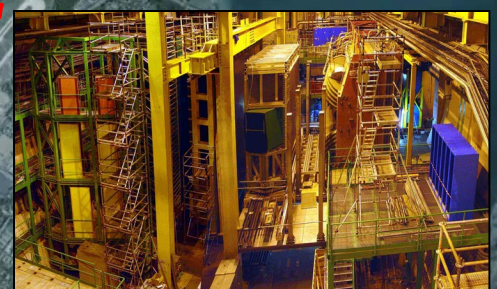
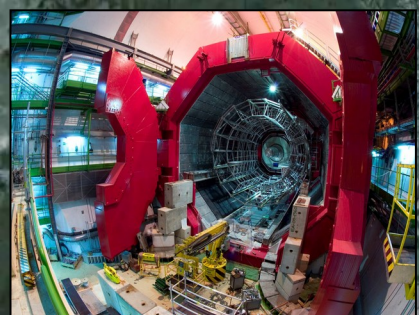
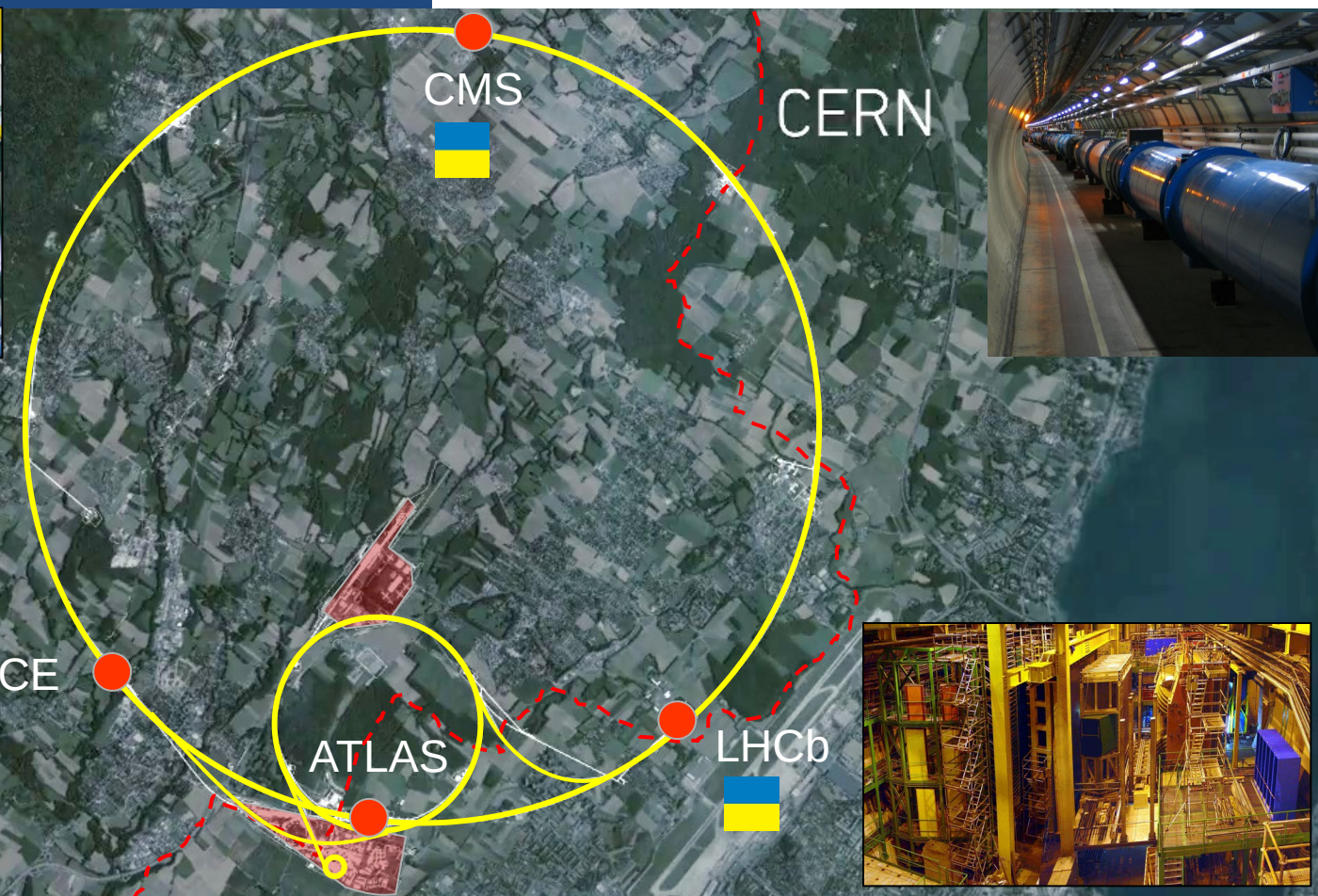
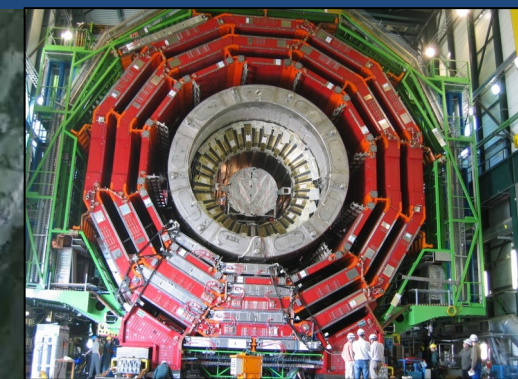


Run Number: 206962
Event Number: 38652990
Date: 2012-07-14, 08:31:06 CET
EtCut > 0.5 GeV
PtCut > 0.4 GeV
Electron: black
Cells: T1es, EMC

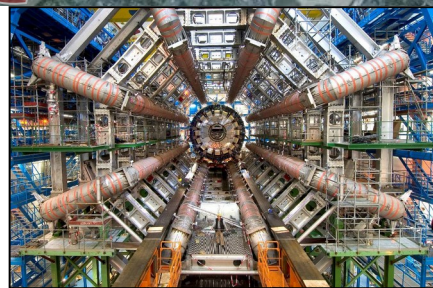
Фізика Великого Адронного Колайдера

Тетяна Берже-Гриньова
(LAPP Аннесу, Франція)

Великий адронний колайдер (LHC)



**LHC запусканий у 2008 р.,
протон-протонний колайдер з
надпровідними магнітами, коло
~27 км, енергія до 14 TeV.**

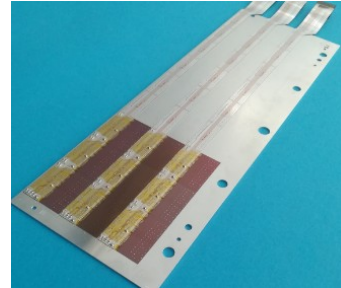
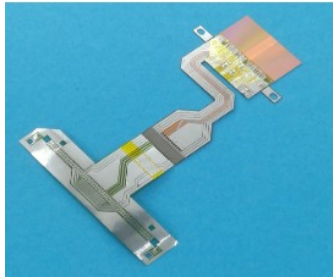


**Невеликі експерименти:
TOTEM (CMS), LHCf
(ATLAS), MoEDAL-MAPP
(LHCb), FASER &
SND@LHC (ATLAS)**

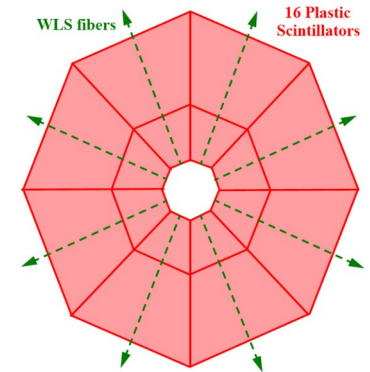
Українські внески в експерименти LHC



Мікрокабелі для детектора треків та FoCal з Харкова



Сцинтиляційний пластик для детектора MBTS використовувався до 2012 року (ISMA).



ALICE: Кварк-глюонна плазма

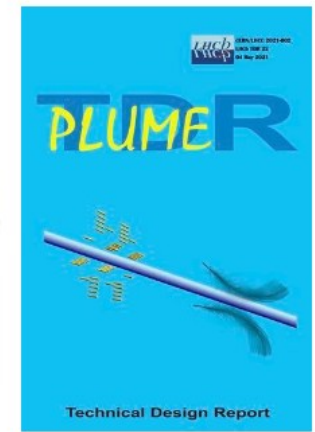
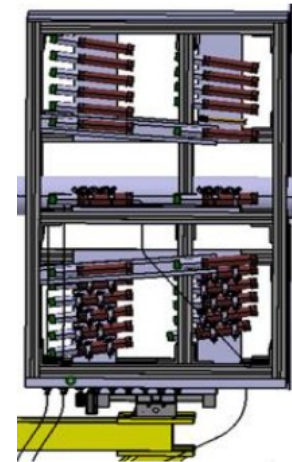
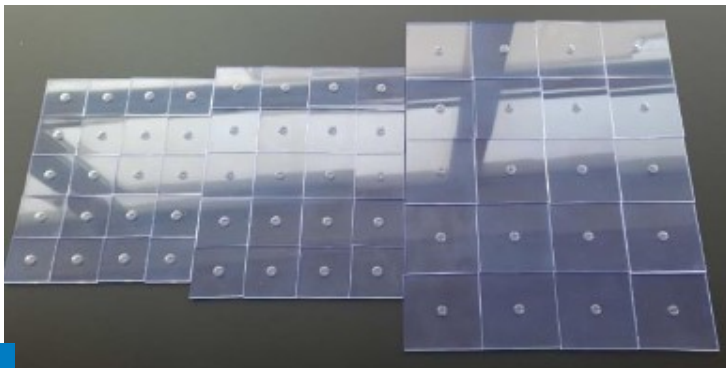
ATLAS: Хіггс і пошук нових феноменів



Сцинтиляційний пластик для HGCal Tier-2 центр



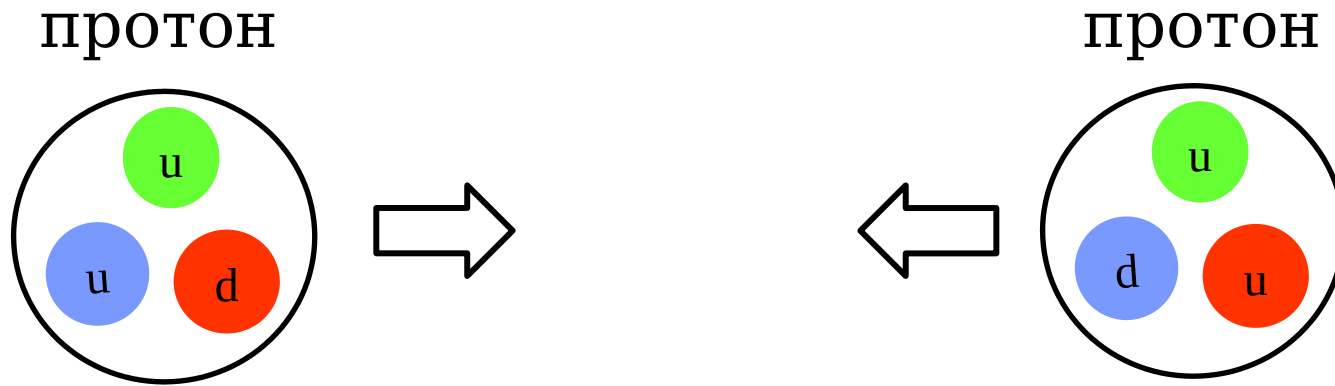
Інститут ядерних досліджень (KNIR)



CMS: Хіггс і пошук нових феноменів

LHCb: відмінності між матерією та антиматерією

Великий адронный колайдер

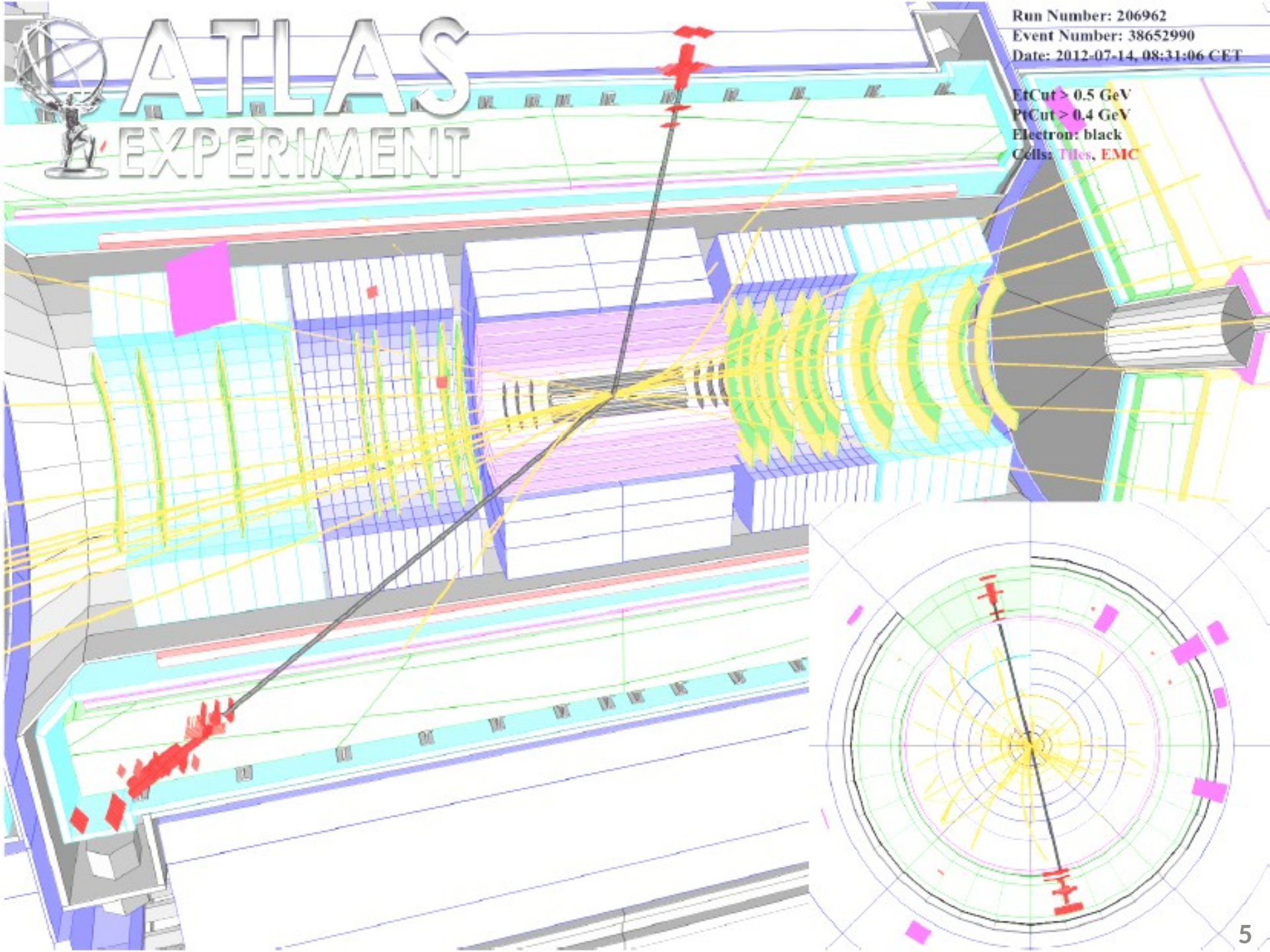


$$E = mc^2$$

ATLAS EXPERIMENT

Run Number: 206962
Event Number: 38652990
Date: 2012-07-14, 08:31:06 CET

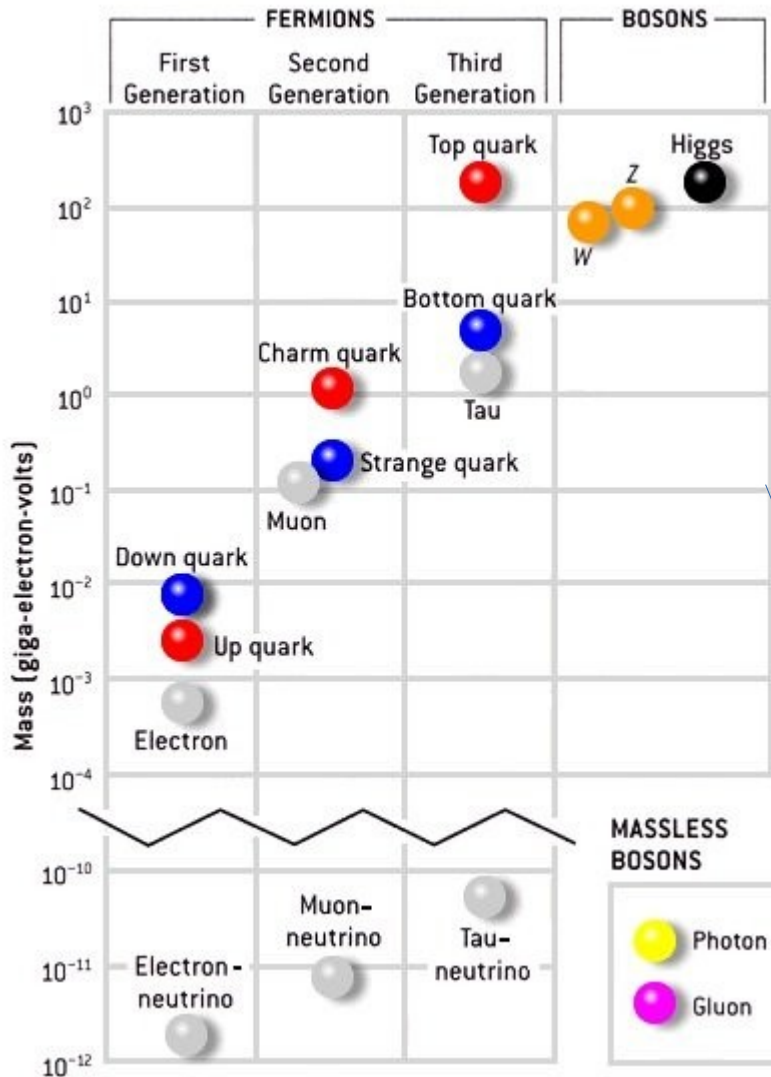
EtCut > 0.5 GeV
PtCut > 0.4 GeV
Electron: black
Cells: T1es, EMC



