



High  
Luminosity  
LHC



# FCC – gyorsító a Nagy Hadronütköztetőn túl

Barnaföldi Gergely Gábor  
AtomCsill, ELTE, 2018. február 1.



A Higgs bozon felfedezése mérföldkő  
volt a nagyenergiás részecskefizikában.  
A Standard Modell teljessé vált.

$$D^2 = \frac{1}{P^2} \frac{P_0 - P}{P} \sim \frac{1}{P^2} \quad (1a)$$

$$D^2 = \frac{K \rho}{3} \frac{P_0 - P}{P} \sim K \rho \quad (2a)$$

$$D^2 \sim 10^{-53}$$

$$\rho \sim 10^{-26}$$

$$P \sim 10^8 \text{ L. J.}$$

Azonban a Világegyetem  
anyagának 95%-a továbbra sem  
ismert. Ez túlmutat a Standard  
Modell fizikáján.

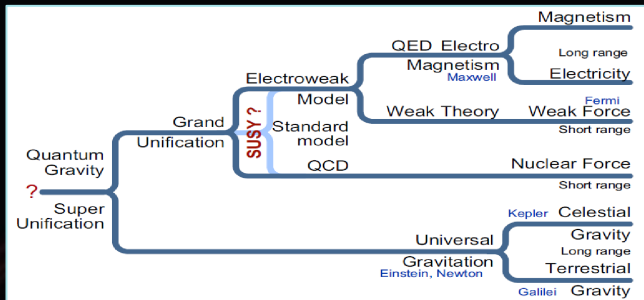


Jelen tudásunk csak a Világegyetem anyagának 5%-át írja le.  
Rengeteg nyitott kérdés akad még!

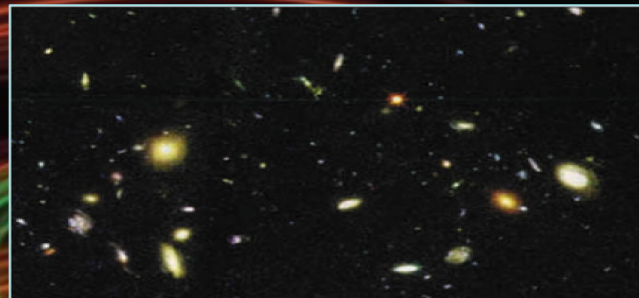


Dark Matter  
80%

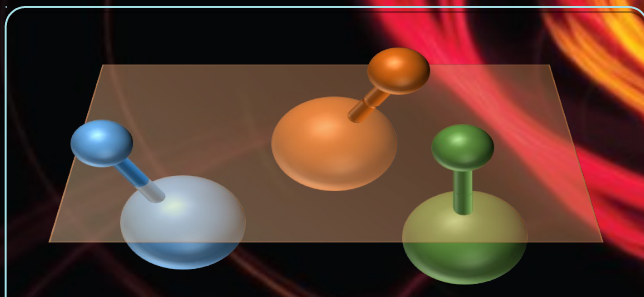
Visible Matter  
20%



Milyenek a természet alapvető fizikai törvényei?



Mi a sötét anyag?

