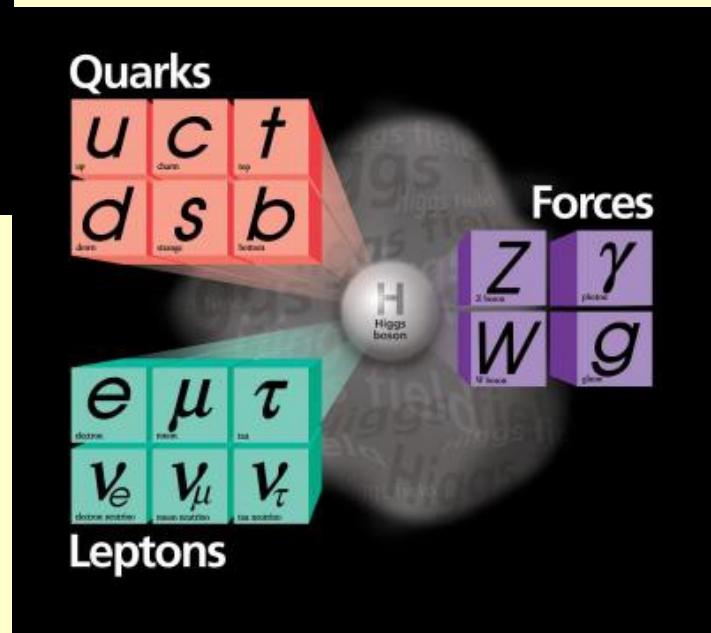


Како детектовати Хигсов бозон на АТЛАСу

Лидија Живковић



$$\mathcal{L} = -\frac{1}{4} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} + i\bar{\psi} \not{D} \psi + h.c. + \bar{\psi}_i \gamma_{ij} \psi_j \phi + h.c. + |D_\mu \phi|^2 - V(\phi)$$



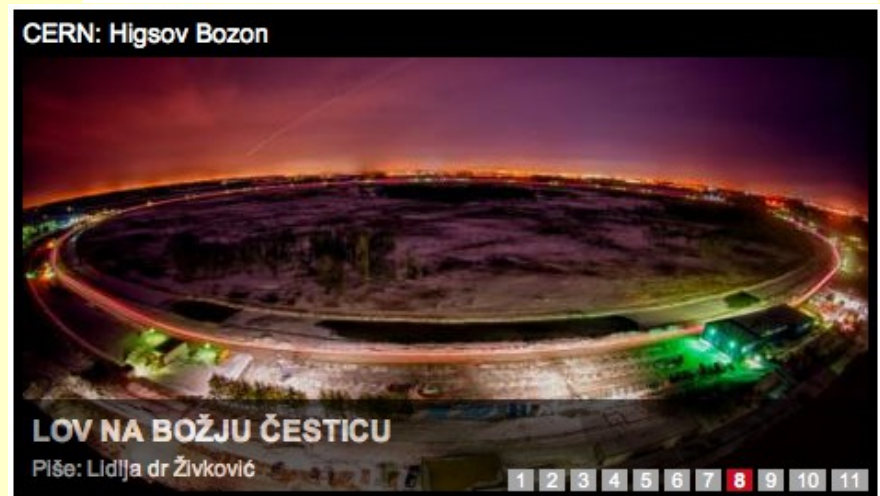
Нова честица

- У јулу 2012 ударна вест на свим светским медијима била је из науке, физике
→ Откривена је нова честица - Хигсов бозон
- Резултати су објављени у Церну уз директан пренос који су пратили научници широм света



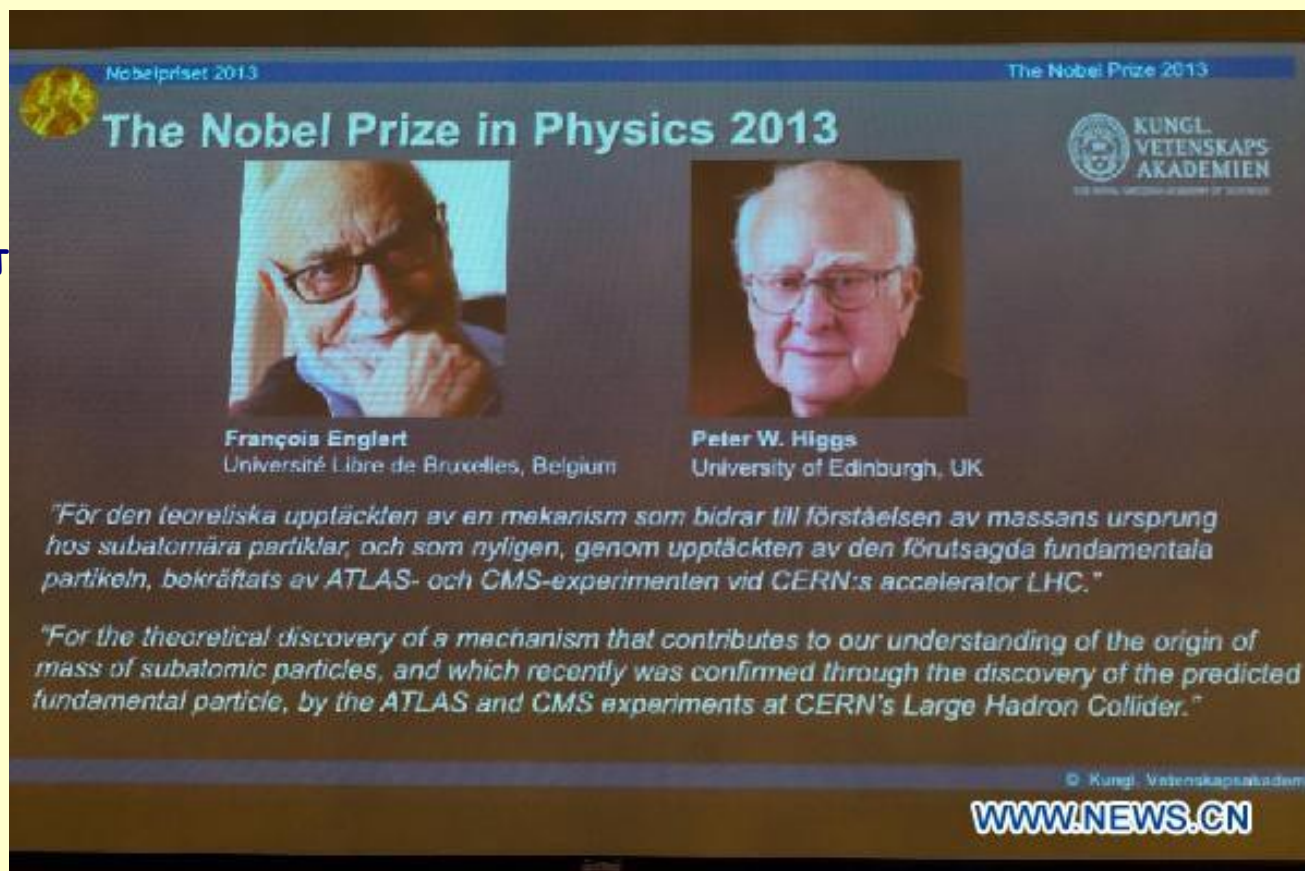
NAUKA
Saznanje o Higgovom bozonu pred vratima
lidiaz / 03.07.2012. u 13:23
KOMENTARI: 84 / POŠALJITE KOMENTAR / ČITANOST: 1540 / PREPORUKE: 17

Sutra u 9 ujutro u Cernu ce zapoceti seminari sa najnovijim rezultatima o Higgovom bozonu. Seminare ce drzati Joseph Incandela sa Univerziteta Kalifornije iz Santa Barbare i Fabiola Gianoti iz Cerna. Joe je spokesperson CMS-a, Fabiola Atlasa. Spokesperson je prakticno glavni menadzer eksperimenta.



Нобелова награда за физику 2013

- Додељена за теоријски рад који описује механизам који доприноси нашем разумевању порекла маса
- Потврђено открићем нове честице у Церну




The image is a graphic for the Nobel Prize in Physics 2013. It features a blue header with the text "Nobelpriset 2013" on the left and "The Nobel Prize 2013" on the right. The main title "The Nobel Prize in Physics 2013" is centered in a large, bold font. Below the title are two portraits: François Englert on the left and Peter W. Higgs on the right. Under each portrait is their name and affiliation. The text of the award is written in Swedish and English. The Swedish text reads: "För den teoretiska upptäckten av en mekanism som bidrar till förståelsen av massans ursprung hos subatomära partiklar, och som nyligen, genom upptäckten av den förutsagda fundamentala partikeln, bekräftats av ATLAS- och CMS-experimenten vid CERN:s accelerator LHC." The English text reads: "For the theoretical discovery of a mechanism that contributes to our understanding of the origin of mass of subatomic particles, and which recently was confirmed through the discovery of the predicted fundamental particle, by the ATLAS and CMS experiments at CERN's Large Hadron Collider." The logo of the Royal Swedish Academy of Sciences (Kungl. Vetenskapsakademien) is in the top right corner. At the bottom right, there is a copyright notice "© Kungl. Vetenskapsakademien" and the website "WWW.NEWS.CN".


Nobelpriset 2013 The Nobel Prize 2013

The Nobel Prize in Physics 2013

KUNGL. VETENSKAPSKAS AKADEMIEN
THE ROYAL SWEDISH ACADEMY OF SCIENCES



François Englert
Université Libre de Bruxelles, Belgium



Peter W. Higgs
University of Edinburgh, UK

"För den teoretiska upptäckten av en mekanism som bidrar till förståelsen av massans ursprung hos subatomära partiklar, och som nyligen, genom upptäckten av den förutsagda fundamentala partikeln, bekräftats av ATLAS- och CMS-experimenten vid CERN:s accelerator LHC."

"For the theoretical discovery of a mechanism that contributes to our understanding of the origin of mass of subatomic particles, and which recently was confirmed through the discovery of the predicted fundamental particle, by the ATLAS and CMS experiments at CERN's Large Hadron Collider."

© Kungl. Vetenskapsakademien
WWW.NEWS.CN

Франсоа Енглерт

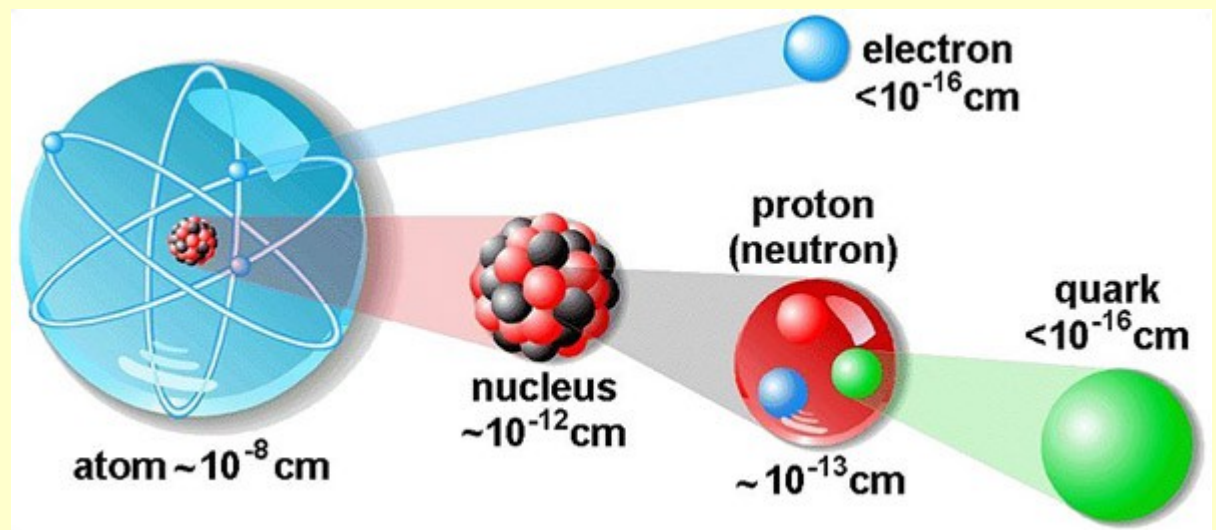
Питер Хигс

Све је почело шездесетих

- Отприлике у исто време, 1964, објављена су три рада:
 - Роберт Броут и Франсоа Енглерт;
 - Џералд Гуралник, Карл Хаген и Том Кибл
 - Питер Хигс;
- Радови представљају револуцију у физици елементарних честица
 - Објашњавају порекло масе
 - Уводе принцип нарушења симетрије у физику честица
 - Предвиђају постојање још једне честице, назване по једном од аутора, Хигсов бозон

Шта су елементарне честице

- Кроз векове, постављано је питање од чега је све направљено, шта су основни делићи - једноставни и без унутрашње структуре
- Демокритос је поставио теорију о недељивој честици
→ атоџов (атомон) - недељив
- Почетком 20. века откривено је да атом има структуру
- Потом се показало да и позитивно језгро има структуру
- И да његови конституенти имају структуру



Шта су елементарне честице

- Елементарне честице су основни делићи материје

Three Generations of Matter (Fermions)

	I	II	III	
mass→	2.4 MeV	1.27 GeV	171.2 GeV	0
charge→	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin→	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
name→	u up	c charm	t top	γ photon
Quarks	4.8 MeV	104 MeV	4.2 GeV	0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	d down	s strange	b bottom	g gluon
Leptons	<2.2 eV	<0.17 MeV	<15.5 MeV	91.2 GeV
	0	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	Z^0 weak force
	0.511 MeV	105.7 MeV	1.777 GeV	80.4 GeV
	-1	-1	-1	± 1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	e electron	μ muon	τ tau	W^\pm weak force

Bosons (Forces)

Основне интеракције

- Постоје четири основне интеракције у природи
 - Гравитациона - њу ћемо оставити по страни
 - Електромагнетна
 - Слаба - одговорна за радиоактивне распадае
 - Јака - одговорна за нуклеарне силе
- Свака интаркција има свог преносиоца - када две честице интерагују, оне уствари размењују трећу, преносиоца интеракције