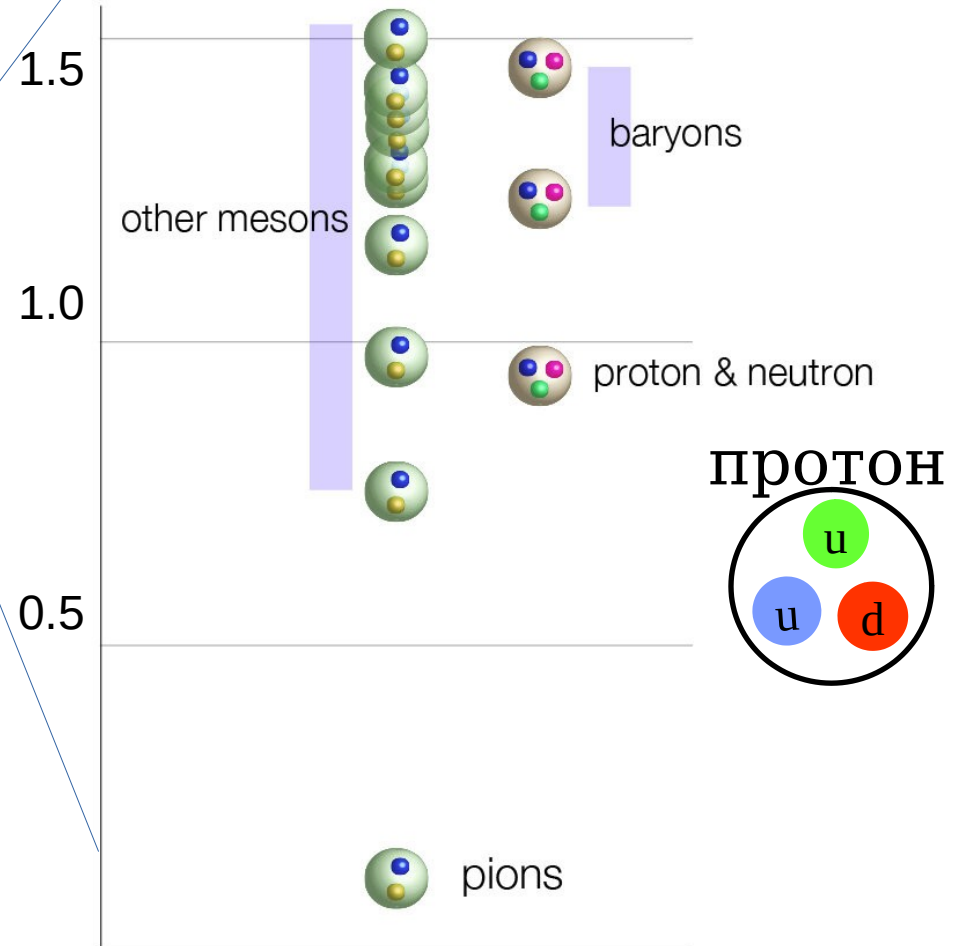
Маса частинок

У натуральних одиницях ($c=1$): $1 \text{ GeV} = 1.78 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
 $14 \text{ TeV} = 14000 \text{ GeV}$

Елементарні

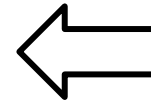
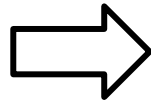
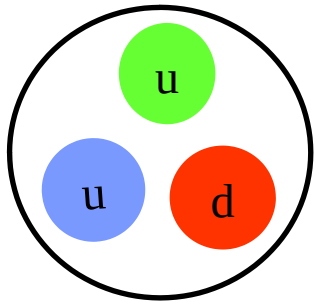


Мезони і баріони

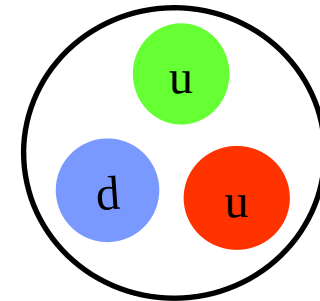


Великий адронний колайдер

сто мільярдів
(10^{11}) протонів



сто мільярдів
(10^{11}) протонів



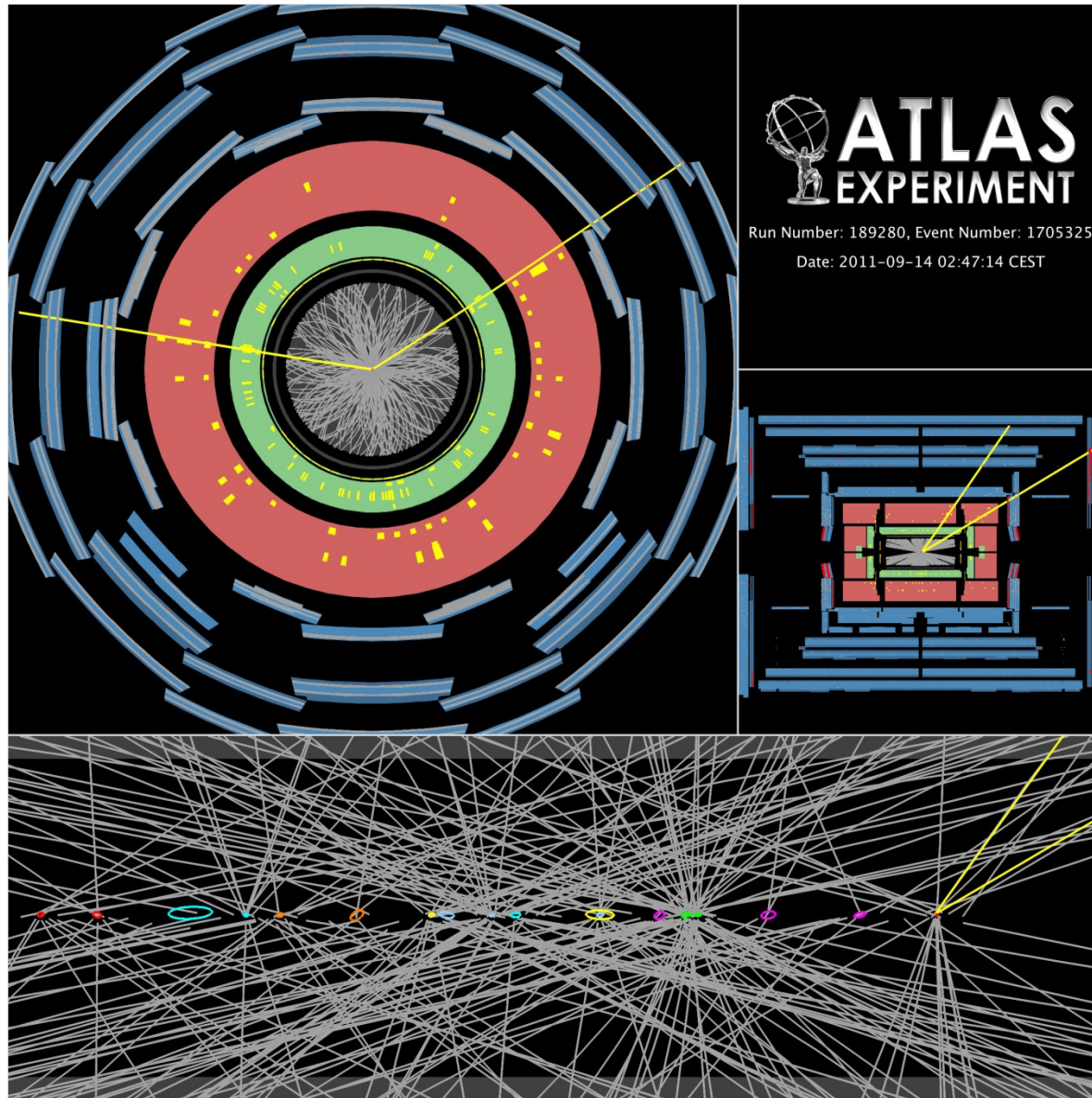
сорок мільйонів
разів на секунду



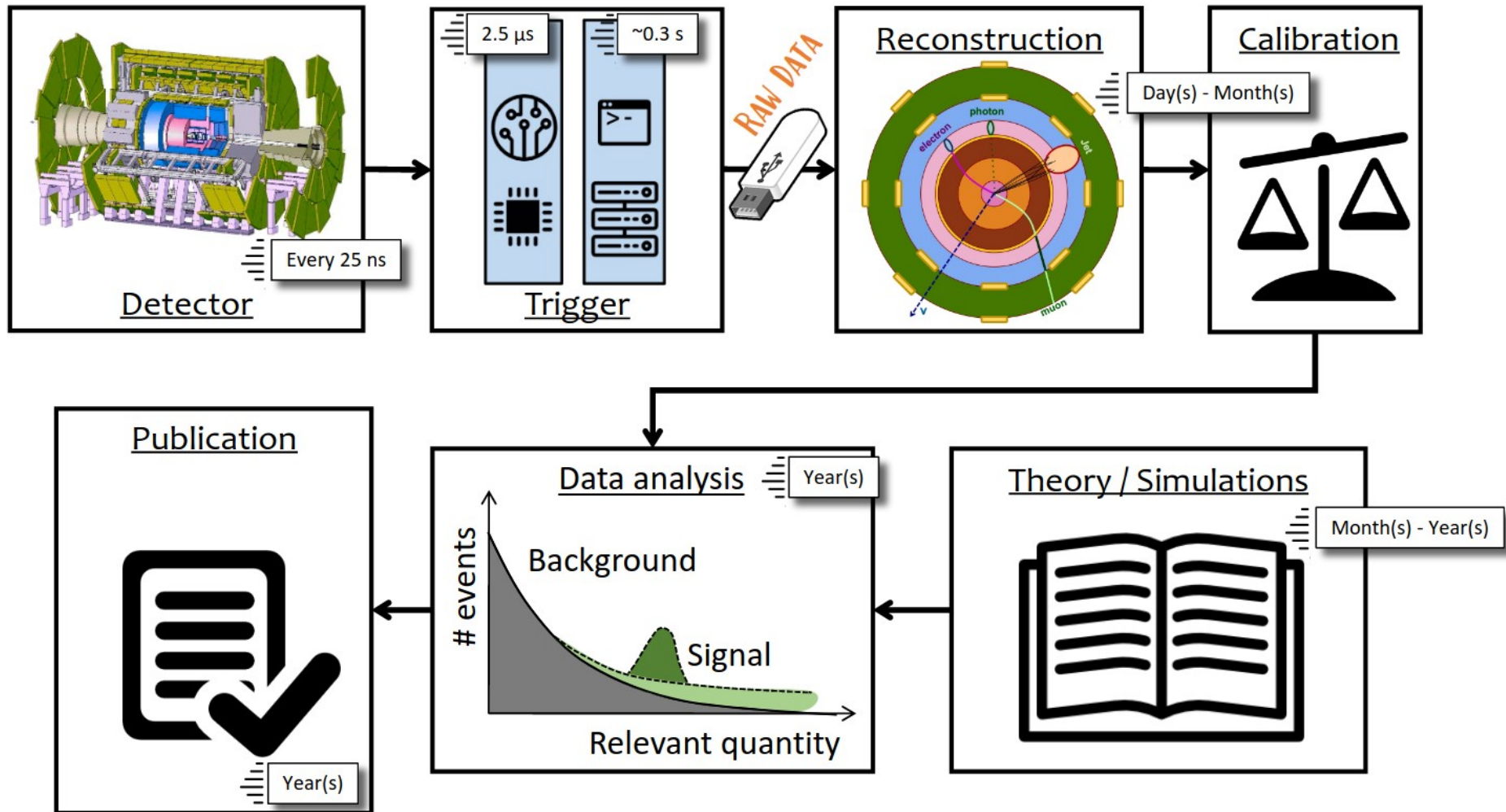
Чим вища енергія,
тим менші масштаби
можна досліджувати



Багато зіткнень одночасно!



Наша робота

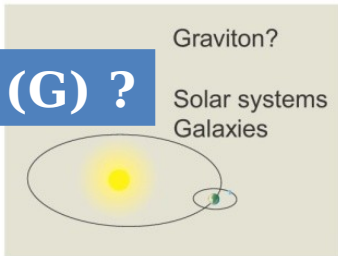


Наша мета — зрозуміти, як влаштований світ навколо нас.

Взаємодії у природі

Гравітаційне

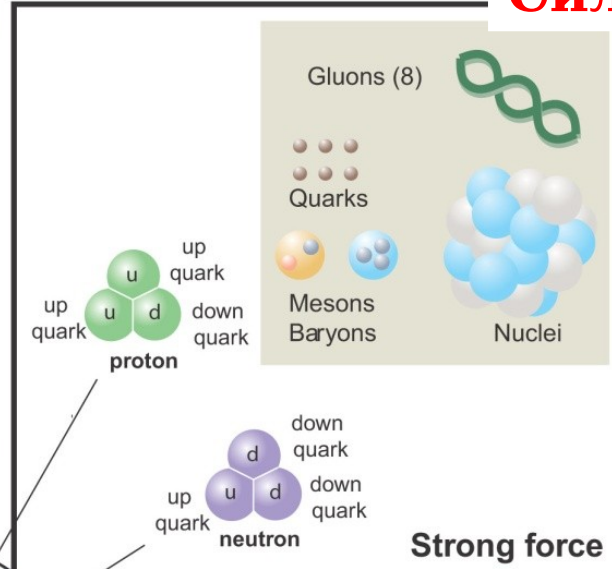
Гравитон (G) ?



