



Поиск распадов бозона Хиггса с нарушением лептонного числа в эксперименте CMS на LHC

В.В. Шалаев*, С.В. Шматов*, М.В. Савина*

**ОИЯИ, Дубна*

**Государственный университет «Дубна»*



Стандартная модель и бозон Хиггса

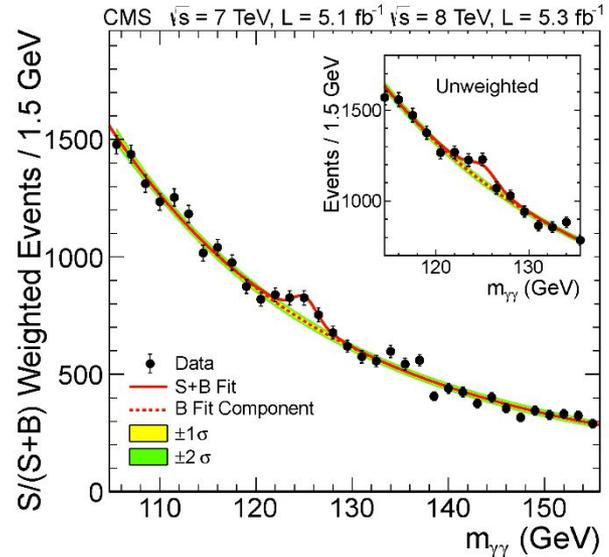
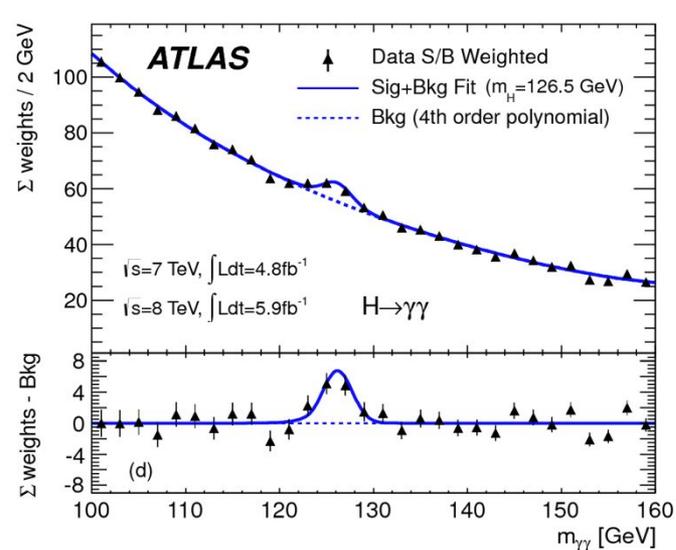


Поколения	I	II	III		
масса →	$\approx 2,3 \text{ МэВ}/c^2$	$\approx 1,275 \text{ ГэВ}/c^2$	$\approx 173,07 \text{ ГэВ}/c^2$	0	$\approx 126 \text{ ГэВ}/c^2$
заряд →	$2/3$	$2/3$	$2/3$	0	0
спин →	$1/2$	$1/2$	$1/2$	1	0
КВАРКИ	u верхний	c очарованный	t истинный	g глюон	H бозон Хиггса
	d нижний	s странный	b прелестный	γ фотон	
ЛЕПТОНЫ	e электрон	μ мюон	τ тау	Z Z бозон	
	ν_e электронное нейтрино	ν_μ мюонное нейтрино	ν_τ тау нейтрино	W W бозон	

КАЛИБРОВОЧНЫЕ БОЗОНЫ



В 2012-м году коллаборации ATLAS и CMS совместно сделали заявление о наблюдении частицы со свойствами бозона Хиггса Стандартной модели



