

Mit talált az LHC a Higgs-bozon felfedezése óta?

Veres Gábor
ELTE TTK Fizikai Intézet

Az atomoktól a csillagokig, 226. előadás
2021. október 7.

Standard Modell

	Anyag			Antianyag			Kölcsönhatás		
QUARKS	mass charge spin	$\approx 2.2 \text{ MeV}/c^2$ $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$	$\approx 1.28 \text{ GeV}/c^2$ $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$	$\approx 173.1 \text{ GeV}/c^2$ $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$	$\approx 2.2 \text{ MeV}/c^2$ $-\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$	$\approx 1.28 \text{ GeV}/c^2$ $-\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$	$\approx 173.1 \text{ GeV}/c^2$ $-\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$	0 0 1	$\approx 124.97 \text{ GeV}/c^2$ 0 0
		u up	c charm	t top	\bar{u} antiup	\bar{c} anticharm	\bar{t} antitop	g gluon	H higgs
		$\approx 4.7 \text{ MeV}/c^2$ $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$	$\approx 96 \text{ MeV}/c^2$ $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$	$\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$ $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$	$\approx 4.7 \text{ MeV}/c^2$ $\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$	$\approx 96 \text{ MeV}/c^2$ $\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$	$\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$ $\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$	0 0 1	
		d down	s strange	b bottom	\bar{d} antidown	\bar{s} antistrange	\bar{b} antibottom	γ photon	
		$\approx 0.511 \text{ MeV}/c^2$ -1 $\frac{1}{2}$	$\approx 105.66 \text{ MeV}/c^2$ -1 $\frac{1}{2}$	$\approx 1.7768 \text{ GeV}/c^2$ -1 $\frac{1}{2}$	$\approx 0.511 \text{ MeV}/c^2$ 1 $\frac{1}{2}$	$\approx 105.66 \text{ MeV}/c^2$ 1 $\frac{1}{2}$	$\approx 1.7768 \text{ GeV}/c^2$ 1 $\frac{1}{2}$	$\approx 91.19 \text{ GeV}/c^2$ 0 1	
		e electron	μ muon	τ tau	e^+ positron	$\bar{\mu}$ antimuon	$\bar{\tau}$ antitau	Z Z ⁰ boson	
LEPTONS	$< 2.2 \text{ eV}/c^2$ 0 $\frac{1}{2}$	$< 0.17 \text{ MeV}/c^2$ 0 $\frac{1}{2}$	$< 18.2 \text{ MeV}/c^2$ 0 $\frac{1}{2}$	$< 2.2 \text{ eV}/c^2$ 0 $\frac{1}{2}$	$< 0.17 \text{ MeV}/c^2$ 0 $\frac{1}{2}$	$< 18.2 \text{ MeV}/c^2$ 0 $\frac{1}{2}$	$\approx 80.39 \text{ GeV}/c^2$ 1 1	$\approx 80.39 \text{ GeV}/c^2$ -1 1	
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	$\bar{\nu}_e$ electron antineutrino	$\bar{\nu}_\mu$ muon antineutrino	$\bar{\nu}_\tau$ tau antineutrino	W^+ W ⁺ boson	W^- W ⁻ boson	

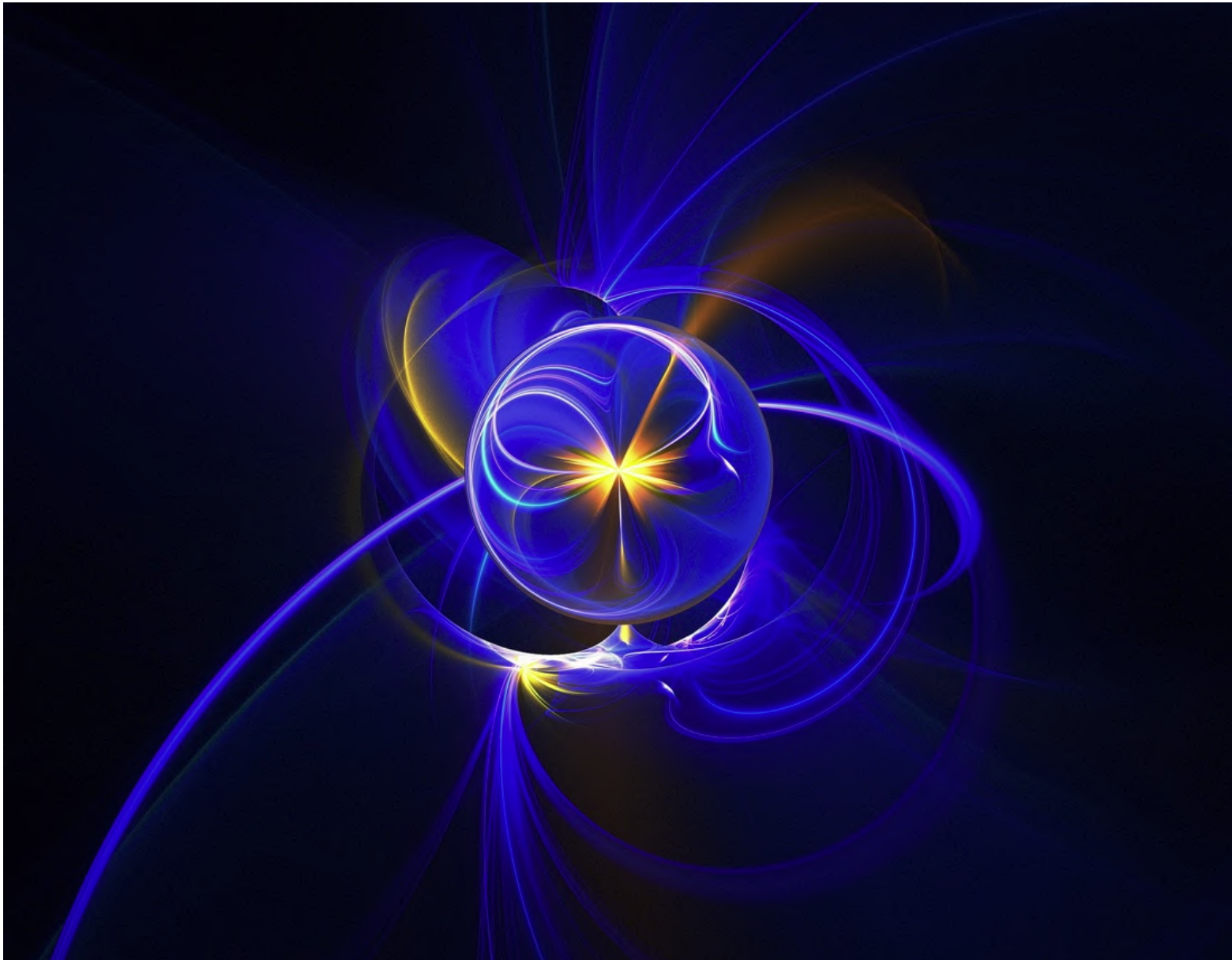
GAUGE BOSONS
VECTOR BOSONS

SCALAR BOSONS

Bevezetés

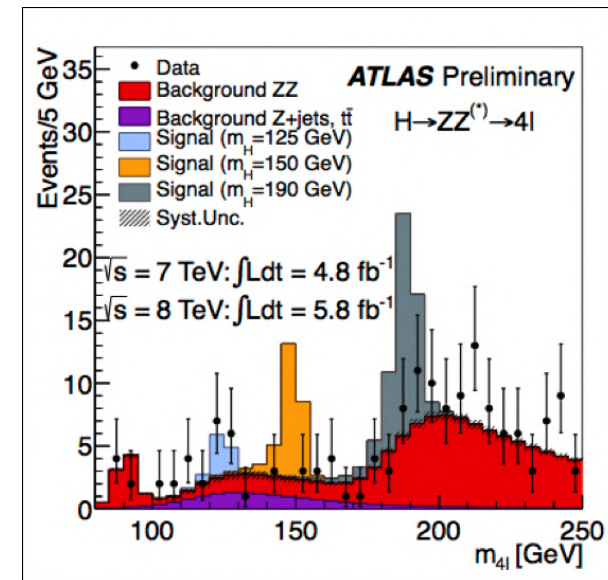
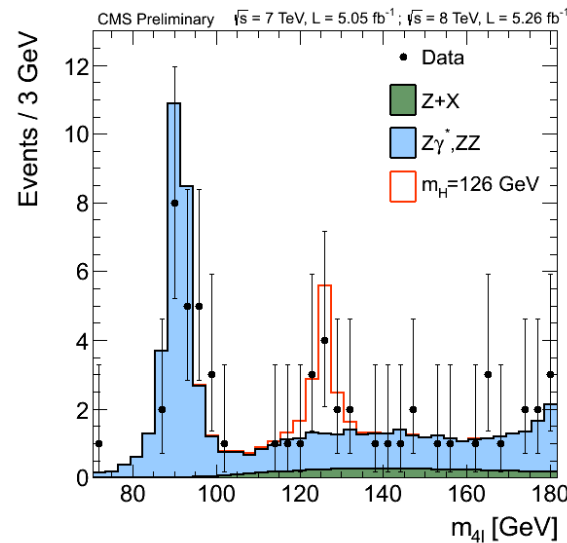
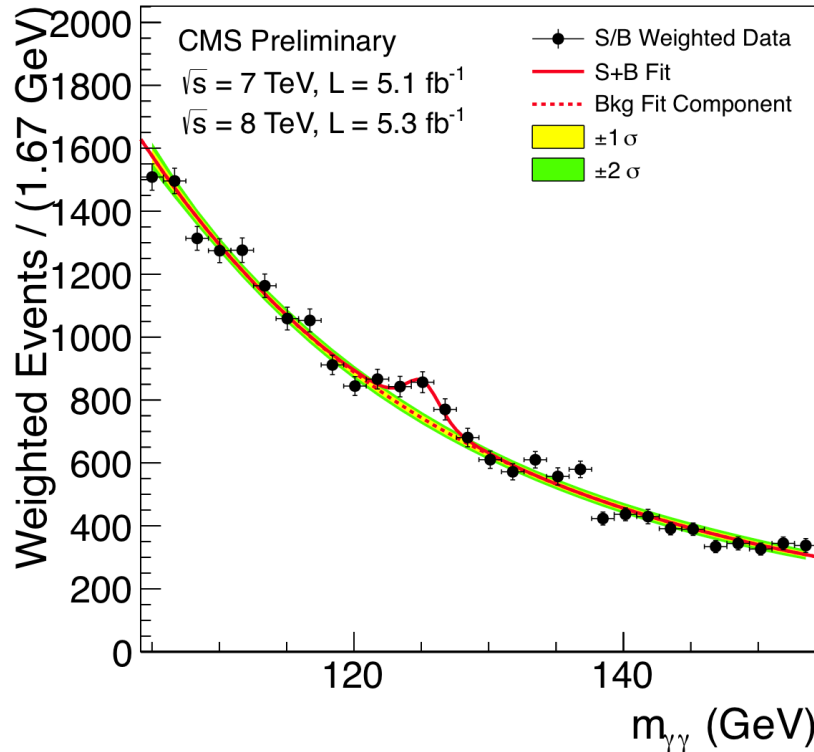
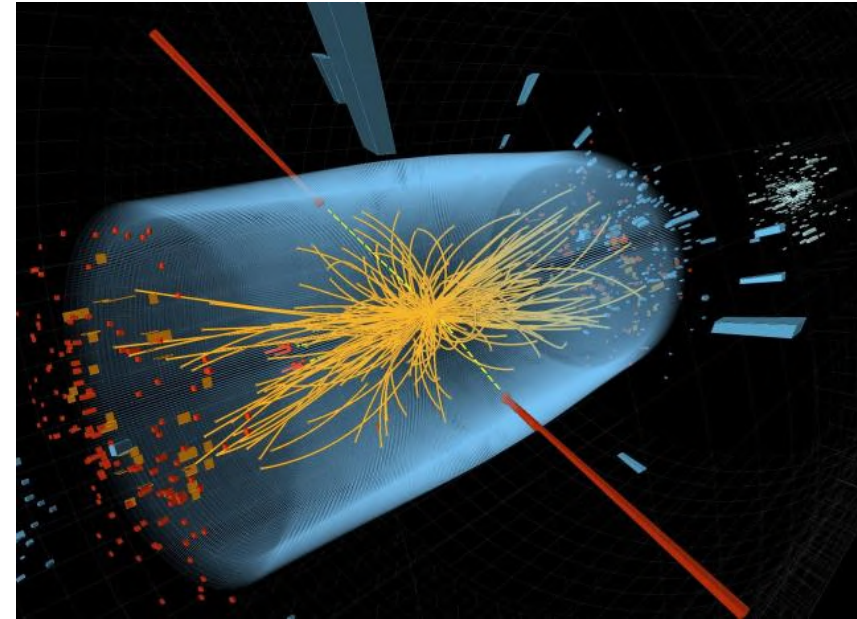
- **A Standard Modell nem teljes**
 - Sötét anyagot nem alkotják az ismert részecskék
 - A Higgs bozon meglepően kis tömege
 - Kölcsönhatások egyesítése nagy energián
- **Az LHC az elmúlt 9 évben rengeteg eredményt produkált:**
 - A Higgs részecske tulajdonságai
 - A Standard Modell pontosabb megismerése
 - Új jelenségek ismert részecskékkel
 - A Standard Modell tesztelése
 - Új részecskék felfedezése
 - Új részecskék keresése

1) A Higgs részecske



A Higgs részecske felfedezése

- $H \rightarrow \gamma\gamma$
- $H \rightarrow ZZ \rightarrow \mu^+ \mu^- \mu^+ \mu^-$

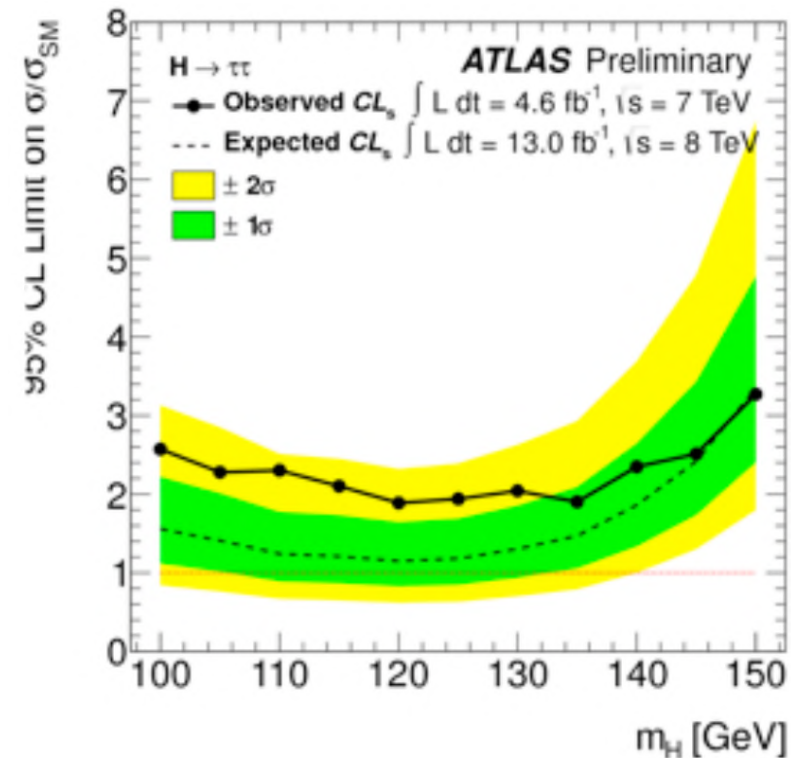


CMS és ATLAS kísérlet, 2012. júl 4.

Az új skalár bozon = Higgs bozon?

- **Standard Modell Higgs: spinje 0, semleges, csatolása a fermionokhoz arányos a tömegükkel...**
- **σ/σ_{SM} limitek:**

	observed	expected
$VH \rightarrow Vb\bar{b}$	1.8	1.9
$t\bar{t}H, H \rightarrow b\bar{b}$	13.1	10.5
$H \rightarrow \tau^+\tau^-$	1.9	1.2
$H \rightarrow \mu^+\mu^-$	9.8	8.2



Nobel-díj a Higgs mechanizmusról

**François Englert
és Peter W. Higgs**



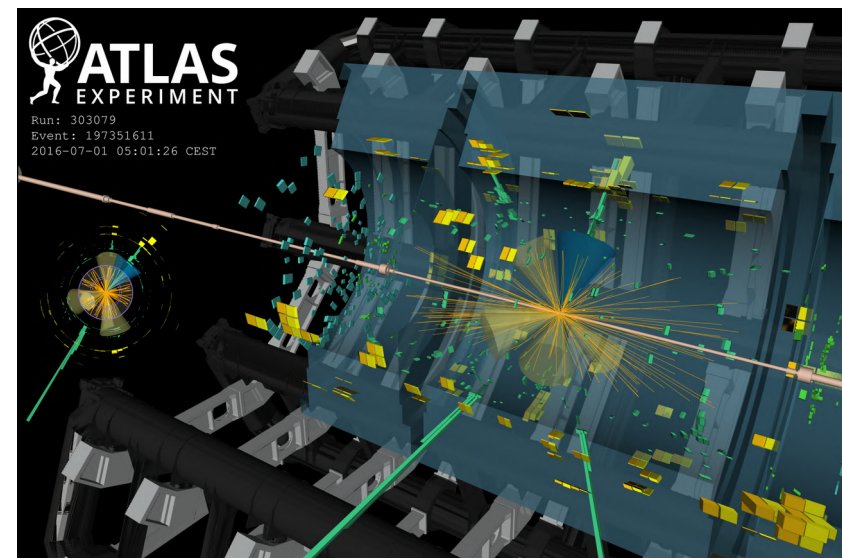
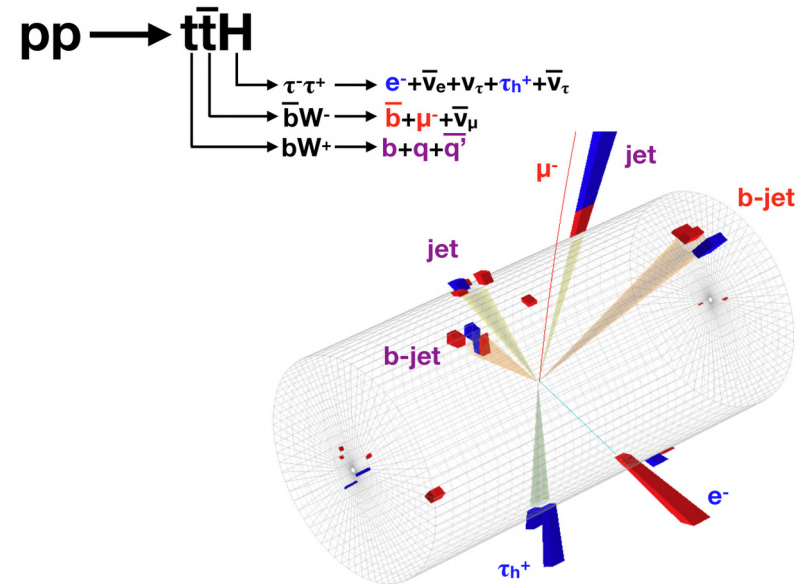
2013. okt.