Gravity Force



Сильне

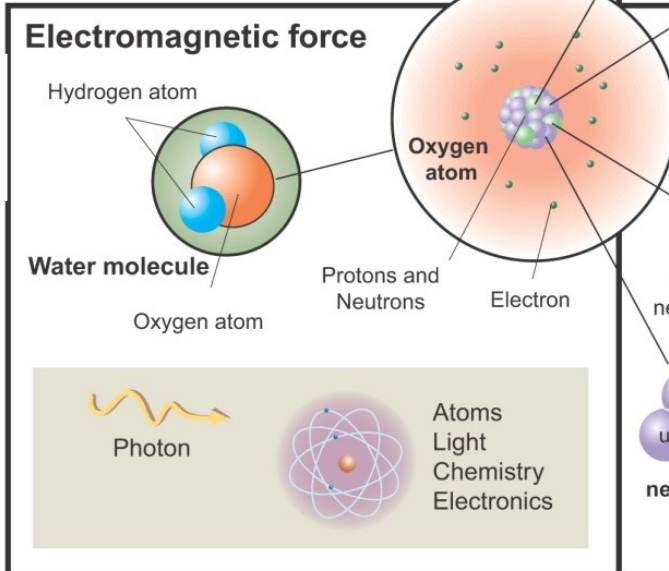


Strong force

**8
Глюон (g)**

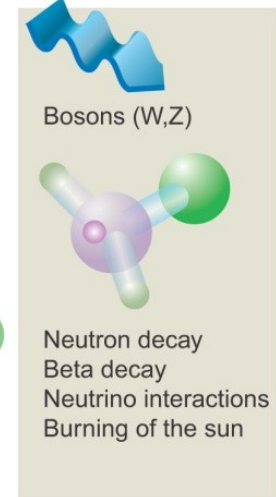
**Електро-
магнітне**

**ФОТОН
γ**



Electromagnetic force

Weak force



Слабке

**Бозони
W[±], Z**

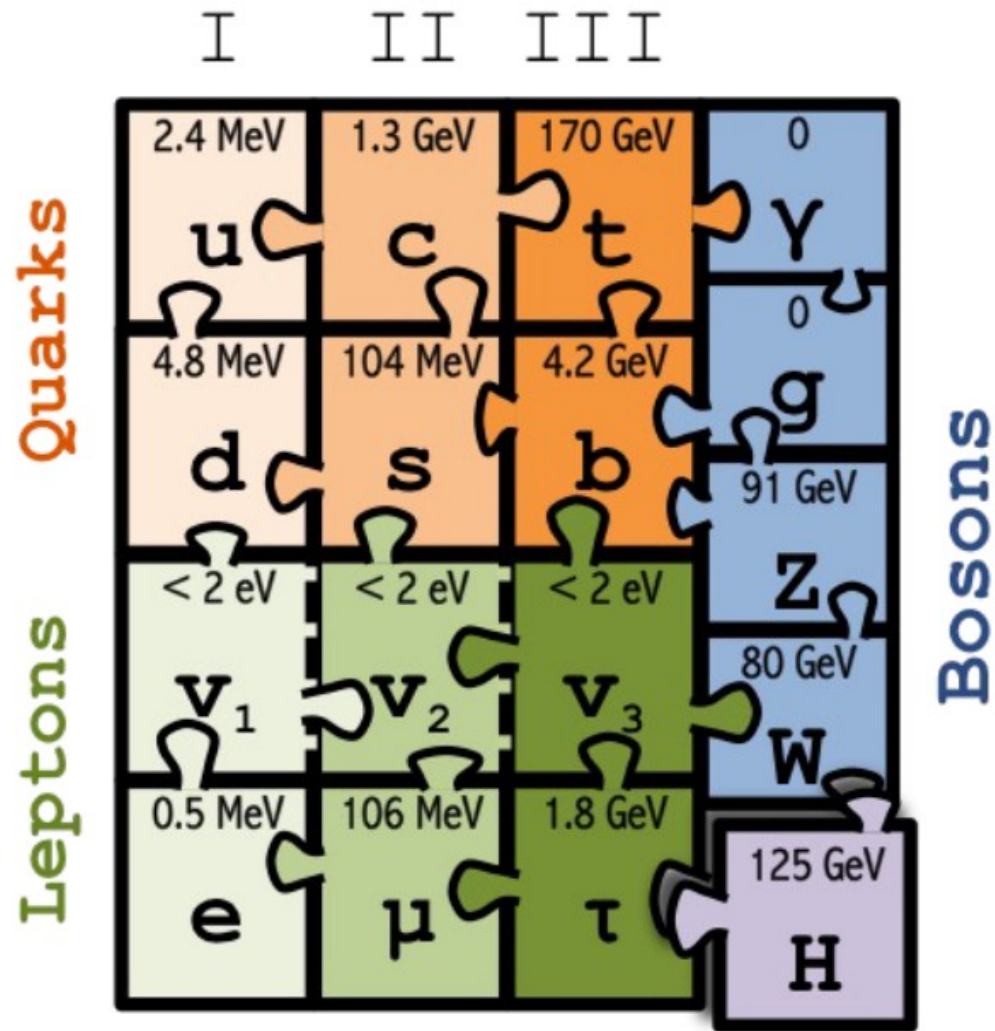
Стандартна

Модель (СМ)

Описує сильні (QCD), слабкі та електромагнітні (QED) взаємодії, які переносяться калібрувальними бозонами.

Три покоління елементарних частинок: кожне з 2 типами кварків (заряд $+2/3$ і $-1/3$) і 2 типами лептонів (нейтральні, які називаються нейтрино, і заряджені)
+ та їх античастинки

Бозон Хіггса надає частинкам масу



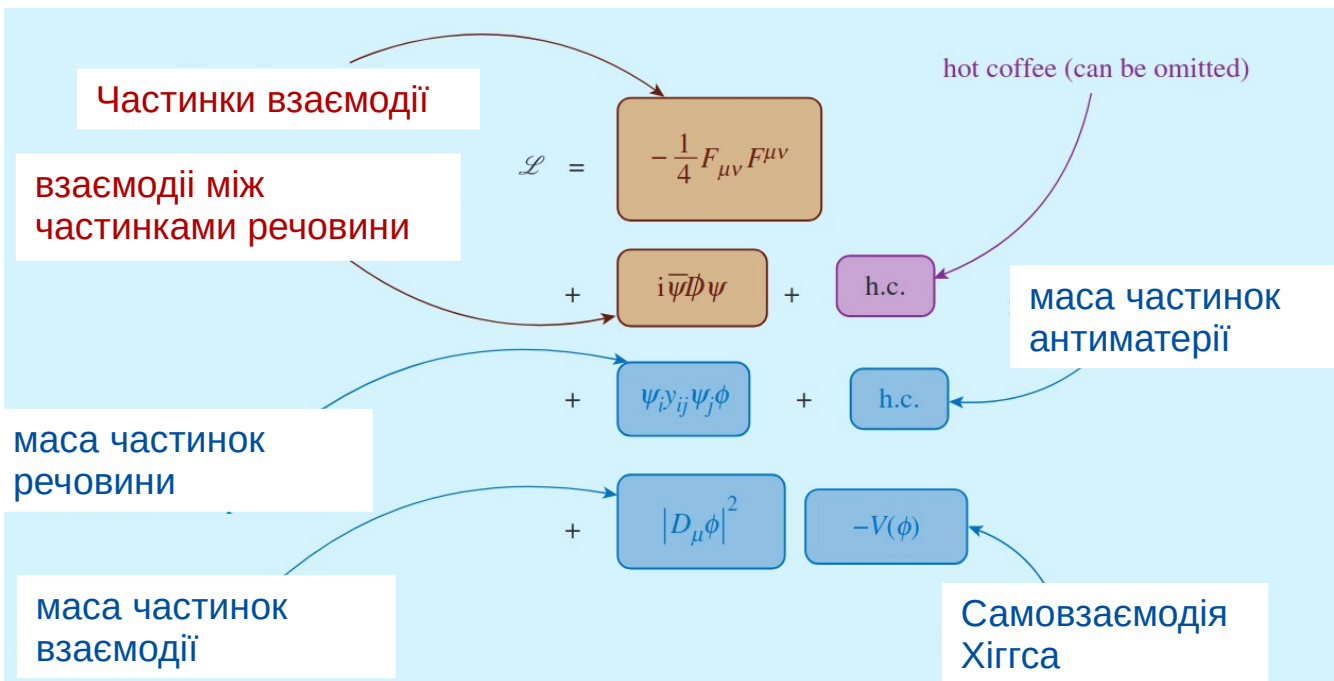
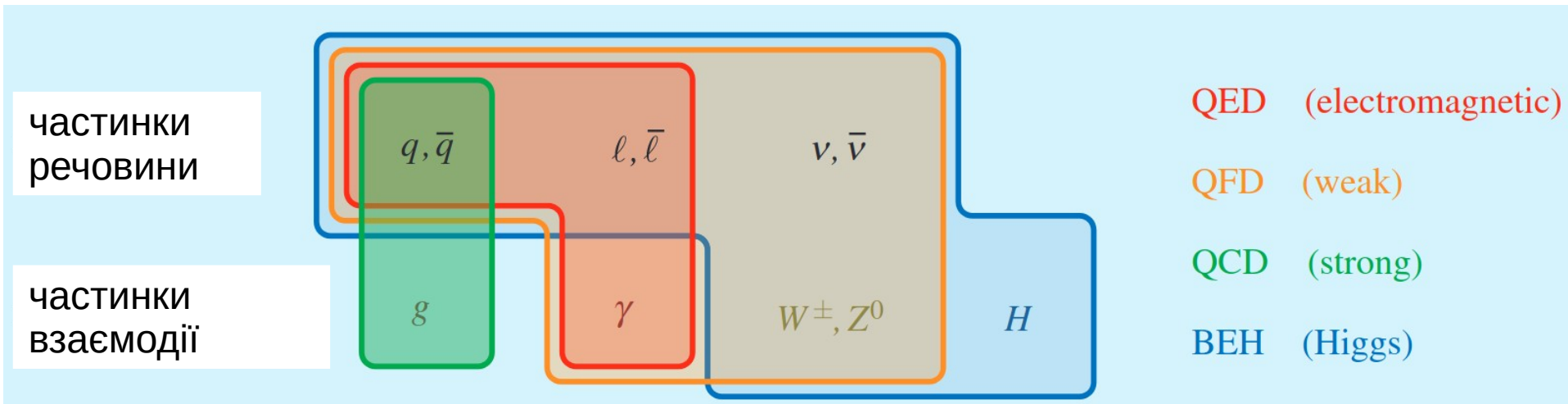
Відкриття Бозона Хіггса

Відкриття у 2012 році Бозона Хіггса (H) @ 125 GeV
ATLAS & CMS
(Нобелівська премія
Енглерту та
Хіггсу в 2013 р.)

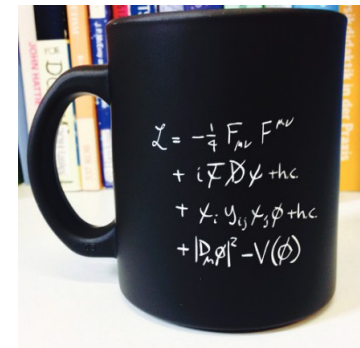


Остання відсутня частинка,
передбачена Стандартною моделлю

Стандартна Модель (СМ)

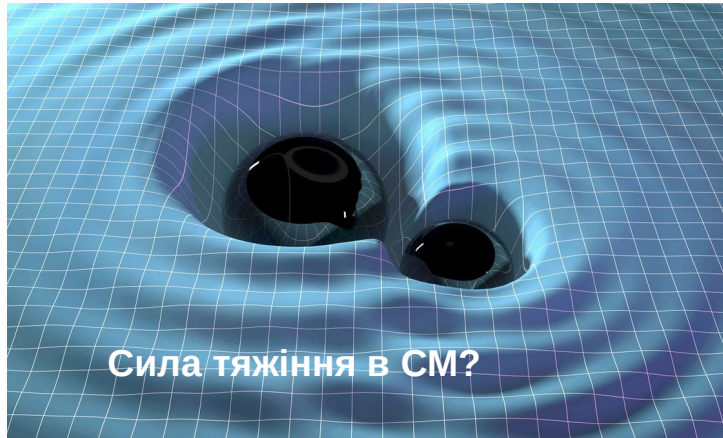


Стандартна Модель дає математичний опис взаємодій між частинками



Читайте, щоб дізнатися більше

Відкриті питання СМ



	I	II	III	
Quarks	u 2.4 MeV	c 1.3 GeV	t 170 GeV	γ 0
	d 4.8 MeV	s 104 MeV	b 4.2 GeV	g 0
Leptons	ν_1 < 2 eV	ν_2 < 2 eV	ν_3 < 2 eV	Z 91 GeV
	e 0.5 MeV	μ 106 MeV	τ 1.8 GeV	W 80 GeV
				H 125 GeV
				Bosons

Чому 3 покоління лептонів у СМ?

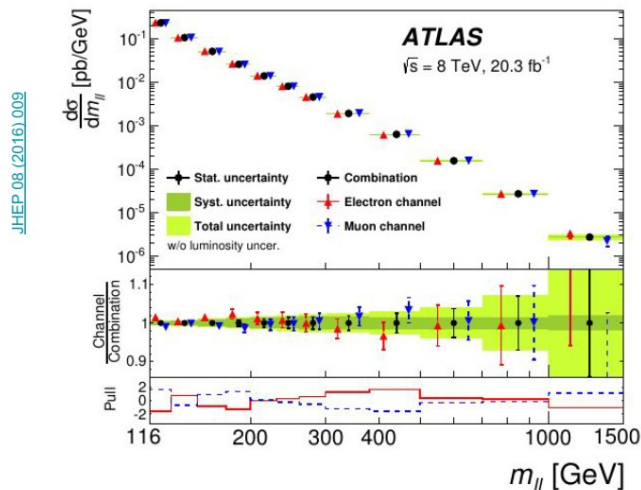
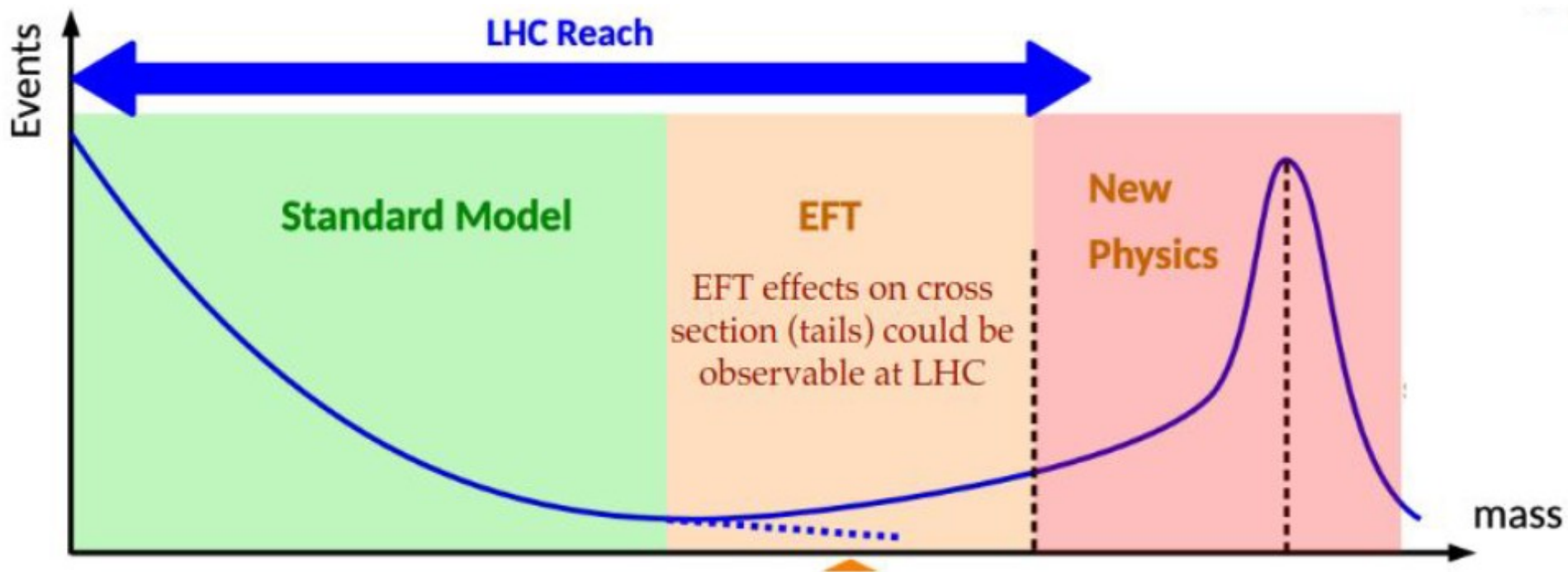
Стандартна модель — це не повна теорія, а низькоенергетичне наближення більш глобальної теорії.

Як знайти цю глобальну теорію?