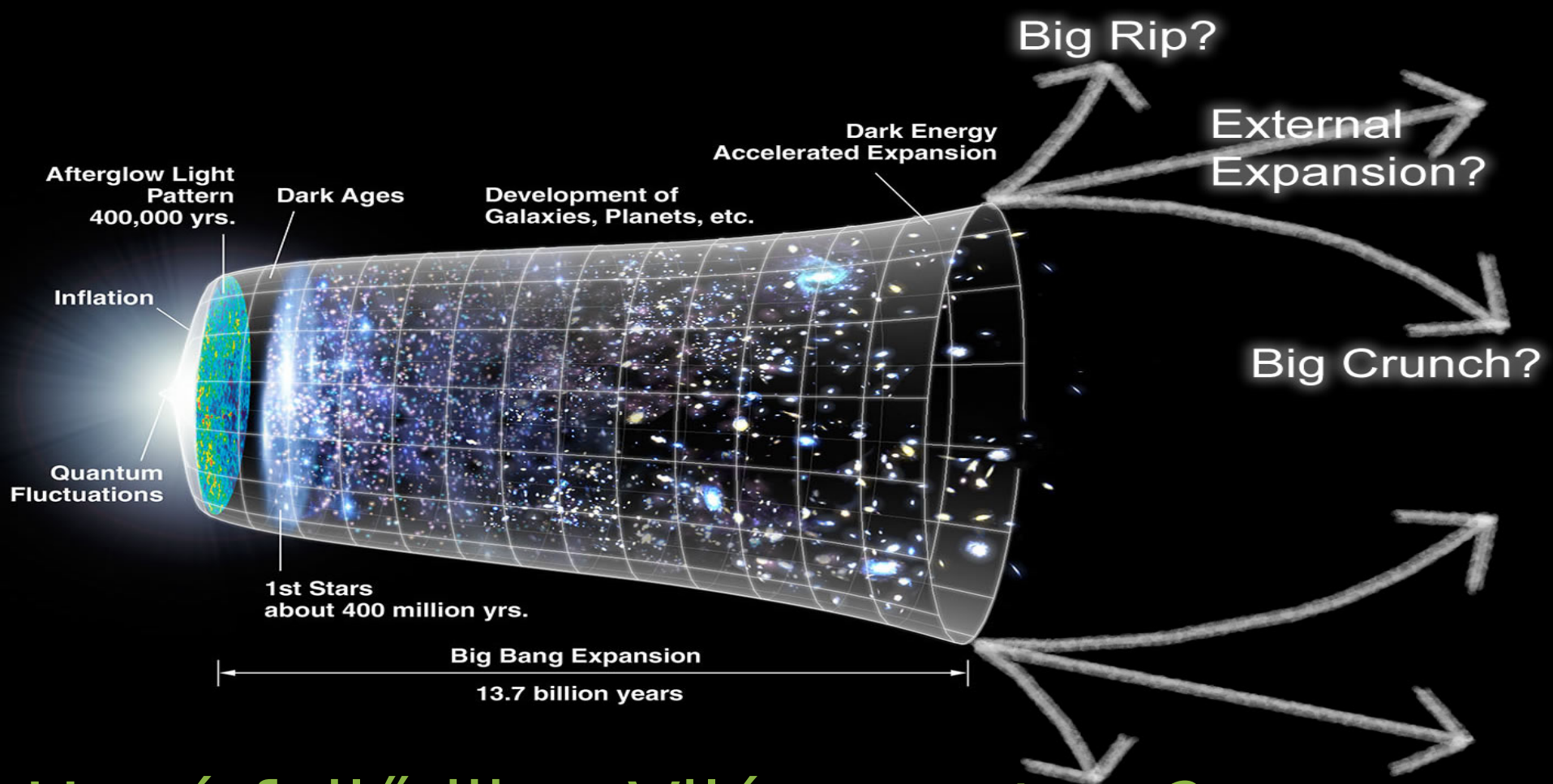


Léteznek-e szuperszimmetrikus részecskék?



Mi a világunk legkisebb alkotóeleme?





Hová fejlődik a Világegyetem?

Választ ezekre a kérdésekre nagyenergiás részecskegyorsítókkal kaphatunk...





# Mi az a részecskegyorsító?

Az anyag belső szerkezetének vizsgálatához

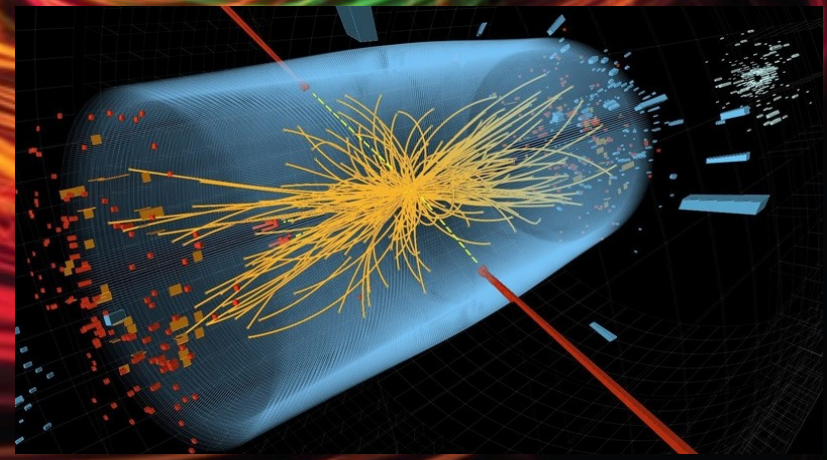
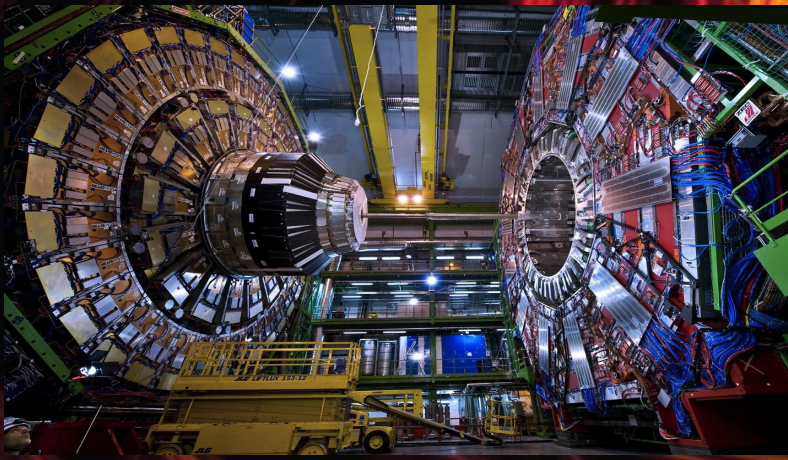
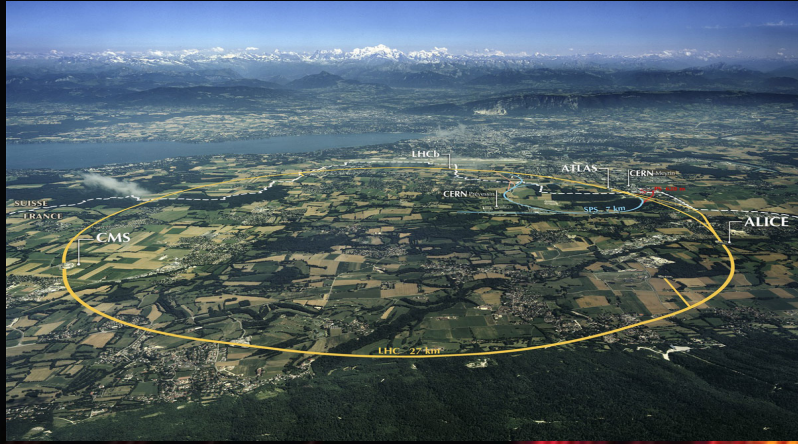
- **részecskegyorsítókkal** felgyorsítjuk az anyagot
- összeütköztetjük → ekkor a **mozgási energia belső energiává** alakul



- szétbomlanak a kötések a részecskék között → **új részecskék keletkeznek**
- ezeket **detektorokkal** mérjük.