A Higgs bozon és top kvark

- Top kvark pár keletkezése a H mellett
- $t\bar{t}H$ csatolás direkt mérése
- Csak 1% keletkezik így
- Az eredmény egyezik a Standard Modellel
- Több mint 5σ szignifikancia

<https://arxiv.org/abs/1804.02610>

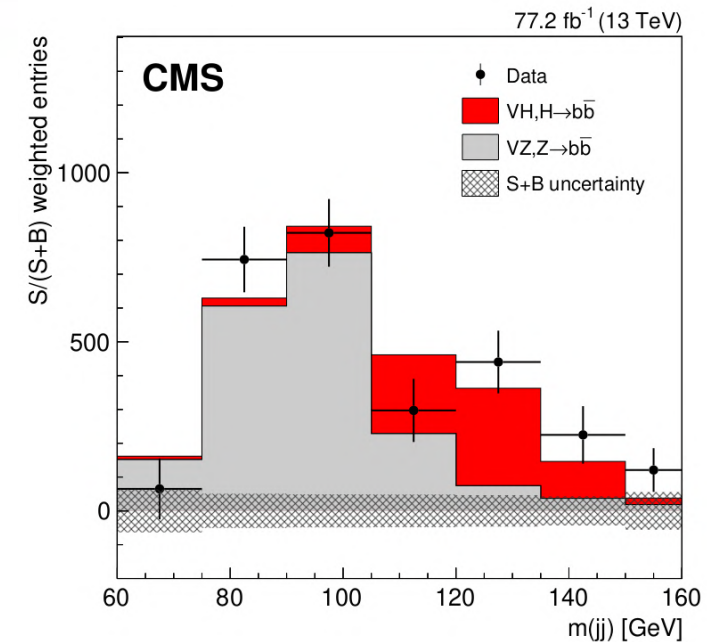
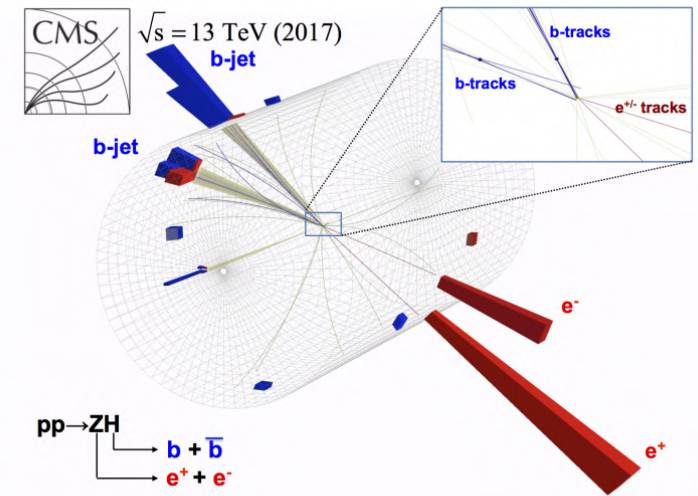
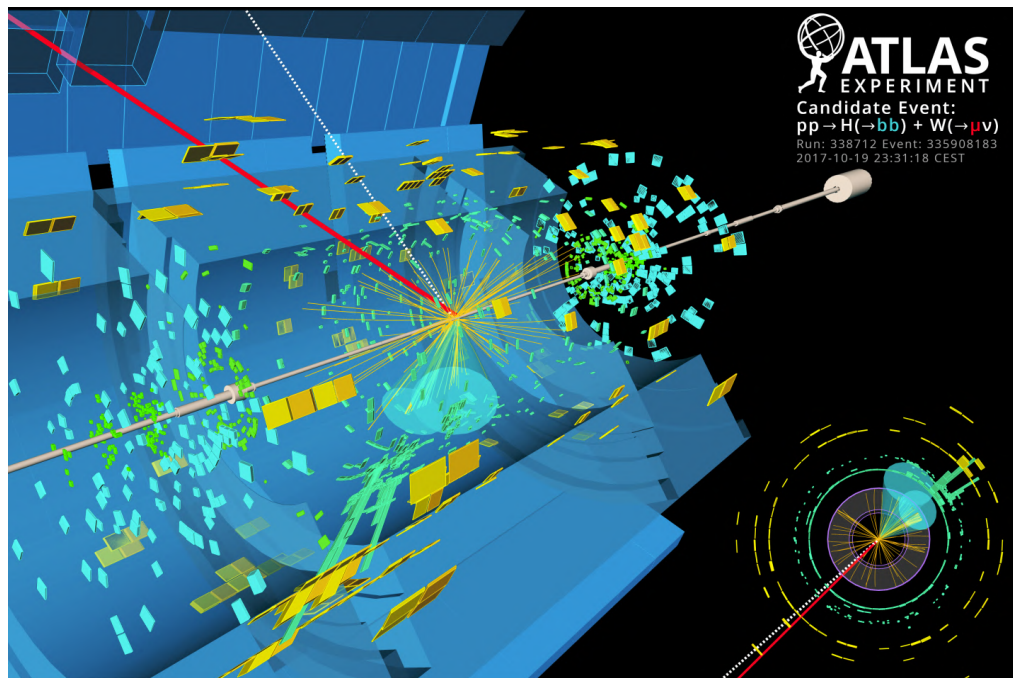
<https://arxiv.org/abs/1806.00425>



CMS és ATLAS kísérlet, 2018. jún. 4.

A Higgs bozon bomlása b kvarkokra

- A b kvark tömegét is a H adja
- A H bomlások 60%-a így történik!
- Óriási háttér
- Több mint 5σ szignifikancia



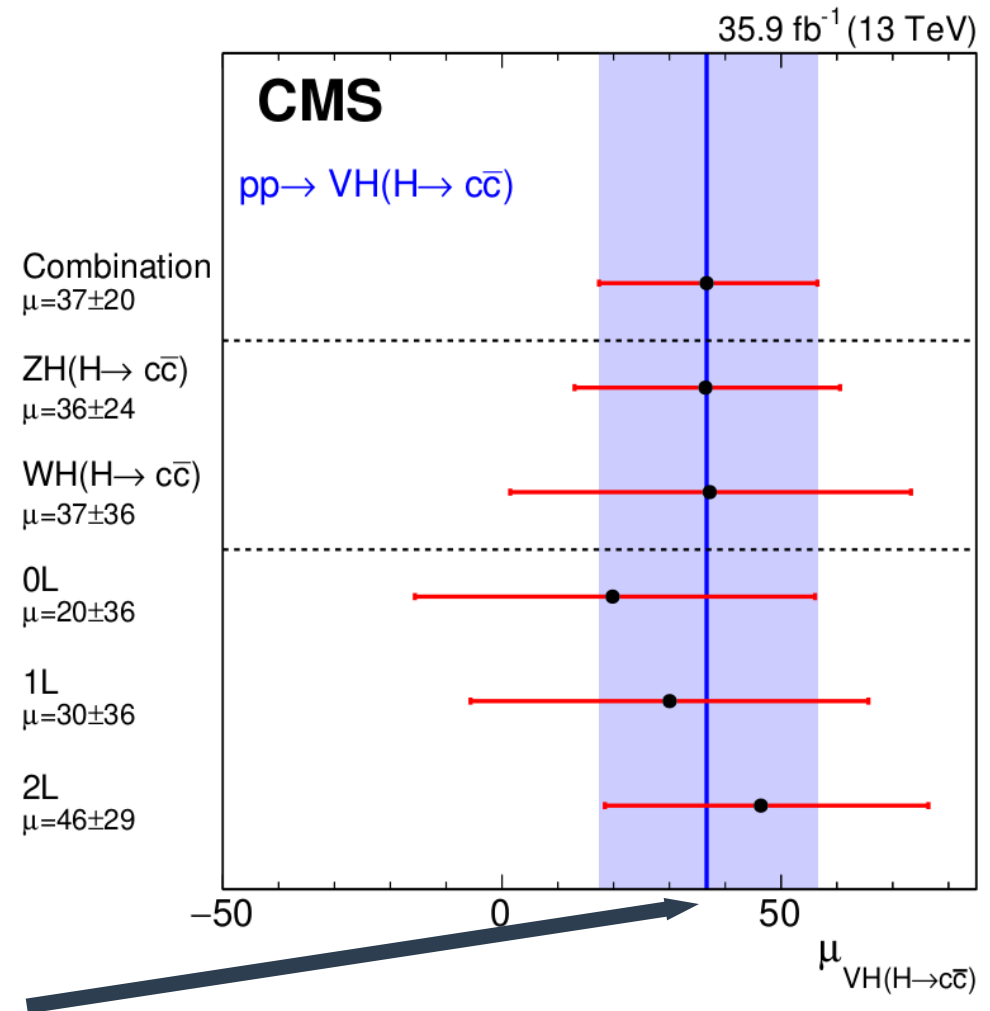
<https://arxiv.org/abs/1808.08242>

<https://arxiv.org/abs/1808.08238>

CMS és ATLAS kísérlet, 2018. aug. 28.

A Higgs bozon bomlása c kvarkokra

- **H+(W vagy Z) keletkezés keresése, ahol $H \rightarrow c\bar{c}$**
- **A bájos kvark által létrehozott jet-eket azonosítani kell**
 - Nagy impulzusú H esetén ezek össze is olvadhatnak
- **(Kis többlet miatt a jelerősség nagyobb mint 1, de kompatibilis vele)**

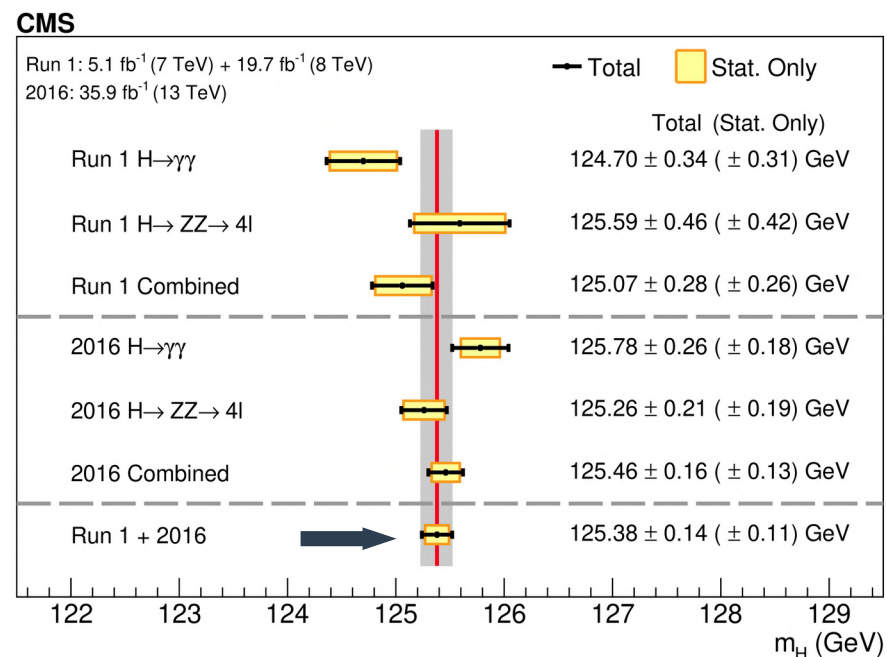
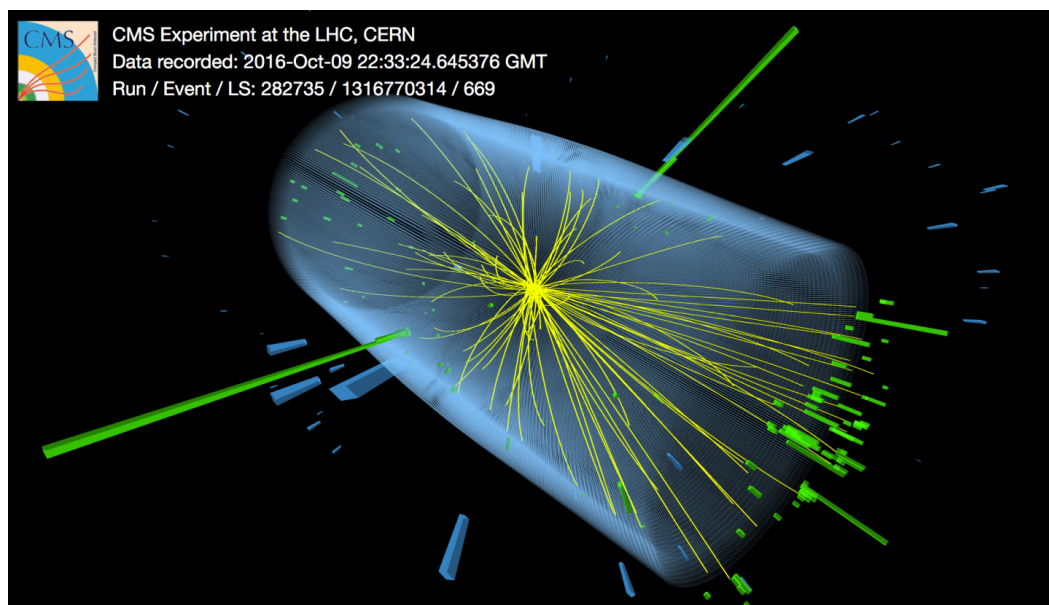


<https://arxiv.org/abs/1912.01662>

CMS kísérlet, 2019. júl. 15.

A Higgs bozon tömege

- A H tömege kapcsolatban van az önkölcsönhatásának erősségével
- Mindkettőt mérni kell a Standard Modell teszteléséhez
- **Eredmény: $125,38 \pm 0,14$ GeV, a legpontosabb mérés eddig**
- **H $\rightarrow\gamma\gamma$ és H $\rightarrow ZZ$ mérésének kombinációja**

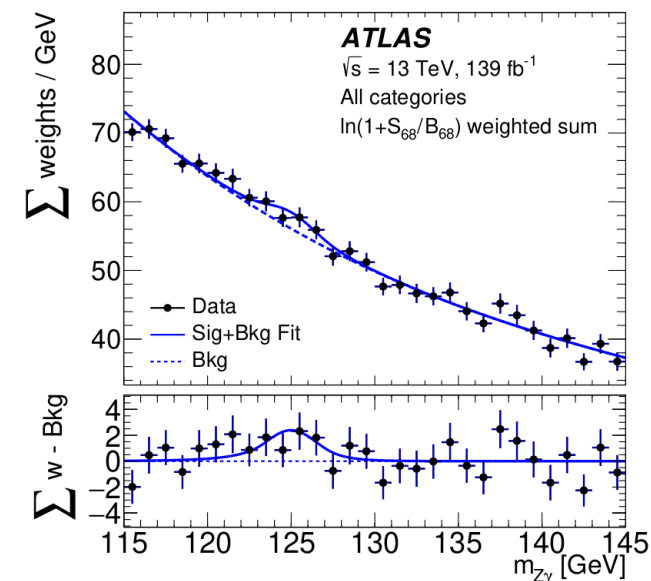
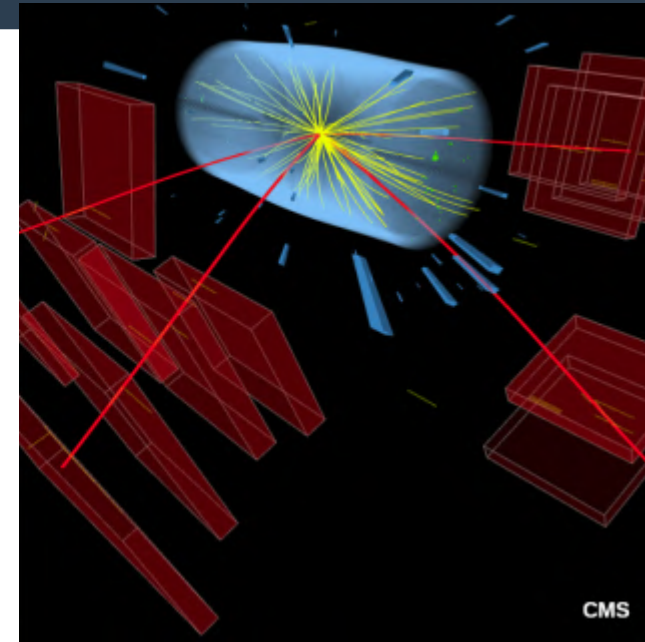


<https://arxiv.org/abs/2002.06398>

CMS kísérlet, 2019. okt. 25.

A Higgs bozon bomlása Z-re?