(1) Шляхом пошуку нових частинок

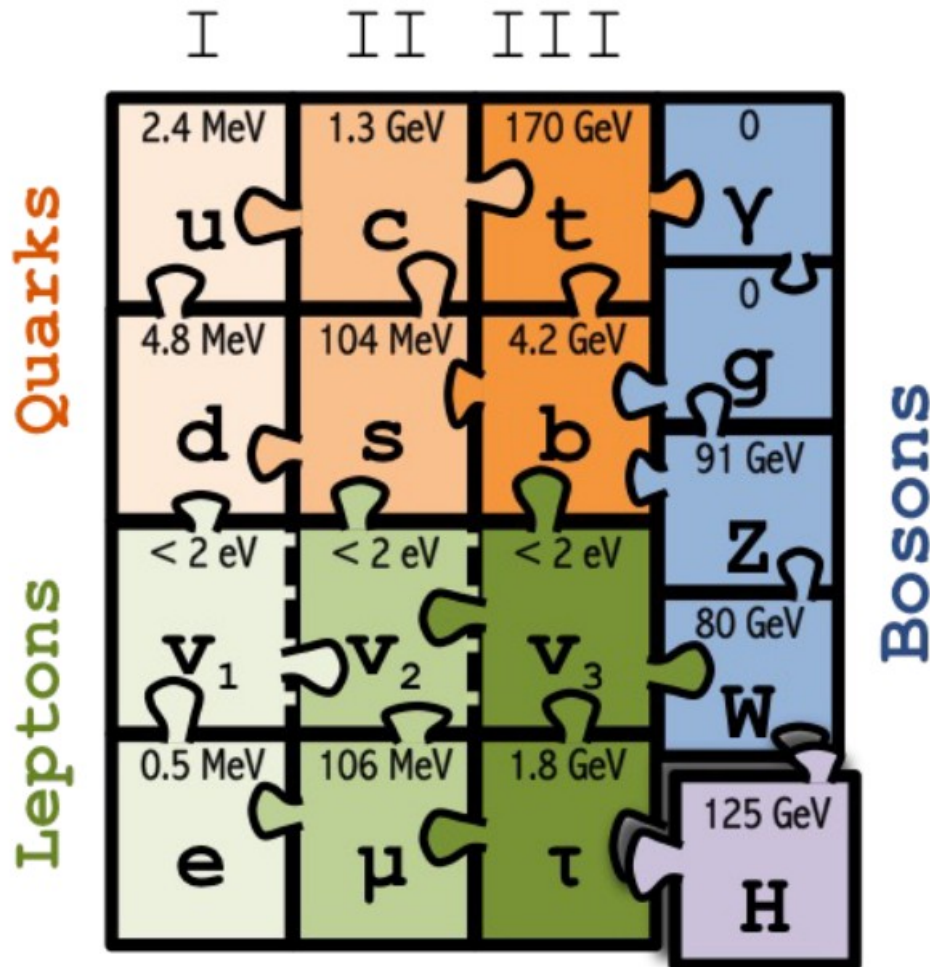
Або (2) характеризуючи відхилення від прогнозів СМ при високих енергіях або в рідкісних процесах.

Погляд за межі енергії LHC



JHEP 08 (2016) 009

Де шукати?



Дослідження процесів з частинками з великою масою:

- топ-кварк (ATLAS/CMS)
- Бозон Хіггса (ATLAS/CMS)
- W/Z бозони (ATLAS/CMS)
- мезони та баріони з b-кварками (переважно LHCb)
- ...

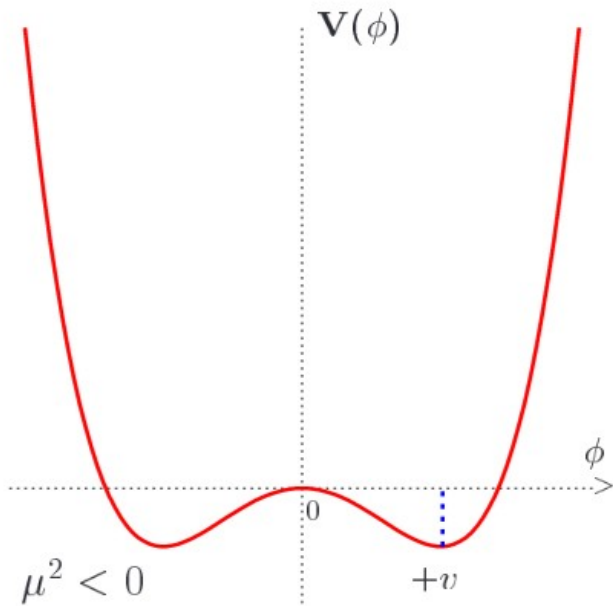
«Як частки отримують масу»

Поле бозона Хіггса



Надточні вимірювання

Потенціал поля Хіггса



$$V(\phi) = \mu^2(\phi^\dagger\phi) + \lambda(\phi^\dagger\phi)^2$$

Вакуумне очікуване значення (vev): $\nu = \left(\frac{-\mu^2}{\lambda}\right)^{\frac{1}{2}}$

$$M_W = g\nu/2$$

$$M_Z = g\nu/2\cos\theta_W$$

$$\nu = (\sqrt{2}G_F)^{-1/2} \sim 246 \text{ GeV}$$

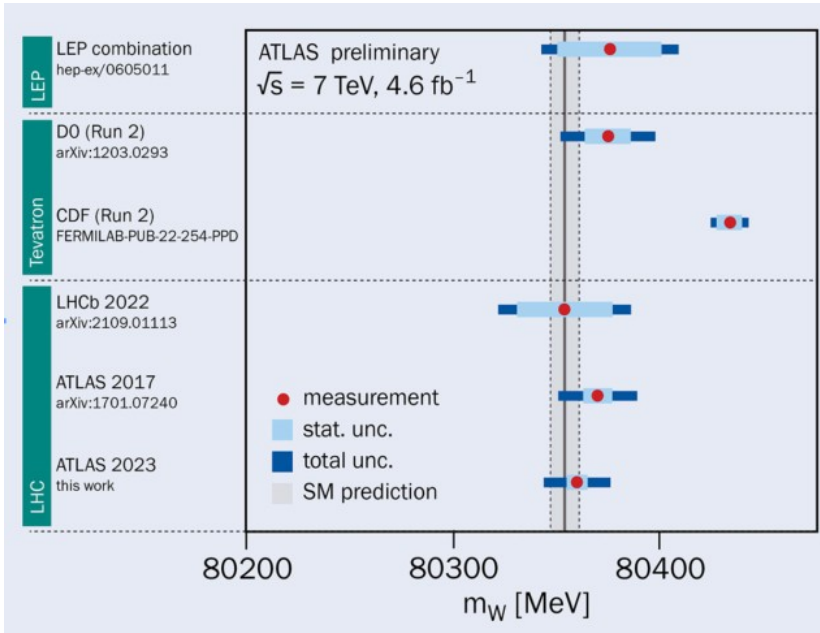
Маса бозона Хіггса

$$M_H = \sqrt{-2\mu^2} = \sqrt{2\lambda\nu}$$

λ = константа самозв'язку бозона Хіггса

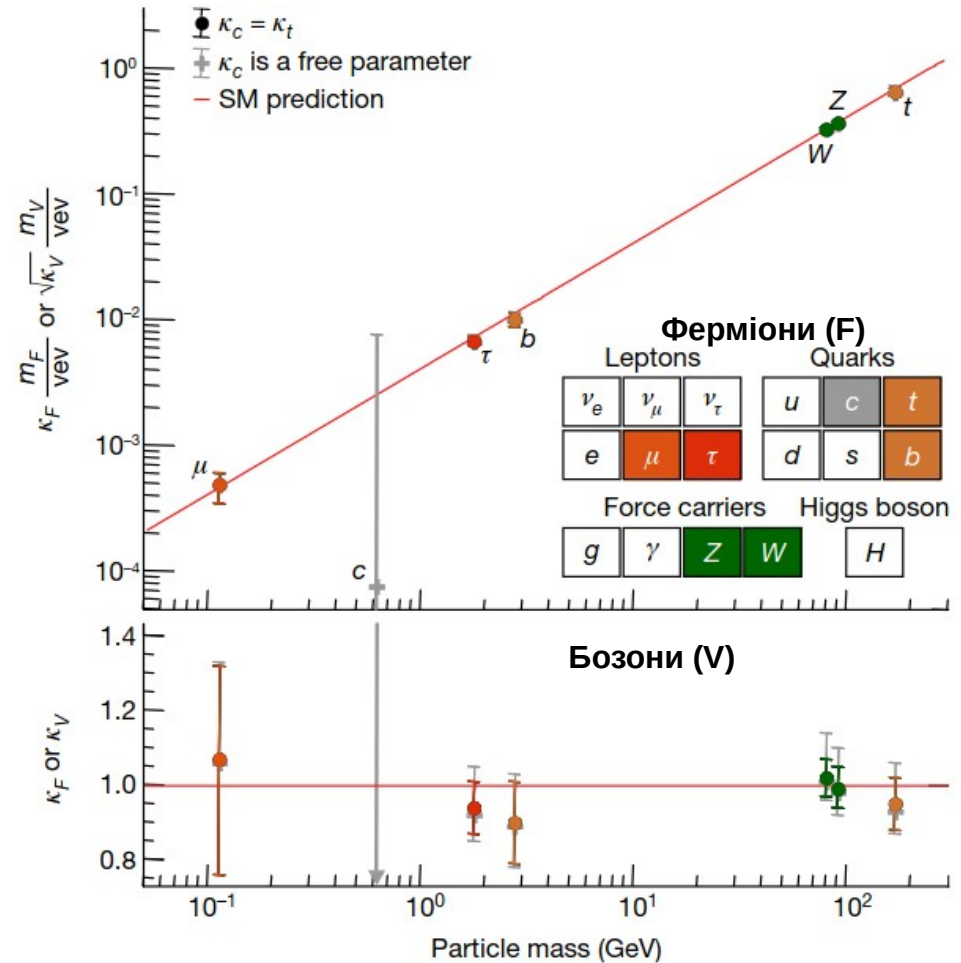
Властивості частинок СМ

Маса W-бозона



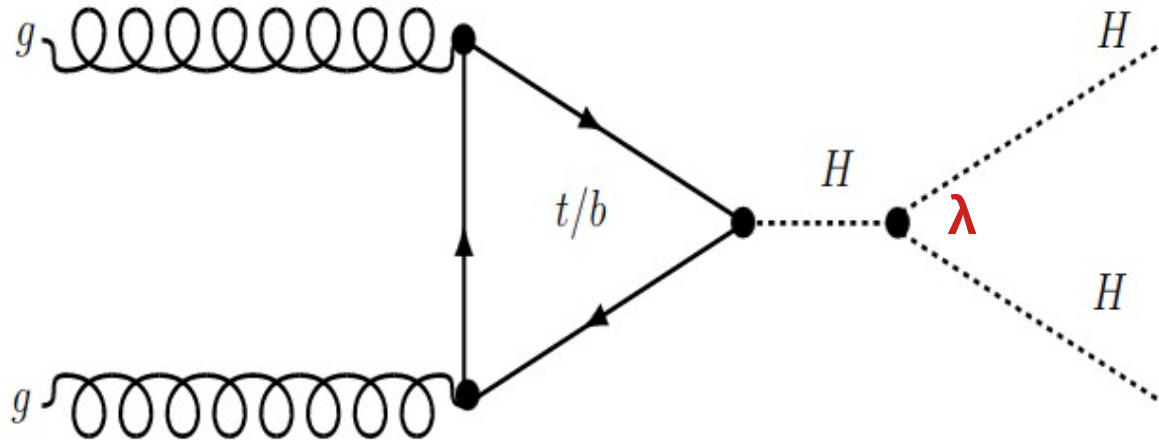
Відкриття W в 1983 році!

Взаємодія частинок з полем бозона Хіггса лінійно залежить від їх маси



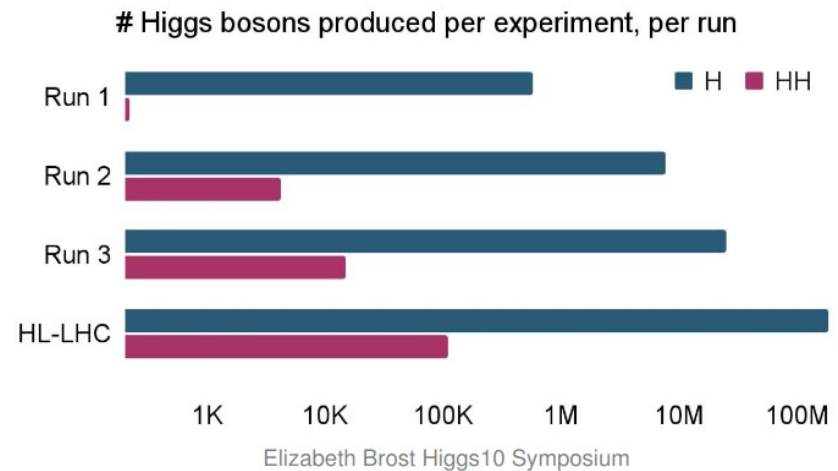
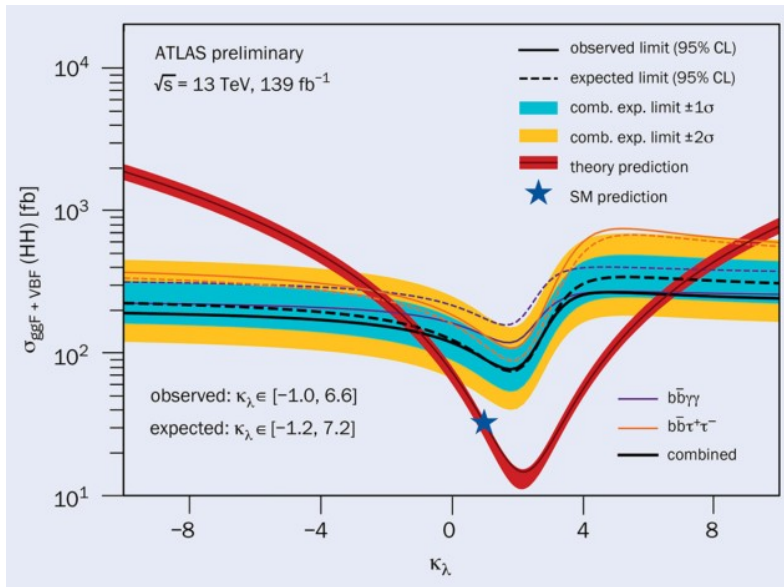
Nature volume 607, pages 52–59 (2022)

Константа самозв'язку бозона Хіггса



$$M_H = \sqrt{-2\mu^2} = \sqrt{2\lambda\nu}$$

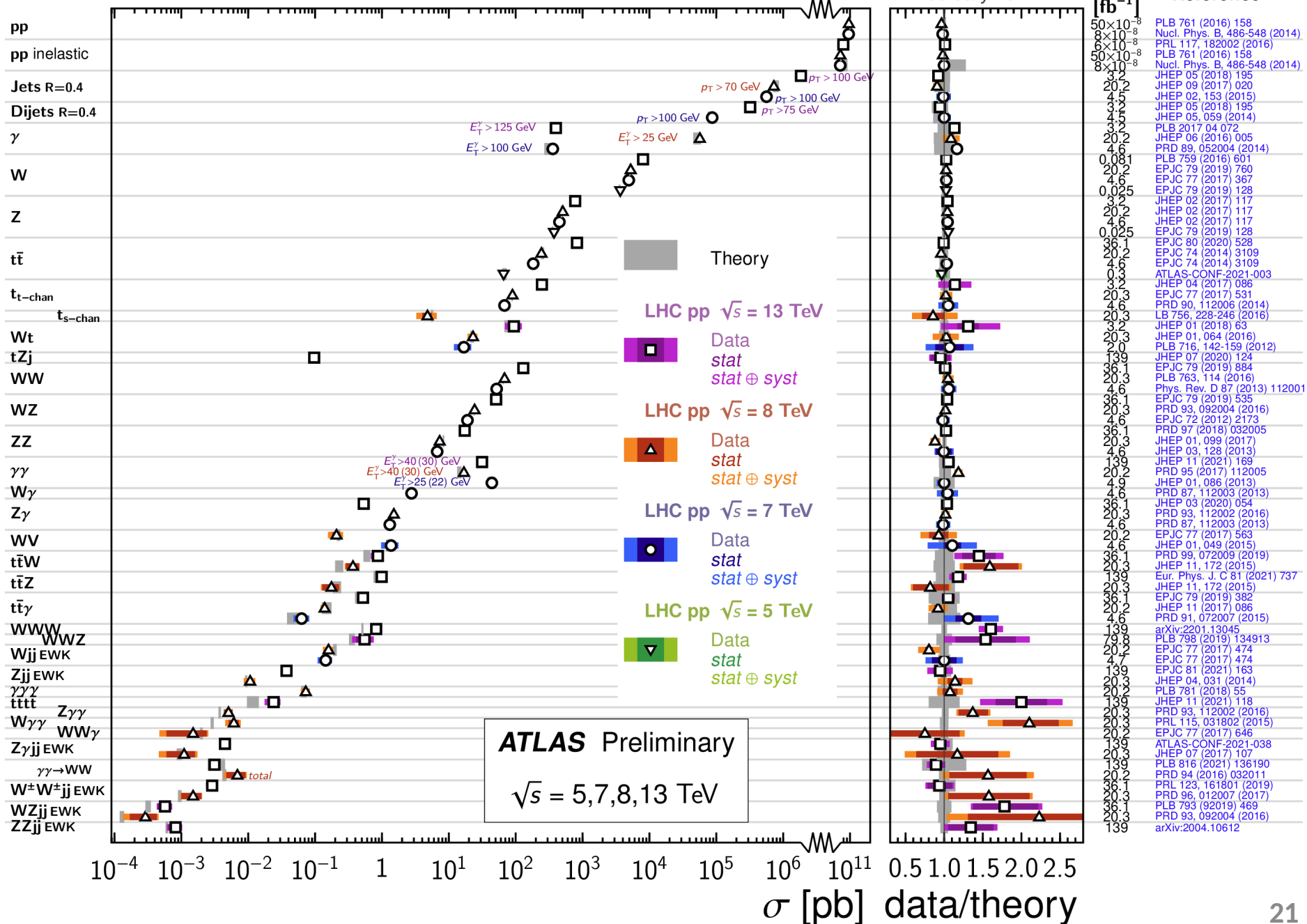
Цю константу також можна виміряти незалежно, використовуючи події з двома бозонами Хіггса. => Перехресна перевірка прогнозів СМ @ HL-LHC.