Основне интракције

- Постоје четири основне интеракције у природи
 - Гравитациона - њу ћемо оставити по страни → **гравитон**
 - Електромагнетна → **фотон**
 - Слаба - одговорна за радиоактивне распаде → **W, Z бозон**
 - Јака - одговорна за нуклеарне силе → **глуон**
- Свака интаркција има свог преносиоца - када две честице интерагују, оне уствари размењују трећу, преносиоца интеракције

	Gravity	Weak (Electroweak)	Electromagnetic	Strong
Carried By	Graviton <small>(not yet observed)</small>	W^+ W^- Z^0	Photon	Gluon
Acts on	All	Quarks and Leptons	Quarks and Charged Leptons and W^+ W^-	Quarks and Gluons

Основне интеракције и симетрије

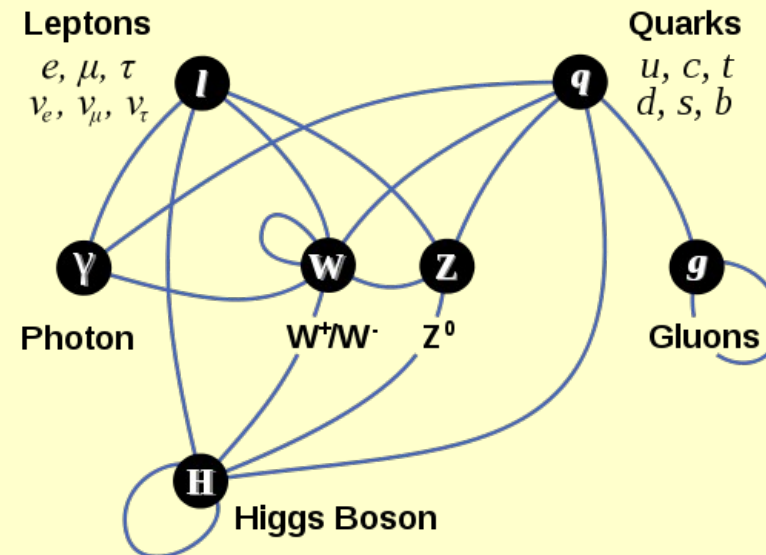
- Постоје четири основне интеракције у природи
 - Гравитациона - њу ћемо оставити по страни
 - Електромагнетна → фотон, $U(1)$
 - Слаба - одговорна за радиоактивне распаде → W, Z бозон, $SU(2)$
 - Јака - одговорна за нуклеарне силе → глюон, $SU(3)$
- Свака интаркција има своју симетрију

Шта су елементарне честице

- Елементарне честице су основни делићи материје
- И преносиоци интеракција
- И Хигсов бозон

Three Generations of Matter (Fermions)

	I	II	III	
mass→	2.4 MeV	1.27 GeV	171.2 GeV	0
charge→	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin→	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
name→	u up	c charm	t top	γ photon
	4.8 MeV	104 MeV	4.2 GeV	0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
Quarks	d down	s strange	b bottom	g gluon
	<2.2 eV	<0.17 MeV	<15.5 MeV	91.2 GeV
	0	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	Z^0 weak force
	0.511 MeV	105.7 MeV	1.777 GeV	80.4 GeV
	-1	-1	-1	± 1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
Leptons	e electron	μ muon	τ tau	W^\pm weak force



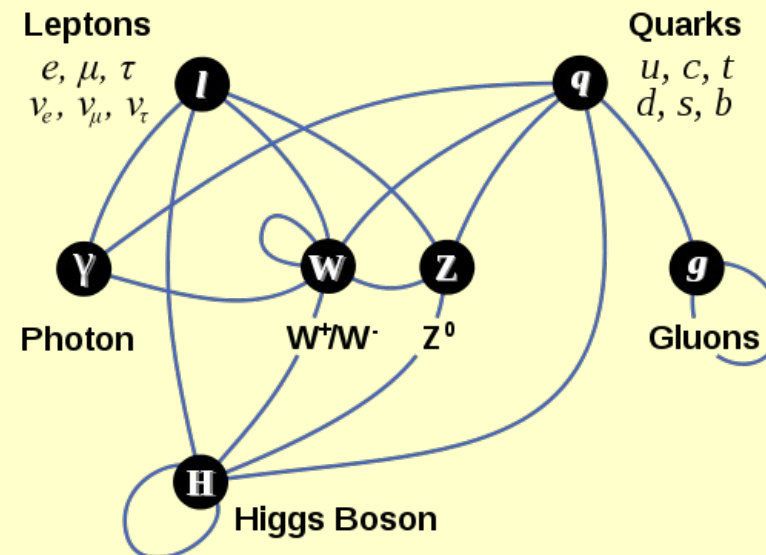
Стандардни модел

- Састоји се од честица материје, интеракција и Хигсовог механизма
- Симетрија стандардног модела је $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$

Three Generations of Matter (Fermions)

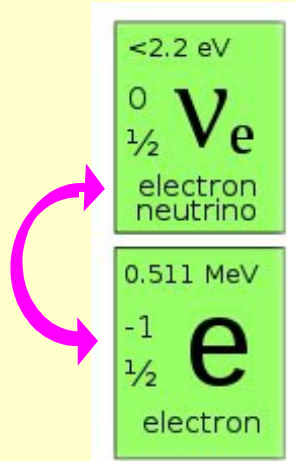
	I	II	III	
mass→	2.4 MeV	1.27 GeV	171.2 GeV	0
charge→	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin→	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
name→	u up	c charm	t top	γ photon
	4.8 MeV	104 MeV	4.2 GeV	0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
Quarks	d down	s strange	b bottom	g gluon
	<2.2 eV	<0.17 MeV	<15.5 MeV	91.2 GeV
	0	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	Z^0 weak force
	0.511 MeV	105.7 MeV	1.777 GeV	80.4 GeV
	-1	-1	-1	± 1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
Leptons	e electron	μ muon	τ tau	W^\pm weak force

Bosons (Forces)



Спонтано нарушење симетрије

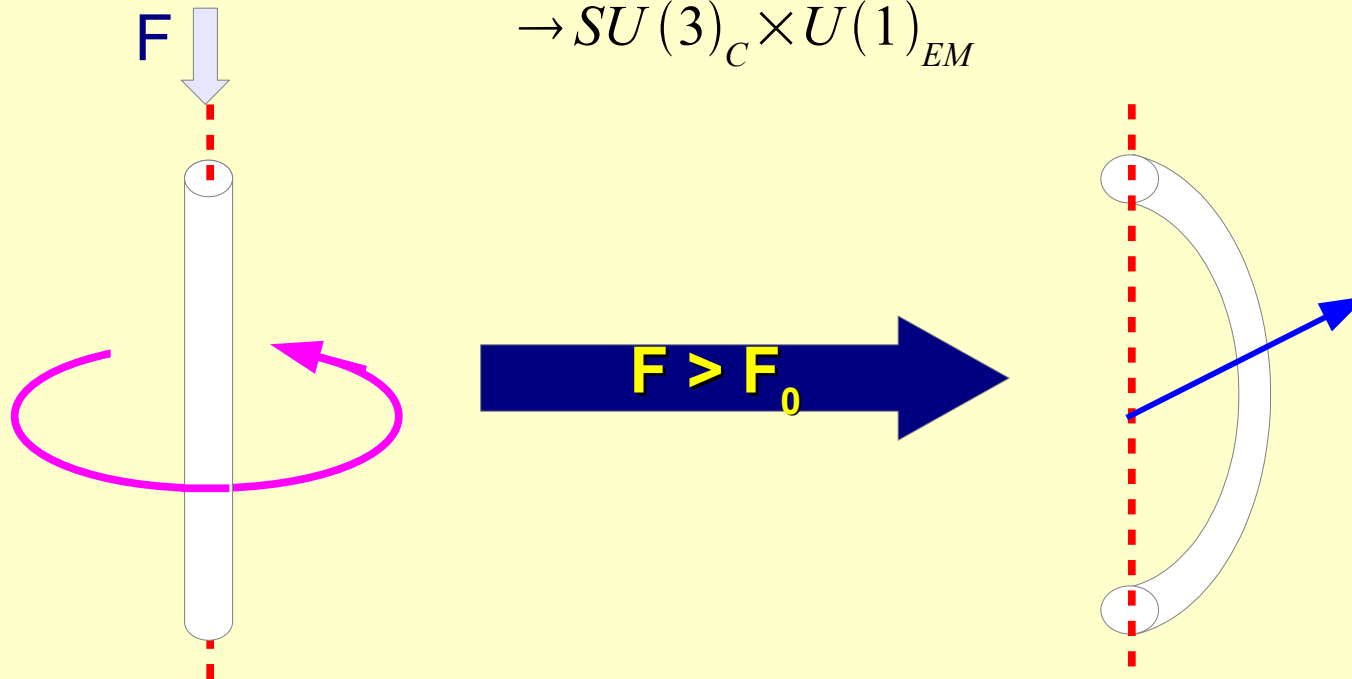
$SU(2)$



- Уколико важи симетрија, ни фермиони, који су честице материје, ни бозони, преносиоци интеракција, не би имали масу
=> симетрија је нарушена

$$G_{SM} = SU(3)_C \times SU(2)_L \times U(1)_Y$$

$$\rightarrow SU(3)_C \times U(1)_{EM}$$



Хигсов механизам

- У стандардни модел уведено је комплексно скаларно поље
 - нарушило је почетну симетрију
 - генерисало масе честица
 - појавила се нова честица - Хигсов бозон