2013



П. Хиггс,
Ф. Энглер
Р. Браут



Стандартная модель и бозон Хиггса



Поколения	I	II	III		
масса → заряд → спин →	$\approx 2,3 \text{ МэВ}/c^2$ $2/3$ $1/2$	$\approx 1,275 \text{ ГэВ}/c^2$ $2/3$ $1/2$	$\approx 173,07 \text{ ГэВ}/c^2$ $2/3$ $1/2$	0 0 1	$\approx 126 \text{ ГэВ}/c^2$ 0 0
КВАРКИ	u верхний	c очарованный	t истинный	g глюон	бозон Хиггса 
	d нижний	s странный	b прелестный	γ фотон	
ЛЕПТОНЫ	$0,511 \text{ МэВ}/c^2$ -1 $1/2$	$105,7 \text{ МэВ}/c^2$ -1 $1/2$	$1,777 \text{ ГэВ}/c^2$ -1 $1/2$	0 -1 1	КАЛИБРОВОЧНЫЕ БОЗОНЫ
	e электрон	μ мюон	τ тау	Z Z бозон	
	$< 2,2 \text{ эВ}/c^2$ 0 $1/2$	$< 0,17 \text{ МэВ}/c^2$ 0 $1/2$	$< 15,5 \text{ МэВ}/c^2$ 0 $1/2$	$80,4 \text{ ГэВ}/c^2$ ± 1 1	
	ν_e электронное нейтрино	ν_μ мюонное нейтрино	ν_τ тау нейтрино	W W бозон	

Недостатки Стандартной модели

- Иерархия масс и масштабов взаимодействия
- Описание гравитации
- Осцилляции нейтрино
- Барьонная асимметрия вселенной
- Темная материя и темная энергия



Стандартная модель и бозон Хиггса



Поколения	I	II	III			
масса → заряд → спин →	$\approx 2,3 \text{ МэВ}/c^2$ 2/3 1/2	$\approx 1,275 \text{ ГэВ}/c^2$ 2/3 1/2	$\approx 173,07 \text{ ГэВ}/c^2$ 2/3 1/2	0 0 1	$\approx 126 \text{ ГэВ}/c^2$ 0 0	? ? ?
КВАРКИ	u верхний	c очарованный	t истинный	g глюон	H бозон Хиггса	
	$\approx 4,8 \text{ МэВ}/c^2$ -1/3 1/2	$\approx 95 \text{ МэВ}/c^2$ -1/3 1/2	$\approx 4,18 \text{ ГэВ}/c^2$ -1/3 1/2	0 0 1	γ фотон	
ЛЕПТОНЫ	d нижний	s странный	b прелестный	Z Z бозон	КАЛИБРОВОЧНЫЕ БОЗОНЫ	
	$0,511 \text{ МэВ}/c^2$ -1 1/2	$105,7 \text{ МэВ}/c^2$ -1 1/2	$1,777 \text{ ГэВ}/c^2$ -1 1/2	0 0 1		W W бозон
	e электрон	μ мюон	τ тау	$91,2 \text{ ГэВ}/c^2$ 0 0 1		
	$< 2,2 \text{ эВ}/c^2$ 0 1/2	$< 0,17 \text{ МэВ}/c^2$ 0 1/2	$< 15,5 \text{ МэВ}/c^2$ 0 1/2	$80,4 \text{ ГэВ}/c^2$ ±1 1		
	ν_e электронное нейтрино	ν_μ мюонное нейтрино	ν_τ тау нейтрино			

Недостатки Стандартной модели

- Иерархия масс и масштабов взаимодействия
- Описание гравитации
- Осцилляции нейтрино
- Барийонная асимметрия вселенной
- Темная материя и темная энергия

1. Существуют ли ещё «Хиггсы»?



Стандартная модель и бозон Хиггса



Поколения	I	II	III			
масса →	$\approx 2,3 \text{ МэВ}/c^2$	$\approx 1,275 \text{ ГэВ}/c^2$	$\approx 173,07 \text{ ГэВ}/c^2$	0	$\approx 126 \text{ ГэВ}/c^2$?
заряд →	2/3	2/3	2/3	0	0	?
спин →	1/2	1/2	1/2	1	0	?
КВАРКИ	u верхний	c очарованный	t истинный	g глюон	H бозон Хиггса	H ?
	d нижний	s странный	b прелестный	γ фотон		H ?
ЛЕПТОНЫ	e электрон	μ мюон	τ тау	Z Z бозон	КАЛИБРОВОЧНЫЕ БОЗОНЫ	H ?
	ν_e электронное нейтрино	ν_μ мюонное нейтрино	ν_τ тау нейтрино	W W бозон		H ?