# A Nagy Hadronütköztető (LHC)





# A Nagy Hadronütköztető (LHC) működése

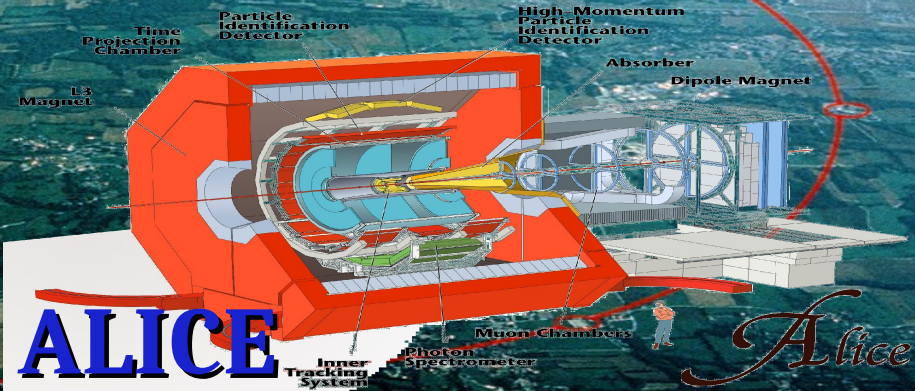
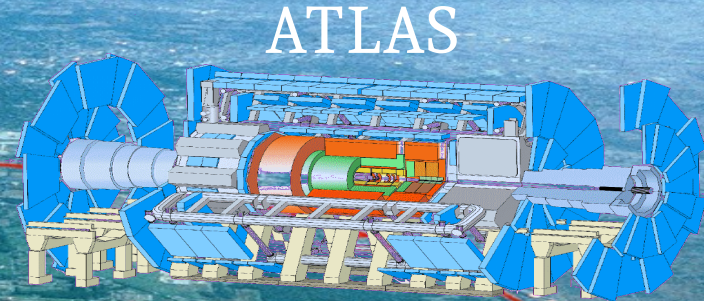


# Idővonal: múlt, jelen, jövő...





# A Nagy Hadronütköztető óriáskísérletei





# LHC upgrade: a nagyobb luminozitás felé

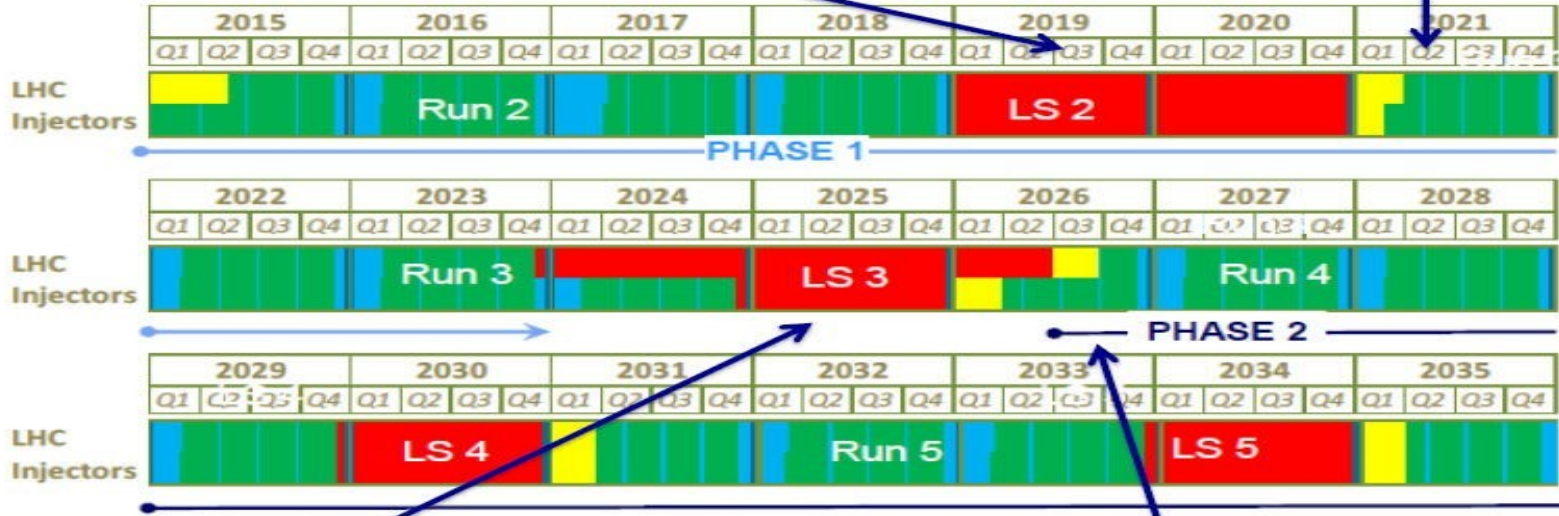
## LHC Schedule



### PHASE I Upgrade

ALICE, LHCb major upgrade  
ATLAS, CMS ,minor' upgrade

Heavy Ion Luminosity  
from  $10^{27}$  to  $7 \times 10^{27}$



### PHASE II Upgrade

ATLAS, CMS major upgrade

HL-LHC, pp luminosity

from  $10^{34}$  (peak) to  $5 \times 10^{34}$  (levelled)