- Nagyon ritka bomlások:
 $H \rightarrow Z\gamma, Z\rho, Z\phi, \text{WIMPs}$
- Eredmény: kevesebb mint 0.55%, 1.9%, 0.6%, 13% bomlik így
- A limitek nagyobbak mint a Standard Modell jóslata, de érzékenyek új fizikára

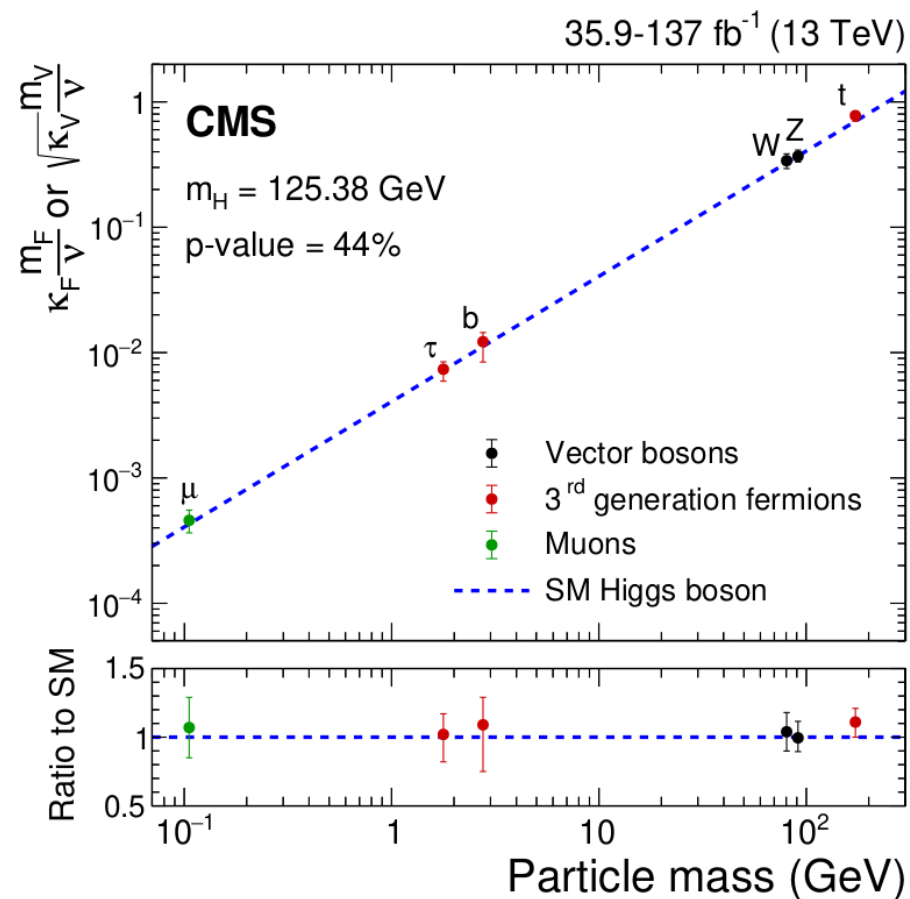
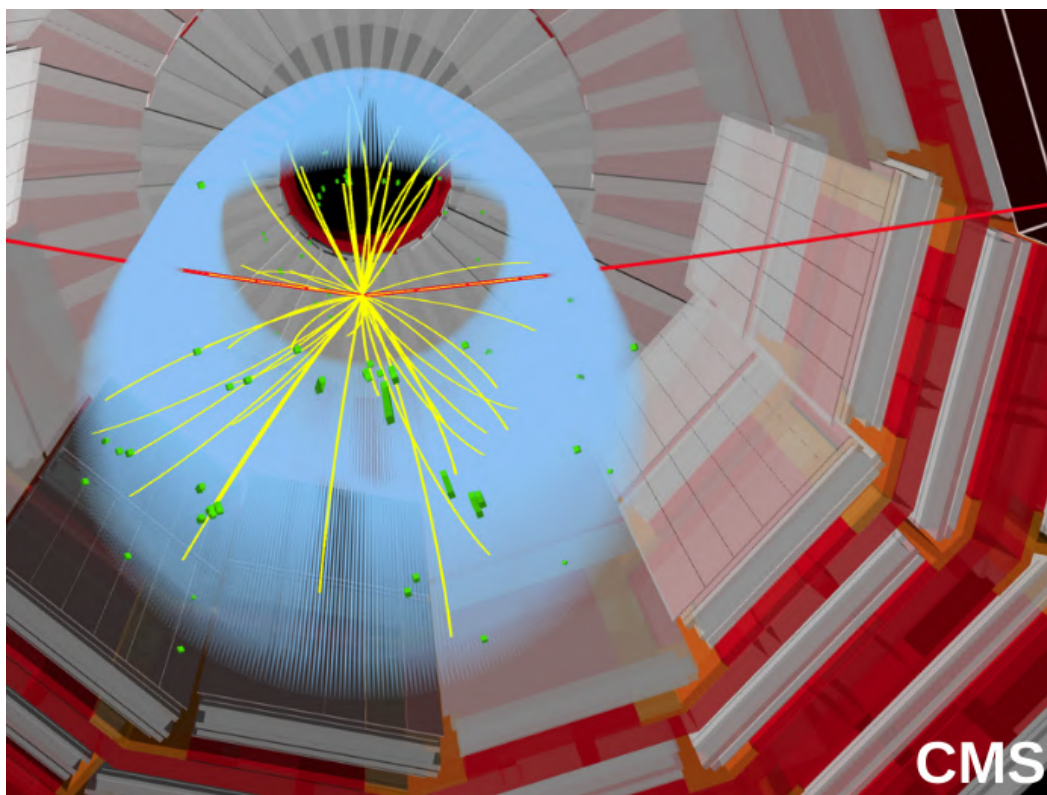


<https://arxiv.org/abs/2005.05382>
<https://arxiv.org/abs/2007.05122>

ATLAS és CMS kísérlet, 2020. jún. 4.

A Higgs bozon bomlása két müonra

- Ritka folyamat (1:5000)
- Az első utalás arra hogy a H a második generációs leptonokkal is kölcsönhat
- Több mint 3σ szignifikancia
- A müon kis tömege miatt kevésbé hat kölcsön a H bozonnal

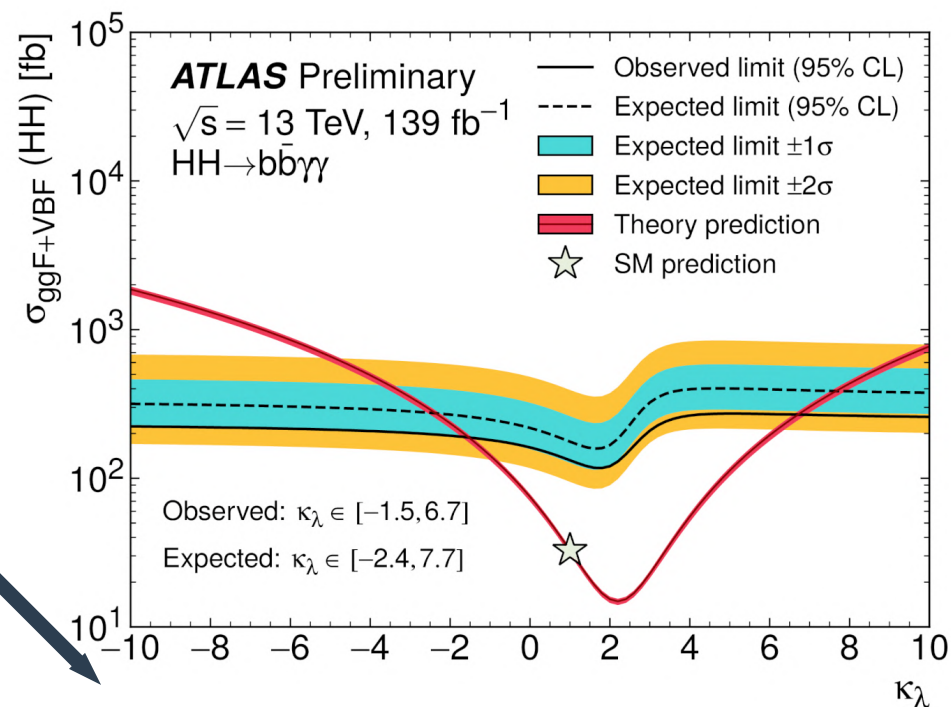
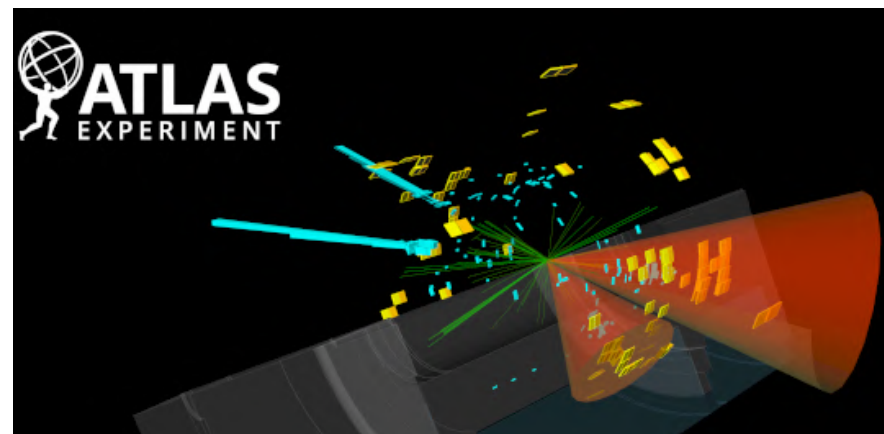


<https://arxiv.org/abs/2009.04363>

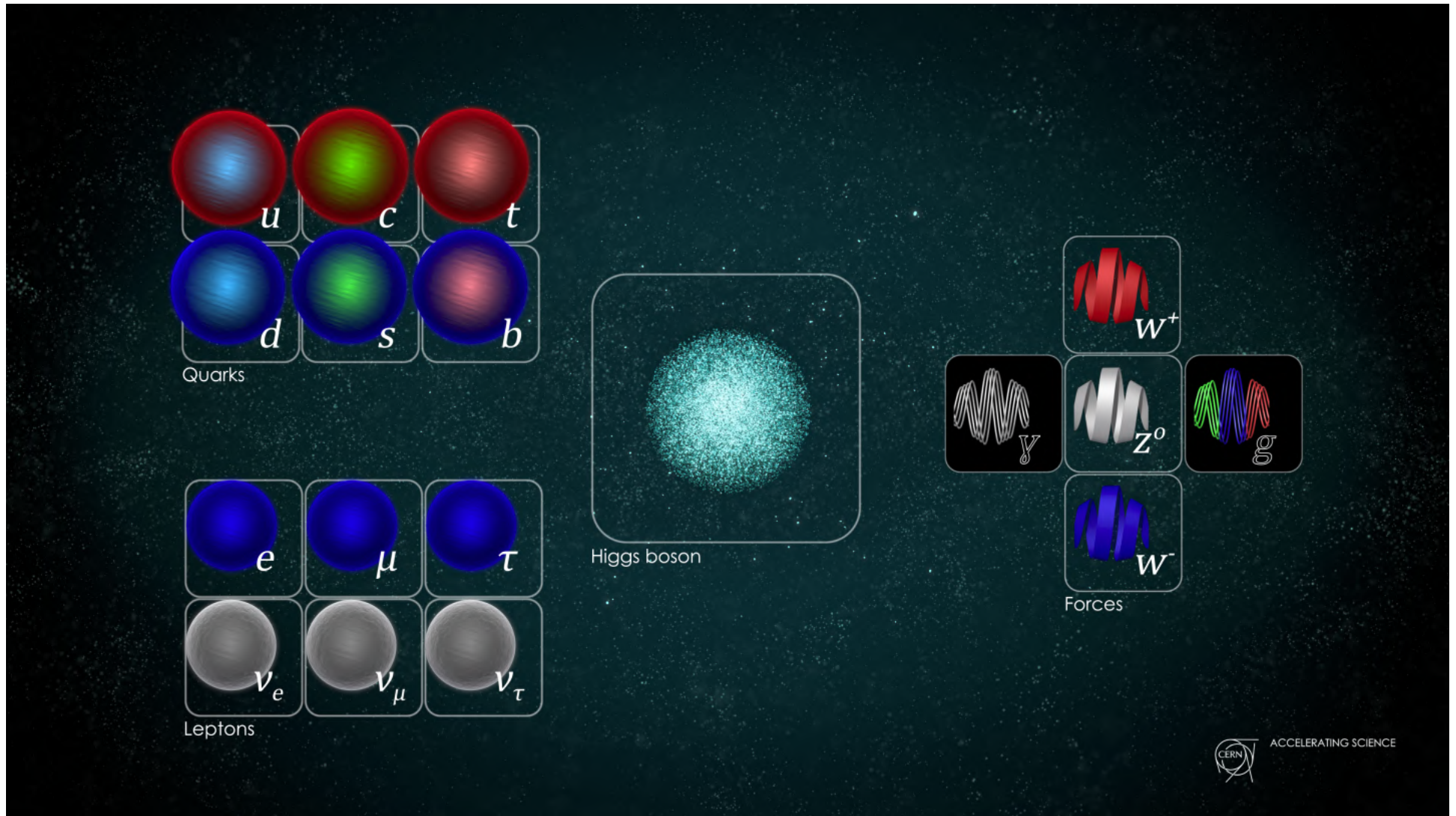
ATLAS és CMS kísérlet, 2020. aug. 3.

Higgs bozon párok keresése

- $HH \rightarrow \gamma\gamma bb$
- Ezerszer ritkább mint a H
- H csatolása saját magához
- Univerzum stabilitása
- Két gluonfúziós folyamat kvantum-interferenciája
- κ_λ : a H önkölcsönnahtás relatív erőssége
- HL-LHC fontos lesz...

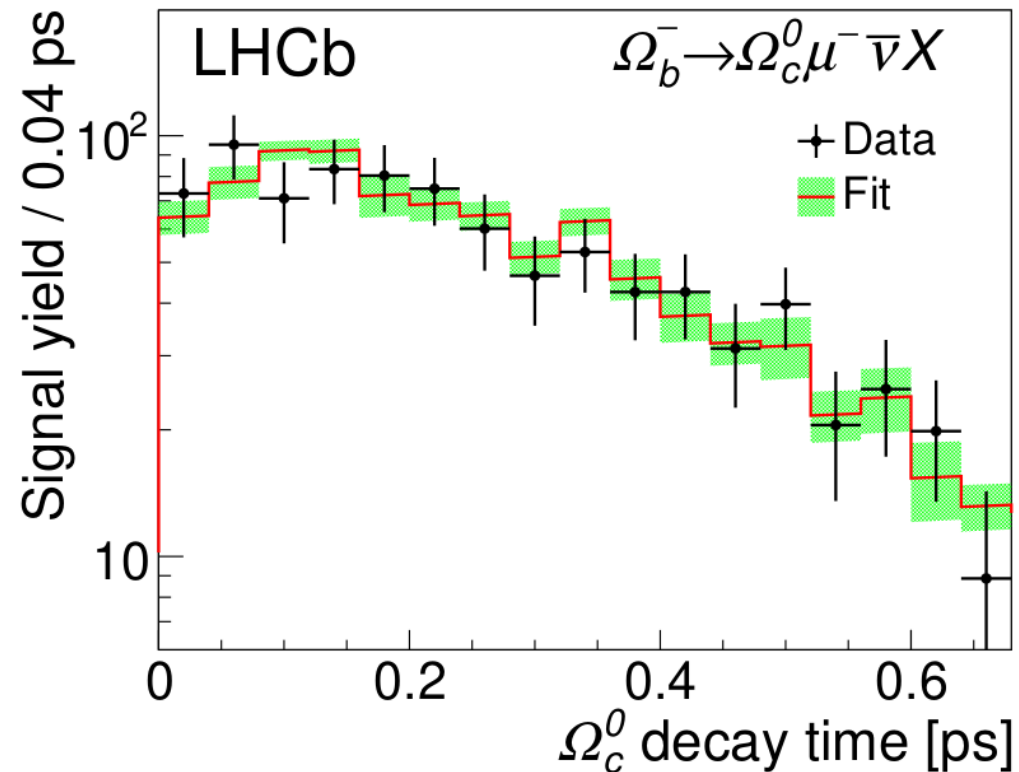


2) A Standard Modell megismerése



Bájos omega barion élettartam

- $\Omega_b^- \rightarrow \Omega_c^0 \mu^- \bar{\nu}_\mu X$ bomlás, ahol $\Omega_c^0 \rightarrow pK^- K^+ \pi^+$
- Az élettartam 4-szer nagyobb mint eddig mérték
- 1000 esemény, 268 ± 26 fs
- (régi mérések: 69 ± 12 fs)
- Elméleti jóslat (QCD): 60-520 fs



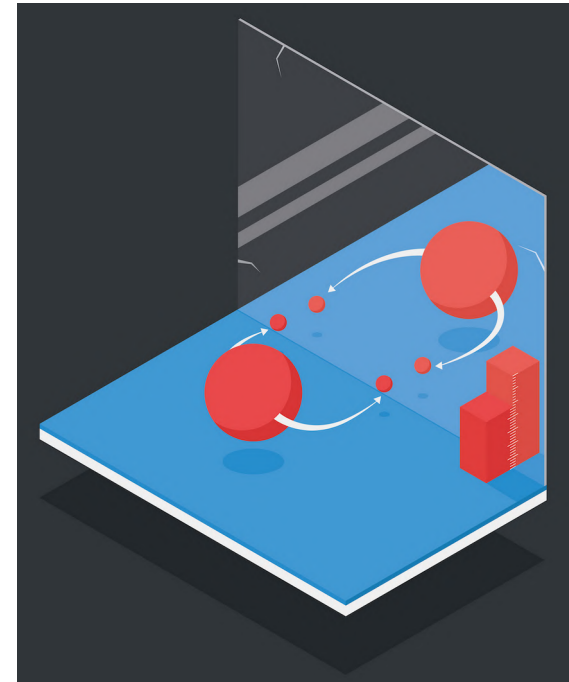
Anyag-antianyag aszimmetria

- **A $D^0(c\bar{u})$ bájos mezonoknál most először mutatták ki a CP-sértést, 5.3σ**

- K mezonoknál: 1960-as évek, BNL
- b kvarkoknál: 2001, SLAC, KEK
- CKM mátrix eredete?

