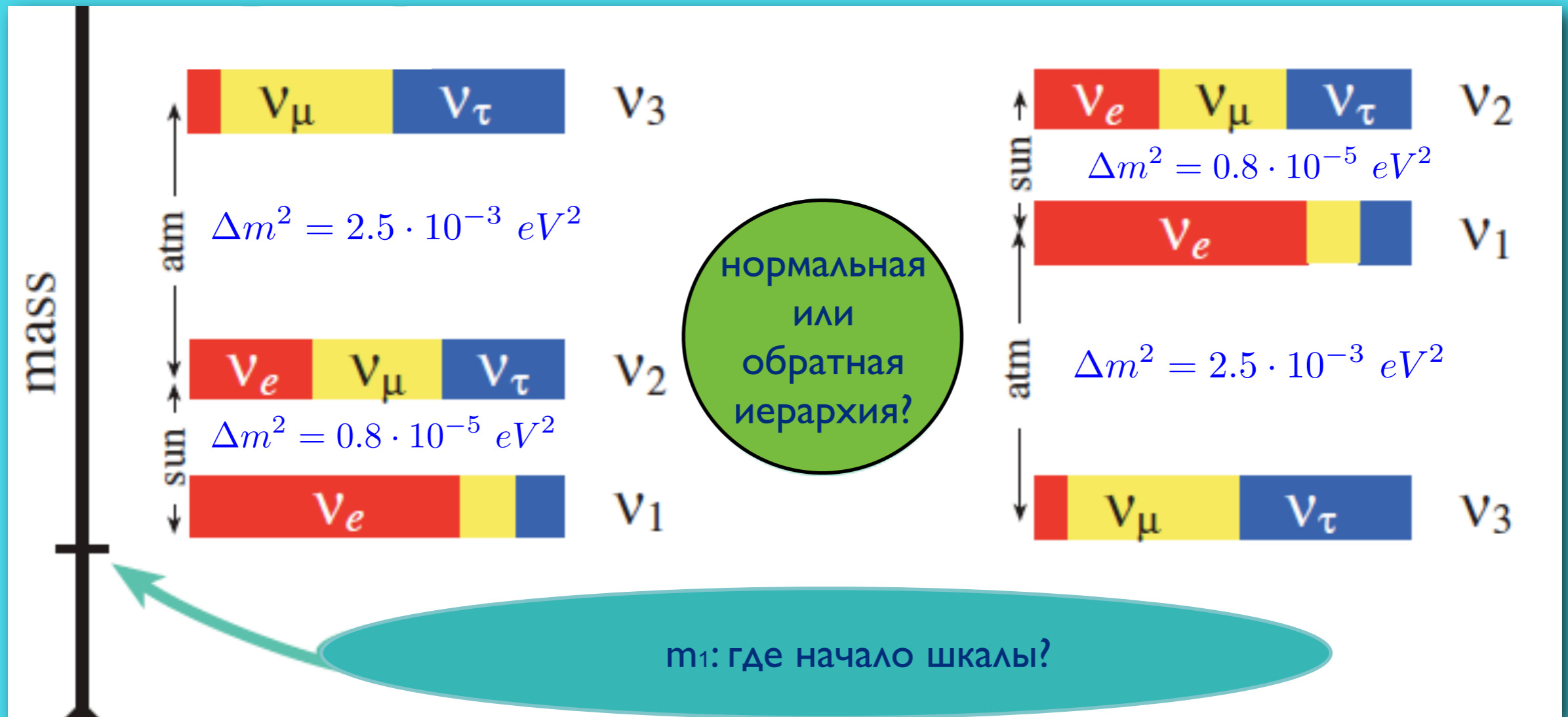
Нейтринный сектор

Массы нейтрино



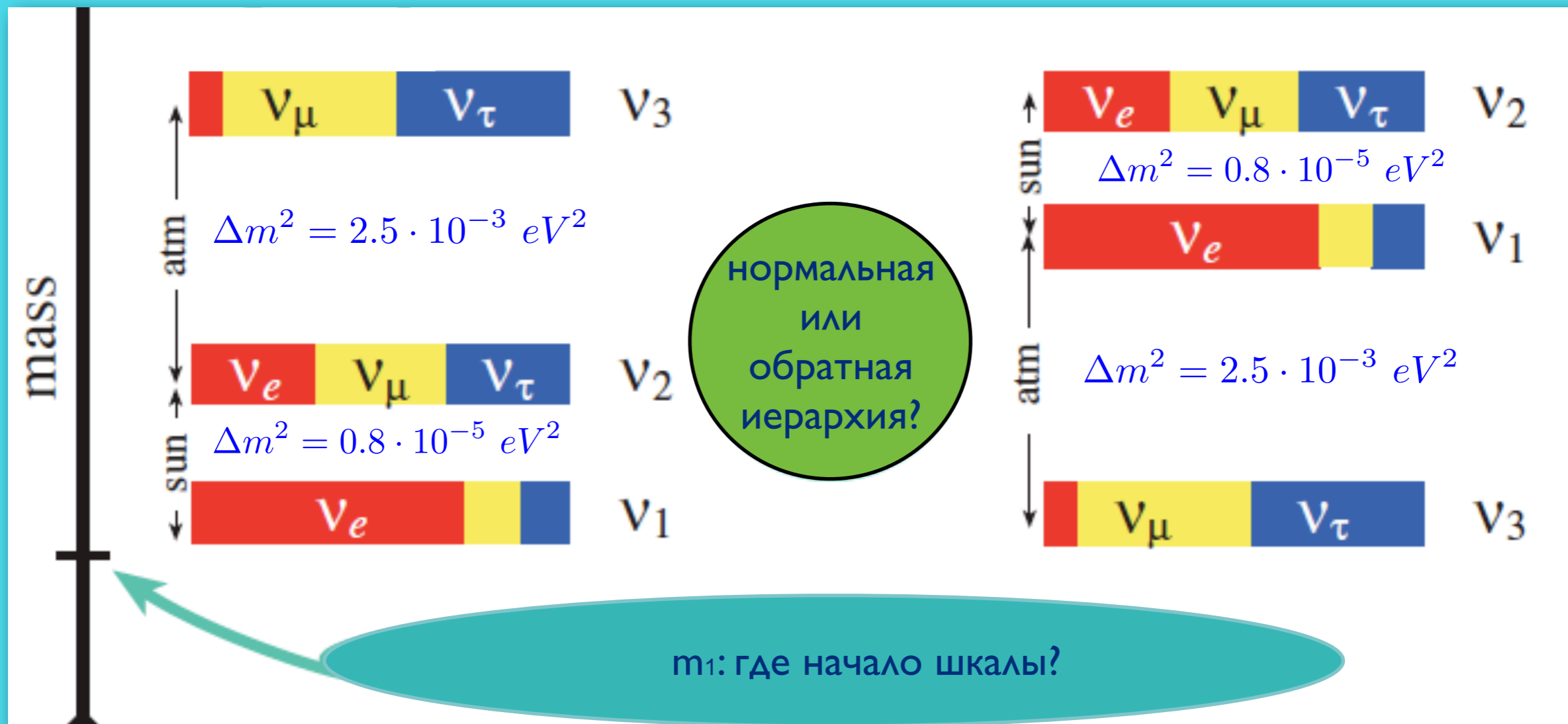
Нейтринный сектор

Массы нейтрино



Нейтринный сектор

Массы нейтрино



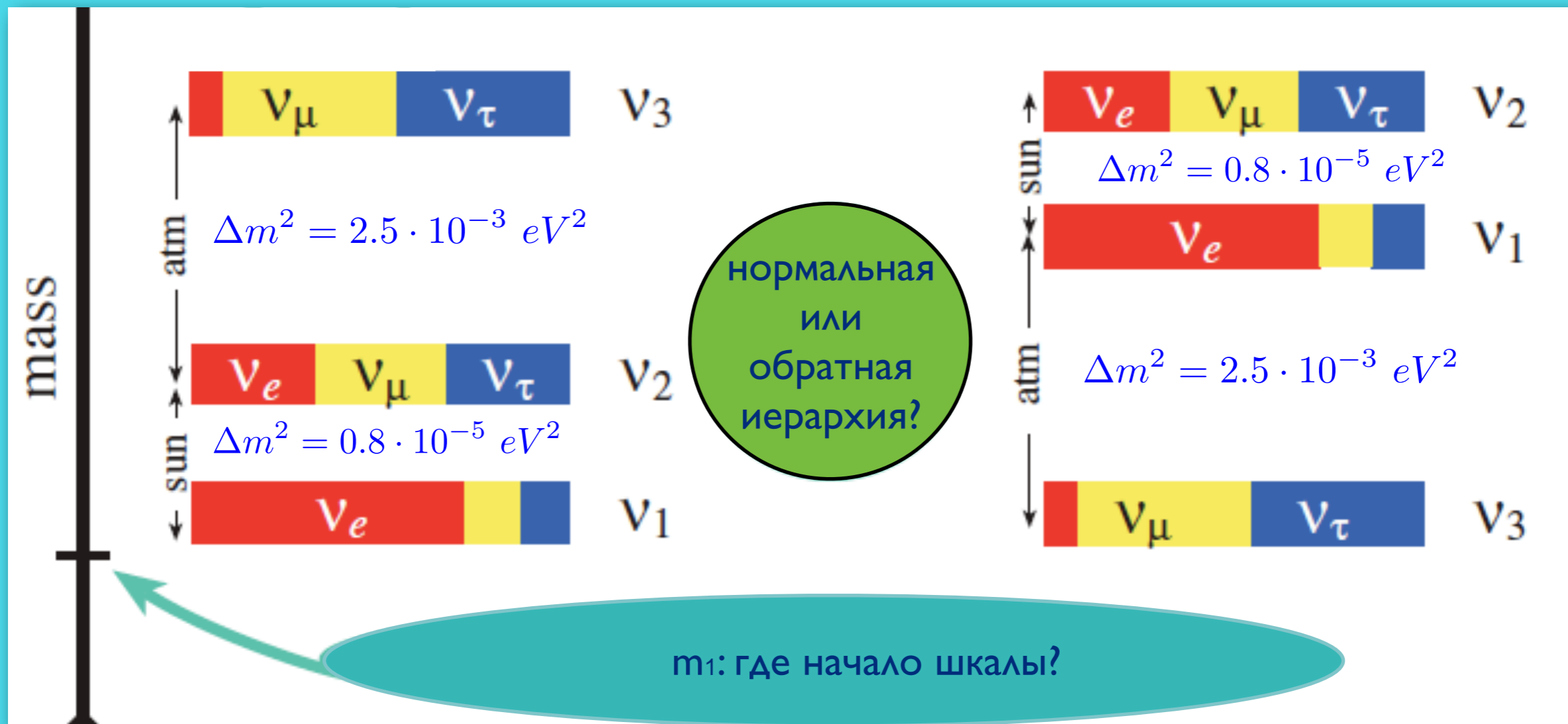
$$\sum m_\nu < 0.23 eV$$

космология: спектр
микроволнового фона

Planck

Нейтринный сектор

Массы нейтрино



$$\sum m_\nu < 0.23 \text{ eV}$$

космология: спектр микроволнового фона

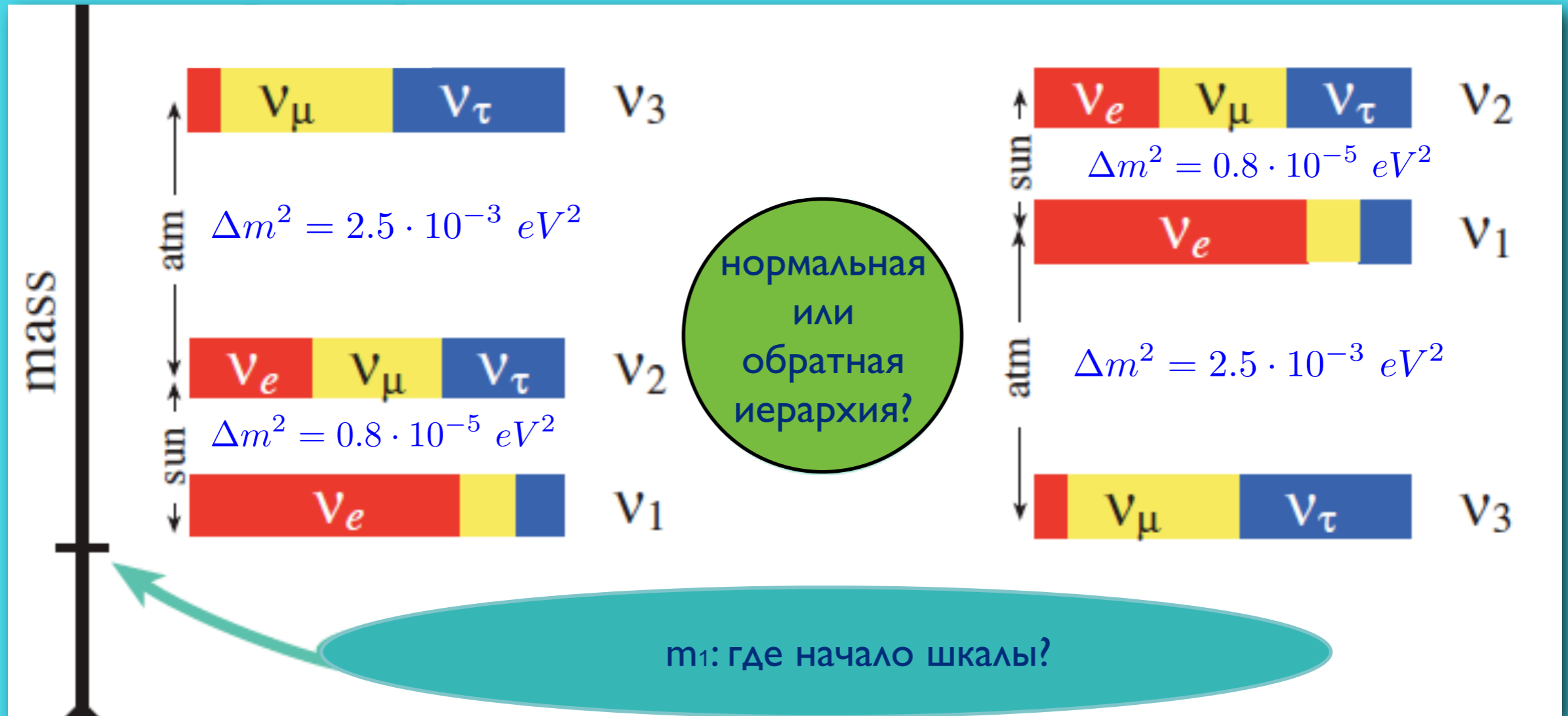
Planck

$$m_{\nu_e} < 2 \text{ eV}$$

β -распад
Троицк-Майнц

Нейтринный сектор

Массы нейтрино



$$\sum m_\nu < 0.23 \text{ eV}$$

космология: спектр
микроволнового фона

Planck

$$m_{\nu_e} < 2 \text{ eV}$$

β -распад
Троицк-Майнц

$$m_{\nu_e} < 0.2 \text{ eV}$$

KATRIN

Нейтринный сектор

Дирак или Майорана?

$$\nu_D = \begin{pmatrix} \nu_L \\ \nu_R \end{pmatrix} \quad \nu_{M_1} = \begin{pmatrix} \xi_1 \\ \xi_1^* \end{pmatrix}, \quad \nu_{M_2} = \begin{pmatrix} \xi_2 \\ \xi_2^* \end{pmatrix}$$

Нейтринный сектор

Дирак или Майорана?

$$\nu_D = \begin{pmatrix} \nu_L \\ \nu_R \end{pmatrix} \quad \nu_{M_1} = \begin{pmatrix} \xi_1 \\ \xi_1^* \end{pmatrix}, \quad \nu_{M_2} = \begin{pmatrix} \xi_2 \\ \xi_2^* \end{pmatrix}$$

$$\nu_D \neq \nu_D^*$$
$$m_{\nu_L} = m_{\nu_R}$$

Нейтринный сектор

Дирак или Майорана?

$$\nu_D = \begin{pmatrix} \nu_L \\ \nu_R \end{pmatrix} \quad \nu_{M_1} = \begin{pmatrix} \xi_1 \\ \xi_1^* \end{pmatrix}, \quad \nu_{M_2} = \begin{pmatrix} \xi_2 \\ \xi_2^* \end{pmatrix}$$

$$\nu_D \neq \nu_D^* \\ m_{\nu_L} = m_{\nu_R}$$

$$\nu_M = \nu_M^* \\ m_{\nu_{M_1}} \neq m_{\nu_{M_2}}$$

Нейтринный сектор

Дирак или Майорана?

$$\nu_D = \begin{pmatrix} \nu_L \\ \nu_R \end{pmatrix} \quad \nu_{M_1} = \begin{pmatrix} \xi_1 \\ \xi_1^* \end{pmatrix}, \quad \nu_{M_2} = \begin{pmatrix} \xi_2 \\ \xi_2^* \end{pmatrix}$$

$$\nu_D \neq \nu_D^* \\ m_{\nu_L} = m_{\nu_R}$$



$$\nu_M = \nu_M^* \\ m_{\nu_{M_1}} \neq m_{\nu_{M_2}}$$

Нейтринный сектор

Дирак или Майорана?

$$\nu_D = \begin{pmatrix} \nu_L \\ \nu_R \end{pmatrix} \quad \nu_{M_1} = \begin{pmatrix} \xi_1 \\ \xi_1^* \end{pmatrix}, \quad \nu_{M_2} = \begin{pmatrix} \xi_2 \\ \xi_2^* \end{pmatrix}$$

$$\nu_D \neq \nu_D^* \\ m_{\nu_L} = m_{\nu_R}$$



$$\nu_M = \nu_M^* \\ m_{\nu_{M_1}} \neq m_{\nu_{M_2}}$$

$0\nu\beta\beta$ decay

Нейтринный сектор

Дирак или Майорана?

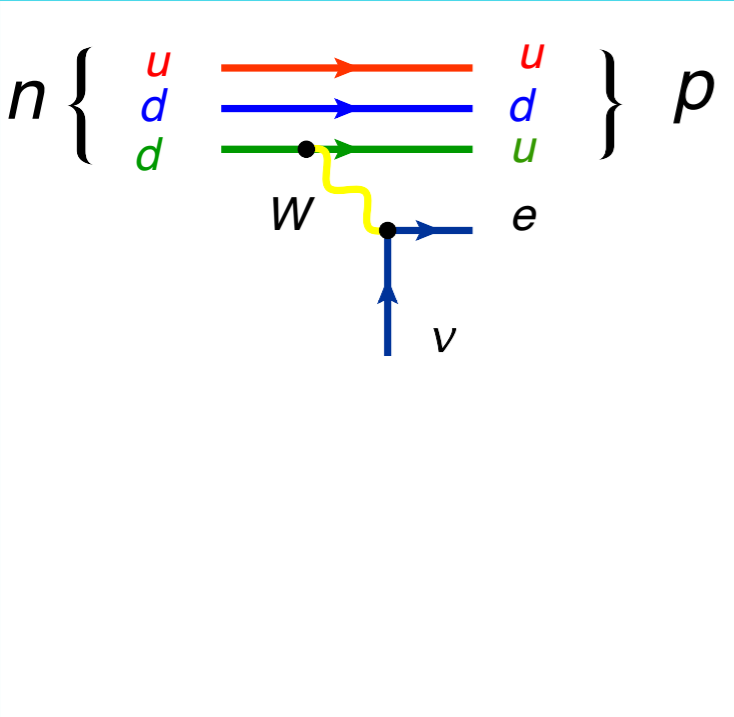
$$\nu_D = \begin{pmatrix} \nu_L \\ \nu_R \end{pmatrix} \quad \nu_{M_1} = \begin{pmatrix} \xi_1 \\ \xi_1^* \end{pmatrix}, \quad \nu_{M_2} = \begin{pmatrix} \xi_2 \\ \xi_2^* \end{pmatrix}$$

$$\nu_D \neq \nu_D^* \\ m_{\nu_L} = m_{\nu_R}$$



$$\nu_M = \nu_M^* \\ m_{\nu_{M_1}} \neq m_{\nu_{M_2}}$$

$0\nu\beta\beta$ decay



Нейтринный сектор

Дирак или Майорана?

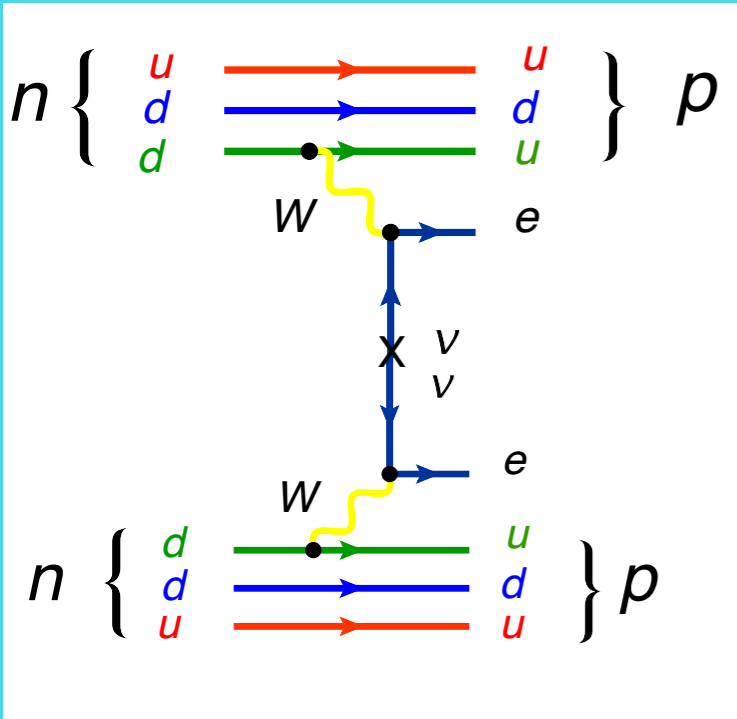
$$\nu_D = \begin{pmatrix} \nu_L \\ \nu_R \end{pmatrix} \quad \nu_{M_1} = \begin{pmatrix} \xi_1 \\ \xi_1^* \end{pmatrix}, \quad \nu_{M_2} = \begin{pmatrix} \xi_2 \\ \xi_2^* \end{pmatrix}$$

$$\nu_D \neq \nu_D^* \\ m_{\nu_L} = m_{\nu_R}$$



$$\nu_M = \nu_M^* \\ m_{\nu_{M_1}} \neq m_{\nu_{M_2}}$$

$0\nu\beta\beta$ decay



Нейтринный сектор

Дирак или Майорана?

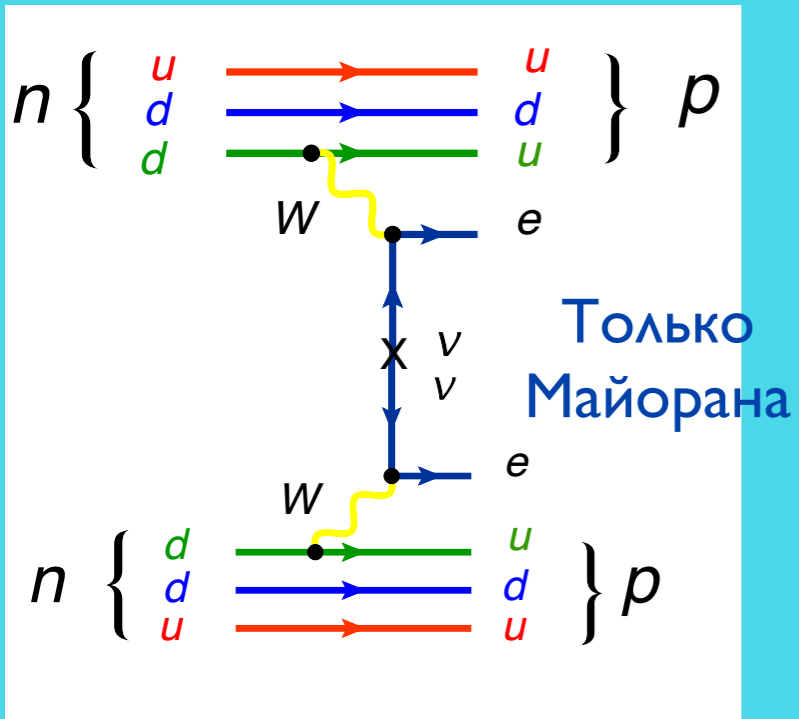
$$\nu_D = \begin{pmatrix} \nu_L \\ \nu_R \end{pmatrix} \quad \nu_{M_1} = \begin{pmatrix} \xi_1 \\ \xi_1^* \end{pmatrix}, \quad \nu_{M_2} = \begin{pmatrix} \xi_2 \\ \xi_2^* \end{pmatrix}$$

$$\nu_D \neq \nu_D^* \\ m_{\nu_L} = m_{\nu_R}$$



$$\nu_M = \nu_M^* \\ m_{\nu_{M_1}} \neq m_{\nu_{M_2}}$$

$0\nu\beta\beta$ decay



Нейтринный сектор

Дирак или Майорана?

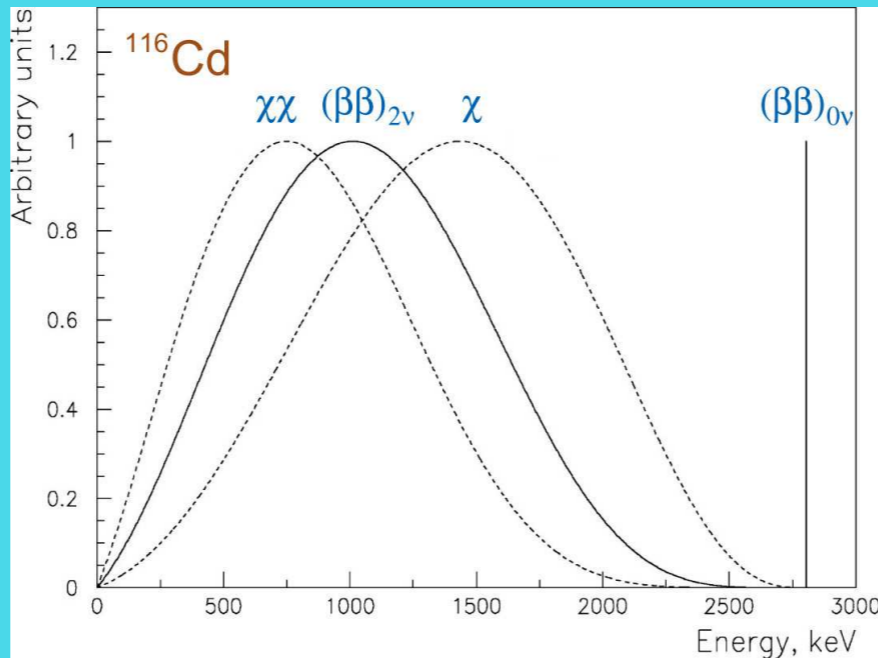
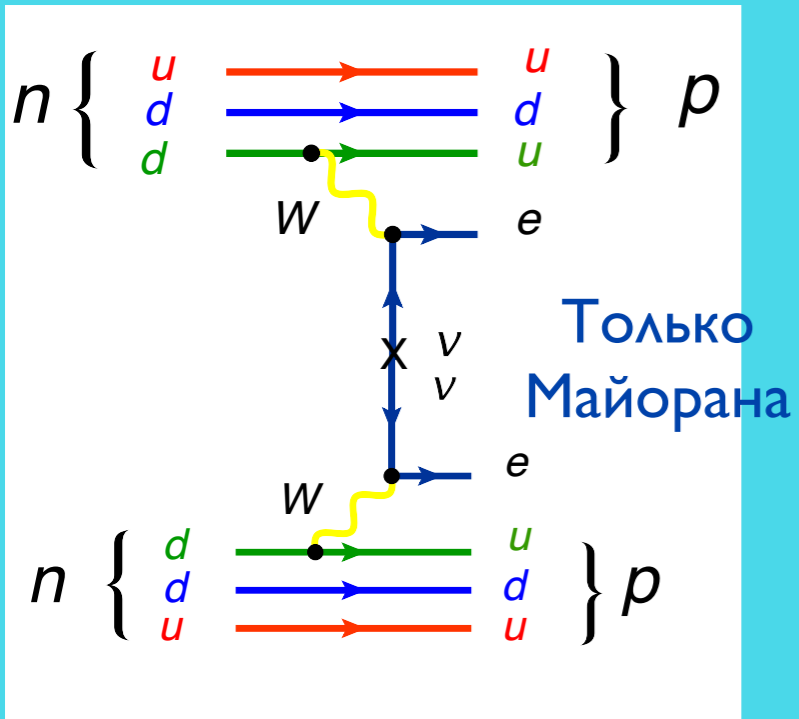
$$\nu_D = \begin{pmatrix} \nu_L \\ \nu_R \end{pmatrix} \quad \nu_{M_1} = \begin{pmatrix} \xi_1 \\ \xi_1^* \end{pmatrix}, \quad \nu_{M_2} = \begin{pmatrix} \xi_2 \\ \xi_2^* \end{pmatrix}$$

$$\nu_D \neq \nu_D^* \\ m_{\nu_L} = m_{\nu_R}$$



$$\nu_M = \nu_M^* \\ m_{\nu_{M_1}} \neq m_{\nu_{M_2}}$$

$0\nu\beta\beta$ decay



Нейтринный сектор

Дирак или Майорана?

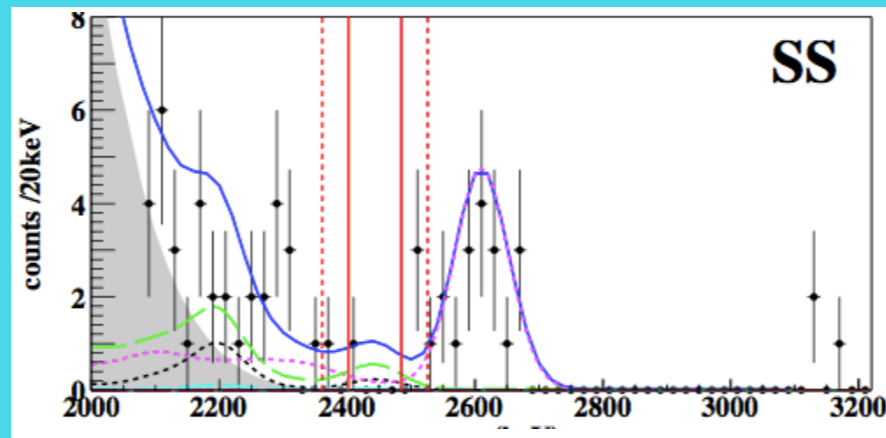
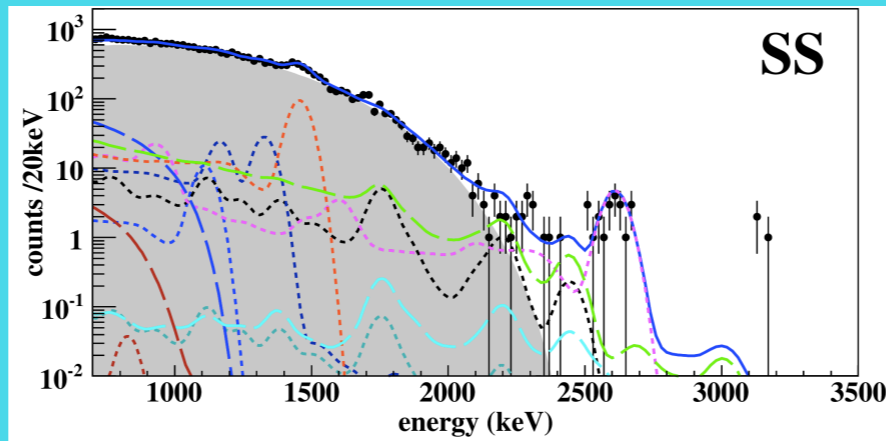
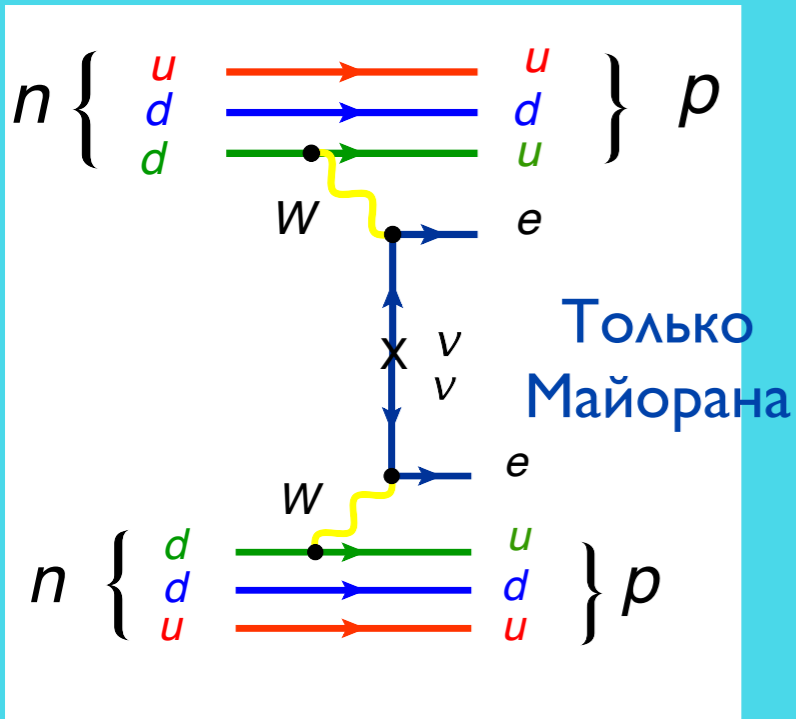
$$\nu_D = \begin{pmatrix} \nu_L \\ \nu_R \end{pmatrix} \quad \nu_{M_1} = \begin{pmatrix} \xi_1 \\ \xi_1^* \end{pmatrix}, \quad \nu_{M_2} = \begin{pmatrix} \xi_2 \\ \xi_2^* \end{pmatrix}$$

$$\nu_D \neq \nu_D^* \\ m_{\nu_L} = m_{\nu_R}$$



$$\nu_M = \nu_M^* \\ m_{\nu_{M_1}} \neq m_{\nu_{M_2}}$$

$0\nu\beta\beta$ decay



Candidate Isotope	Experiment
^{48}Ca	Candles
^{76}Ge	Gerda , Majorana
^{82}Se	SuperNemo, Lucifer
^{130}Te	CUORE
^{136}Xe	EXO , NEXT, KamLAND-Zen
^{150}Nd	SNO+

Нейтринный сектор

Дирак или Майорана?

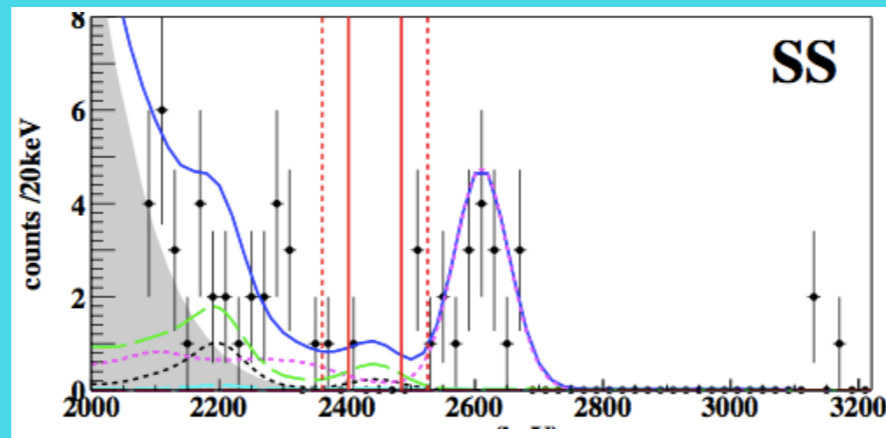
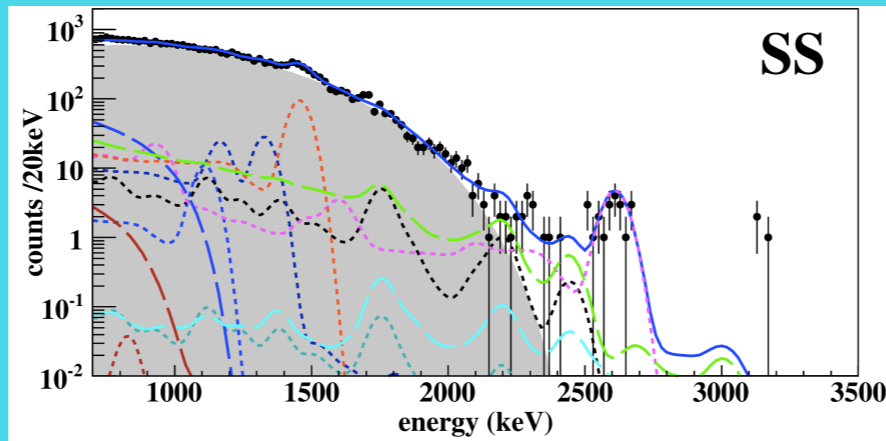
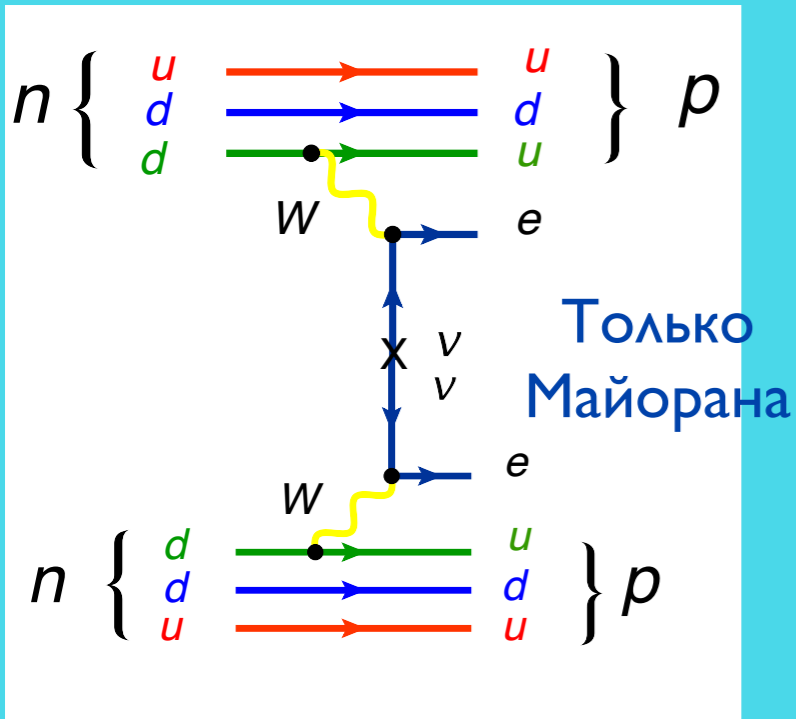
$$\nu_D = \begin{pmatrix} \nu_L \\ \nu_R \end{pmatrix} \quad \nu_{M_1} = \begin{pmatrix} \xi_1 \\ \xi_1^* \end{pmatrix}, \quad \nu_{M_2} = \begin{pmatrix} \xi_2 \\ \xi_2^* \end{pmatrix}$$

$$\nu_D \neq \nu_D^* \\ m_{\nu_L} = m_{\nu_R}$$



$$\nu_M = \nu_M^* \\ m_{\nu_{M_1}} \neq m_{\nu_{M_2}}$$

$0\nu\beta\beta$ decay



Candidate Isotope	Experiment
⁴⁸ Ca	Candles
⁷⁶ Ge	Gerda , Majorana
⁸² Se	SuperNemo, Lucifer
¹³⁰ Te	CUORE
¹³⁶ Xe	EXO , NEXT, KamLAND-Zen
¹⁵⁰ Nd	SNO+

$$T_{1/2} 2\nu\beta\beta (^{136}\text{Xe}) \times 10^{21} \text{ yr} = 2.23 \pm 0.017 \text{ stat} \pm 0.22 \text{ sys}$$

Нейтринный сектор

Дирак или Майорана?

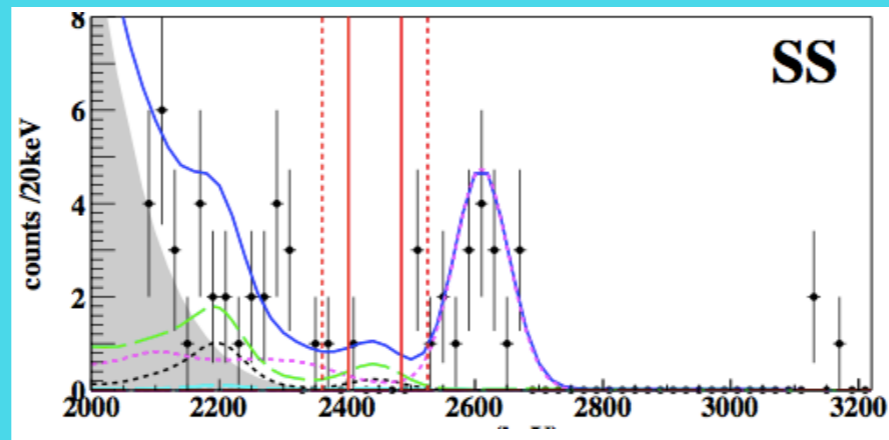
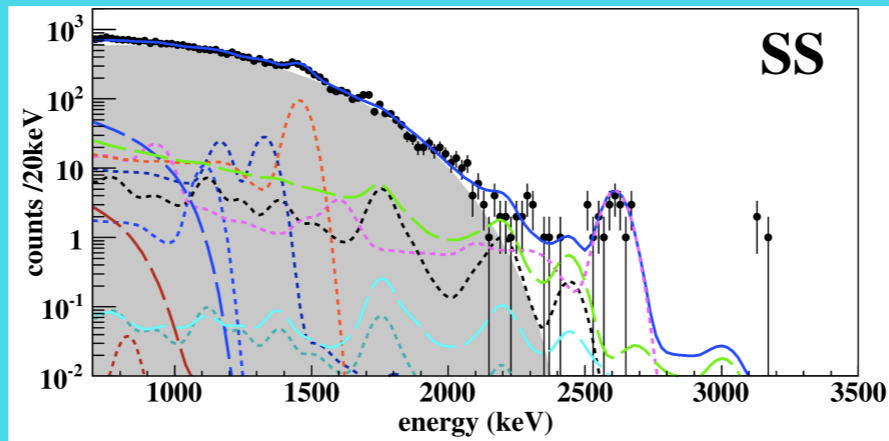
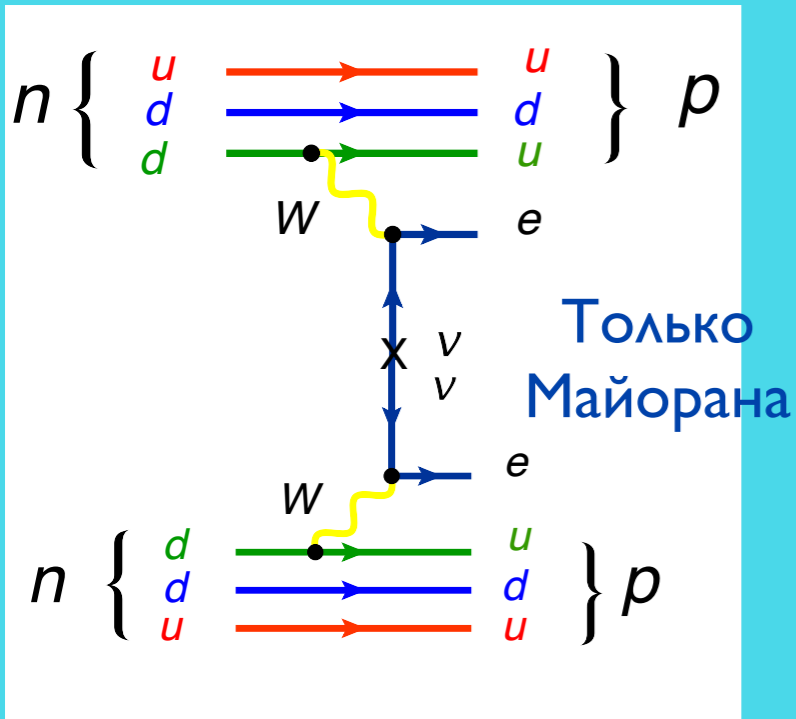
$$\nu_D = \begin{pmatrix} \nu_L \\ \nu_R \end{pmatrix} \quad \nu_{M_1} = \begin{pmatrix} \xi_1 \\ \xi_1^* \end{pmatrix}, \quad \nu_{M_2} = \begin{pmatrix} \xi_2 \\ \xi_2^* \end{pmatrix}$$

$$\nu_D \neq \nu_D^* \\ m_{\nu_L} = m_{\nu_R}$$



$$\nu_M = \nu_M^* \\ m_{\nu_{M_1}} \neq m_{\nu_{M_2}}$$

$0\nu\beta\beta$ decay



Candidate Isotope	Experiment
⁴⁸ Ca	Candles
⁷⁶ Ge	Gerda , Majorana
⁸² Se	SuperNemo, Lucifer
¹³⁰ Te	CUORE
¹³⁶ Xe	EXO , NEXT, KamLAND-Zen
¹⁵⁰ Nd	SNO+

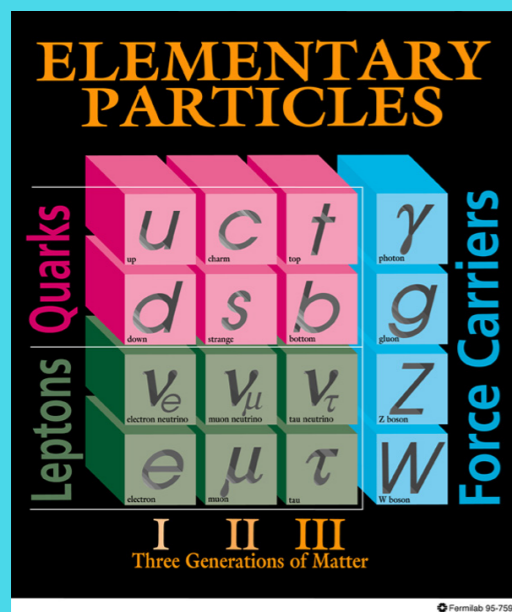
$$T_{1/2} 2\nu\beta\beta (^{136}\text{Xe}) \times 10^{21} \text{ yr} = 2.23 \pm 0.017 \text{ stat} \pm 0.22 \text{ sys}$$

$$T_{1/2} 0\nu\beta\beta (^{136}\text{Xe}) \times 10^{25} \text{ yr} > 1.6 \text{ (90\% CL)}$$

Поколения и Ароматы

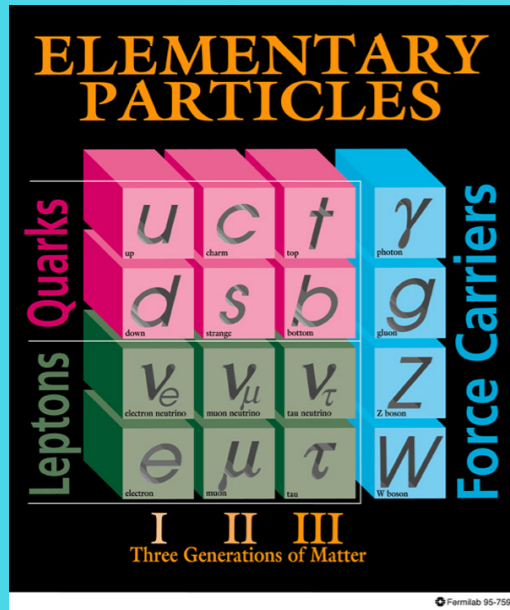
Поколения и Ароматы

- Число поколений?

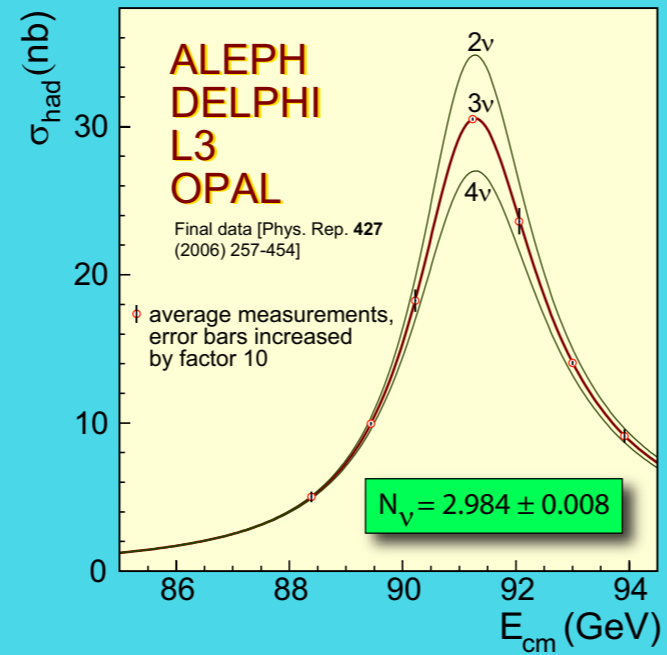


Поколения и Ароматы

- Число поколений?