# Az ALICE detektor



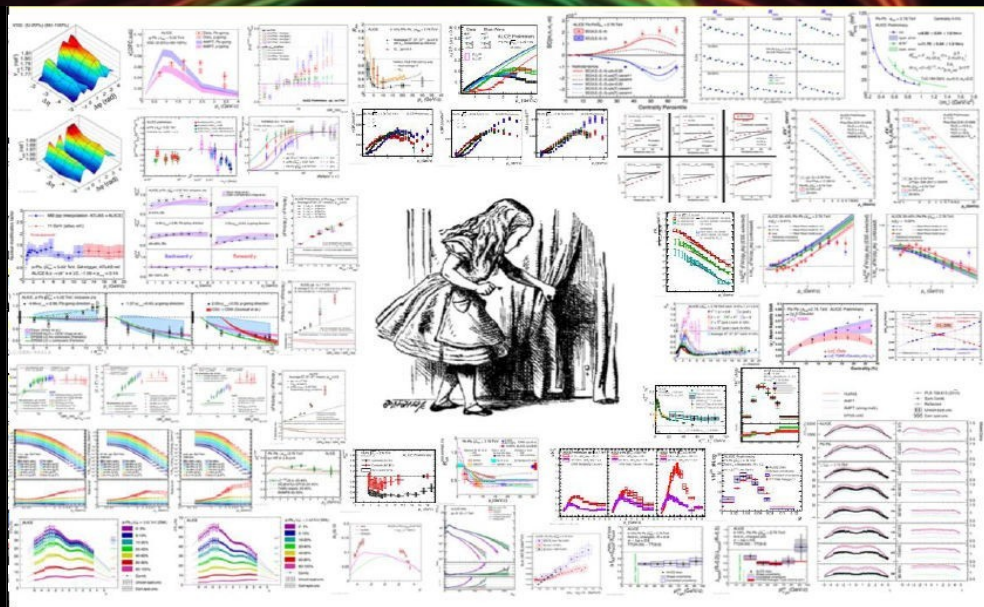
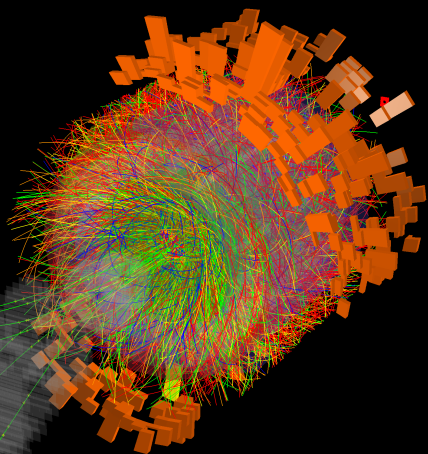
# Úton a felfedezések felé: ALICE kísérlet



A Magyar ALICE Csoport részt vesz a mért adatok elemzésében.



ALICE



Run: 244918  
Timestamp: 2015-11-25 11:25:36(UTC)  
System: Pb-Pb  
Energy: 5.02 TeV