Ненарушена симетрија

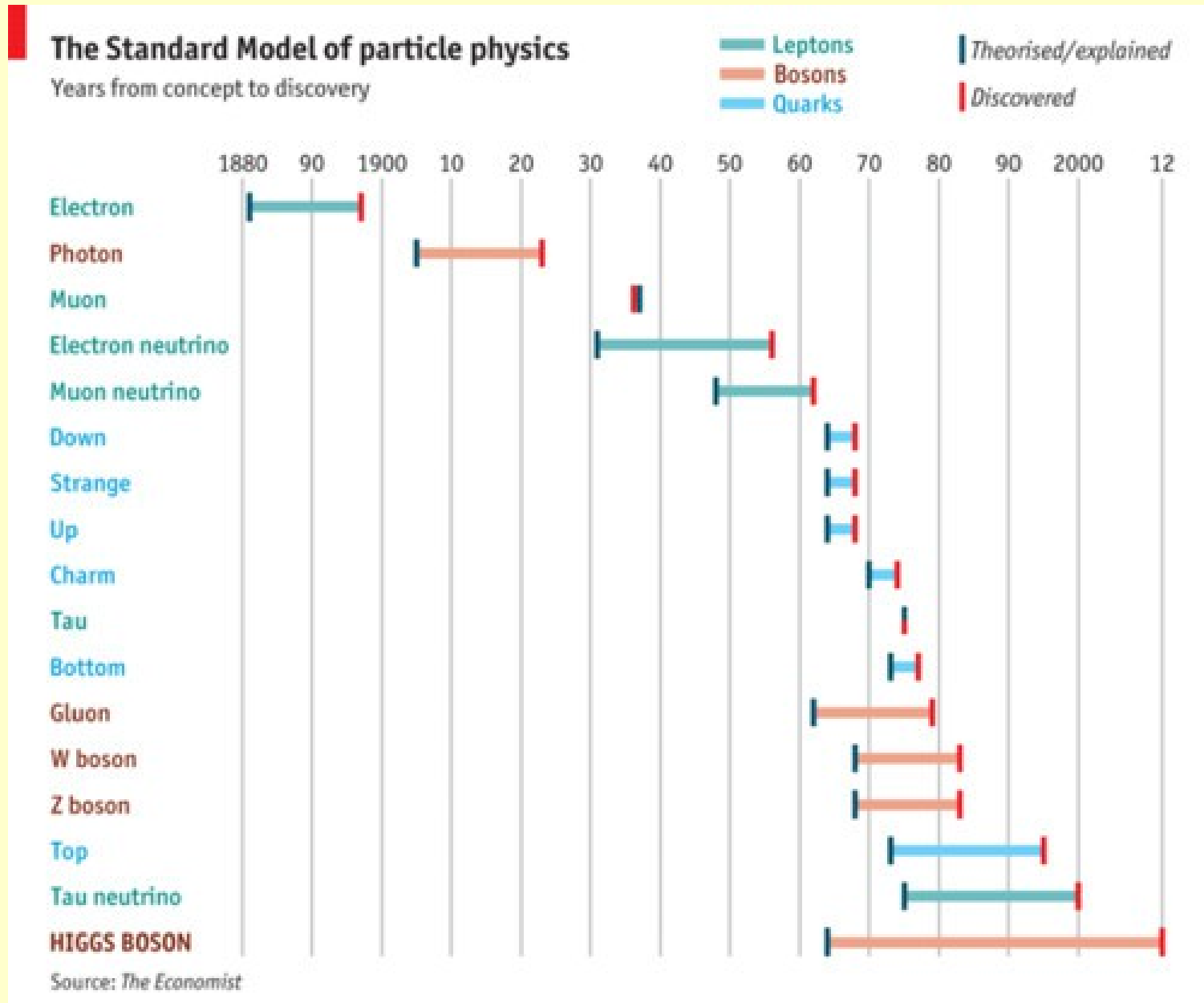


Улази ВИП, народ се окупља, ВИП добија "масу"
⇒ маса честица



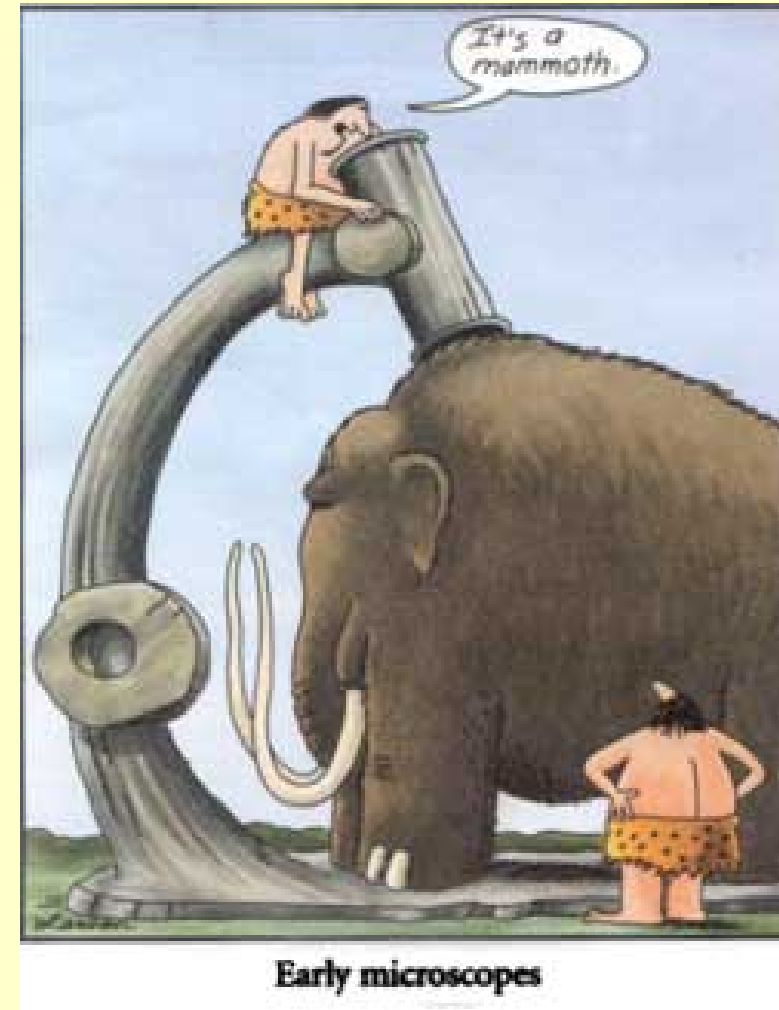
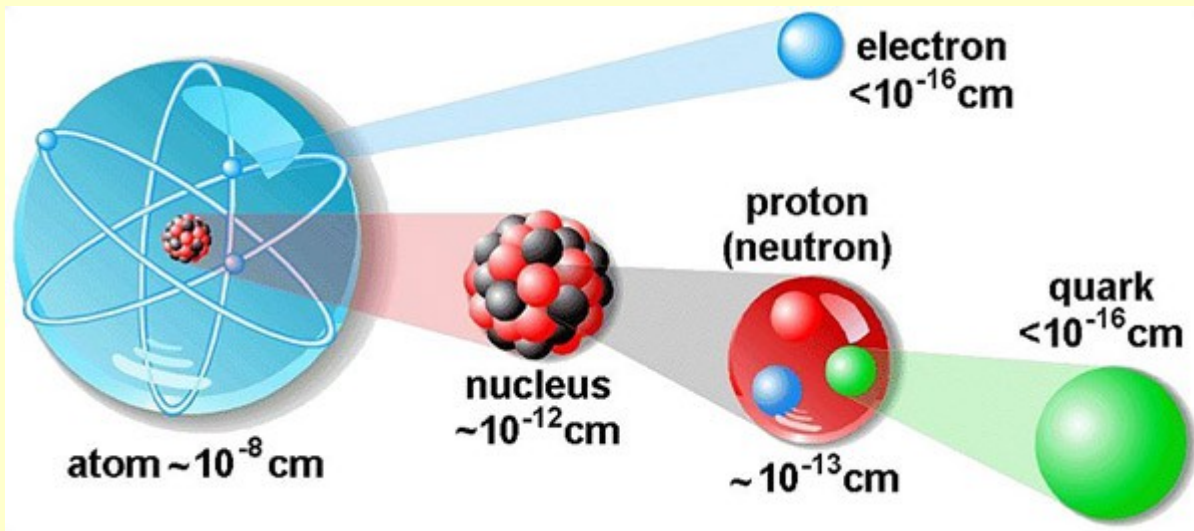
Гласине о ВИПу се шире
⇒ маса Хигса

Откриће - 48 година касније



Како се детектују честице

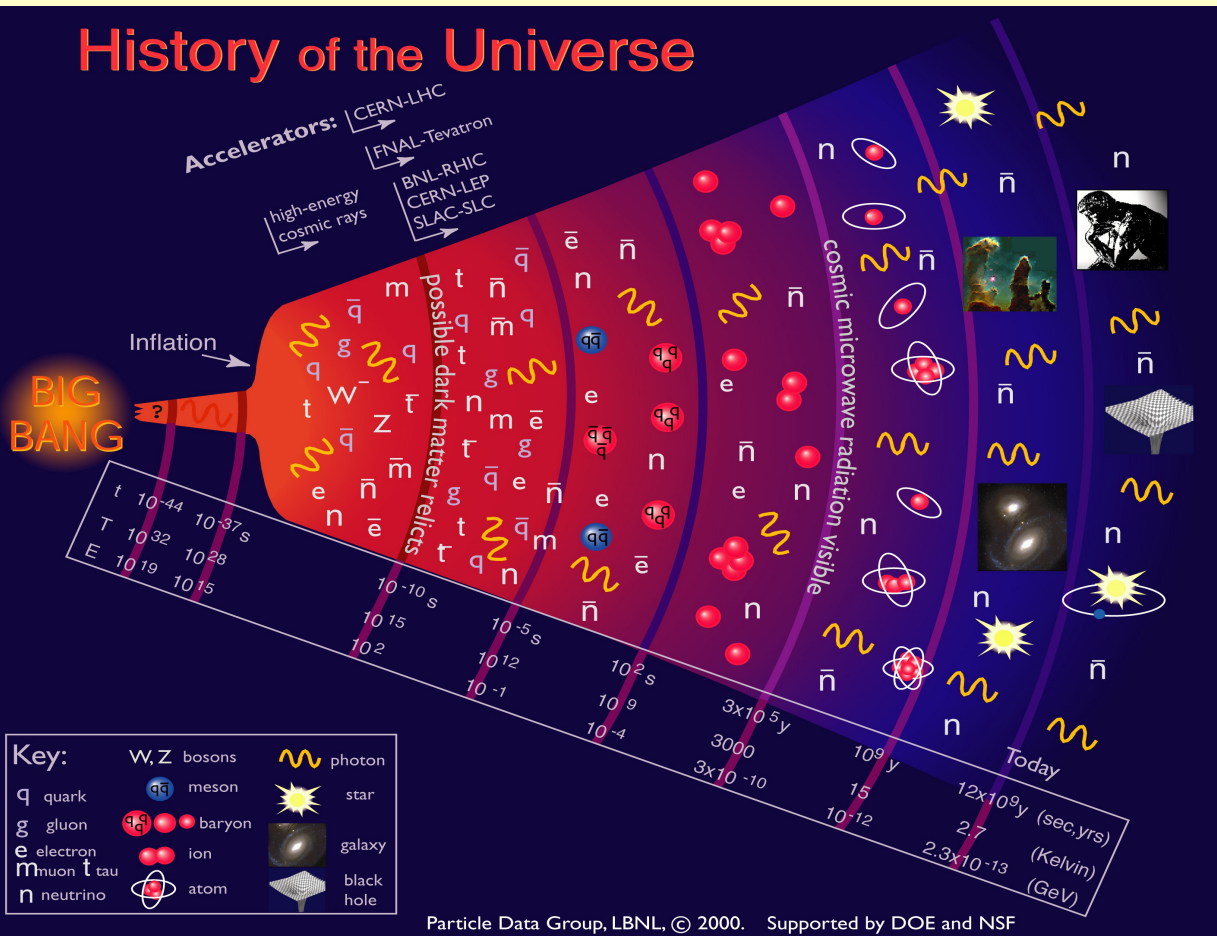
- Димензије честица су мале



Како се детектују честице

- Масе честица могу бити велике у поређењу са масом протона или електрона
 $m_W \sim 80 \text{ GeV}$, $m_Z \sim 91 \text{ GeV}$, $m_t \sim 175 \text{ GeV}$, $m_{\text{Higgs}} \sim 125 \text{ GeV}$
- Потребна је велика енергија

History of the Universe



Particle Data Group, LBNL, © 2000. Supported by DOE and NSF

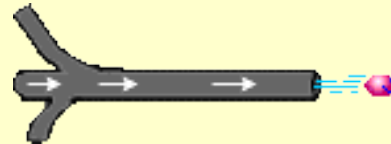
Three Generations of Matter (Fermions)

	I	II	III	
mass →	2.4 MeV	1.27 GeV	171.2 GeV	0
charge →	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin →	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
name →	u up	c charm	t top	γ photon
Quarks	4.8 MeV $-\frac{1}{3}$	104 MeV $-\frac{1}{3}$	4.2 GeV $-\frac{1}{3}$	0
	d down	s strange	b bottom	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
Leptons	<2.2 eV 0	<0.17 MeV 0	<15.5 MeV 0	91.2 GeV 0
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	Z⁰ weak force
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
Bosons (Forces)	0.511 MeV -1	105.7 MeV -1	1.777 GeV -1	80.4 GeV ± 1
	e electron	μ muon	τ tau	W[±] weak force
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1

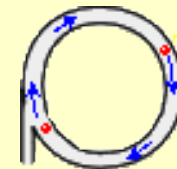
Акцелератори

- Акцелератори су машине за убрзавање честица

- Линеарни - користе електрично поље за убрзавање наелектрисаних честица

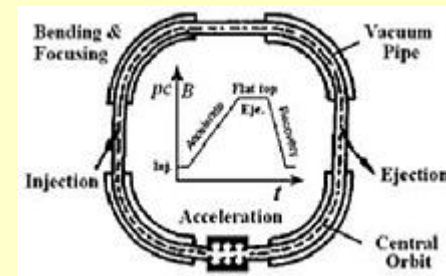


- Кружни - користе електрично поље за убрзавање наелектрисаних честица и магнетно поље за њихово скретање

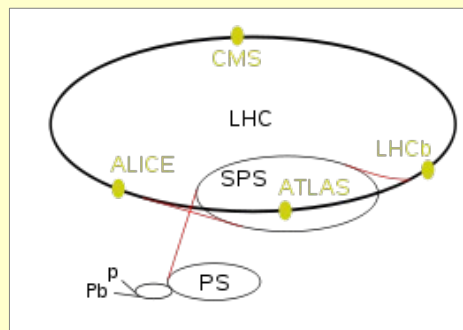


I think I'm getting sick...