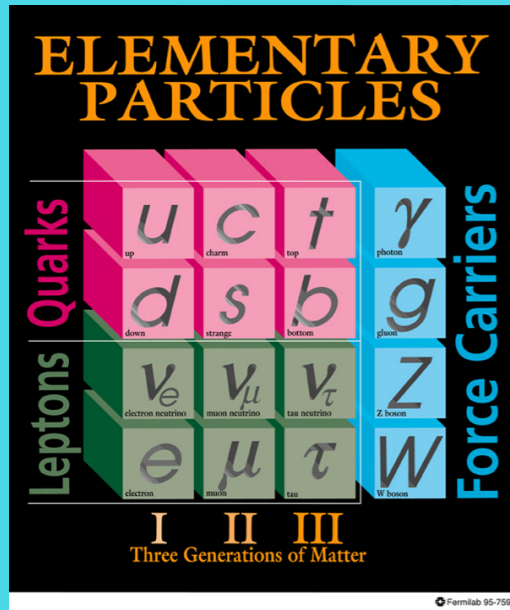


- Ширина Z-бозона (LEP)

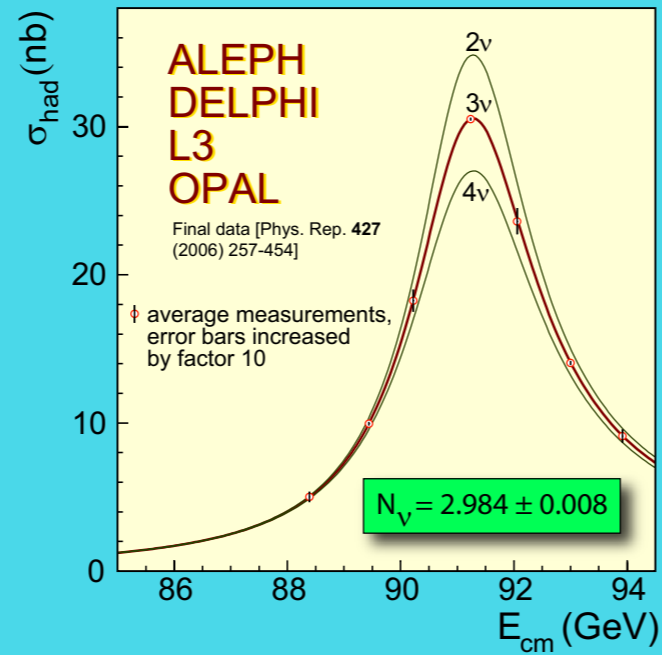


Поколения и Ароматы

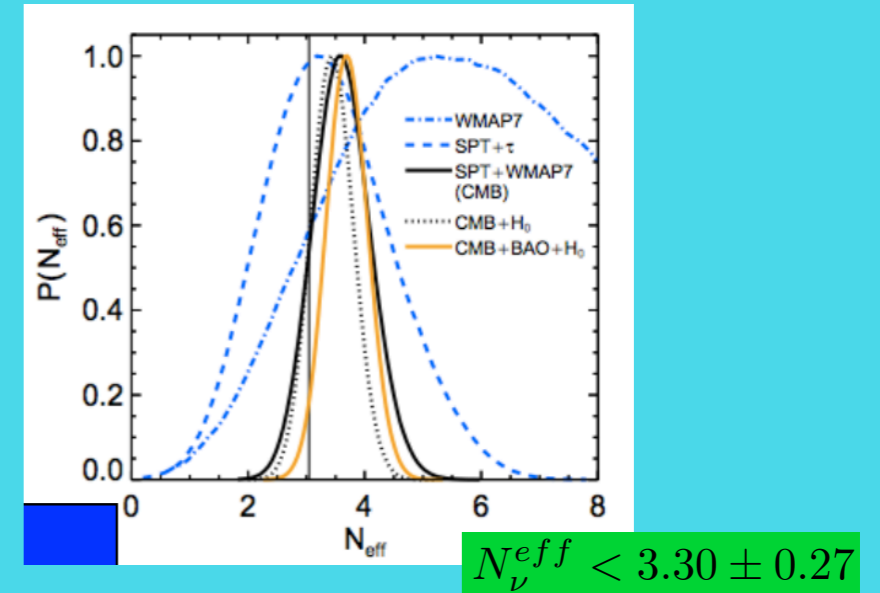
- Число поколений?



- Ширина Z-бозона (LEP)

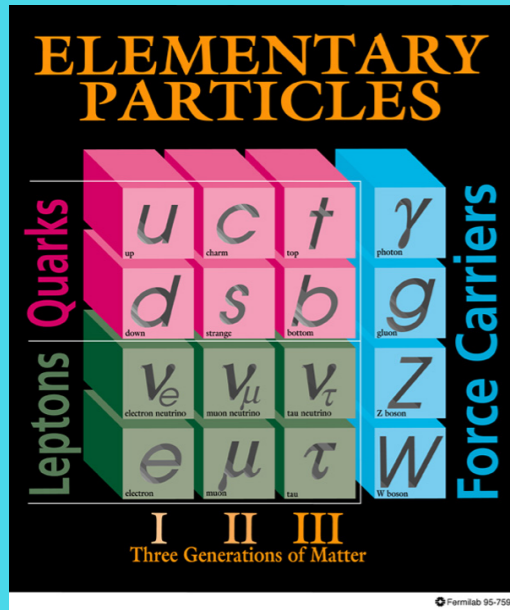


- Спектр CMB (Planck)

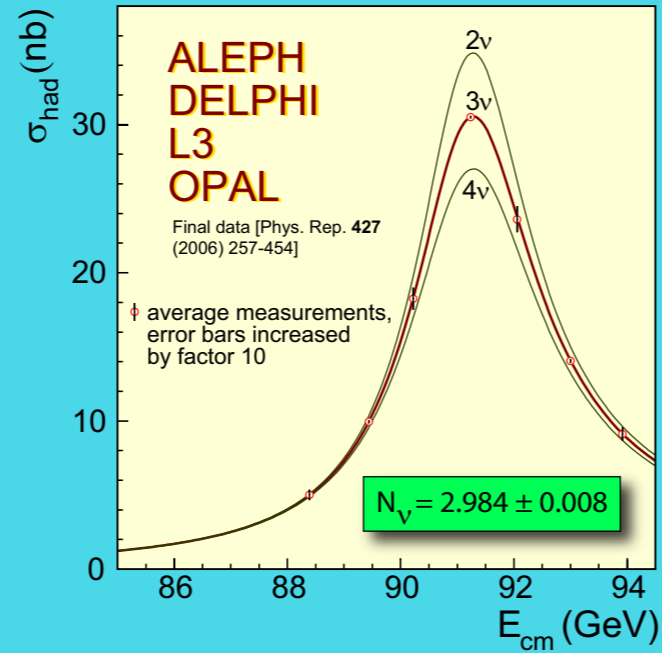


Поколения и Ароматы

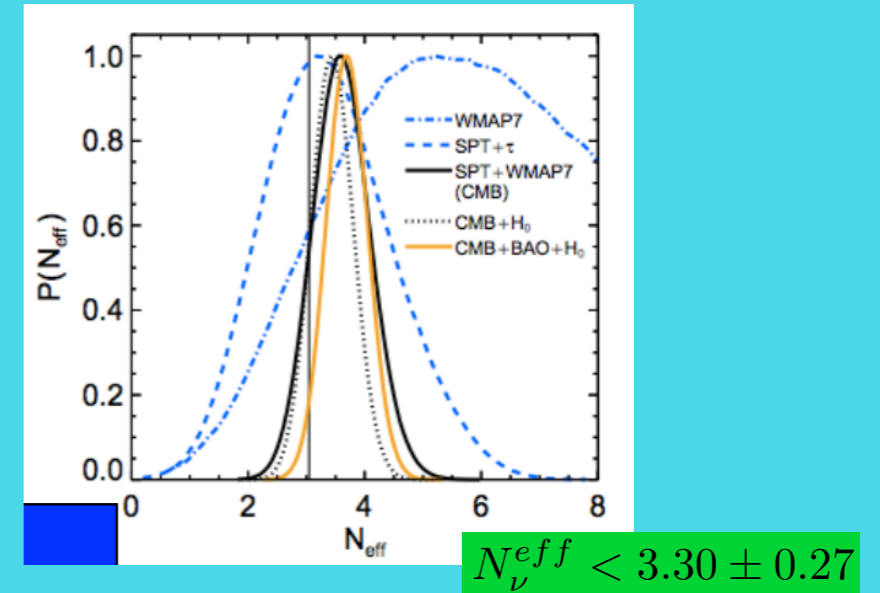
- Число поколений?



- Ширина Z-бозона (LEP)



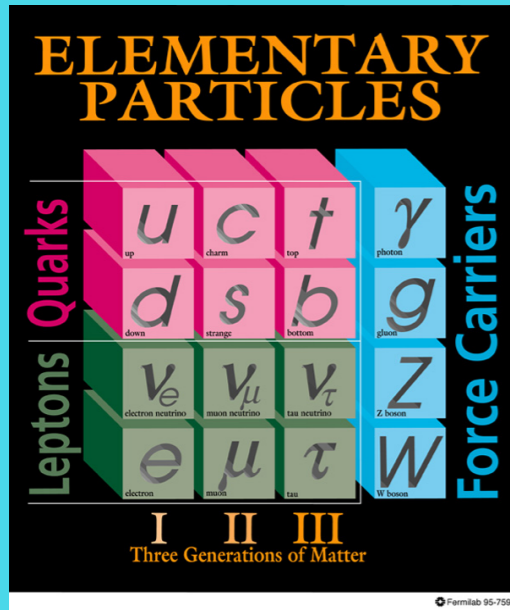
- Спектр CMB (Planck)



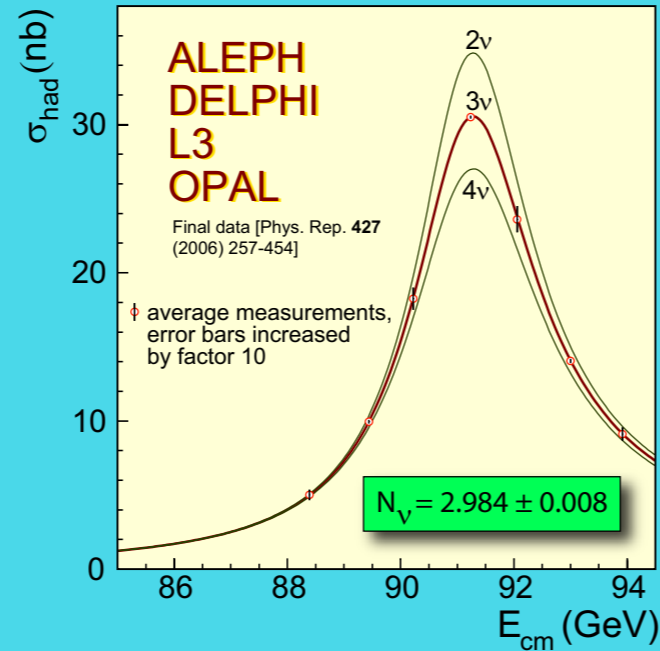
- Зачем нужны 3 копии?

Поколения и Ароматы

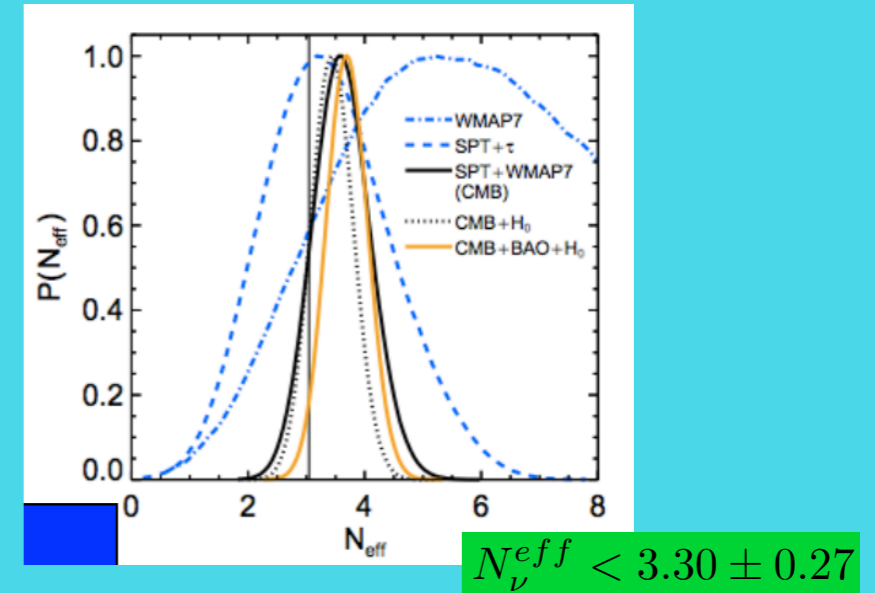
- Число поколений?



- Ширина Z-бозона (LEP)



- Спектр CMB (Planck)

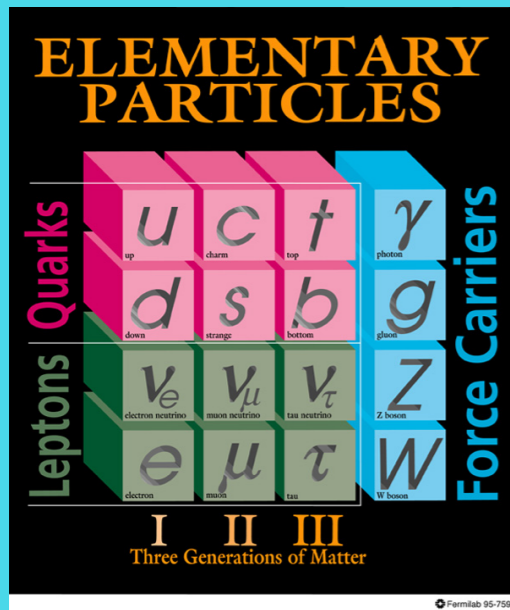


- Зачем нужны 3 копии?

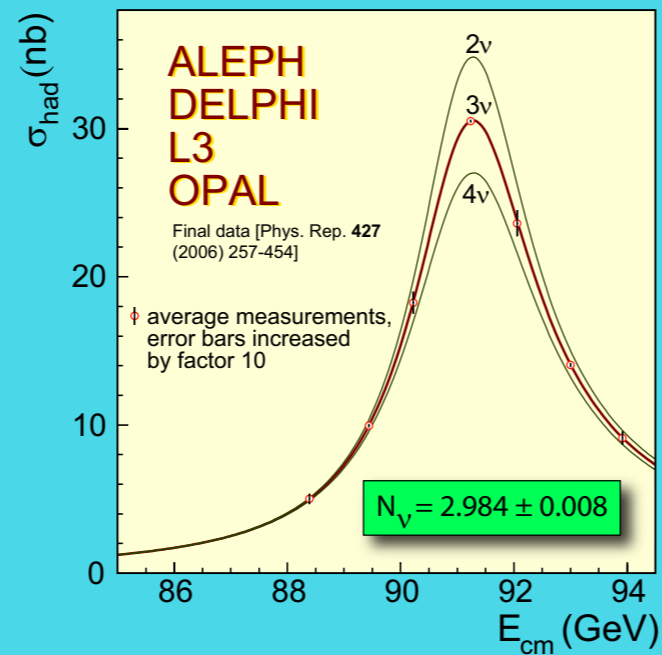
- Необходимое условие для получения барионной асимметрии Вселенной - CP нарушение

Поколения и Ароматы

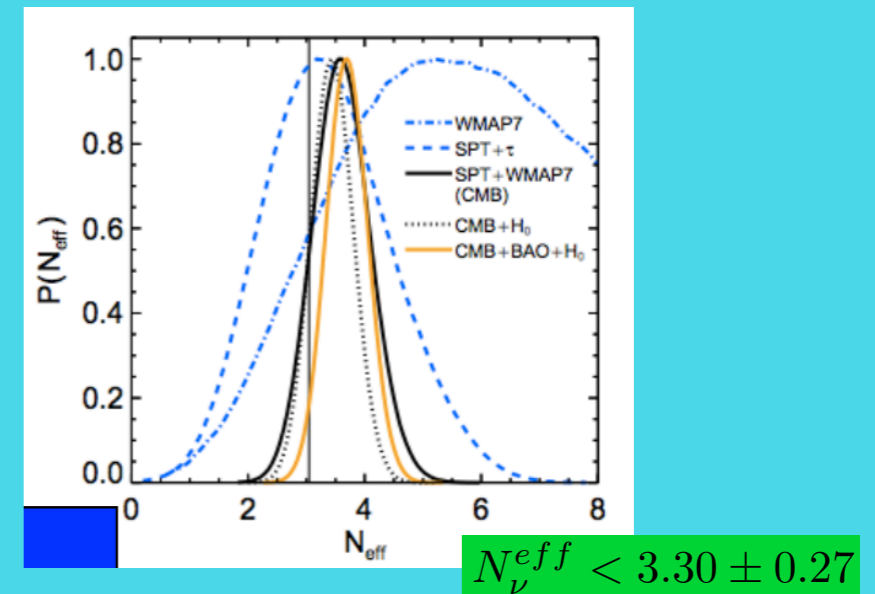
- Число поколений?



- Ширина Z-бозона (LEP)



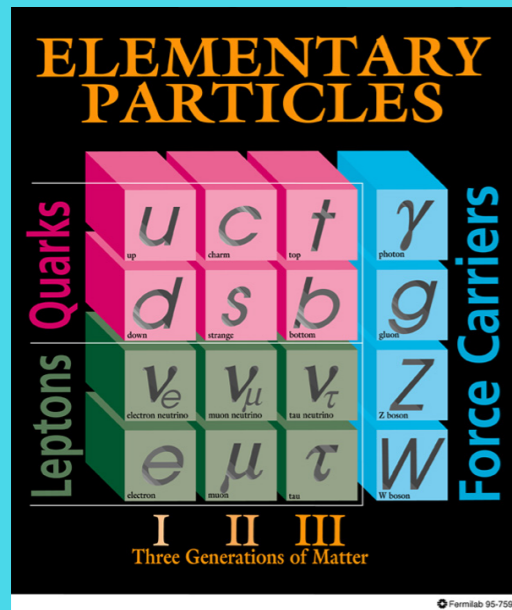
- Спектр CMB (Planck)



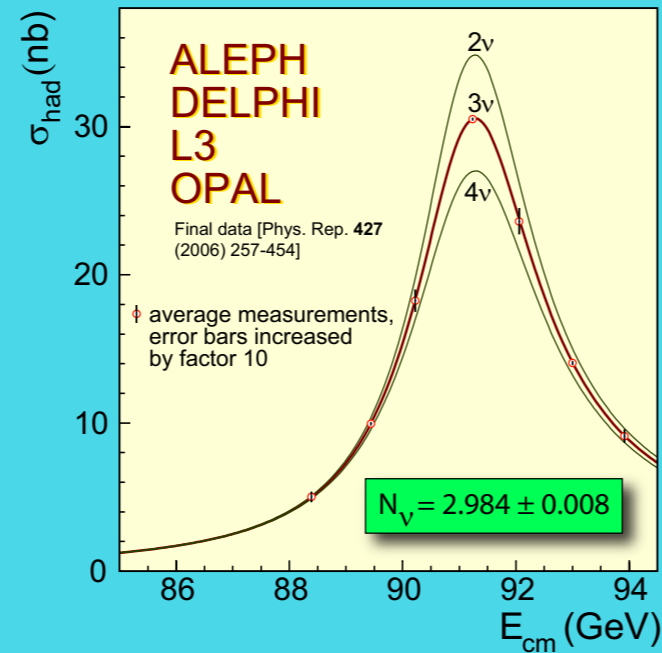
- Зачем нужны 3 копии?
- Необходимое условие для получения барионной асимметрии Вселенной - CP нарушение
- CP в SM достигается за счёт ненулевой фазы в матрице смешивания кварков (и лептонов)

Поколения и Ароматы

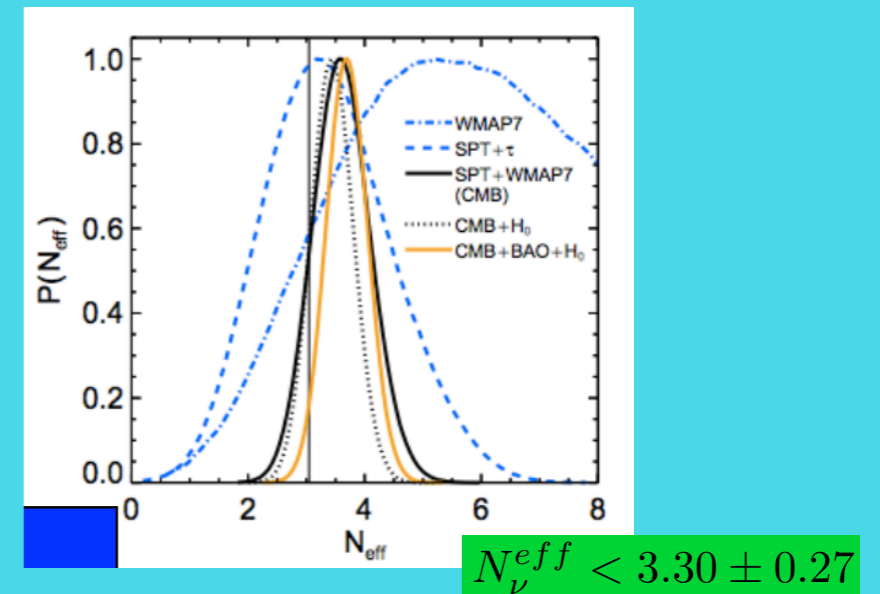
- Число поколений?



- Ширина Z-бозона (LEP)



- Спектр CMB (Planck)

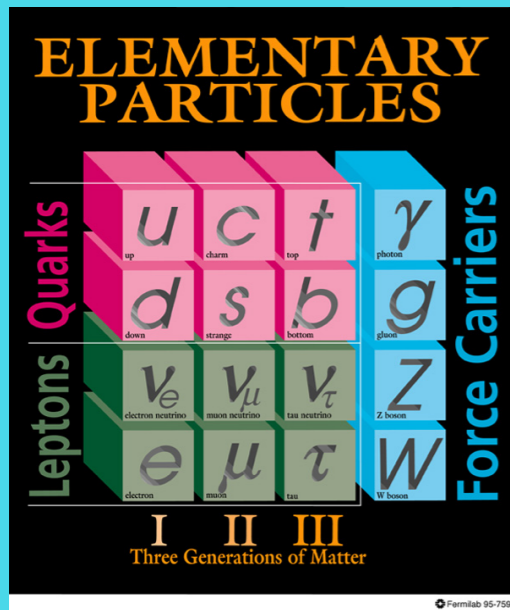


- Зачем нужны 3 копии?

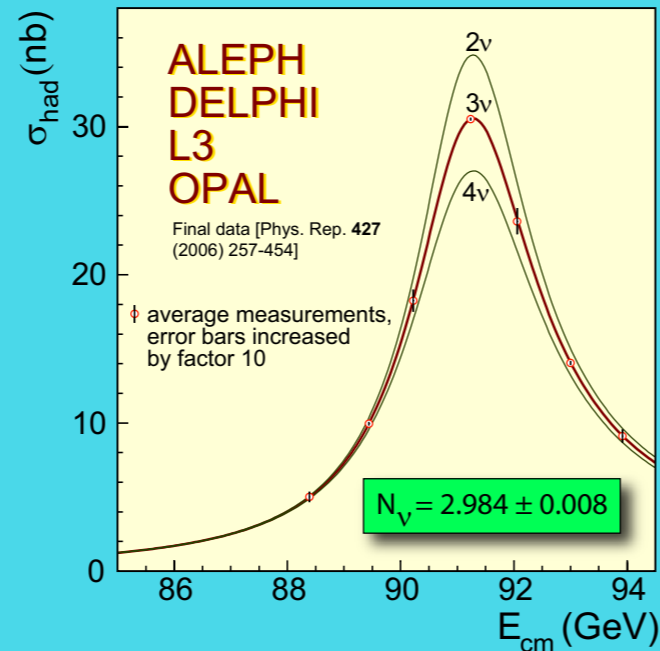
- Необходимое условие для получения барионной асимметрии Вселенной - CP нарушение
- CP в SM достигается за счёт ненулевой фазы в матрице смешивания кварков (и лептонов)
- Ненулевая фаза возникает только когда число поколений $N \geq 3$

Поколения и Ароматы

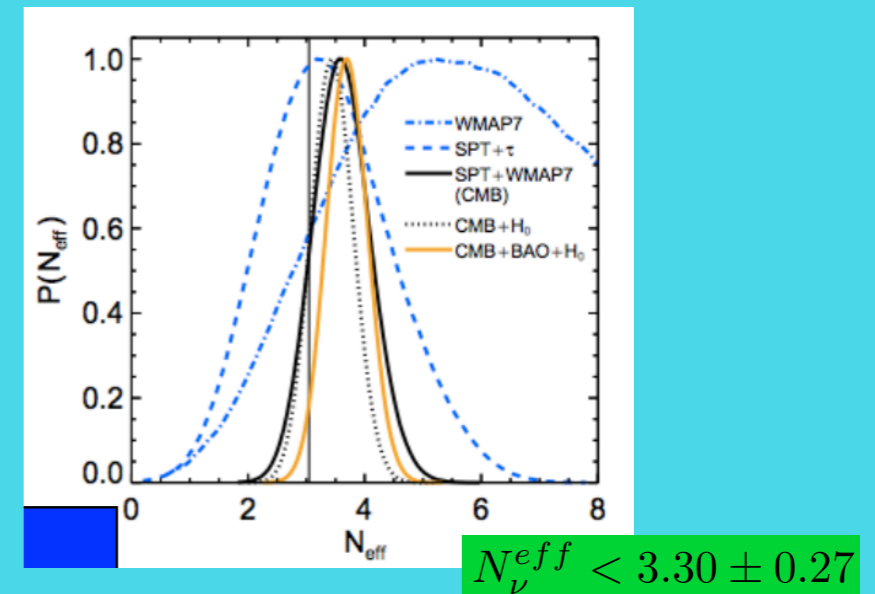
- Число поколений?



- Ширина Z-бозона (LEP)



- Спектр CMB (Planck)



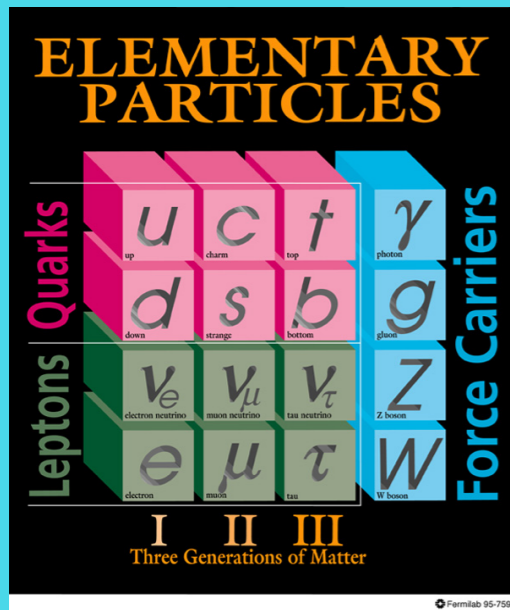
- Зачем нужны 3 копии?

- Необходимое условие для получения барионной асимметрии Вселенной - CP нарушение
- CP в SM достигается за счёт ненулевой фазы в матрице смешивания кварков (и лептонов)
- Ненулевая фаза возникает только когда число поколений $N \geq 3$

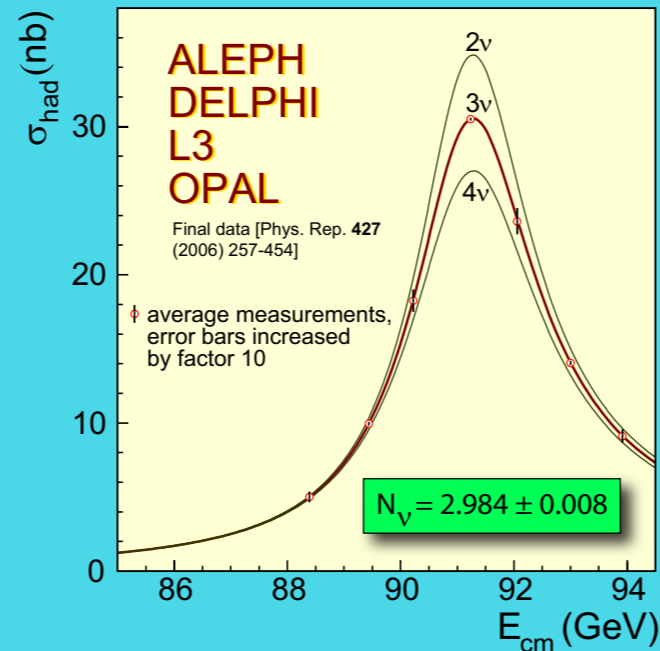
$$K = \begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_{12}c_{13} & s_{12}c_{13} & s_{13}e^{-i\delta} \\ -s_{12}c_{23} - c_{12}s_{23}s_{13}e^{i\delta} & c_{12}c_{23} - s_{12}s_{23}s_{13}e^{i\delta} & s_{23}c_{13} \\ s_{12}s_{23} - c_{12}c_{23}s_{13}e^{i\delta} & -c_{12}s_{23} - s_{12}c_{23}s_{13}e^{i\delta} & c_{23}c_{13} \end{pmatrix}$$

Поколения и Ароматы

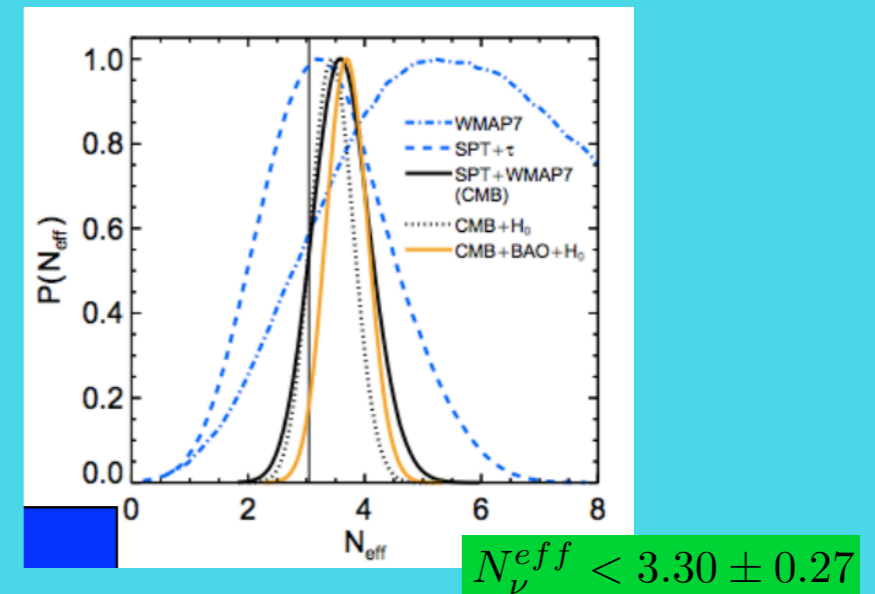
- Число поколений?



- Ширина Z-бозона (LEP)



- Спектр CMB (Planck)



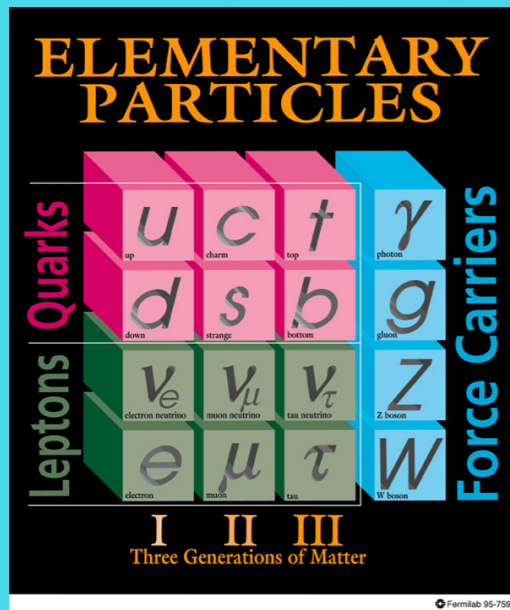
- Зачем нужны 3 копии?

- Необходимое условие для получения барионной асимметрии Вселенной - CP нарушение
- CP в SM достигается за счёт ненулевой фазы в матрице смешивания кварков (и лептонов)
- Ненулевая фаза возникает только когда число поколений $N \geq 3$

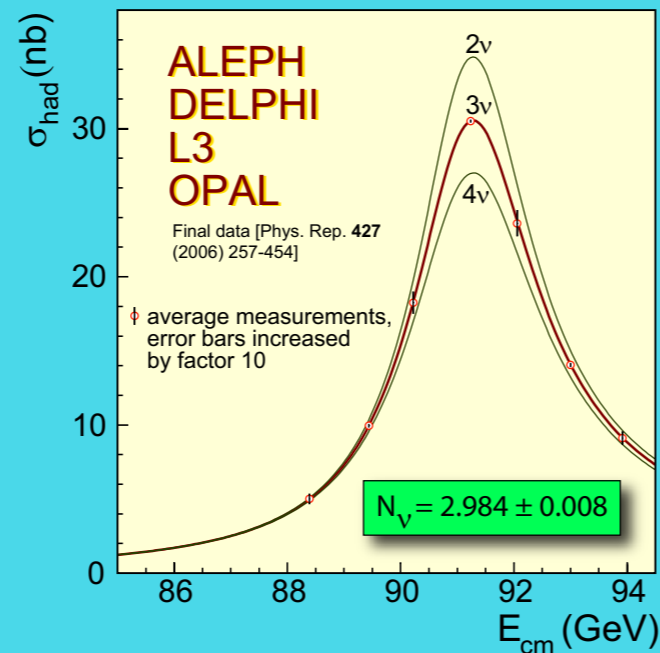
$$K = \begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_{12}c_{13} & s_{12}c_{13} & s_{13}e^{-i\delta} \\ -s_{12}c_{23} - c_{12}s_{23}s_{13}e^{i\delta} & c_{12}c_{23} - s_{12}s_{23}s_{13}e^{i\delta} & s_{23}c_{13} \\ s_{12}s_{23} - c_{12}c_{23}s_{13}e^{i\delta} & -c_{12}s_{23} - s_{12}c_{23}s_{13}e^{i\delta} & c_{23}c_{13} \end{pmatrix}$$

Поколения и Ароматы

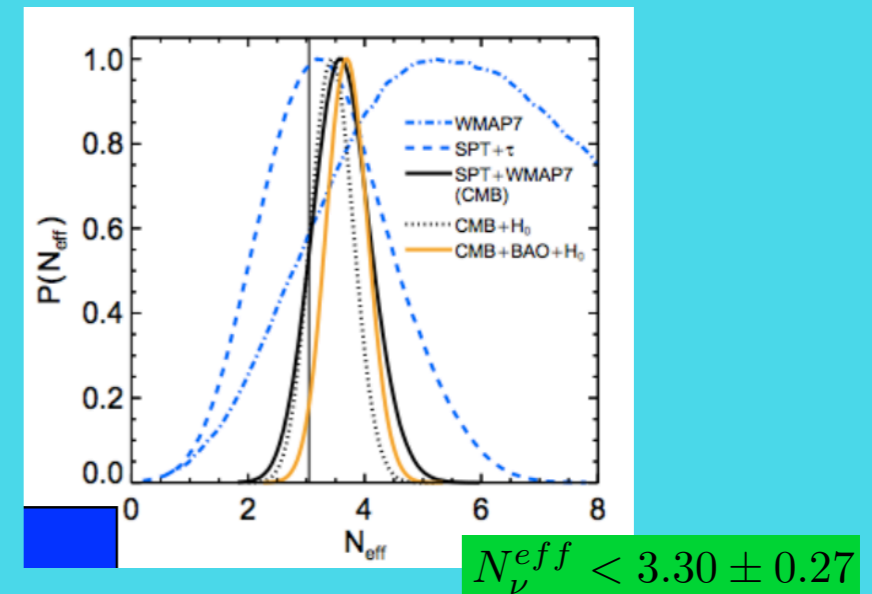
- Число поколений?



- Ширина Z-бозона (LEP)



- Спектр CMB (Planck)



- Зачем нужны 3 копии?

- Необходимое условие для получения барионной асимметрии Вселенной - CP нарушение
- CP в SM достигается за счёт ненулевой фазы в матрице смешивания кварков (и лептонов)
- Ненулевая фаза возникает только когда число поколений $N \geq 3$

$$K = \begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_{12}c_{13} & s_{12}c_{13} & s_{13}e^{-i\delta} \\ -s_{12}c_{23} - c_{12}s_{23}s_{13}e^{i\delta} & c_{12}c_{23} - s_{12}s_{23}s_{13}e^{i\delta} & s_{23}c_{13} \\ s_{12}s_{23} - c_{12}c_{23}s_{13}e^{i\delta} & -c_{12}s_{23} - s_{12}c_{23}s_{13}e^{i\delta} & c_{23}c_{13} \end{pmatrix}$$

- Четвертое поколение исключено также прецизионными измерениями редких распадов

Спектр Масс и Смешивание

Спектр Масс и Смешивание

- Спектр масс?

Спектр Масс и Смешивание

- Спектр масс?

$$m_{quark} = y_{quark} \cdot v$$

$$m_{lepton} = y_{lepton} \cdot v$$

$$m_W = g/\sqrt{2} \cdot v$$

$$m_Z = \sqrt{g^2 + g'^2}/\sqrt{2} \cdot v$$

$$m_H = \sqrt{\lambda} \cdot v$$

SM

$$m_\gamma = 0$$

$$m_{gluon} = 0$$

Спектр Масс и Смешивание

- Спектр масс?

$$m_{quark} = y_{quark} \cdot v$$

$$m_{lepton} = y_{lepton} \cdot v$$

$$m_W = g/\sqrt{2} \cdot v$$

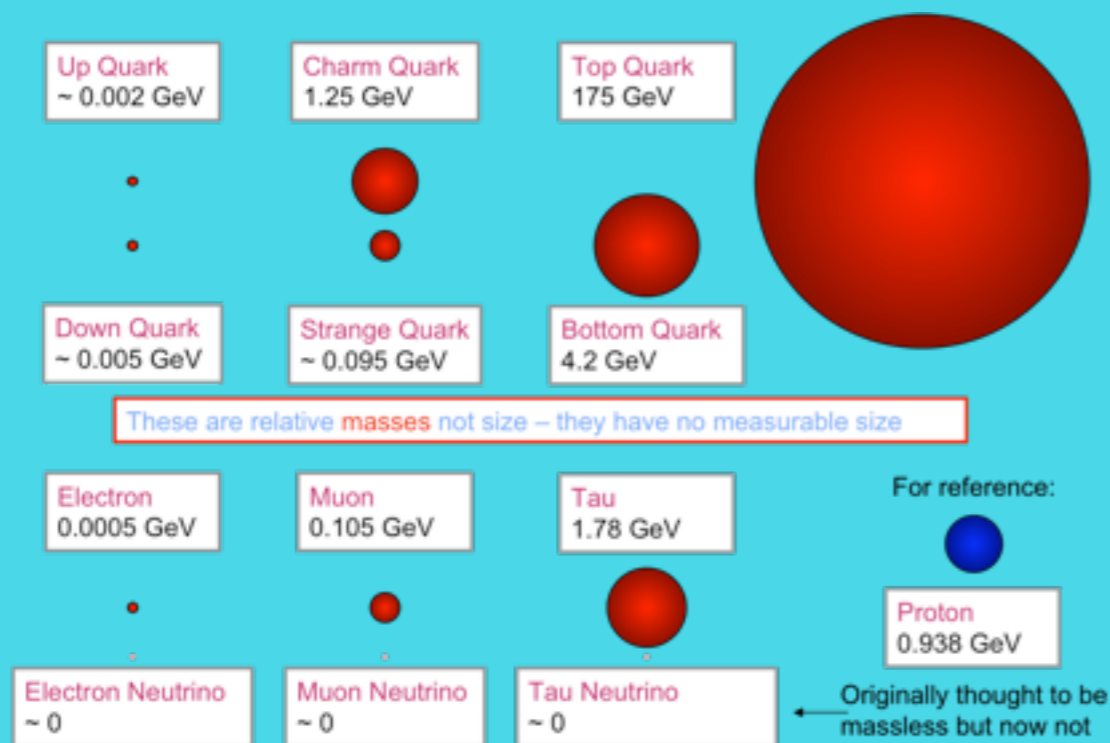
$$m_Z = \sqrt{g^2 + g'^2}/\sqrt{2} \cdot v$$

$$m_H = \sqrt{\lambda} \cdot v$$

SM

$$m_\gamma = 0$$

$$m_{gluon} = 0$$



Спектр Масс и Смешивание

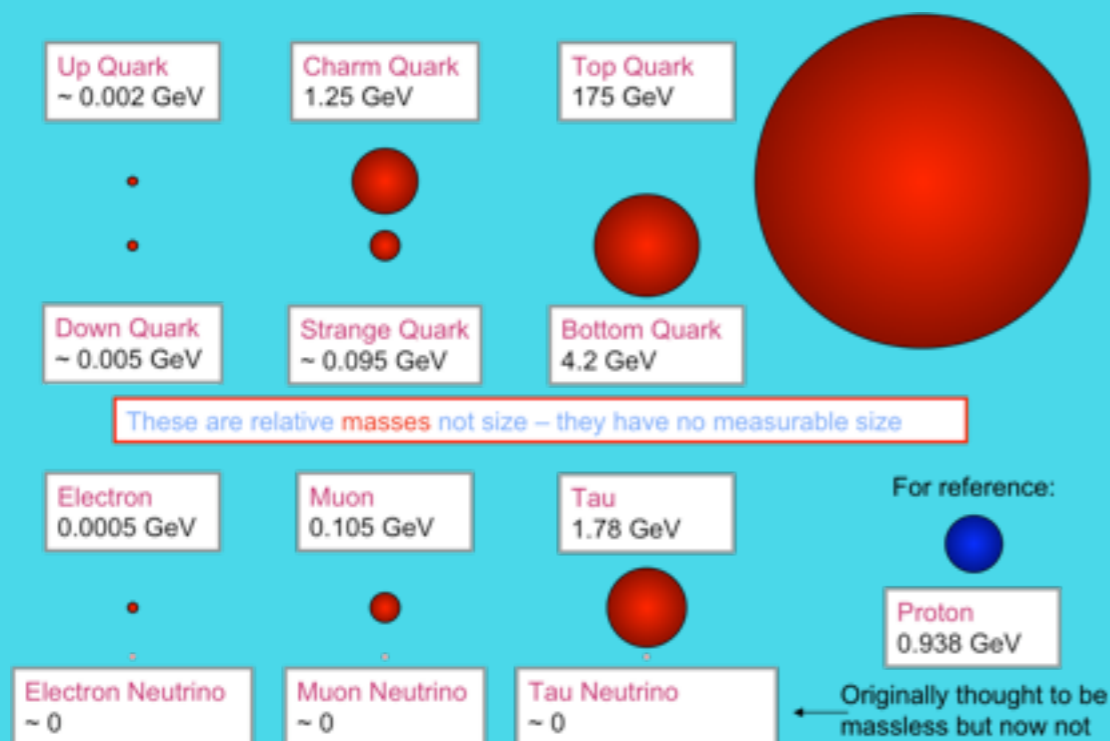
- Спектр масс?

- Матрицы смешивания?

$$m_{quark} = y_{quark} \cdot v$$
$$m_{lepton} = y_{lepton} \cdot v$$
$$m_W = g/\sqrt{2} \cdot v$$
$$m_Z = \sqrt{g^2 + g'^2}/\sqrt{2} \cdot v$$
$$m_H = \sqrt{\lambda} \cdot v$$

SM $m_\gamma = 0$

$m_{gluon} = 0$



Спектр Масс и Смешивание

- Спектр масс?

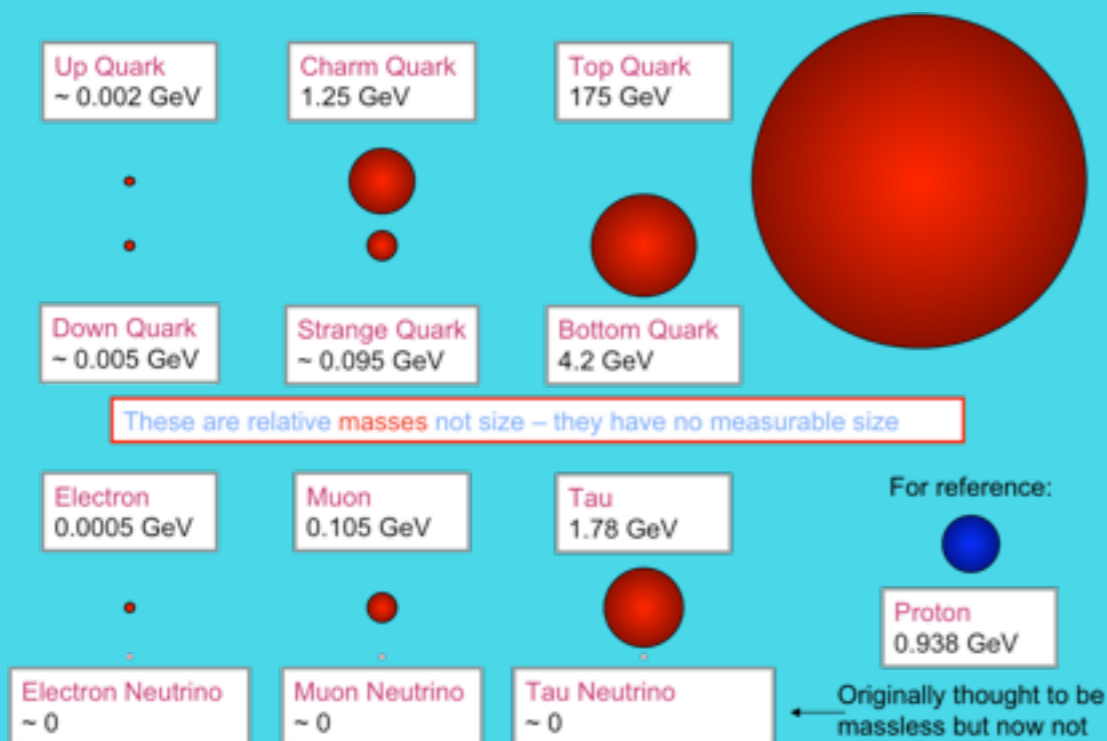
- Матрицы смешивания?

- Симметрия кваркового и лептонного сектора

$$m_{quark} = y_{quark} \cdot v$$
$$m_{lepton} = y_{lepton} \cdot v$$
$$m_W = g/\sqrt{2} \cdot v$$
$$m_Z = \sqrt{g^2 + g'^2}/\sqrt{2} \cdot v$$
$$m_H = \sqrt{\lambda} \cdot v$$

SM $m_\gamma = 0$

$m_{gluon} = 0$



Спектр Масс и Смешивание

- Спектр масс?