# ALICE upgrade: felkészülés az LS2 utánra

## ALICE Upgrade

### New Inner Tracking System (ITS)

- improved pointing precision
- less material -> thinnest tracker at the LHC

### Muon Forward Tracker (MFT)

- new Si tracker
- Improved MUON pointing precision

### MUON ARM

- continuous readout electronics

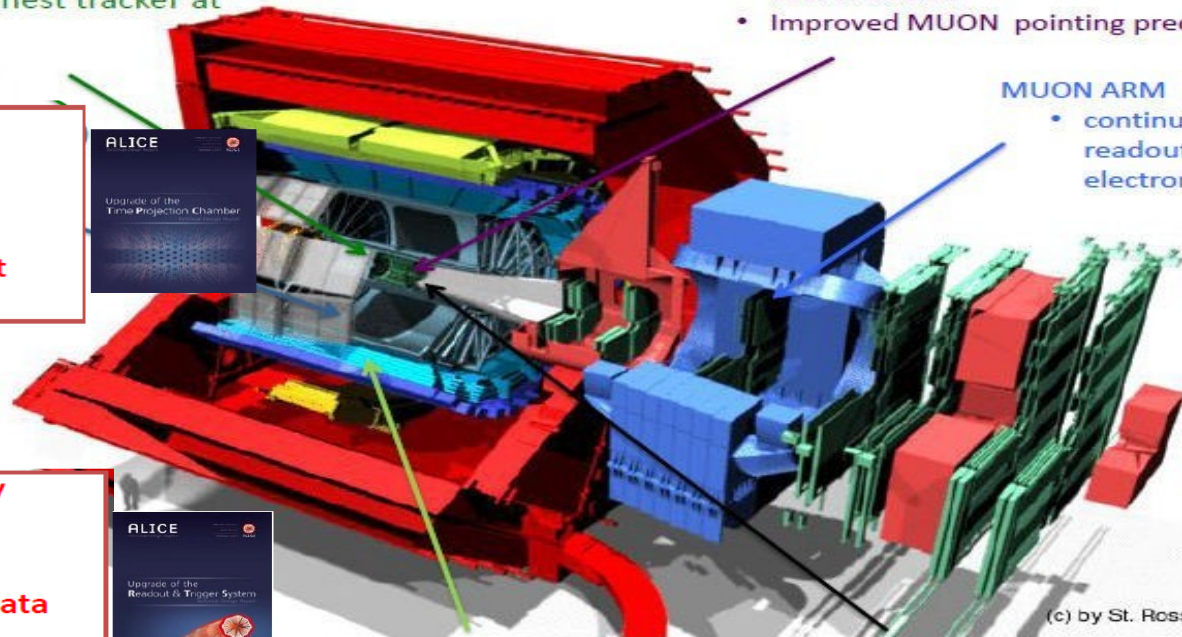
### TPC

- Micropattern gas detector technology
- continuous readout

### New Central Trigger Processor (CTP)

### Data Acquisition (DAQ)/ High Level Trigger (HLT)

- new architecture
- on line tracking & data compression
- 50kHz PbPb event rate



TOF, TRD  
• Faster readout

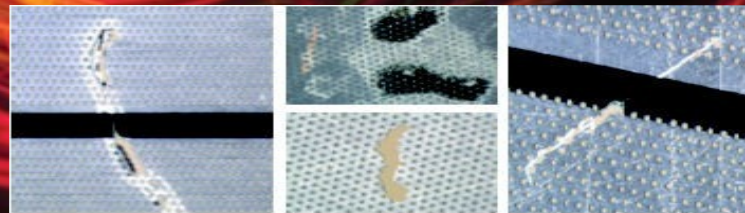
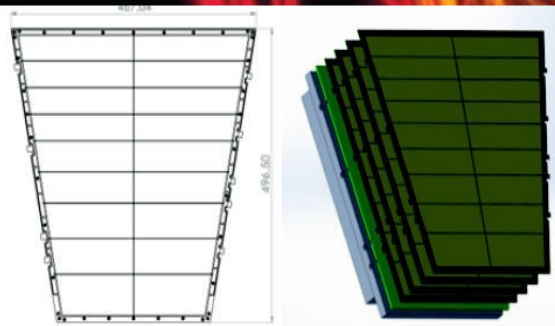
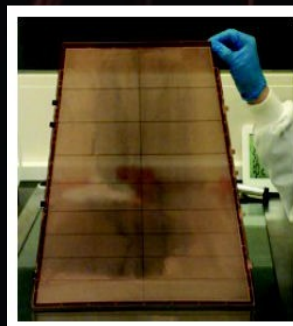
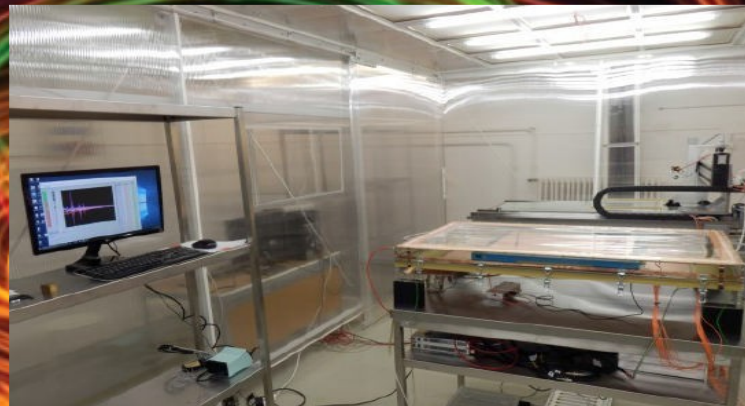
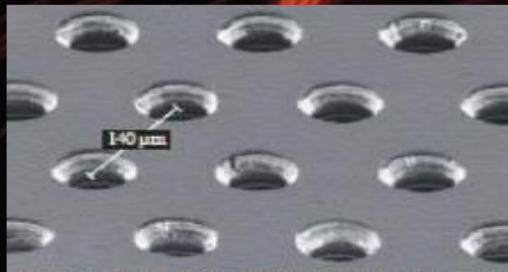
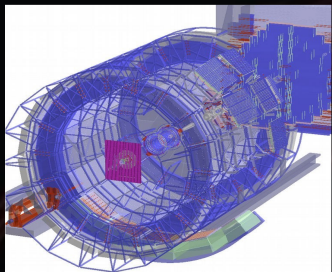
New Trigger Detectors (FIT)

(c) by St. Rossegger

# Úton a felfedezések felé: ALICE kísérlet



A Magyar ALICE Csoport részt vesz a **detektor fejlesztésében**.

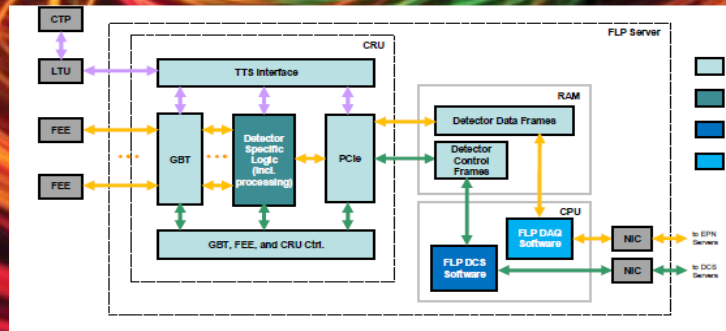
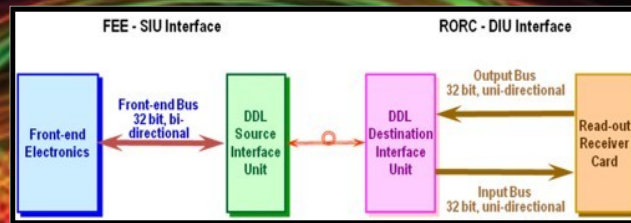
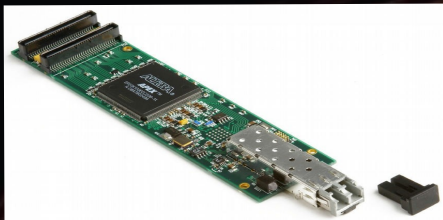




# Úton a felfedezések felé: ALICE kísérlet



A Magyar ALICE Csoport részt vesz az **adatgyűjtés fejlesztésében**.



# Új igények, új fejlesztési lehetőségek



Az FCC tanulmány feladata, hogy a nyitott tudományos kérdések fényében megvizsgálja a szükséges technológiai igényeket és a megvalósíthatóságot.