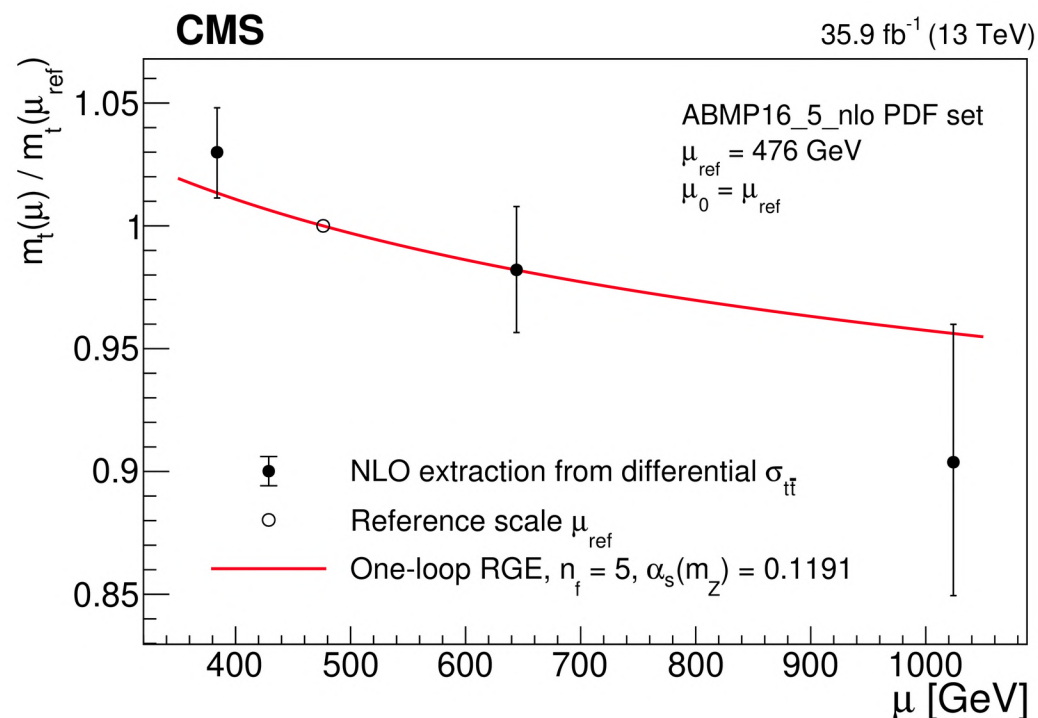
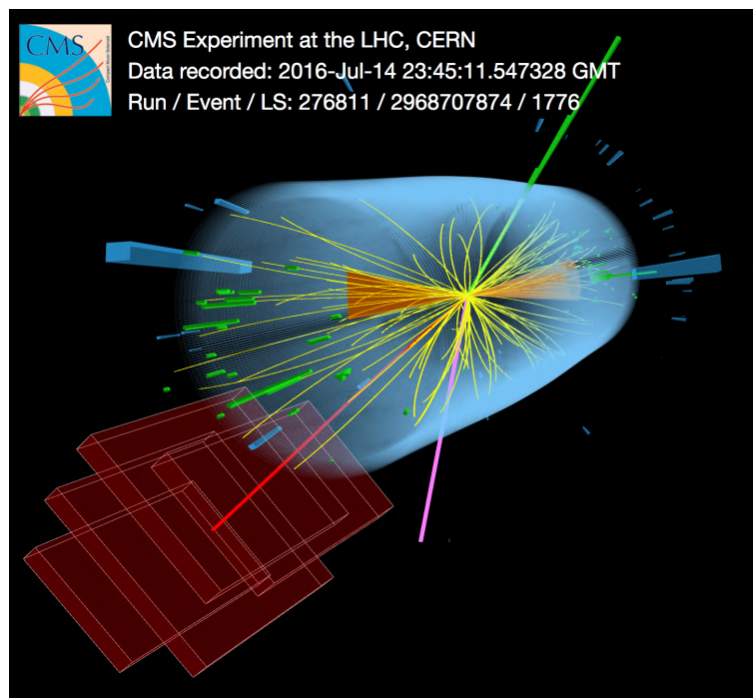
- **D^0 és \bar{D}^0 mezonok bomlási rátájának relatív különbsége:**

$$\Delta A_{CP} = (-15.4 \pm 2.9) \times 10^{-4}$$



A top (felső) kvark tömege

- **A kvantumszíndinamika jóslata:**
 - a top kvark tömege függ az energiaskálától, amin a mérés történik
- **A bájos és alsó kvarkokra is igaz ez**
 - a kísérlet korábban igazolta ezeket
- **Mérés: $t\bar{t}$ (\rightarrow jet+W) hatáskeresztmetszet három $m_{t\bar{t}}$ binben \rightarrow t tömeg**
- **Az eredmény egyezik a Standard Modellel**

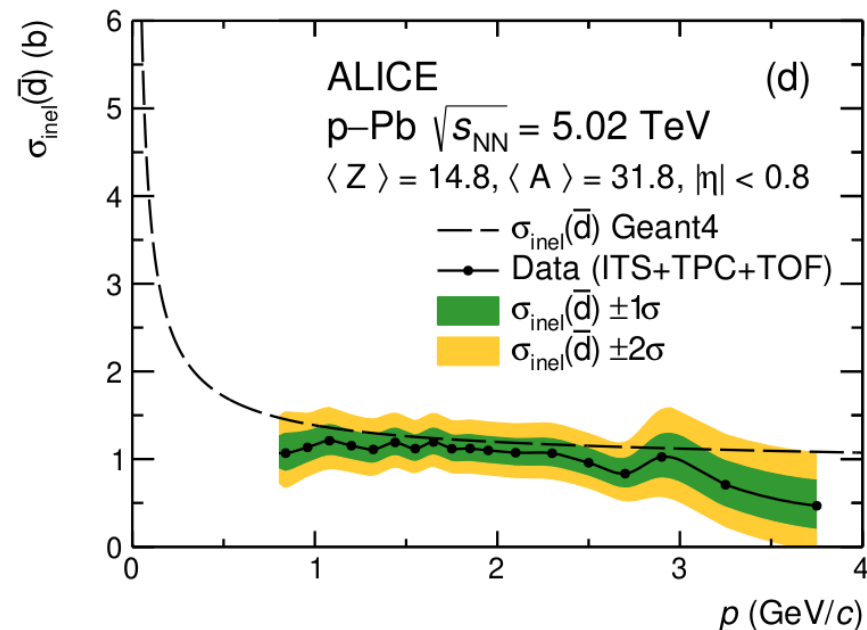
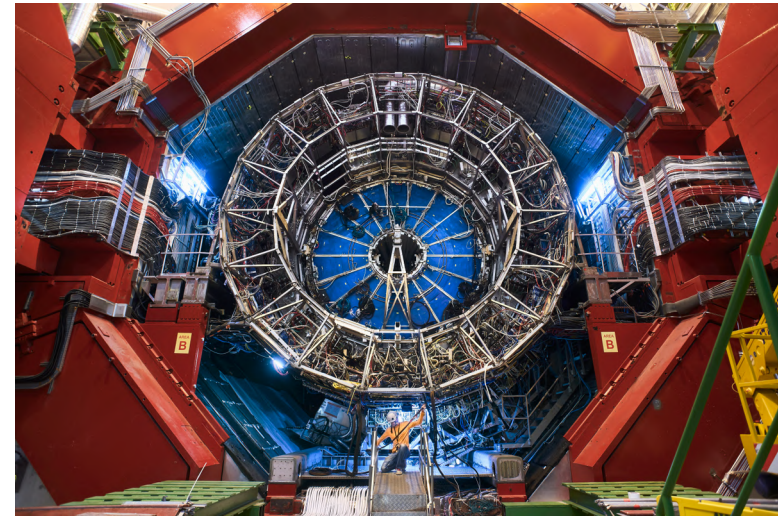


<https://arxiv.org/abs/1909.09193>

CMS kísérlet, 2019. okt. 7.

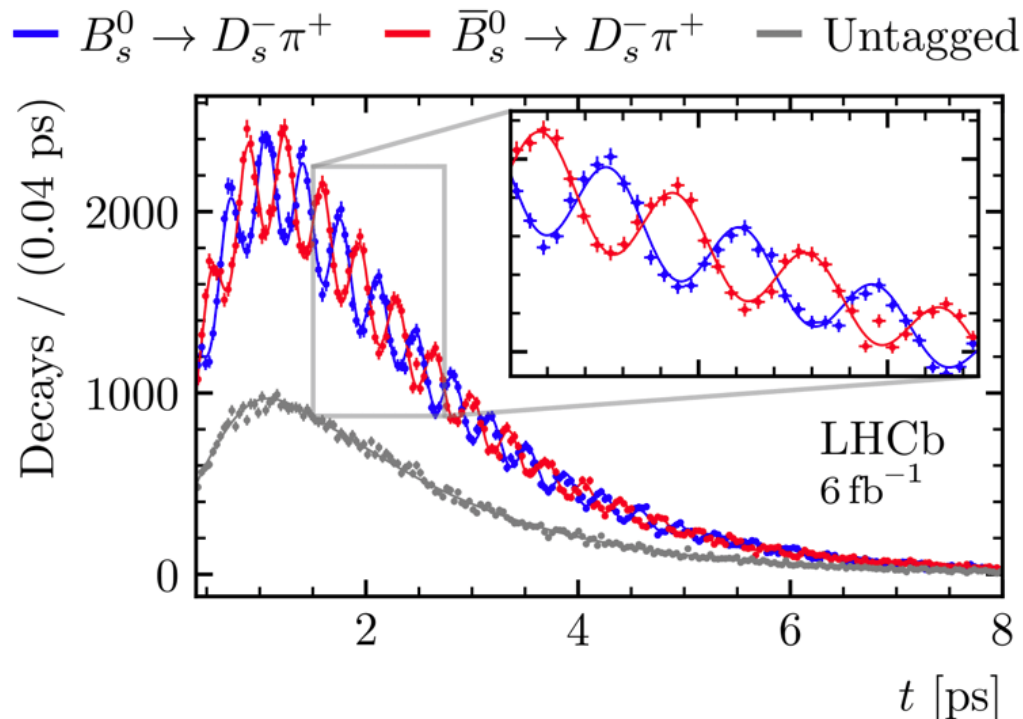
Antideuteronok

- Antiproton+antineutron
- Az űrben: indirekt utalás a sötét anyagra (neutralínó vagy sneutrínó annihiláció vagy bomlás)
- Háttér: kozmikus sugarak és csillagközi anyag ütközései
- Mérés:
 - \bar{d} annihiláció és rugalmatlan szórás valószínűsége kis energián
 - p+Pb ütközések, majd a keletkezett \bar{d} kölcsönhatása a detektor anyagával



Anyag-antianyag aszimmetria

- **CP sértés: túl kicsi, hogy a kozmikus aszimmetriát magyarázni tudja**
- **Az első időfüggő CP-sértés megfigyelése B_s^0 mezonoknál ($\bar{b}s$)**
 - Részecske és antirészecske (**oszcillál!** $3 \cdot 10^{12}$ Hz) nem egyenlő eséllyel bomlik más részecskékre/antirészecskékre ($\pi^+\pi^-$ vagy K^+K^-)
- **6.7σ szignifikancia, érzékeny a Standard Modellen túli jelenségekre**



<https://arxiv.org/abs/2012.05319>

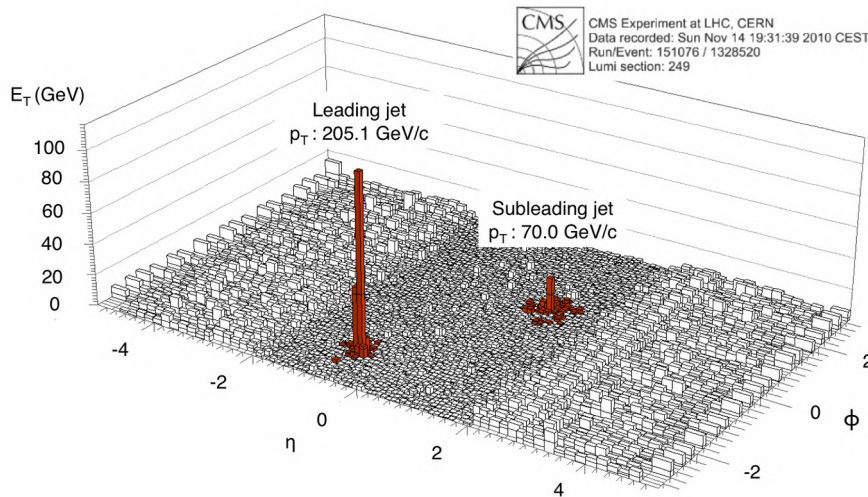
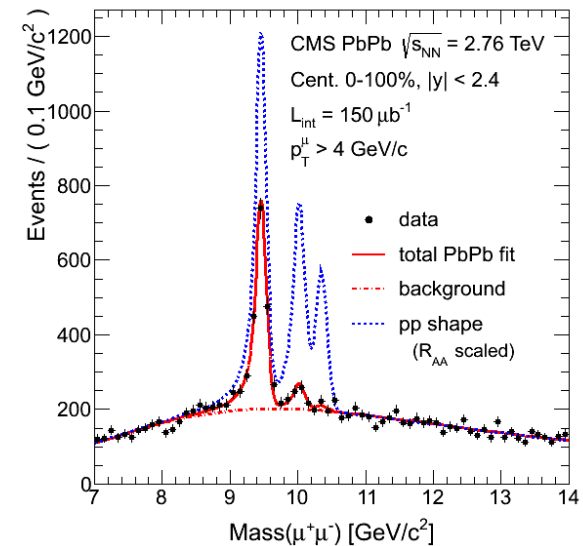
LHCb kísérlet, 2020. okt. 6.

3) Új jelenségek ismert részecskékkel

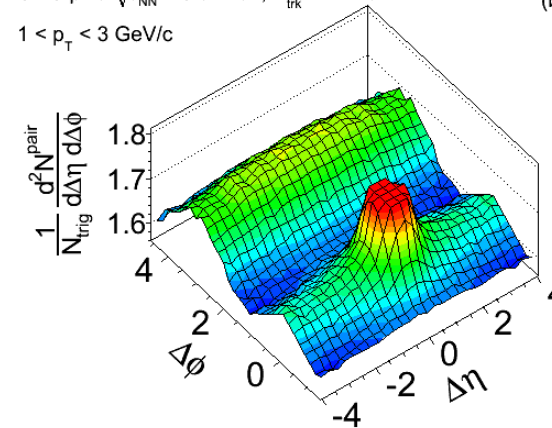


Kvark-gluon anyag kutatása: Pb+Pb

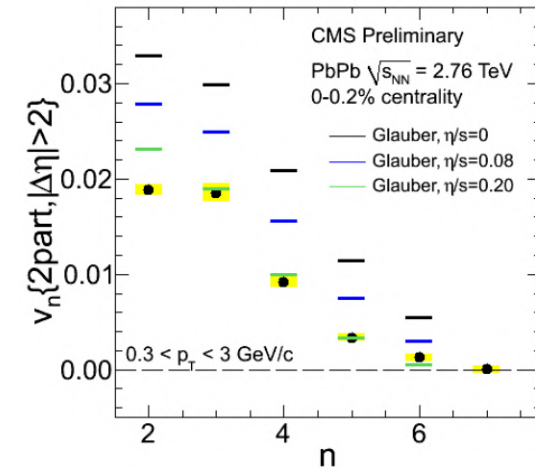
- Jet-ek aszimmetriája (*jet quenching*)
- Kétrészecske-korrelációk (*ridge*)
- Kvarkónium állapotok eltűnése
- Viskozitás, elliptikus áramlás



CMS pPb $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV, $N_{trk}^{offline} \geq 110$
 $1 < p_T < 3$ GeV/c



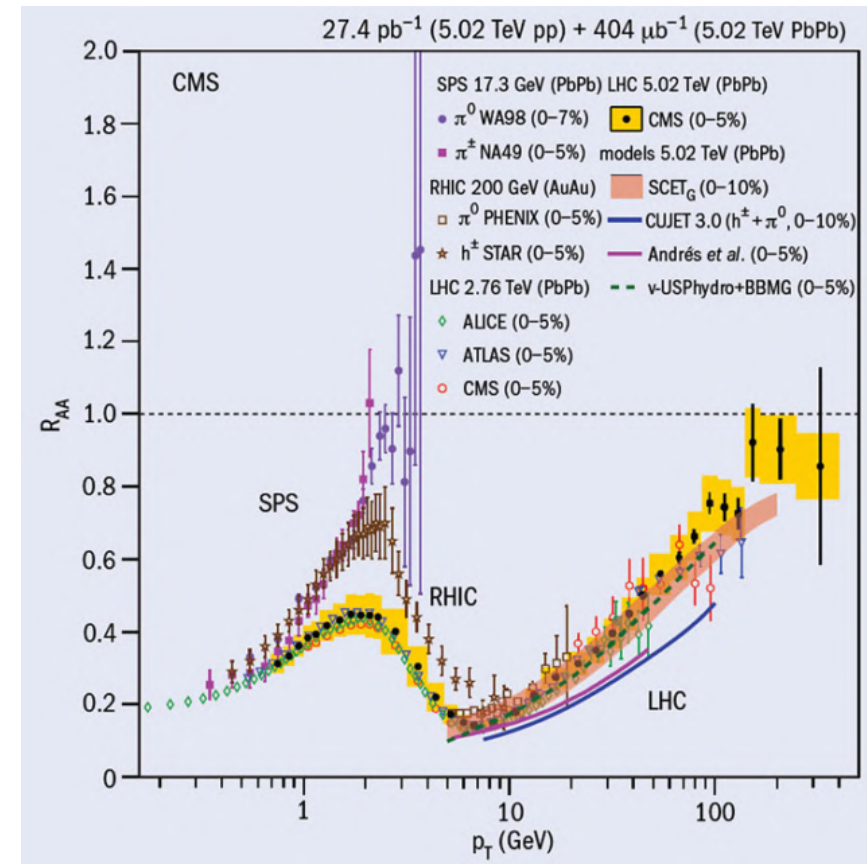
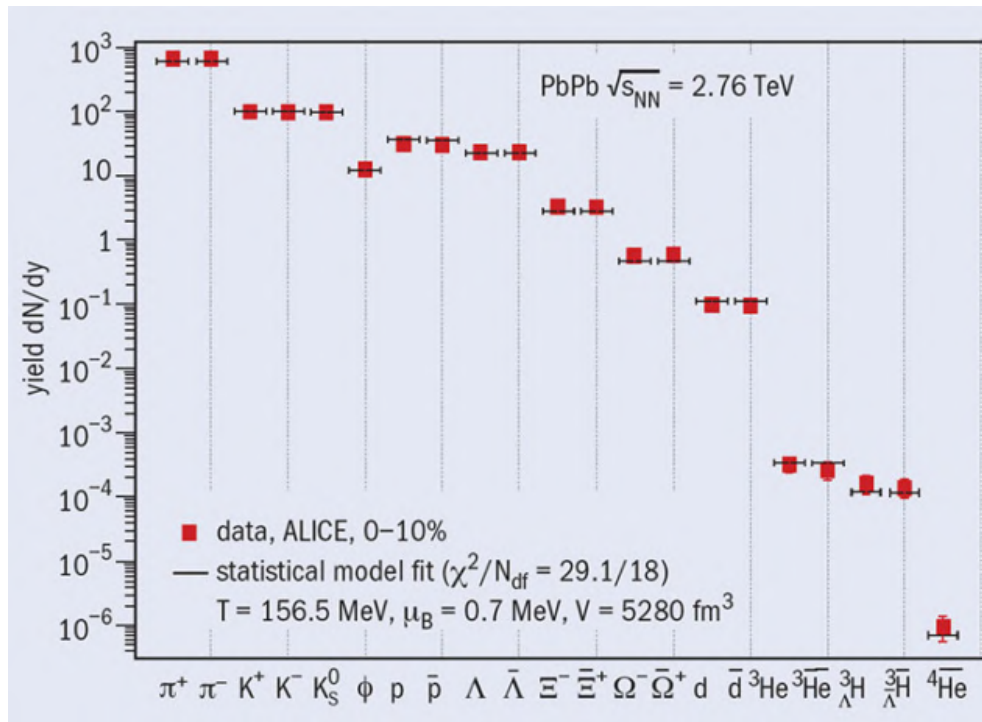
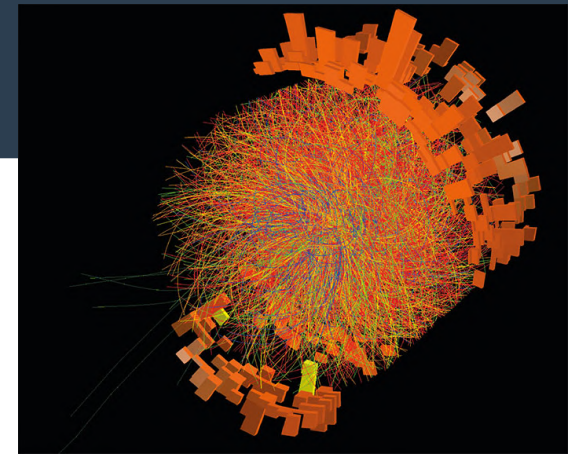
(b)