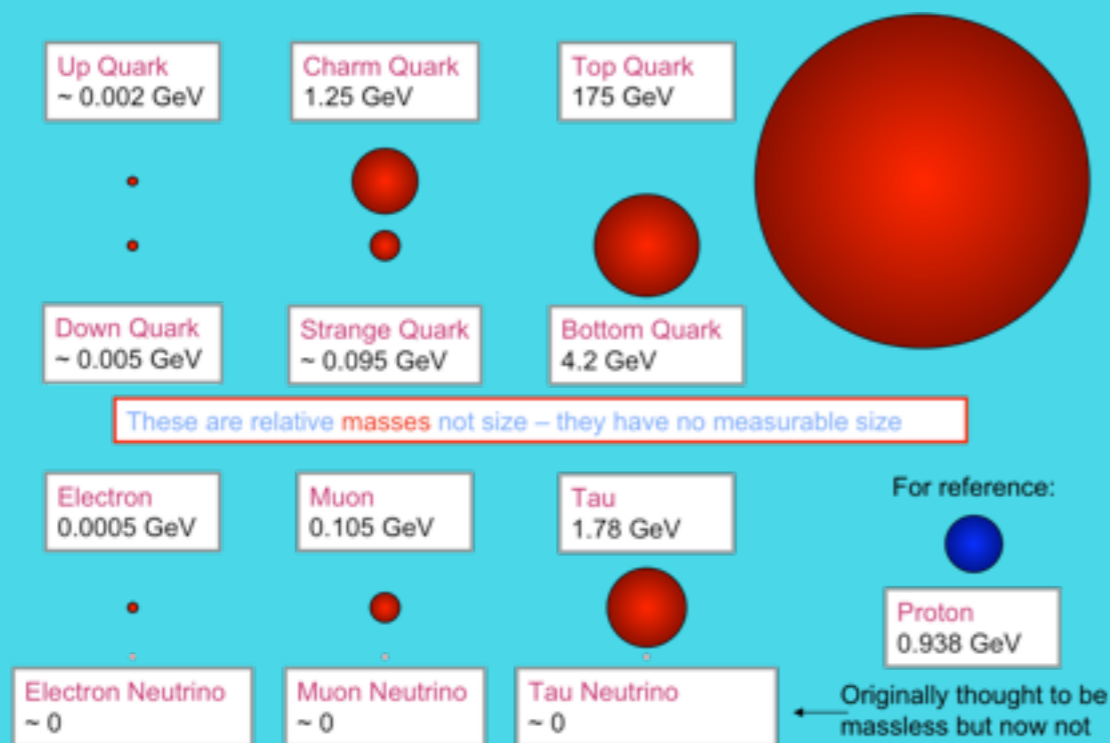
- Матрицы смешивания?

$$m_{quark} = y_{quark} \cdot v$$
$$m_{lepton} = y_{lepton} \cdot v$$
$$m_W = g/\sqrt{2} \cdot v$$
$$m_Z = \sqrt{g^2 + g'^2}/\sqrt{2} \cdot v$$
$$m_H = \sqrt{\lambda} \cdot v$$

SM $m_\gamma = 0$

$m_{gluon} = 0$

- Симметрия кваркового и лептонного сектора
- Сильное различие в параметрах



Спектр Масс и Смешивание

- Спектр масс?

$$m_{quark} = y_{quark} \cdot v$$

$$m_{lepton} = y_{lepton} \cdot v$$

$$m_W = g/\sqrt{2} \cdot v$$

$$m_Z = \sqrt{g^2 + g'^2}/\sqrt{2} \cdot v$$

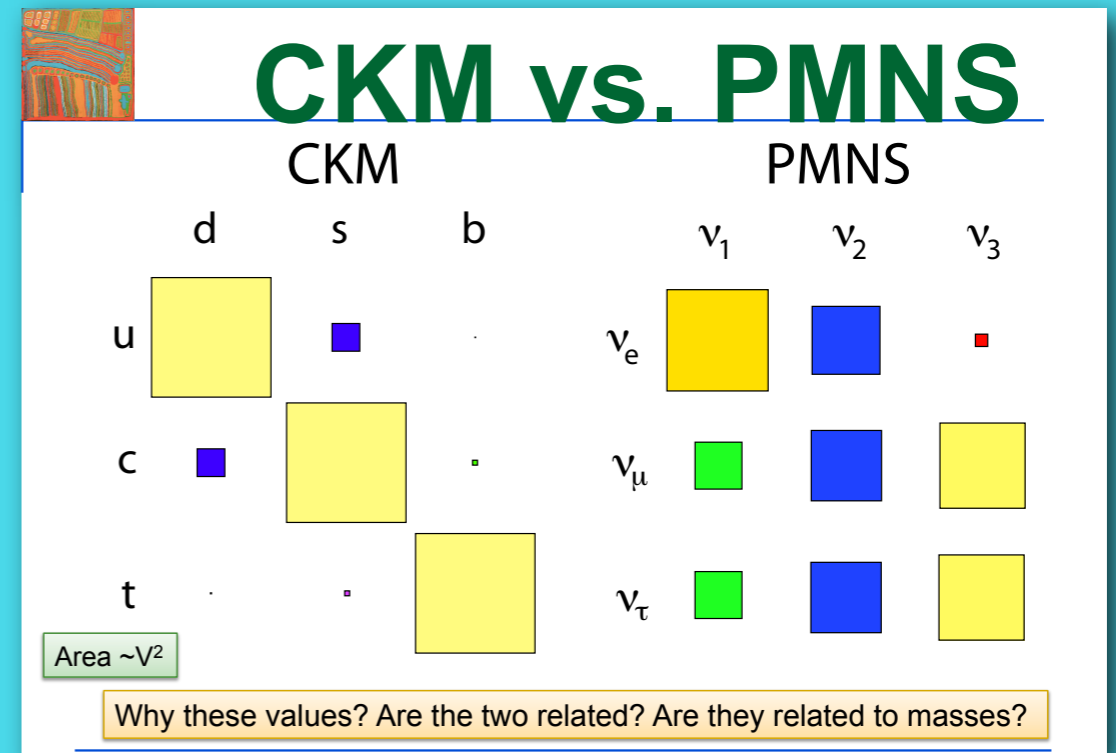
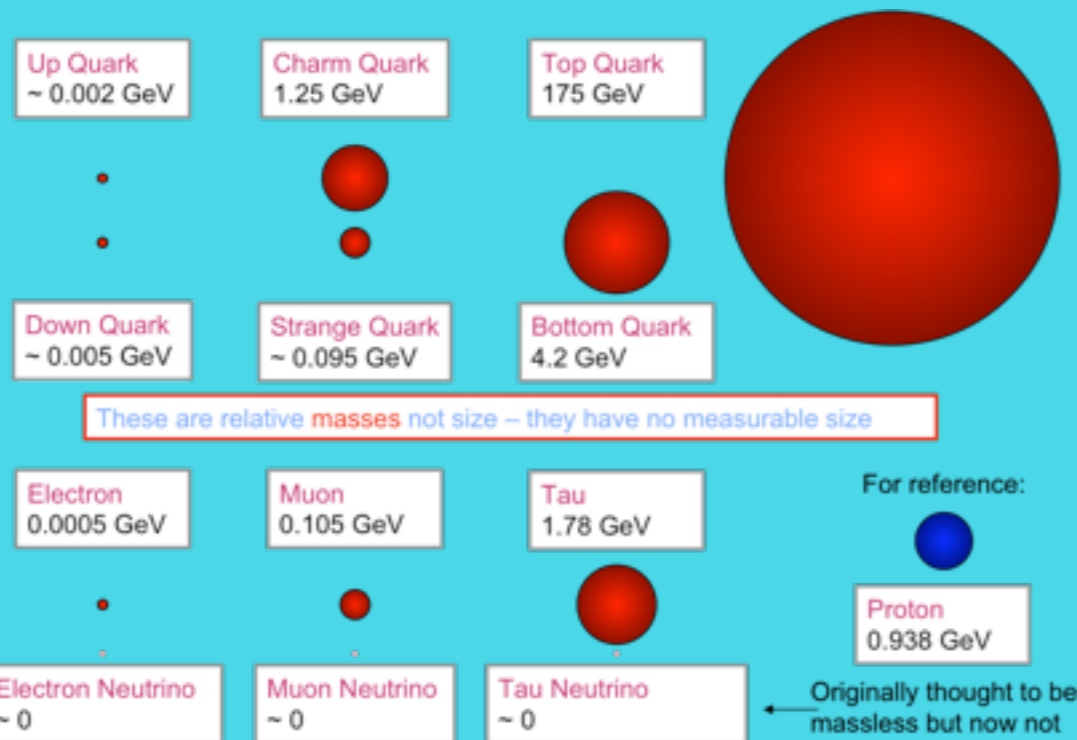
$$m_H = \sqrt{\lambda} \cdot v$$

CM $m_\gamma = 0$

$m_{gluon} = 0$

- Матрицы смешивания?

- Симметрия кваркового и лептонного сектора
- Сильное различие в параметрах



Спектр Масс и Смешивание

- Спектр масс?

$$m_{quark} = y_{quark} \cdot v$$

$$m_{lepton} = y_{lepton} \cdot v$$

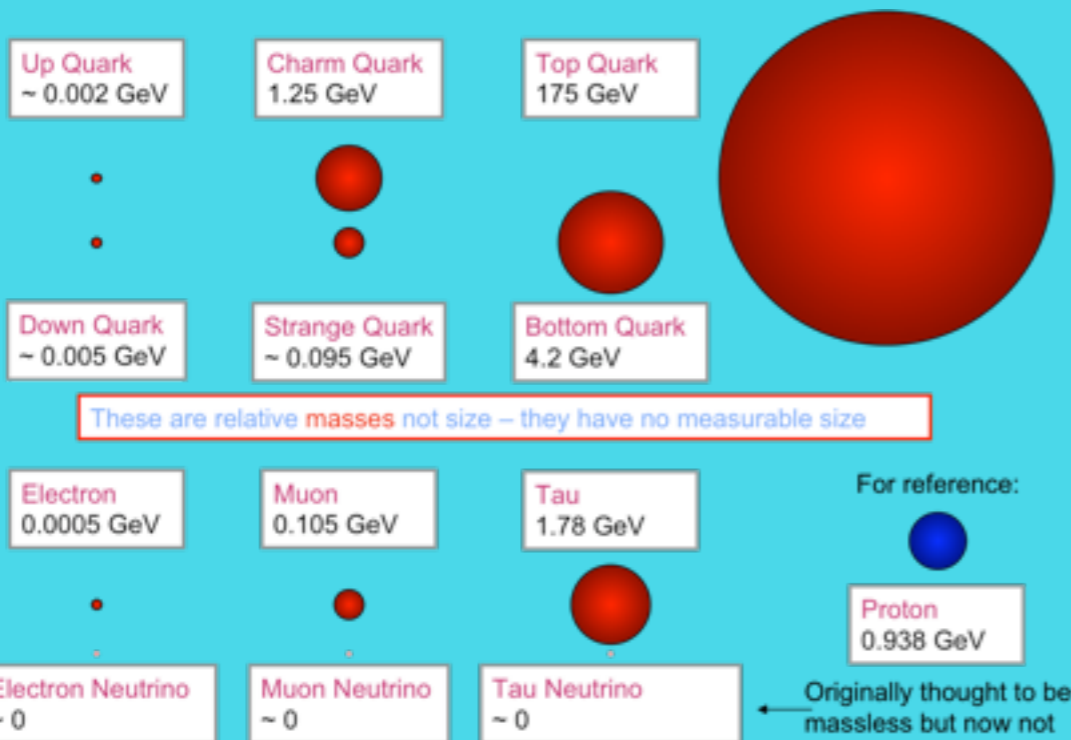
$$m_W = g/\sqrt{2} \cdot v$$

$$m_Z = \sqrt{g^2 + g'^2}/\sqrt{2} \cdot v$$

$$m_H = \sqrt{\lambda} \cdot v$$

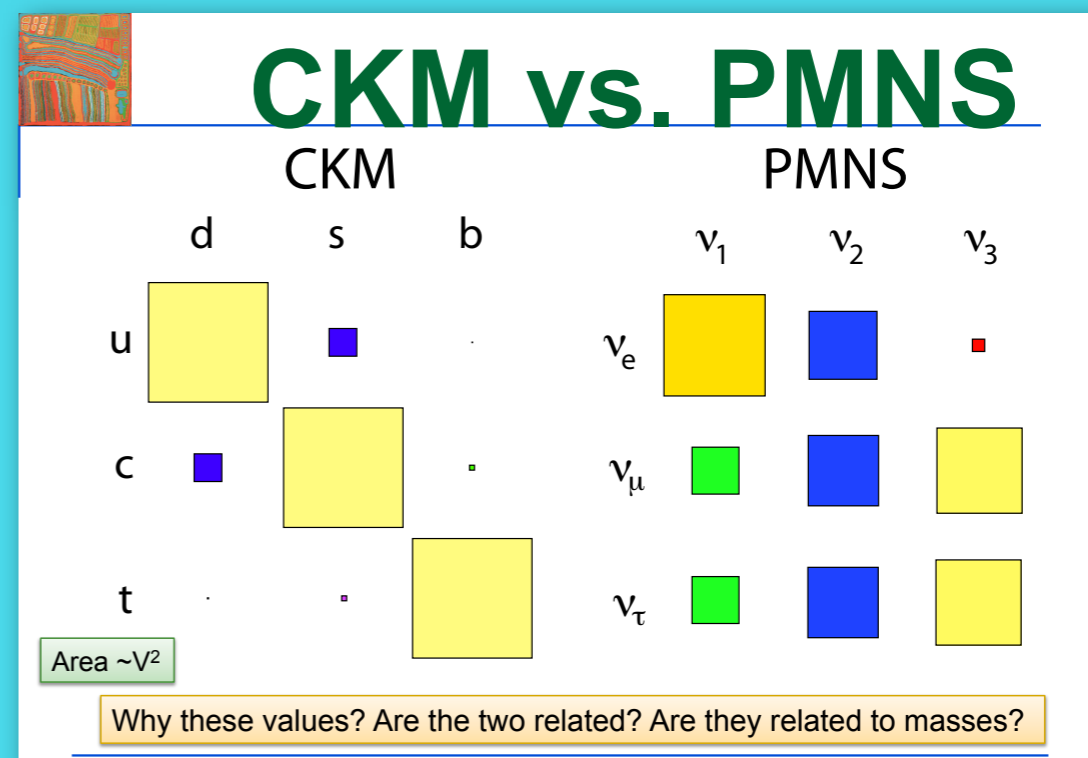
CM $m_\gamma = 0$

$m_{gluon} = 0$



- Матрицы смешивания?

- Симметрия кваркового и лептонного сектора
- Сильное различие в параметрах



- Чему равны CKM и PMNS фазы?

Спектр Масс и Смешивание

- Спектр масс?

$$m_{quark} = y_{quark} \cdot v$$

$$m_{lepton} = y_{lepton} \cdot v$$

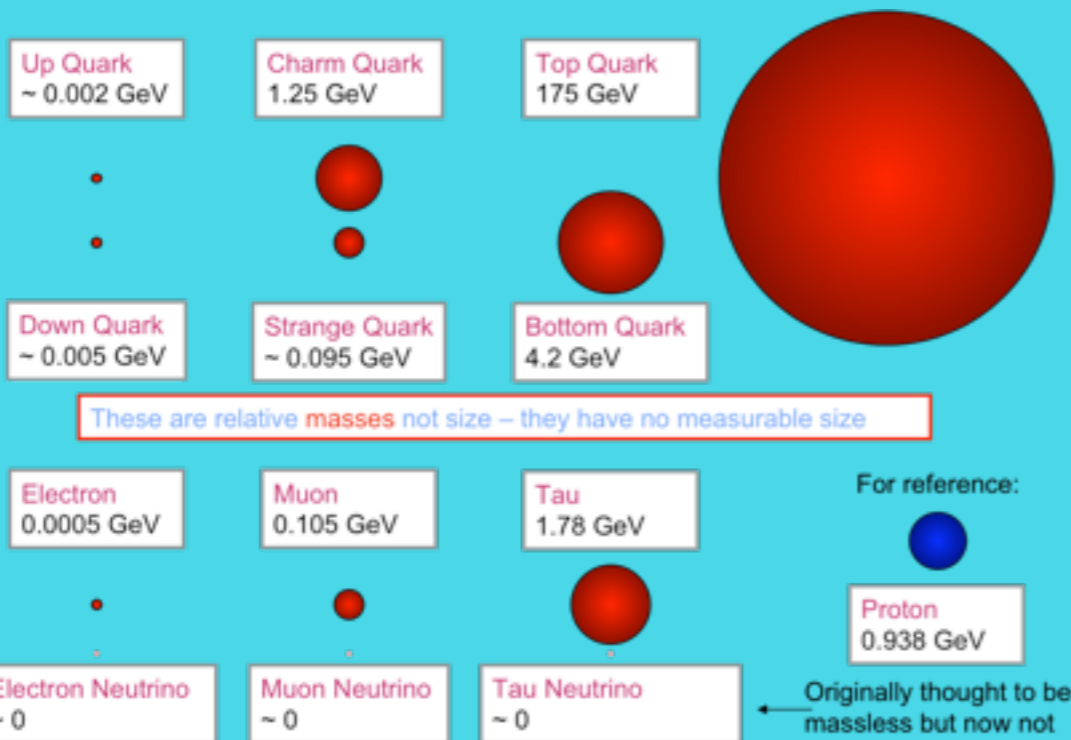
$$m_W = g/\sqrt{2} \cdot v$$

$$m_Z = \sqrt{g^2 + g'^2}/\sqrt{2} \cdot v$$

$$m_H = \sqrt{\lambda} \cdot v$$

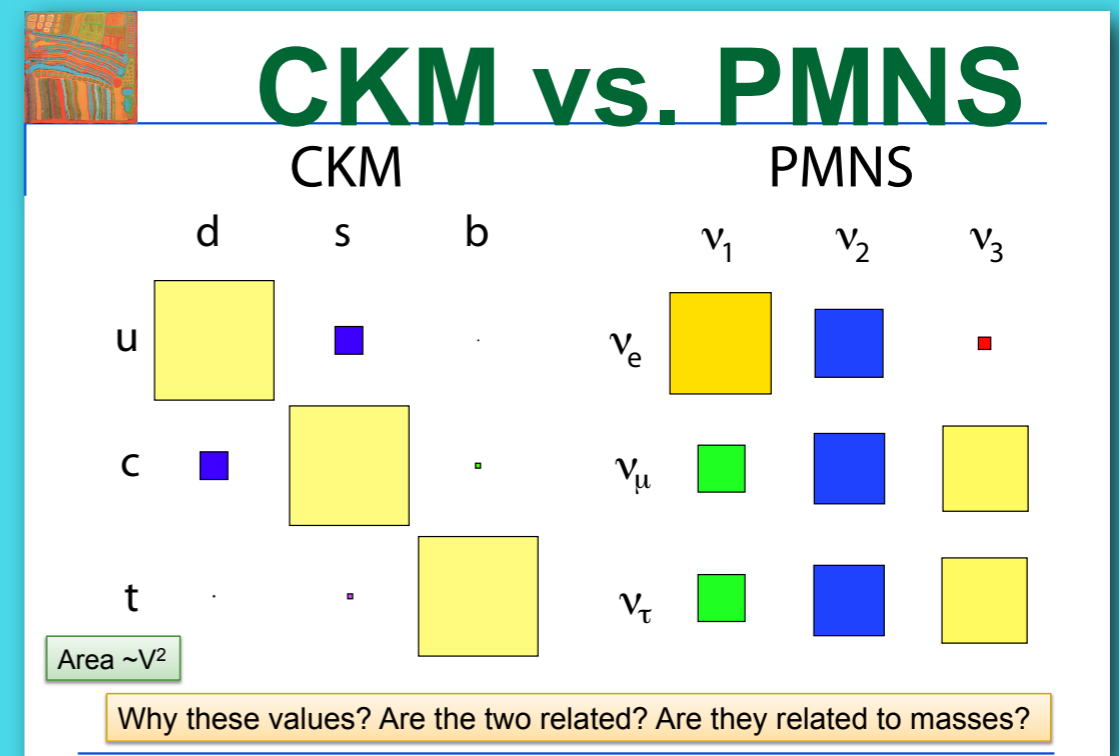
CM $m_\gamma = 0$

$m_{gluon} = 0$



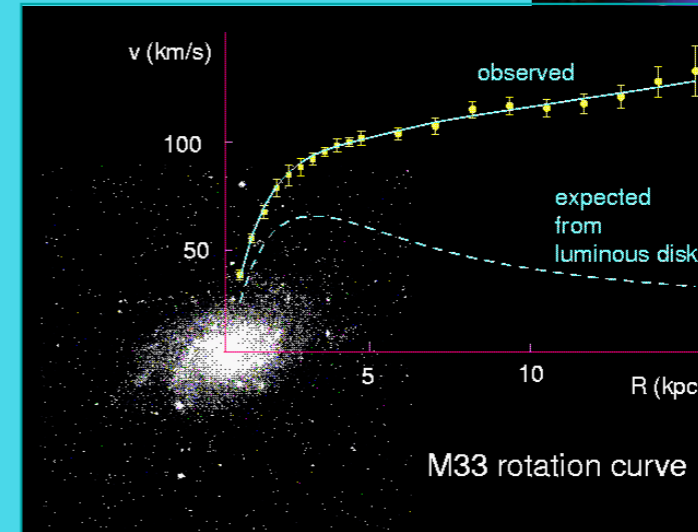
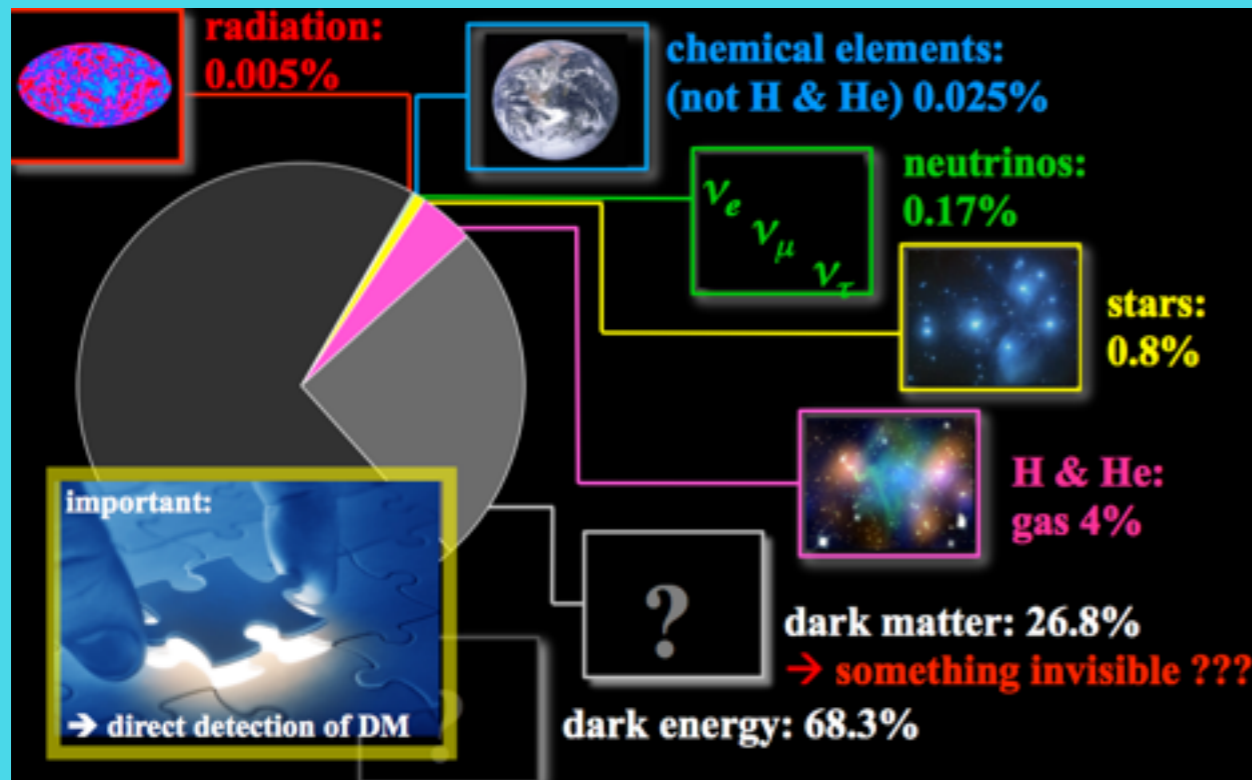
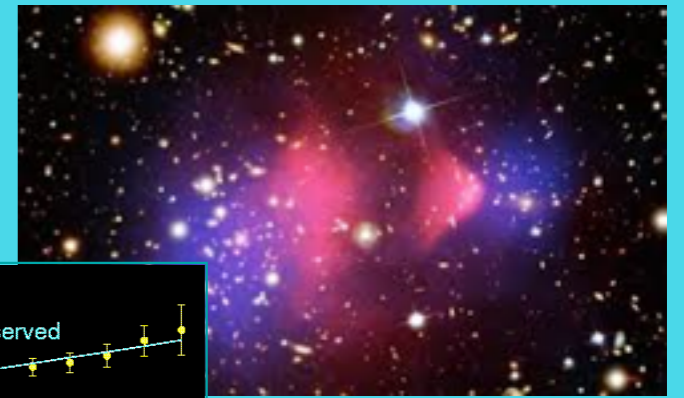
- Матрицы смешивания?

- Симметрия кваркового и лептонного сектора
- Сильное различие в параметрах



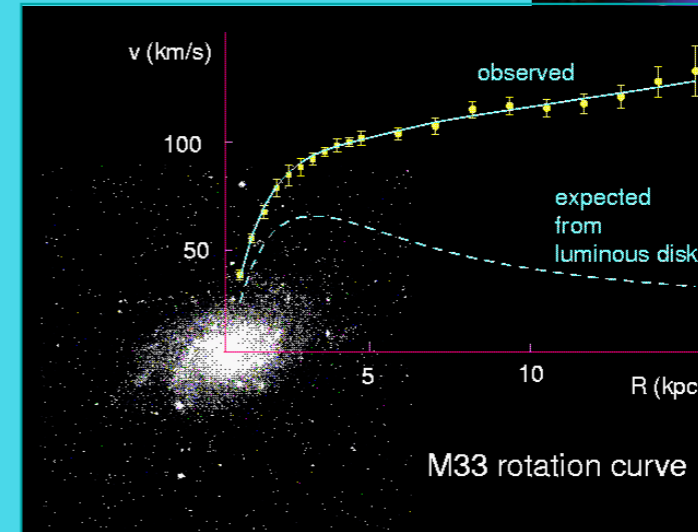
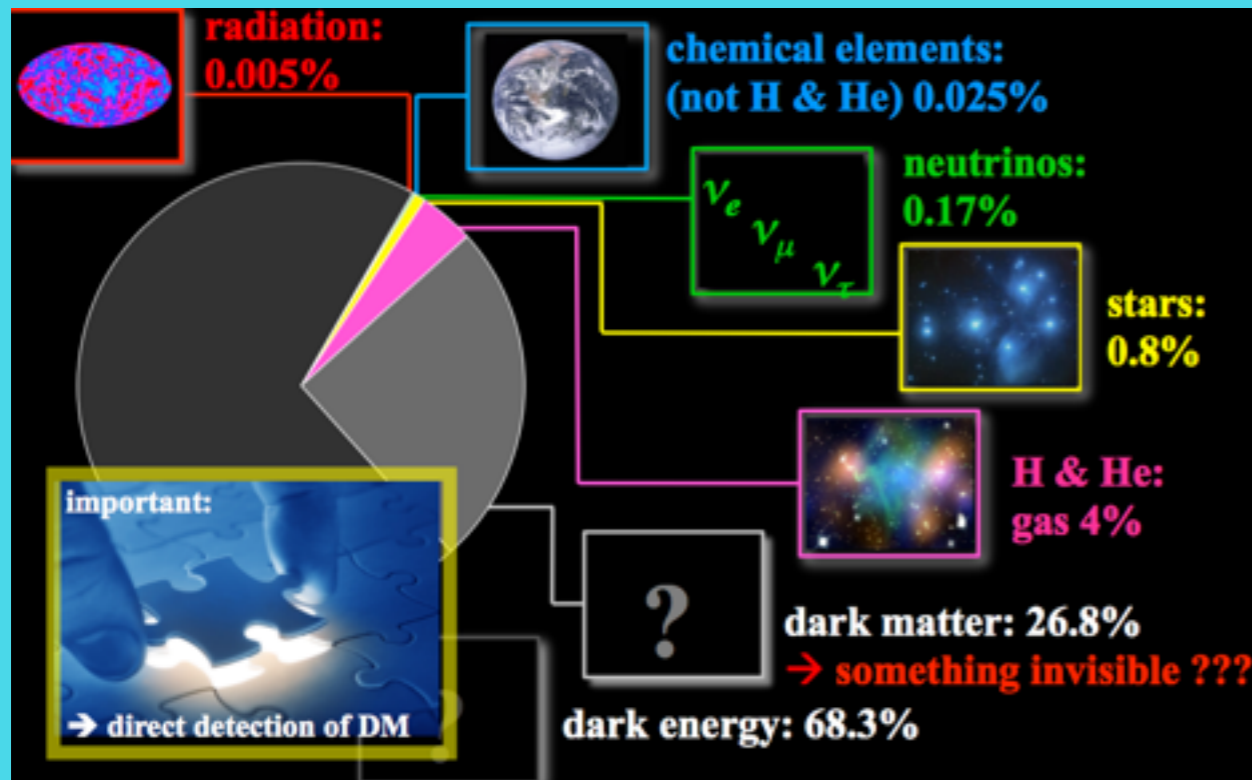
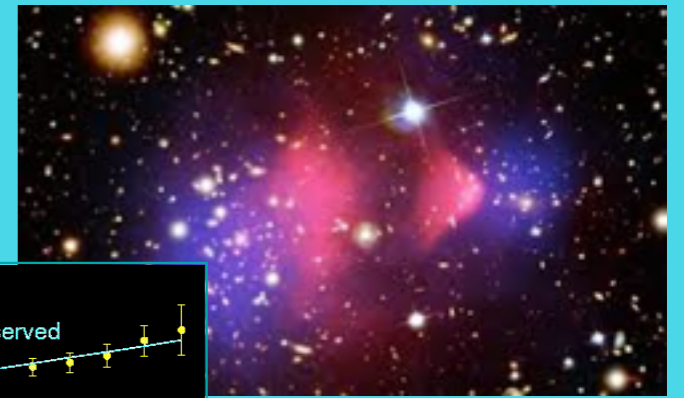
- Чему равны CKM и PMNS фазы?
- Где источник CP нарушения: в лептонном и/или кварковом секторе?

Тёмная материя



- ротационные кривые звезд
- гравитационные линзы
- крупномасштабная структура Вселенной

Тёмная материя

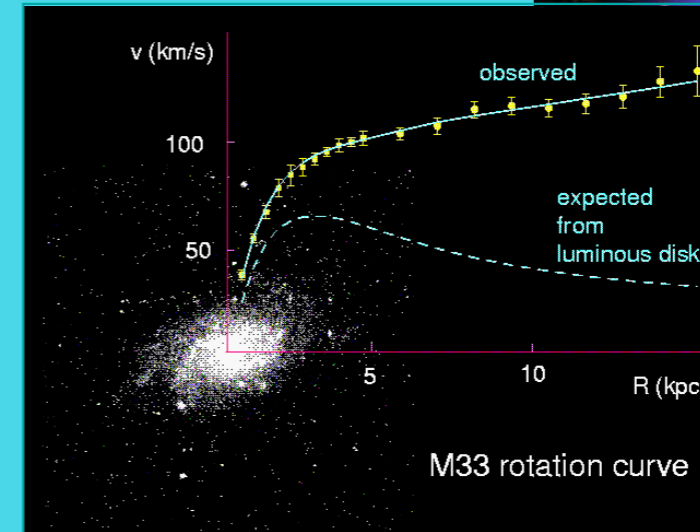
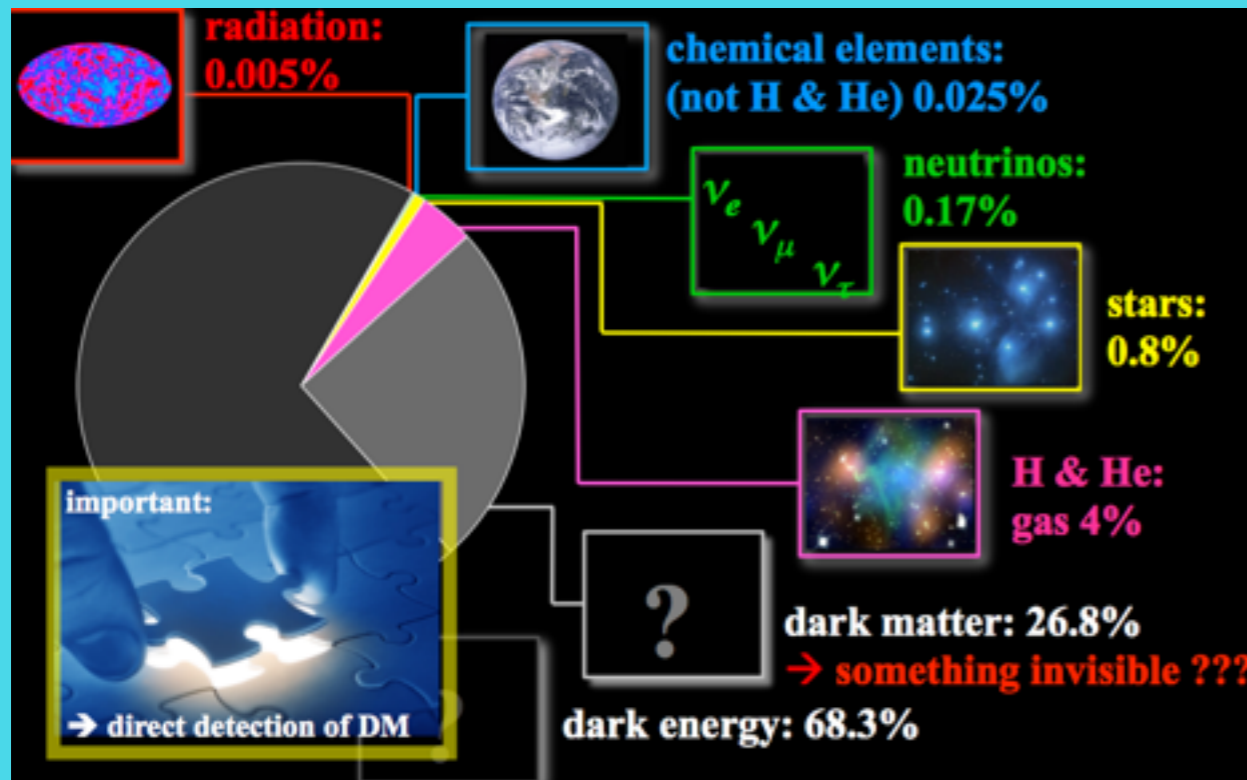


- ротационные кривые звезд
- гравитационные линзы
- крупномасштабная структура Вселенной

Тёмная материя сделана из:

- Макро объектов - не наблюдаются
- Новых нейтральных частиц

Тёмная материя



- ротационные кривые звезд
- гравитационные линзы

масштабная структура Вселенной

WIMP = Weakly Interacting Massive Particle

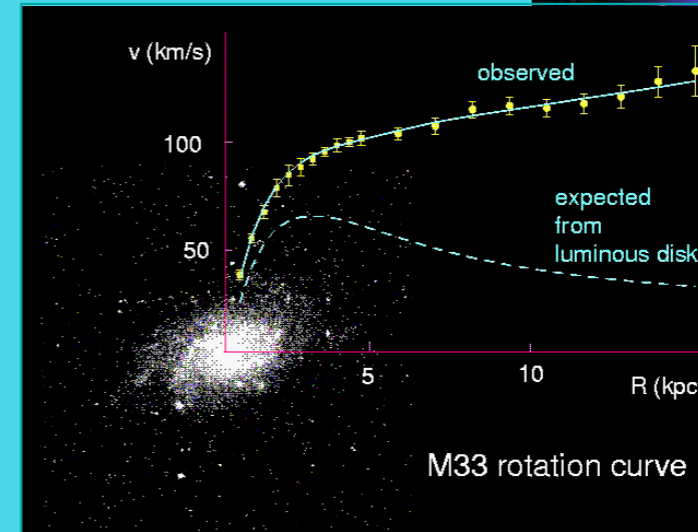
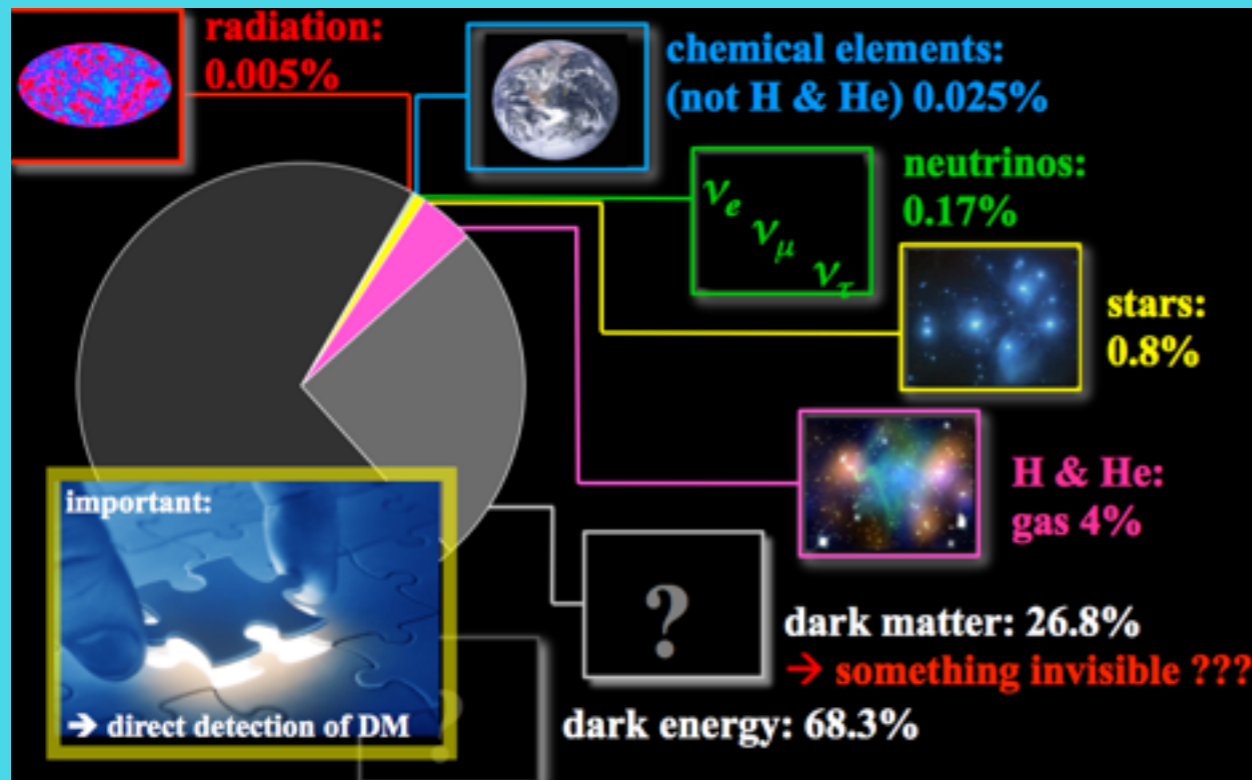
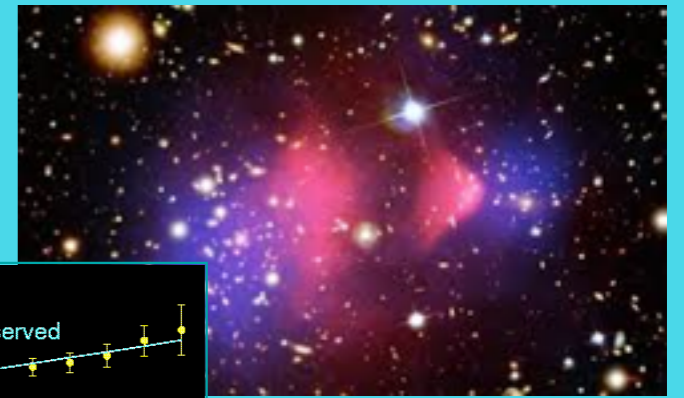
A good argument for new physics at the TeV scale
but not fully compelling: DM could well be **axions**

For WIMPs in thermal equilibrium after inflation

$$\langle \sigma_{\text{ann}} v \rangle \simeq 3 \times 10^{-26} \text{cm}^3 \text{s}^{-1}$$

EW x-section for particle with $M \sim 10^{2-3} \text{ GeV}$

Тёмная материя

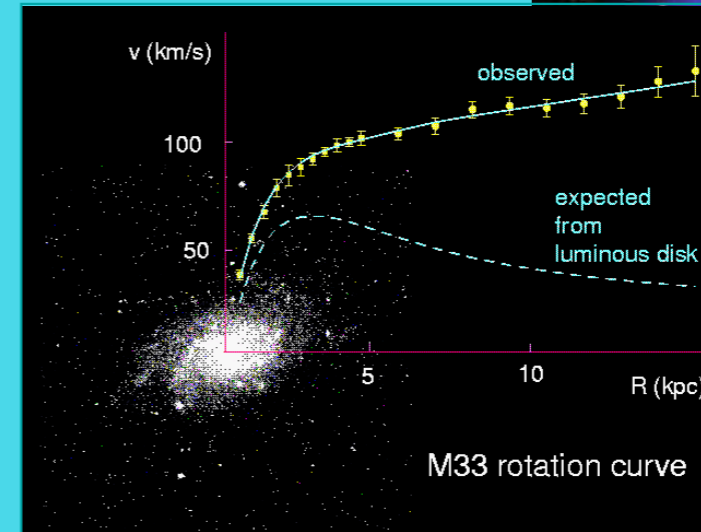
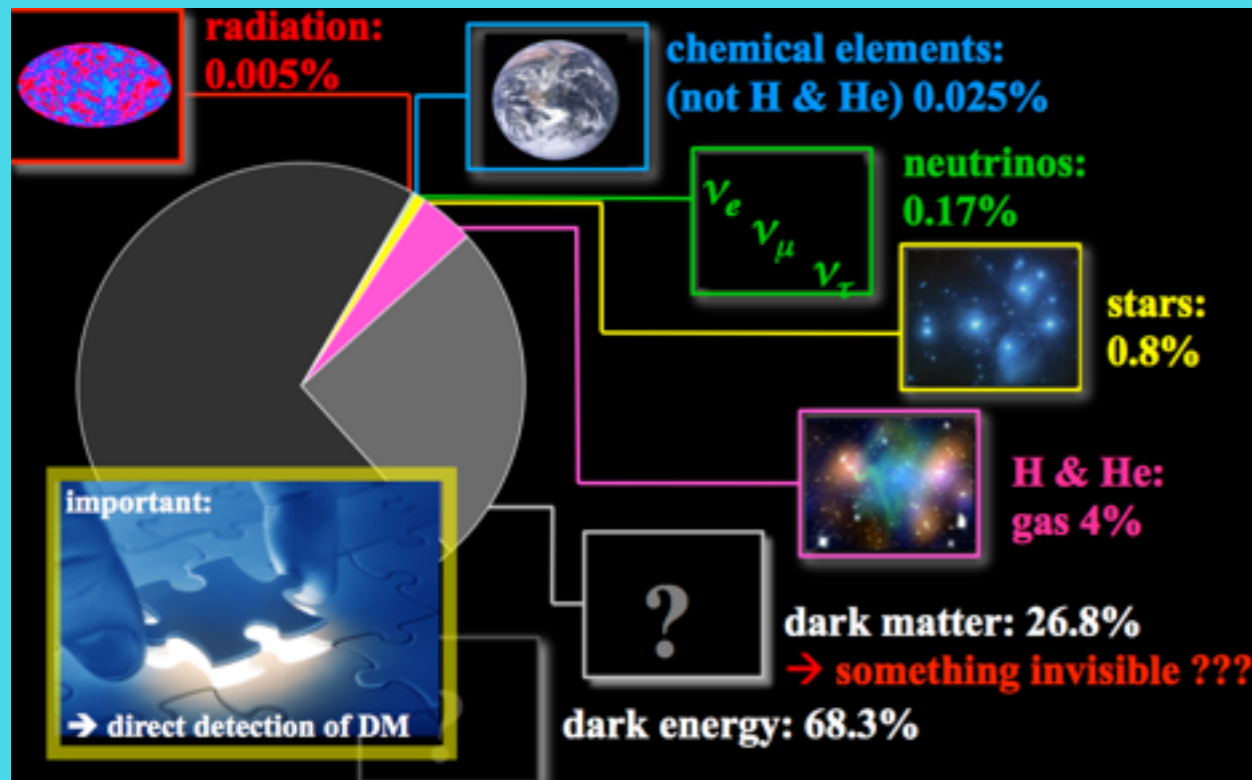
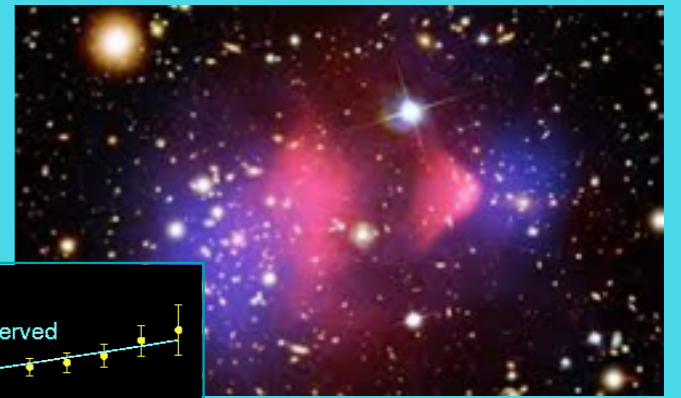


- ротационные кривые звезд
- гравитационные линзы
- крупномасштабная структура Вселенной

Тёмная материя сделана из:

- Макро объектов - не наблюдаются
- Новых нейтральных частиц

Тёмная материя

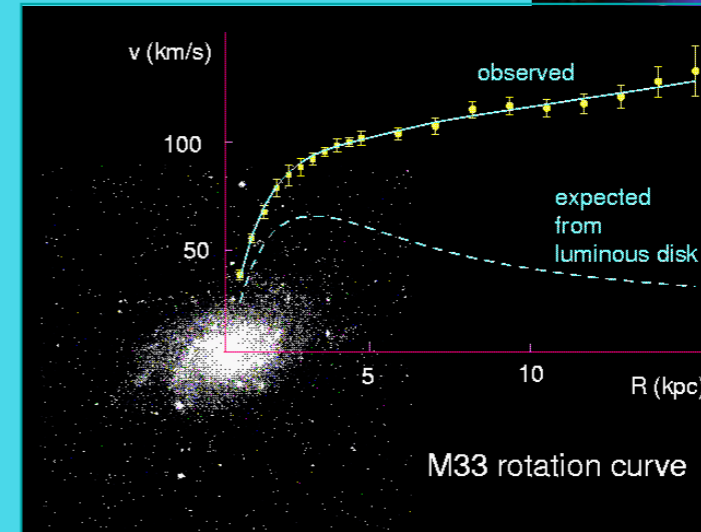
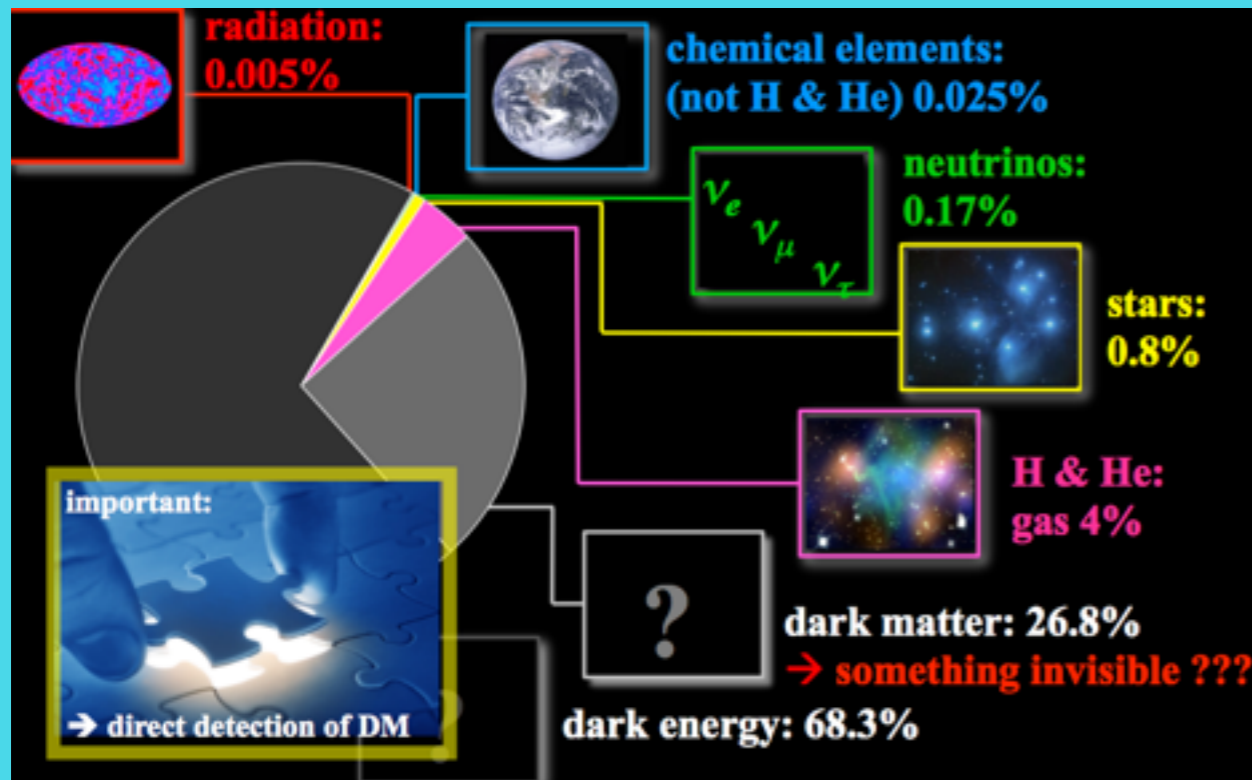
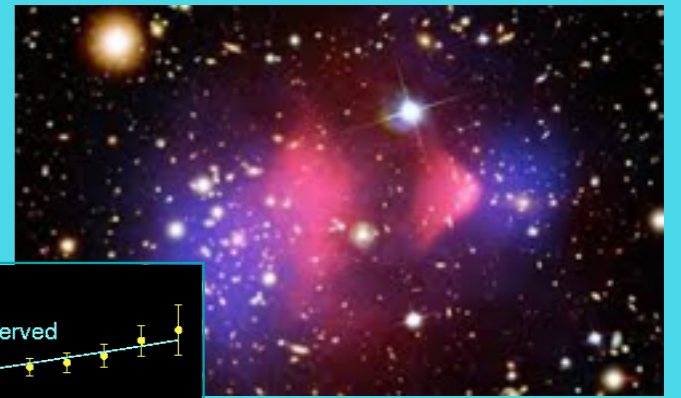


- ротационные кривые звезд
- гравитационные линзы
- крупномасштабная структура Вселенной

Тёмная материя сделана из:

- Макро объектов - не наблюдаются
 - Новых нейтральных частиц
- правые нейтрино

Тёмная материя

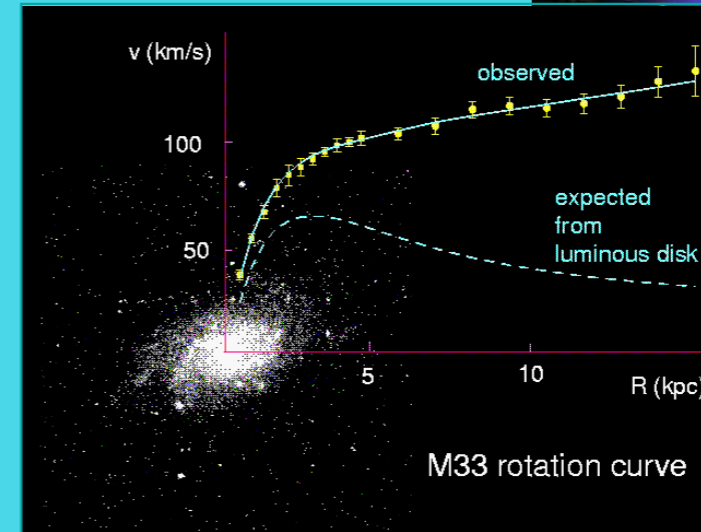
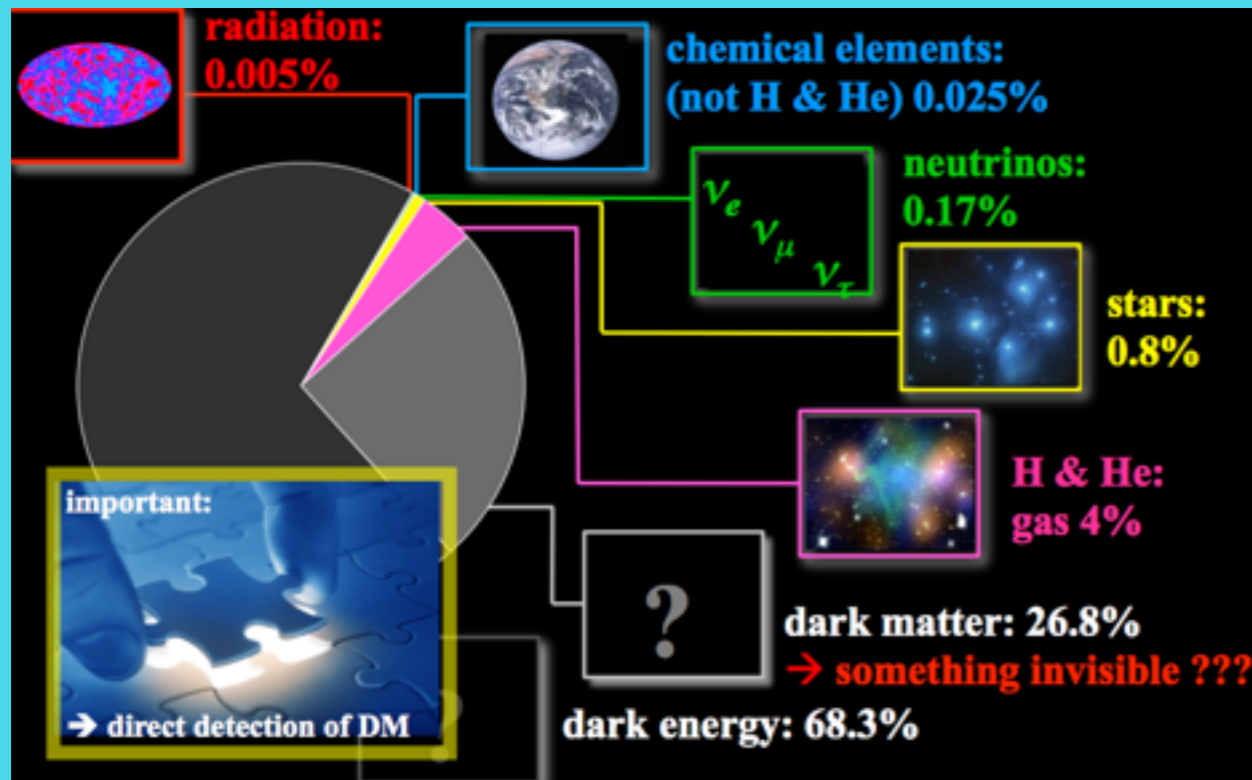
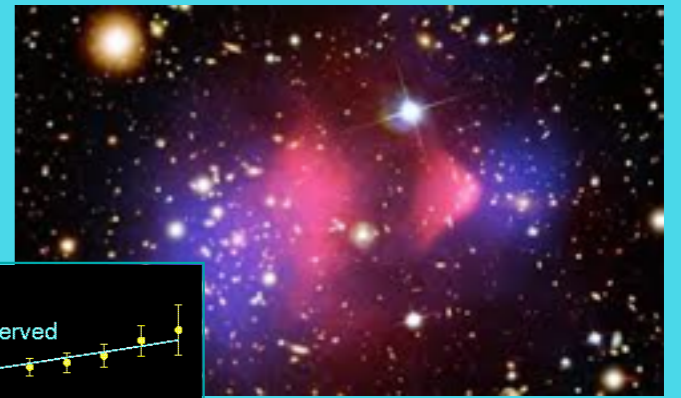


- ротационные кривые звезд
- гравитационные линзы
- крупномасштабная структура Вселенной

Тёмная материя сделана из:

- Макро объектов - не наблюдаются
- Новых нейтральных частиц
- правые нейтрино
- нейтралино

Тёмная материя

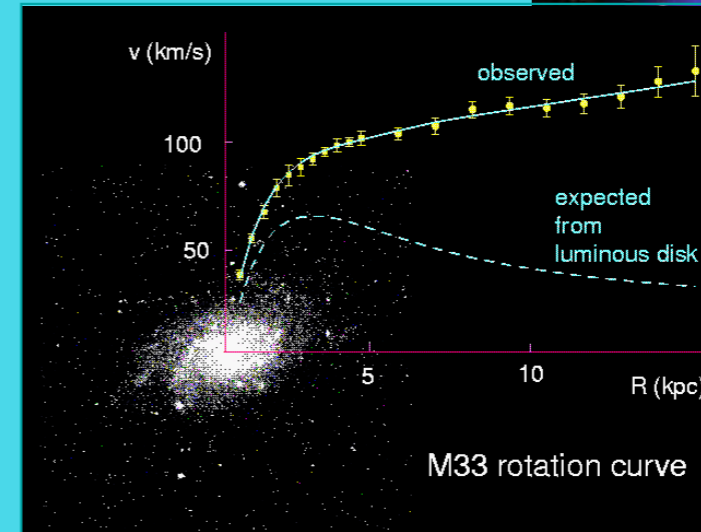
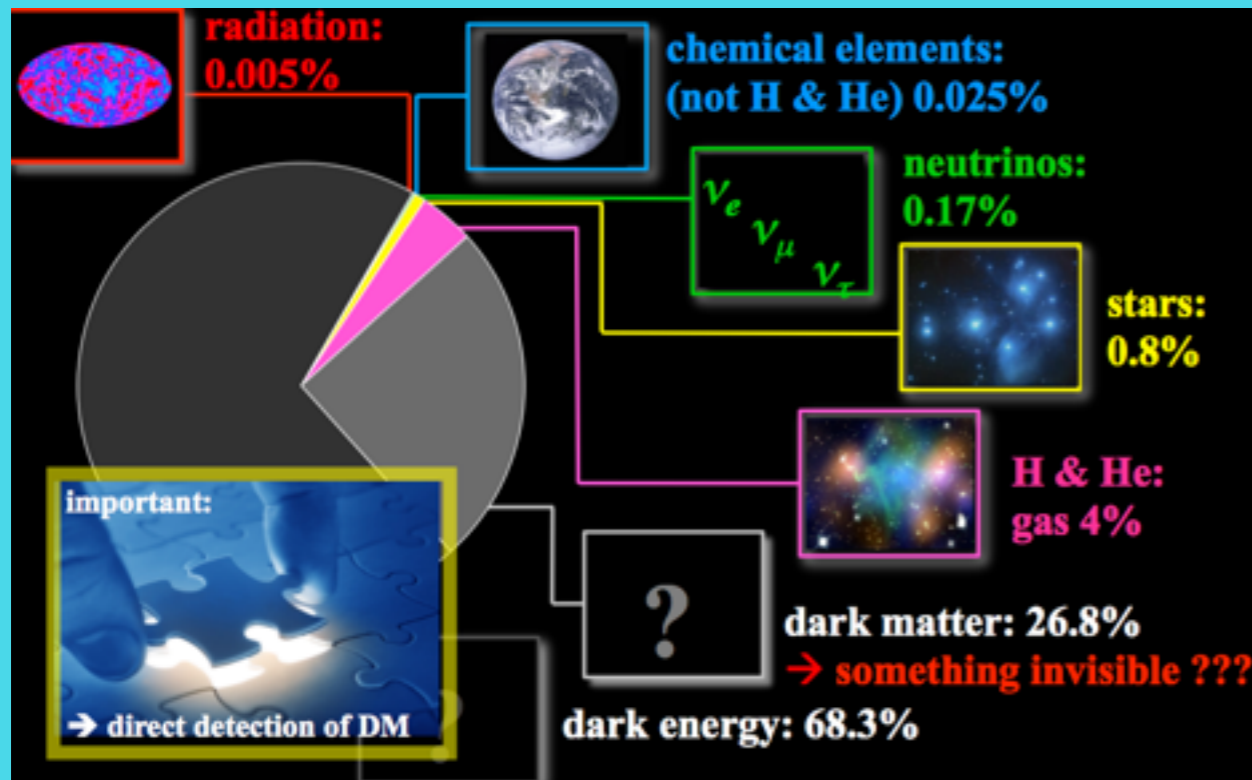
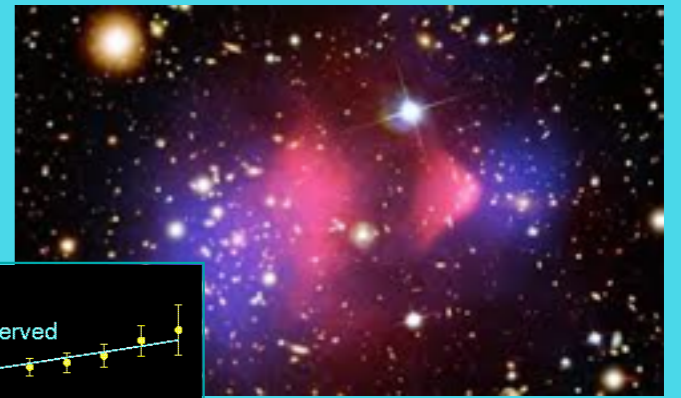


- ротационные кривые звезд
- гравитационные линзы
- крупномасштабная структура Вселенной

Тёмная материя сделана из:

- Макро объектов - не наблюдаются
- Новых нейтральных частиц
- правые нейтрино
- нейтралино
- снейтрино

Тёмная материя

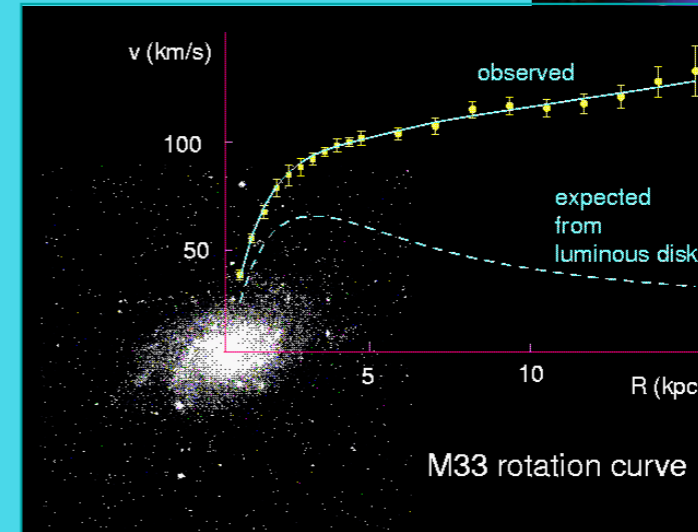
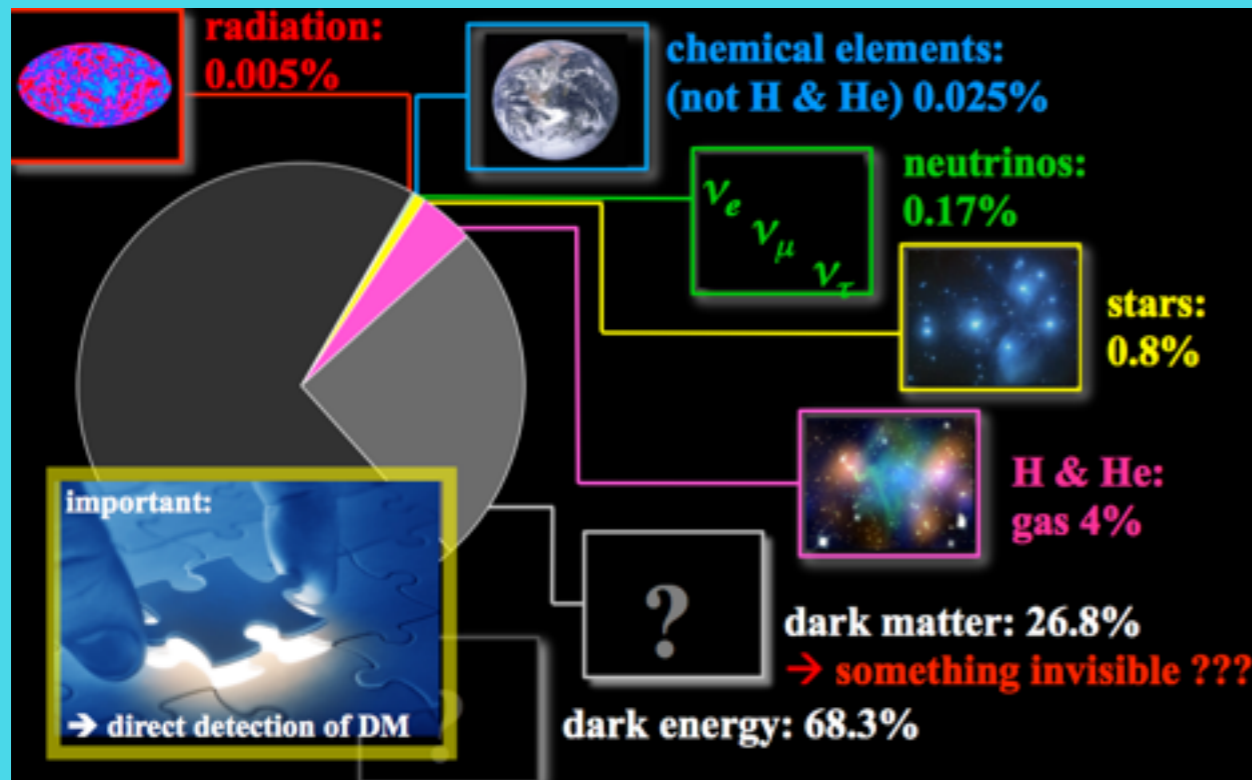
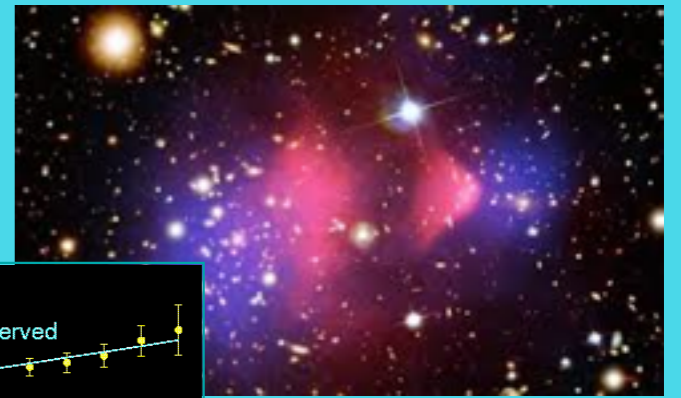


- ротационные кривые звезд
- гравитационные линзы
- крупномасштабная структура Вселенной

Тёмная материя сделана из:

- Макро объектов - не наблюдаются
- Новых нейтральных частиц
 - правые нейтрино
 - нейтралино
 - снейтрино
 - аксион (аксино)

Тёмная материя

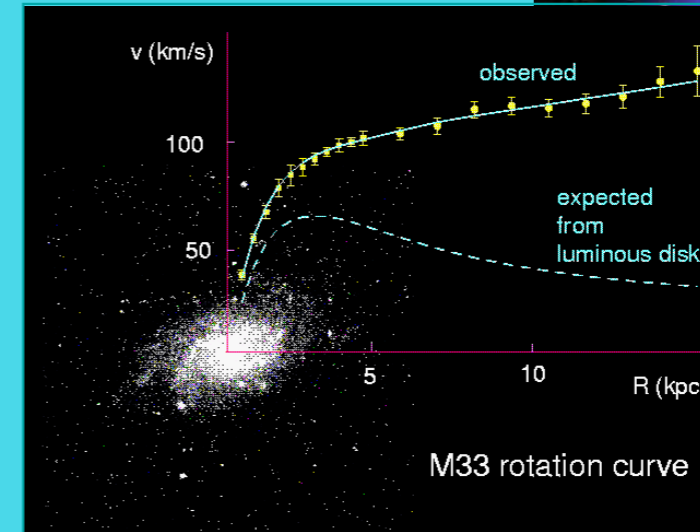
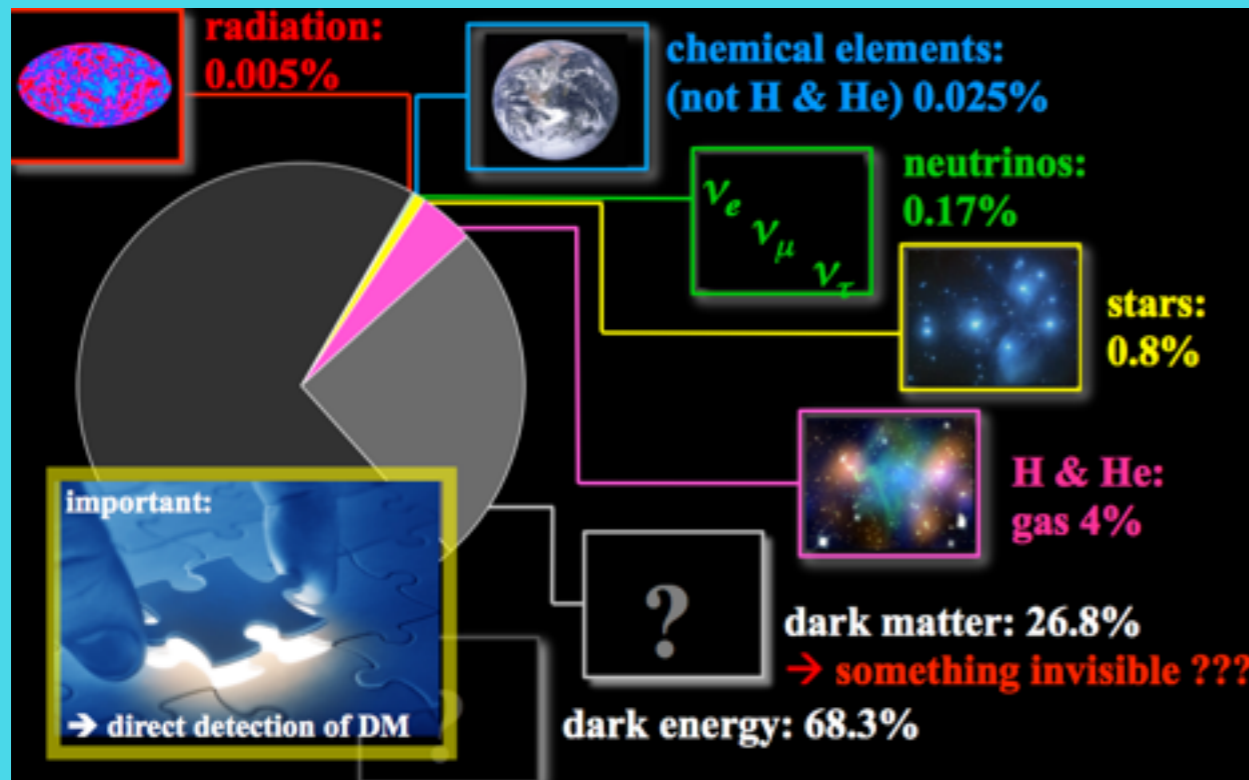
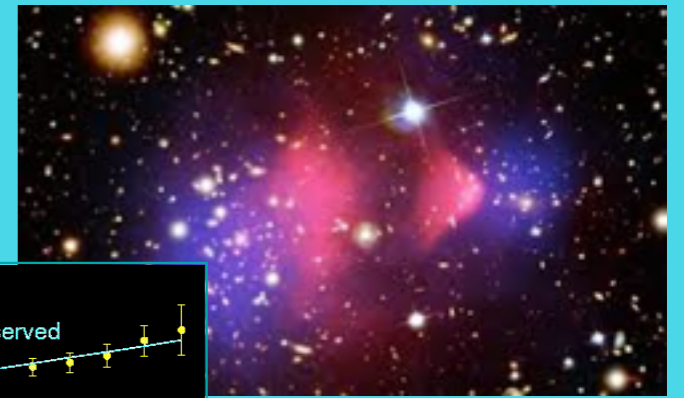


- ротационные кривые звезд
- гравитационные линзы
- крупномасштабная структура Вселенной

Тёмная материя сделана из:

- Макро объектов - не наблюдаются
 - Новых нейтральных частиц
- правые нейтрино
 - нейтралино
 - снейтрино
 - аксион (аксино)
 - гравитино

Тёмная материя

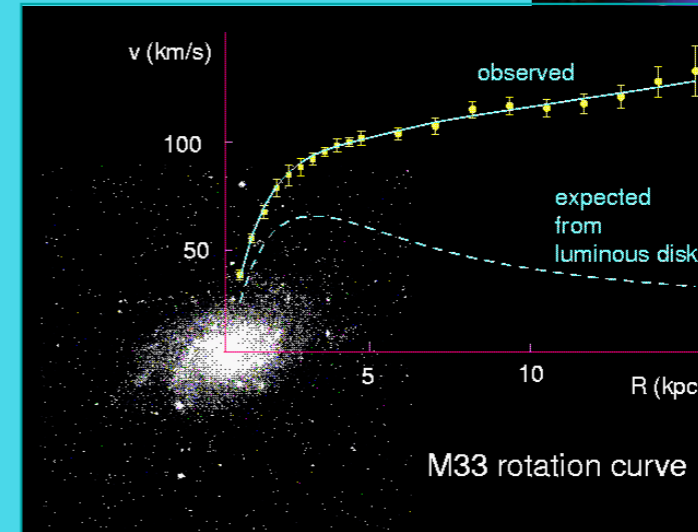
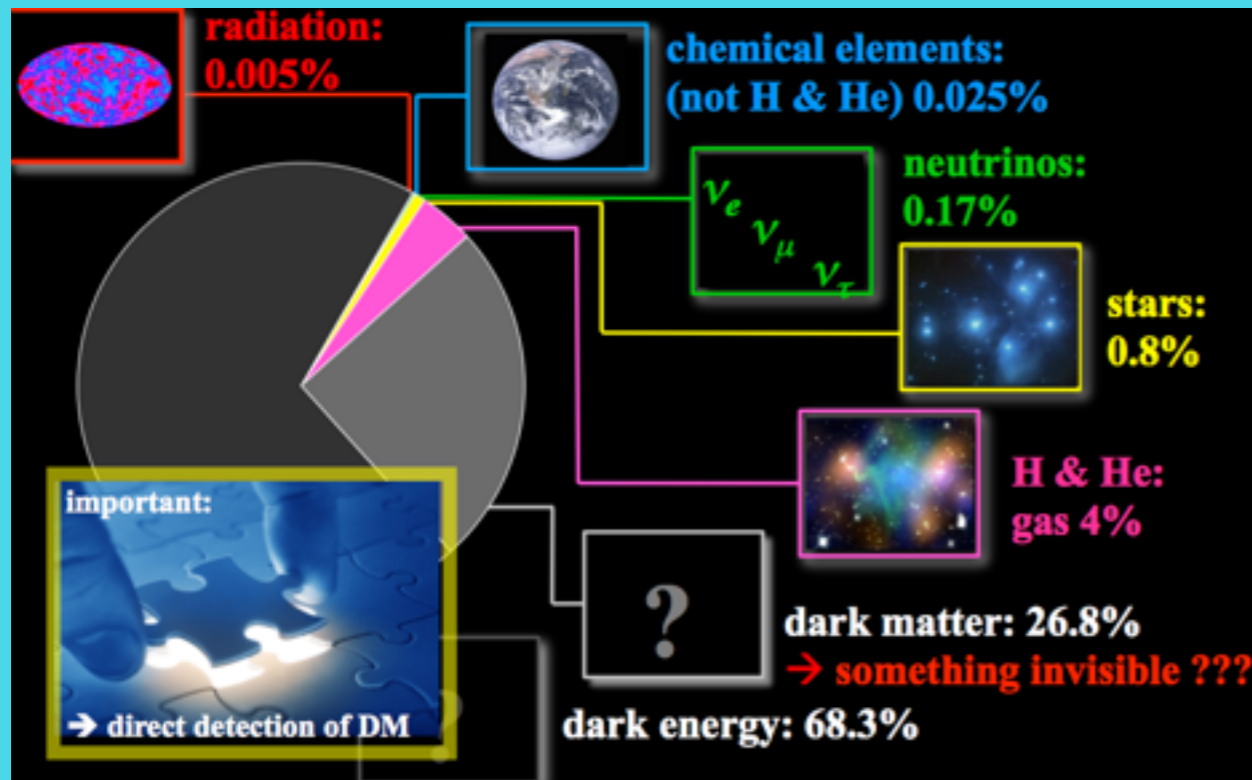
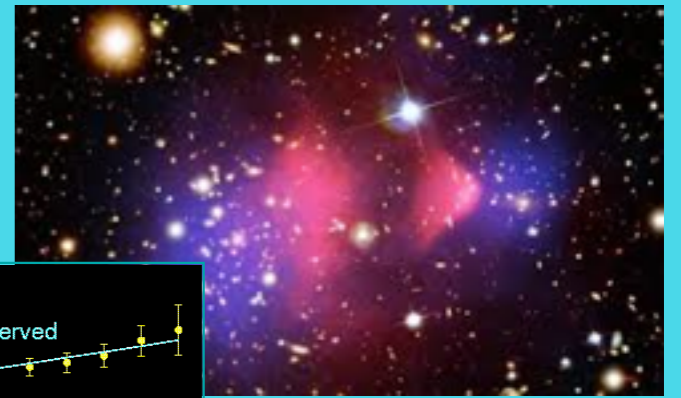


- ротационные кривые звезд
- гравитационные линзы
- крупномасштабная структура Вселенной

Тёмная материя сделана из:

- Макро объектов - не наблюдаются
- Новых нейтральных частиц
- правые нейтрино
- нейтралино
- снейтрино
- аксион (аксино)
- гравитино
- тяжёлый фотон

Тёмная материя

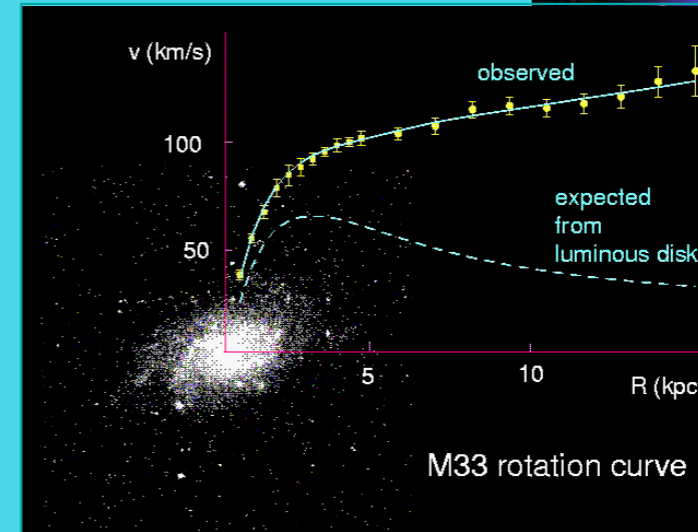
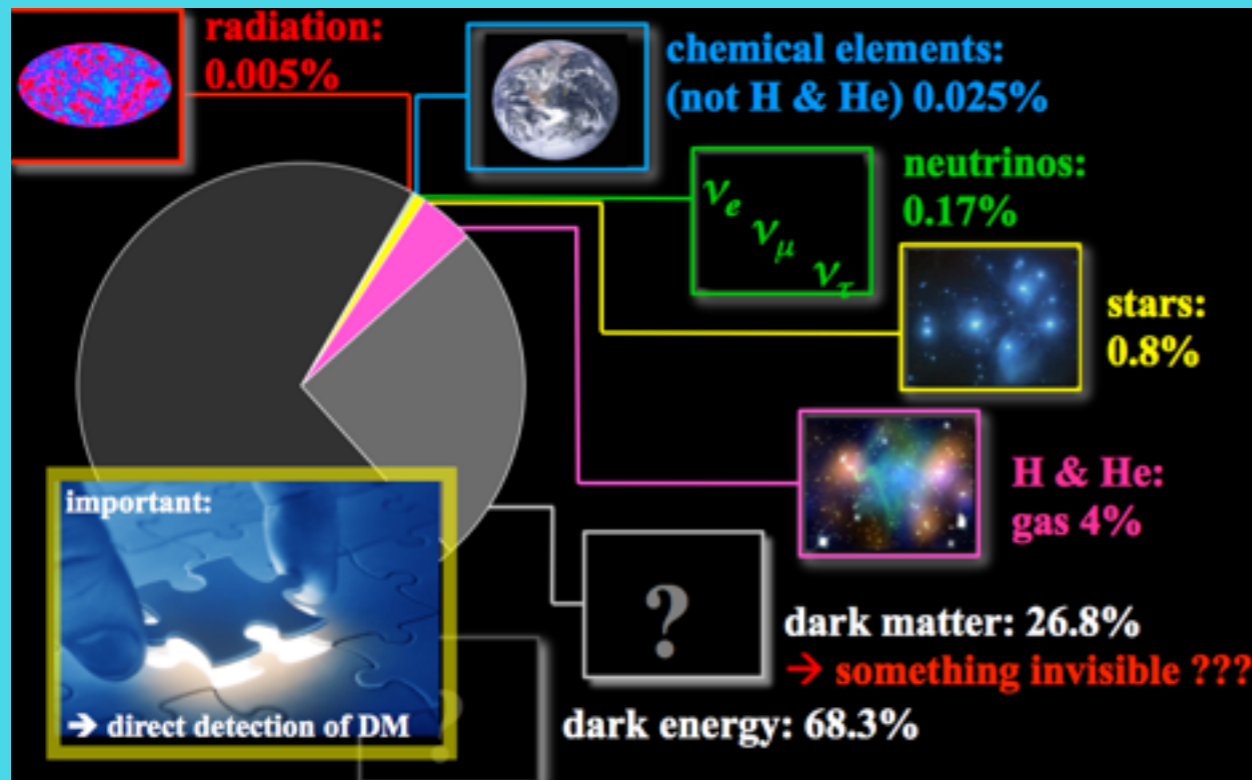
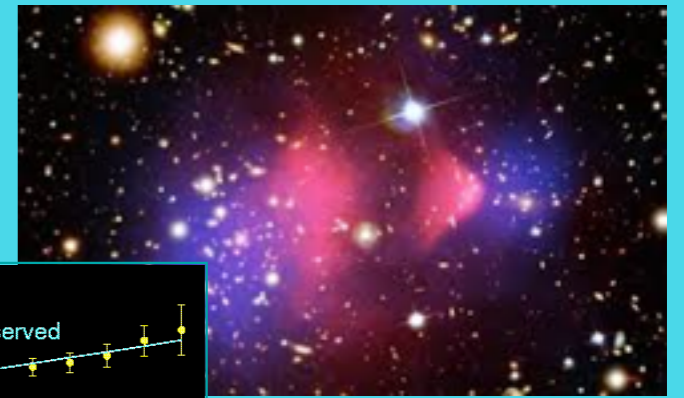


- ротационные кривые звезд
- гравитационные линзы
- крупномасштабная структура Вселенной

Тёмная материя сделана из:

- Макро объектов - не наблюдаются
 - Новых нейтральных частиц
- правые нейтрино
 - нейтралино
 - снейтрино
 - аксион (аксино)
 - гравитино
 - тяжёлый фотон
 - лёгкий стерильный хиггс

Тёмная материя



- ротационные кривые звезд
- гравитационные линзы
- крупномасштабная структура Вселенной

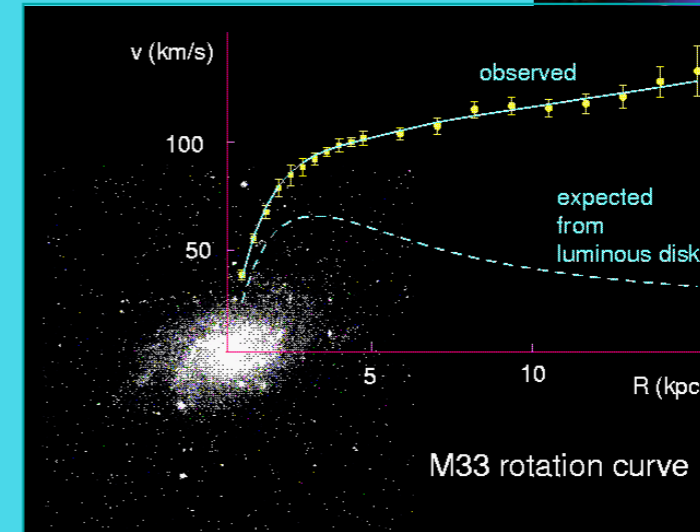
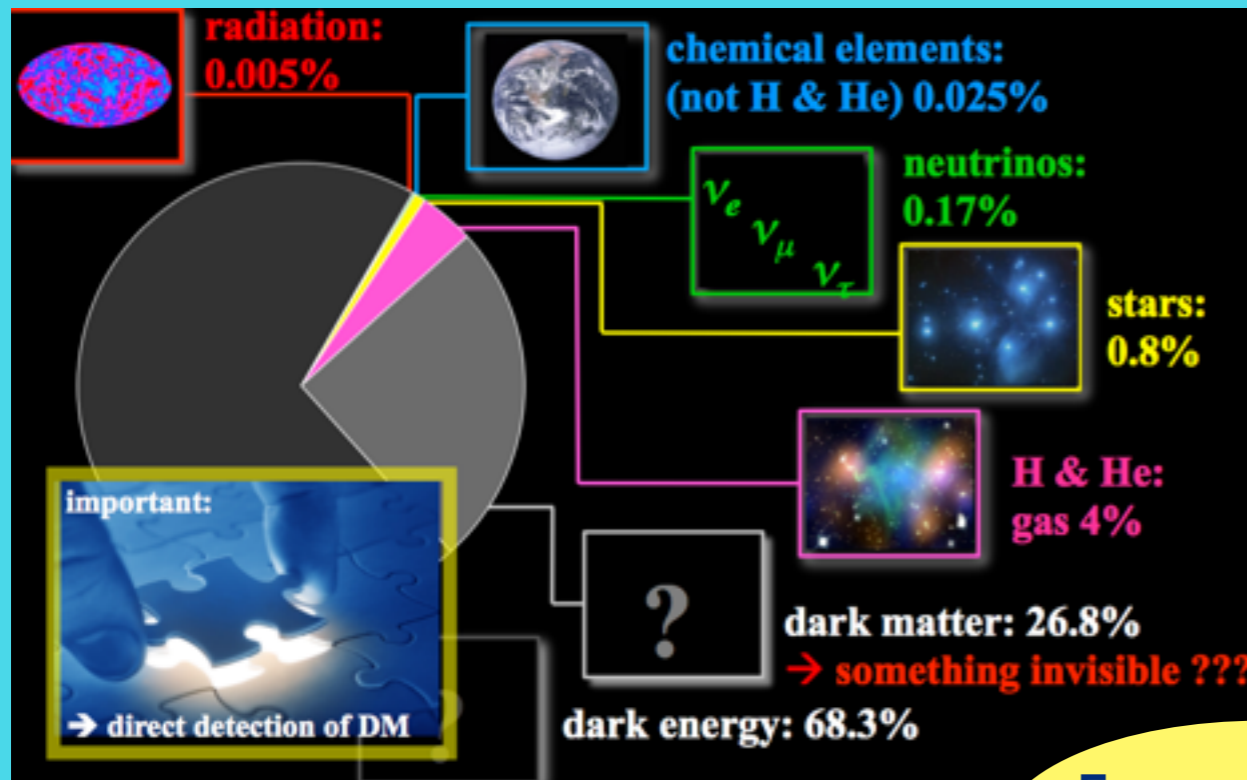
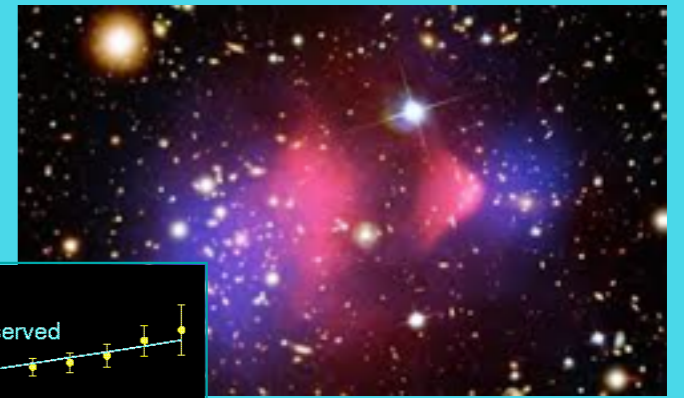
Тёмная материя сделана из:

- Макро объектов - не наблюдаются
- Новых нейтральных частиц

- правые нейтрино
- нейтралино
- снейтрино
- аксион (аксино)
- гравитино
- тяжёлый фотон
- лёгкий стерильный хиггс

?

Тёмная материя



- ротационные кривые звезд
- гравитационные линзы
- крупномасштабная структура Вселенной

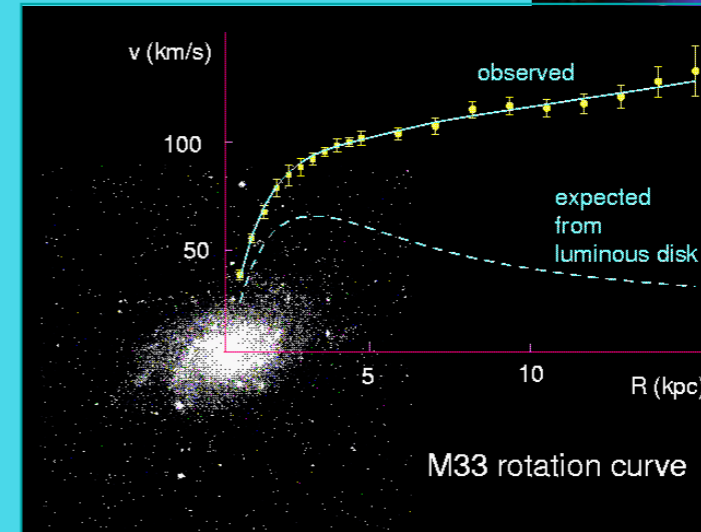
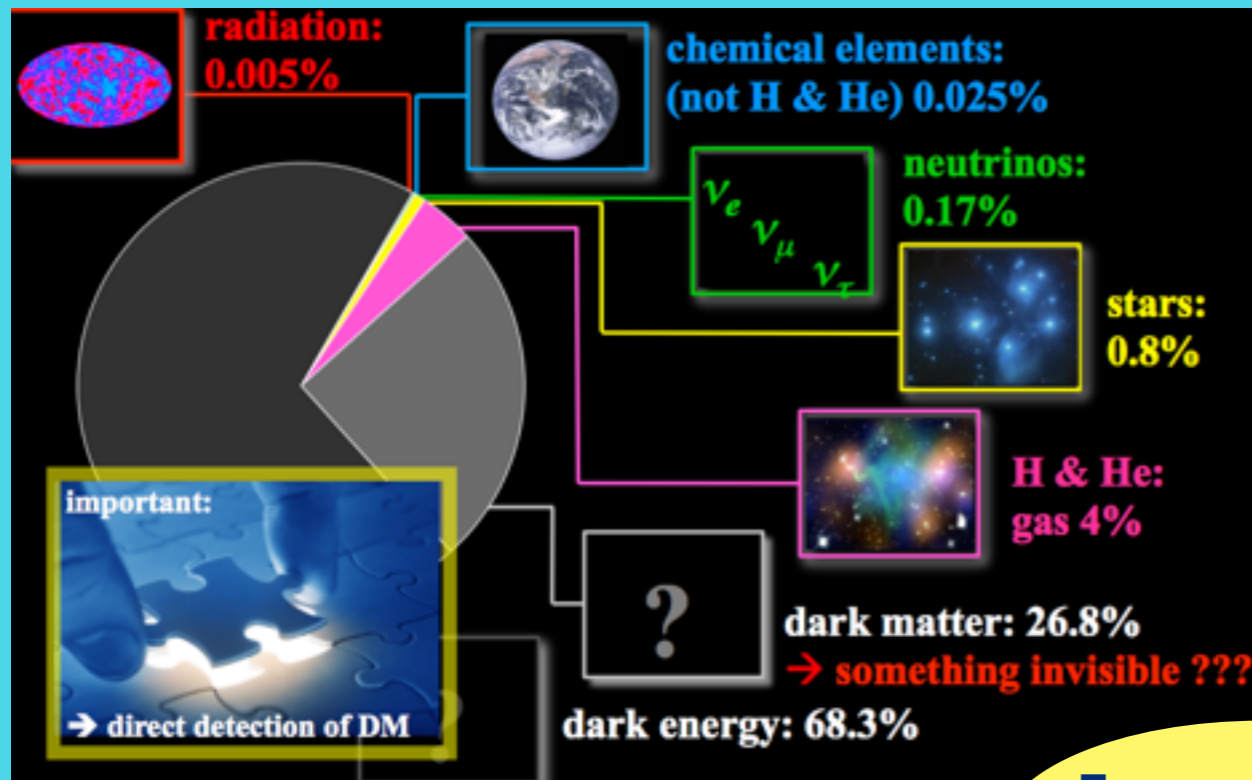
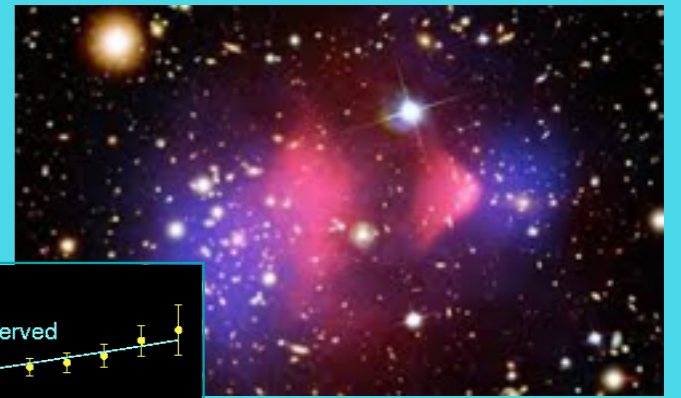
Единственный кандидат в СМ

Тёмная материя сделана из:

- Макро объектов - не наблюдаются
- Новых нейтральных частиц
 - правые нейтрино
 - нейтралино
 - снейтрино
 - аксион (аксино)
 - гравитино
 - тяжёлый фотон
 - лёгкий стерильный хиггс

?

Тёмная материя



- ротационные кривые звезд
- гравитационные линзы
- крупномасштабная структура Вселенной

Единственный кандидат в СМ

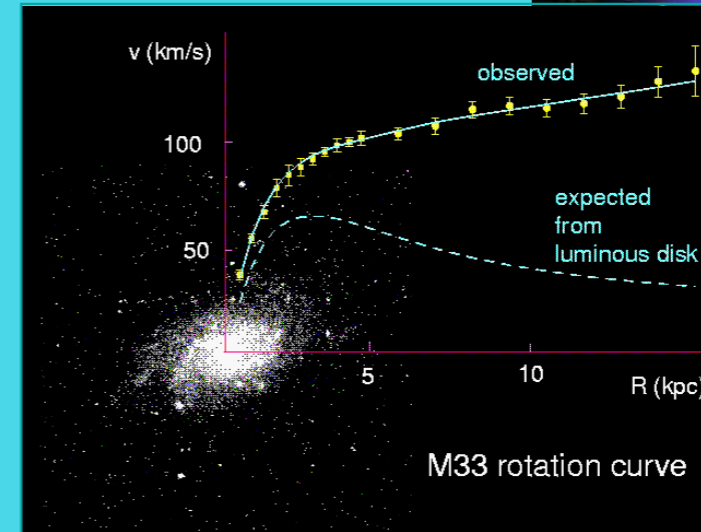
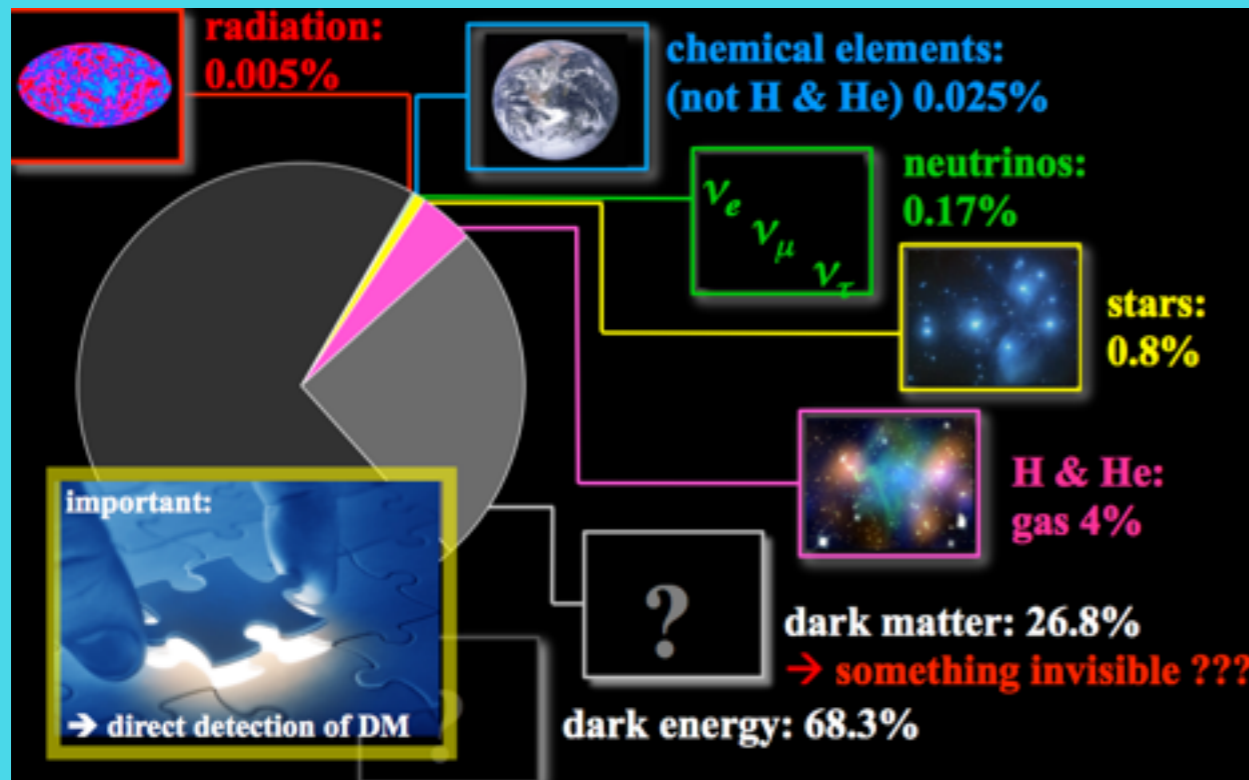
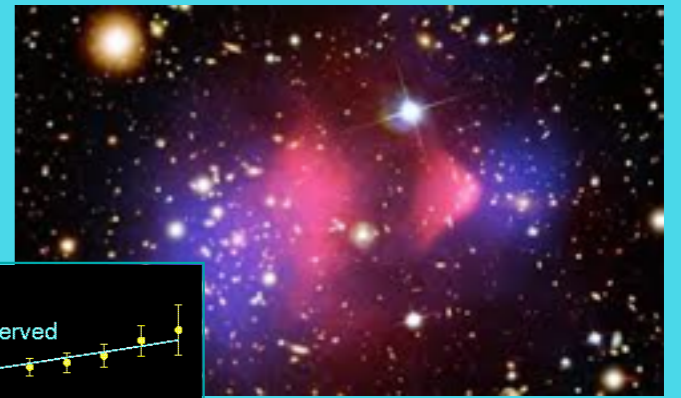
Тёмная материя сделана из:

- Макро объектов - не наблюдаются
- Новых нейтральных частиц

- правые нейтрино
- нейтралино
- снейтрино
- аксион (аксино)
- гравитино
- тяжёлый фотон
- лёгкий стерильный хиггс

Главный кандидат в МССМ

Тёмная материя



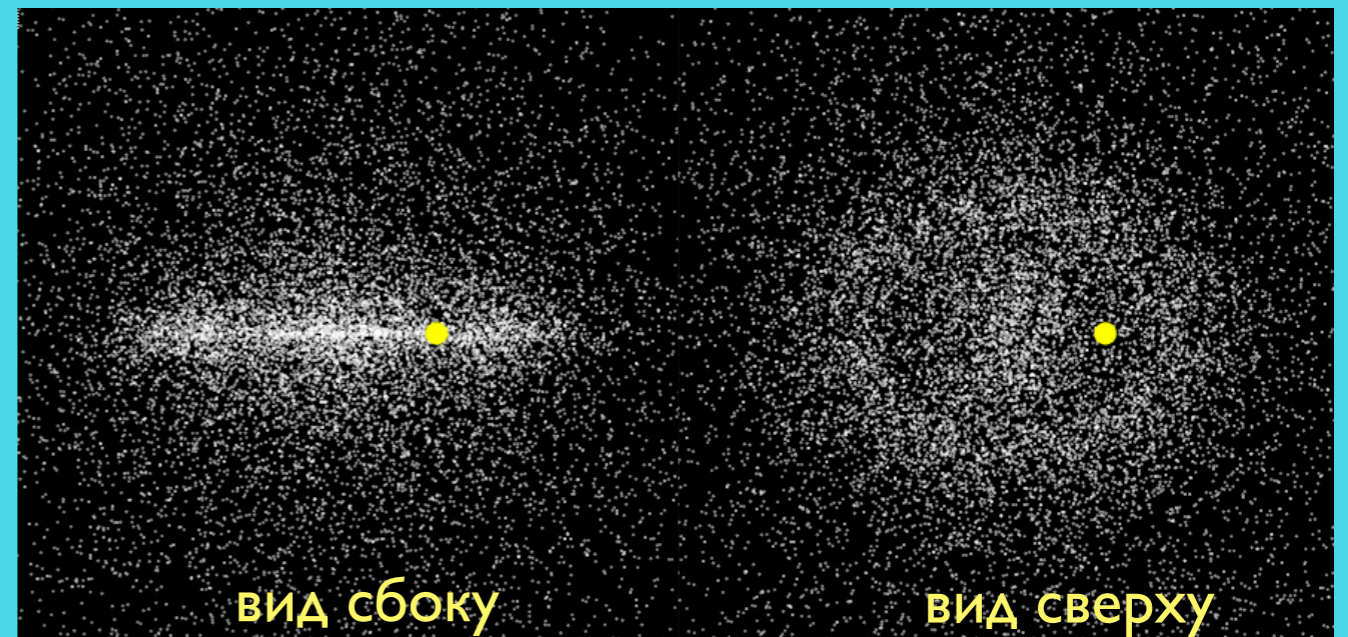
- ротационные кривые звезд
- гравитационные линзы
- крупномасштабная структура Вселенной

Тёмная материя сделана из:

- Макро объектов - не наблюдаются
- Новых нейтральных частиц

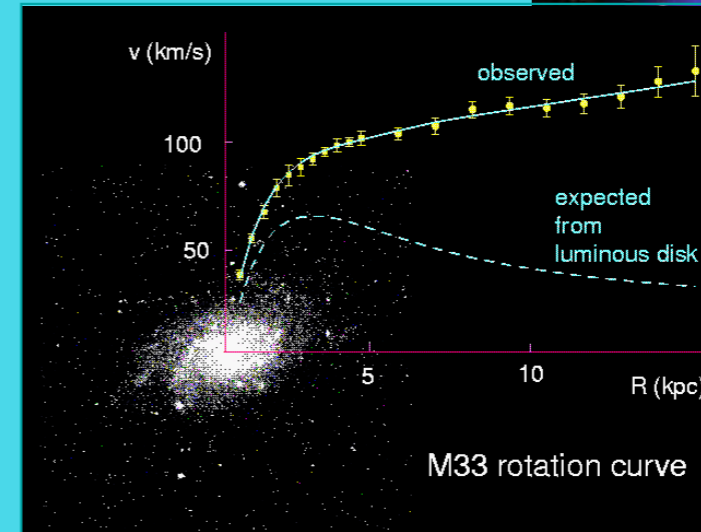
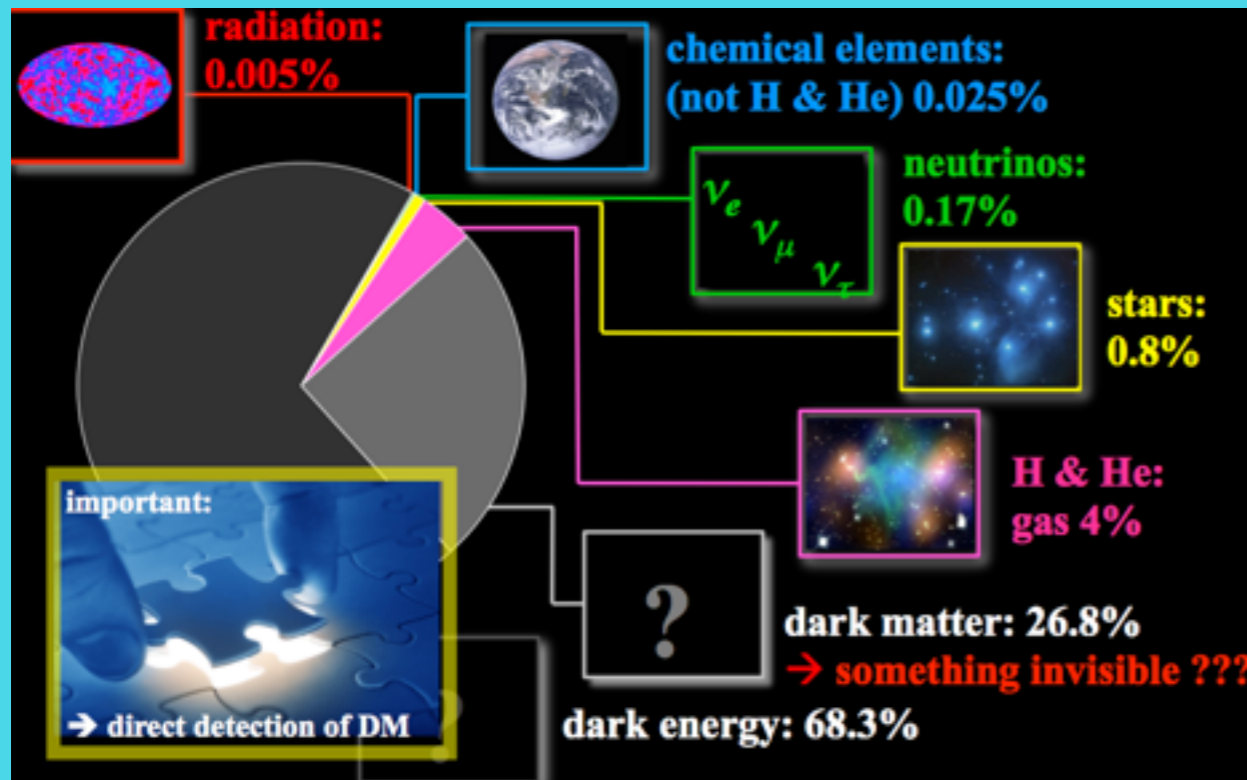
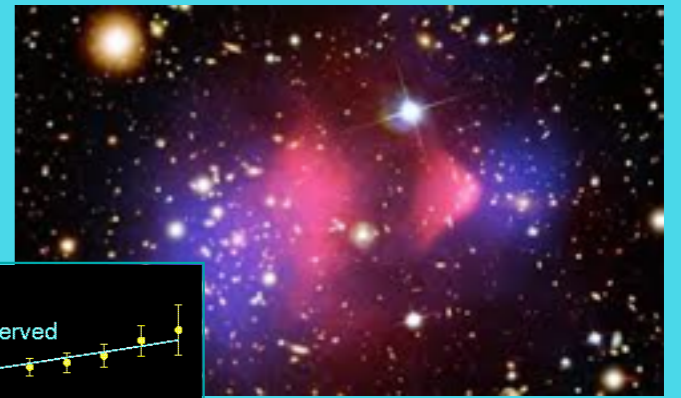
- правые нейтрино
- нейтралино
- снейтрино
- аксион (аксино)
- гравитино
- тяжёлый фотон
- лёгкий стерильный хиггс

?