- **Future Circular Collider (FCC)**  
Circumference: 90 -100 km  
Energy: 100 TeV (pp) 90-350 GeV ( $e^+e^-$ )
- **Large Hadron Collider (LHC)**  
**Large Electron-Positron Collider (LEP)**  
Circumference: 27 km  
Energy: 14 TeV (pp) 209 GeV ( $e^+e^-$ )
- **Tevatron**  
Circumference: 6.2 km  
Energy: 2 TeV ( $p\bar{p}$ )





# Új fizika, hiányzó láncszemek



## FCC-hh:

- Legnagyobb energia 20-30 TeV-es részecskék és folyamatok vizsgálata
- SM-bozonok (H,W,Z) és  $q$  nagyintenzitású, többszörös produkciója
- 100 TeV-es energiájú nagyberendezés &  $20ab^{-1}$  luminozitás 25 évre

## FCC-ee:

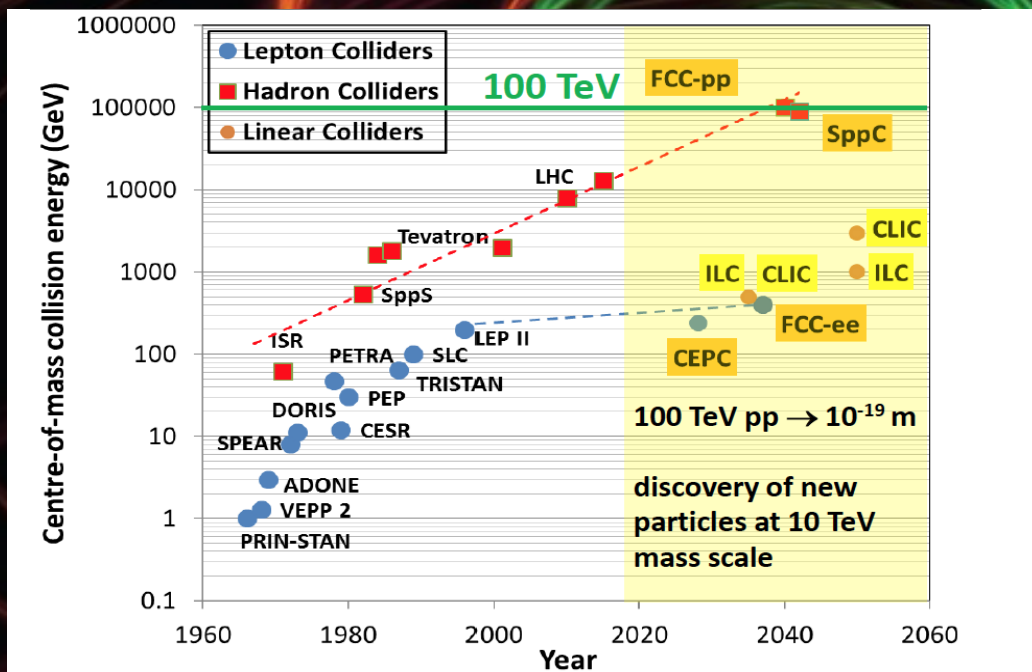
- Csatolások vizsgálata a 10-100 TeV energia tartományában
  - ~20-50x jobb pontosság a EW paraméterek mérésében: ( $m_Z$ ,  $m_W$ ,  $m_t$ ,  $R_b$ ,  $m_W$ , H,  $t$ )
  - Maximális luminozitású Z, WW, Z,H, ttbar produkció

## he-LHC:

- FCC-hh 16 T ágnesekkel 2xLHC energia
- Tkp. energia = 27 TeV 14 TeV x 16 T/8.33T emellett  $\geq 4$  x HL-LHC luminozitás
  - Az építési lehetőségektől is függ, de a HL-LHC & FCC technológiák adják meg a végső paramétereket

# Úton a felfedezések felé: a jövő gyorsítói

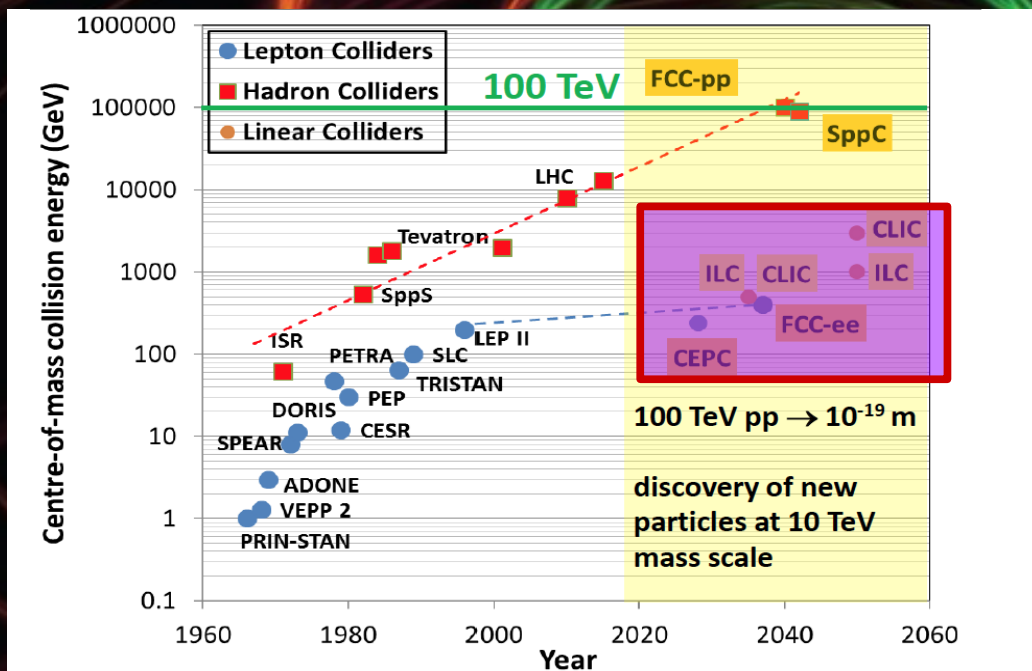
A nagyenergiás részecskegyorsítók hatalmas felfedezői pontenciállal rendelkeznek. Szinte minden gyorsítóhoz kötődik egy Nobel díjas felfedezés