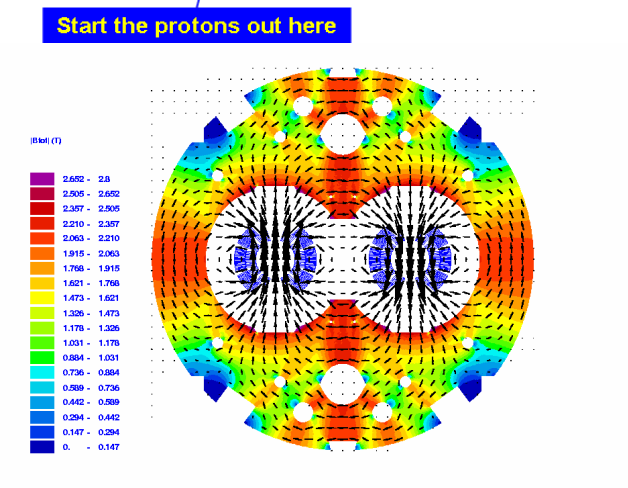
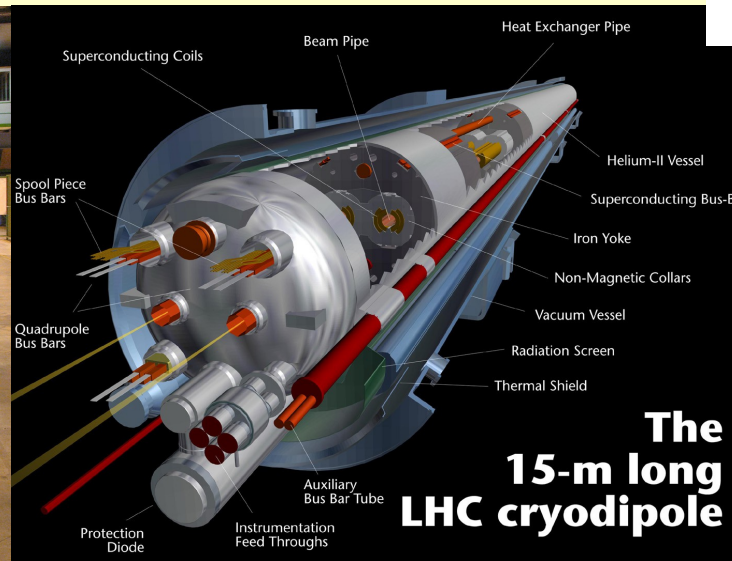
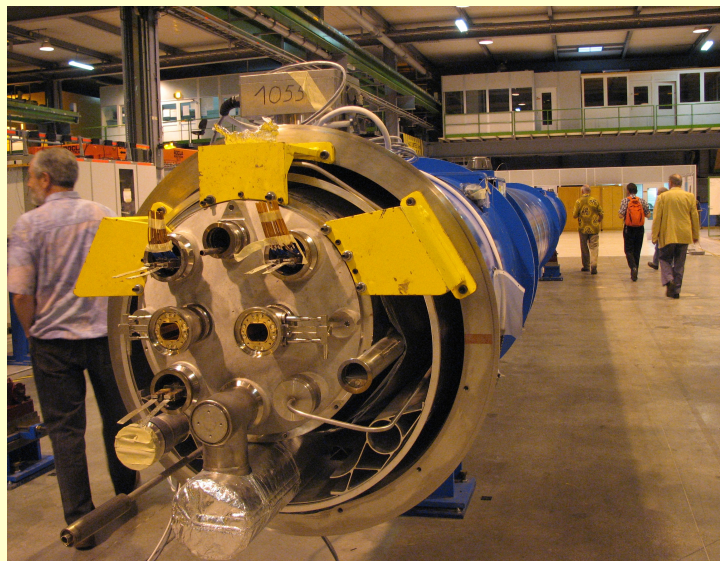
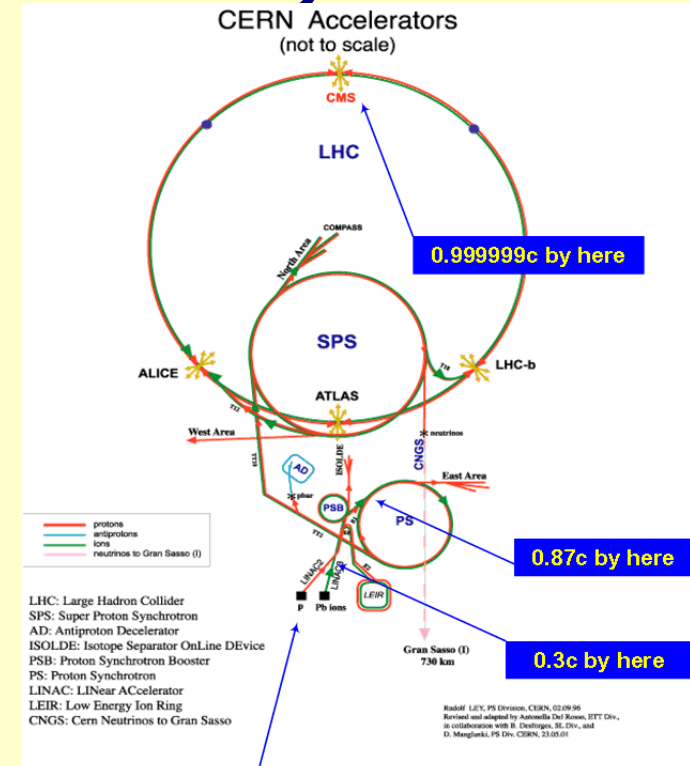
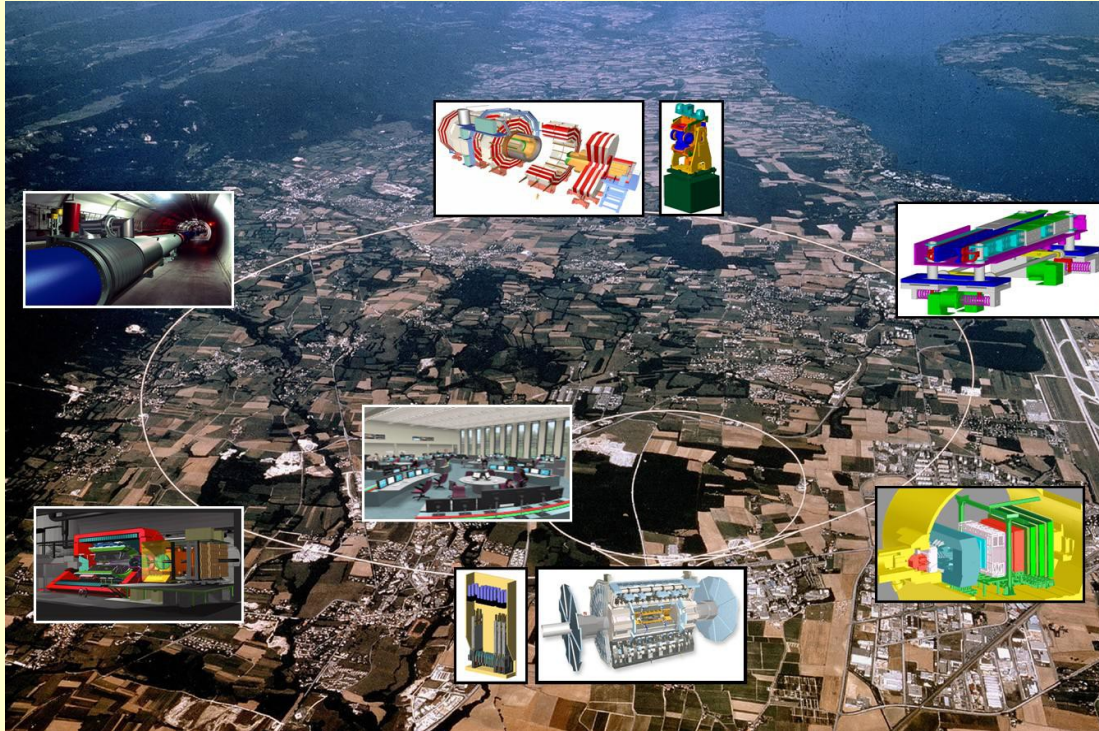
- Синхротрони имају највећу примену



- Модерне машине су комбинација више технологија

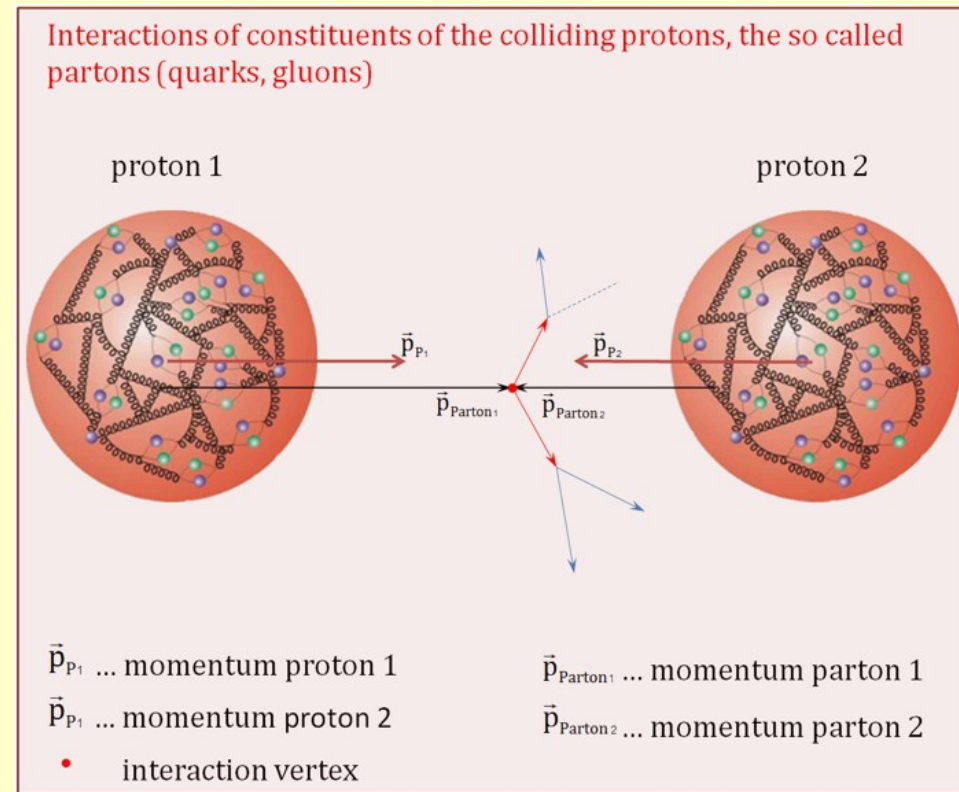
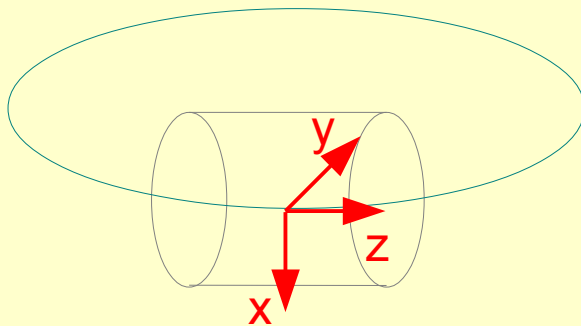


Велики хадронски сударач (Large Hadron Collider - LHC)



Хадронски колајдери и детекција честица

- У судару учествују сложене честице
- Само један део, тзв. партон, учествује у примарној интеракцији
- Не знамо тачно који део енергије носи партон
=> Закон одржања енергије можемо да применимо само у трансверзалној равни



$$(p_T, \theta, \phi) \rightarrow (p_T, \eta, \phi)$$

$$p_T = \sqrt{p_x^2 + p_y^2}$$

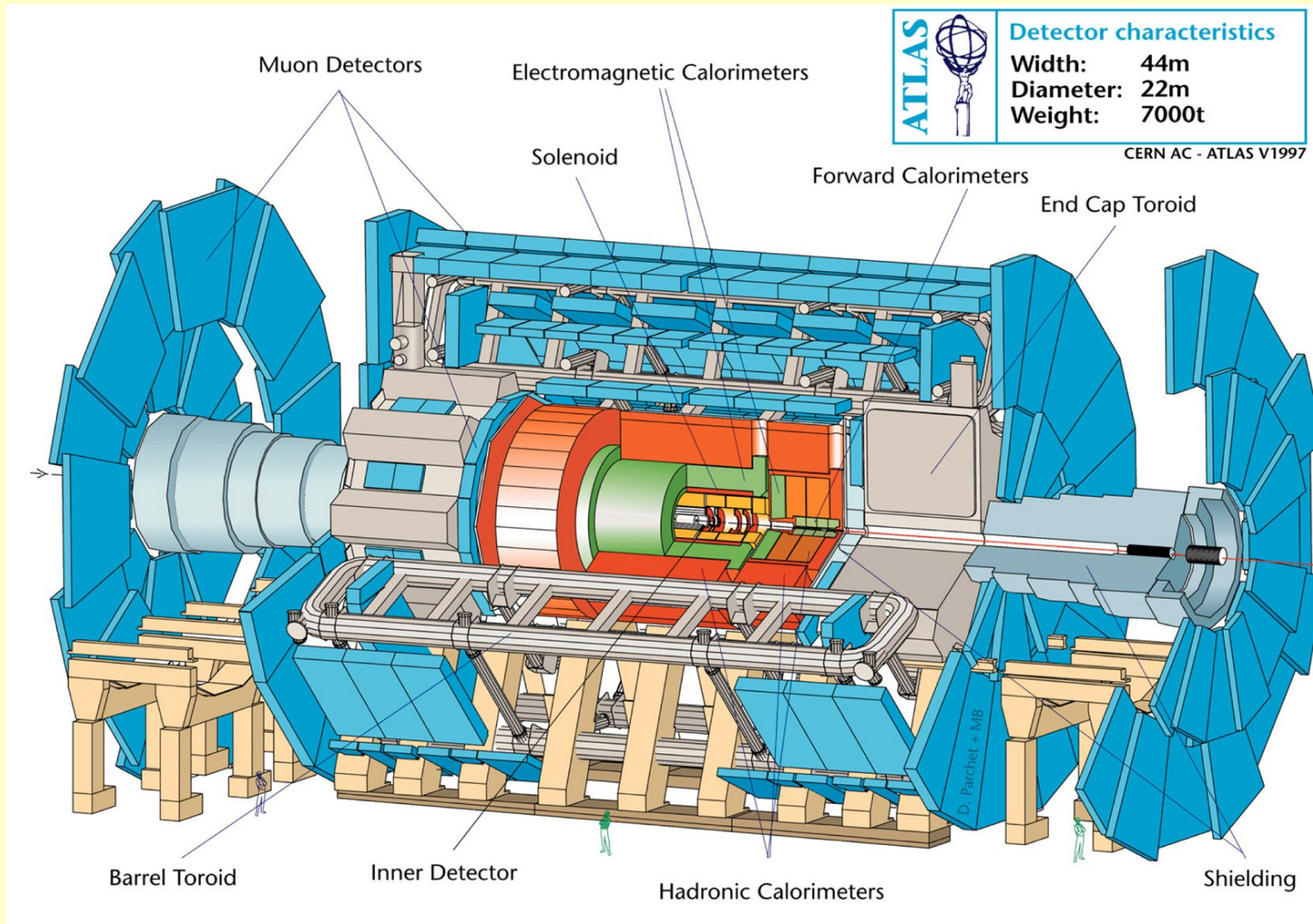
$$\eta = -\ln \left[\tan \left(\frac{\theta}{2} \right) \right]$$

Хадронски колајдери и детекција честица

- Укупан број честица (N) = пресек (σ) * луминозност (\mathcal{L})
- Пресек - извесност за интеракцију две честице
 - Има димензије површине, користи се јединица барн ($1 \text{ b} = 10^{-24} \text{ cm}^2$)
- Луминозност је мера броја судара у јединици времена по јединици површине
 - Дизајнирана луминозност Великог Хадронског Сударача је $10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ - може се десити 10^{34} судара у секунди на површини од једног квадратног центиметра
- Користе се природне јединице ($c=1$), тако да се енергија, маса и импулс изражавају у гига-електрон-волтима (GeV)