<https://indico.cern.ch/event/181055/>

30 évnyi nehézionfizika

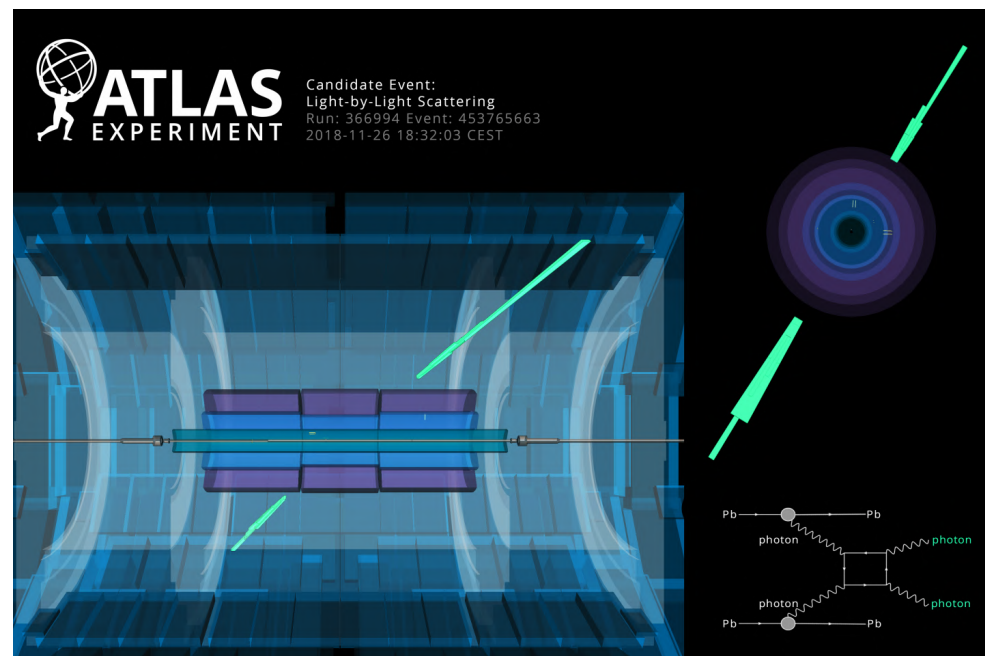
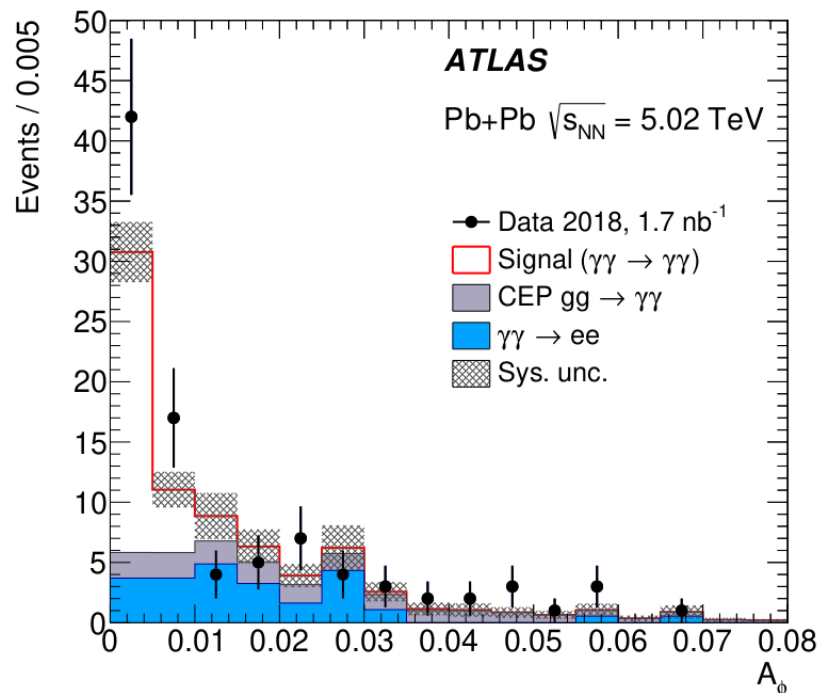
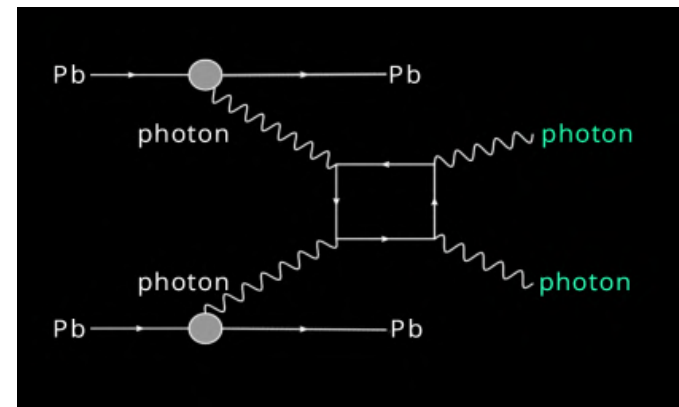
- Az Ősanyag kutatása
- Az anyag új állapota
- Tökéletes folyadék, viszkozitás
- Jet-ek elnyomása, nukleáris módosulás
- Hasonlóság p+p és p+Pb ütközésekkel nagy multiplicitásnál



ALICE, CMS, ATLAS, LHCb kísérletek, 2017. ápr.

Foton-foton szórás

- Klasszikus fizikában nincs ilyen!
- Mérés: ólom-ionok ütközésében
- 59 esemény, 8.2σ
- Új fizikára is érzékeny

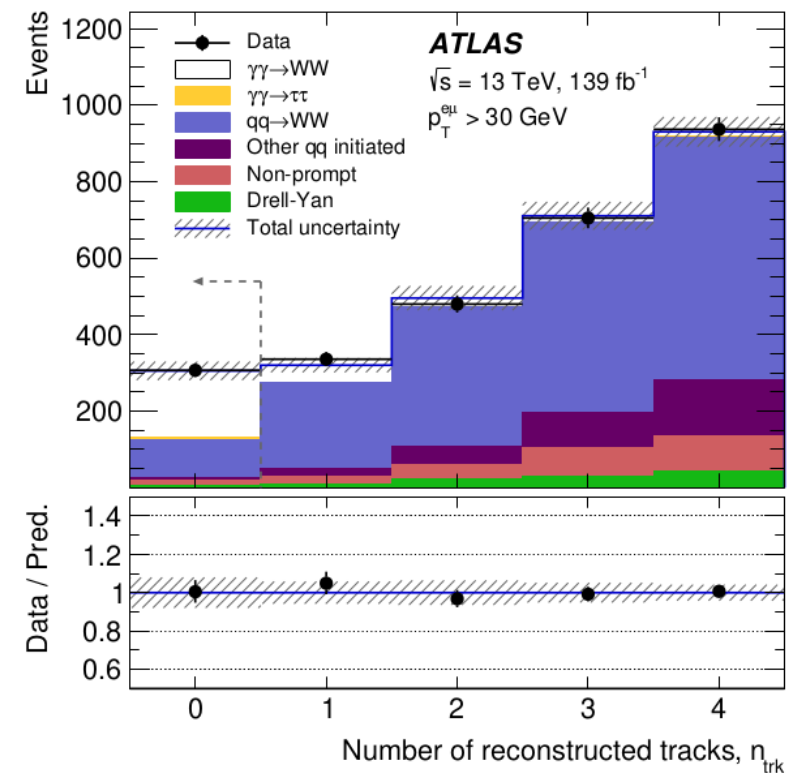
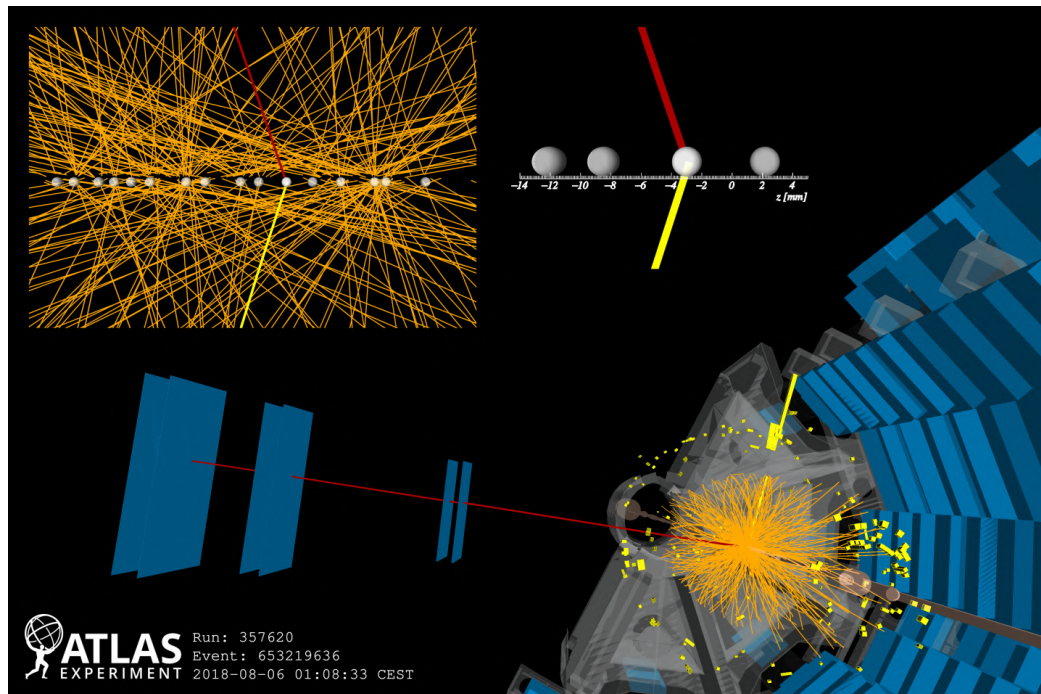


<https://arxiv.org/abs/1904.03536>

ATLAS kísérlet, 2019. márc. 19.

W párkeltés foton-foton ütközésben

- Klasszikus fizikában nincs ilyen jelenség
- Az elektroygyenge elmélet kísérleti tesztje
 - A gyenge és elektromágneses kh. közvetítői kölcsönhatnak egymással is!
- A W bozonok leptonokra és neutrínóra bomlanak
- Pontosan ki kellett válogatni az exkluzív ütközéseket

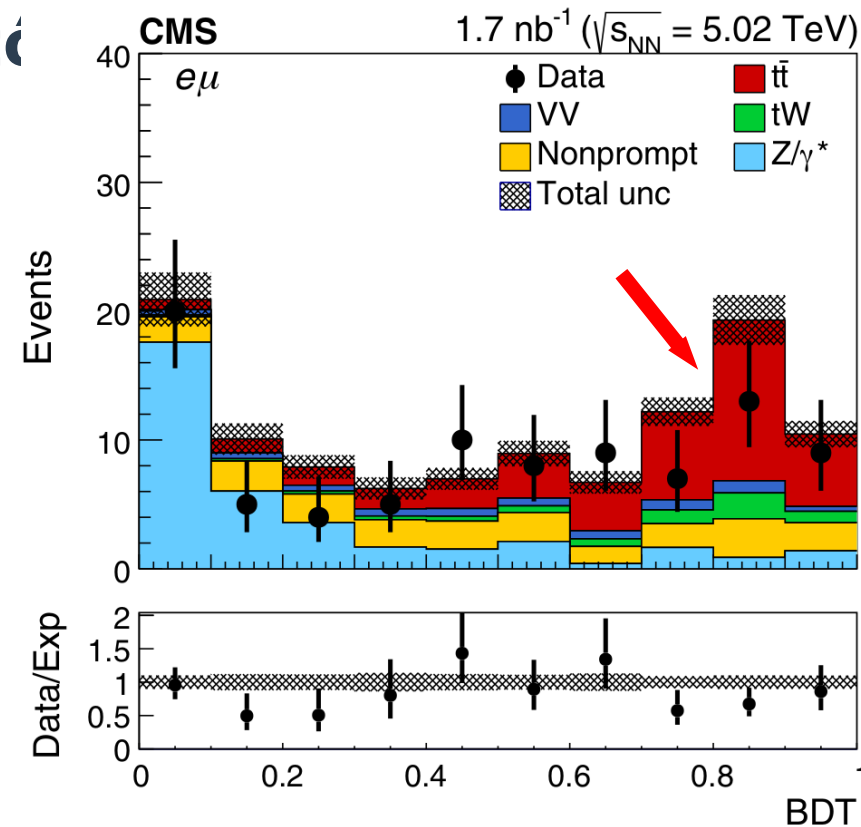
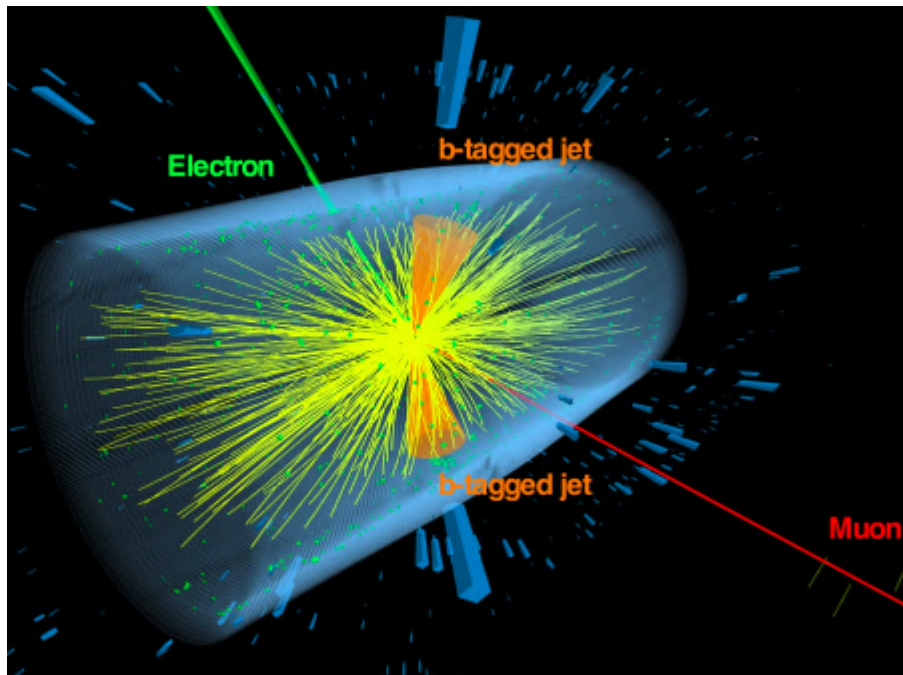


<https://arxiv.org/abs/2010.04019>

ATLAS kísérlet, 2020. aug. 5.

Top kvarkok Pb+Pb ütközésekben

- A top kvark első megfigyelése nehézion-ütközésben (4σ)
- A kvark-gluon anyag fejlődése tanulmányozható lesz különböző sebességű top kvarkokkal



4) A Standard Modell tesztelése

Standard Model of Elementary Particles

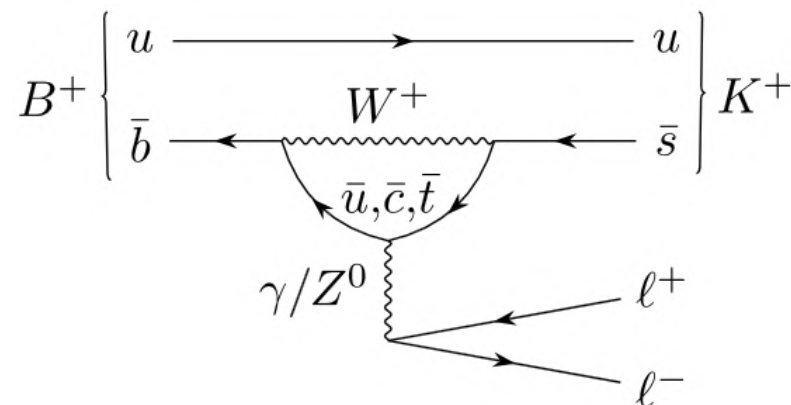
	three generations of matter (elementary fermions)			three generations of antimatter (elementary antifermions)			interactions / force carriers (elementary bosons)	
	I	II	III	I	II	III		
mass	$\approx 2.2 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.28 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.1 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 2.2 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.28 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.1 \text{ GeV}/c^2$	0	$\approx 124.97 \text{ GeV}/c^2$
charge	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$-\frac{2}{3}$	$-\frac{2}{3}$	$-\frac{2}{3}$	0	0
spin	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	0
	u up	c charm	t top	\bar{u} antiup	\bar{c} anticharm	\bar{t} antitop	g gluon	H higgs
QUARKS	$\approx 4.7 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 96 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 4.7 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 96 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$	0	
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	0	
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
	d down	s strange	b bottom	\bar{d} antidown	\bar{s} antistrange	\bar{b} antibottom	γ photon	
	$\approx 0.511 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 105.66 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.7768 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 0.511 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 105.66 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.7768 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 91.19 \text{ GeV}/c^2$	
	-1	-1	-1	1	1	1	0	
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
	e electron	μ muon	τ tau	e^+ positron	$\bar{\mu}$ antimuon	$\bar{\tau}$ antitau	Z Z ⁰ boson	
LEPTONS	$< 2.2 \text{ eV}/c^2$	$< 0.17 \text{ MeV}/c^2$	$< 18.2 \text{ MeV}/c^2$	$< 2.2 \text{ eV}/c^2$	$< 0.17 \text{ MeV}/c^2$	$< 18.2 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 80.39 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 80.39 \text{ GeV}/c^2$
	0	0	0	0	0	0	1	-1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	1
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	$\bar{\nu}_e$ electron antineutrino	$\bar{\nu}_\mu$ muon antineutrino	$\bar{\nu}_\tau$ tau antineutrino	W^+ W ⁺ boson	W^- W ⁻ boson