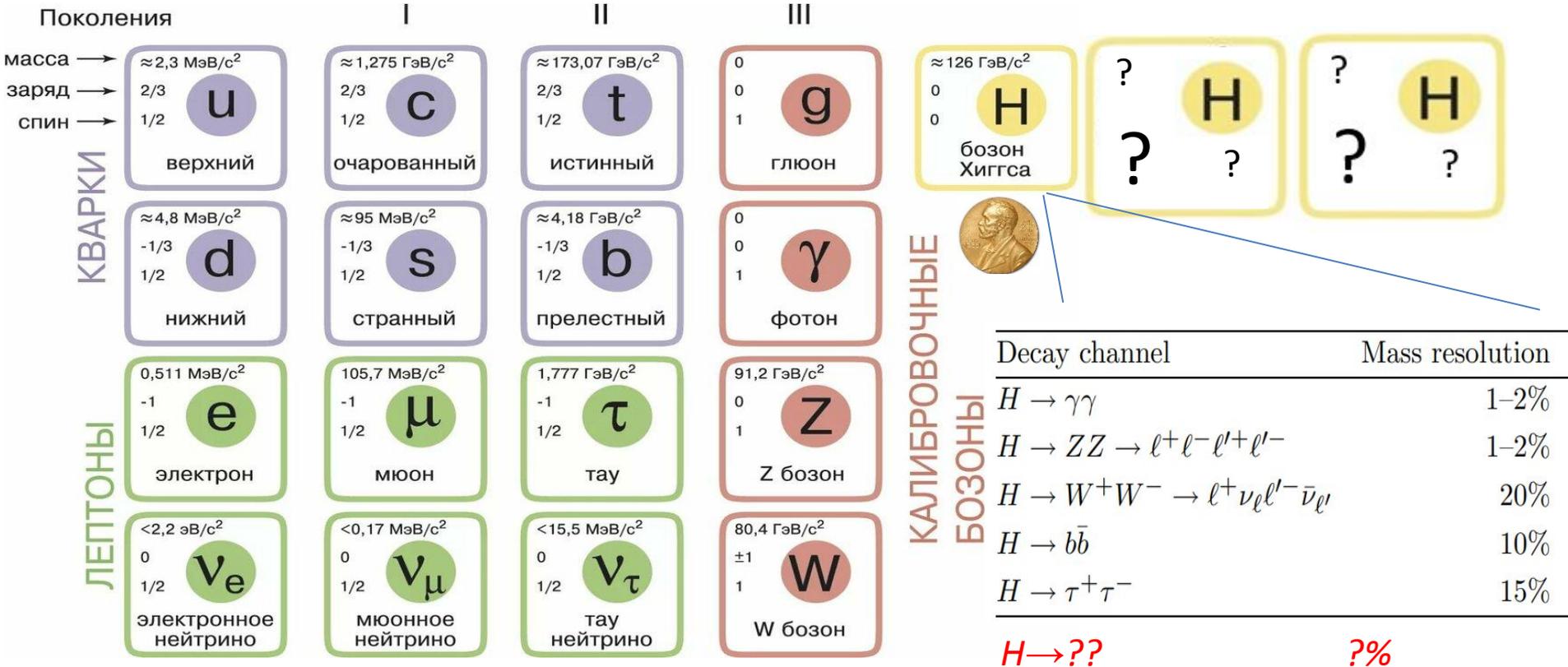
Недостатки Стандартной модели

- Иерархия масс и масштабов взаимодействия
- Описание гравитации
- Осцилляции нейтрино
- Барьонная асимметрия вселенной
- Темная материя и темная энергия

1. Существуют ли ещё «Хиггсы»?