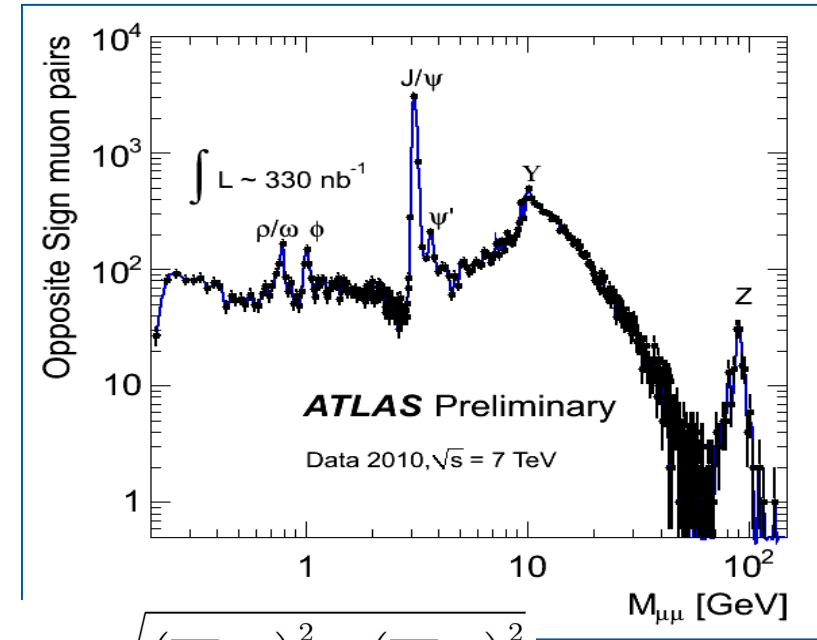
Standard Model Production Cross Section Measurements

Status:
February 2022

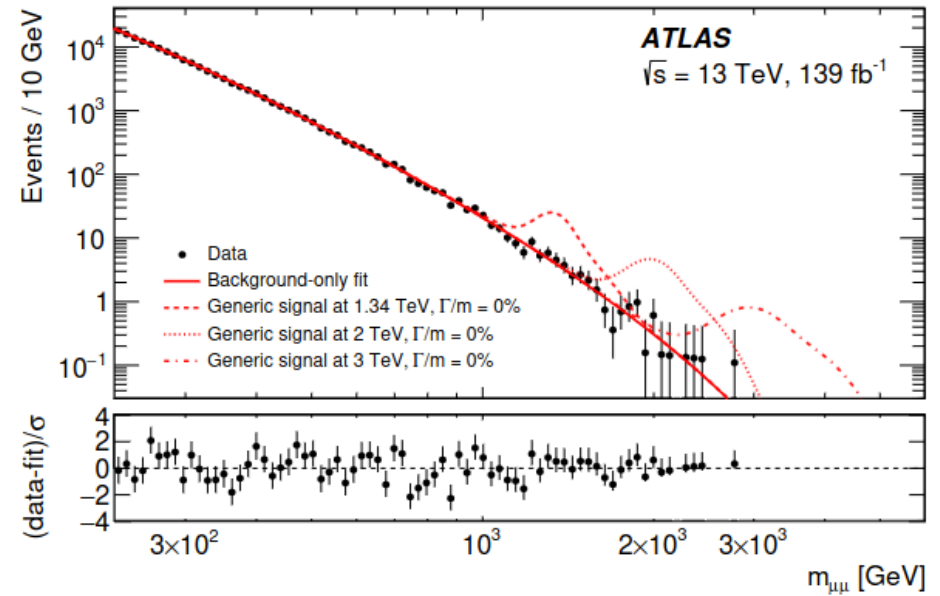
$\int \mathcal{L} dt$
[fb⁻¹]
Reference



Пошук нових частинок



$$M = \sqrt{\left(\sum E_i\right)^2 - \left(\sum \vec{p}_i\right)^2}$$



ATLAS Heavy Particle Searches* - 95% CL Upper Exclusion Limits

Status: March 2023

ATLAS Preliminary

$$\int \mathcal{L} dt = (3.6 - 139) \text{ fb}^{-1}$$

$$\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$$

Model	ℓ, γ	Jets [†]	E_T^{miss}	$\int \mathcal{L} dt [\text{fb}^{-1}]$	Limit	Reference		
Extra dimen.	ADD $G_{KK} + g/q$	$0 e, \mu, \tau, \gamma$	1-4 j	Yes	139	M_D 11.2 TeV $n=2$	2102.10874	
	ADD non-resonant $\gamma\gamma$	2γ	-	-	36.7	M_S 8.6 TeV $n=3$ HLZ NLO	1707.04147	
	ADD QBH	-	2 j	-	139	M_{th} 9.4 TeV $n=6$	1910.08447	
	ADD BH multijet	-	$\geq 3 j$	-	3.6	M_{th} 9.55 TeV $n=6, M_D = 3 \text{ TeV, rot BH}$	1512.02586	
	RS1 $G_{KK} \rightarrow \gamma\gamma$	2γ	-	-	139	G_{KK} mass 4.5 TeV $k/M_{Pl} = 0.1$	2102.13405	
	Bulk RS $G_{KK} \rightarrow WW/ZZ$	multi-channel	-	-	36.1	G_{KK} mass 2.3 TeV $k/M_{Pl} = 1.0$	1808.02380	
	Bulk RS $g_{KK} \rightarrow tt$	$1 e, \mu$	$\geq 1 b, \geq 1 J/2 j$	Yes	36.1	g_{KK} mass 3.8 TeV $\Gamma/m = 15\%$	1804.10823	
	2UED / RPP	$1 e, \mu$	$\geq 2 b, \geq 3 j$	Yes	36.1	KK mass 1.8 TeV Tier (1,1), $\mathcal{B}(A^{(1,1)} \rightarrow tt) = 1$	1803.09678	
	Gauge bosons	SSM $Z' \rightarrow \ell\ell$	$2 e, \mu$	-	-	139	Z' mass 5.1 TeV	1903.06248
		SSM $Z' \rightarrow \tau\tau$	2τ	-	-	36.1	Z' mass 2.42 TeV	1709.07242
Leptophobic $Z' \rightarrow bb$		-	2 b	-	36.1	Z' mass 2.1 TeV	1805.09299	
Leptophobic $Z' \rightarrow tt$		$0 e, \mu$	$\geq 1 b, \geq 2 J$	Yes	139	Z' mass 4.1 TeV $\Gamma/m = 1.2\%$	2005.05138	
SSM $W' \rightarrow \ell\nu$		$1 e, \mu$	-	Yes	139	W' mass 6.0 TeV	1906.05609	
SSM $W' \rightarrow \tau\nu$		1τ	-	Yes	139	W' mass 5.0 TeV	ATLAS-CONF-2021-025	
SSM $W' \rightarrow tb$		-	$\geq 1 b, \geq 1 J$	-	139	W' mass 4.4 TeV	ATLAS-CONF-2021-043	
HVT $W' \rightarrow WZ$ model B		$0-2 e, \mu$	$2 j / 1 J$	Yes	139	W' mass 4.3 TeV	2004.14636	
HVT $W' \rightarrow WZ \rightarrow \ell\nu \ell' \ell'$ model C		$3 e, \mu$	$2 j / 1 J$	Yes	139	W' mass 340 GeV $g_V = 3$	2207.03925	
HVT $Z' \rightarrow WW$ model B		$1 e, \mu$	$2 j / 1 J$	Yes	139	Z' mass 3.9 TeV $g_V = 3$	2004.14636	
LRSM $W_R \rightarrow \mu N_R$	2μ	1 J	-	80	W_R mass 5.0 TeV $m(N_R) = 0.5 \text{ TeV, } g_L = g_R$	1904.12679		
CI	CI $qqqq$	-	2 j	-	37.0	Λ 21.8 TeV η_{LL}	1703.09127	
	CI $\ell\ell qq$	$2 e, \mu$	-	-	139	Λ 35.8 TeV η_{LL}	2006.12946	
	CI $eebs$	$2 e$	1 b	-	139	Λ 1.8 TeV $g_s = 1$	2105.13847	
	CI $\mu\mu bs$	2μ	1 b	-	139	Λ 2.0 TeV $g_s = 1$	2105.13847	
	CI $tttt$	$\geq 1 e, \mu$	$\geq 1 b, \geq 1 j$	Yes	36.1	Λ 2.57 TeV $ C_{4t} = 4\pi$	1811.02305	
DM	Axial-vector med. (Dirac DM)	-	2 j	-	139	m_{med} 3.8 TeV $g_a = 0.25, g_s = 1, m(\chi) = 10 \text{ GeV}$	ATL-PHYS-PUB-2022-036	
	Pseudo-scalar med. (Dirac DM)	$0 e, \mu, \tau, \gamma$	1-4 j	Yes	139	m_{med} 376 GeV $g_a = 1, g_s = 1, m(\chi) = 1 \text{ GeV}$	2102.10874	
	Vector med. Z' -2HDM (Dirac DM)	$0 e, \mu$	2 b	Yes	139	$m_{Z'}$ 3.0 TeV $\tan\beta = 1, g_Z = 0.8, m(\chi) = 100 \text{ GeV}$	2108.13391	
	Pseudo-scalar med. 2HDM+a	multi-channel	-	-	139	m_a 800 GeV $\tan\beta = 1, g_s = 1, m(\chi) = 10 \text{ GeV}$	ATLAS-CONF-2021-036	
LQ	Scalar LQ 1 st gen	$2 e$	$\geq 2 j$	Yes	139	LQ mass 1.8 TeV $\beta = 1$	2006.05872	
	Scalar LQ 2 nd gen	2μ	$\geq 2 j$	Yes	139	LQ mass 1.7 TeV $\beta = 1$	2006.05872	
	Scalar LQ 3 rd gen	1τ	2 b	Yes	139	LQ_3^u mass 1.49 TeV $\mathcal{B}(LQ_3^u \rightarrow b\tau) = 1$	2303.01294	
	Scalar LQ 3 rd gen	$0 e, \mu$	$\geq 2 j, \geq 2 b$	Yes	139	LQ_3^d mass 1.24 TeV $\mathcal{B}(LQ_3^d \rightarrow \tau\nu) = 1$	2004.14060	
	Scalar LQ 3 rd gen	$\geq 2 e, \mu, \geq 1 \tau, \geq 1 j, \geq 1 b$	-	-	139	LQ_3^d mass 1.43 TeV $\mathcal{B}(LQ_3^d \rightarrow \tau\tau) = 1$	2101.11582	
	Scalar LQ 3 rd gen	$0 e, \mu, \geq 1 \tau, 0-2 j, 2 b$	-	-	139	LQ_3^d mass 1.26 TeV $\mathcal{B}(LQ_3^d \rightarrow b\nu) = 1$	2101.12527	
	Vector LQ mix gen	multi-channel	$\geq 1 j, \geq 1 b$	Yes	139	LQ_3^u mass 2.0 TeV $\mathcal{B}(\tilde{U}_1 \rightarrow t\mu) = 1, Y\text{-M coupl.}$	ATLAS-CONF-2022-052	
	Vector LQ 3 rd gen	$2 e, \mu, \tau$	$\geq 1 b$	Yes	139	LQ_3^u mass 1.96 TeV $\mathcal{B}(LQ_3^u \rightarrow b\tau) = 1, Y\text{-M coupl.}$	2303.01294	
Vector-like fermions	VLQ $TT \rightarrow Zt + X$	$2e/2\mu/\geq 3e, \mu$	$\geq 1 b, \geq 1 j$	-	139	T mass 1.46 TeV SU(2) doublet	2210.15413	
	VLQ $BB \rightarrow Wt/Zb + X$	multi-channel	-	-	36.1	B mass 1.34 TeV SU(2) doublet	1808.02343	
	VLQ $T_{5/3} T_{5/3} / T_{5/3} \rightarrow Wt + X$	$2(SS)/\geq 3 e, \mu$	$\geq 1 b, \geq 1 j$	Yes	36.1	$T_{5/3}$ mass 1.64 TeV $\mathcal{B}(T_{5/3} \rightarrow Wt) = 1, c(T_{5/3} Wt) = 1$	1807.11883	
	VLQ $T \rightarrow Ht/Zt$	$1 e, \mu$	$\geq 1 b, \geq 3 j$	Yes	139	T mass 1.8 TeV SU(2) singlet, $\kappa_T = 0.5$	ATLAS-CONF-2021-040	
	VLQ $Y \rightarrow Wb$	$1 e, \mu$	$\geq 1 b, \geq 1 j$	Yes	36.1	Y mass 1.85 TeV $\mathcal{B}(Y \rightarrow Wb) = 1, c_R(Wb) = 1$	1812.07343	
	VLQ $B \rightarrow Hb$	$0 e, \mu$	$\geq 2b, \geq 1j, \geq 1J$	-	139	B mass 2.0 TeV SU(2) doublet, $\kappa_B = 0.3$	ATLAS-CONF-2021-018	
	VLL $\tau' \rightarrow Z\tau/H\tau$	multi-channel	$\geq 1 j$	Yes	139	τ' mass 898 GeV SU(2) doublet	2303.05441	
Excited ferm.	Excited quark $q^* \rightarrow qg$	-	2 j	-	139	q^* mass 6.7 TeV only u^* and d^* , $\Lambda = m(q^*)$	1910.08447	
	Excited quark $q^* \rightarrow q\gamma$	1γ	1 j	-	36.7	q^* mass 5.3 TeV only u^* and d^* , $\Lambda = m(q^*)$	1709.10440	
	Excited quark $b^* \rightarrow bg$	-	1 b, 1 j	-	139	b^* mass 3.2 TeV	1910.08447	
	Excited lepton τ^*	2τ	$\geq 2 j$	-	139	τ^* mass 4.6 TeV $\Lambda = 4.6 \text{ TeV}$	2303.09444	
Other	Type III Seesaw	$2,3,4 e, \mu$	$\geq 2 j$	Yes	139	N^0 mass 910 GeV	2202.02039	
	LRSM Majorana ν	2μ	2 j	-	36.1	N_R mass 3.2 TeV $m(W_R) = 4.1 \text{ TeV, } g_L = g_R$	1809.11105	
	Higgs triplet $H^{\pm\pm} \rightarrow W^\pm W^\pm$	$2,3,4 e, \mu$ (SS)	various	Yes	139	$H^{\pm\pm}$ mass 350 GeV DY production	2101.11961	
	Higgs triplet $H^{\pm\pm} \rightarrow \ell\ell$	$2,3,4 e, \mu$ (SS)	-	-	139	$H^{\pm\pm}$ mass 1.08 TeV DY production	2211.07505	
	Multi-charged particles	-	-	-	139	multi-charged particle mass 1.59 TeV DY production, $ q = 5e$	ATLAS-CONF-2022-034	
	Magnetic monopoles	-	-	-	34.4	monopole mass 2.37 TeV DY production, $ g = 1g_D, \text{ spin } 1/2$	1905.10130	

$\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$
partial data $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$
full data

10⁻¹ 1 10 Mass scale [TeV]

*Only a selection of the available mass limits on new states or phenomena is shown.
†Small-radius (large-radius) jets are denoted by the letter j (J).