GAUGE BOSONS
VECTOR BOSONS

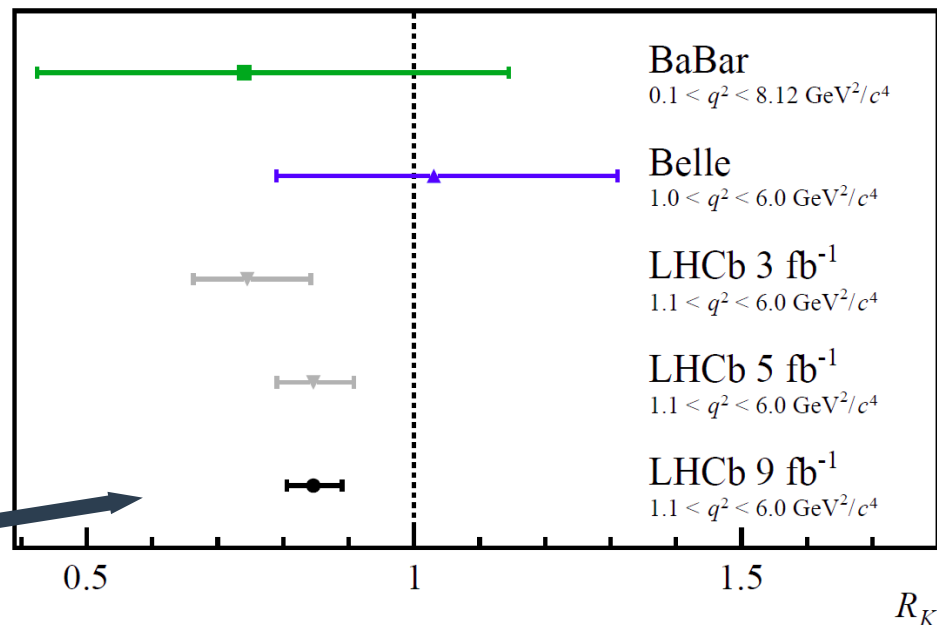
SCALAR BOSONS

Lepton-univerzalitás sérülése

- **Alsó kvarkok bomlásainak vizsgálata**
- **A Standard Modell sérül?**
- **3.1 σ szignifikancia (0,1%)**
- **SM: az elektronra és müonra való bomlások egyenlő valószínűségűek**



$$\frac{B^+ \rightarrow K^+ \mu^+ \mu^-}{B^+ \rightarrow K^+ e^+ e^-}$$



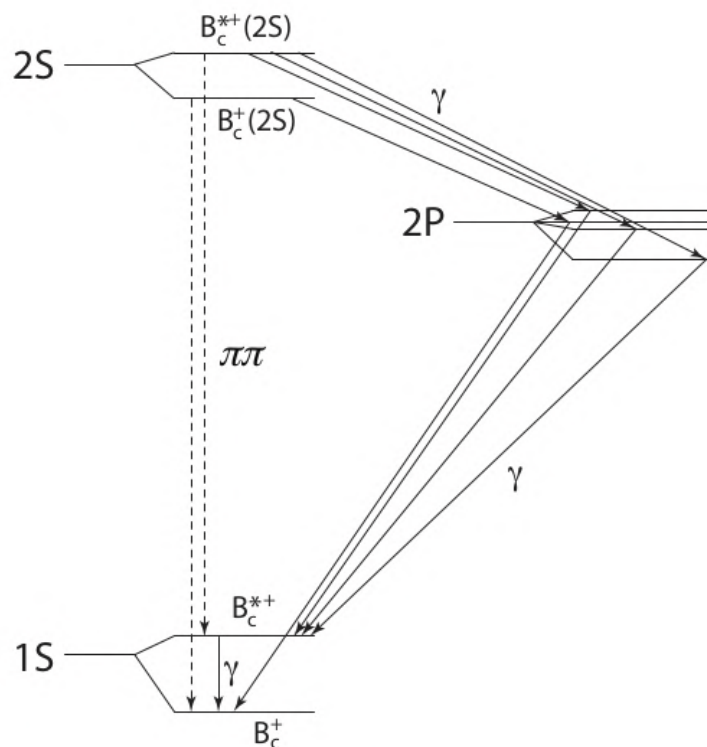
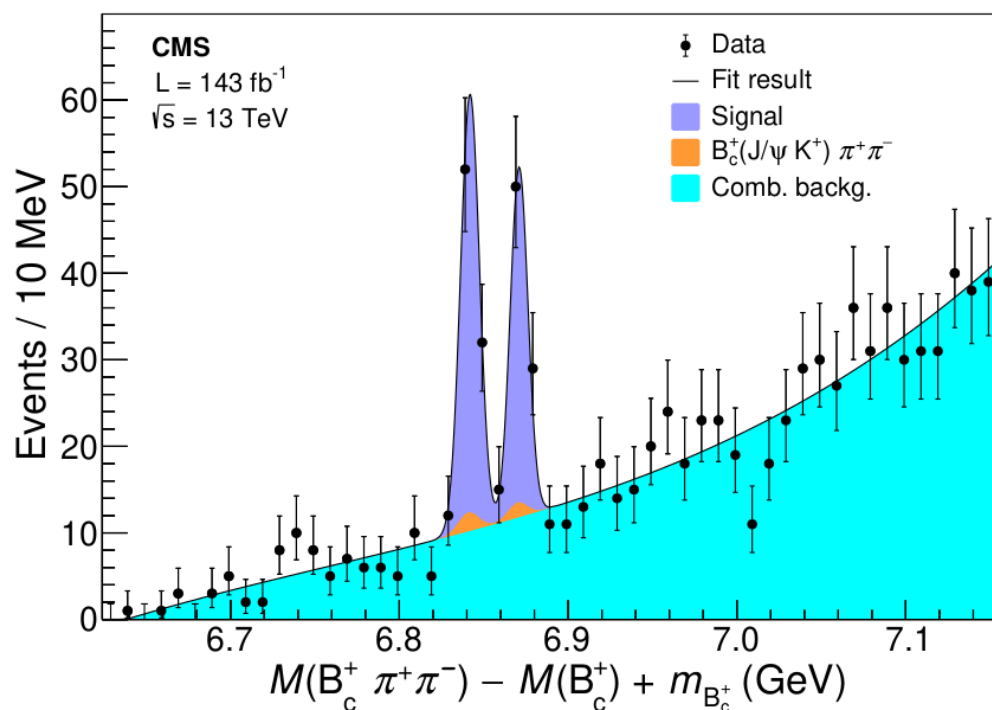
<https://arxiv.org/abs/2103.11769> LHCb kísérlet, 2021. márc. 23.

5) Új részecskék felfedezése



Bájos b mezonok

- B_c család ($b\bar{c}$) új tagjai:
 - $B_c^+(2S)$ (6271 MeV) és $B_c^{*+}(2S)$
- Nehéz kvarkok hadronokba kötődése
- Mérés: $B_c^+\pi^+\pi^-$ tömegspektrum, ahol $B_c^+\rightarrow J/\psi\pi^+$

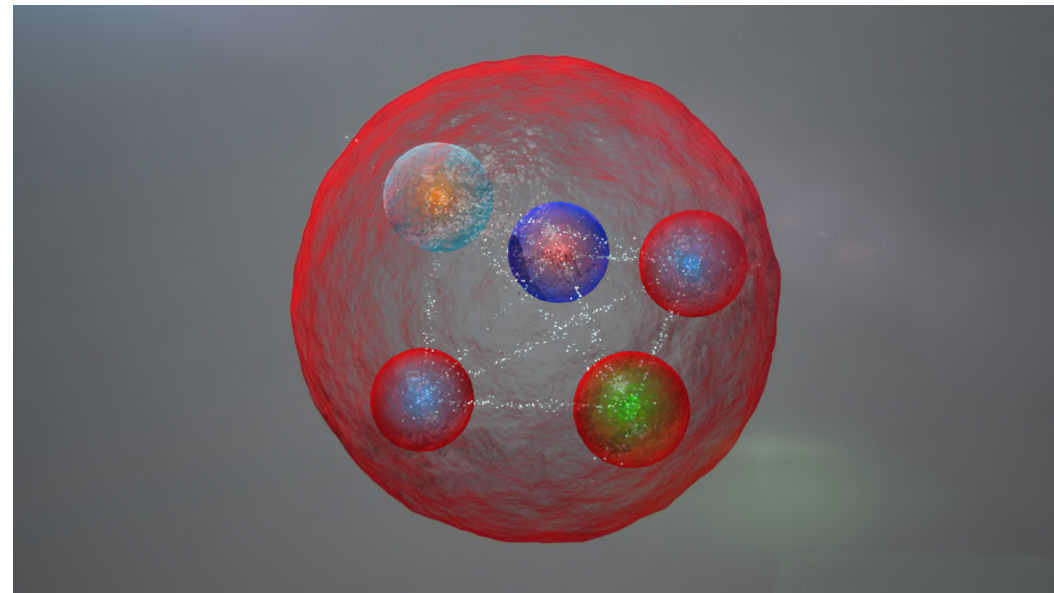
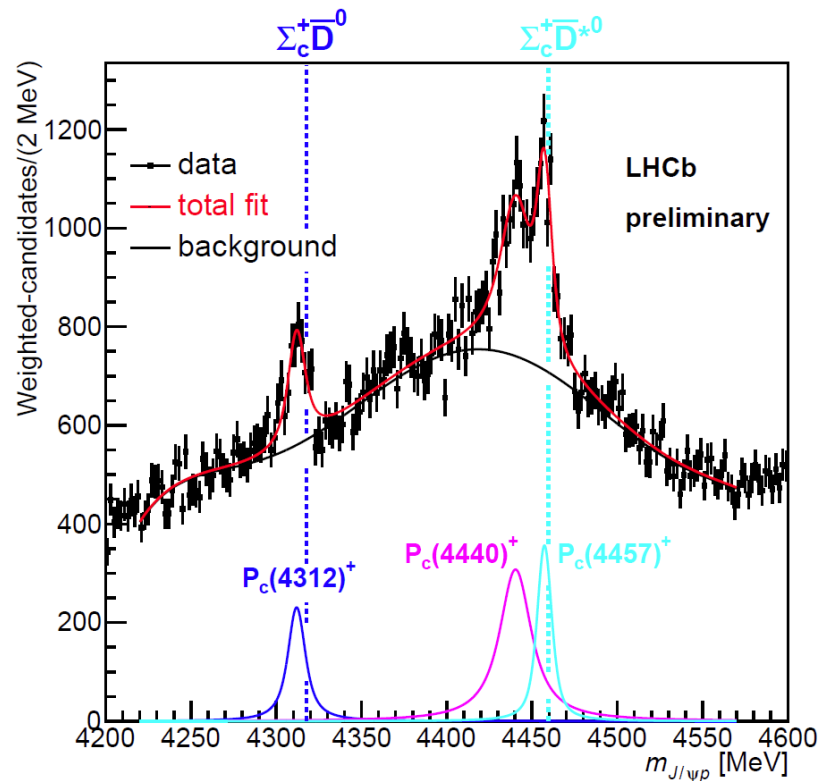


<https://arxiv.org/abs/1902.00571>

CMS kísérlet, 2019. feb. 15.

Új pentakvarkok

- $ducc\bar{c}$ állapotok
- $P_c(4440)^+, P_c(4457)^+, P_c(4312)^+ \rightarrow pJ/\psi$
- 5.4 és 7.3σ

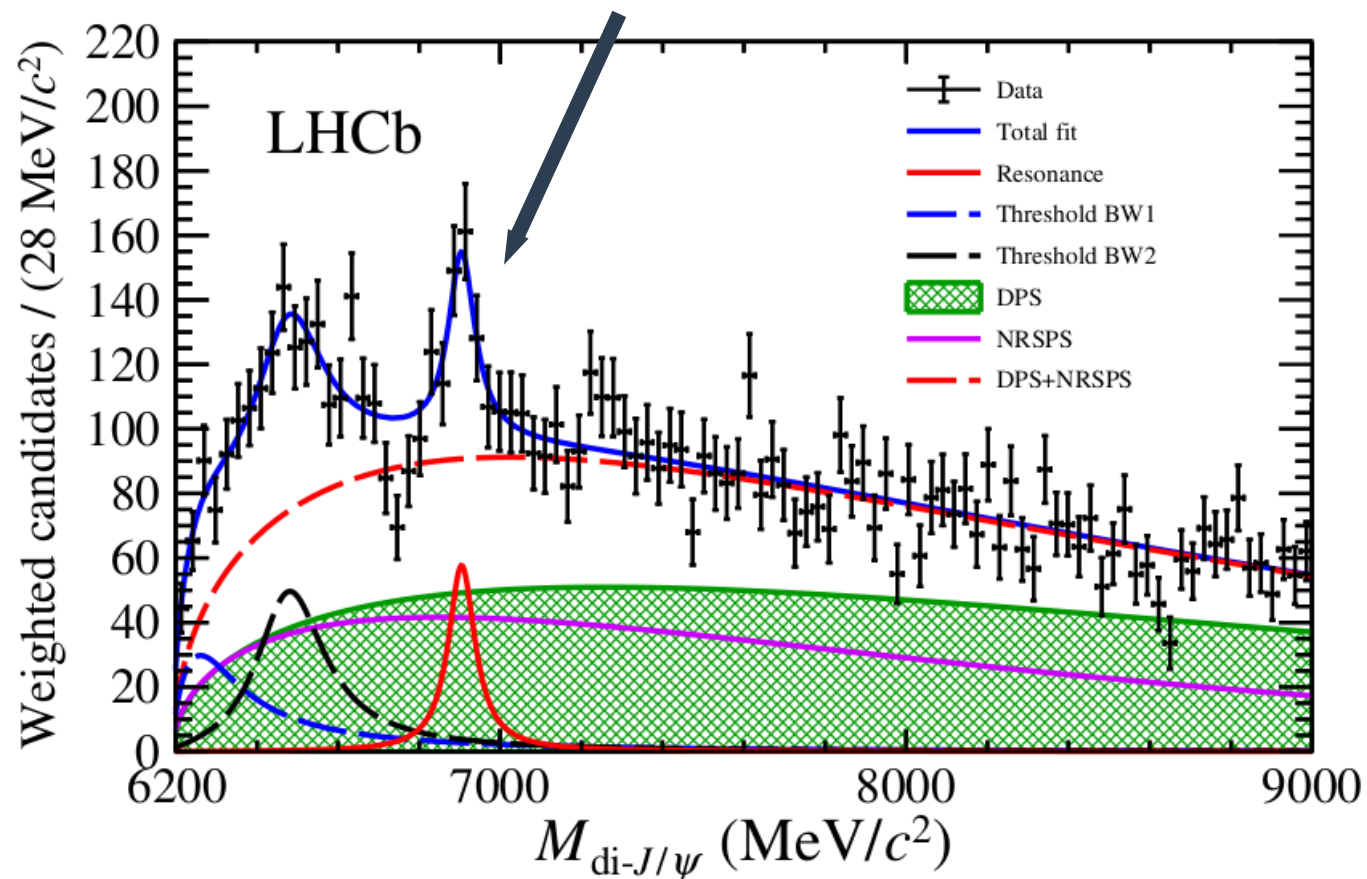
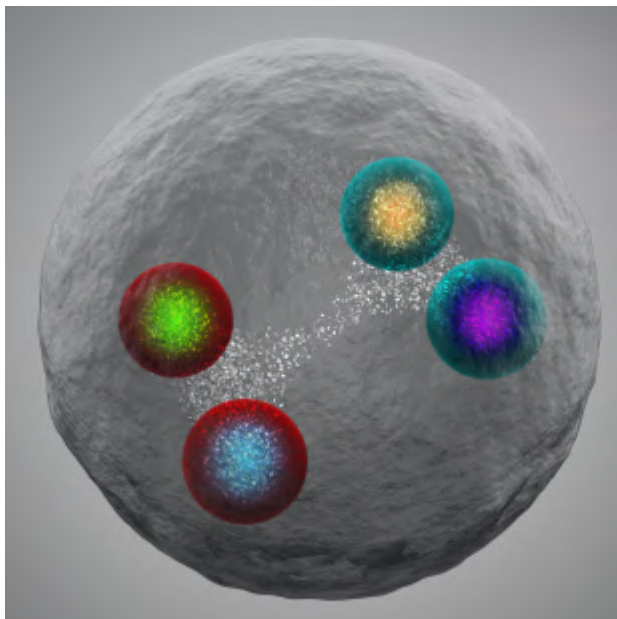


<https://arxiv.org/abs/1904.03947>

LHCb kísérlet, 2019. márc. 26.

Új tetrakvark négy bájos kvarkból

- Az első ilyen, négy azonos kvarkból álló részecske ($cc\bar{c}\bar{c}$), $X(6900)$
- Az erős kölcsönhatás modellje tesztelhető, a nukleonok szerkezete is jobban megérthető
- J/ψ mezon párok invariáns tömegspektruma

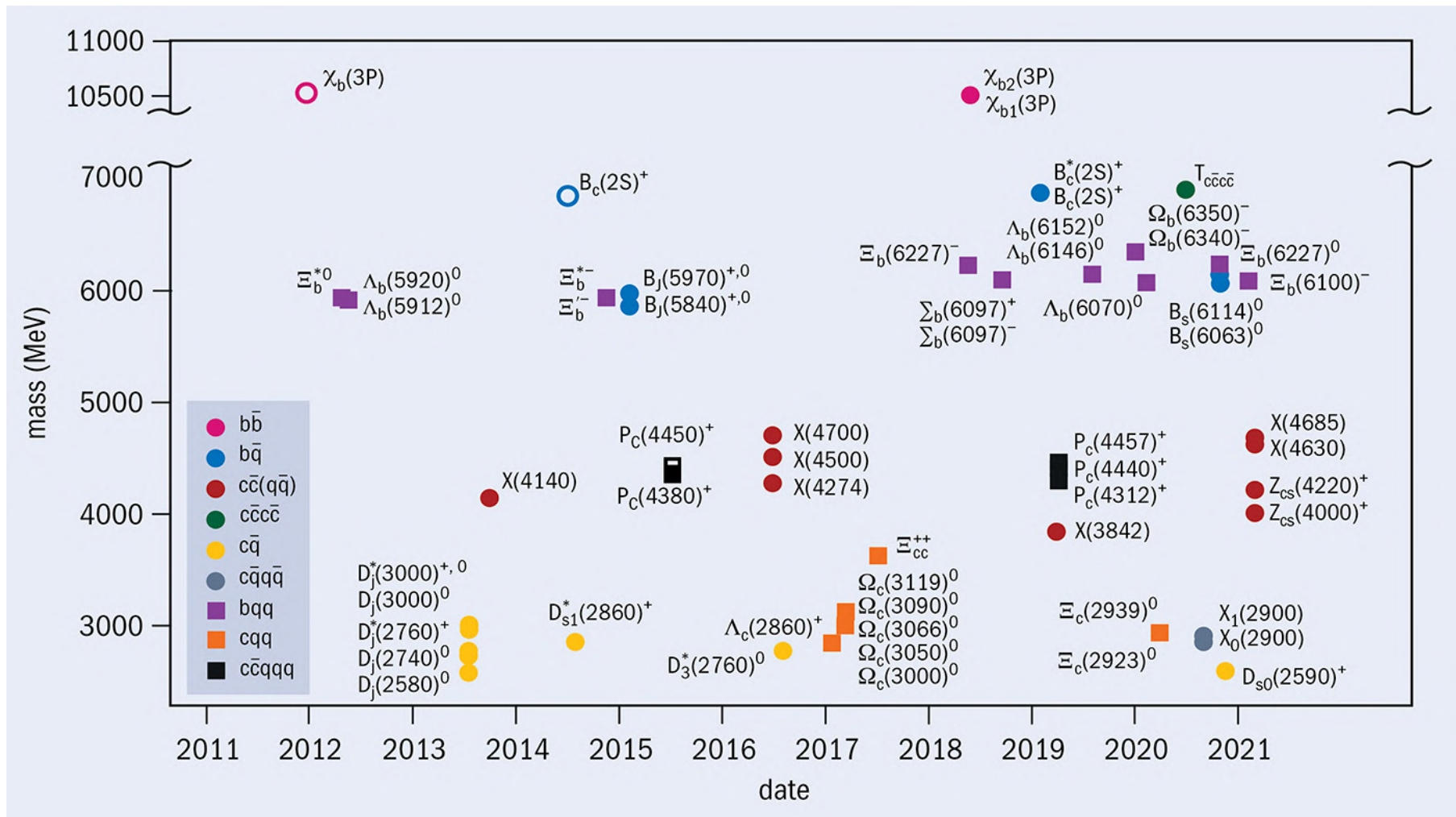


<https://arxiv.org/abs/2006.16957>

LHCb kísérlet, 2020. júl. 1.