Стандартная модель и бозон Хиггса



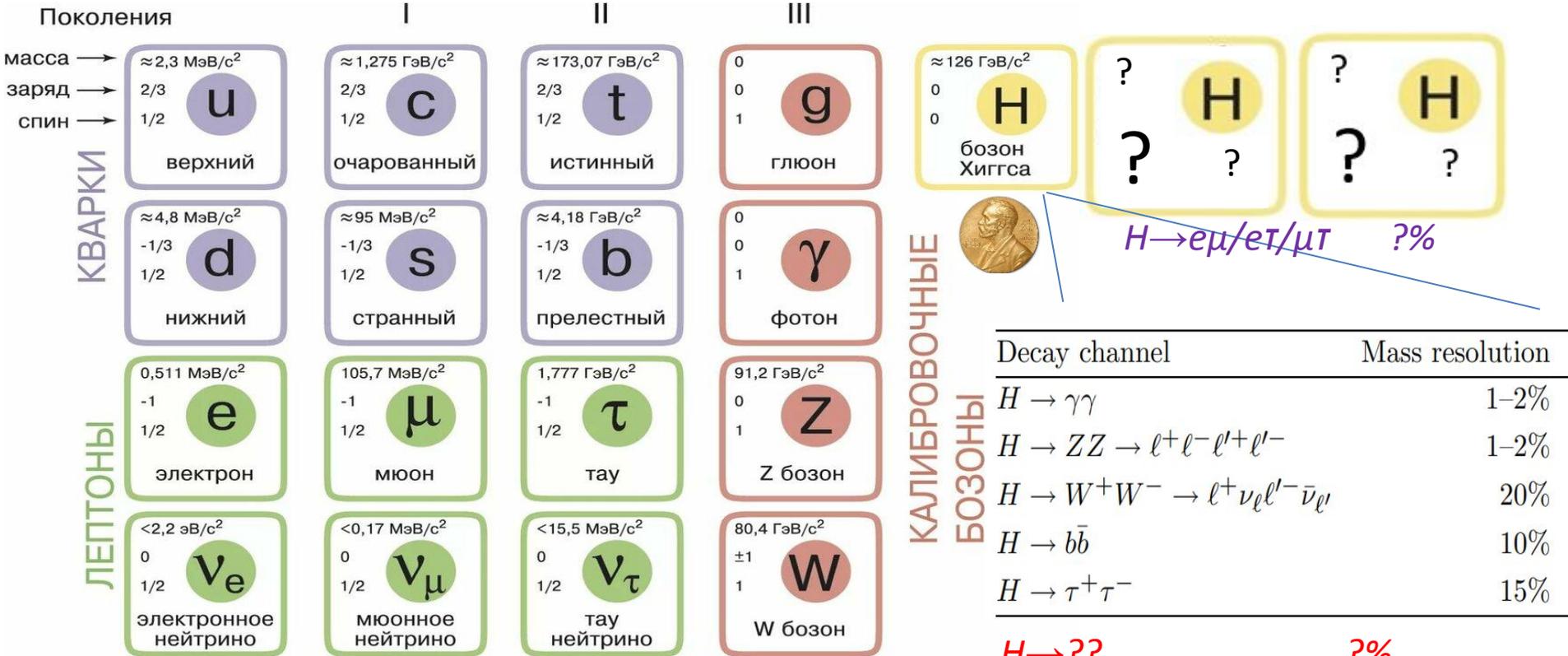
Недостатки Стандартной модели

- Иерархия масс и масштабов взаимодействия
- Описание гравитации
- Осцилляции нейтрино
- Барийонная асимметрия вселенной
- Темная материя и темная энергия

1. Существуют ли ещё «Хиггсы»?
2. Точно ли открытый Хиггс – тот самый?



Стандартная модель и бозон Хиггса



Decay channel	Mass resolution
$H \rightarrow \gamma\gamma$	1-2%
$H \rightarrow ZZ \rightarrow l^+l^-l'^+l'^-$	1-2%
$H \rightarrow W^+W^- \rightarrow l^+\nu_\ell l'^-\bar{\nu}_{\ell'}$	20%
$H \rightarrow b\bar{b}$	10%
$H \rightarrow \tau^+\tau^-$	15%

$H \rightarrow ?? \quad ?\%$
 $H \rightarrow e\mu/e\tau/\mu\tau \quad ?\%$

Недостатки Стандартной модели

- Иерархия масс и масштабов взаимодействия
- Описание гравитации
- Осцилляции нейтрино
- Барьонная асимметрия вселенной
- Темная материя и темная энергия

1. Существуют ли ещё «Хиггсы»?
 - Лептонная неуниверсальность?
2. Точно ли открытый Хиггс – тот самый?



Компактный мюонный соленоид (CMS)



- Длина – 22 метра
- Диаметр – 15 метров
- Магнитное поле – 3.8 Т
- Вес – 14 000 тонн!

Run	1	2	Projection
	7, 8	13	14
	4.5, 19.7	163.2	300
Year	2009-2014	2015-2018	2021-2023

CMS DETECTOR

Total weight : 14,000 tonnes
 Overall diameter : 15.0 m
 Overall length : 28.7 m
 Magnetic field : 3.8 T

STEEL RETURN YOKE
 12,500 tonnes

SILICON TRACKERS
 Pixel (100x150 μm) ~16m² ~66M channels
 Microstrips (80x180 μm) ~200m² ~9.6M channels