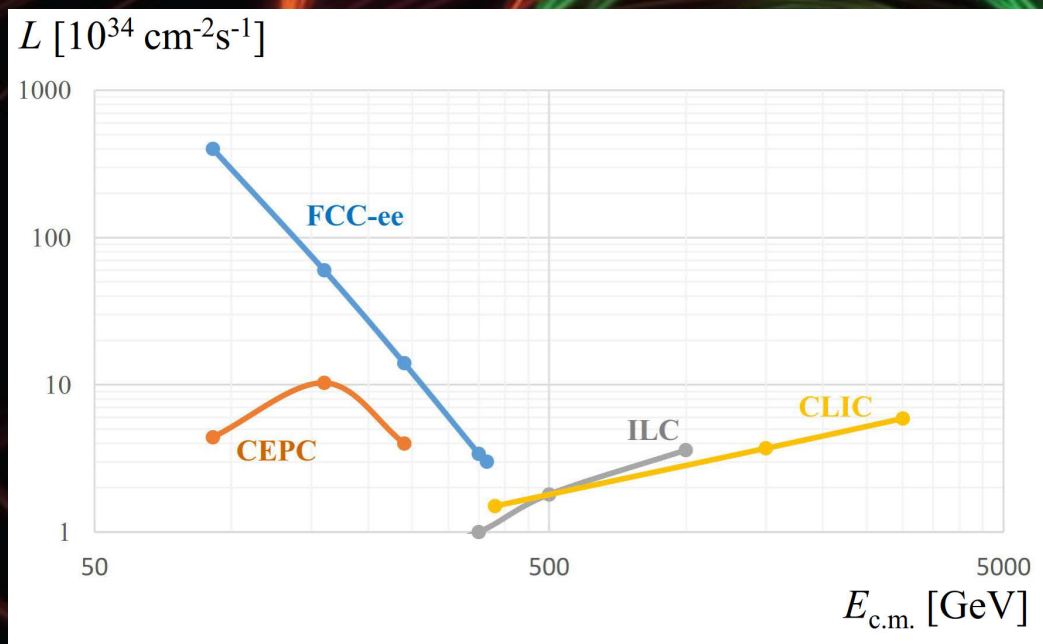
# Úton a felfedezések felé: a jövő gyorsítói

A nagyenergiás részecskegyorsítók hatalmas felfedezői potenciállal rendelkeznek. Szinte minden gyorsítóhoz kötődik egy Nobel díjas felfedezés



# Úton a felfedezések felé: a jövő gyorsítói

A nagyenergiás részecskegyorsítók hatalmas felfedezői pontenciállal rendelkeznek. Szinte minden gyorsítóhoz kötődik egy Nobel díjas felfedezés