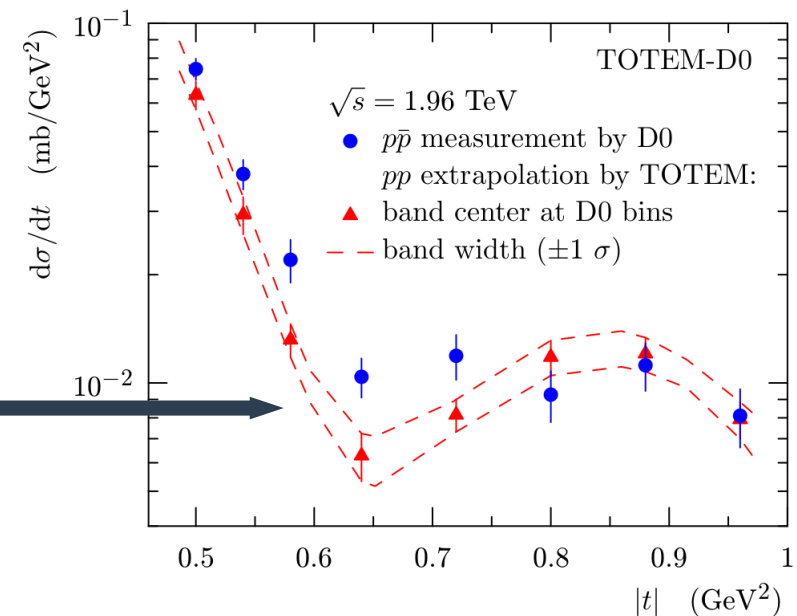
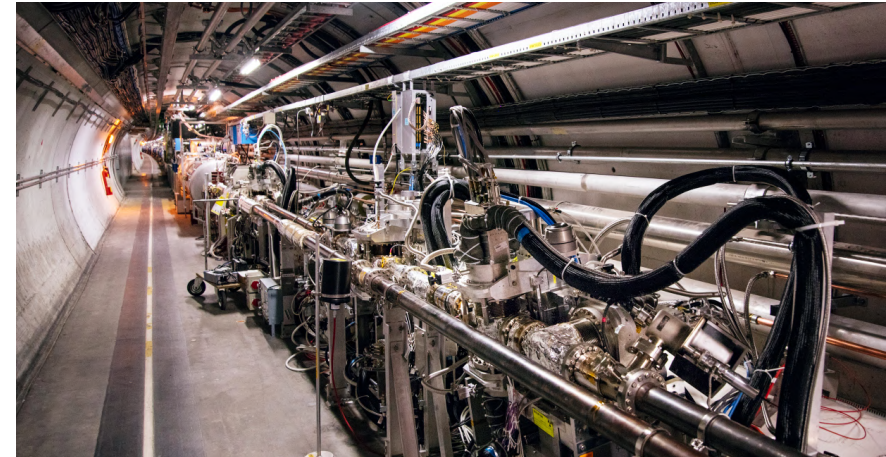
59 új hadron felfedezése 10 év alatt

- **Kvark modell: 1964, Gell-Mann and Zweig:** háromnál több kvark is alkothat hadront
- **Pentakvarkok, tetrakvarkok, illetve gerjesztett állapotok**



Az Odderon felfedezése

- 1973-ban megjósolták, színtelen 3-gluon állapot
- Nagy energiájú protonok kölcsönhatása kis impulzus-átadásnál
- Gluonok önkölcsönhatása
- CERN és Tevatron adatok kombinálása
- Protonok: 1 mm eltérés 200 méteren
- p+p és p+antiproton hatáskeresztmetszetek különböznek



<https://arxiv.org/abs/2012.03981>
<https://arxiv.org/abs/1912.11968>

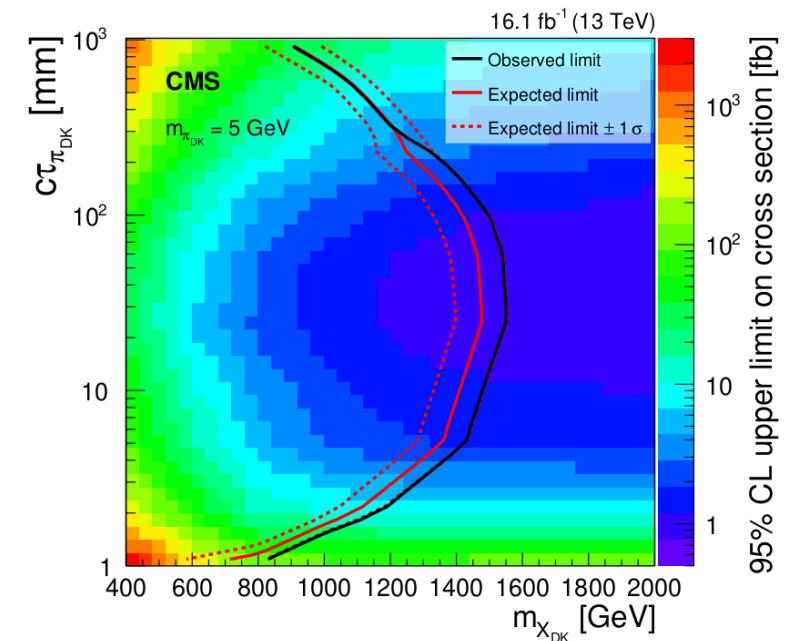
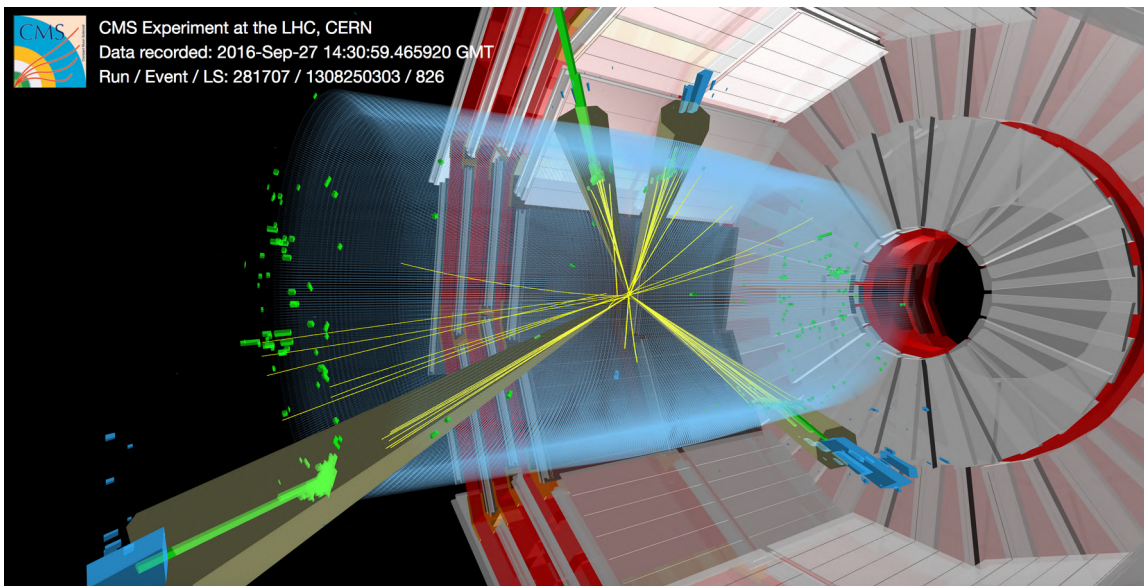
TOTEM kísérlet, 2021. márc. 5.

6) Új részecskék keresése



Sötét kvarkok keresése

- Sötét anyag részecskéi lehetnek
- Normál kvarkokkal hatnak kölcsön, közvetítő részecskével
- A közvetítő párkeltése után bomlás kvarkokra és sötét kvarkokra → 2 jet és 2 távolabb “felbukkanó” jet
- Eredmény: kizárva a 400-1250 GeV tömegtartomány 5-225 mm “élettartam” között

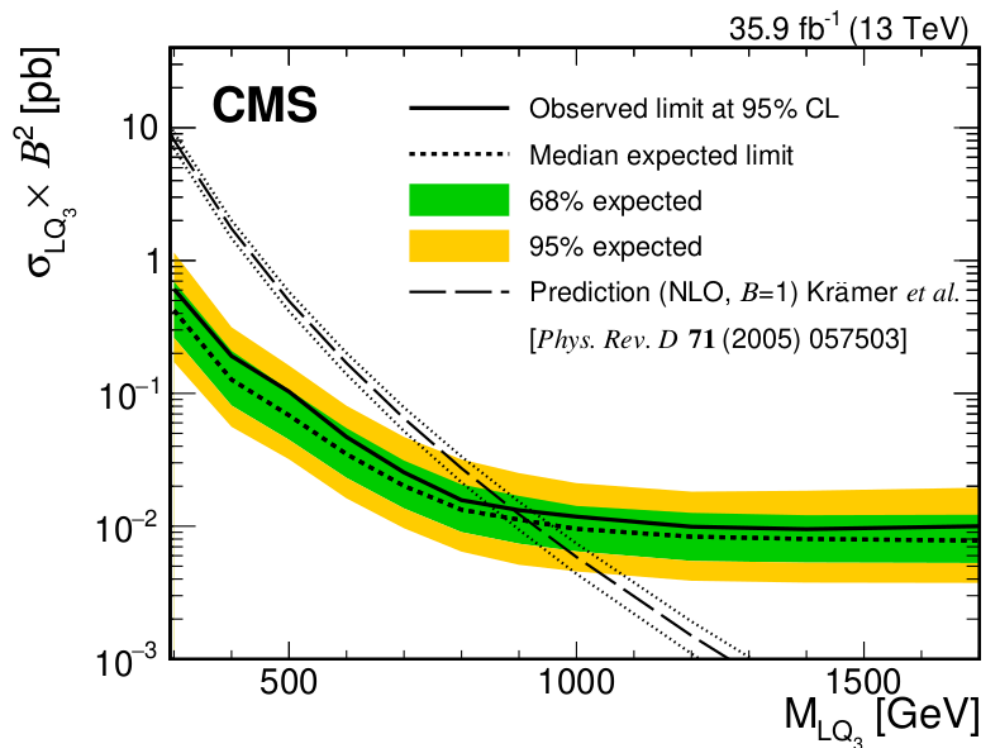
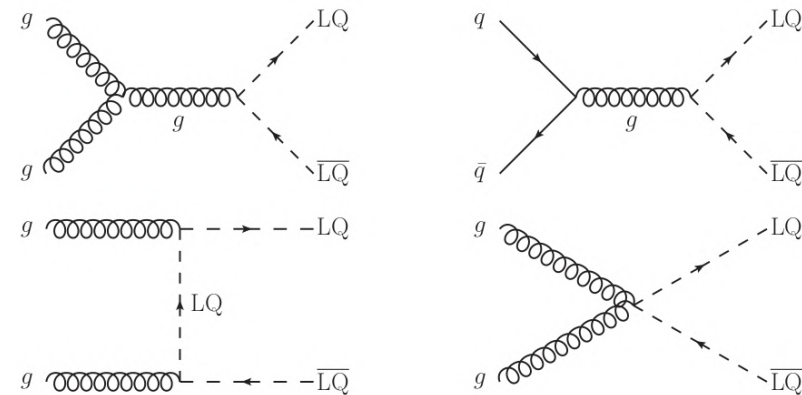
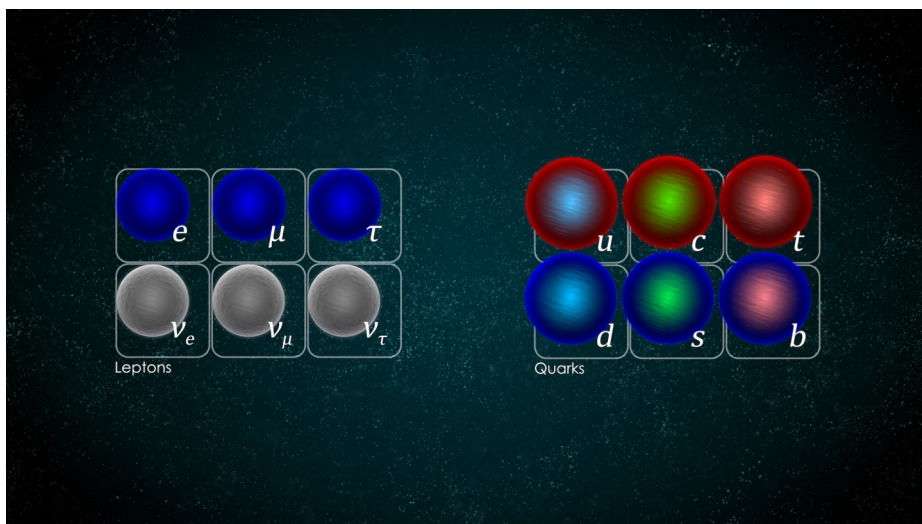


<https://arxiv.org/abs/1810.10069>

CMS kísérlet, 2018. aug. 31.

Harmadik generációs leptokvarkok

- Nagy Egyesítés: leptokvarkok
- Eddig mért anomáliákat is magyarázná
- Bomlás: $LQ_3 \rightarrow t + \tau$
 - (általában t, b, τ, ν_τ)
- Eredmény: 900 GeV tömeg alatt kizárva

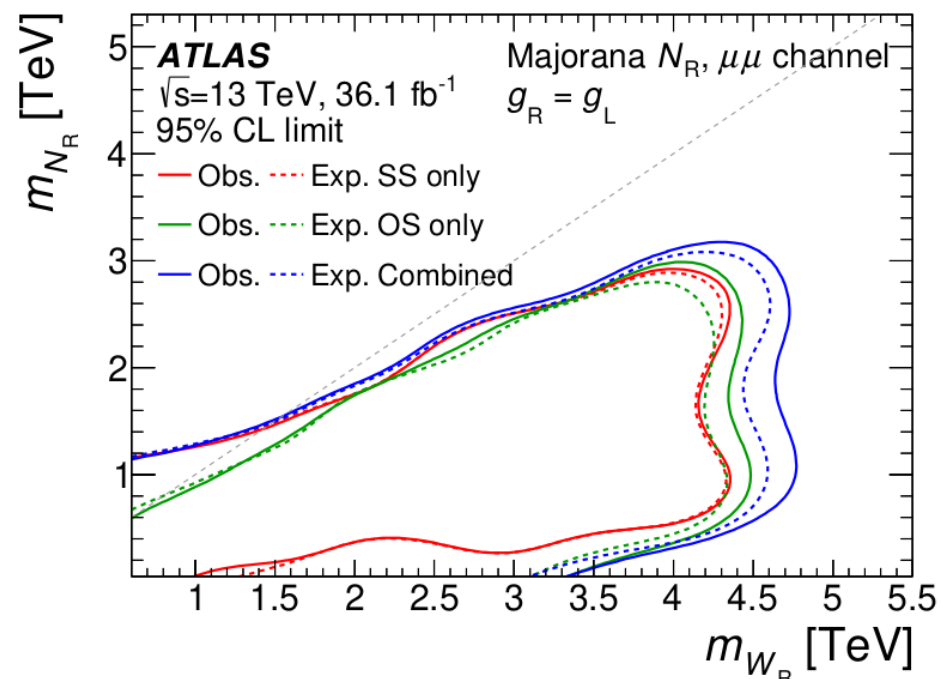
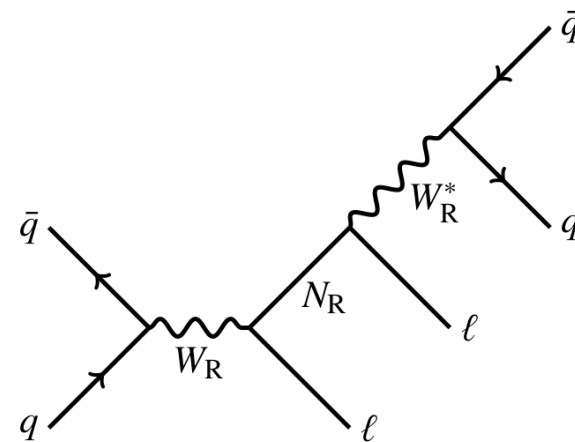


CMS kísérlet, 2018. szept. 19.