SUPERCONDUCTING SOLENOID
 Niobium titanium coil carrying ~18,000A

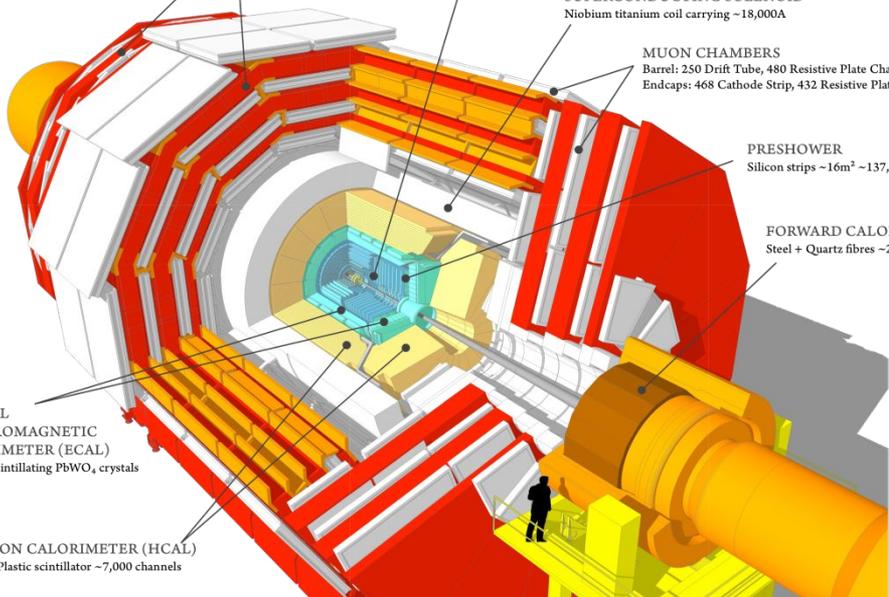
MUON CHAMBERS
 Barrel: 250 Drift Tube, 480 Resistive Plate Chambers
 Endcaps: 468 Cathode Strip, 432 Resistive Plate Chambers

PRESHOWER
 Silicon strips ~16m² ~137,000 channels

FORWARD CALORIMETER
 Steel + Quartz fibres ~2,000 Channels

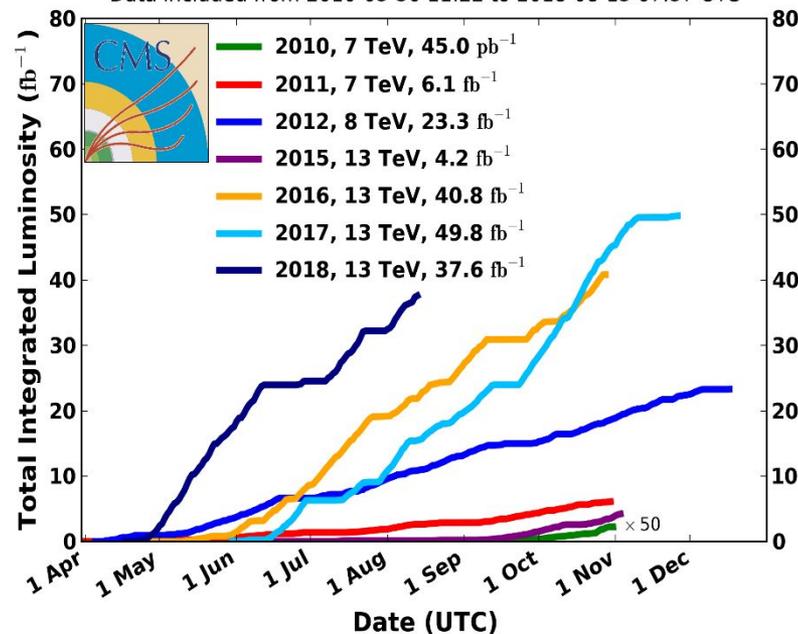
CRYSTAL ELECTROMAGNETIC CALORIMETER (ECAL)
 ~76,000 scintillating PbWO₄ crystals

HADRON CALORIMETER (HCAL)
 Brass + Plastic scintillator ~7,000 channels



CMS Integrated Luminosity, pp

Data included from 2010-03-30 11:22 to 2018-08-13 07:37 UTC





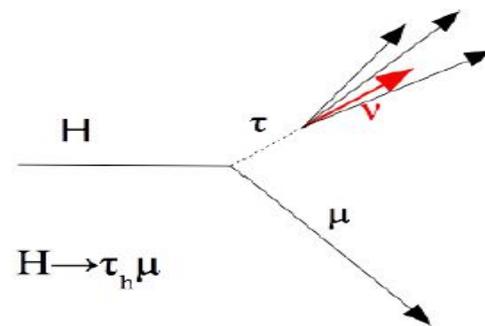
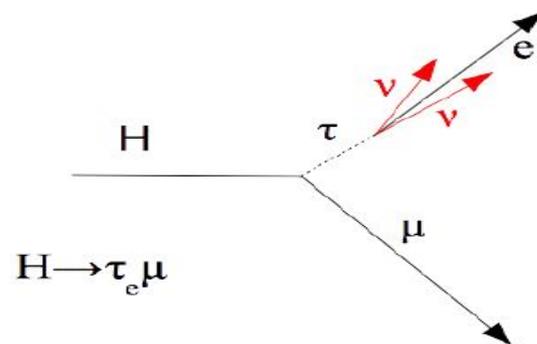
Поиск распадов $e\mu$, $\mu\tau$, $e\tau$ в Хиггсовском секторе