- neutral particle
- ▶ jet
- charged particle
- ⚡ highly ionizing particle
- electron
- muon
- photon

Displaced leptonic vertices
 ee, mumu channels:
 ATLAS, 8 TeV, 20.3fb⁻¹: [Phys. Rev. D 92, 072004](#)
 CMS, 8 TeV, 20fb⁻¹: [Phys. Rev. D 91 \(2015\) 052012](#)
 emu channel:
 CMS, 13 TeV, 2.6fb⁻¹: [CMS-PAS-EXO-16-022](#)

Displaced vertices + MET
 ATLAS, 13 TeV, 32.8fb⁻¹:
[CERN-EP-2017-202](#)

Displaced jets in the ID
 8TeV result: [PRD 92, 012010 \(2015\)](#)

Disappearing tracks
 ATLAS, 13 TeV, 36.1fb⁻¹: [SUSY-2016-06](#)
 CMS, 13 TeV, 38.4fb⁻¹: [CMS-PAS-EXO-16-044](#)

Displaced jets in the Calorimeter
 ATLAS, 13 TeV, 3.2fb⁻¹:
[ATLAS-CONF-2016-103](#)
 CMS, 13 TeV, 2.6fb⁻¹:[EXO-16-003](#)

Stopped LLPs NOT IN FILLED BUNCH CROSSING
 CMS, 13 TeV, 36.1fb⁻¹:
[CMS-EXO-16-004](#)

Displaced jets in the MS
 8TeV result:
[PRD 92, 012010 \(2015\)](#)

Late photons
 ATLAS, 8TeV, 20.3fb⁻¹: [Phys. Rev. D. 90, 112005 \(2014\)](#)
 CMS, 8 TeV, 19.1fb⁻¹: [CMS-PAS-EXO-12-035](#)

Highly ionising particles
 8TeV result: [PRD 93, 052009 \(2016\)](#)

(Meta-) Stable Charged LLPs
 ATLAS, 13 TeV, 3.2fb⁻¹:
[Phys. Rev. D 93, 112015 \(2016\)](#)
[Physics Letters B \(2016\), pp. 647-665](#)
 CMS, 13 TeV, 2.5fb⁻¹:
[Phys. Rev. D 94 \(2016\) 112004](#)

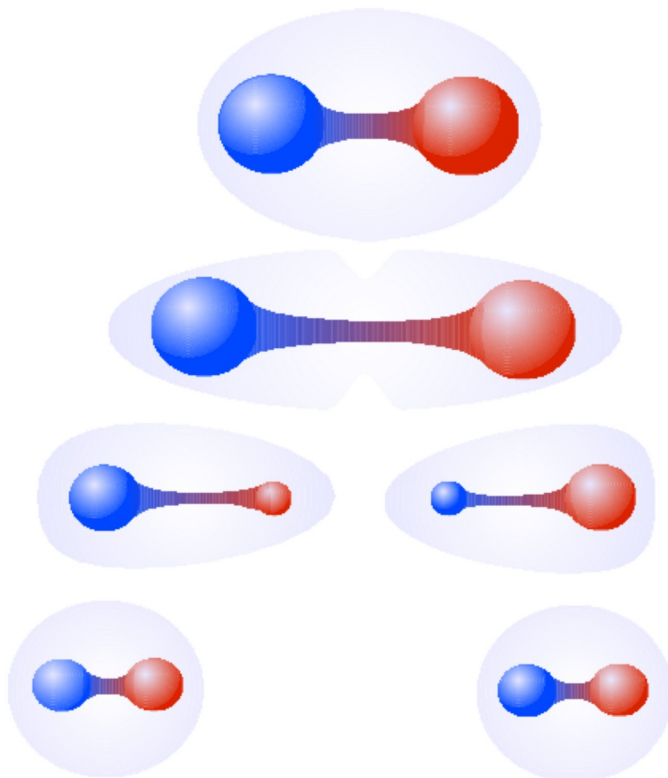
Displaced Lepton-jets
 13 TeV result, 3.2fb⁻¹:
[ATLAS-CONF-2016-042](#)

Квантова хромодинаміка

Описує сильну взаємодію; частка-носій - глюони

$$V_s = -\frac{4}{3} \frac{\alpha_s}{r} + kr$$

Кварки не існують у вільному стані вони формують «безбарвні» адрони:



Звичайні

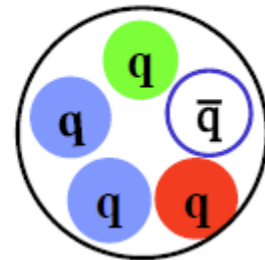
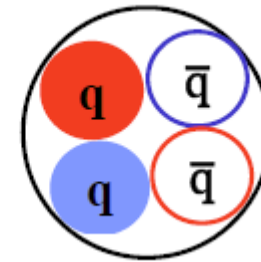
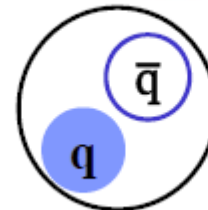
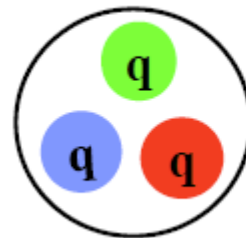
Екзотичні

Мезон

Баріон

Тетракварк

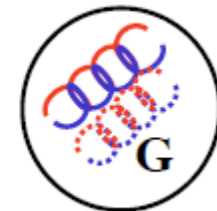
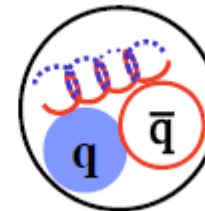
Пентакварк



Баріоній

Гібрид

Глюбол



Pentaquarks and Tetraquarks

- Several results drew attention in press
- Some results were actually unforeseen from the initial LHCb roadmap → LHCb is truly a GPD
- Here is just a small recap: milestones

2015

[Phys. Rev. Lett. 115, 072001](#)



Featured in Physics

Editors' Suggestion

Open Access

Observation of $J/\psi p$ Resonances Consistent with Pentaquark States in $\Lambda_b^0 \rightarrow J/\psi K^- p$ Decays

R. Aaij *et al.* (LHCb Collaboration)

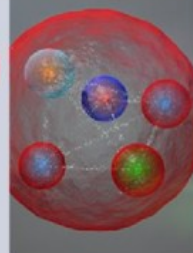
Phys. Rev. Lett. **115**, 072001 – Published 12 August 2015

PhysiCS See Viewpoint: [Elusive Pentaquark Comes into View](#)

Was $P_c(4450)^+$.
Later resolved into $P_\psi^N(4440)^+$ and $P_\psi^N(4457)^+$.

LHCb claims discovery of two pentaquarks
LHCb collaboration at CERN

physics world
**TOP 10
BREAKTHROUGH
2015**



2016

[Phys. Rev. Lett. 118, 022003](#)



Editors' Suggestion

Open Access

Observation of $J/\psi \phi$ Structures Consistent with Exotic States from Amplitude Analysis of $B^+ \rightarrow J/\psi \phi K^+$ Decays

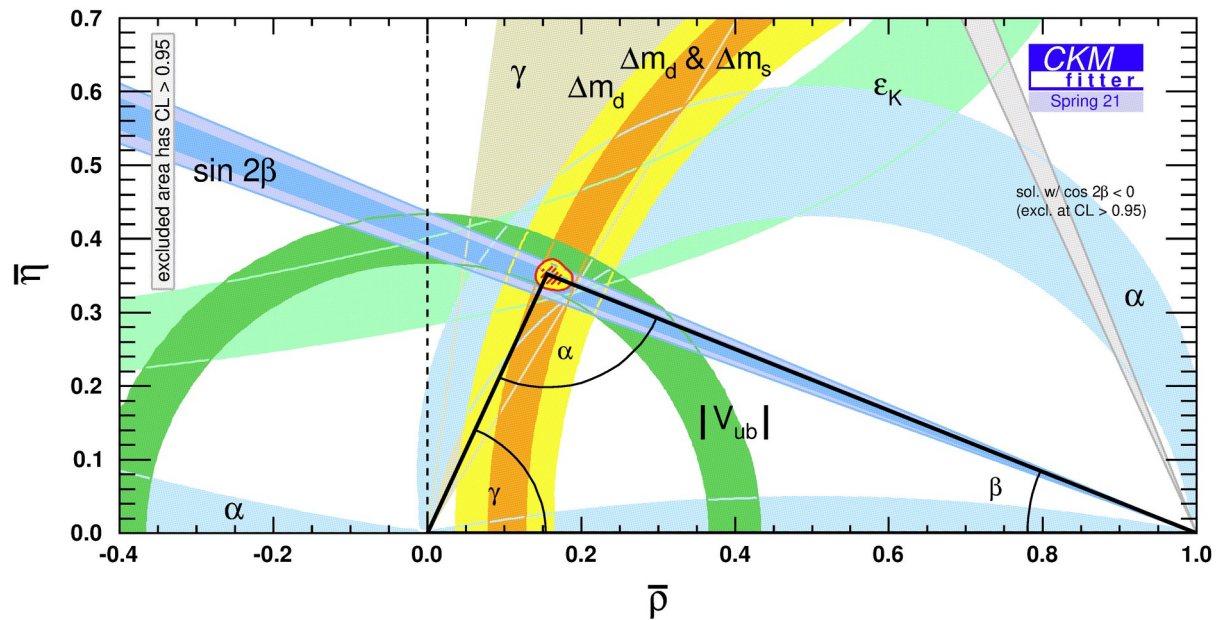
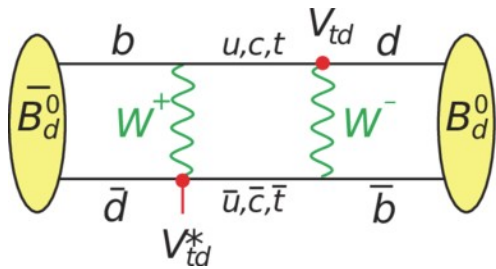
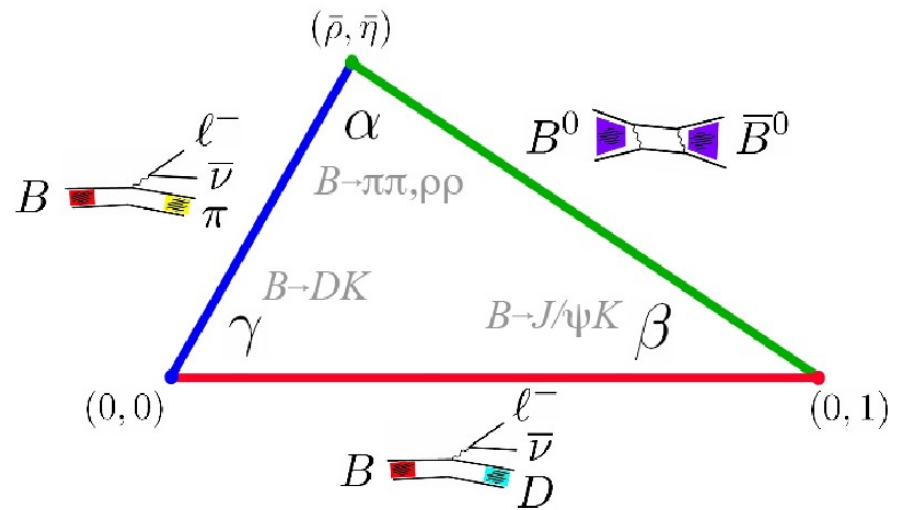
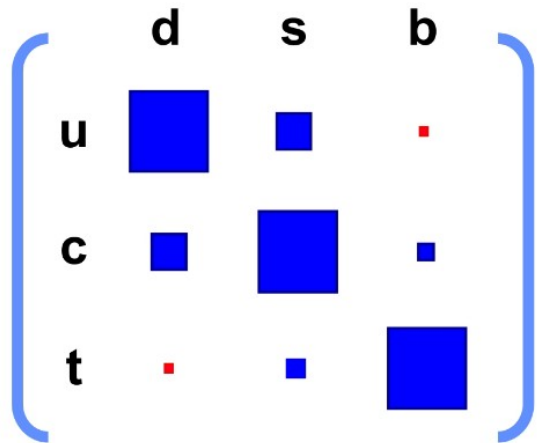
R. Aaij *et al.* (LHCb Collaboration)

Phys. Rev. Lett. **118**, 022003 – Published 11 January 2017

+ **many other more recent observations**

Really difficult to make justice to so many nice results

Унітарні відносини



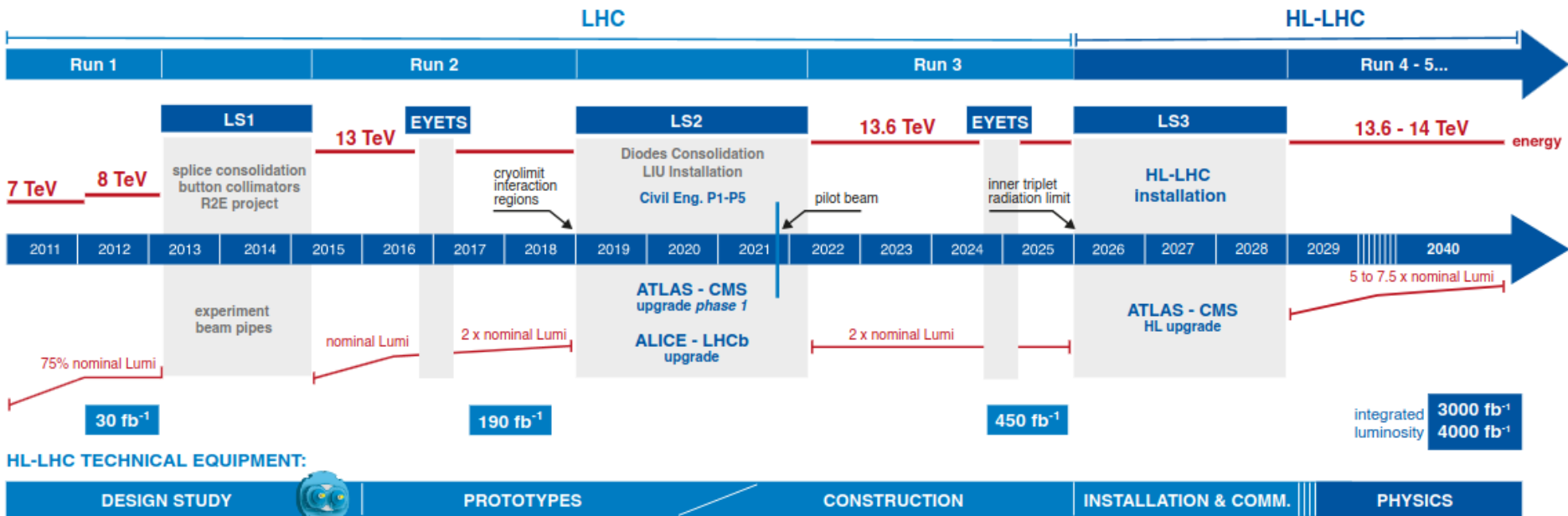
Пошук триває...