Детектори

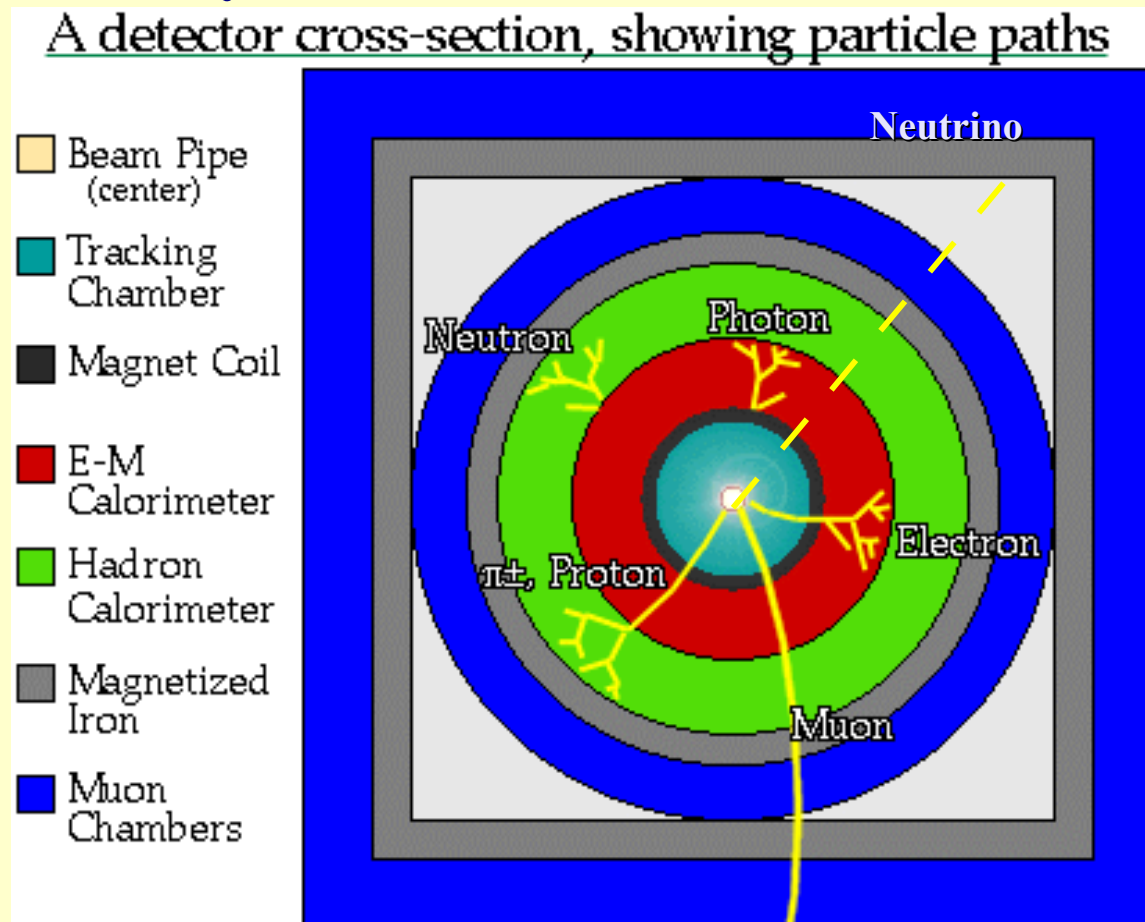
- Модерни детектори су комплексне машине



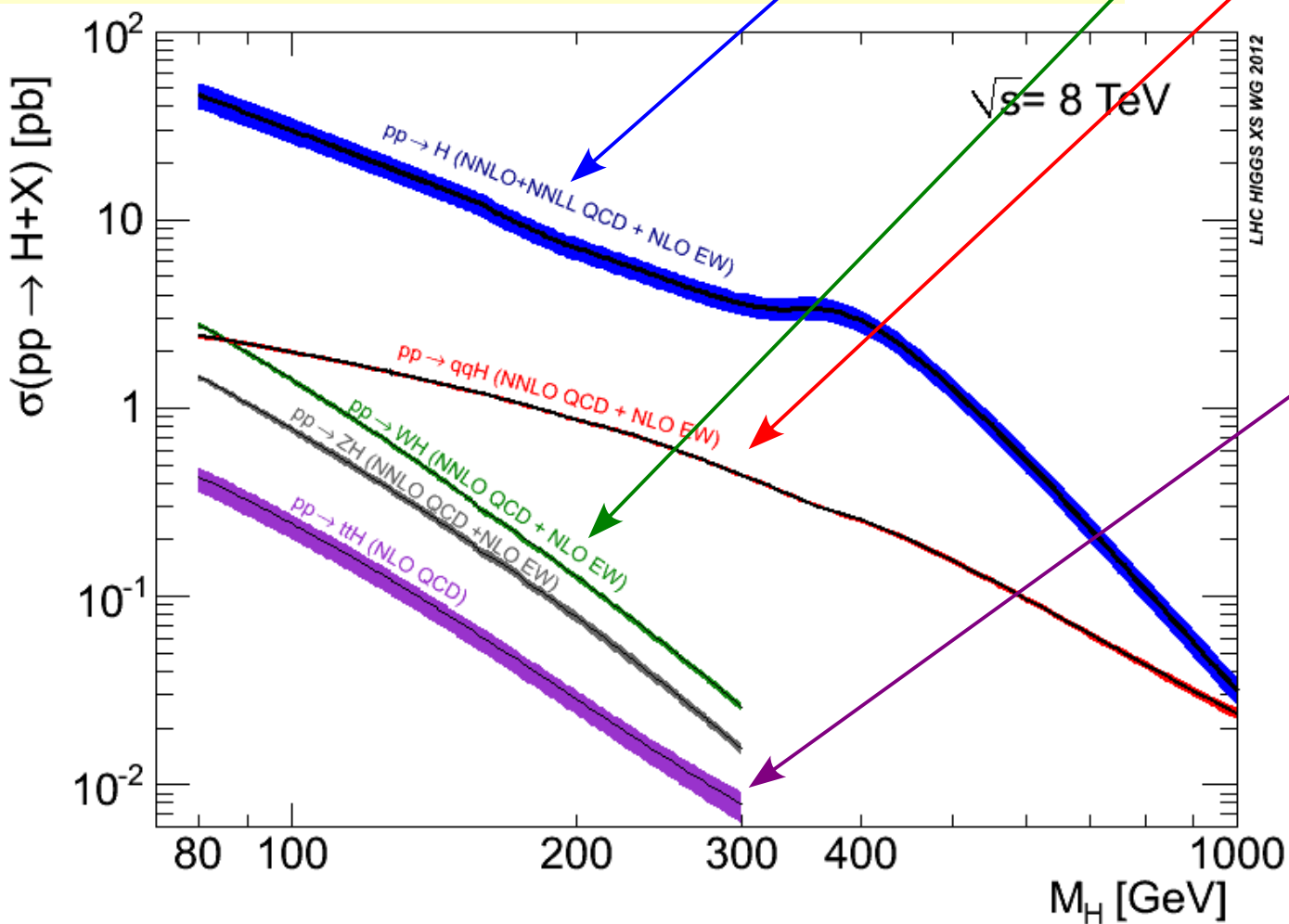
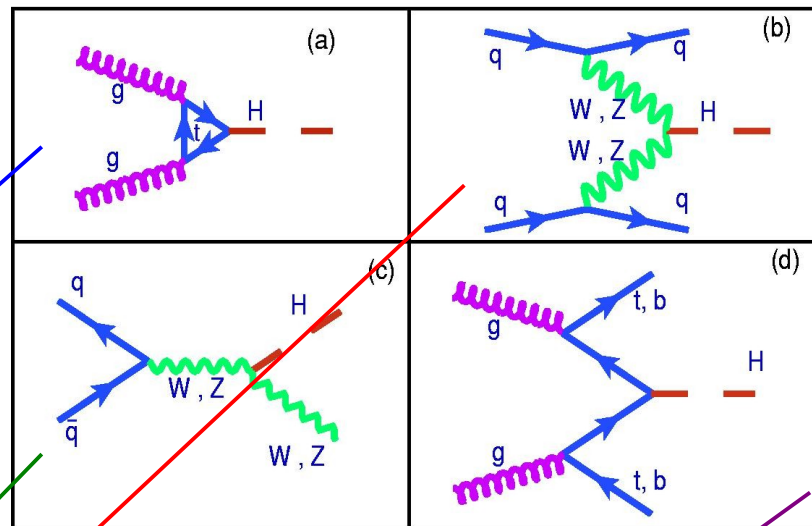
ATLAS
A Toroidal
LHC
Apparatus

Детектори

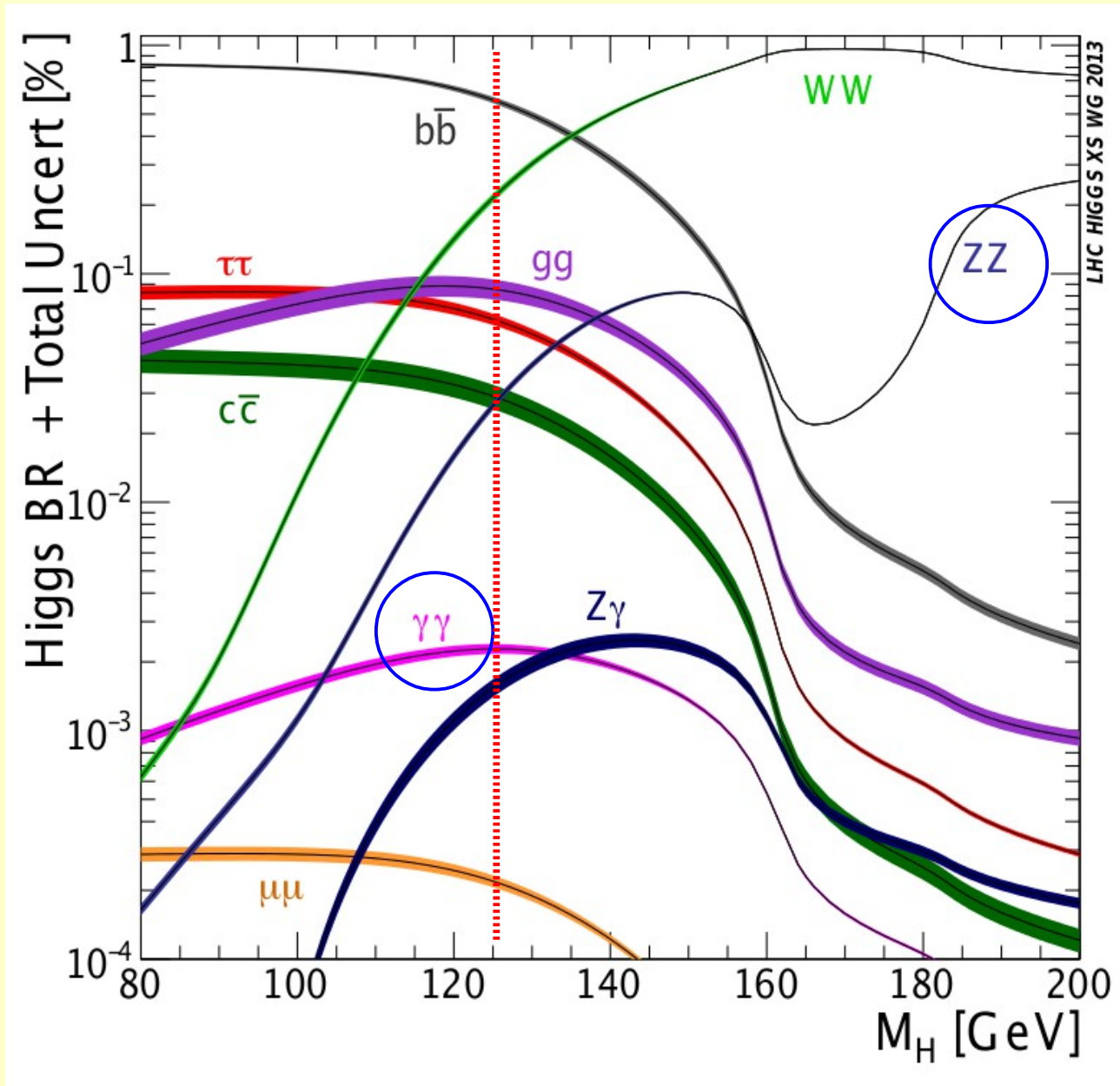
- Модерни детектори су комплексне машине
- На основу изгледа сигнала у детектору, идентификујемо честице и догађаје



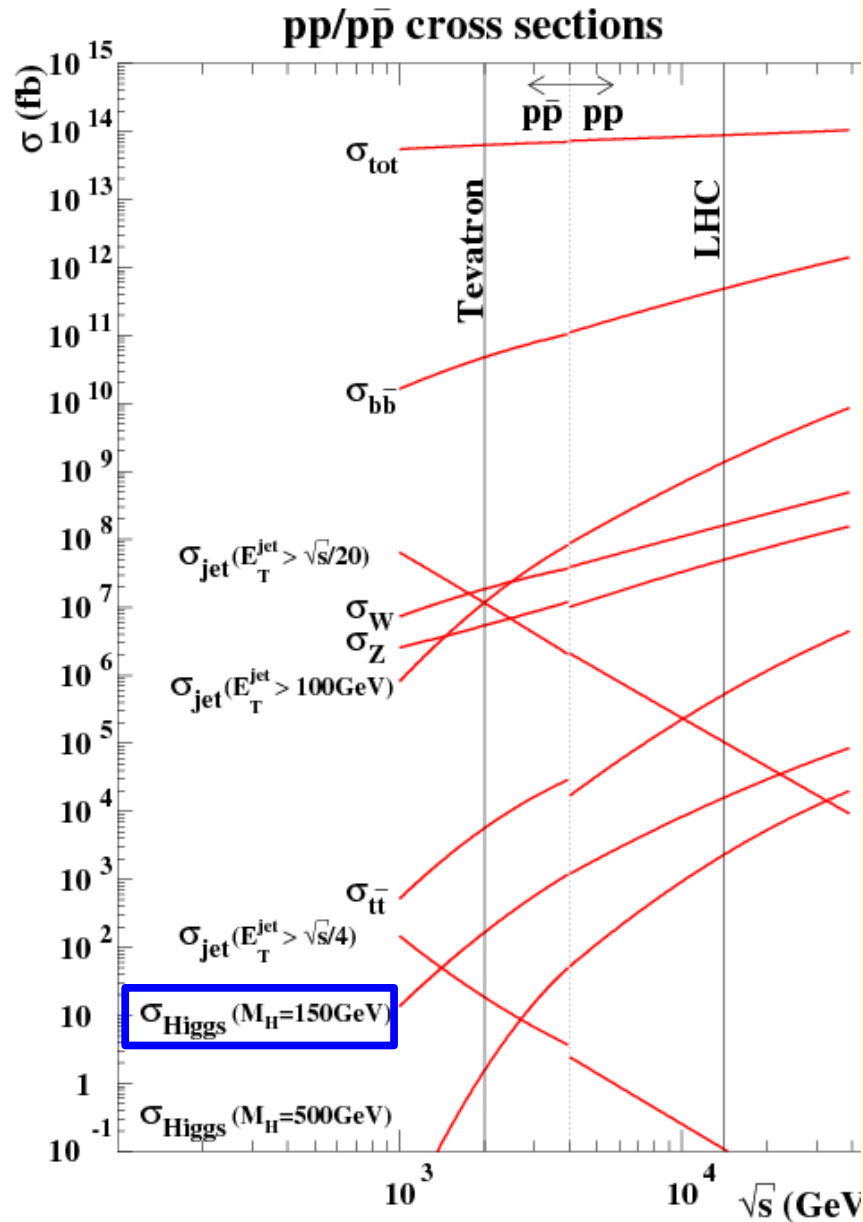
Продукција ...