Распады с нарушением лептонного аромата (LFV) запрещены Стандартной моделью. Однако, различные сценарии за пределами СМ разрешают такие распады

- Коллаборациями ATLAS и CMS уже опубликовали данные по поиску $H \rightarrow e\mu/\mu\tau$ при 8 ТэВ как, для состояния h_{125} , так и для расширенного Хиггсовского сектора
- Поиски распадов продолжаются и при 13 ТэВ:
 - на статистике 2016-го года (36 fb^{-1}) CMS опубликованы результаты по поиску распадов $H \rightarrow e\tau$ и $H \rightarrow \mu\tau$ для h_{125} ([CMS-HIG-17-001](#))
 - и расширенного Хиггсовского сектора ([CMS-HIG-18-017](#)), поиск нового хиггсовского состояния с нефиксированной массой

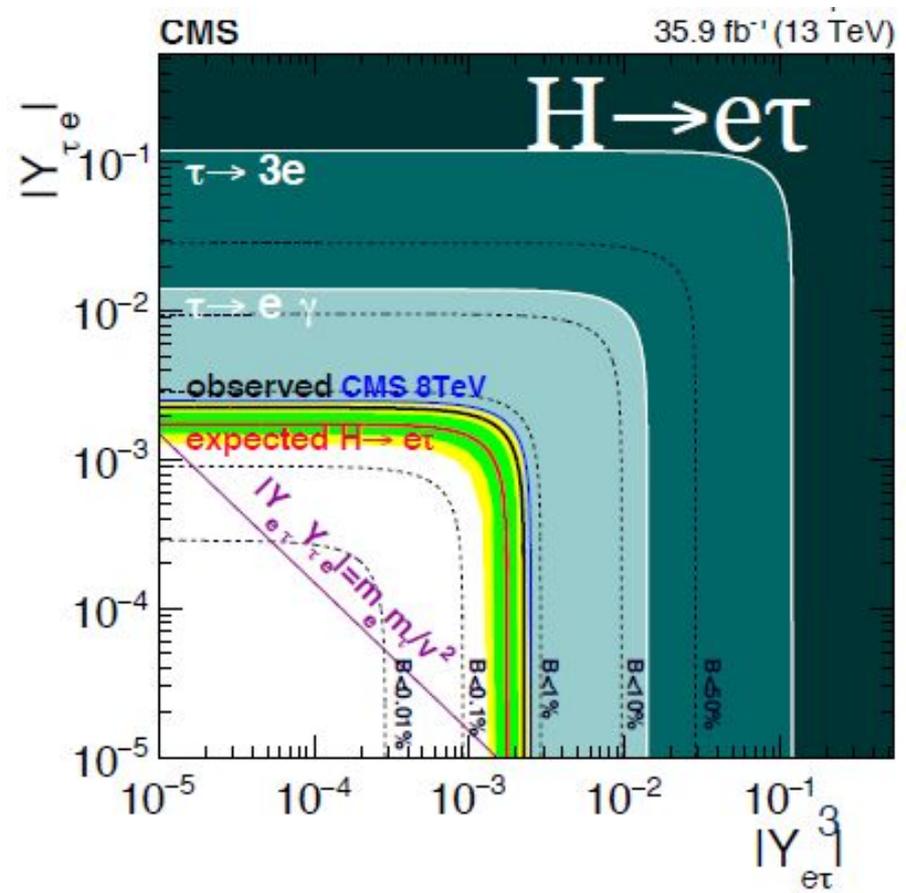
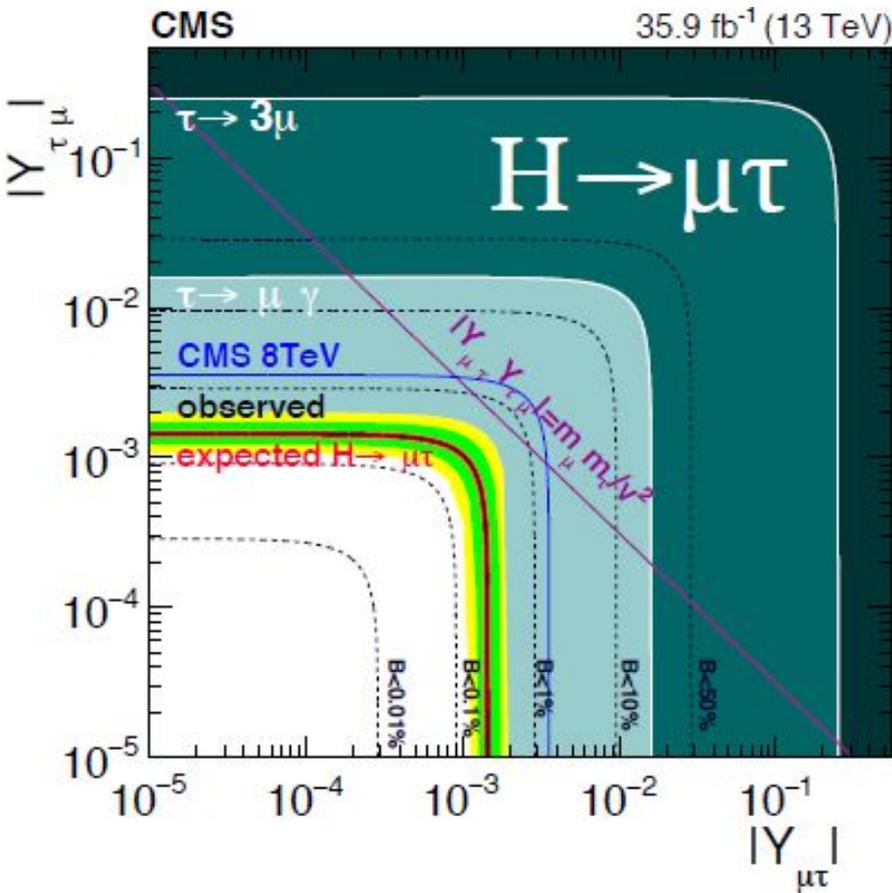
Все результаты находятся в согласии со Стандартной Моделью! Свидетельств нарушения лептонного аромата в Хиггсовском секторе не обнаружено!