Структура гало ТМ Млечного пути

Тёмная материя



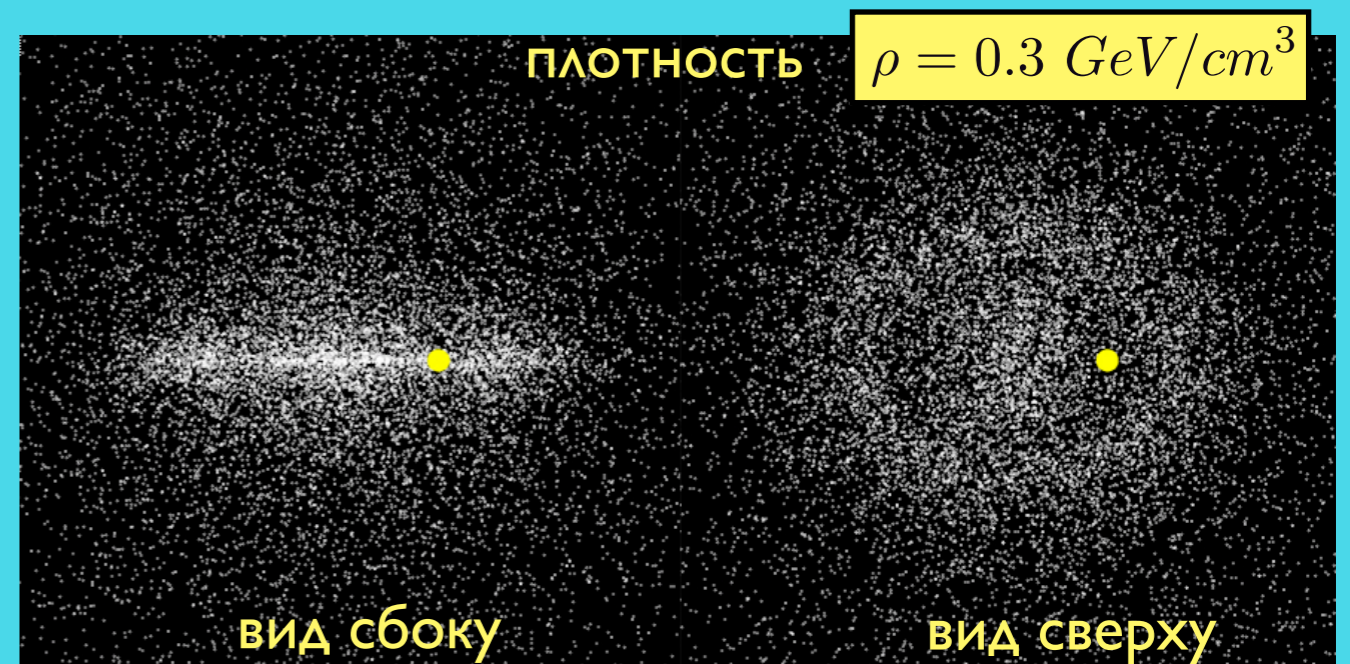
- ротационные кривые звезд
- гравитационные линзы
- крупномасштабная структура Вселенной

Тёмная материя сделана из:

- Макро объектов - не наблюдаются
- Новых нейтральных частиц

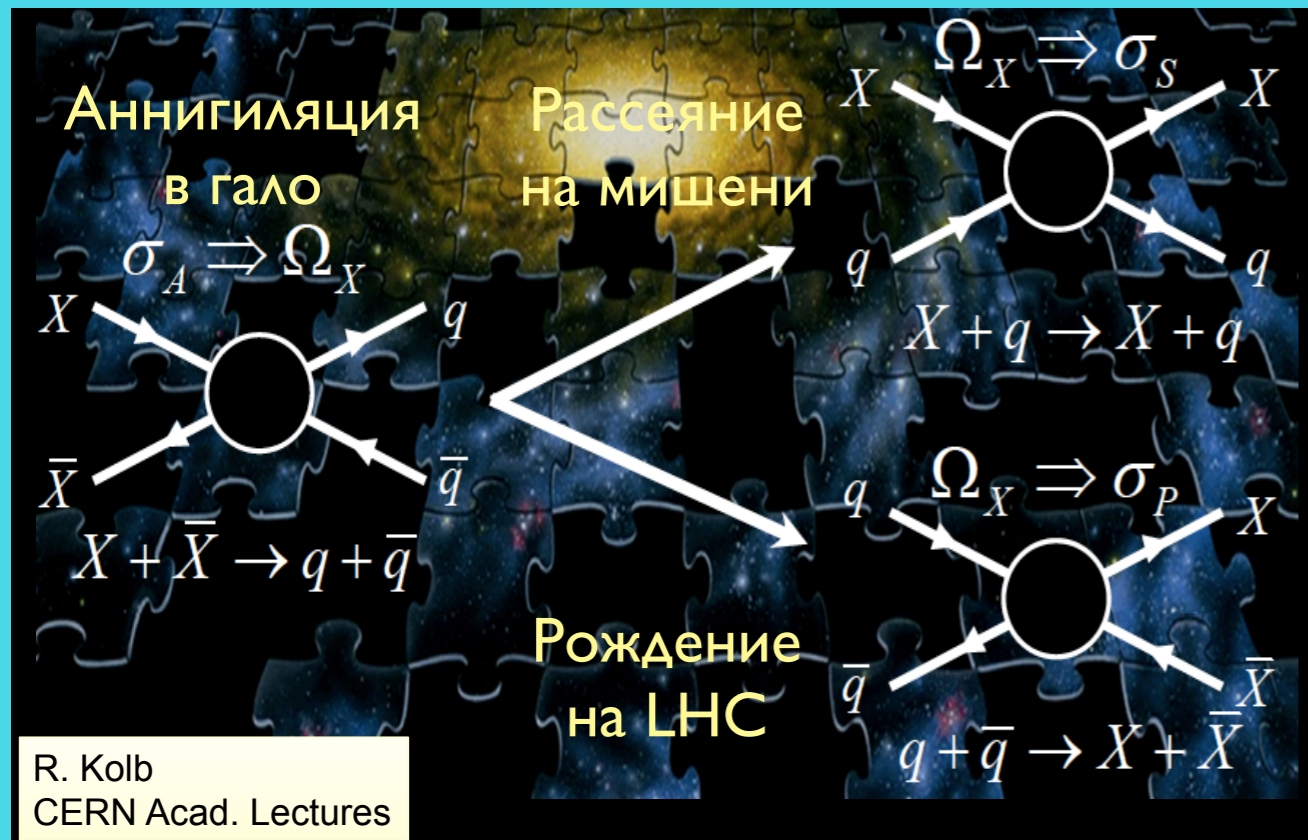
- правые нейтрино
- нейтралино
- снейтрино
- аксион (аксино)
- гравитино
- тяжёлый фотон
- лёгкий стерильный хиггс

?

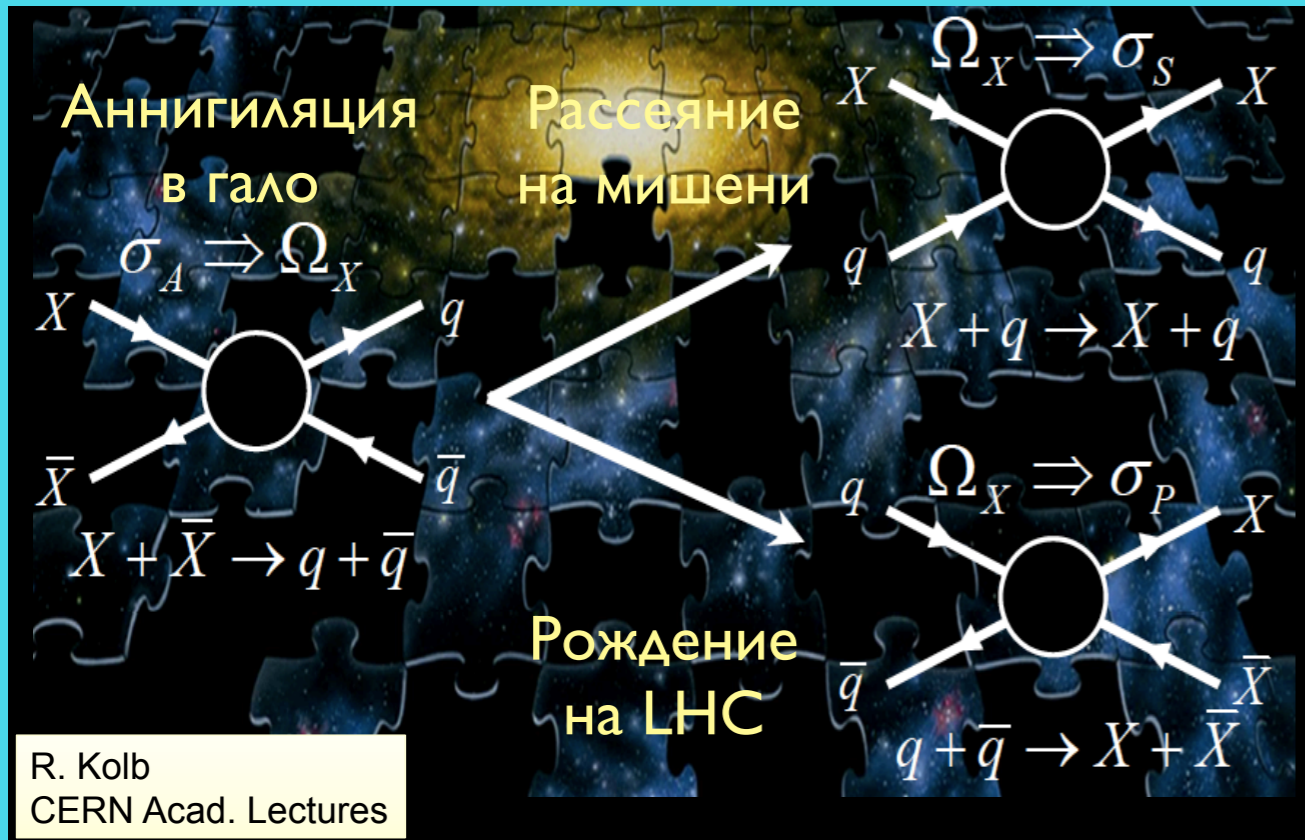


Структура гало ТМ Млечного пути

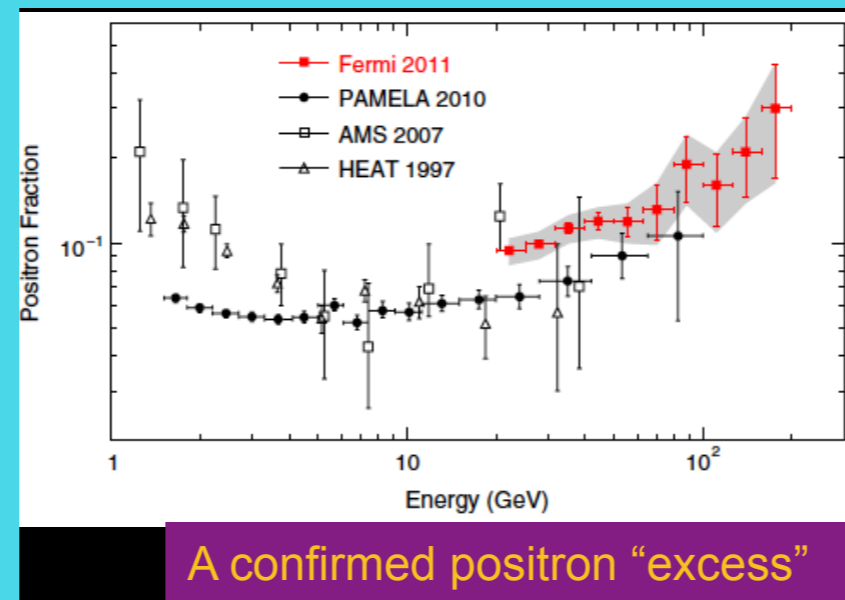
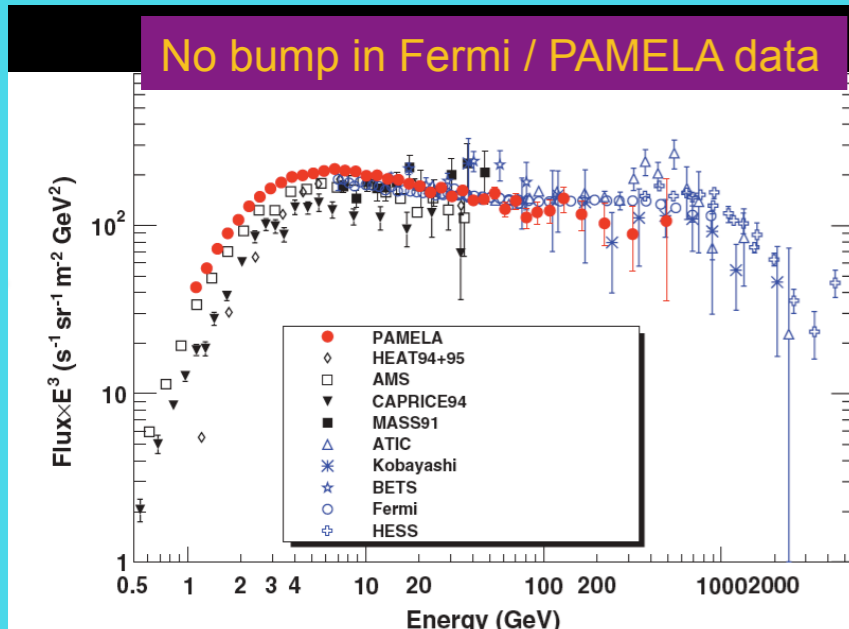
Поиски тёмной материи



Поиски тёмной материи

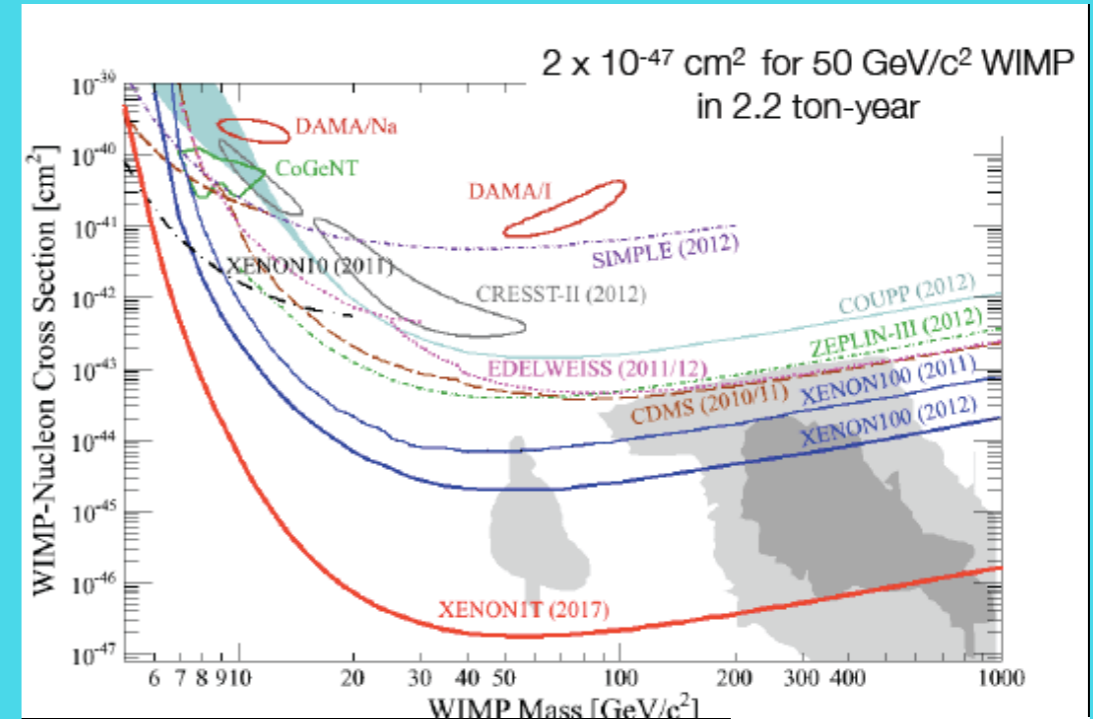
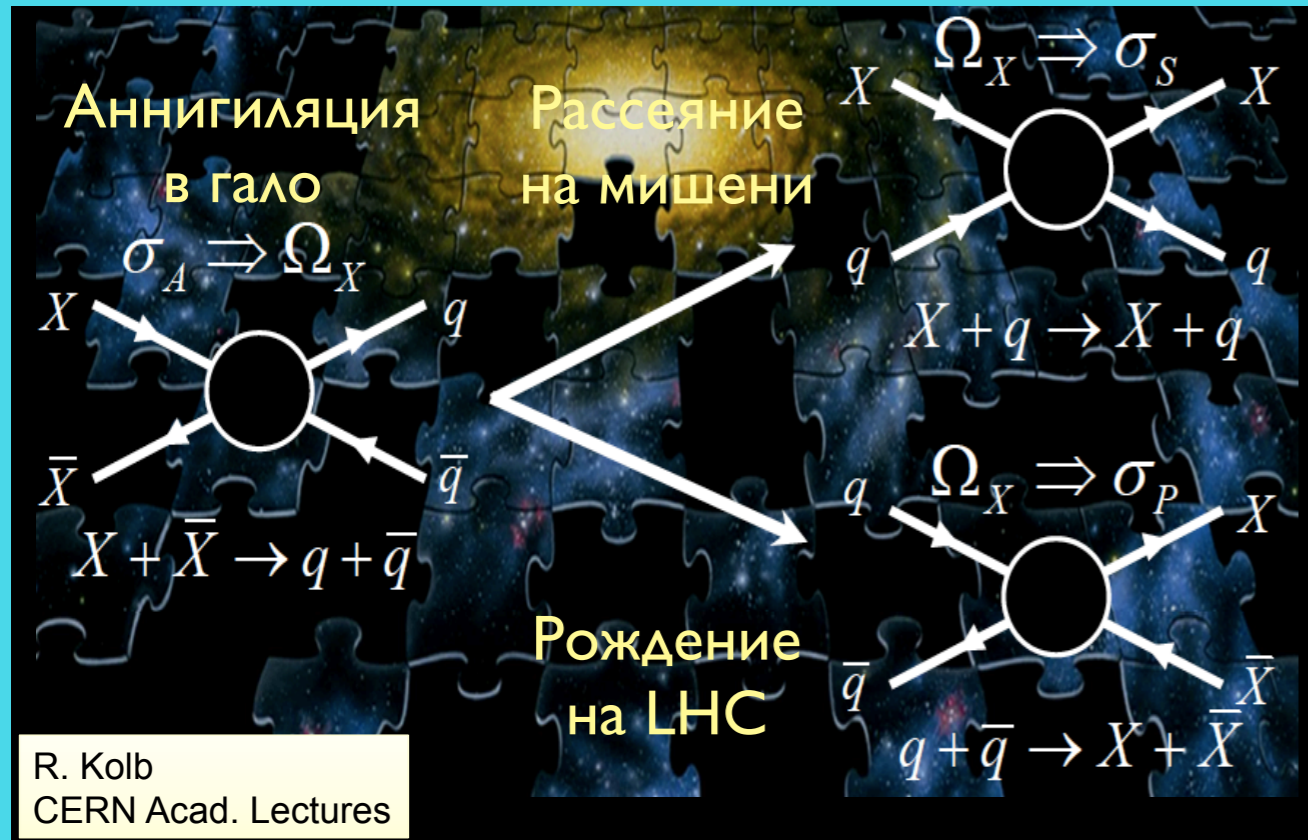


Аннигиляция
в гало

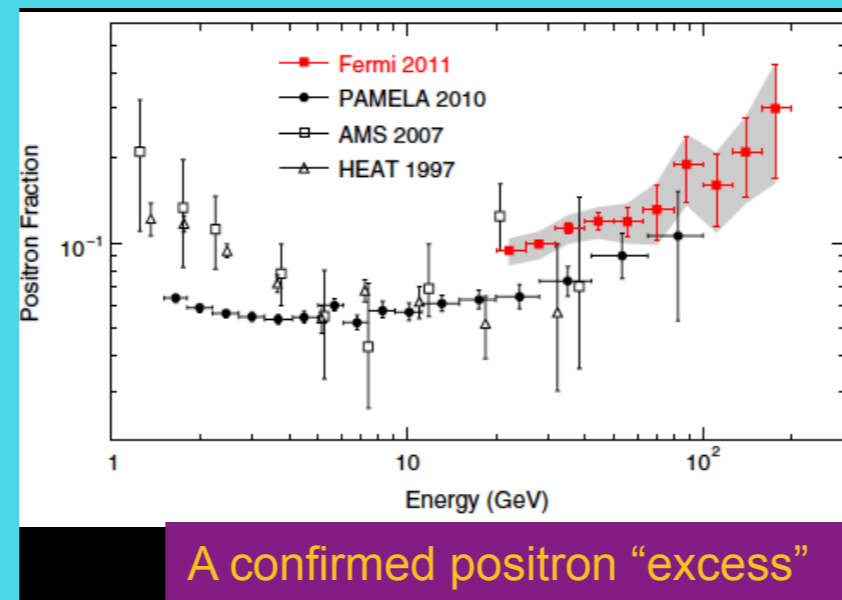
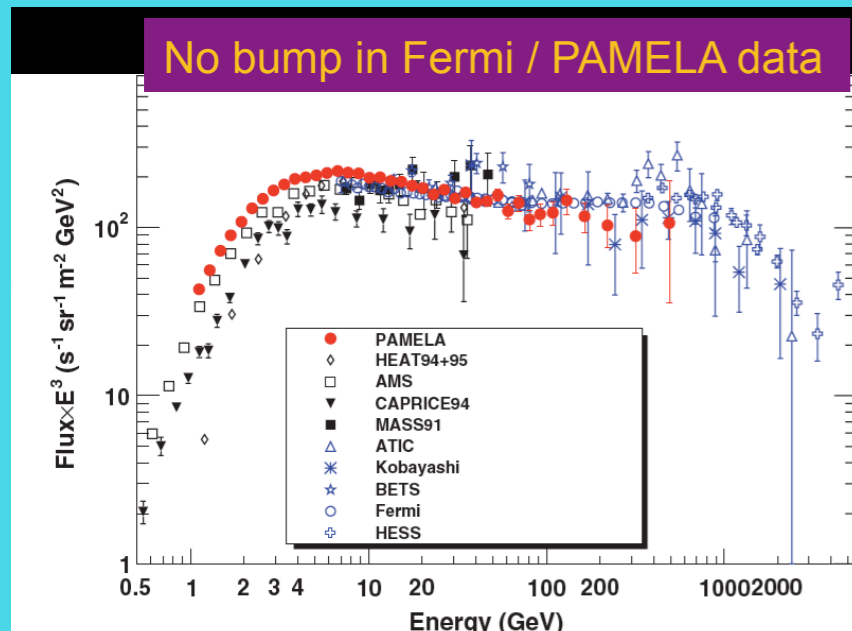


Поиски тёмной материи

Рассеяние
на мишени

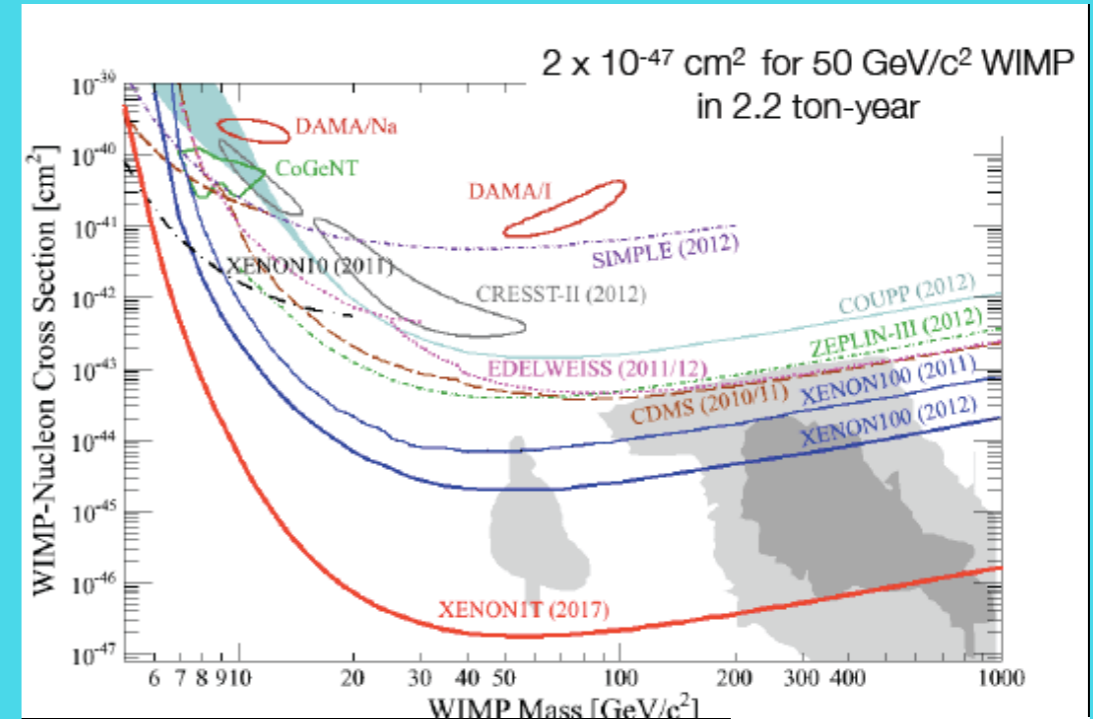
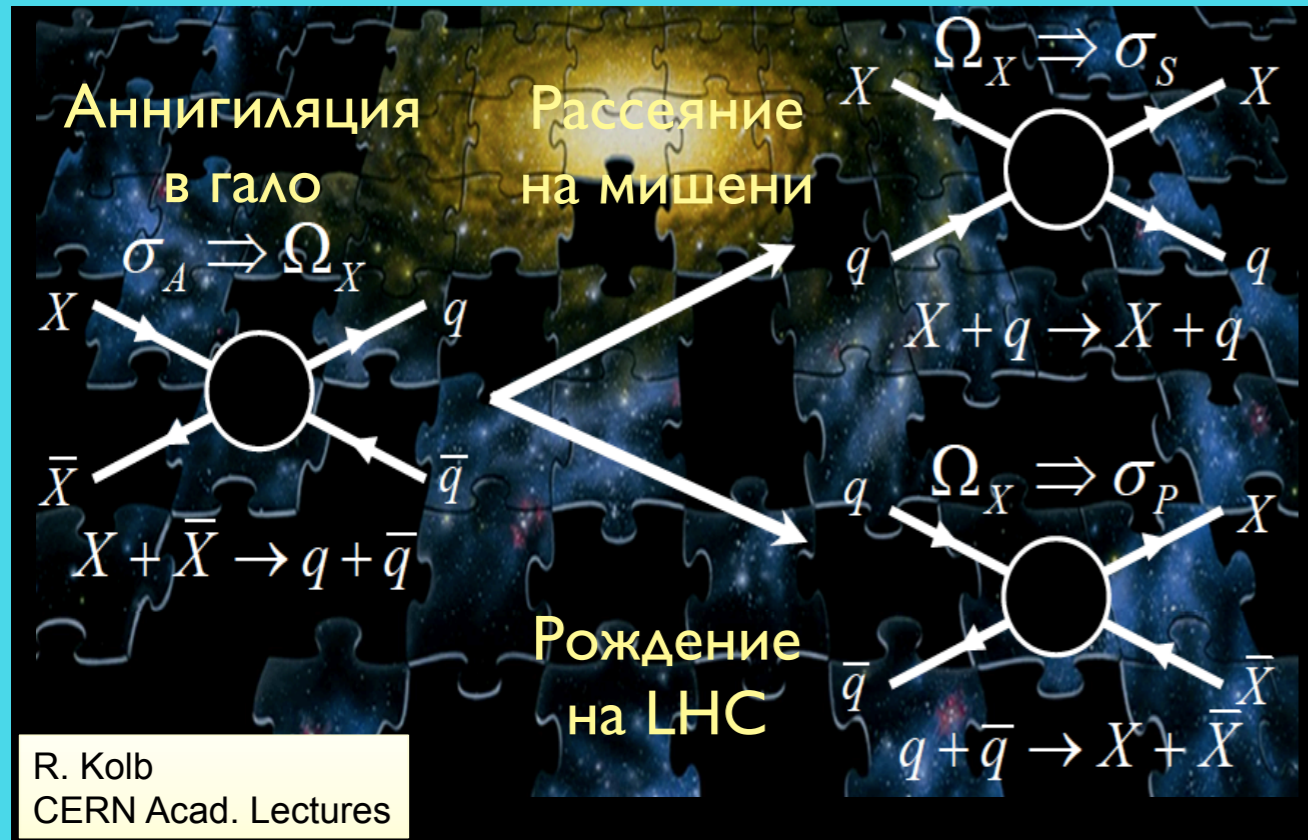


Аннигиляция
в гало



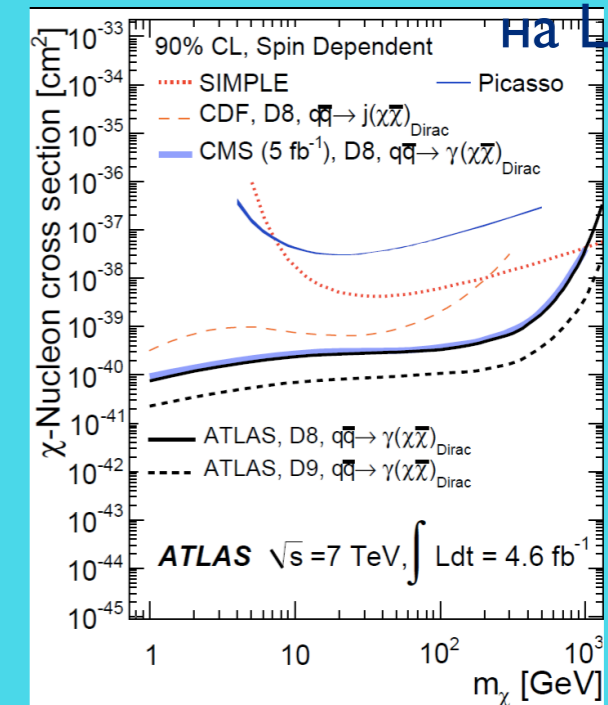
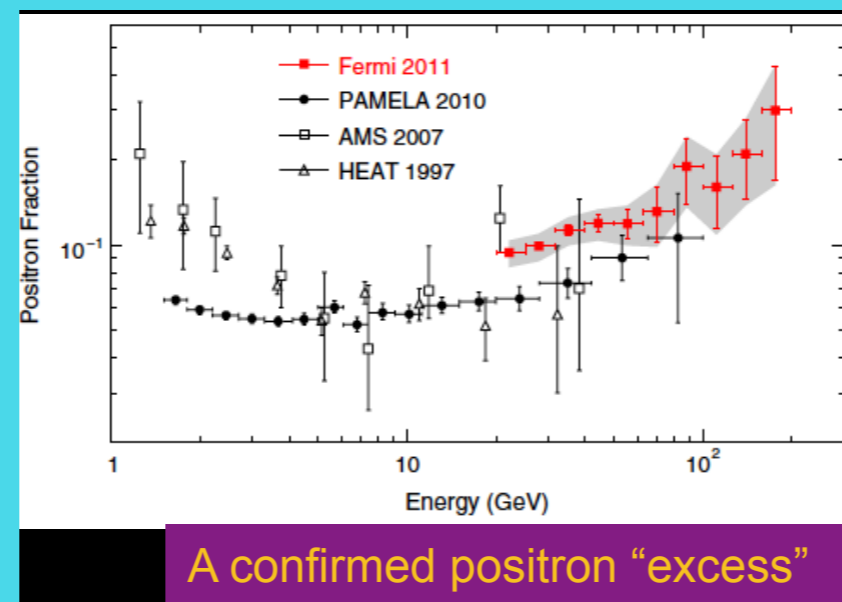
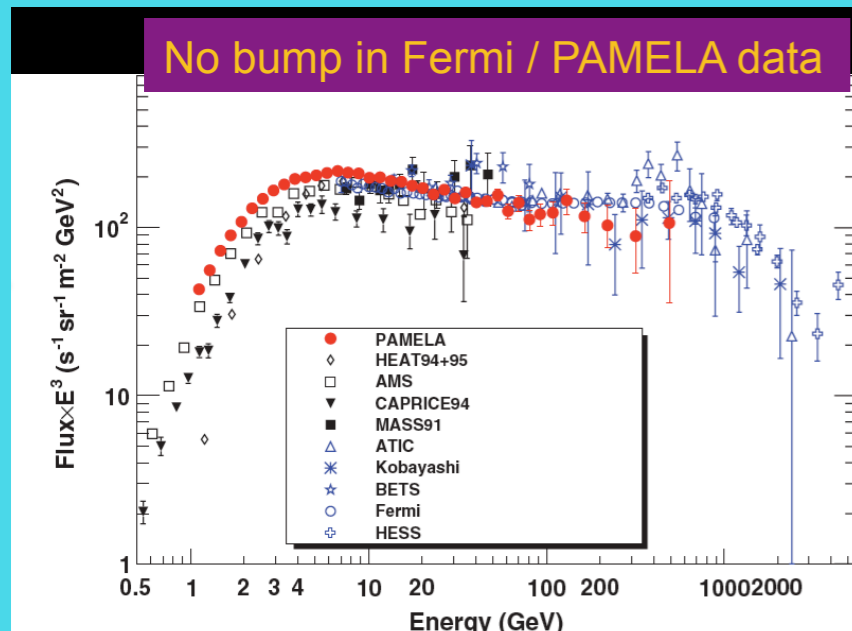
Поиски тёмной материи

Рассеяние
на мишени



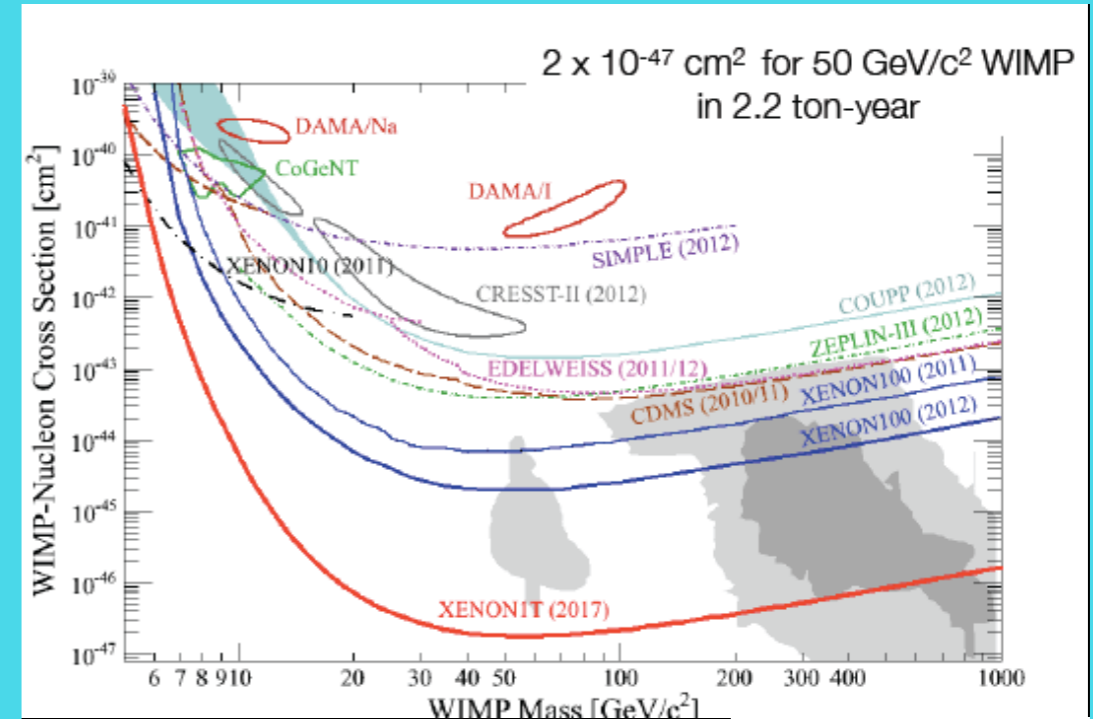
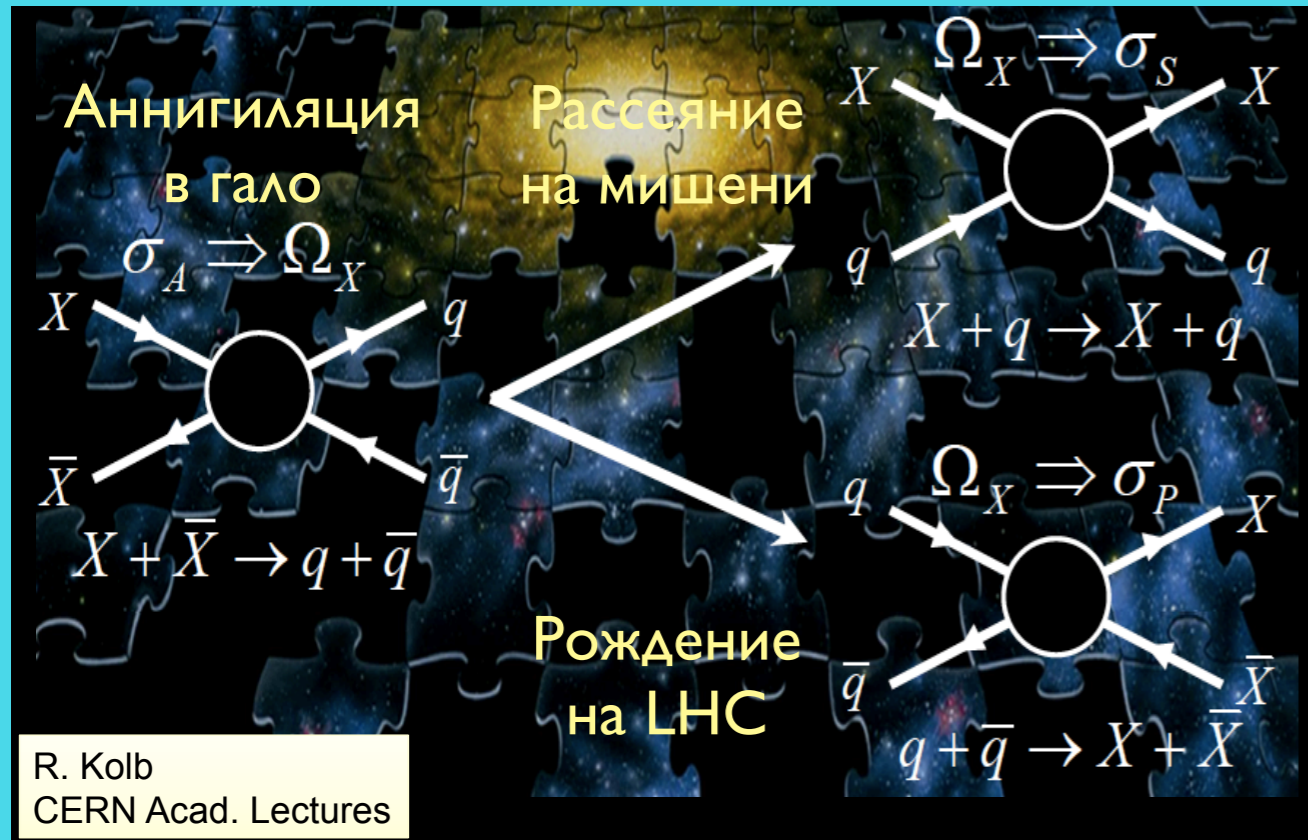
Аннигиляция
в гало

Рождение
на LHC



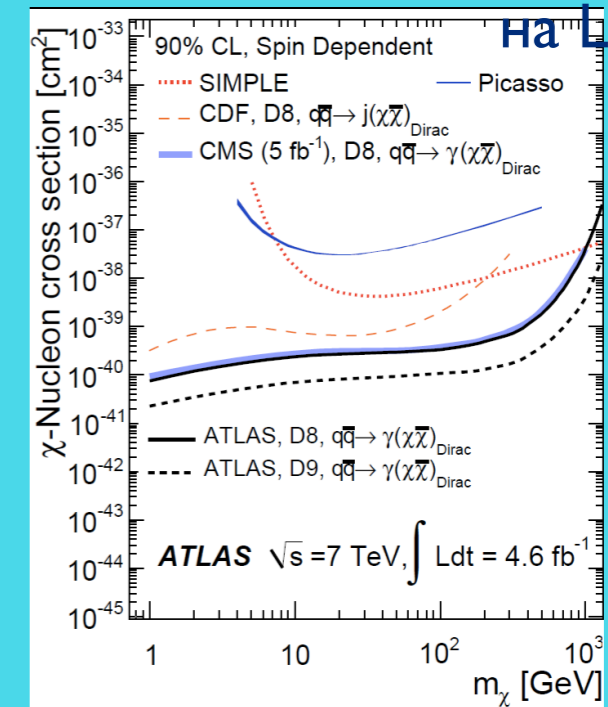
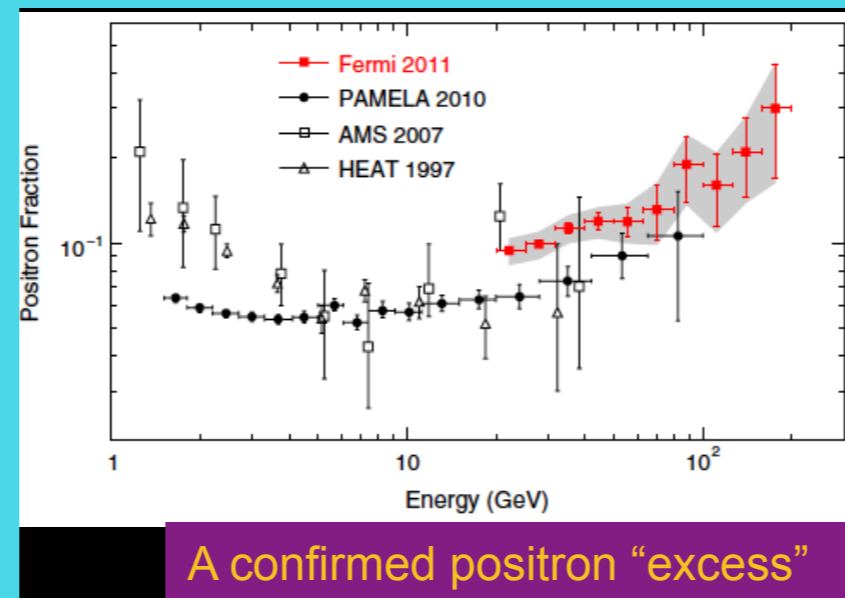
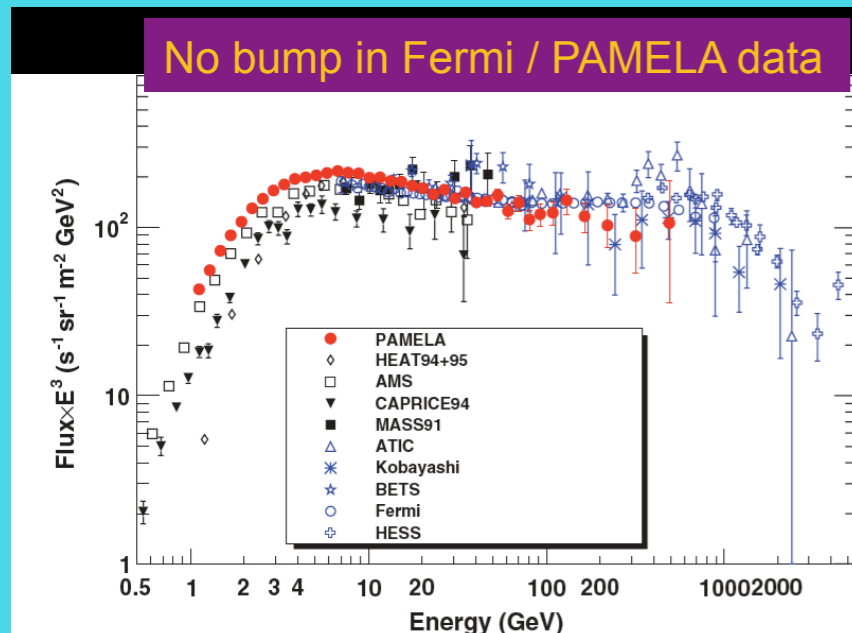
Поиски тёмной материи

Рассеяние
на мишени



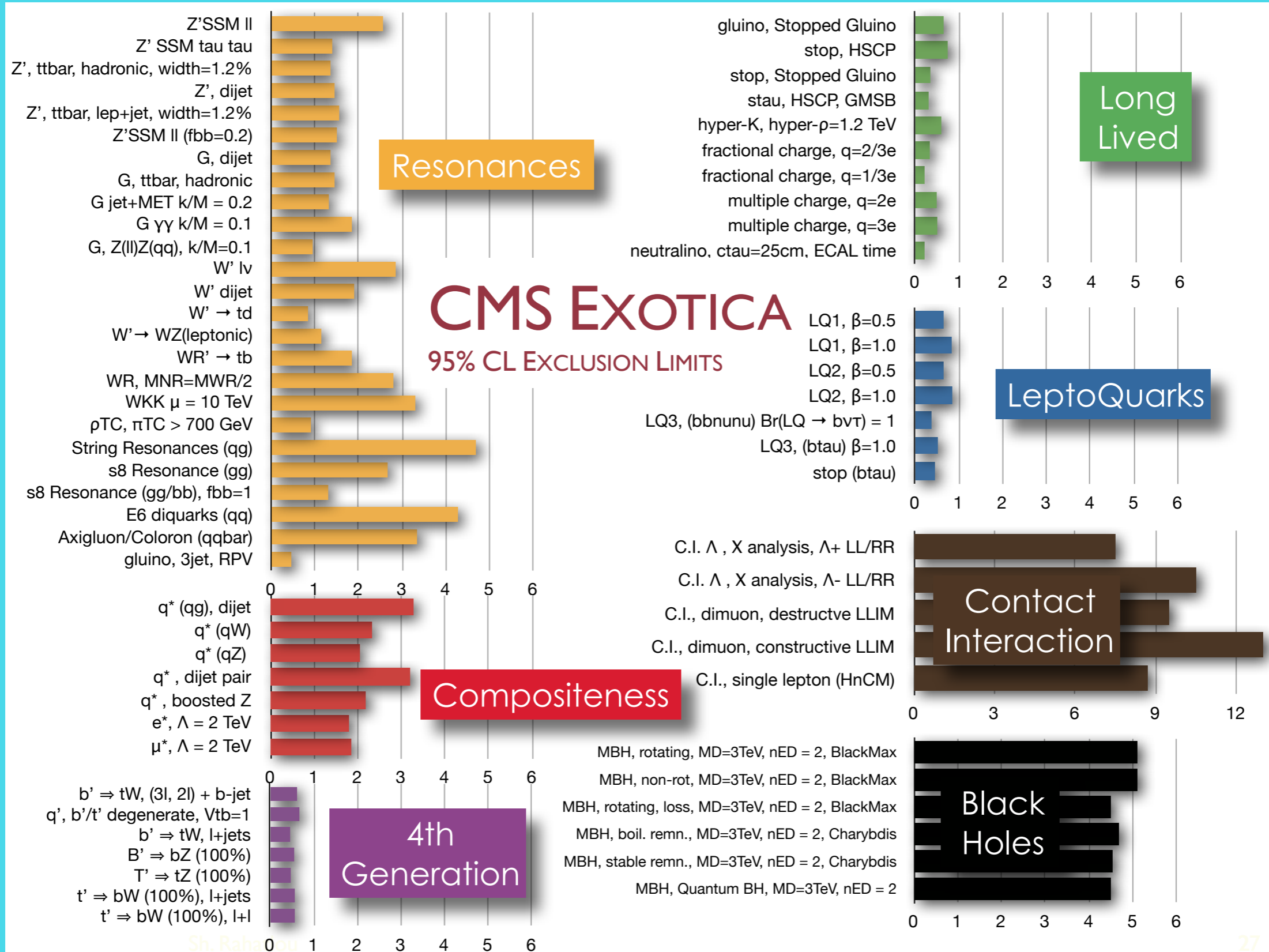
Аннигиляция
в гало

Рождение
на LHC

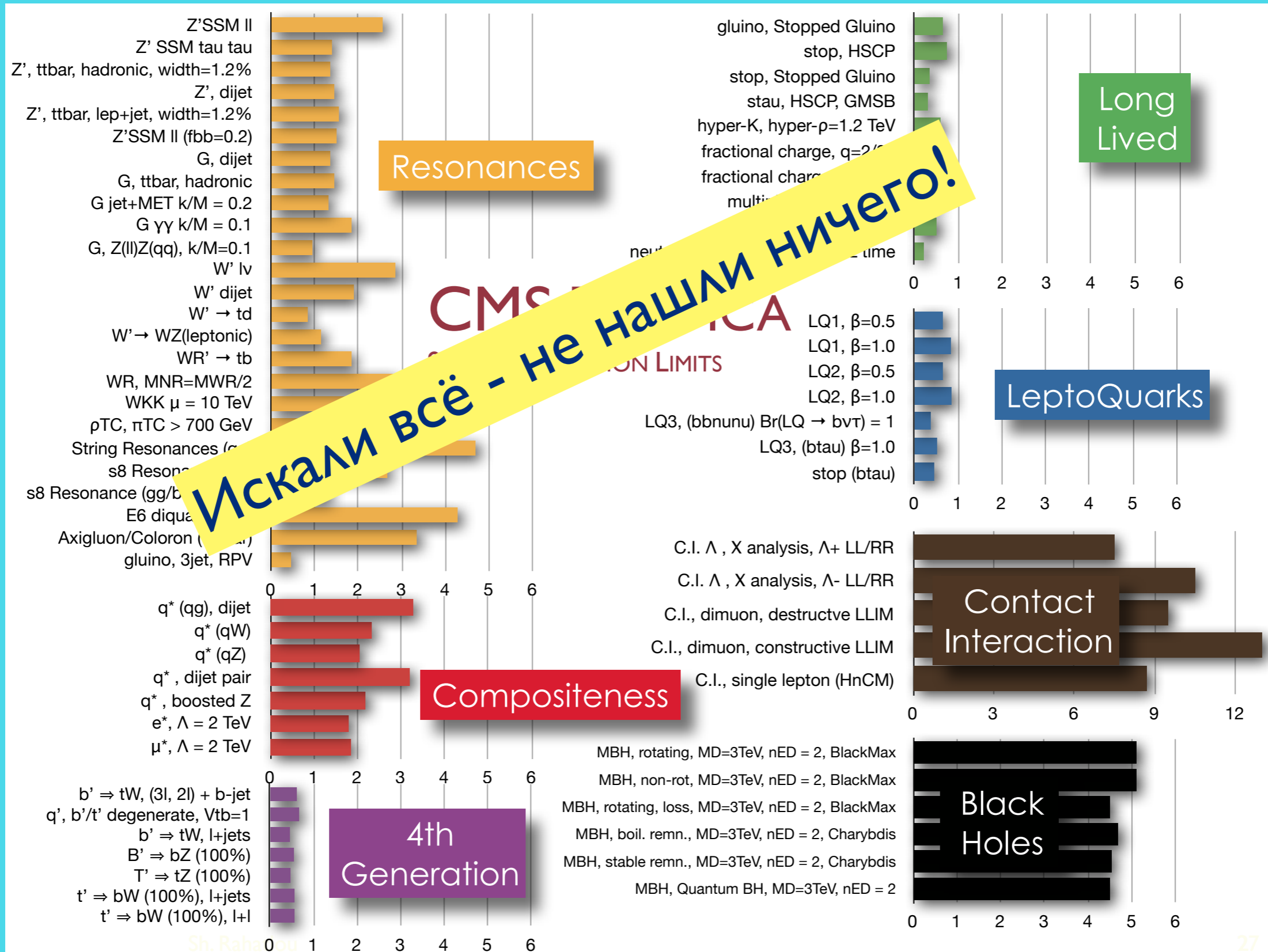


Сигнал пока отсутствует!