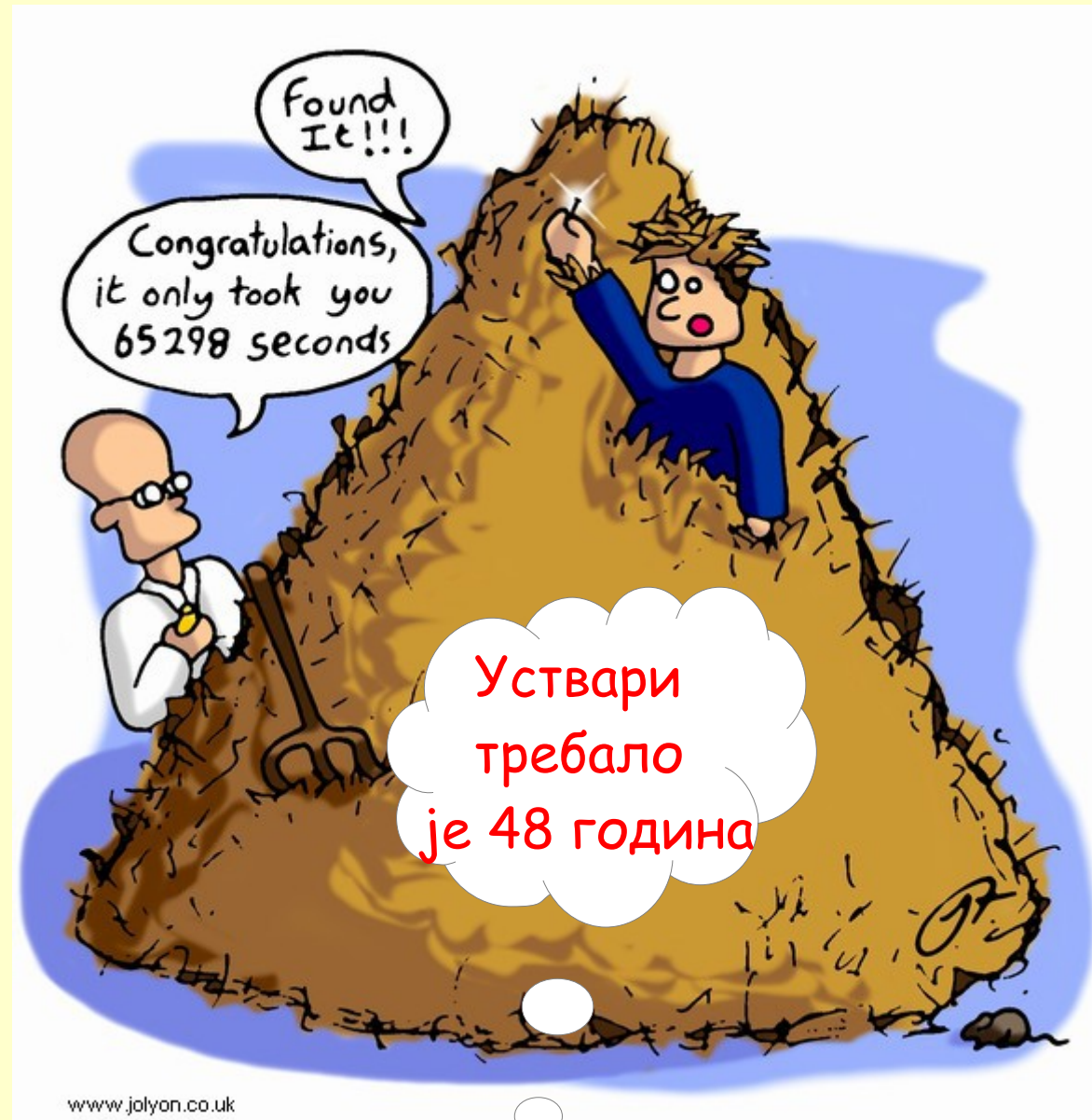
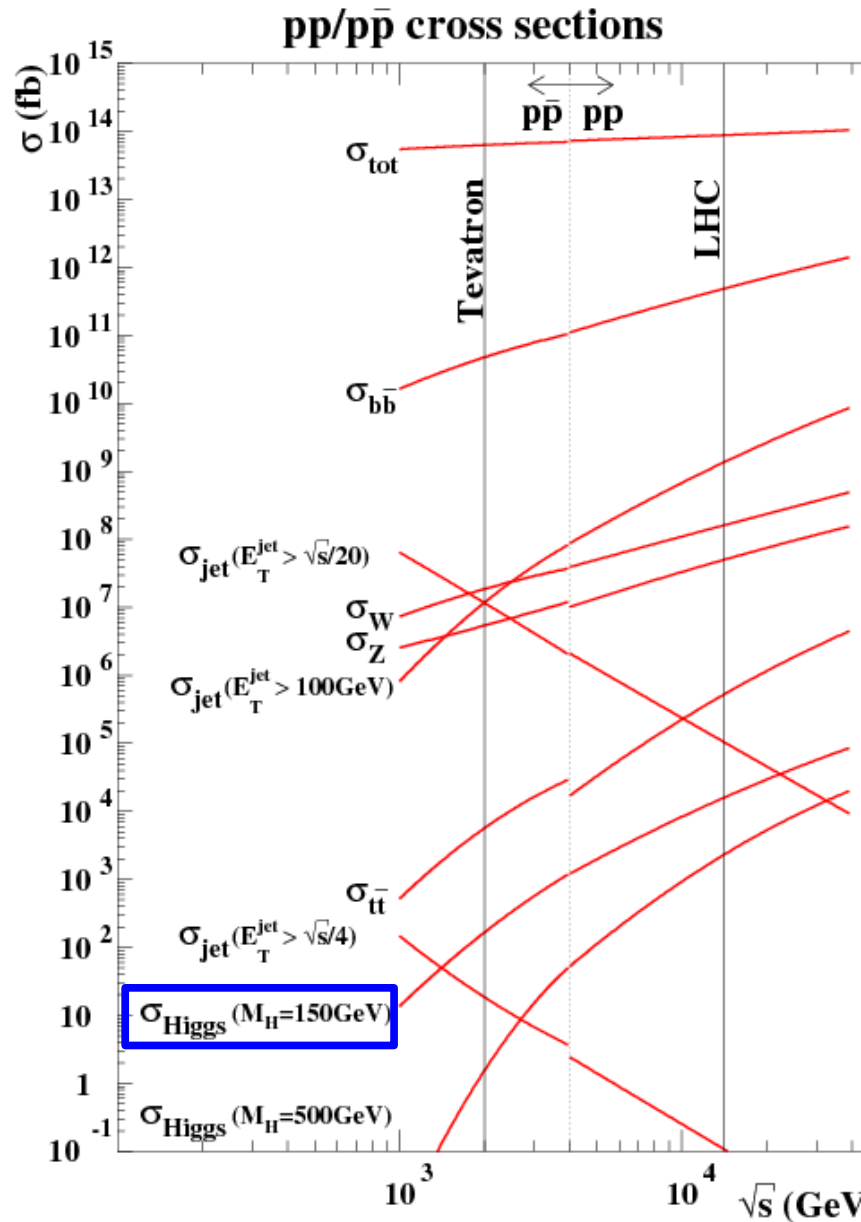
.. и распад Хиггсово бозона



Како тражимо интресантне догађаје



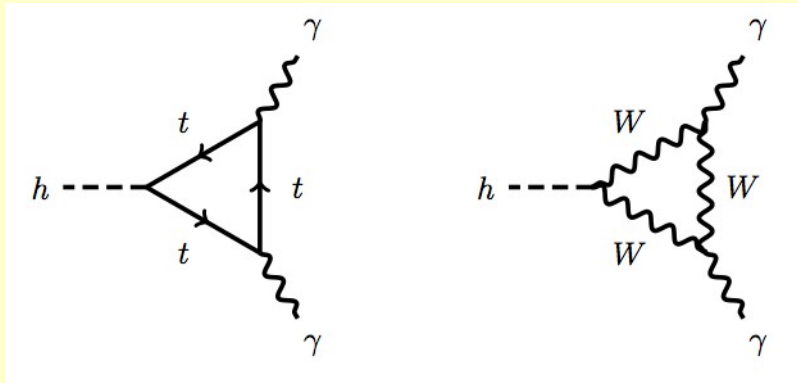
Како тражимо интресантне догађаје



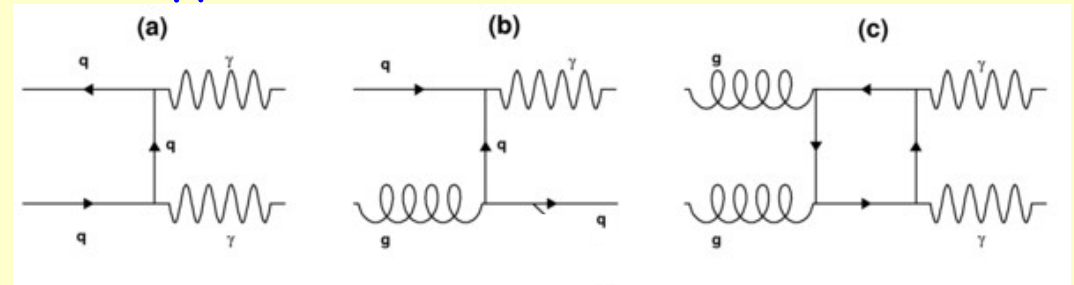
Сигнални и позадински процеси

- **Сигнал** је процес који нас занима, који желимо да видимо, нађемо и меримо
- **Позадински процес** је процес који се у детектору види исто као сигнал
 - Или има исте честице у финалном стању
 - Или неке честице погрешно идентификујемо
- **Позадина** обично има пресек који је већи неколико пута

Сигнал $H \rightarrow \gamma\gamma$



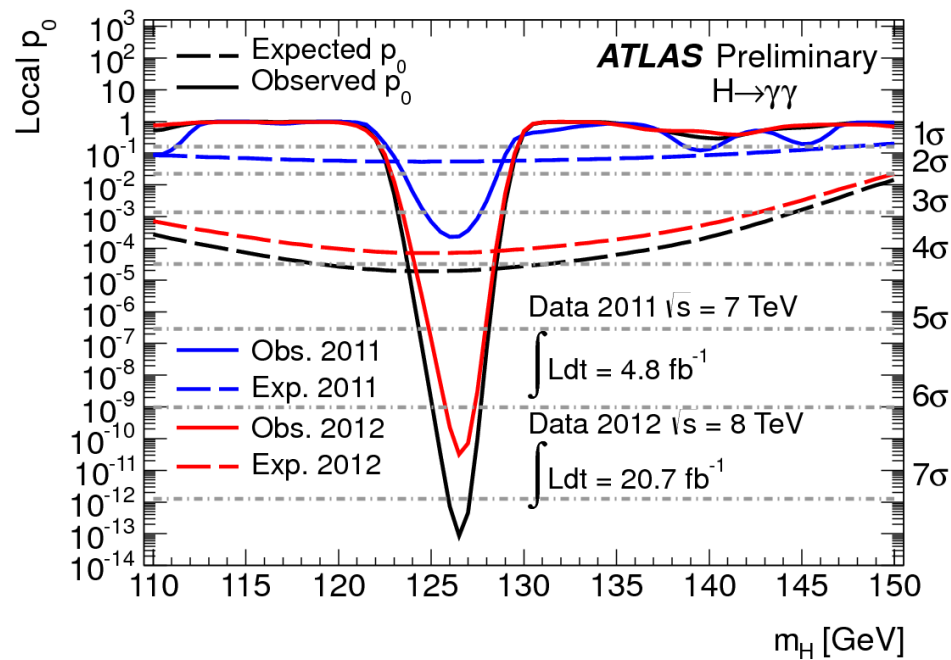
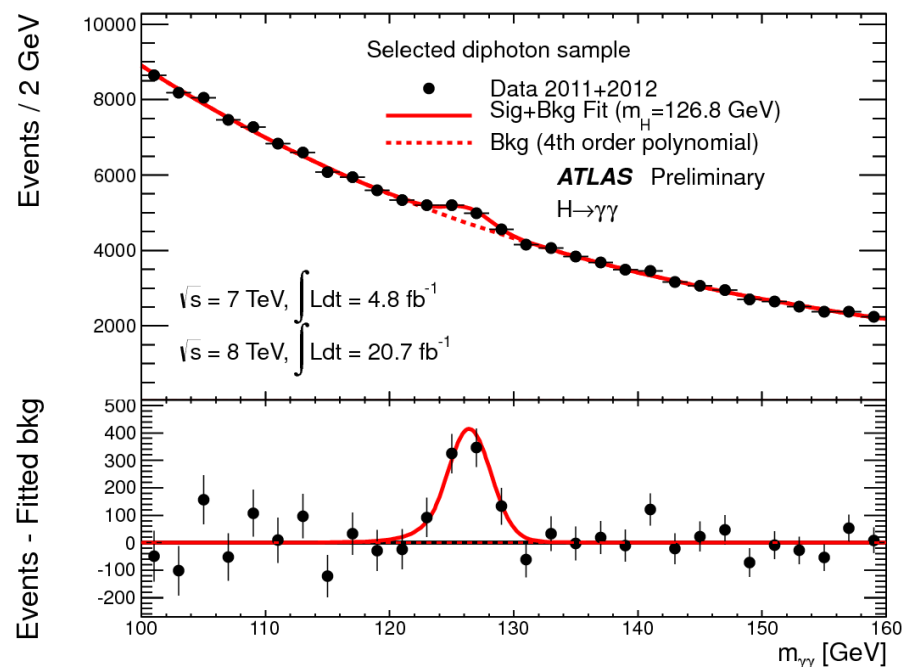
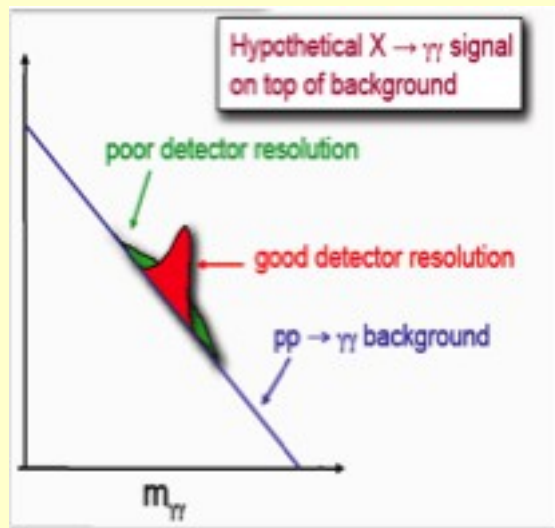
Позадина