Програма LHC



LHC / HL-LHC Plan



HL-LHC CIVIL ENGINEERING:

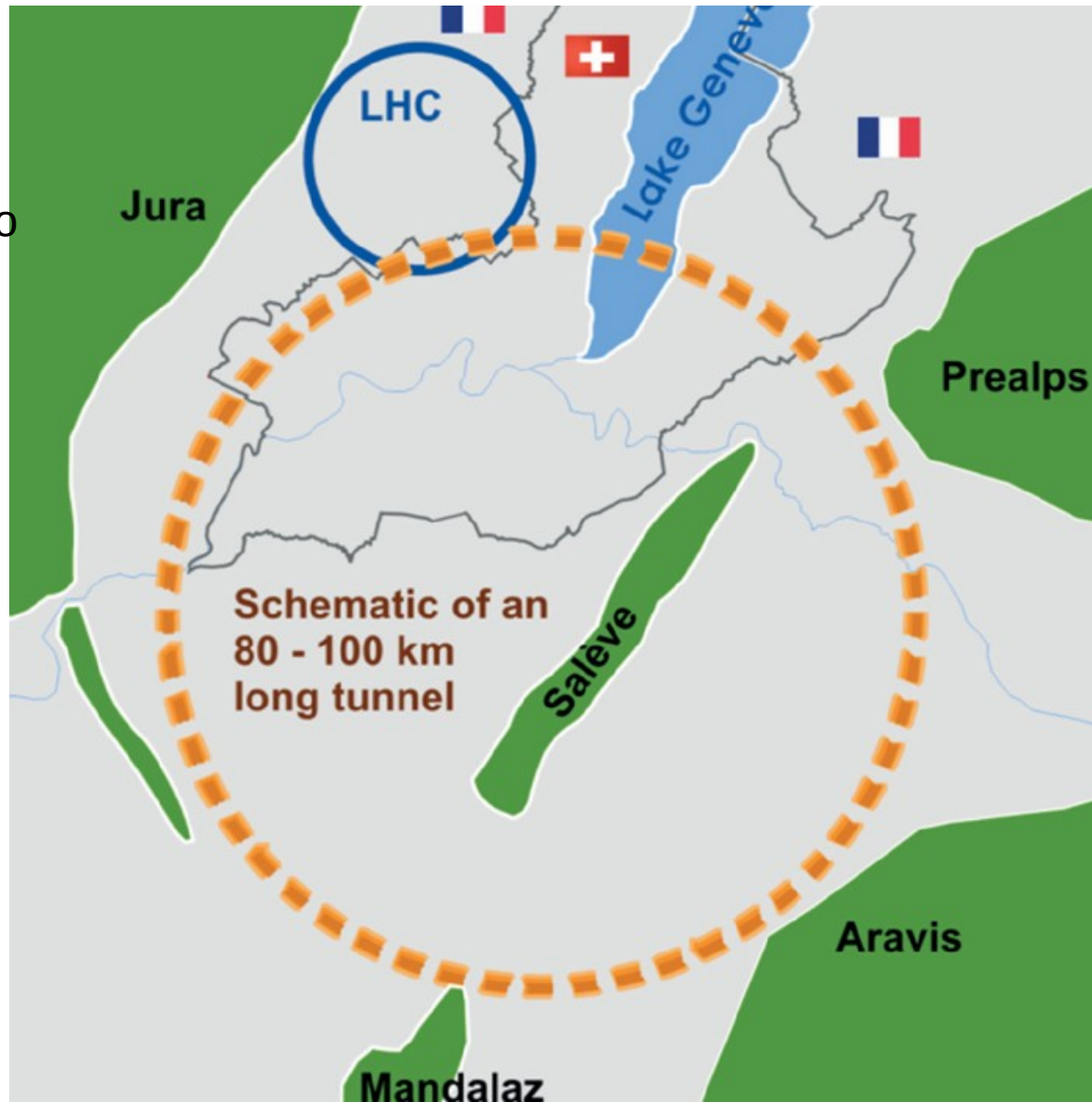


LHC буде оновлено до High Luminosity LHC (HL-LHC) к 2029 року, щоб збирати в 10-15 разів більше даних

Колаборації ATLAS, CMS, LHCb, ALICE об'єднують 1000-5000 науковців, з яких близько 10-20 на експеримент – з України.

Прискорювачі майбутнього

Тривають дискусії щодо нового 100-кілометрового кільця Майбутній круговий колайдер (Future Circular Collider, FCC), яке може досягти
90-350 GeV (e^+e^-) ~2048
100 TeV (pp) ~2060-2080



Українські вчені-новатори у фізиці елементарних частинок



Векслер (Житомир, 1907) і МакМіллан: налаштування частоти прикладеної напруги до частоти обертових протонів, дозволила прискорити протони до кількох сотень MeV.



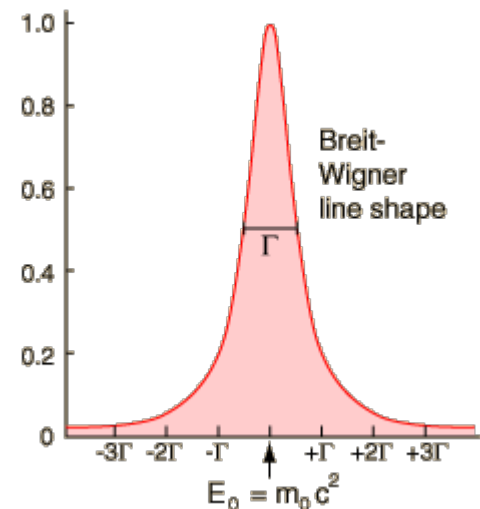
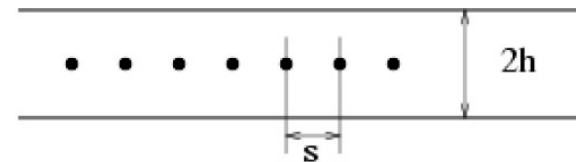
Г. Будкер (Мурафа, Вінницька обл., 1918) запропонував експерименти на зустрічних пучках.

Грегори Брейт (Миколаїв, 1899)
Релятивістський розподіл
Брейта-Вігнера



використовується для моделювання нестабільних частинок у фізиці високих енергій.

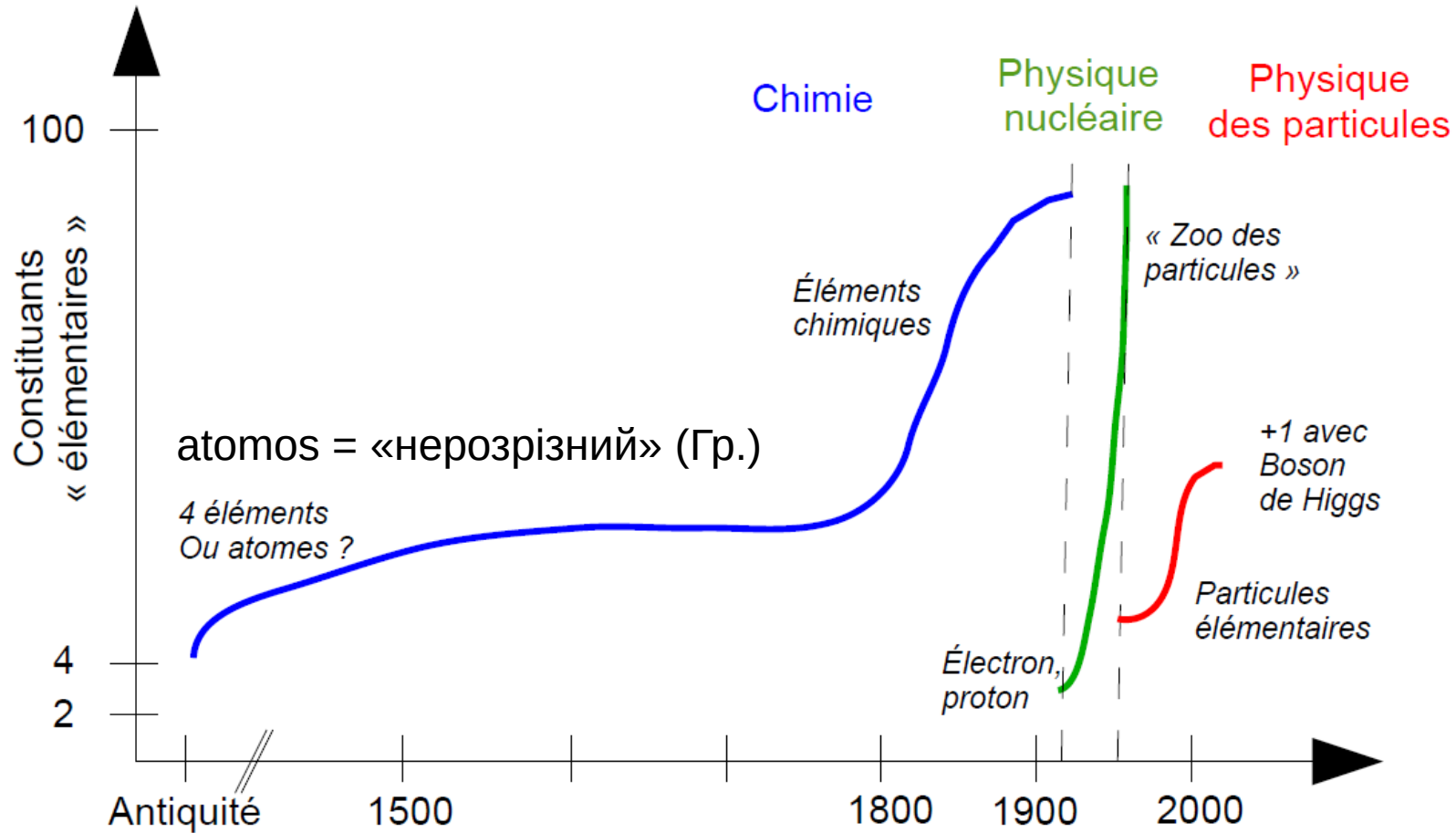
Георгій Шарпак (с. Дубровиці, нині Рівненської обл. України)
1968 Багатодротяна пропорційна камера (Нобелівська Премія 1992)

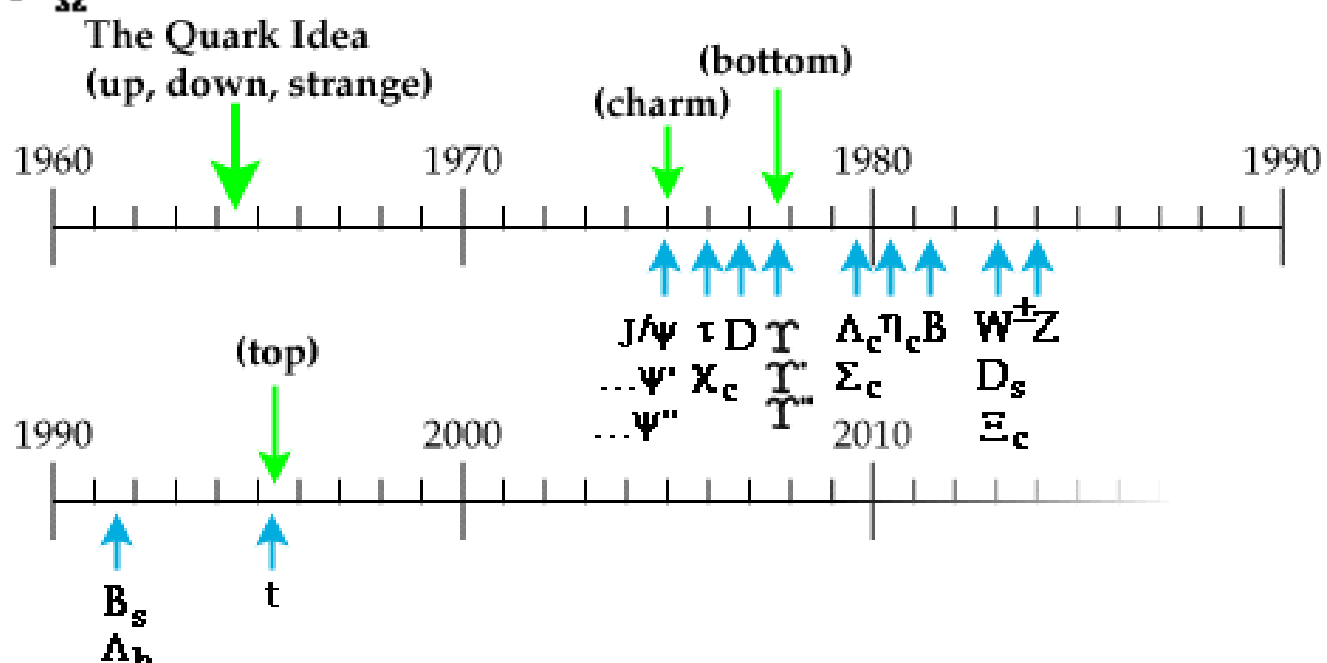
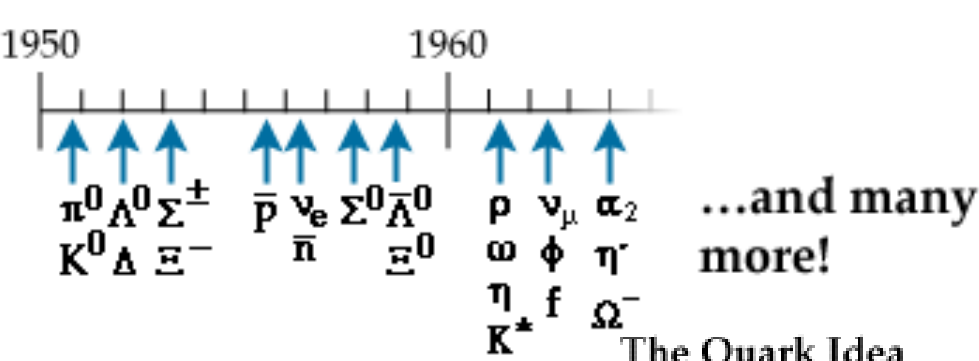
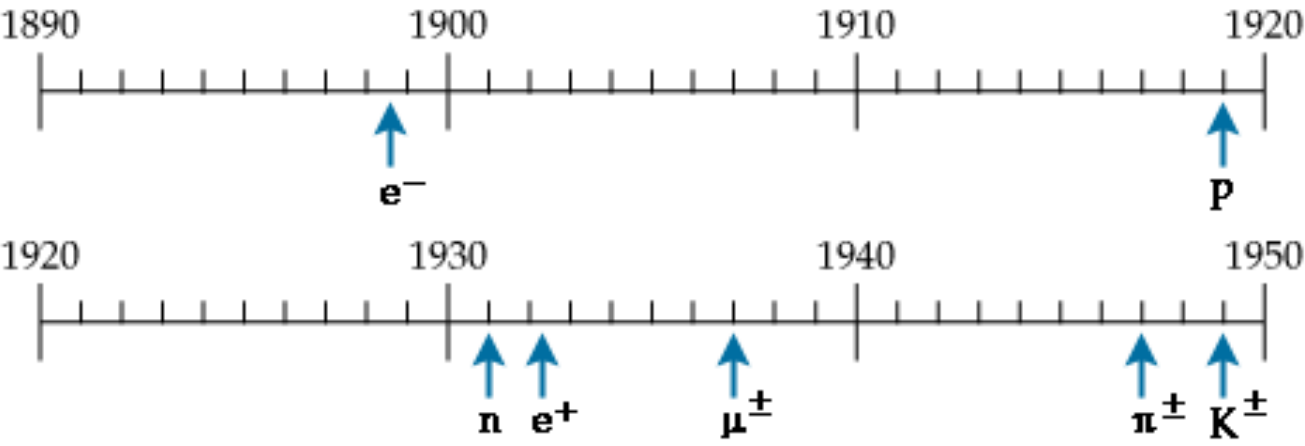


Дякую за увагу !