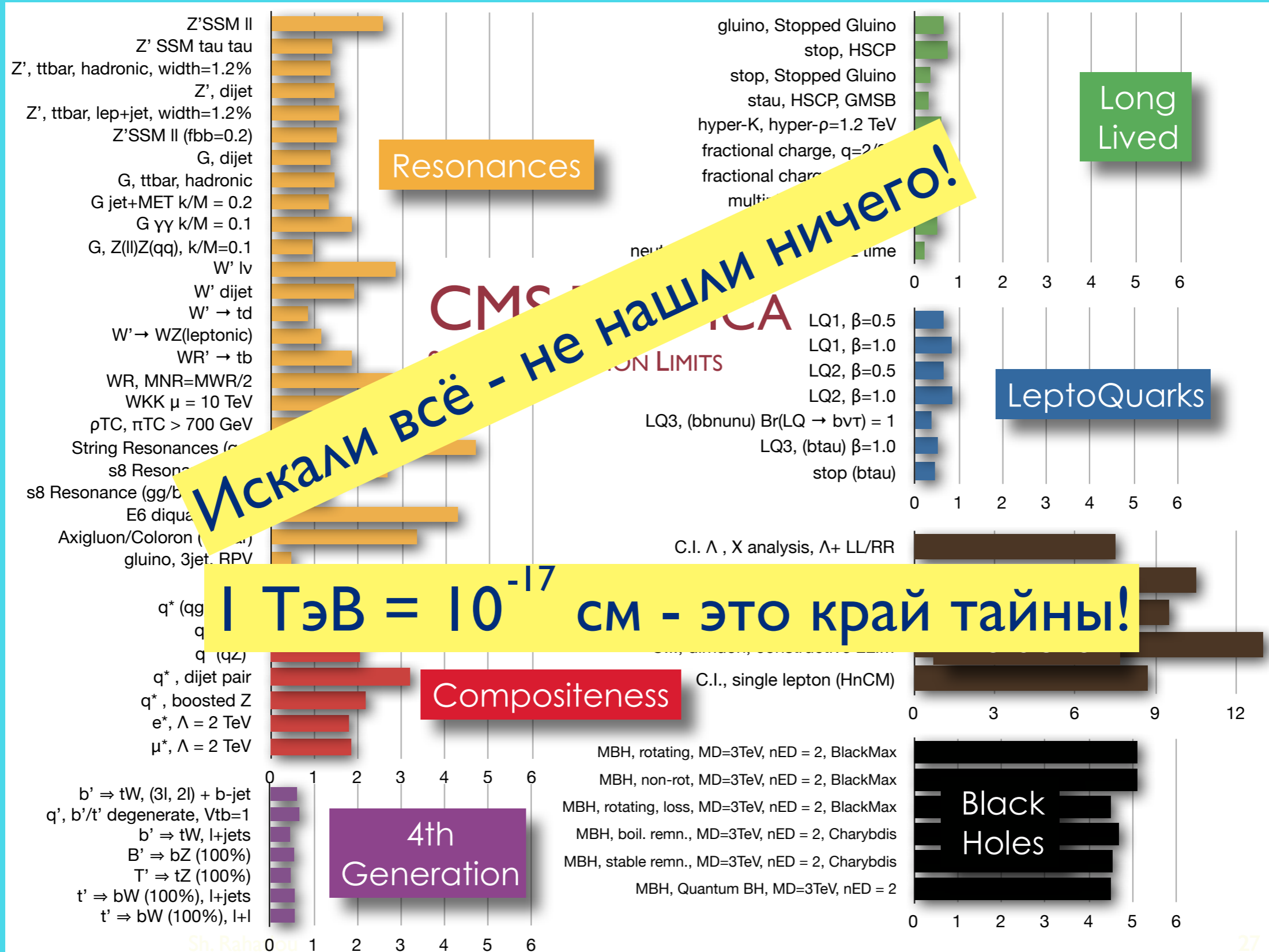
Новые Частицы и Взаимодействия



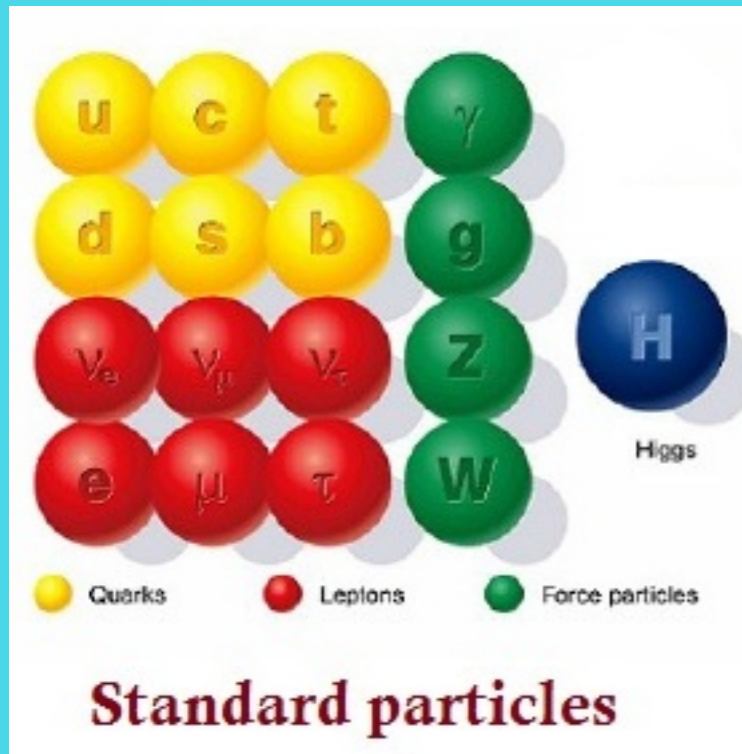
Новые Частицы и Взаимодействия



Новые Частицы и Взаимодействия

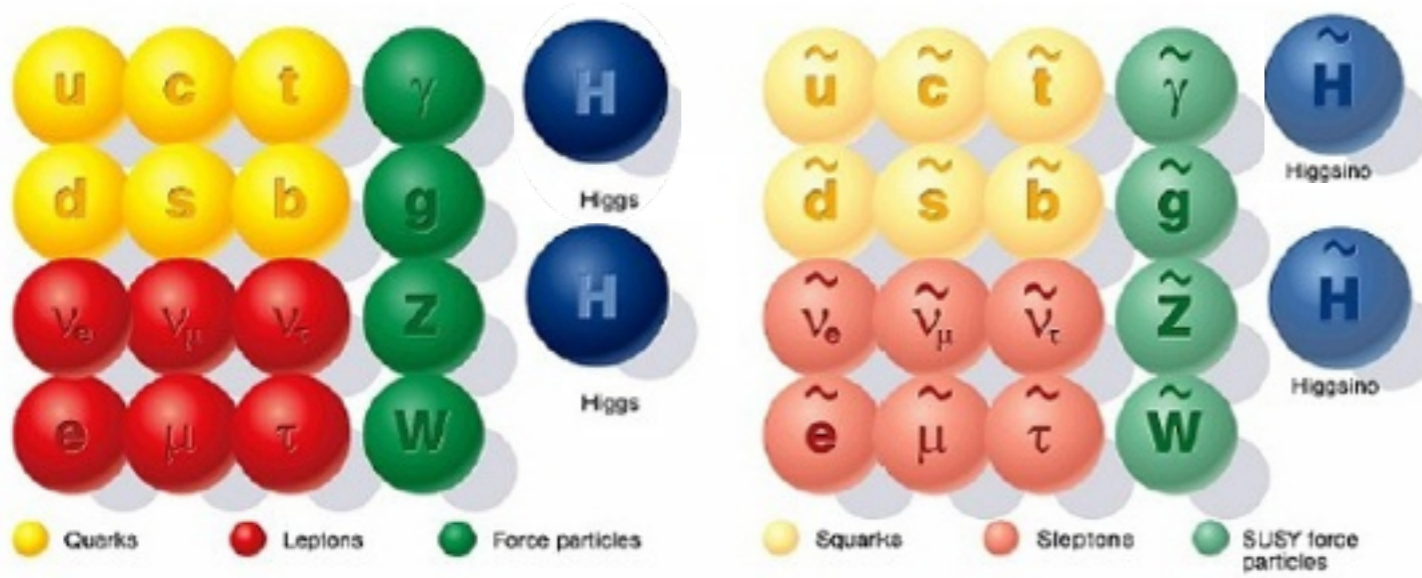


Новые Частицы и Взаимодействия



Новые Частицы и Взаимодействия

SUPERSYMMETRY

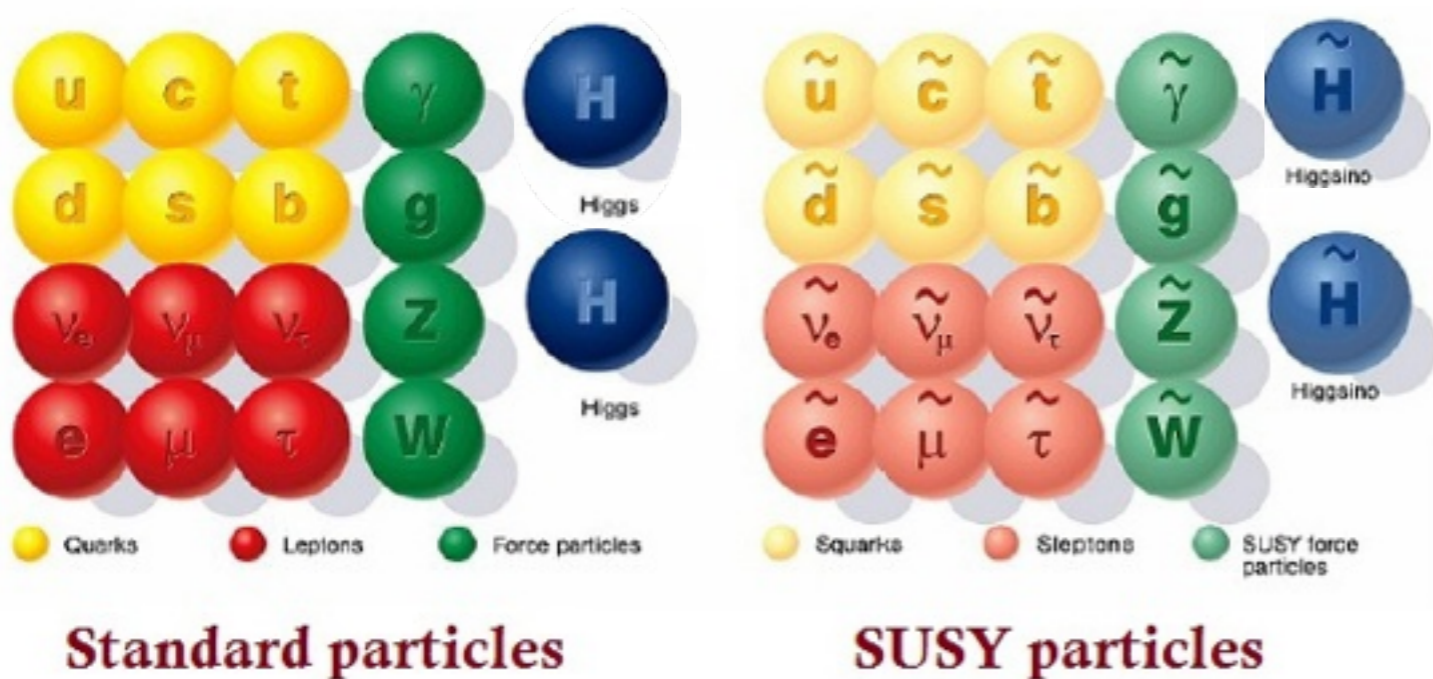


Standard particles

SUSY particles

Новые Частицы и Взаимодействия

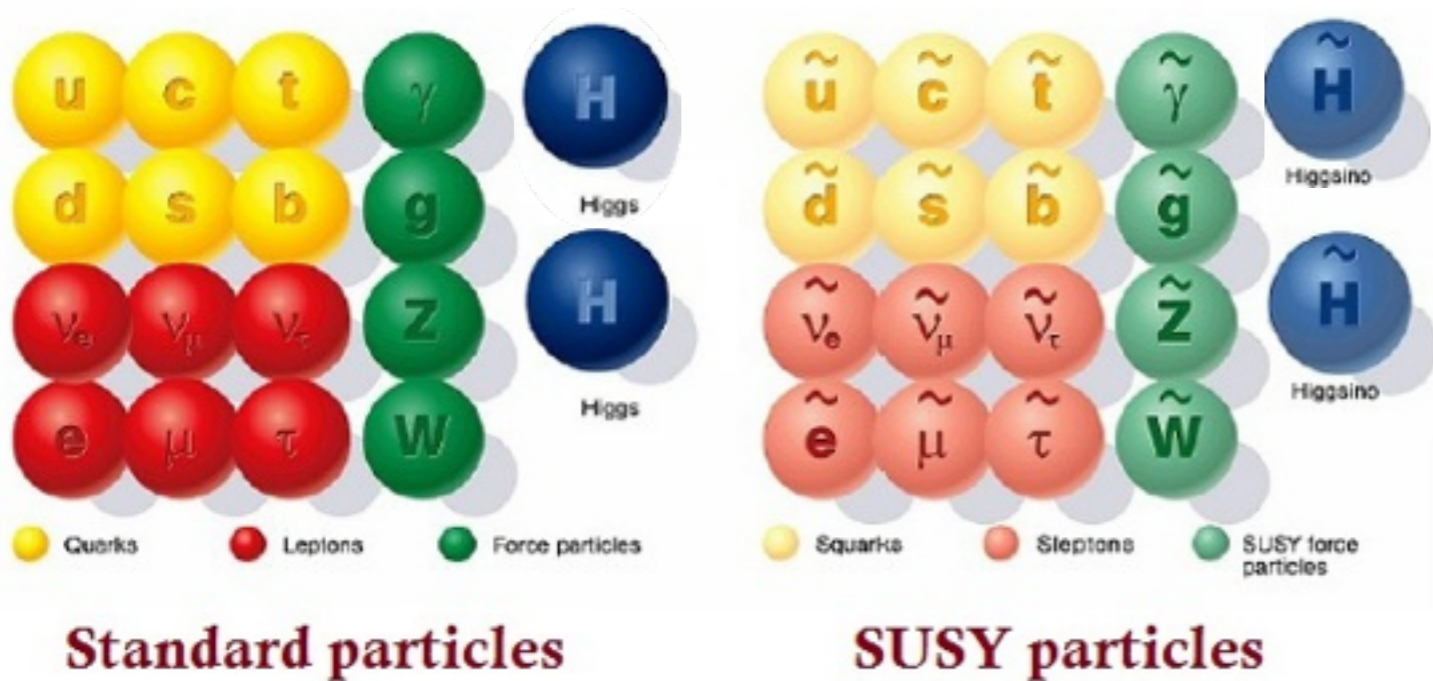
SUPERSYMMETRY



Суперсимметрия - это мечта о единой теории всех частиц и взаимодействий

Новые Частицы и Взаимодействия

SUPERSYMMETRY

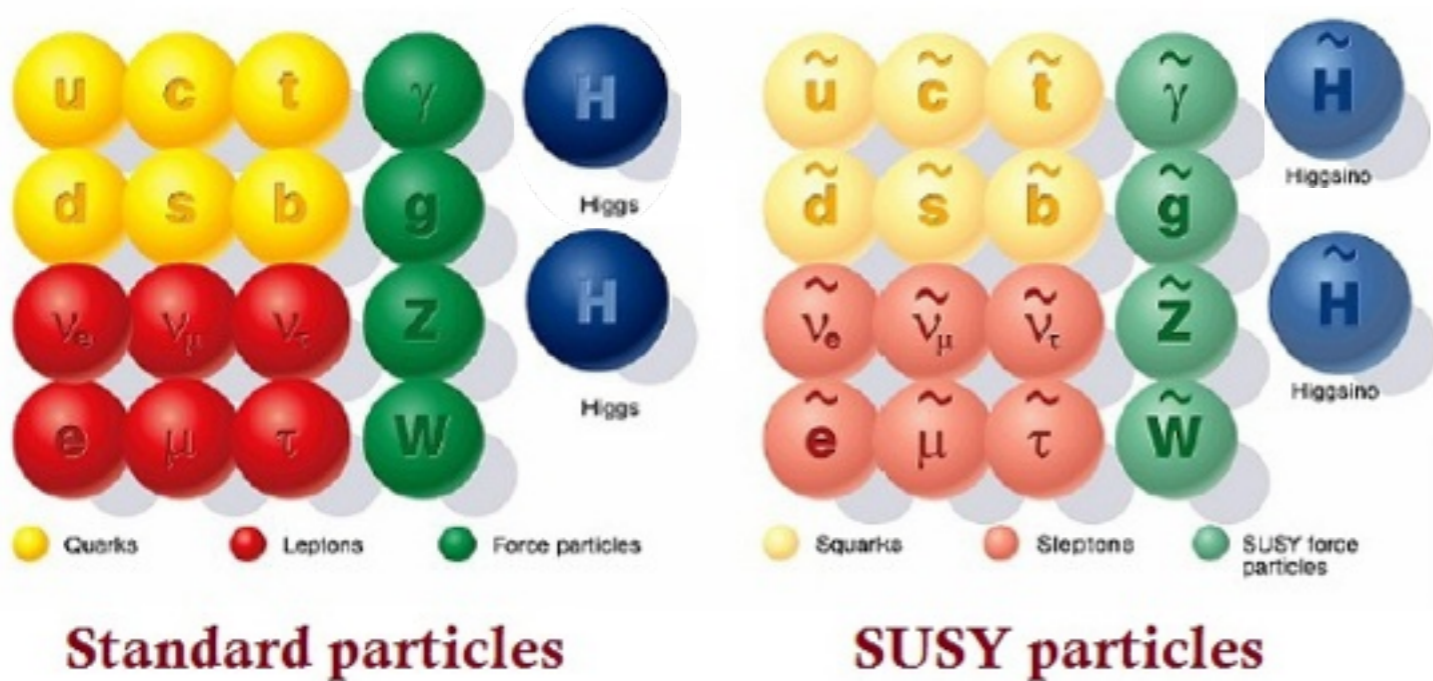


Суперсимметрия - это мечта о единой теории всех частиц и взаимодействий

	Дальнодействующее (с безмассовым бозоном)	Короткодействующее (с массивными бозонами)	"Конфайнментовое"
Спин 0 (скалярные поля)		Хиггсовское $V(r) \sim \frac{A}{r} e^{-Br}$	
Спин 1 (векторные поля)	Электромагнитное $V(r) \sim \frac{A}{r}$	Слабое $V(r) \sim \frac{A}{r} e^{-Br}$	Сильное $V(r) \sim \frac{A}{r} + Cr$
Спин 2 (тензорные поля)	Гравитационное $V(r) \sim \frac{A}{r}$		

Новые Частицы и Взаимодействия

SUPERSYMMETRY



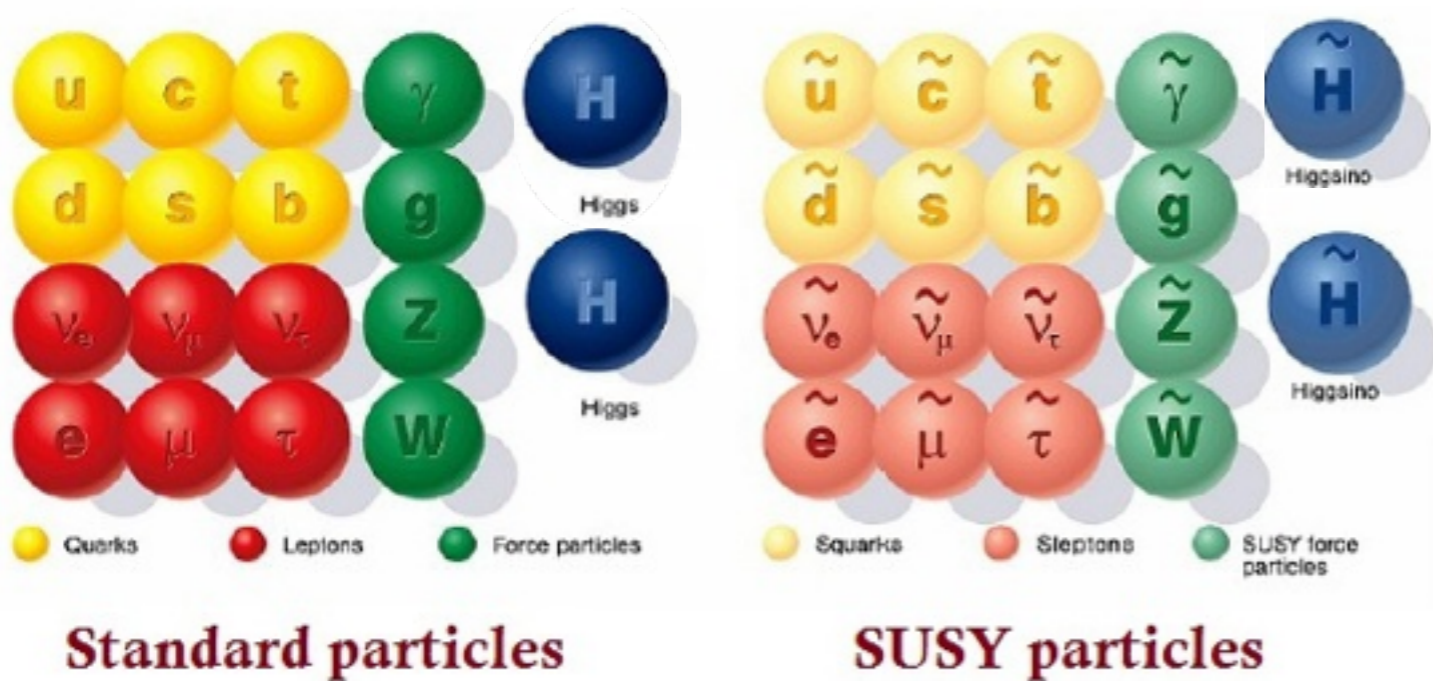
Суперсимметрия - это мечта о единой теории всех частиц и взаимодействий

	Дальнодействующее (с безмассовым бозоном)	Короткодействующее (с массивными бозонами)	"Конфайнментовое"
Спин 0 (скалярные поля)		Хиггсовское $V(r) \sim \frac{A}{r} e^{-Br}$	
Спин 1 (векторные поля)	Электромагнитное $V(r) \sim \frac{A}{r}$	Слабое $V(r) \sim \frac{A}{r} e^{-Br}$	Сильное $V(r) \sim \frac{A}{r} + Cr$
Спин 2 (тензорные поля)	Гравитационное $V(r) \sim \frac{A}{r}$		

Почему СУСИ?

Новые Частицы и Взаимодействия

SUPERSYMMETRY

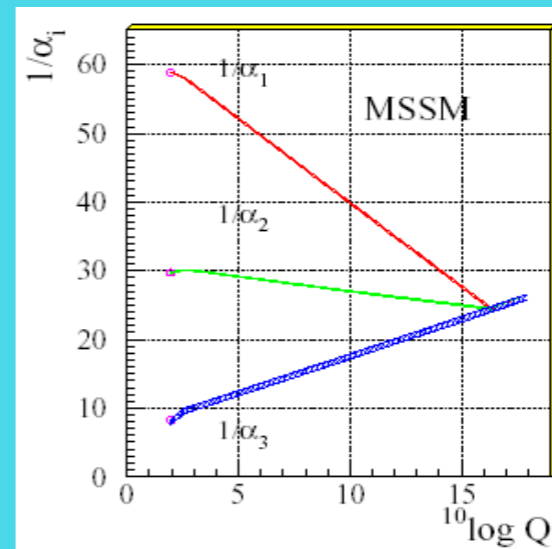


Суперсимметрия - это мечта о единой теории всех частиц и взаимодействий

	Дальнодействующее (с безмассовым бозоном)	Короткодействующее (с массивными бозонами)	"Конфайнментовое"
Спин 0 (скалярные поля)		Хиггсовское $V(r) \sim \frac{A}{r} e^{-Br}$	
Спин 1 (векторные поля)	Электромагнитное $V(r) \sim \frac{A}{r}$	Слабое $V(r) \sim \frac{A}{r} e^{-Br}$	Сильное $V(r) \sim \frac{A}{r} + Cr$
Спин 2 (тензорные поля)	Гравитационное $V(r) \sim \frac{A}{r}$		

Почему СУСИ?

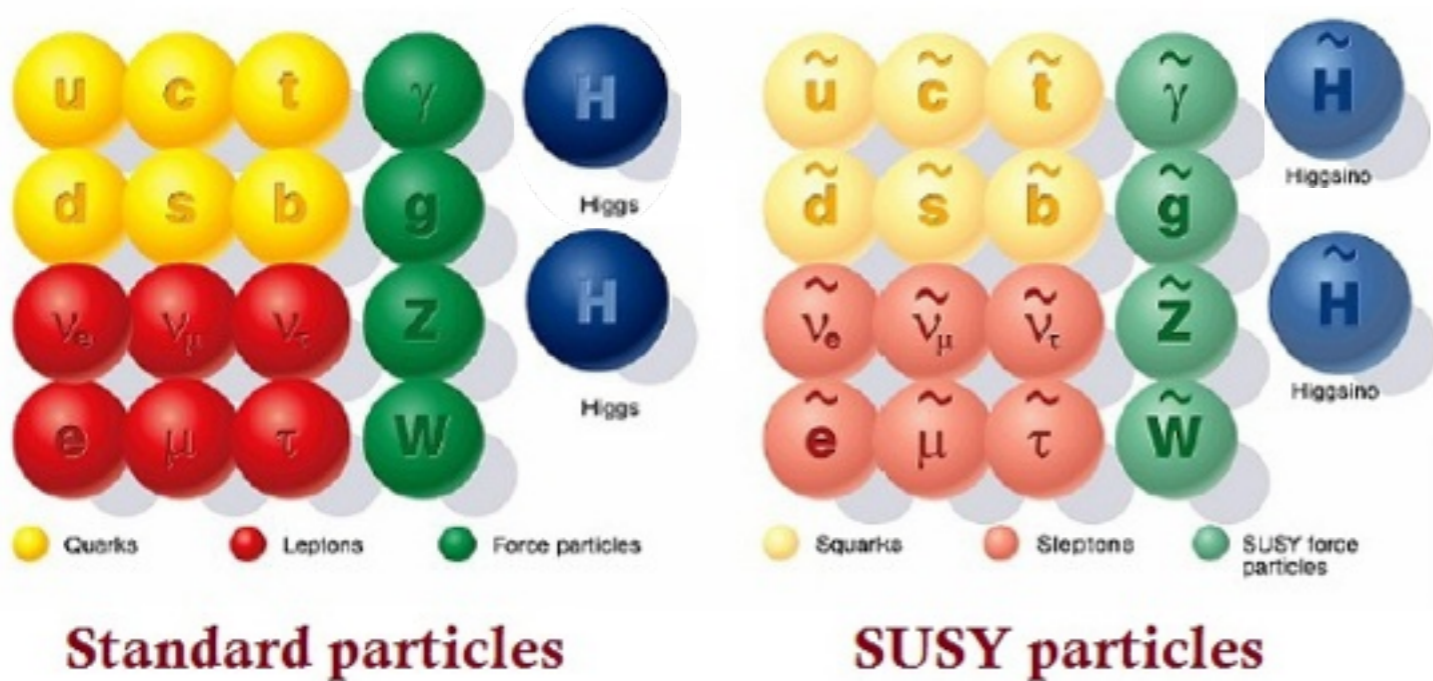
📌 Объединение калибровочных констант связи



Базис Теории Великого объединения

Новые Частицы и Взаимодействия

SUPERSYMMETRY



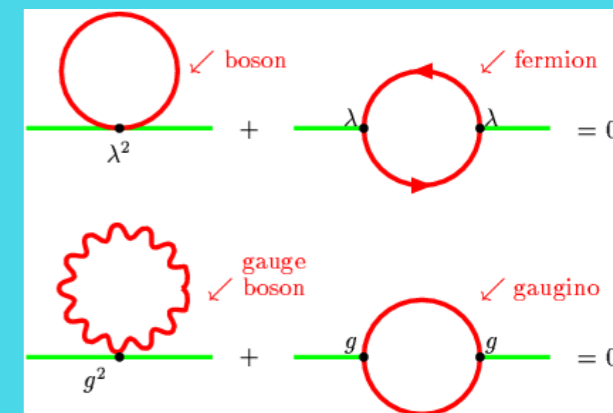
Суперсимметрия - это мечта о единой теории всех частиц и взаимодействий

	Дальнодействующее (с безмассовым бозоном)	Короткодействующее (с массивными бозонами)	"Конфайнментовое"
Спин 0 (скалярные поля)		Хиггсовское $V(r) \sim \frac{A}{r} e^{-Br}$	
Спин 1 (векторные поля)	Электромагнитное $V(r) \sim \frac{A}{r}$	Слабое $V(r) \sim \frac{A}{r} e^{-Br}$	Сильное $V(r) \sim \frac{A}{r} + Cr$
Спин 2 (тензорные поля)	Гравитационное $V(r) \sim \frac{A}{r}$		

Почему СУСИ?

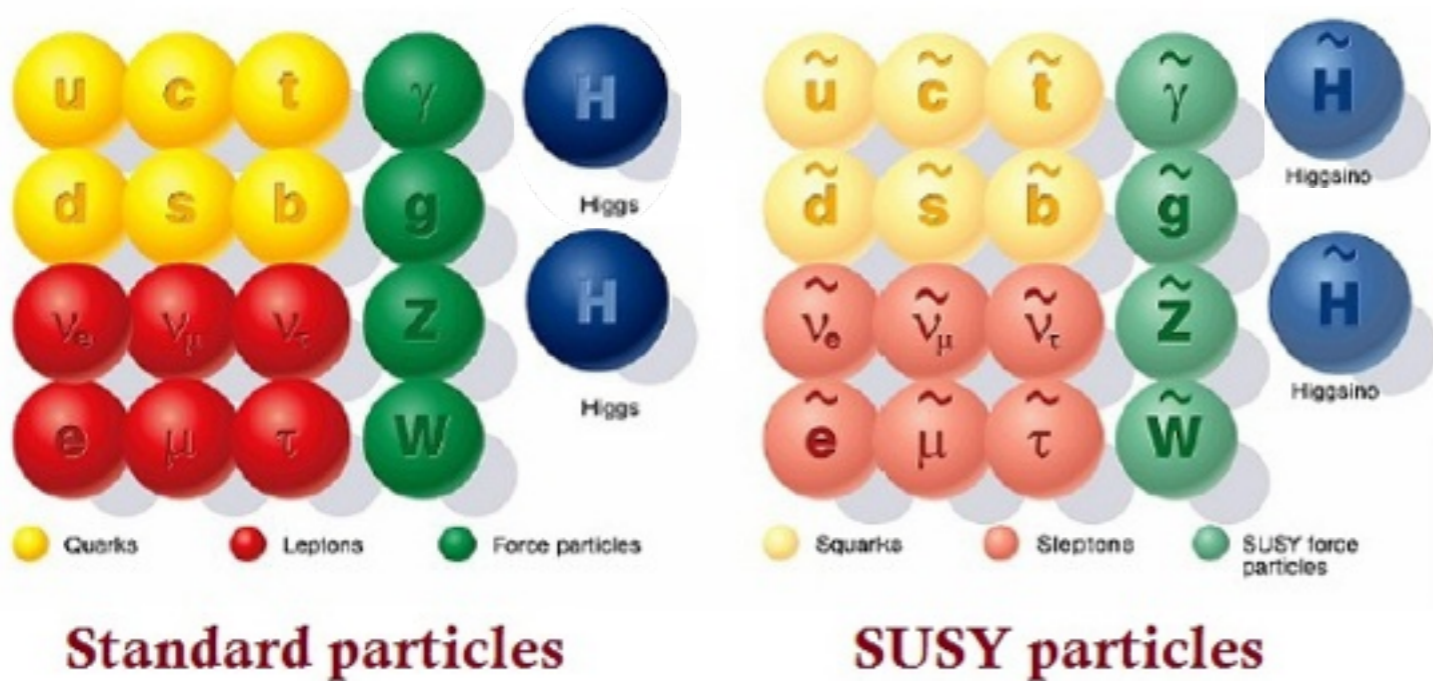
- Объединение калибровочных констант связи
- Решение проблемы иерархий

Сокращение вкладов и стабилизация хиггсовского потенциала



Новые Частицы и Взаимодействия

SUPERSYMMETRY

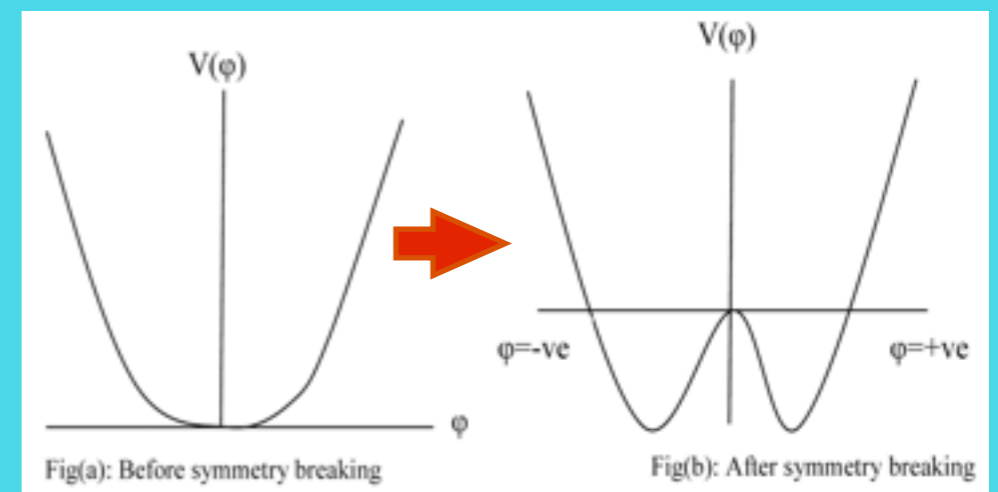


Суперсимметрия - это мечта о единой теории всех частиц и взаимодействий

	Дальнодействующее (с безмассовым бозоном)	Короткодействующее (с массивными бозонами)	"Конфайнментовое"
Спин 0 (скалярные поля)		Хиггсовское $V(r) \sim \frac{A}{r} e^{-Br}$	
Спин 1 (векторные поля)	Электромагнитное $V(r) \sim \frac{A}{r}$	Слабое $V(r) \sim \frac{A}{r} e^{-Br}$	Сильное $V(r) \sim \frac{A}{r} + Cr$
Спин 2 (тензорные поля)	Гравитационное $V(r) \sim \frac{A}{r}$		

Почему СУСИ?

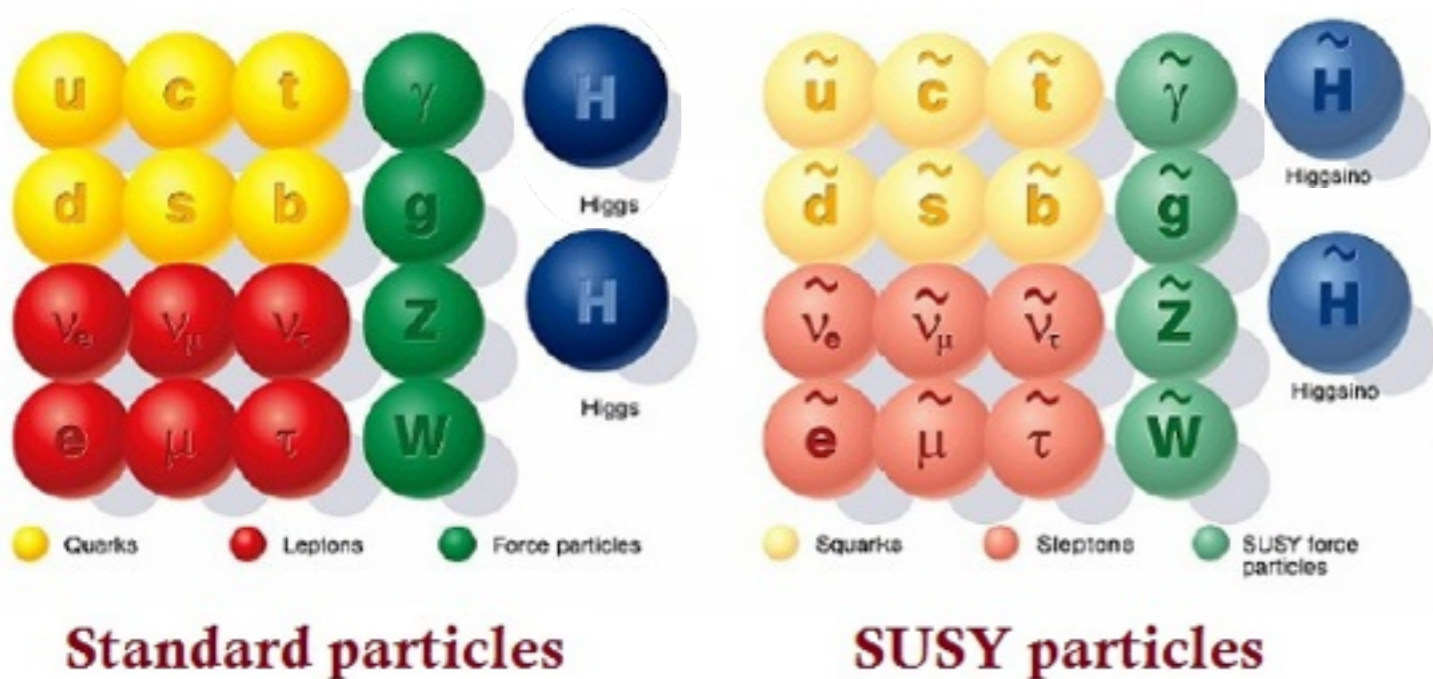
- Объединение калибровочных констант связи
- Решение проблемы иерархий
- Объяснение нарушения EW симметрии



Нарушение симметрии за счёт рад поправок

Новые Частицы и Взаимодействия

SUPERSYMMETRY



Суперсимметрия - это мечта о единой теории всех частиц и взаимодействий

	Дальнодействующее (с безмассовым бозоном)	Короткодействующее (с массивными бозонами)	"Конфайнментовое"
Спин 0 (скалярные поля)		Хиггсовское $V(r) \sim \frac{A}{r} e^{-Br}$	
Спин 1 (векторные поля)	Электромагнитное $V(r) \sim \frac{A}{r}$	Слабое $V(r) \sim \frac{A}{r} e^{-Br}$	Сильное $V(r) \sim \frac{A}{r} + Cr$
Спин 2 (тензорные поля)	Гравитационное $V(r) \sim \frac{A}{r}$		

Почему СУСИ?

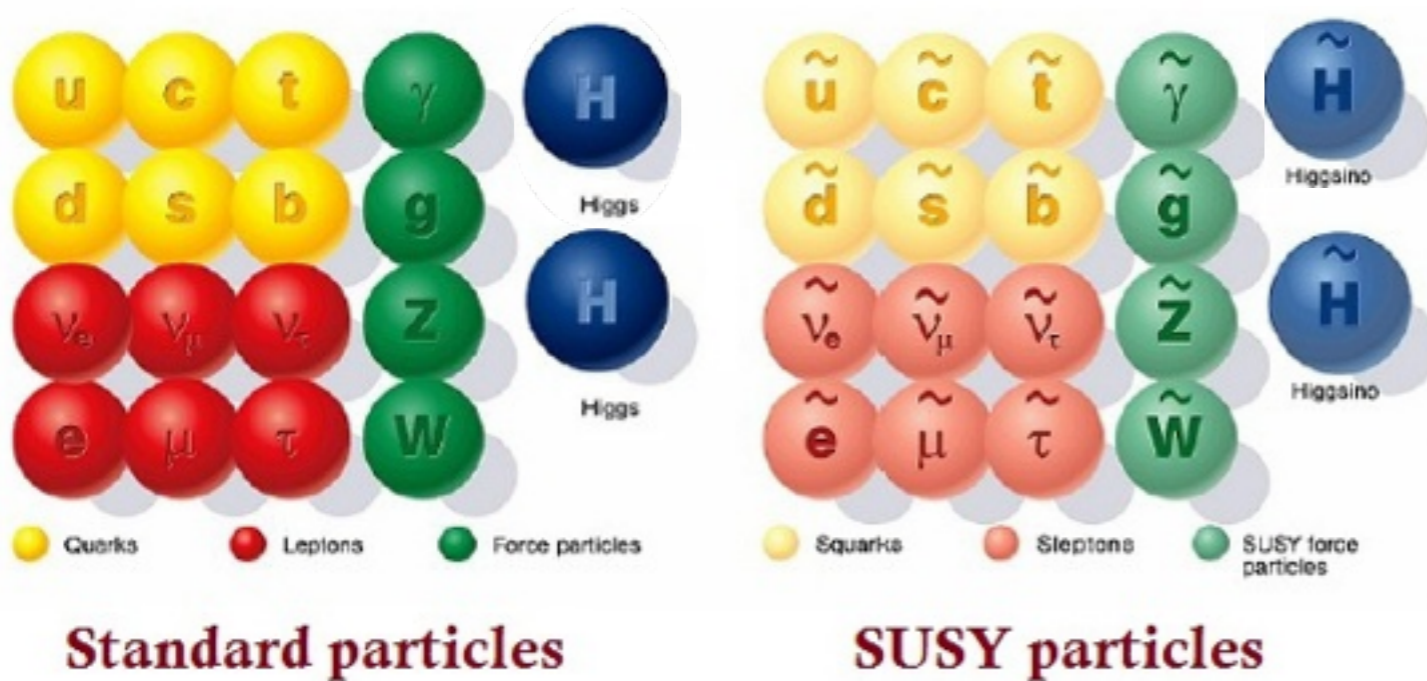
- Объединение калибровочных констант связи
- Решение проблемы иерархий
- Объяснение нарушения EW симметрии
- Частица тёмной материи

$$\tilde{\chi}^0 = N_1 \tilde{\gamma} + N_2 \tilde{z} + N_3 \tilde{H}_1^0 + N_4 \tilde{H}_2^0$$

нейтралино

Новые Частицы и Взаимодействия

SUPERSYMMETRY



Суперсимметрия - это мечта о единой теории всех частиц и взаимодействий

	Дальнодействующее (с безмассовым бозоном)	Короткодействующее (с массивными бозонами)	"Конфайнментовое"
Спин 0 (скалярные поля)		Хиггсовское $V(r) \sim \frac{A}{r} e^{-Br}$	
Спин 1 (векторные поля)	Электромагнитное $V(r) \sim \frac{A}{r}$	Слабое $V(r) \sim \frac{A}{r} e^{-Br}$	Сильное $V(r) \sim \frac{A}{r} + Cr$
Спин 2 (тензорные поля)	Гравитационное $V(r) \sim \frac{A}{r}$		

Почему СУСИ?