H → γγ

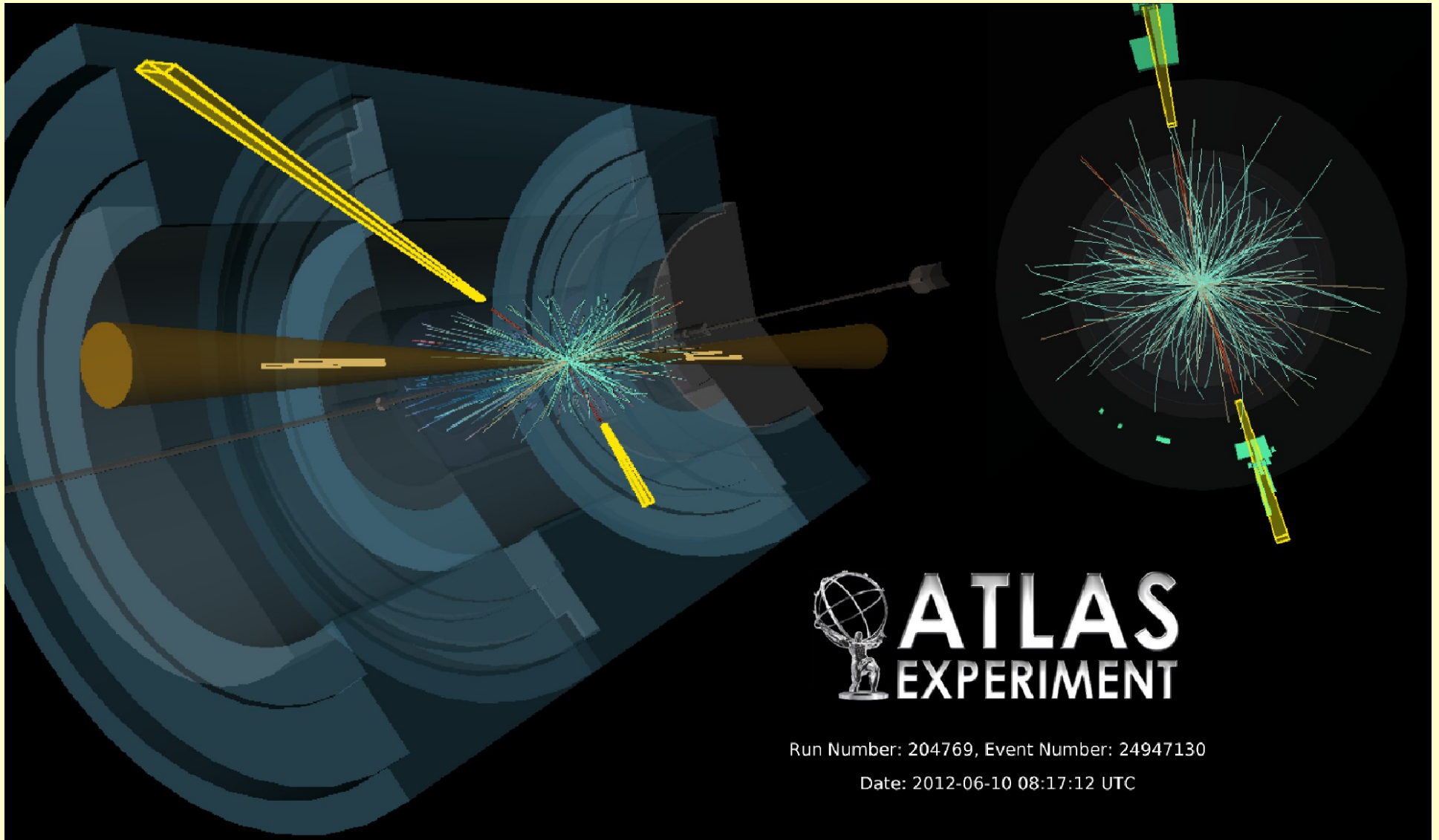
- Сигнал карактеришу два добро дефинисана фотона која долазе од резонантне честице
- Може да се реконструише маса резонантне честице
- Позадина има опадајући спектар масе два фотона

$$m_{\gamma\gamma}^2 = 2 E_{\gamma 1} E_{\gamma 2} (1 - \cos\theta)$$



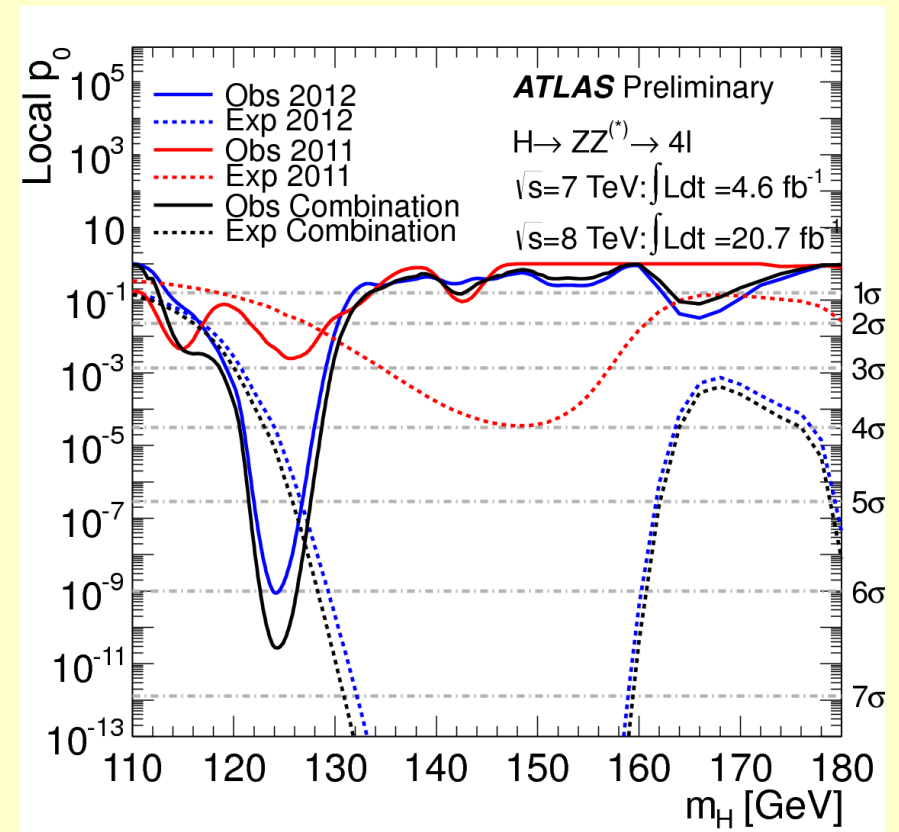
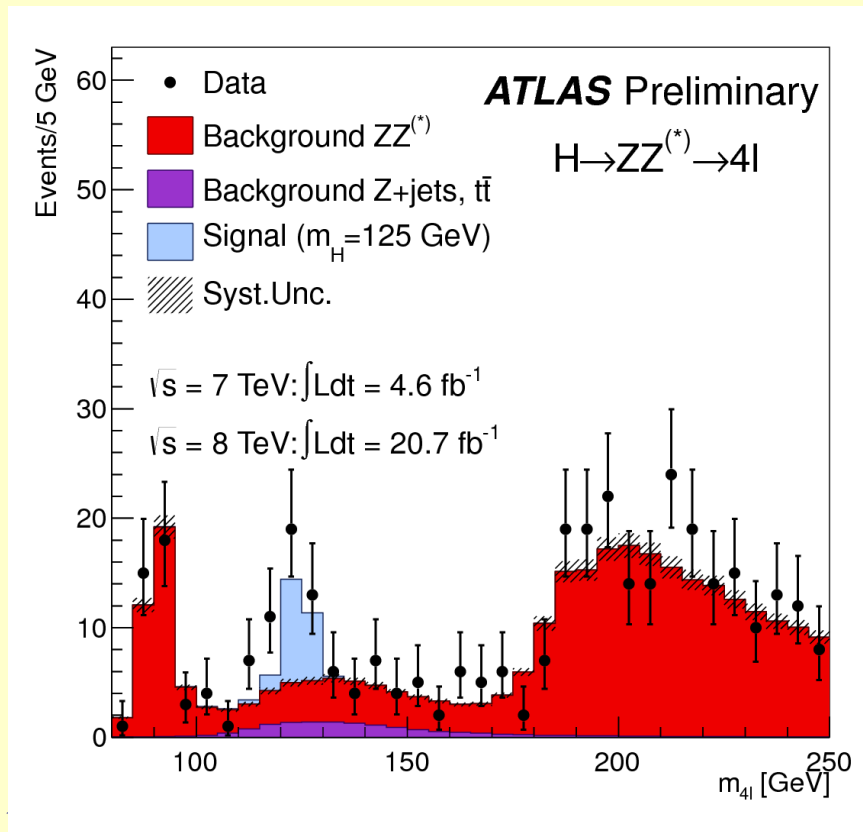
$$H \rightarrow \gamma\gamma$$

- Стварни догађај са VBF продукцијом и распадом на два фотона



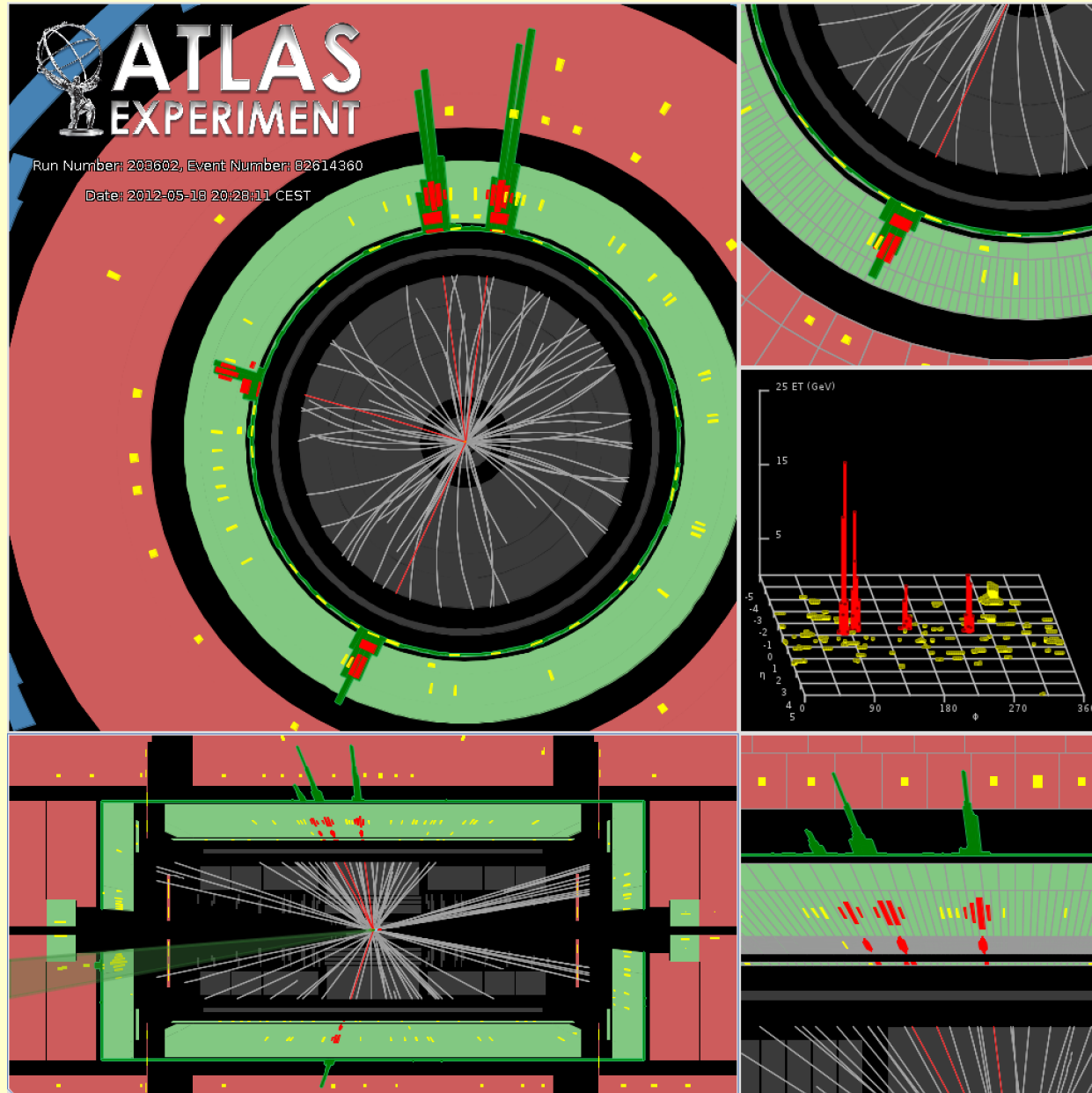
$H \rightarrow ZZ$

- Z бозон није стабилан, поред осталог, распада се на два електрона или два миона
 - Финално стање садржи $4e$, 4μ , или $2e2\mu$
 - Веома је јасно и лако се разликује од позадинских процеса
 - Практично се захтева 4 лептона