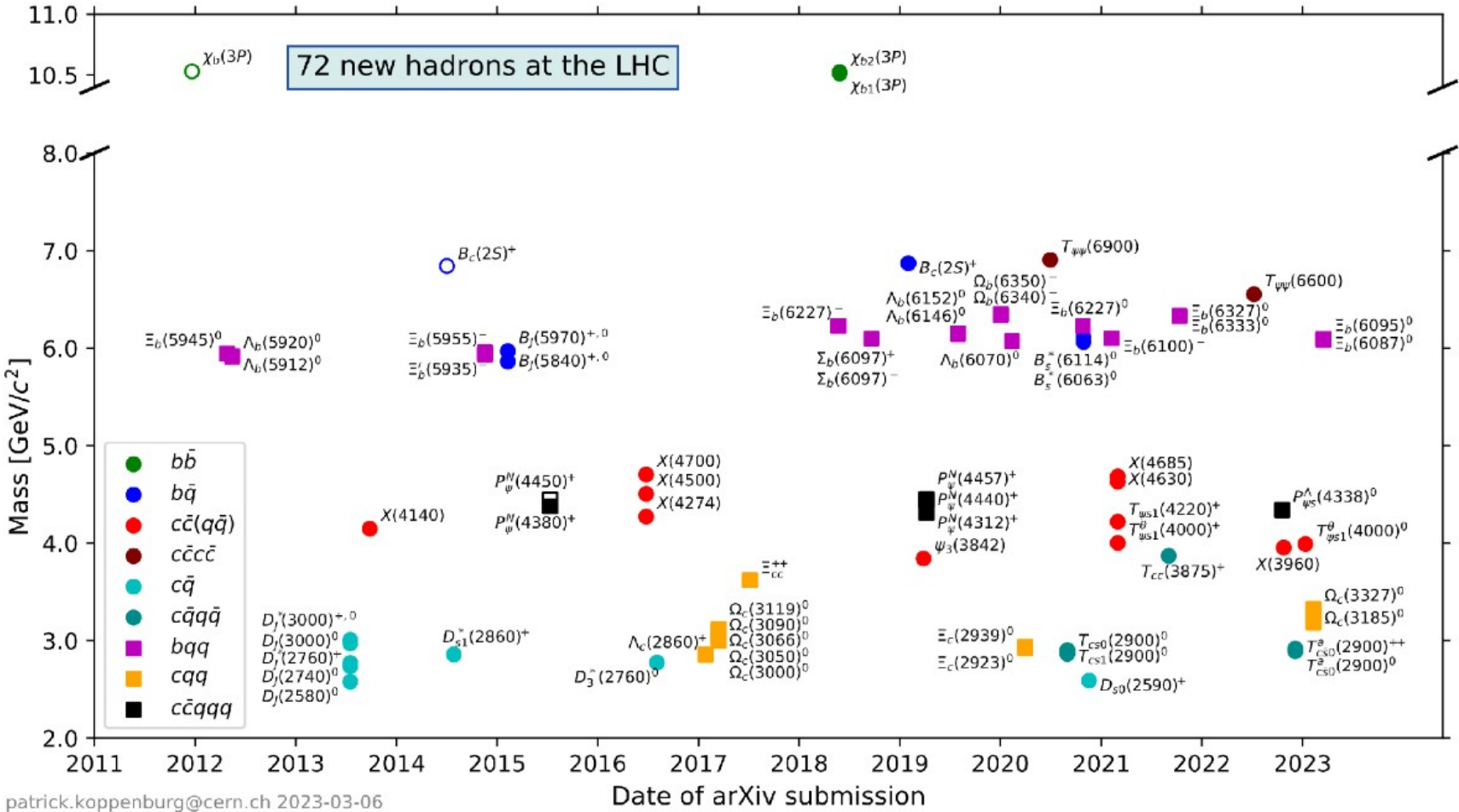
Backups

Мікросвіт - будівельні блоки





Нові відкриття на LHC



LHCb collaboration, P. Koppenburg, List of hadrons observed at the LHC, LHCb-FIGURE-2021-001, 2021, and 2023 updates.



Paolo Gandini

CERN Seminar - 25th April 2023

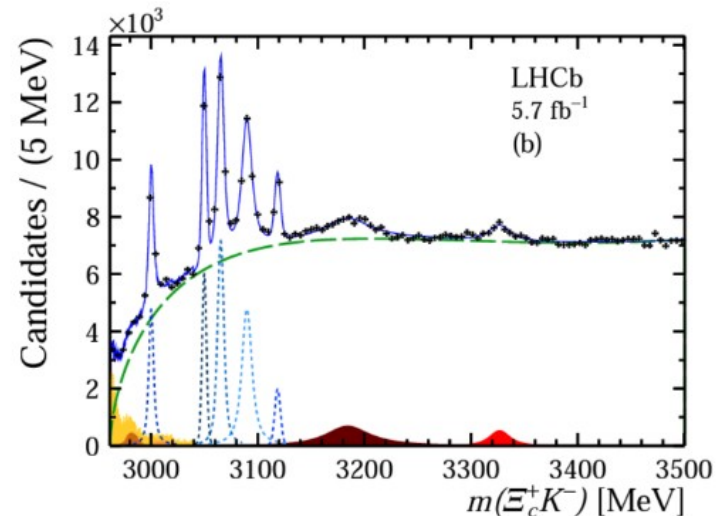
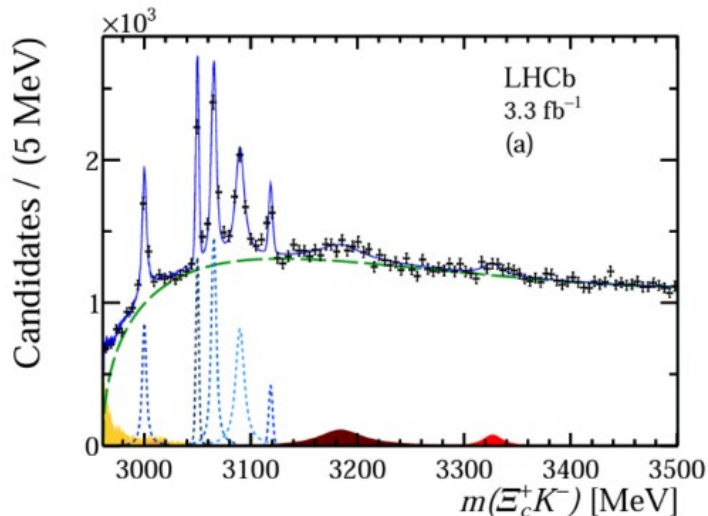
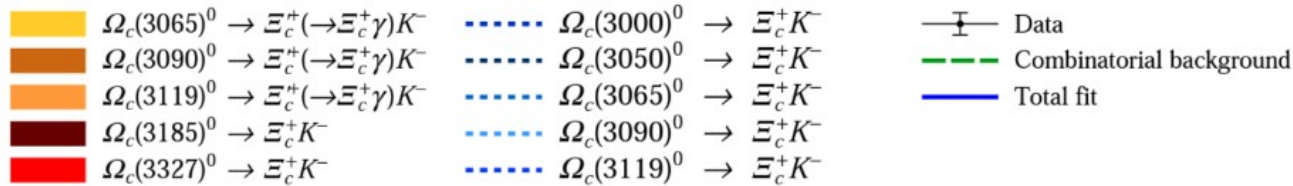
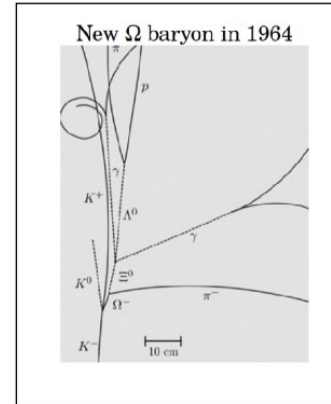
Observation of five new narrow Ω_c^0 states $\rightarrow \Xi_c^+ K^-$

2023

arXiv:2302.04733

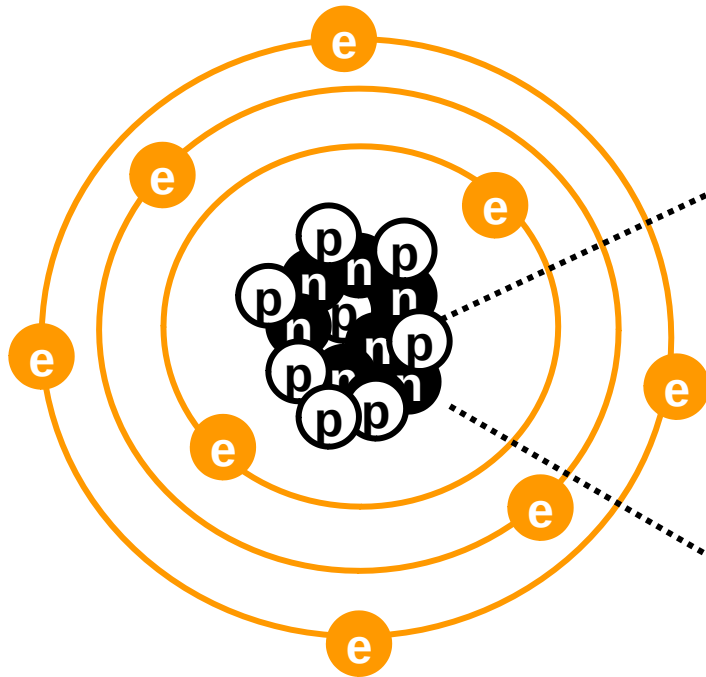
- Very recent paper with the observation of two new broad states
- Two new excited states, $\Omega_c^0(3185)0$ and $\Omega_c^0(3327)$, are observed
- Still debate on the spin-state assignment
- Several studies of possible feed-downs from higher mass resonances are considered

First observation of sss state

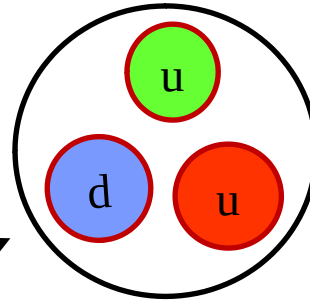


Світ навколо нас

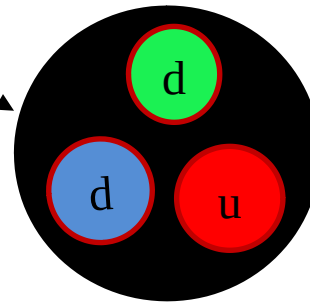
Атом Кисню



протон



нейтрон



1968: SLAC

u

up quark

1968: SLAC

d

down quark

1956: Savannah River Plant

ν_e

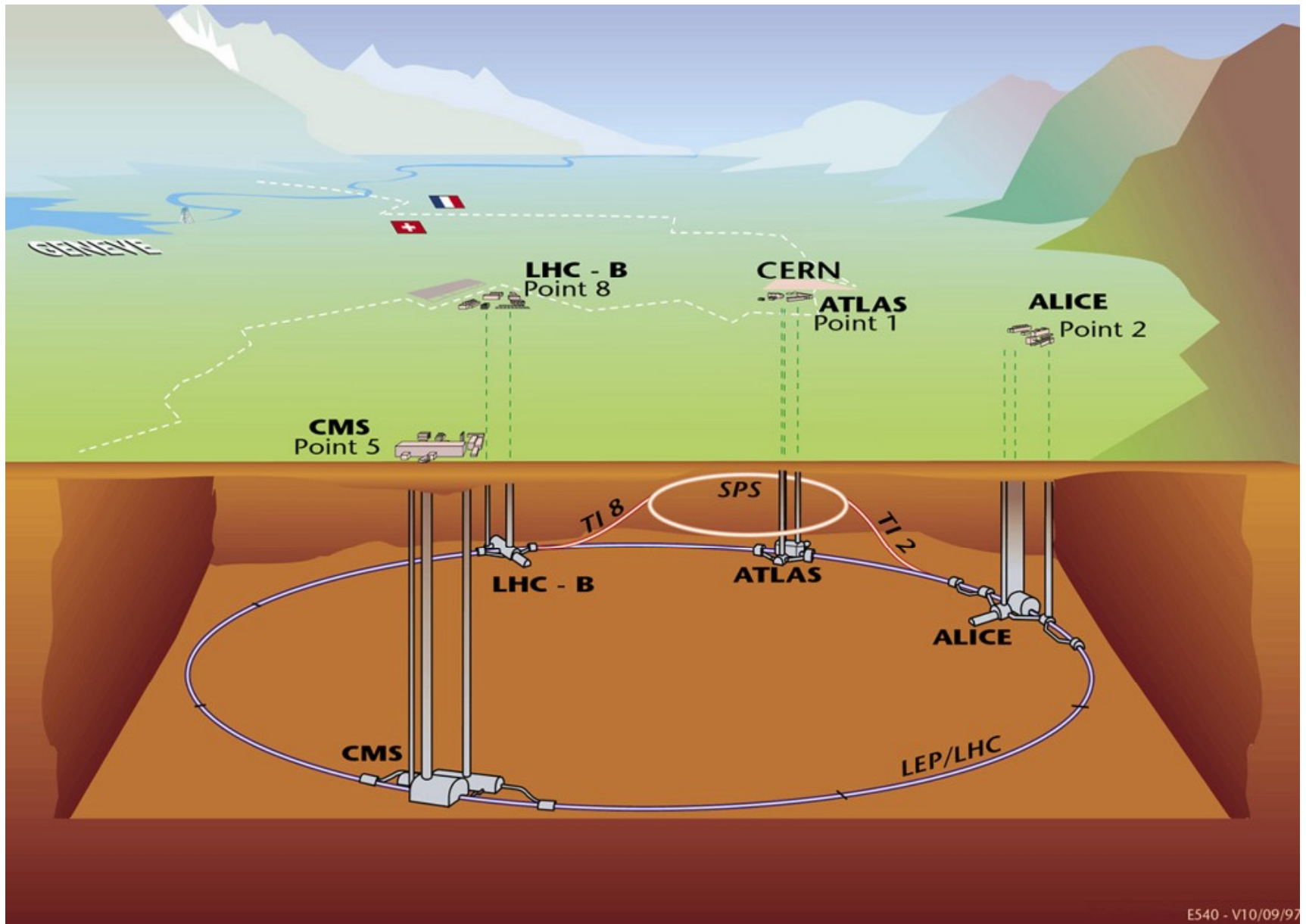
electron neutrino

1897: Cavendish Laboratory

e

electron

Великий адронный колайдер



Quantity	HEP units	SI Units
length	1 fm	10^{-15} m
energy	1 GeV	$1.602 \cdot 10^{-10}$ J
mass	1 GeV/c ²	$1.78 \cdot 10^{-27}$ kg
$\hbar = h/2\pi$	$6.588 \cdot 10^{-25}$ GeV s	$1.055 \cdot 10^{-34}$ Js
c	$2.988 \cdot 10^{23}$ fm/s	$2.988 \cdot 10^8$ m/s
$\hbar c$	0.1973 GeV fm	$3.162 \cdot 10^{-26}$ Jm

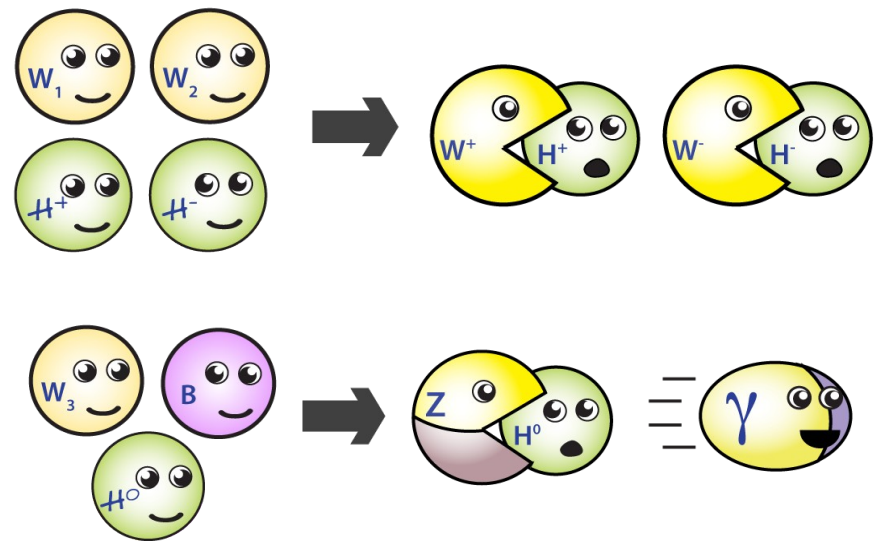
Natural units ($\hbar = c = 1$)

mass	1 GeV
length	$1 \text{ GeV}^{-1} = 0.1973 \text{ fm}$
time	$1 \text{ GeV}^{-1} = 6.59 \cdot 10^{-25} \text{ s}$

Порушення електрослабкої симетрії



Чому бозони W і Z мають масу, а фотон безмасовий?



<https://www.quantumdiaries.org/2011/11/21/why-do-we-expect-a-higgs-boson-part-i-electroweak-symmetry-breaking/>

Механізм Хіггса підтверджено відкриттям бозона Хіггса в 2012 році.