- ✓ Применена новая методика: BDT дискриминатор и M_{coll}
- ✓ Были обновлены лимиты, поставленные при 8 TeV
- ✓ Канал $H \rightarrow e\mu$ закрыт для прямого наблюдения



Распады $h_{125} \rightarrow \mu\tau$, $h_{125} \rightarrow e\tau$

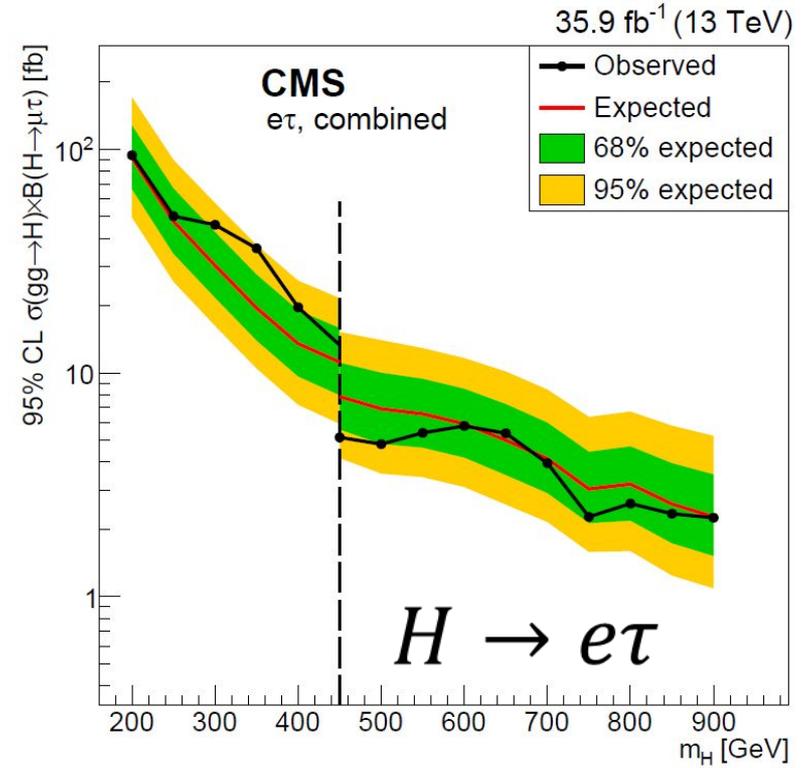
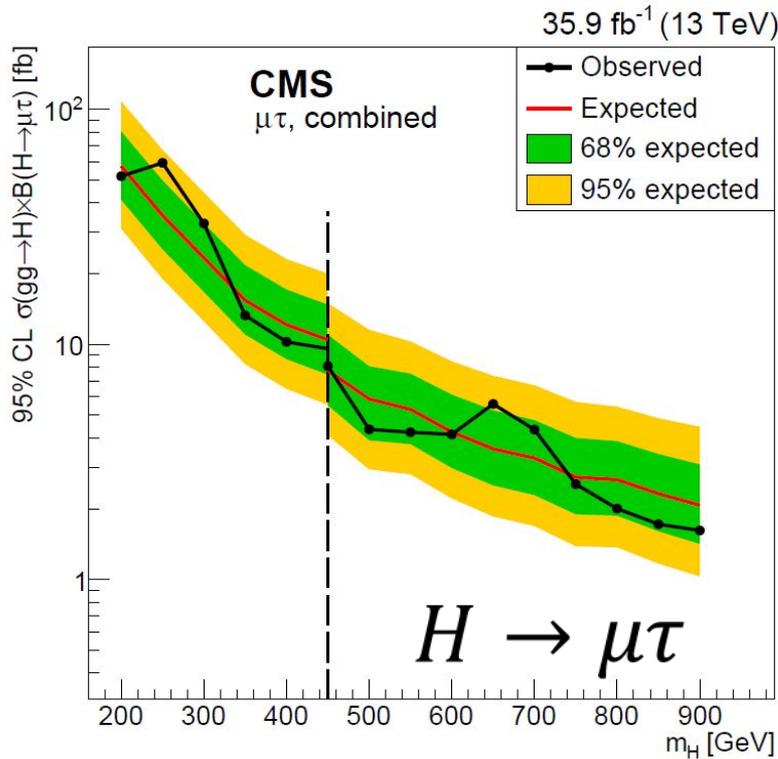


plots from [HIG-17-001](#)

- $H \rightarrow \mu\tau$: $B(H \rightarrow \mu\tau) < 0.25(0.25)\%$ at 95 CL
- $H \rightarrow e\tau$: $B(H \rightarrow e\tau) < 0.61(0.37)\%$ at 95 CL



Тяжелый Хиггс .Распады $H \rightarrow \mu\tau, H \rightarrow e\tau$



[HIG-18-017](#)

Observed 95% CL upper limit on $\sigma(gg \rightarrow H) \mathcal{B}(H \rightarrow \mu\tau)$ (fb)

m_H (GeV)	$\mu\tau_e$			$\mu\tau_h$			$\mu\tau$		
	0 jet	1 jet	comb	0 jet	1 jet	comb	0 jet	1 jet	comb