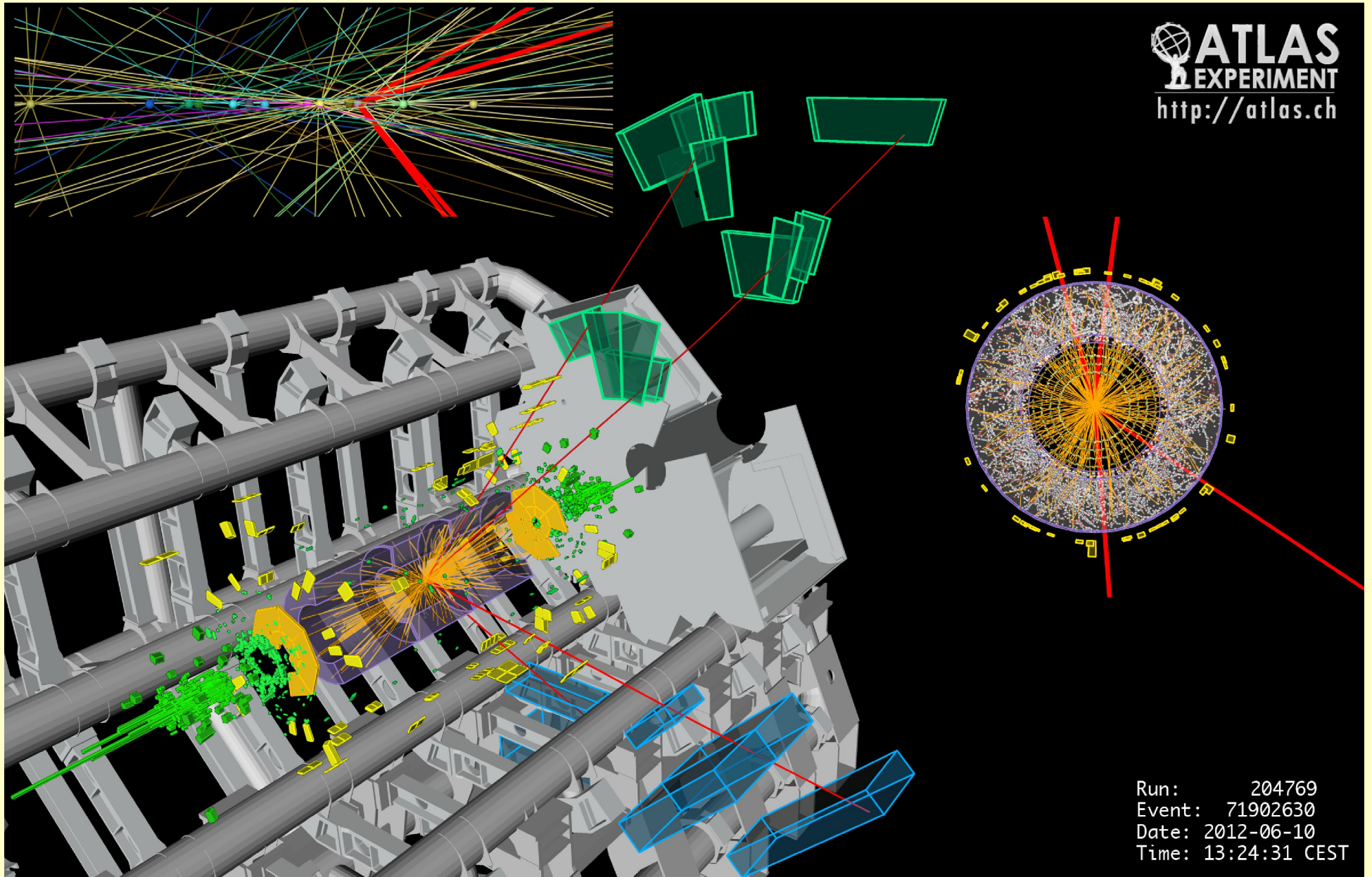
$$H \rightarrow ZZ$$

- Стварни догађај са GGF продукцијом и распадом на 4 електрона



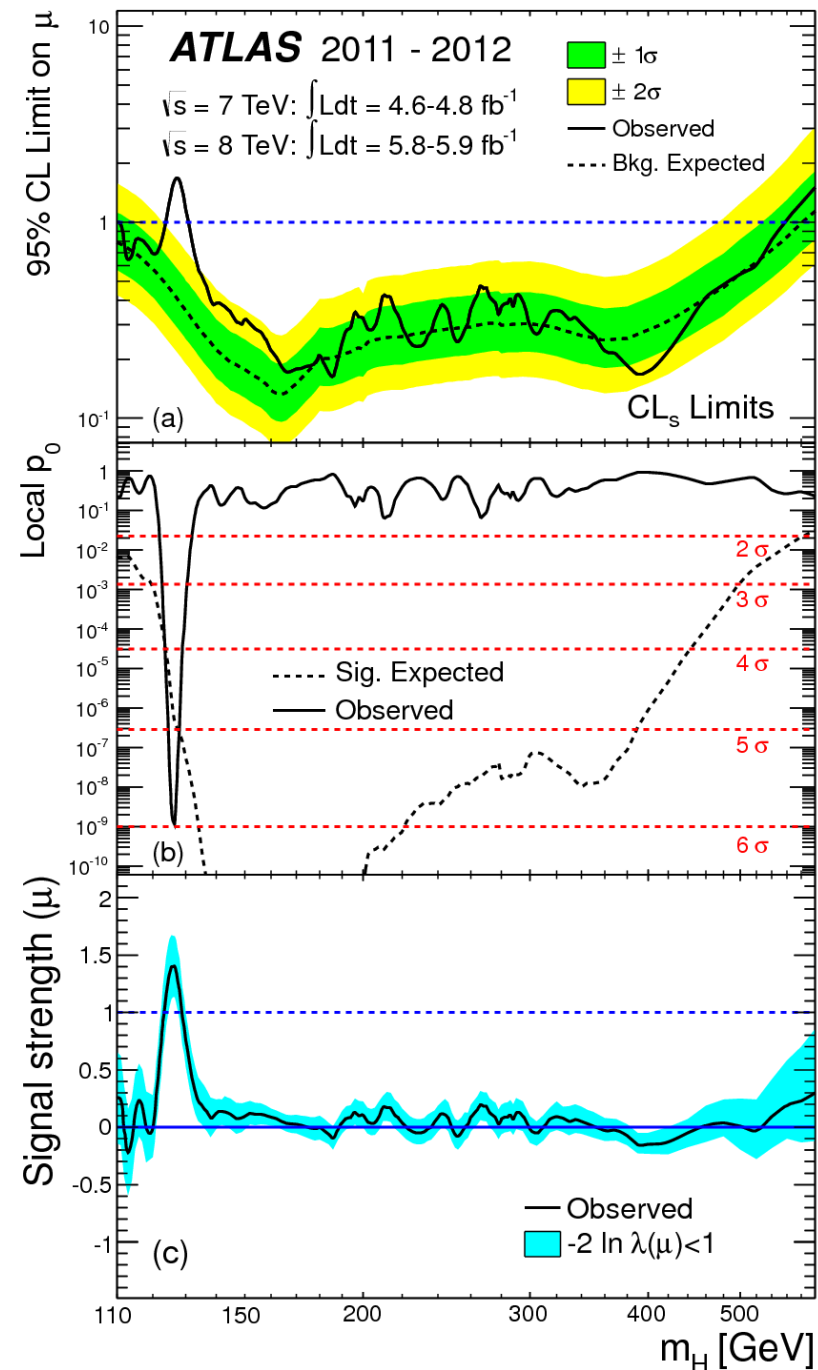
$$H \rightarrow ZZ$$

- Стварни догађај са *GGF* продукцијом и распадом на 4 миона



Откриће!

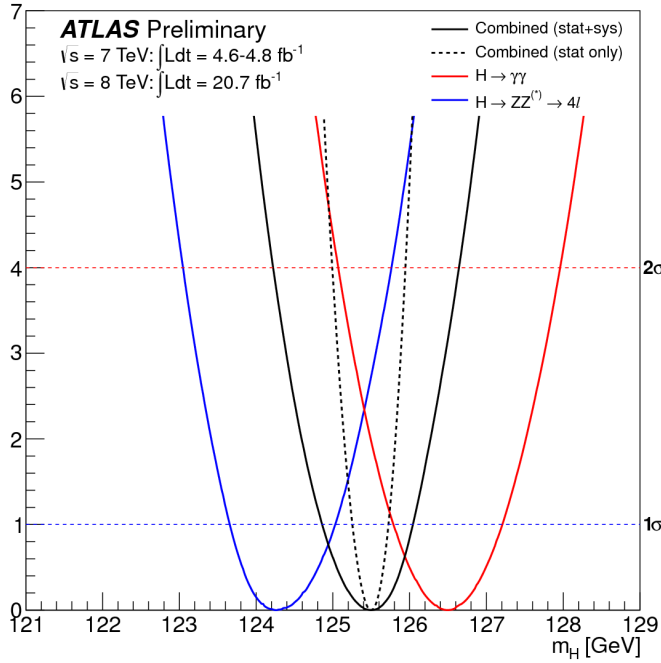
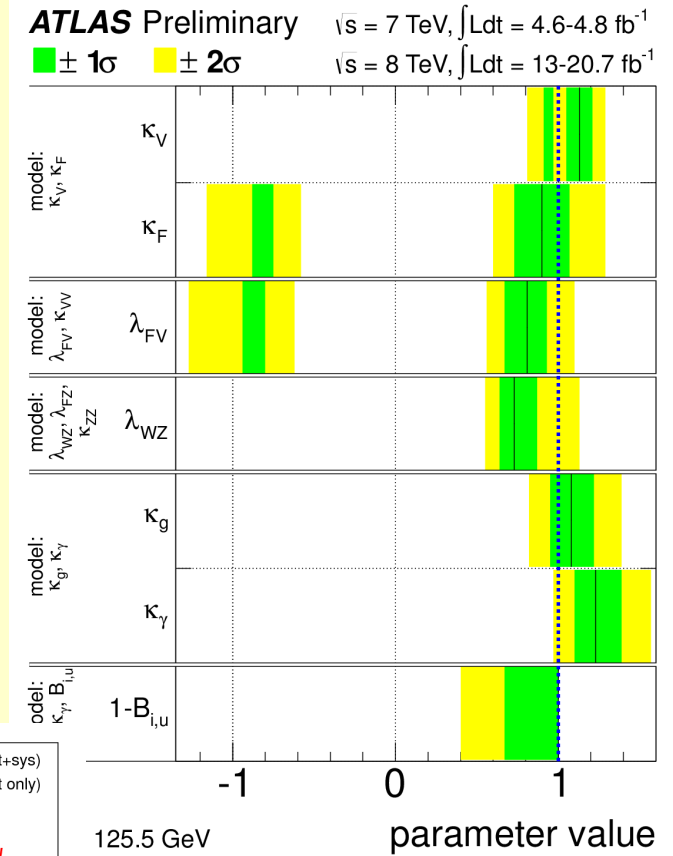
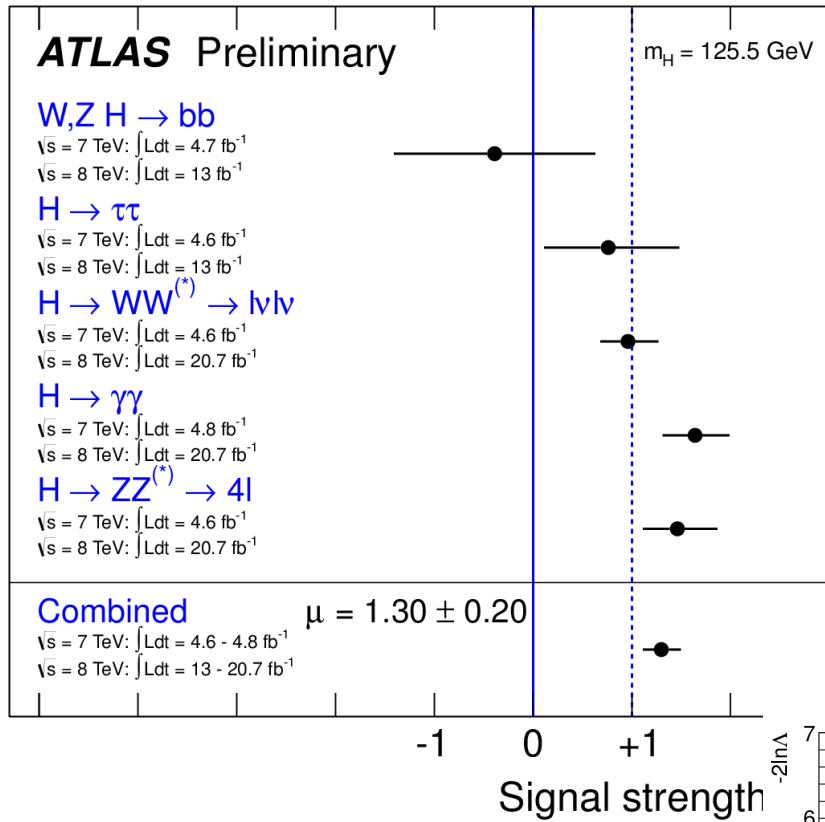
- Због малог пресека у поређењу са позадинским процесима, комбинује се резултат из више канала
- Јула 2012 објављено је откриће нове честице са особинама сличним Хигсовом бозону



Шта даље?

- Стандардни модел је теорија која је предвидела честице и њихове особине
 - Сви параметри модела, који укључују особине честица, могу се прецизно израчунати
 - Већина параметара је веома прецизно измерена
- После открића неопходно је прецизно измерити и особине Хигсовог бозона
 - Доста особина већ је измерено - следећи слајд
 - Свако одступање од предвиђених вредности биће индикација неке комплексније теорије

Шта даље?



M=125.5 GeV

Уместо закључка - Стандардни модел

- Откриће Хигсовог бозона представља кулминацију стандардног модела
- Параметри су измерени са великом прецизношћу, и са јако малим одступањем од предвиђених вредности