- Объединение калибровочных констант связи
- Решение проблемы иерархий
- Объяснение нарушения EW симметрии
- Частица тёмной материи
- Объединение с гравитацией !

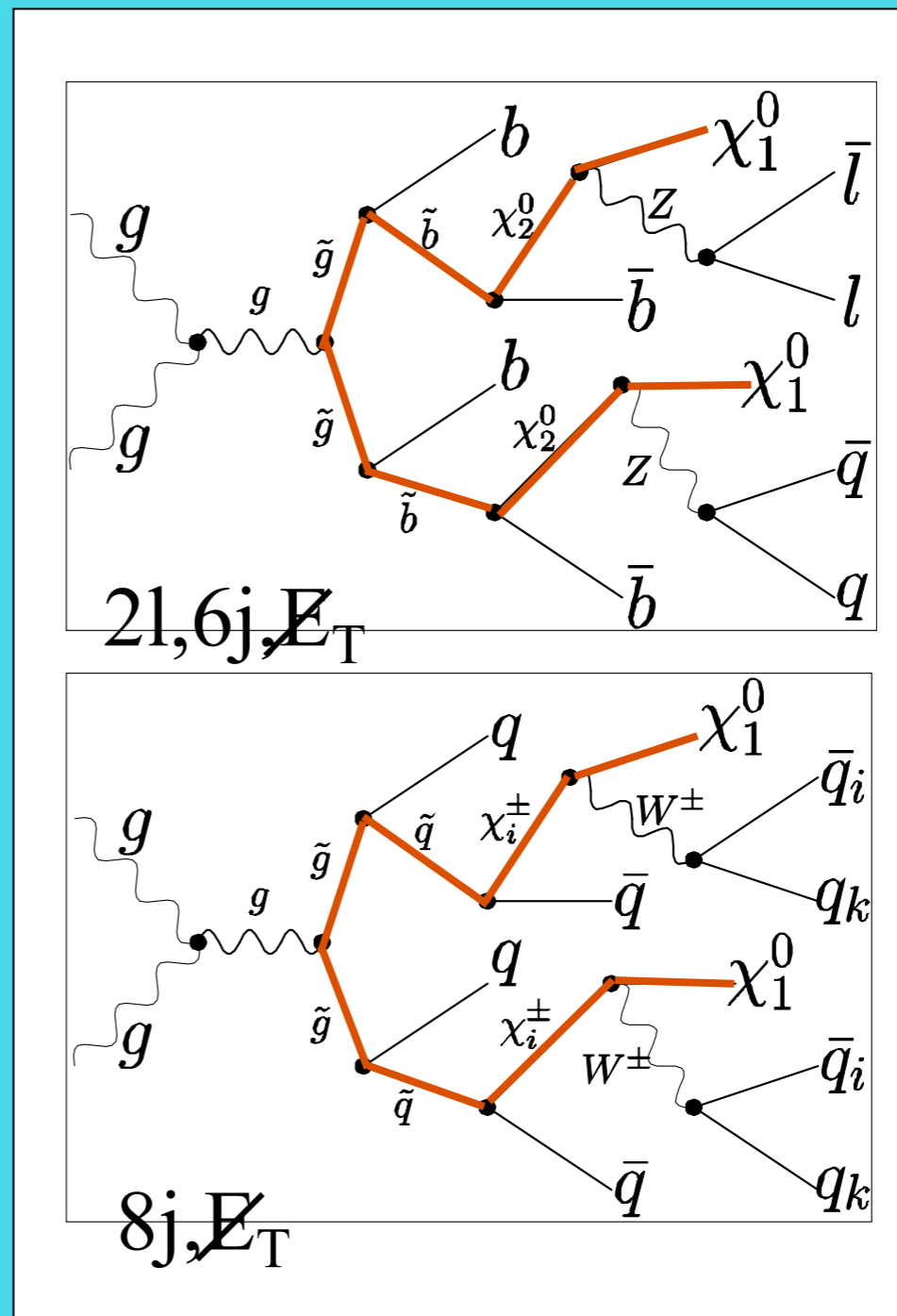
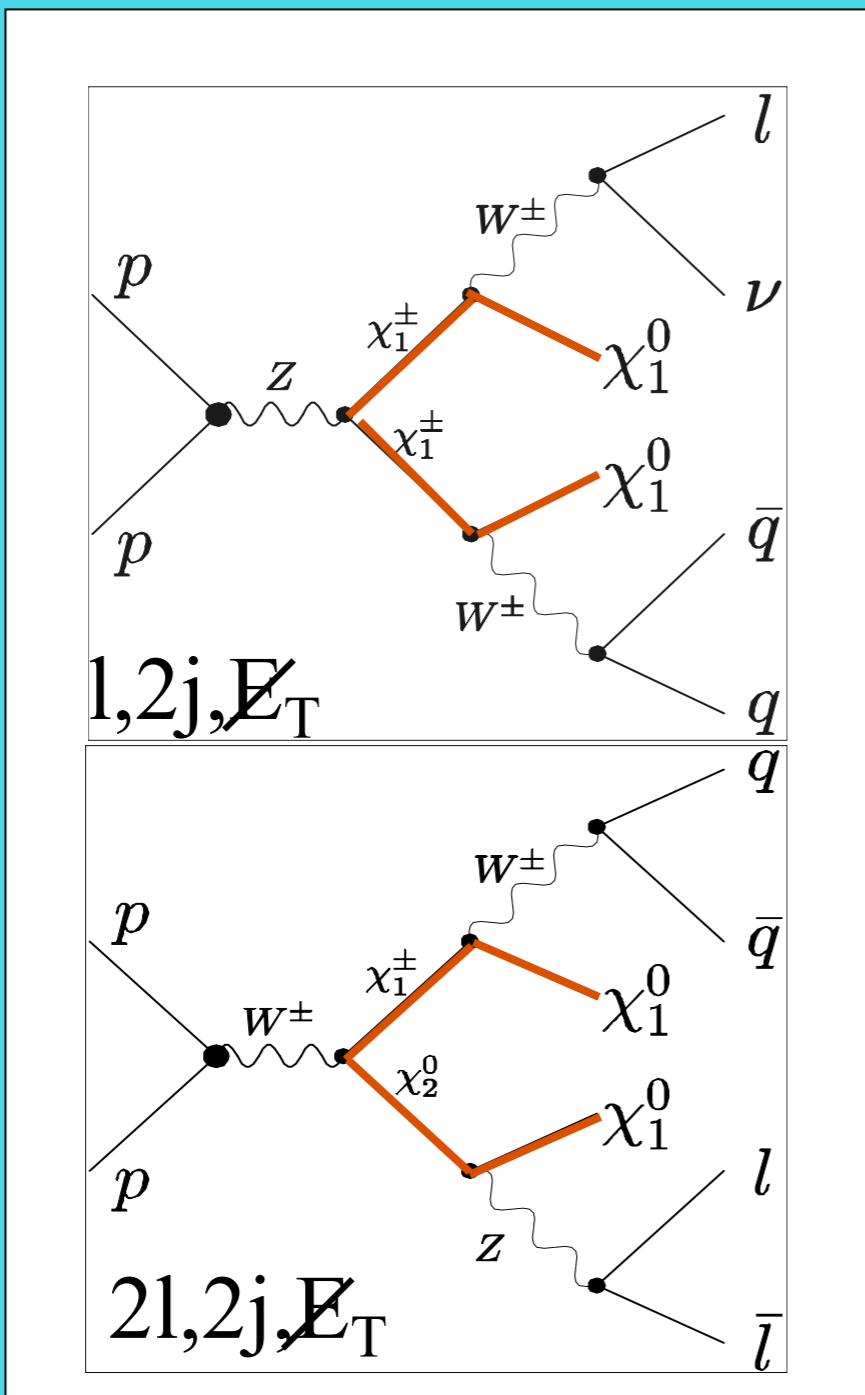
$$\{Q_\alpha^i, \bar{Q}_\beta^j\} = 2\delta^{ij} (\sigma^\mu)_{\alpha\beta} P_\mu \Rightarrow \{\delta_\varepsilon, \bar{\delta}_{\bar{\varepsilon}}\} = 2(\varepsilon\sigma^\mu\bar{\varepsilon})P_\mu$$

$\varepsilon = \varepsilon(x)$ local coordinate transf. \Rightarrow (super)gravity

Local supersymmetry = general relativity !

Рождение и распад суперпартнёров @ LHC

weak int's

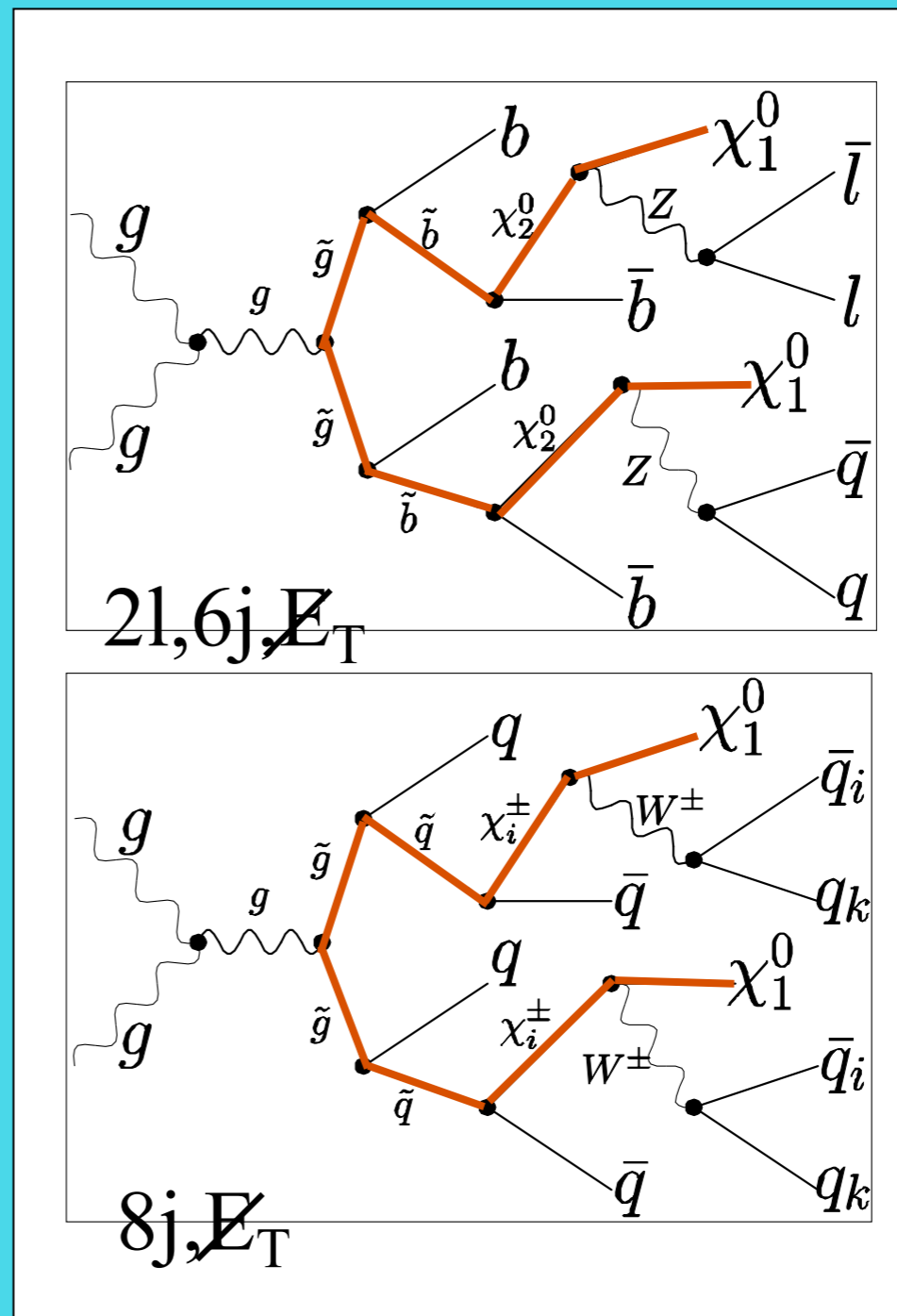
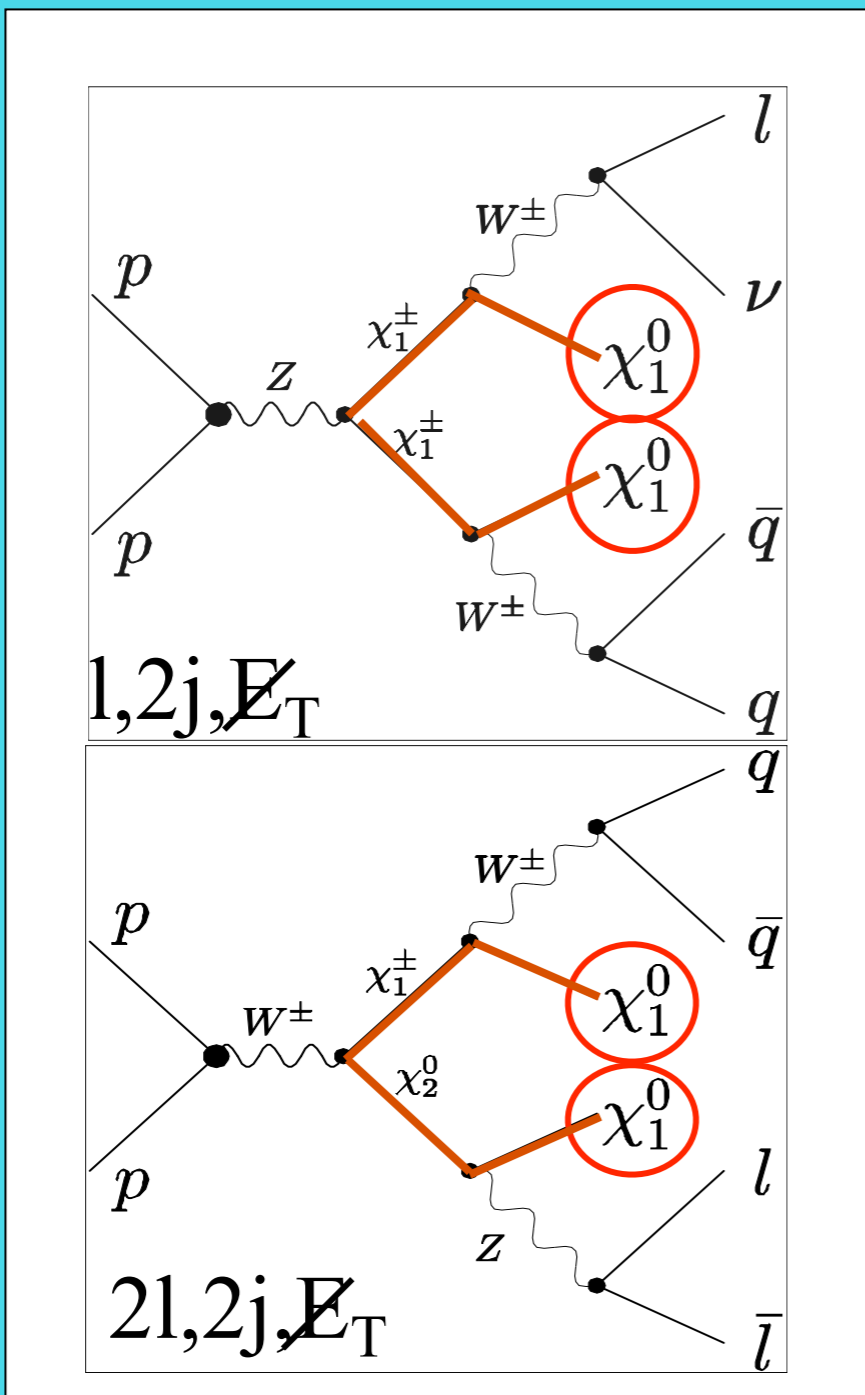


Strong int's

Типичная СУСИ сигнатура: недостающая энергия и поперечный импульс

Рождение и распад суперпартнёров @ LHC

weak int's

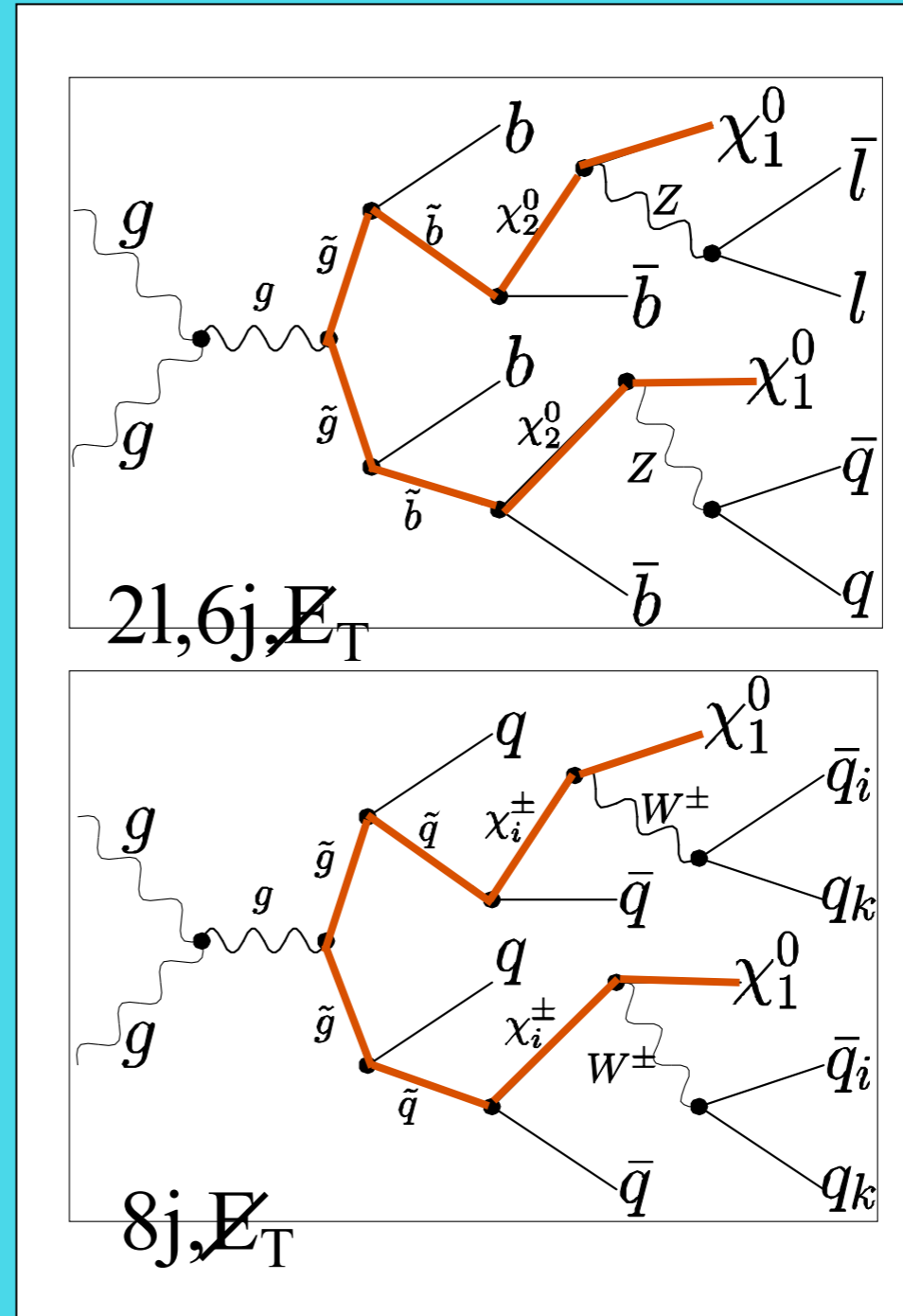
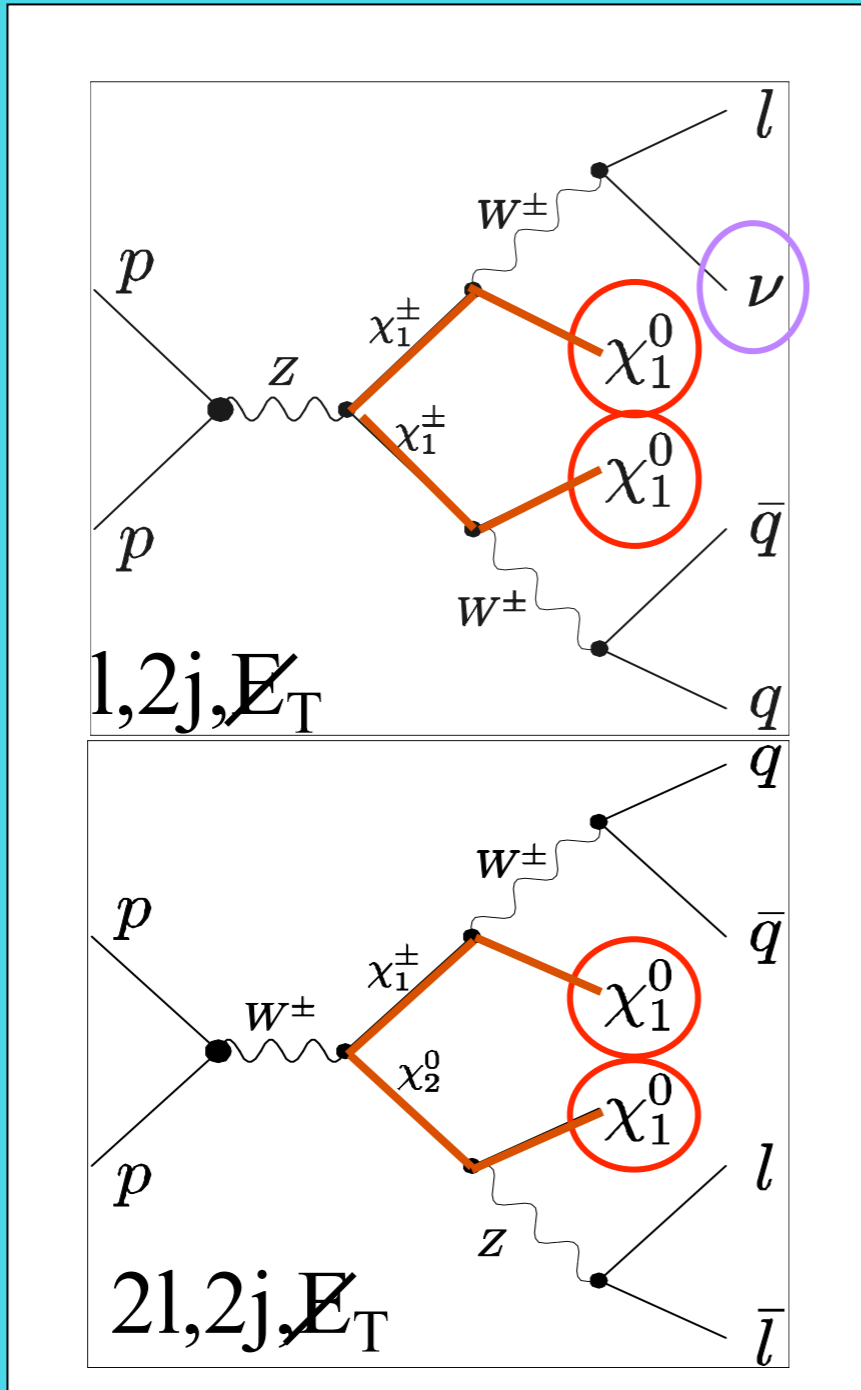


Strong int's

Типичная СУСИ сигнатура: недостающая энергия и поперечный импульс

Рождение и распад суперпартнёров @ LHC

weak int's

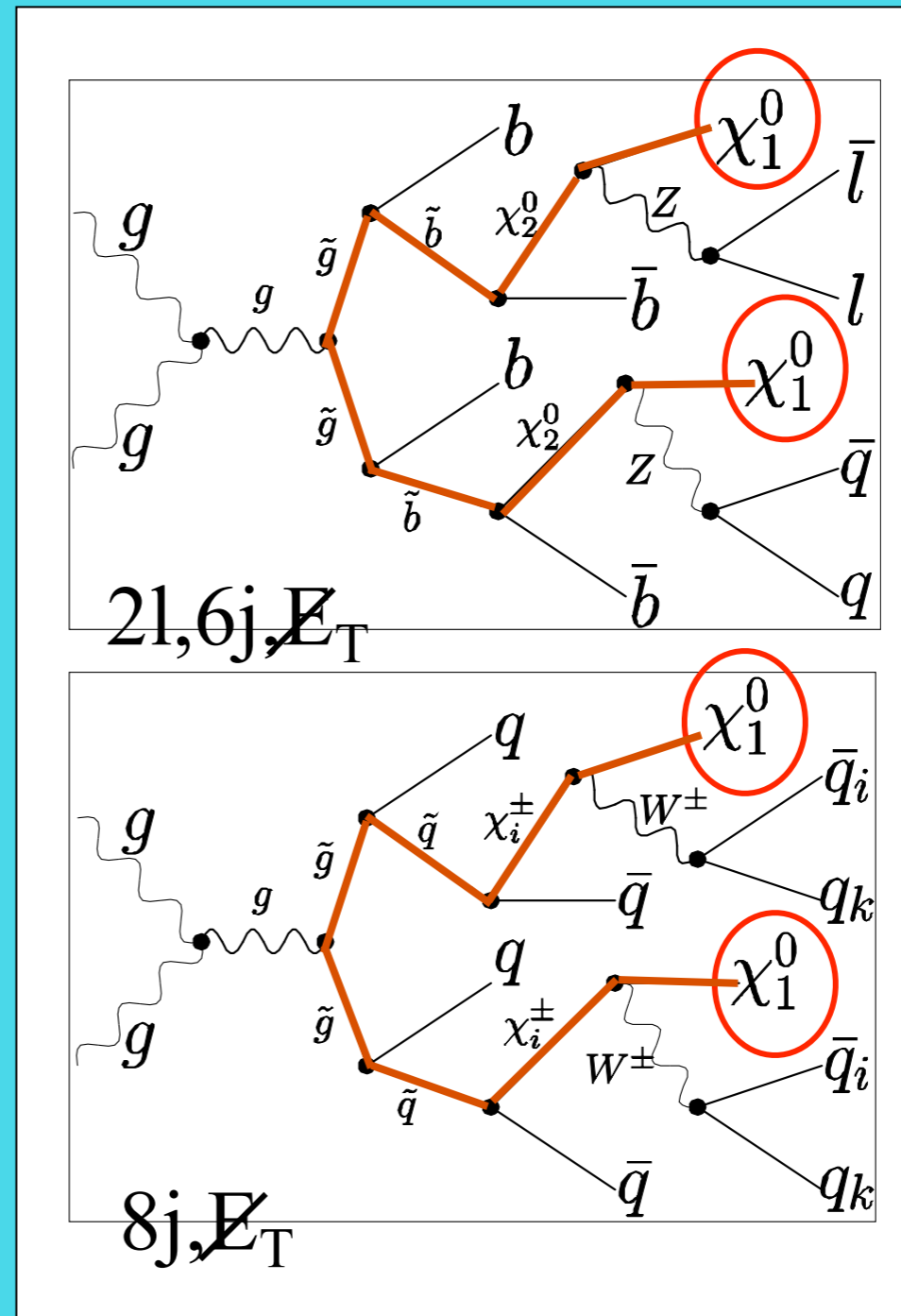
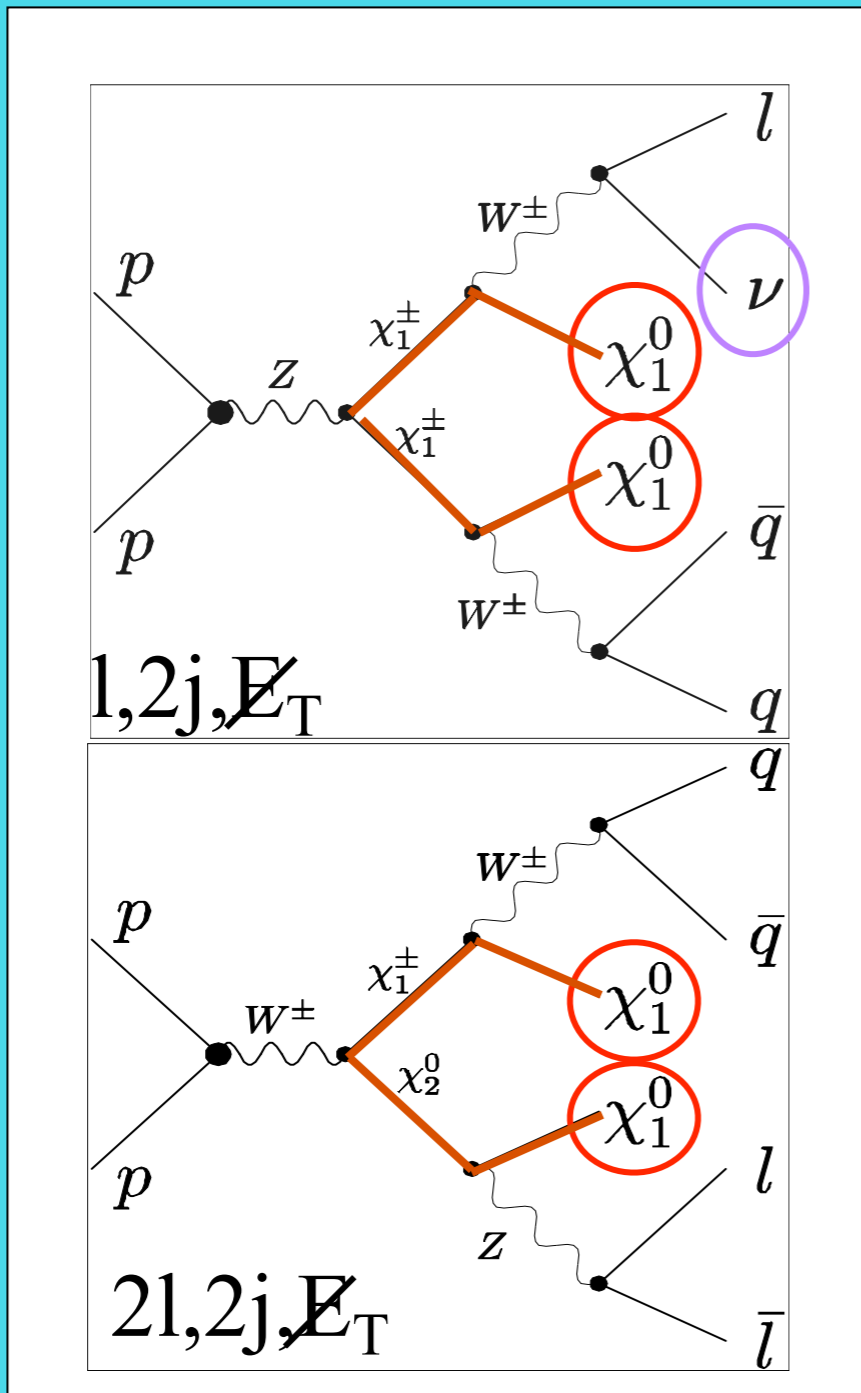


Strong int's

Типичная СУСИ сигнатура: недостающая энергия и поперечный импульс

Рождение и распад суперпартнёров @ LHC

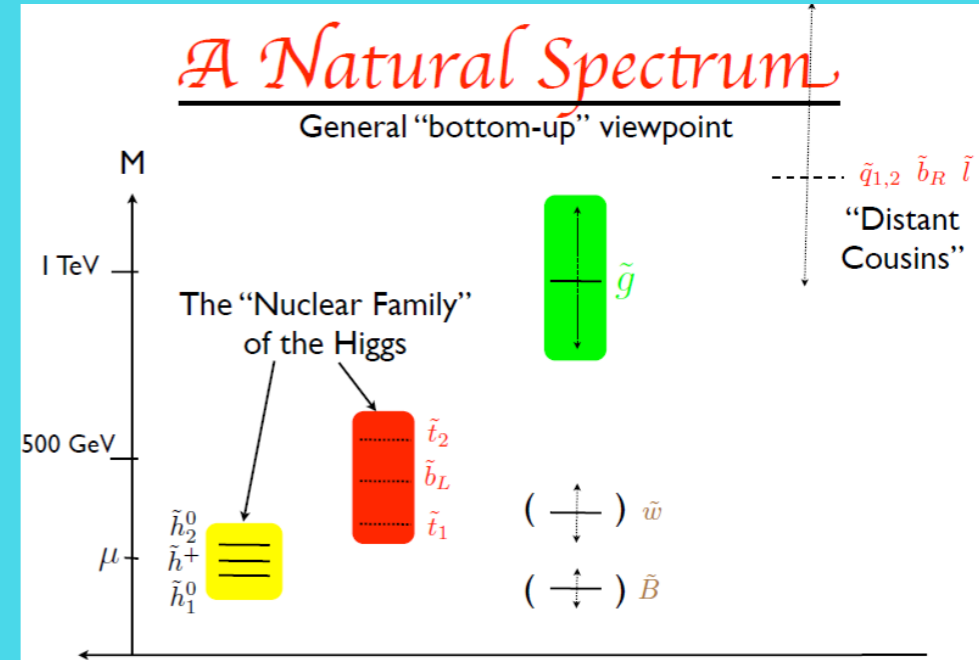
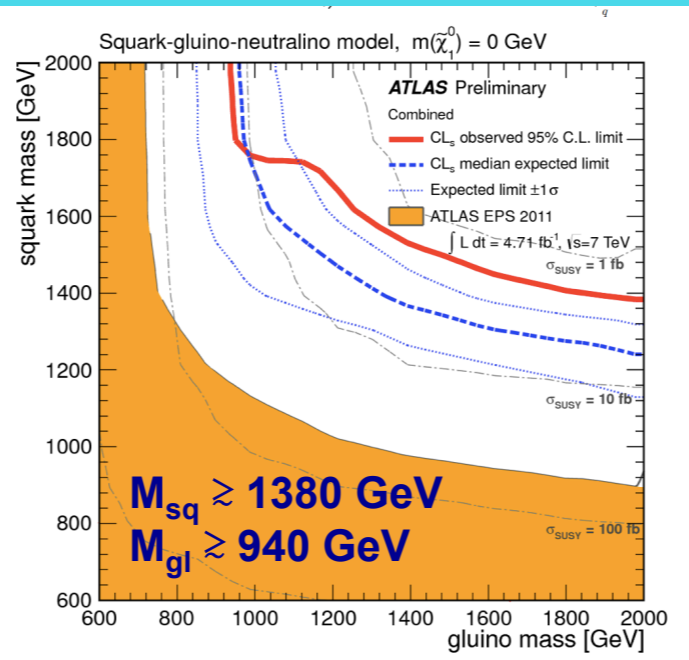
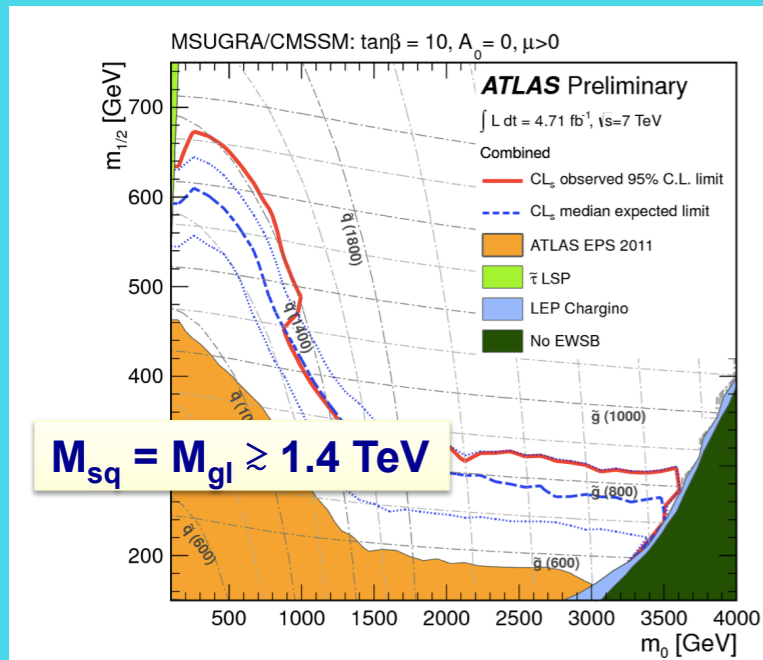
weak int's



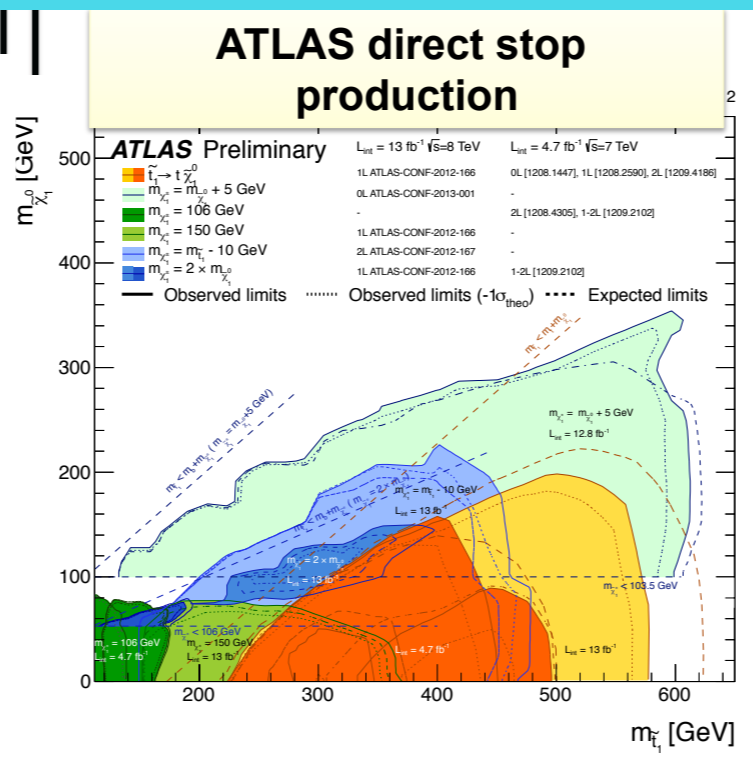
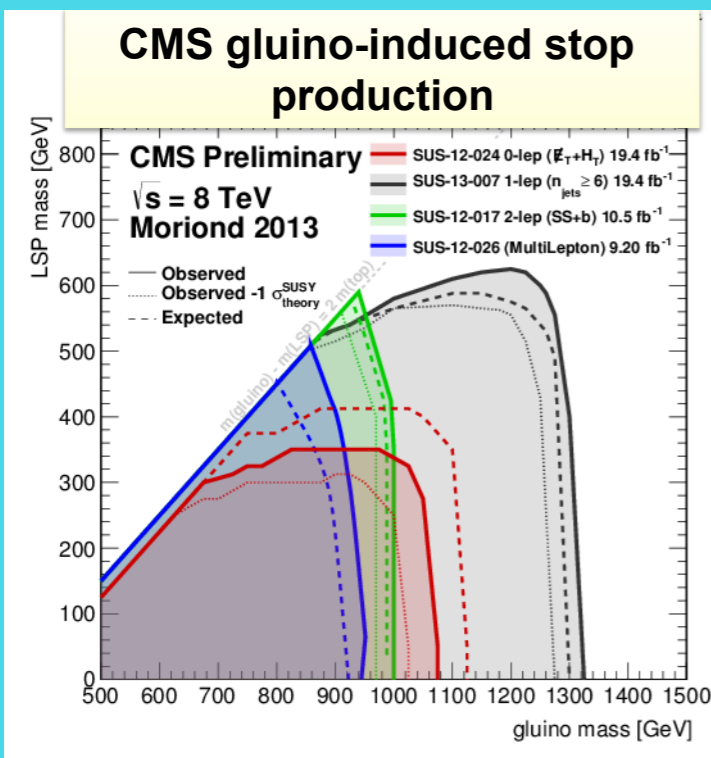
Strong int's

Типичная СУСИ сигнатура: недостающая энергия и поперечный импульс

Поиск суперсимметрии @ LHC

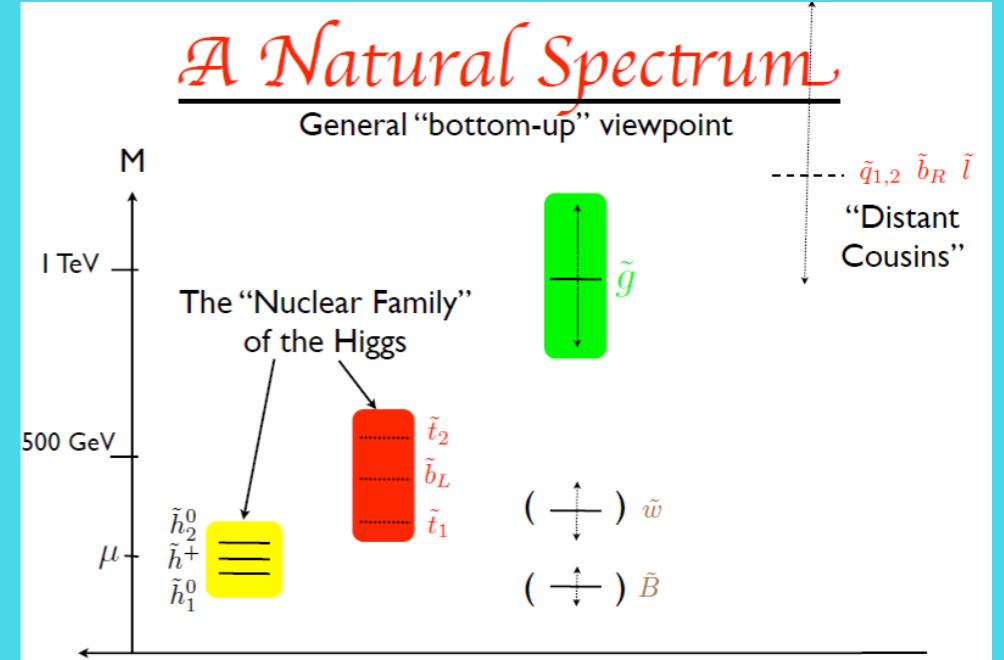
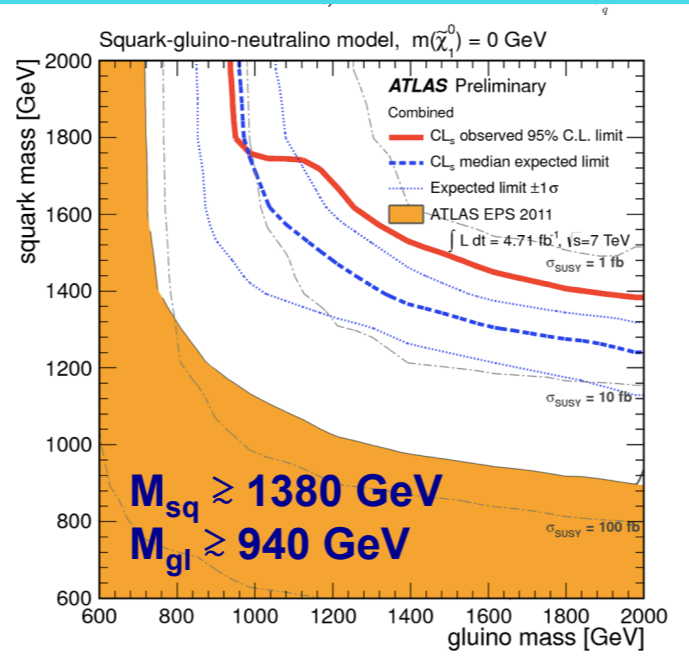
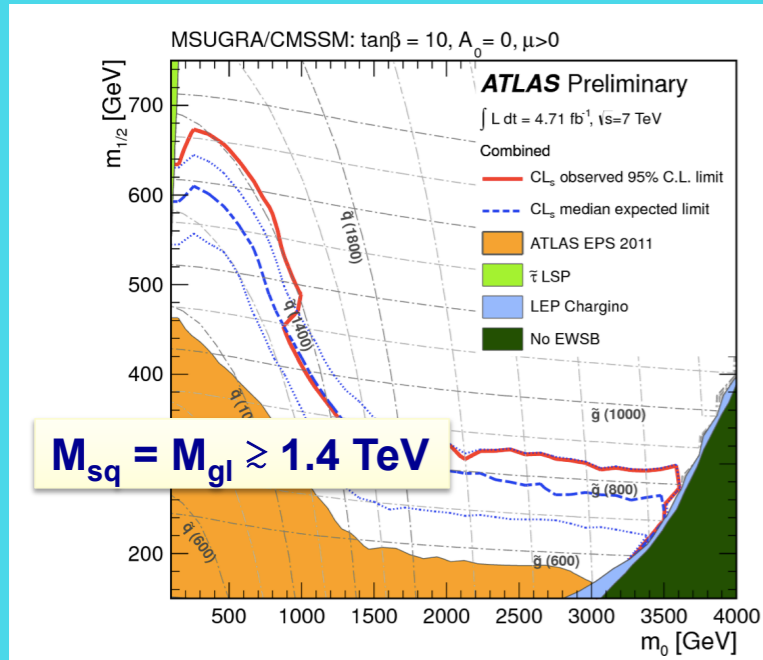


Слабовзаимодействующие ч-цы

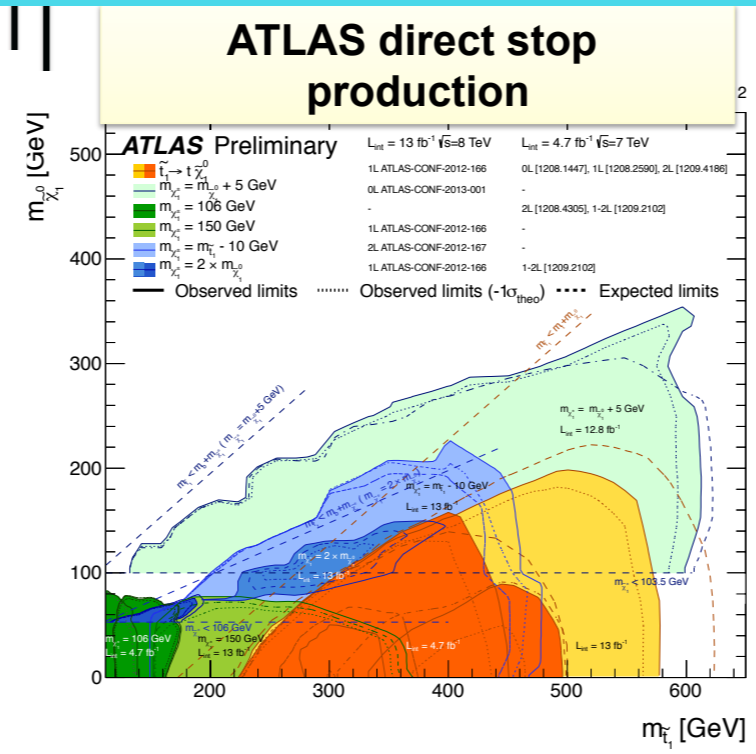
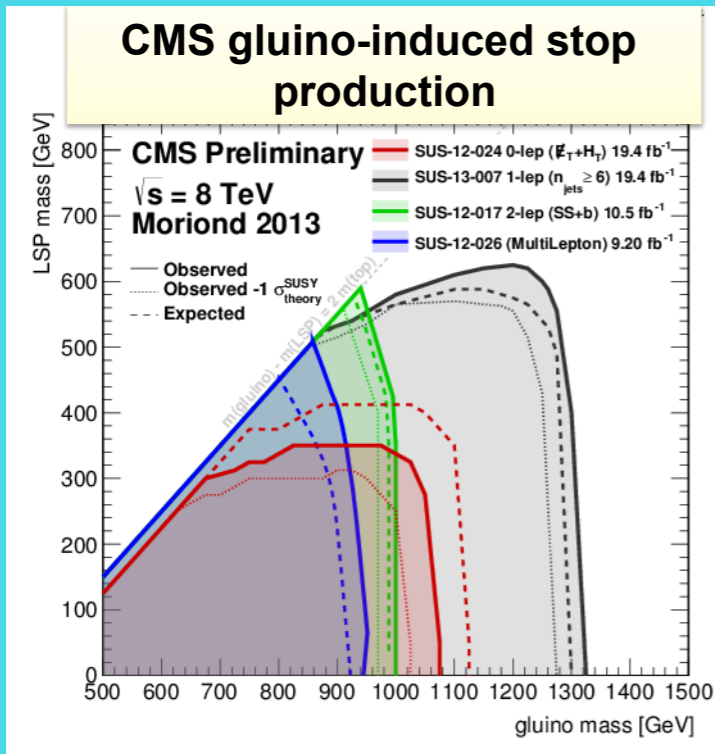