200	147.8	262.1	159.4	53.1	136.9	46.4	53.3	133.9	51.9
300	30.1	100.8	29.3	57.4	49.4	51.4	33.2	45.5	32.7
450	31.1	35.3	23.7	9.1	14.2	7.3	14.7	14.6	8.1
600	8.1	15.2	6.8	7.5	7.4	5.3	9.1	6.5	4.1
750	6.5	7.8	4.7	4.8	4.8	3.2	3.6	3.7	2.5
900	4.4	5.6	2.9	4.6	2.6	2.3	3.0	2.1	1.6

Observed 95% CL upper limit on $\sigma(gg \rightarrow H) \mathcal{B}(H \rightarrow e\tau)$ (fb)

m_H (GeV)	$e\tau_\mu$			$e\tau_h$			$e\tau$		
	0 jet	1 jet	comb	0 jet	1 jet	comb	0 jet	1 jet	comb
200	119.2	365.3	117.8	179.4	197.8	139.6	103.2	180.1	94.1
300	85.1	208.7	94.5	56.4	56.4	43.2	50.6	65.4	46.0
450	14.0	25.1	11.7	7.6	16.9	6.8	5.9	13.2	5.2
600	17.4	13.9	11.7	9.3	9.1	6.3	8.8	6.9	5.8
750	5.1	9.5	4.1	4.7	5.6	3.3	2.9	4.5	2.3
900	7.7	8.3	5.3	3.8	5.0	2.7	3.1	4.0	2.3



**Спасибо за
внимание!**

**..и удачи следующему
докладчику!**