<https://arxiv.org/abs/1803.02864>

Majorana neutrínók keresése

- Miért kicsi a neutrínók tömege?
- See-saw: nehéz és könnyű Majorana neutrínók
- A neutrínó saját maga antirészecskéje?
- Mérés: nehéz neutrínók keresése jobbkezes W bozonnal együtt
- (2 jet és e^+e^- vagy $\mu^+\mu^-$)

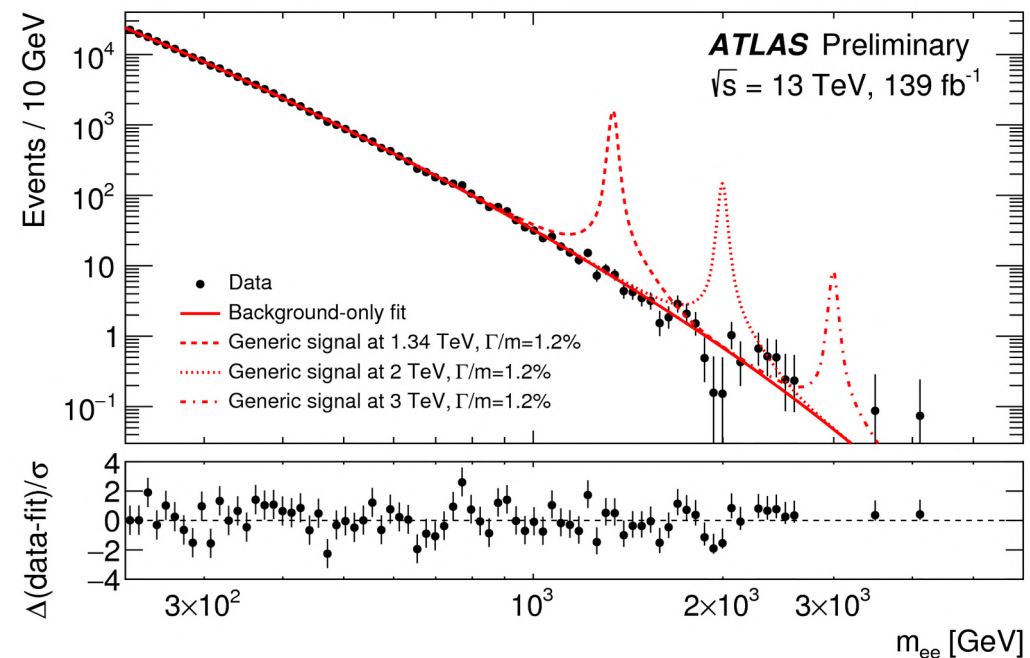
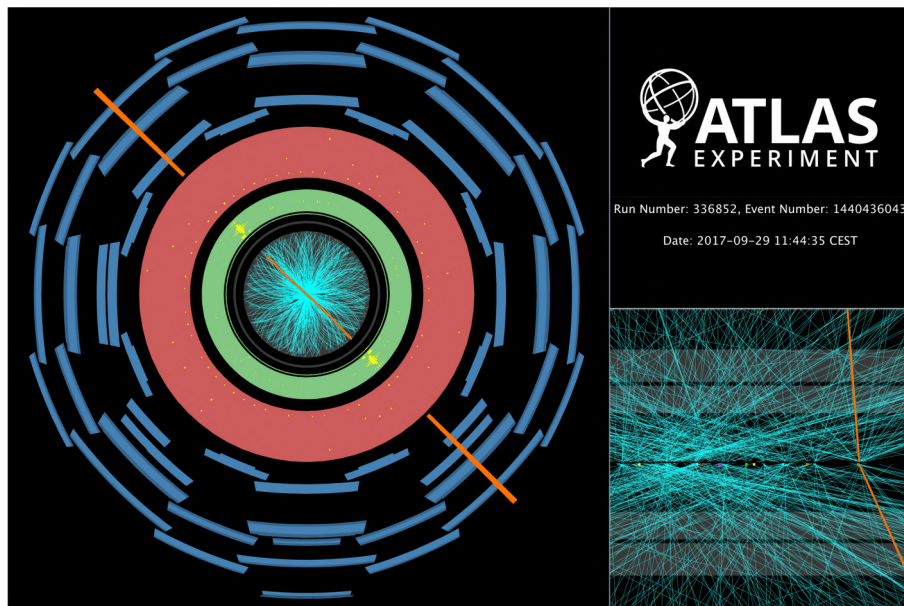


ATLAS kísérlet, 2018. nov. 1.

<https://arxiv.org/abs/1809.11105>

Nagy Egyesített Elmélet bozonjai

- Erős és elektroggyenge elmélet egyesítése nagy energián?
- Jóslat: nehéz Z' bozon
- Mérés: $Z' \rightarrow e^+e^- (\mu^+\mu^-)$

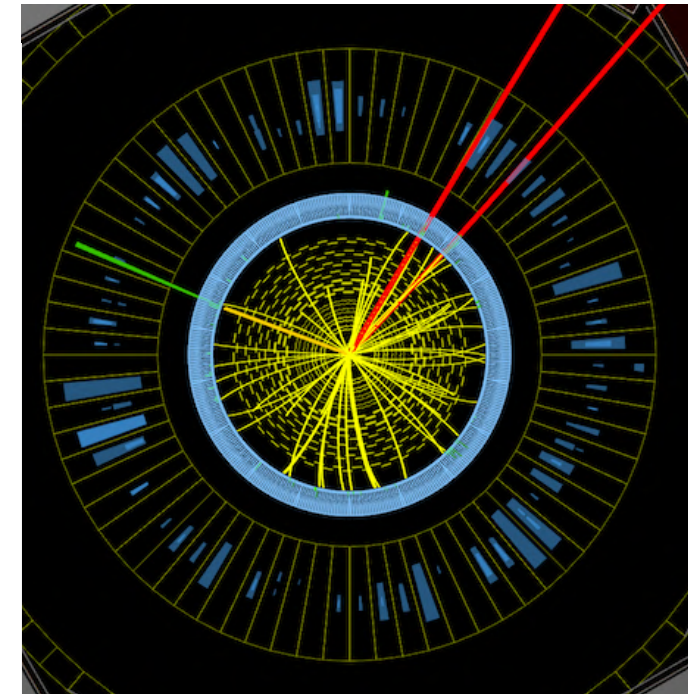
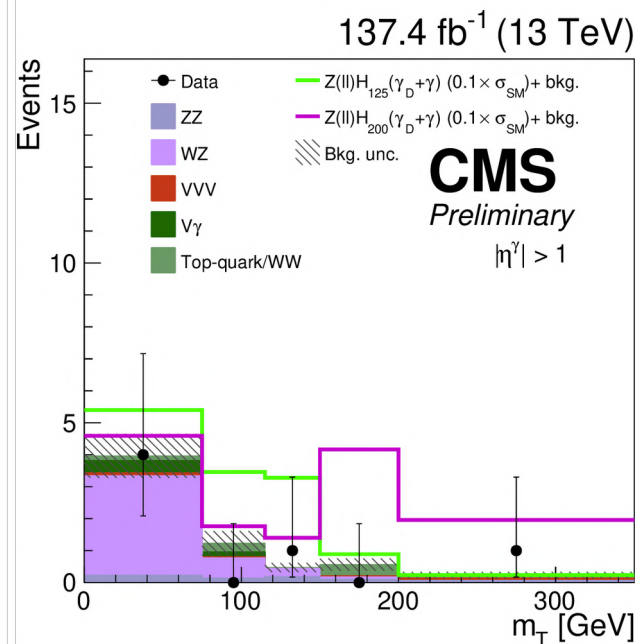
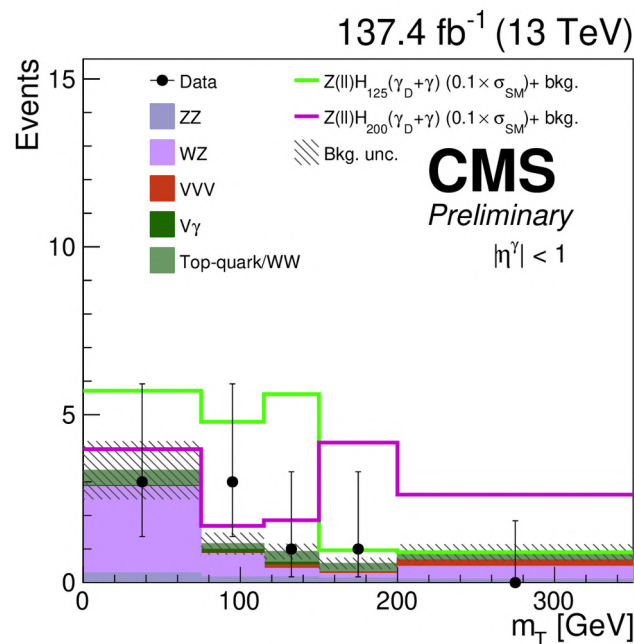


<http://cdsweb.cern.ch/record/2663393>

ATLAS kísérlet, 2019. márc. 7.

Sötét fotonok keresése

- **H bomlása fotonra és sötét fotonra**
 - kölcsönhat a sötét anyag részecskéi között
- **(H+Z) keletkezésben, hiányzó energia mérésével, a foton és a sötét foton invariáns tömege 125 GeV**
- **Eredmény: bomlási arány < 4.6%**

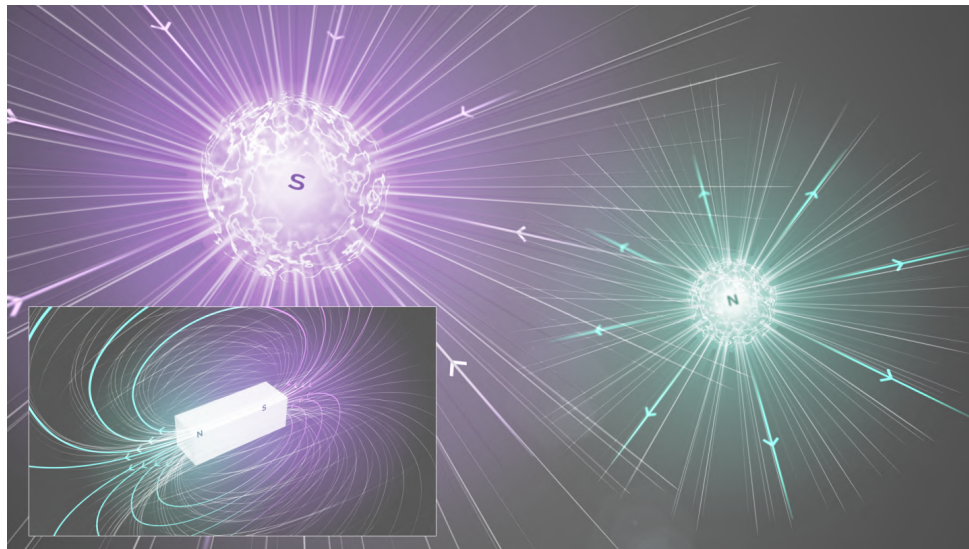


<https://arxiv.org/abs/1908.02699>

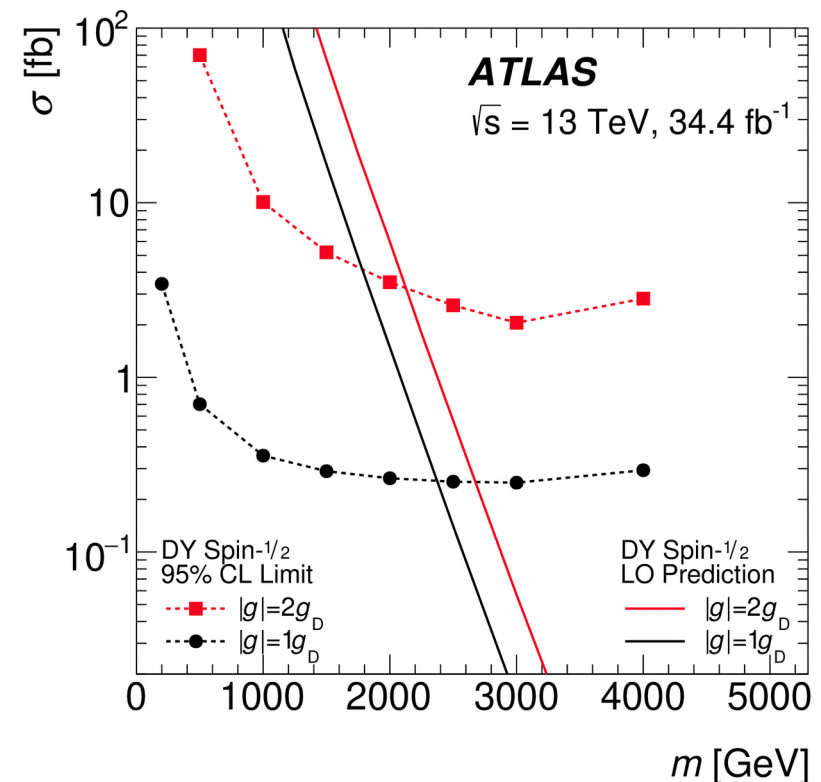
CMS kísérlet, 2019. máj. 24.

Mágneses monopólusok keresése

- Dirac, 1931
- Nagy Egyesítés elméletek jósolják
- Standard Modell kiterjesztései jósolnak kis tömegű monopólust is
- Mérés: nagy ionizációs energialeadás a detektorban (érzékeny mini fekete lyukakra is)
- Kizárás nagy tömegtartományban



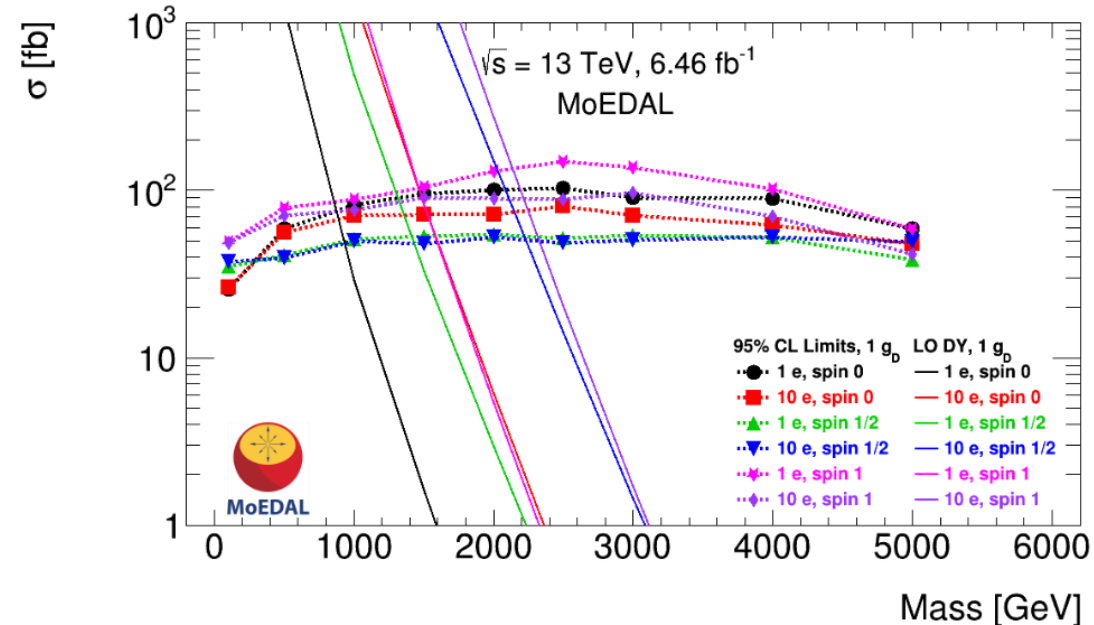
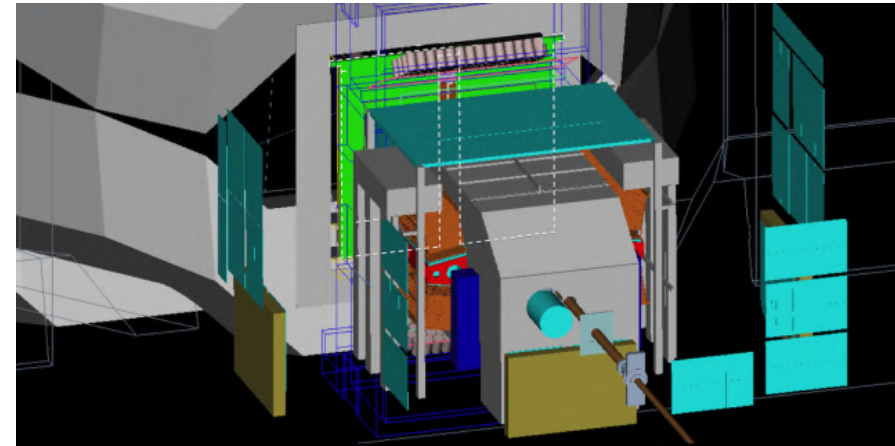
<https://arxiv.org/abs/1905.10130>



ATLAS kísérlet, 2019. jún. 3.

Mágneses monopólusok keresése

- Dyon: elektromos és mágneses töltése is van (Schwinger, 1969)
- Ez az első ilyen keresés gyorsítónál
- 2400 alumínium rúd, p+p ütközéseknek kitéve 2015-2017 között
- Csapdába esett mágneses töltések keresése magnetométerrel
- Kizárás: 5x Dirac-töltés alatt és 200x elemi töltés alatt a 830-3180 GeV tömegtartományban

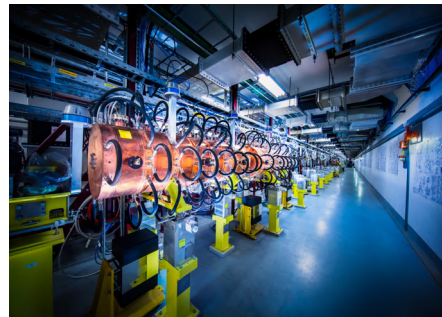
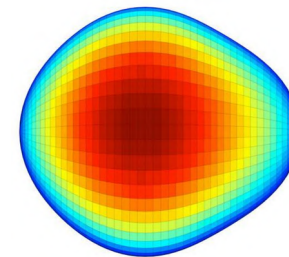
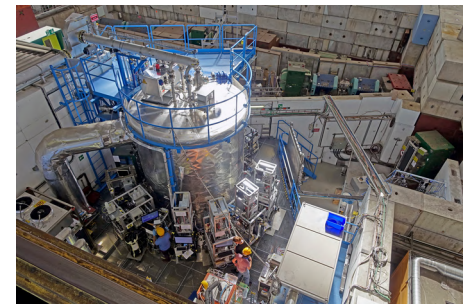


<https://arxiv.org/abs/2002.00861>

MoEDAL kísérlet, 2020. feb. 17.

Egyéb fontos CERN-es eredmények

- **Tórium, mint energiaforrás**
- **Alpha Magnetic Spectrometer**
- **CLOUD kísérlet, klímakutatás**
- **ISOLDE, magfizika**
- **Neutrínófizika**
- **ELENA lassító, antianyag-gyár**
- **LHC továbbfejlesztés**



Egyéb fontos CERN-es eredmények

- Tórium, mint energiaforrás
- Alpha Magnetic Spectrometer
- CLOUD kísérlet, klímakutatás
- ISOLDE, magfizika
- Neutrínófizika
- ELENA, gyorsító
- Jüryai gyorsító
- Jüryai gyorsító

Köszönöm a figyelmet!