Сильновзаимодействующие ч-цы

Поиск суперсимметрии @ LHC



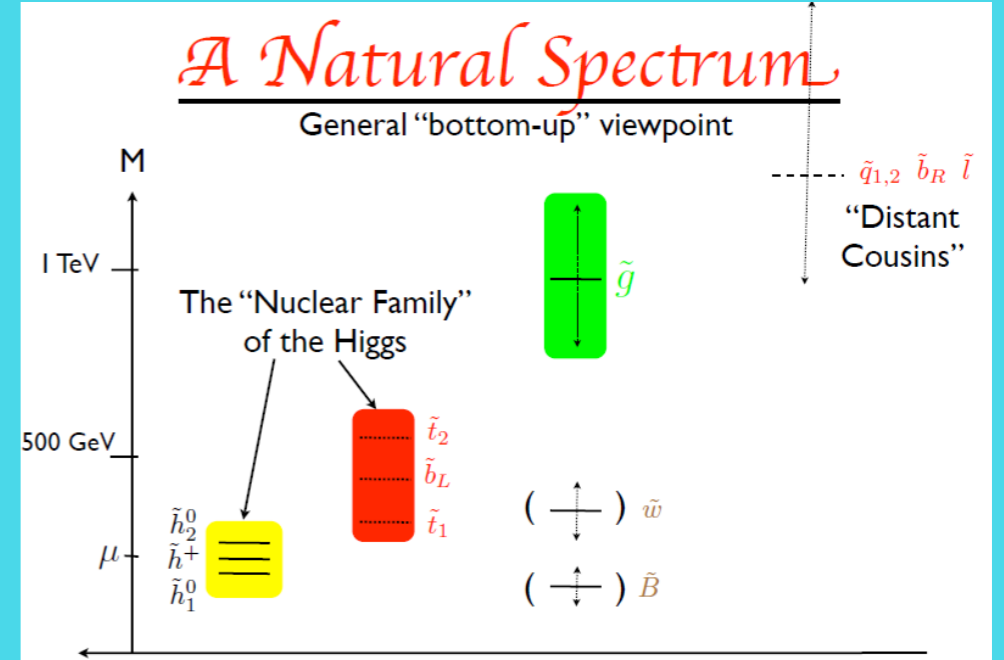
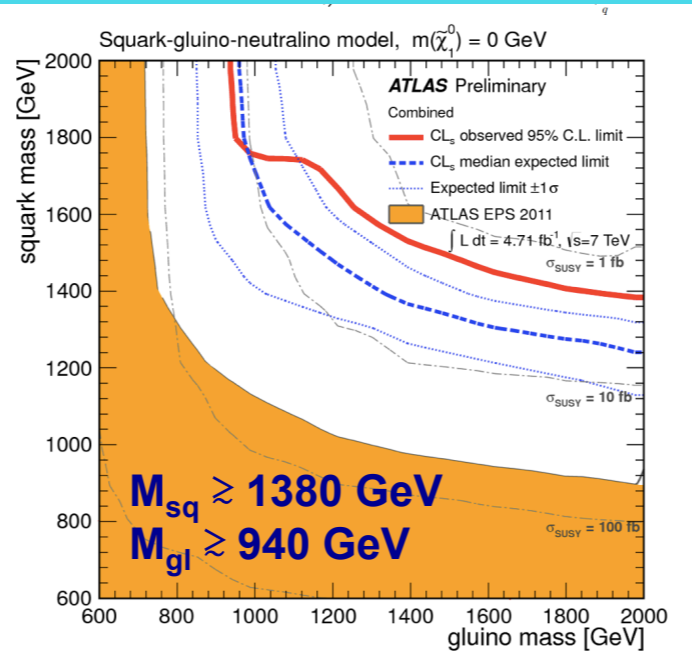
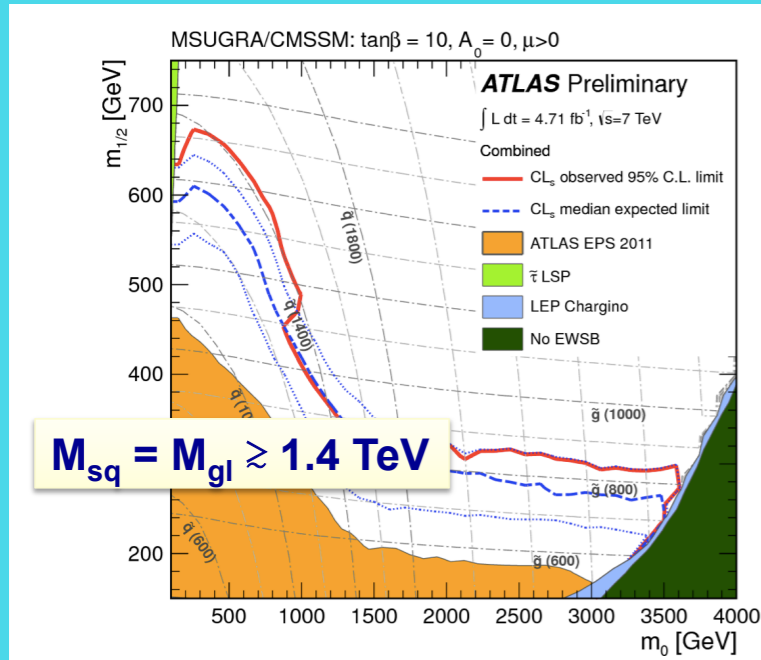
Слабовзаимодействующие ч-цы



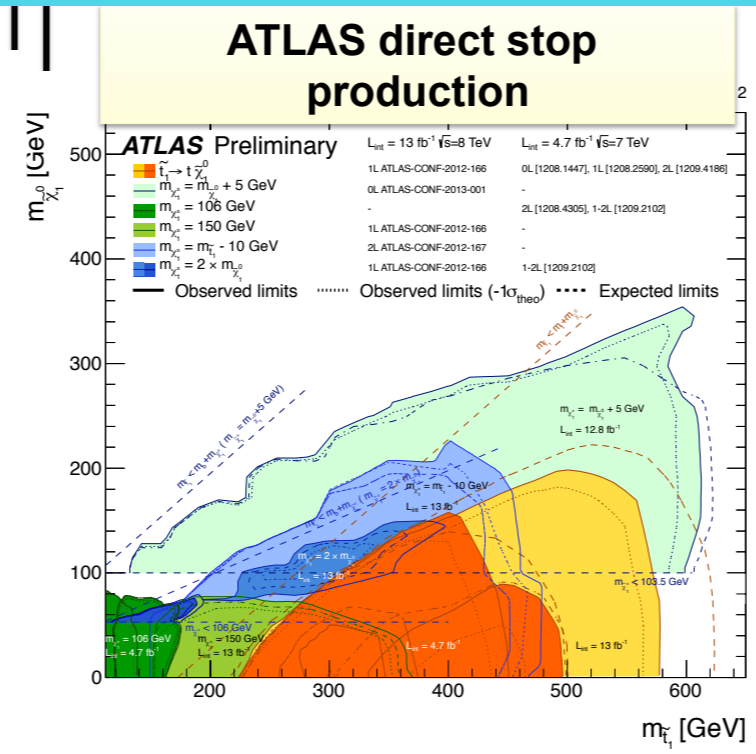
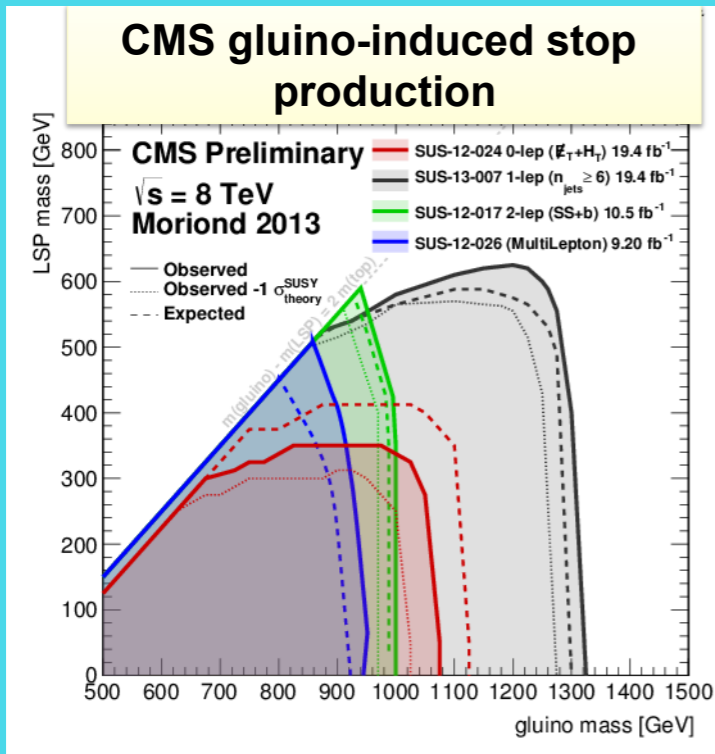
Колоссальный прогресс LHC по поиску СУСИ пока разочаровывает.

Сильновзаимодействующие ч-цы

Поиск суперсимметрии @ LHC



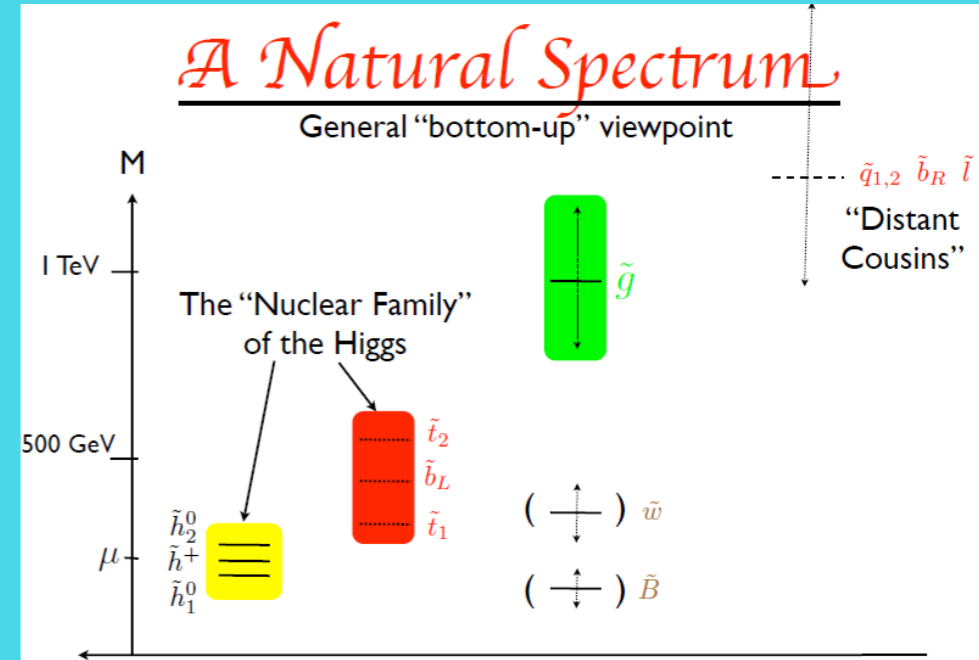
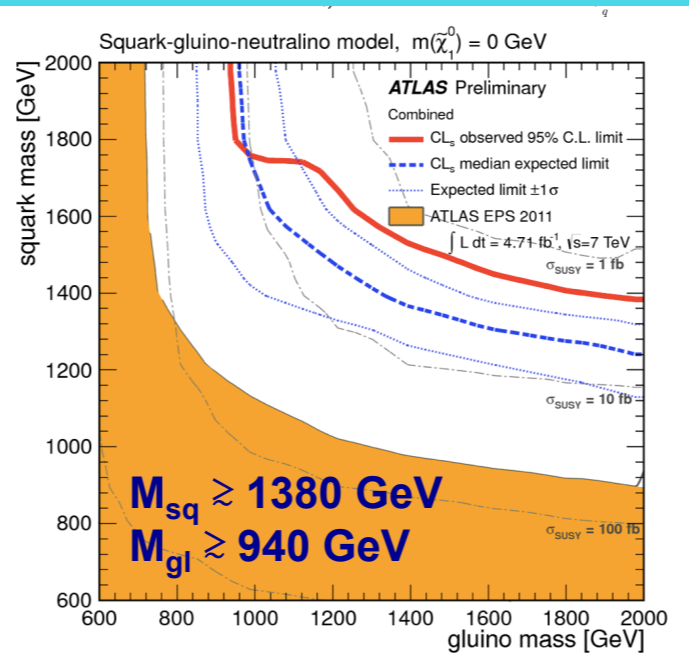
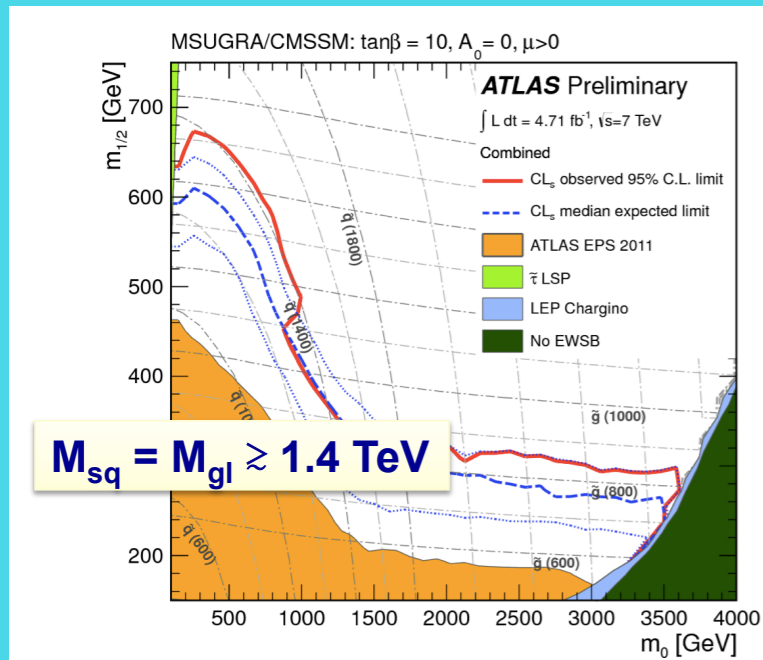
Слабовзаимодействующие ч-цы



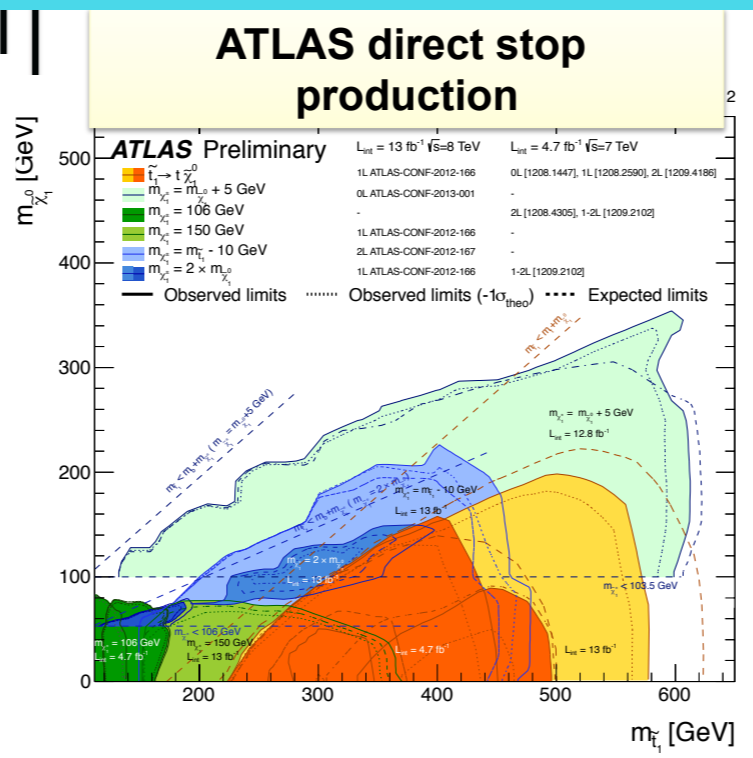
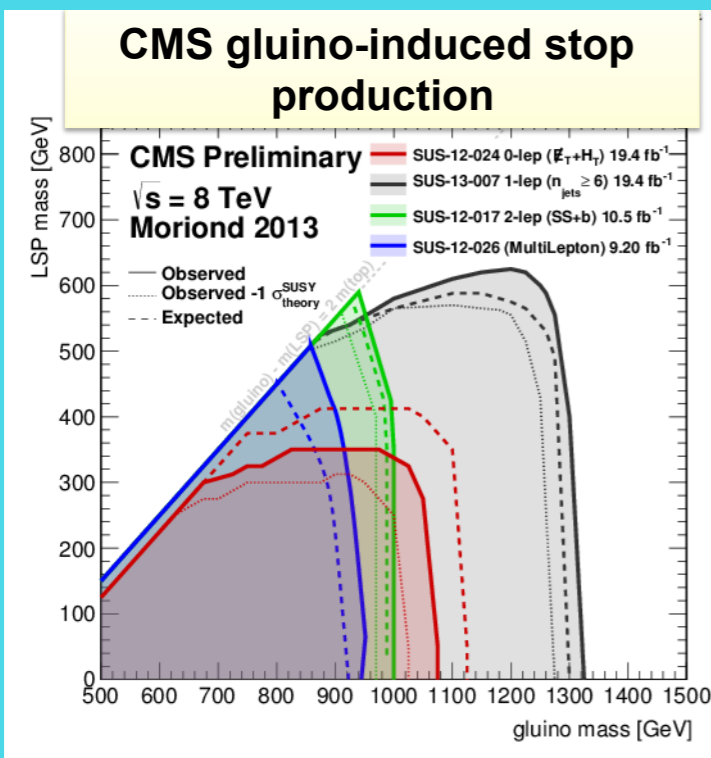
Колоссальный прогресс LHC по поиску СУСИ пока разочаровывает. Не то ищем?

Сильновзаимодействующие ч-цы

Поиск суперсимметрии @ LHC



Слабовзаимодействующие ч-цы

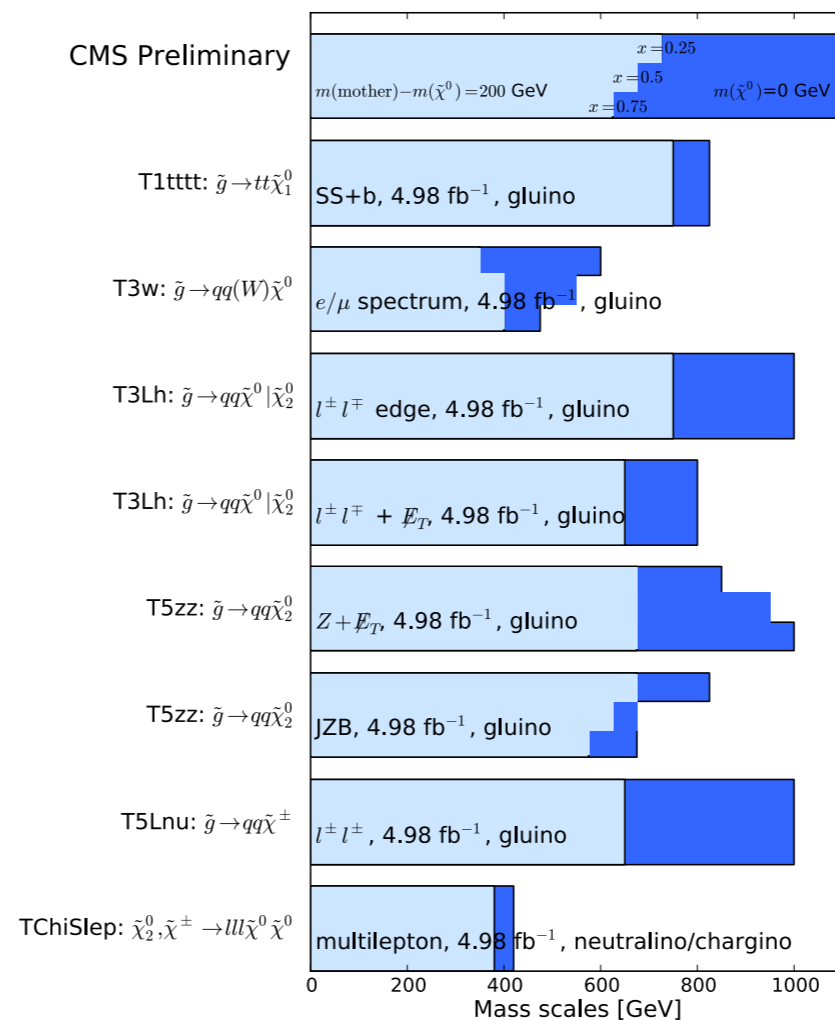
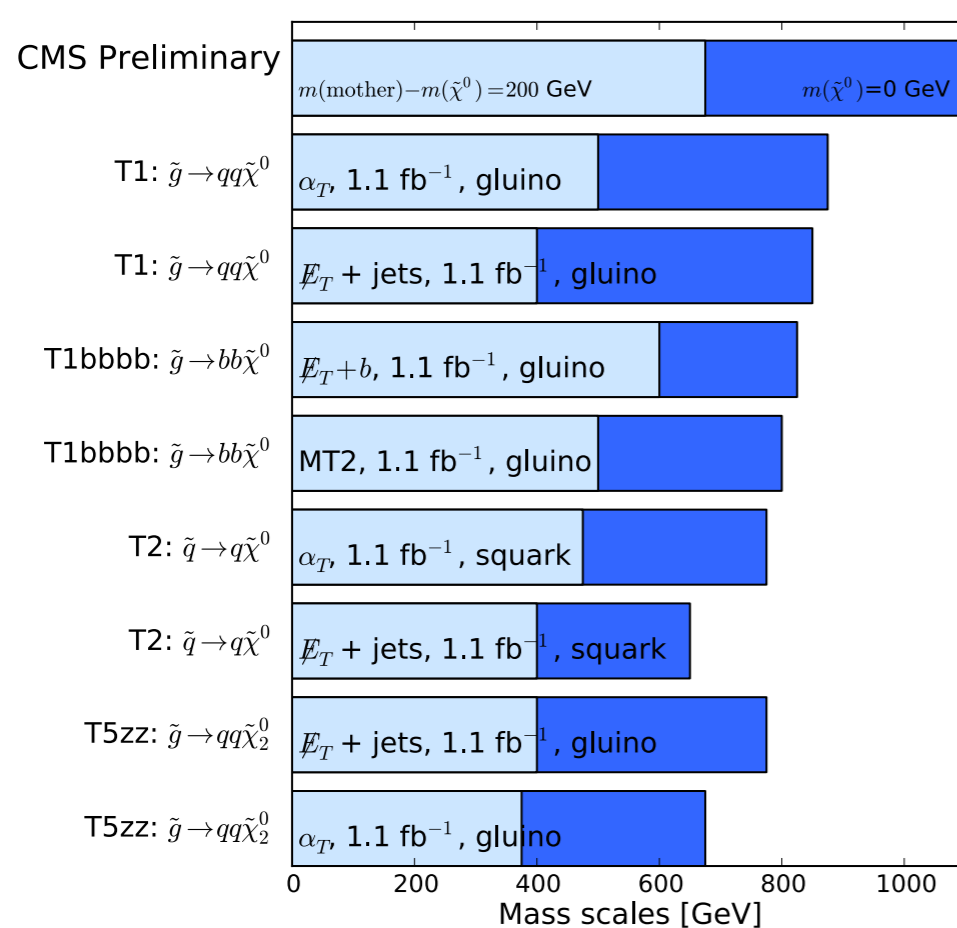


Колоссальный прогресс LHC по поиску СУСИ пока разочаровывает. Не то ищем? Ещё не достигли нужного интервала масс?

Сильновзаимодействующие ч-цы

Поиск суперсимметрии @ LHC

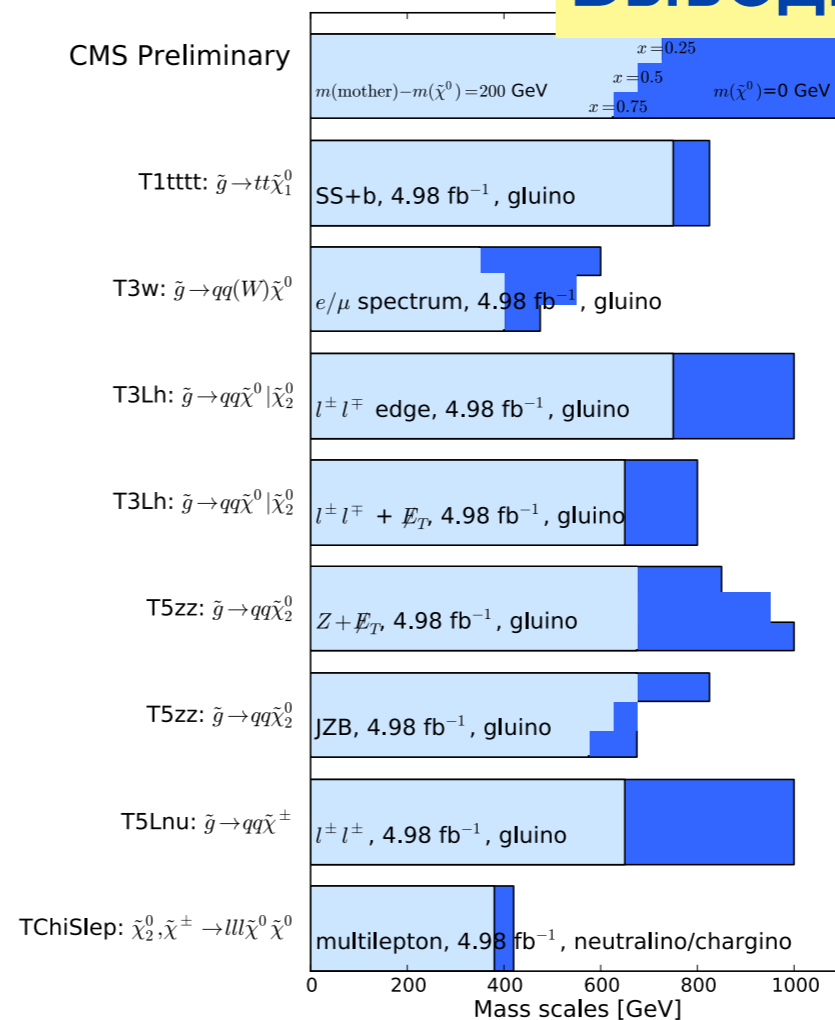
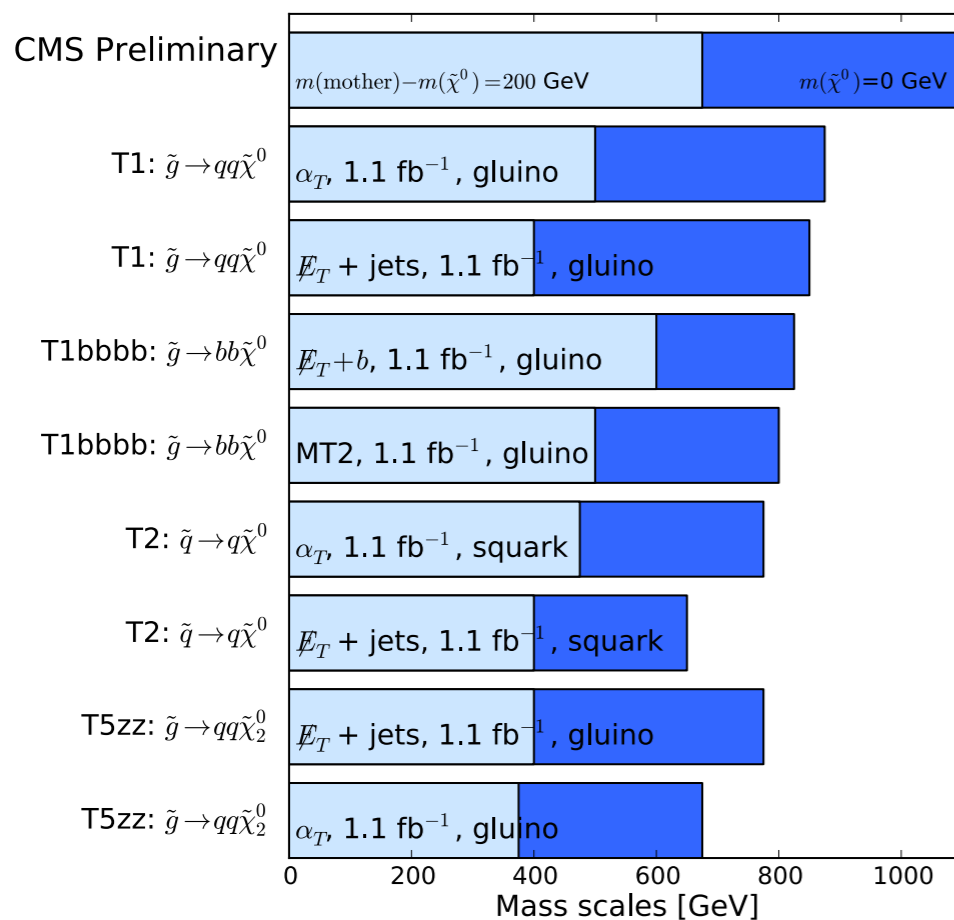
CMS results summary



Поиск суперсимметрии @ LHC

CMS results summary

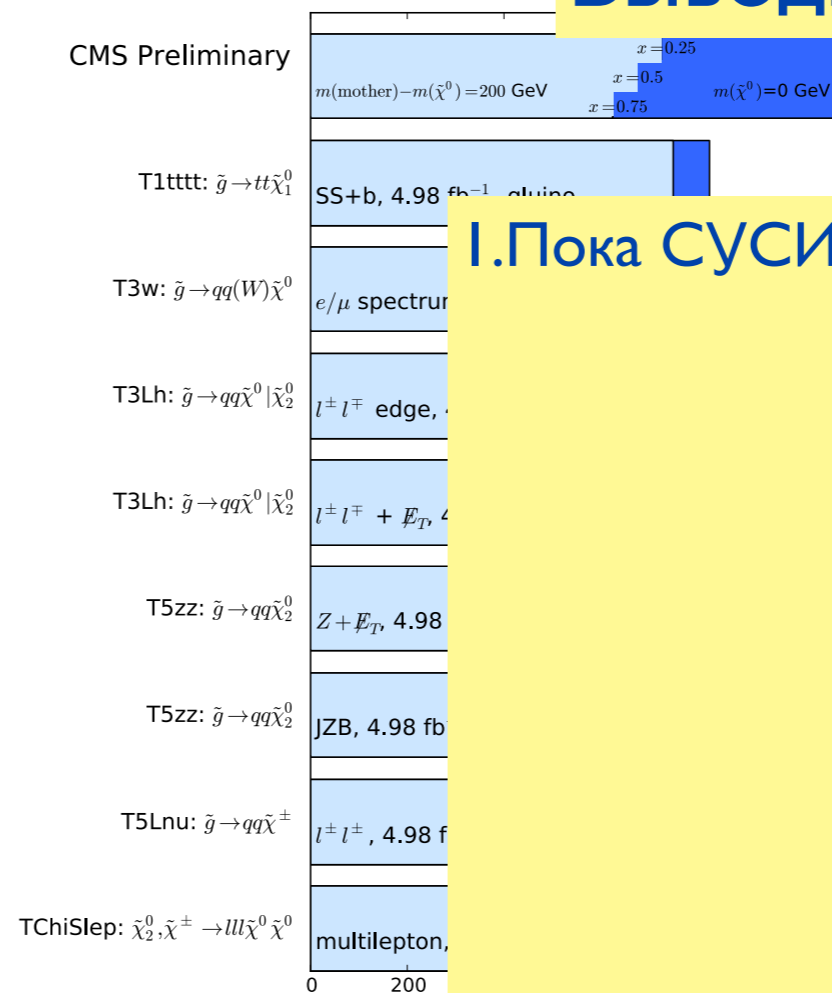
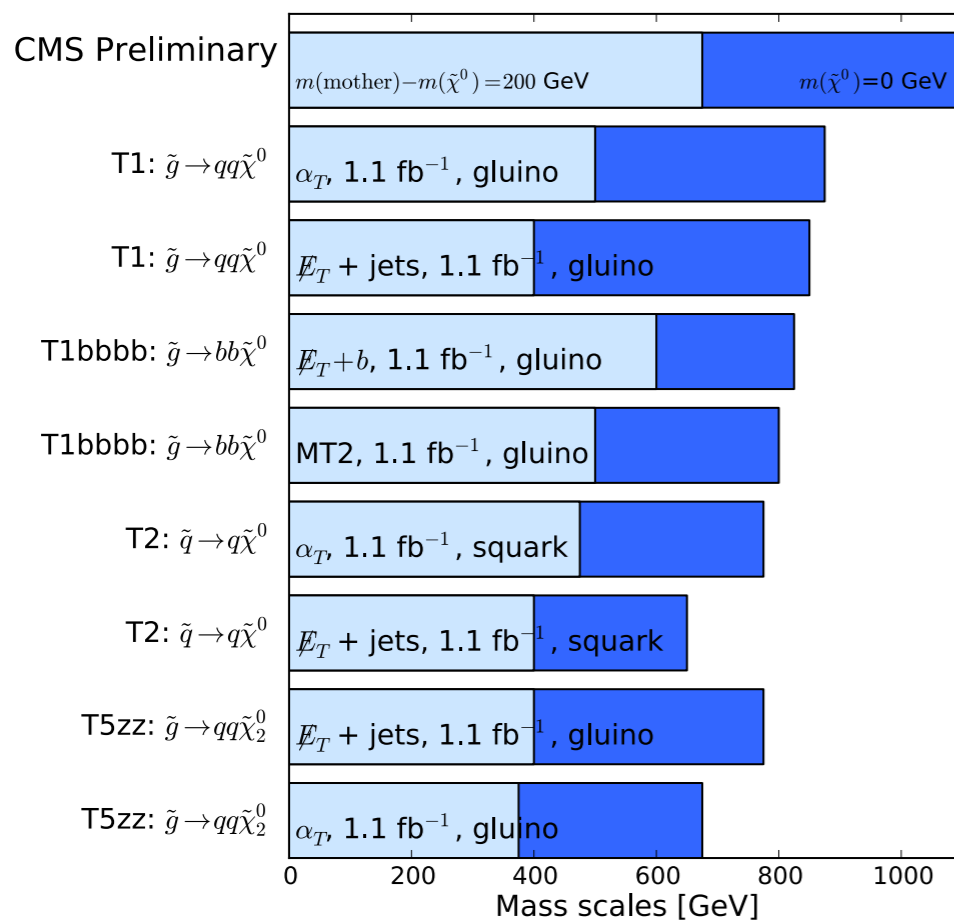
Выводы (2013)



Поиск суперсимметрии @ LHC

CMS results summary

Выводы (2013)

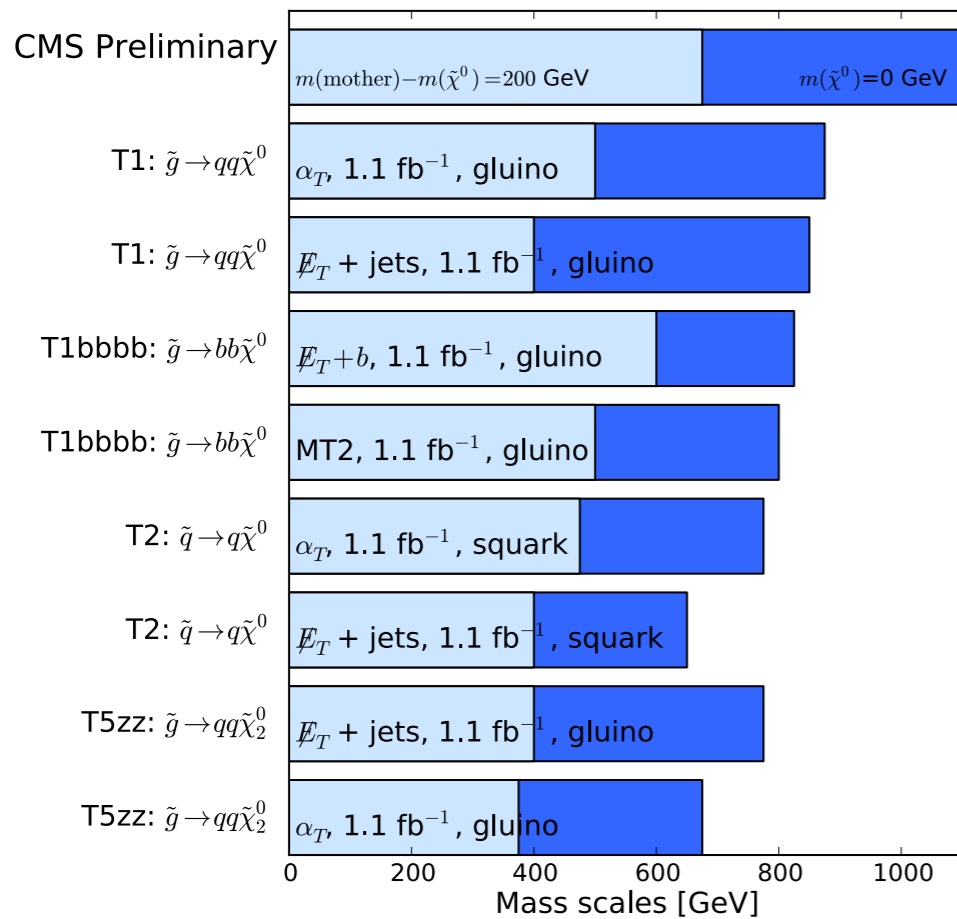


1. Пока СУСИ на видно

Поиск суперсимметрии @ LHC

CMS results summary

Выводы (2013)

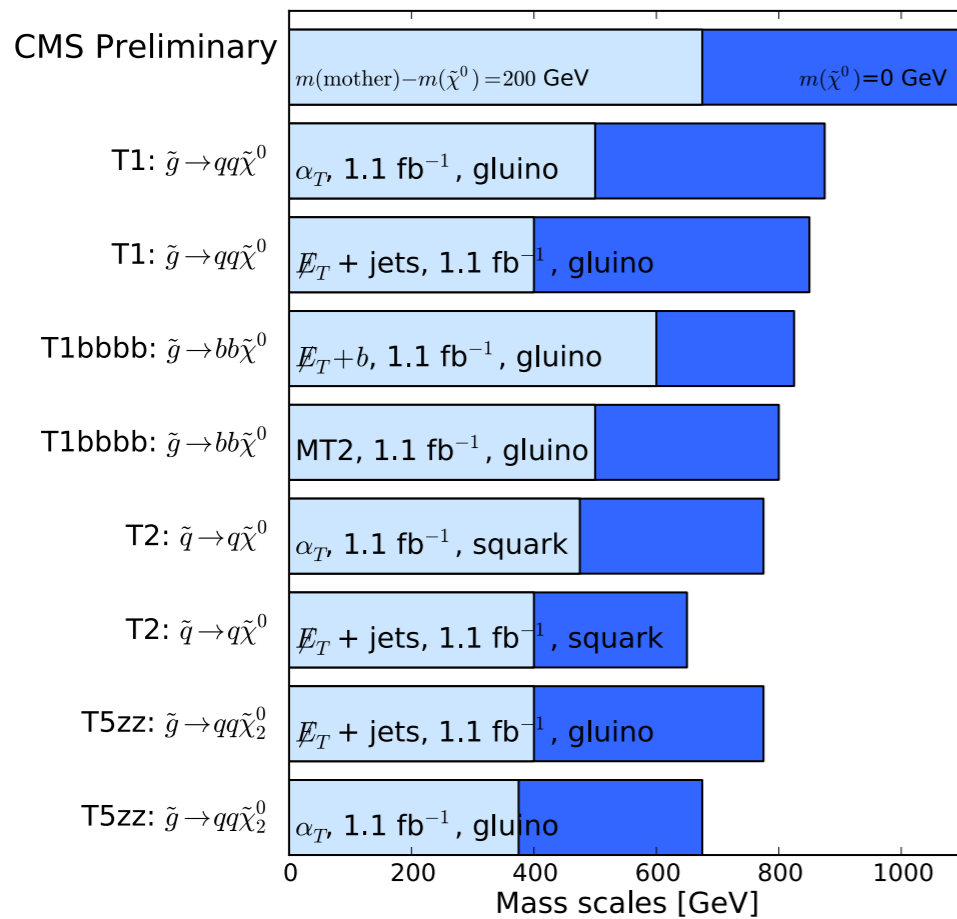


1. Пока СУСИ на видно
2. Полученные ограничения
носят модельный характер

Поиск суперсимметрии @ LHC

CMS results summary

Выводы (2013)

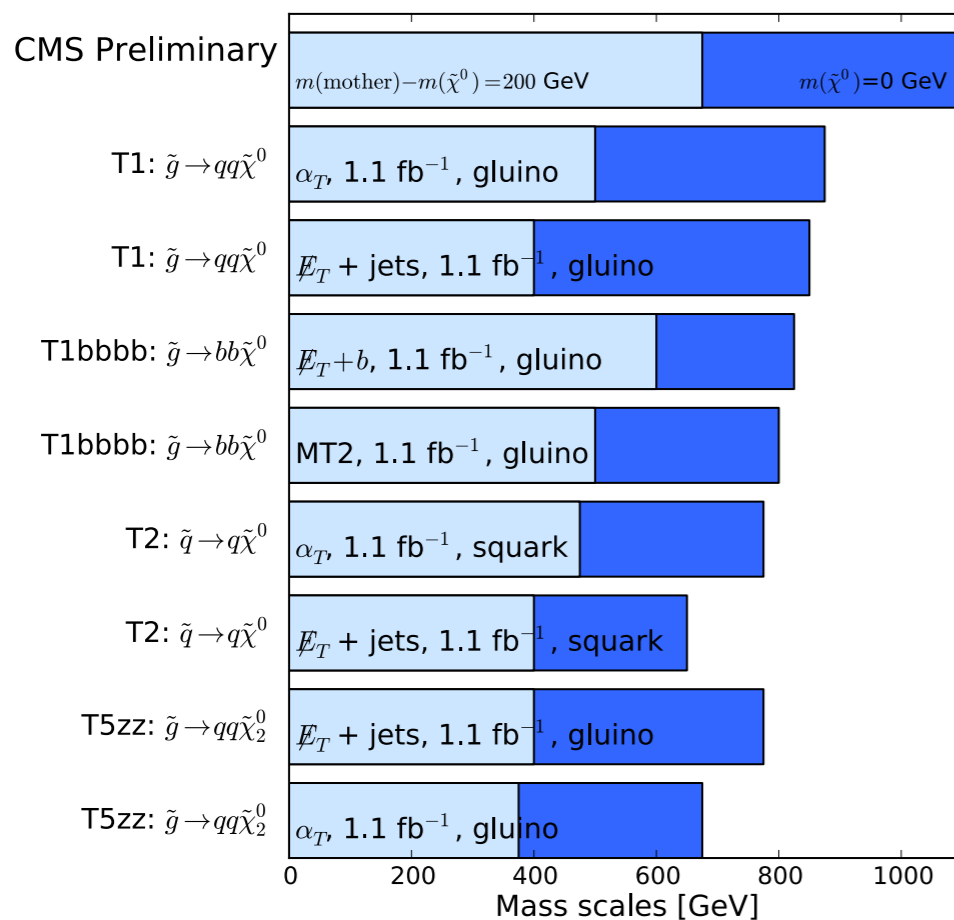


1. Пока СУСИ на видно
2. Полученные ограничения носят модельный характер
3. Модели содержат много параметров и места ещё много

Поиск суперсимметрии @ LHC

CMS results summary

Выводы (2013)

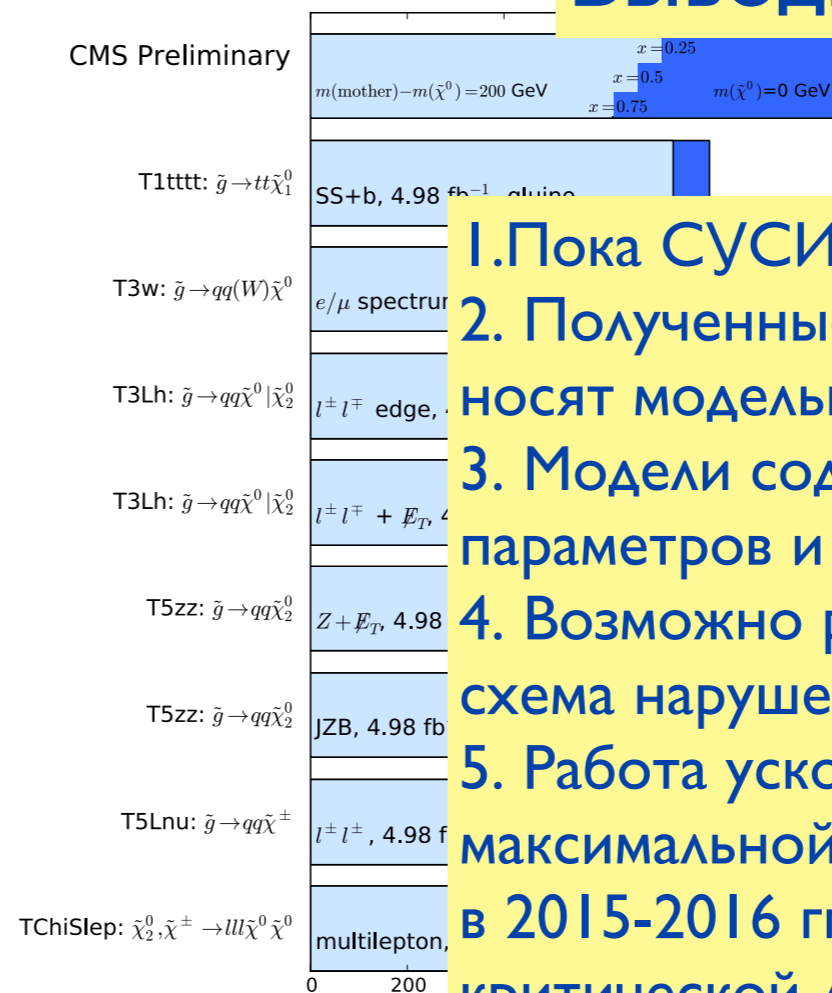
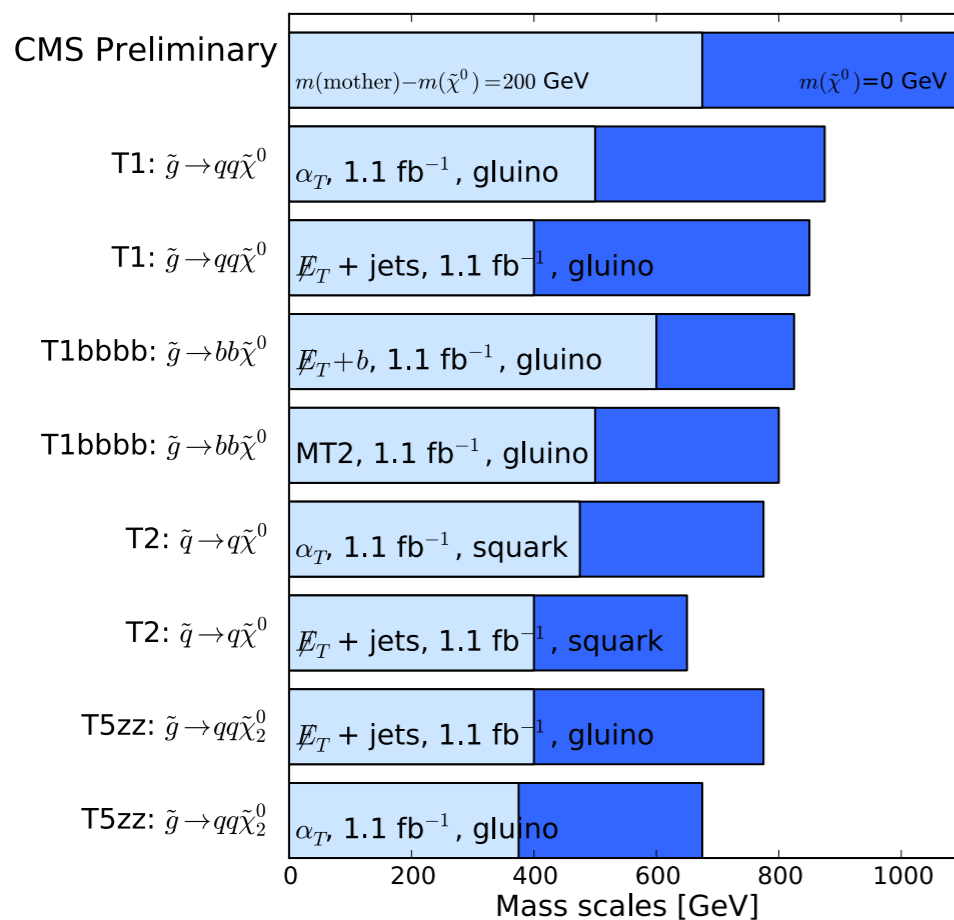


1. Пока СУСИ на видно
2. Полученные ограничения носят модельный характер
3. Модели содержат много параметров и места ещё много
4. Возможно реализуется иная схема нарушения СУСИ

Поиск суперсимметрии @ LHC

CMS results summary

Выводы (2013)



1. Пока СУСИ на видно
2. Полученные ограничения носят модельный характер
3. Модели содержат много параметров и места ещё много
4. Возможно реализуется иная схема нарушения СУСИ
5. Работа ускорителя на максимальной энергии в 14 ТэВ в 2015-2016 гг. будет критической для низкоэнергетической СУСИ

Вперёд в будущее

Вперёд в будущее

Программа исследований на ближайшие годы

Вперёд в будущее

Программа исследований на ближайшие годы

I. Изучение **свойств новой скалярной частицы** с максимально достижимой точностью

Вперёд в будущее

Программа исследований на ближайшие годы

1. Изучение **свойств новой скалярной частицы** с максимально достижимой точностью
2. Поиск любых **отклонений от СМ** указывающих на существование новой физики

Вперёд в будущее

Программа исследований на ближайшие годы

1. Изучение **свойств новой скалярной частицы** с максимально достижимой точностью
2. Поиск любых **отклонений от СМ** указывающих на существование новой физики
3. Поиск **новой физики** на ТэВ-ной шкале энергий

Вперёд в будущее

Программа исследований на ближайшие годы

1. Изучение **свойств новой скалярной частицы** с максимально достижимой точностью
2. Поиск любых **отклонений от СМ** указывающих на существование новой физики
3. Поиск **новой физики** на ТэВ-ной шкале энергий

Выполнение этой программы возможно потребует строительства **электрон-позитронного** коллайдера в дополнение к адронному коллайдеру LHC

Вперёд в будущее

Программа исследований на ближайшие годы

1. Изучение **свойств новой скалярной частицы** с максимально достижимой точностью
2. Поиск любых **отклонений от СМ** указывающих на существование новой физики
3. Поиск **новой физики** на ТэВ-ной шкале энергий

Выполнение этой программы возможно потребует строительства **электрон-позитронного** коллайдера в дополнение к адронному коллайдеру LHC

Мы живём в интересное время и имеем шанс приоткрыть завесу тайны!