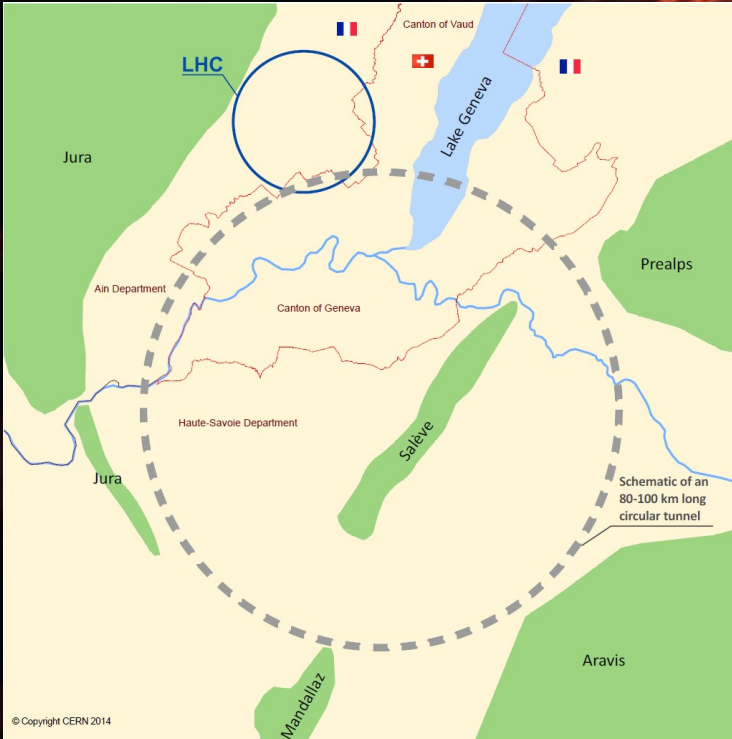


# Idővonal: múlt, jelen, jövő...





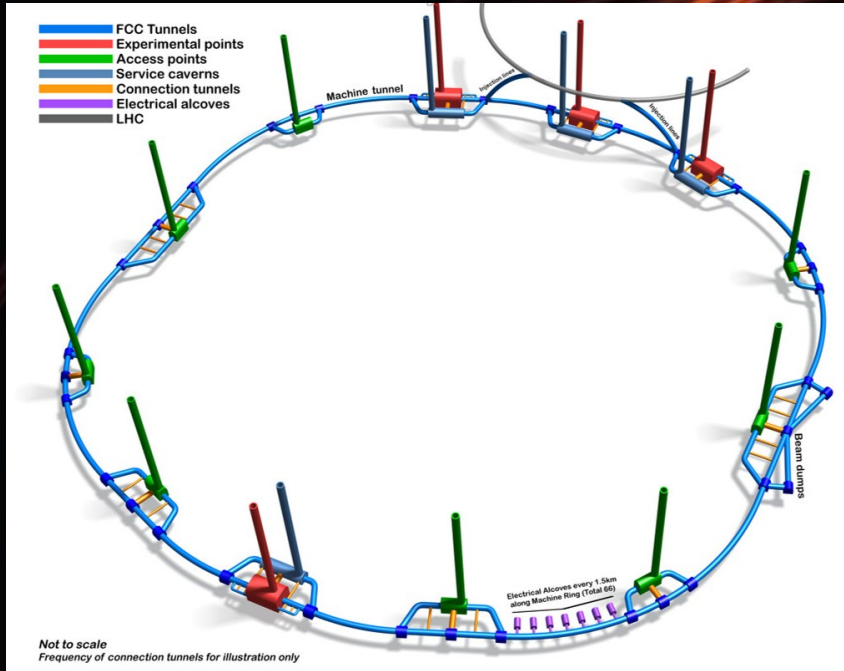
# - Hol épüljön fel a jövő gyorsítója?







# - a jövő gyorsítójának alagútja



100 km alagút - 6 m belső átmérő

4 óriásdetektor helyének kialakítása

8 kiszolgáló szervízterület

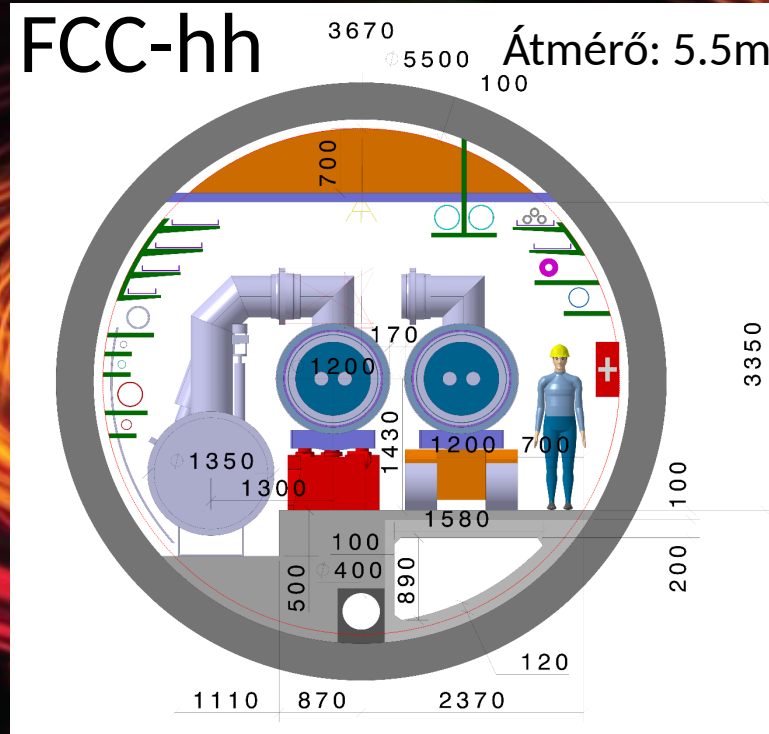
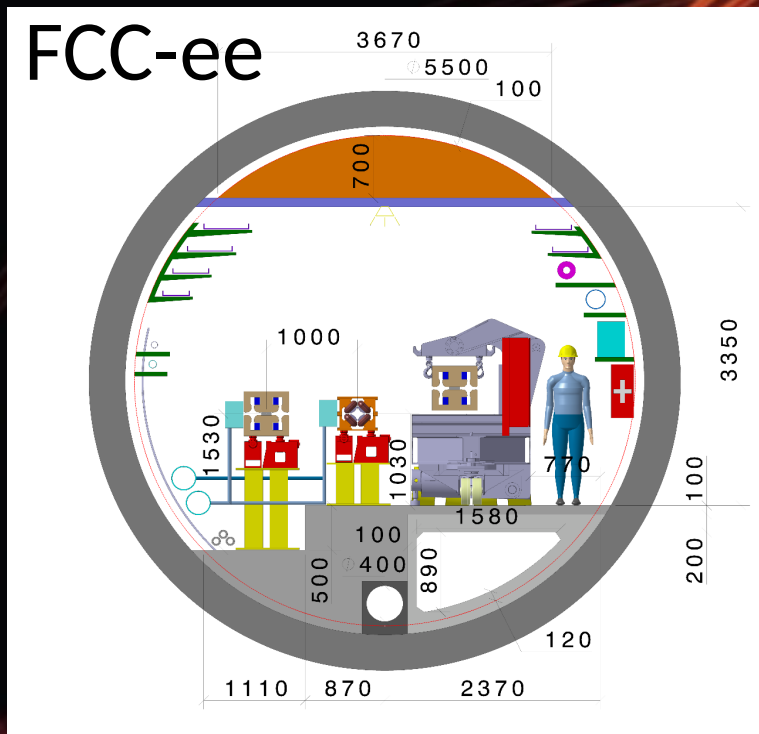
12 x 4 függőleges akna

2 összekötő alagút (10 km)

2 beam dump "nyalábszemetes" (4 km)



# - a jövő gyorsítójának alagútja







# - a jövő gyorsítójának alagútja

Alignment Shafts Query

Choose alignment option  
V4variation\_v2017-2

Tunnel elevation at centre: 322mASL

Grad. Params

Azimuth (°): -23.5  
Slope Angle x-x(%): 0.3  
Slope Angle y-y(%): 0.08

LOAD SAVE CALCULATE

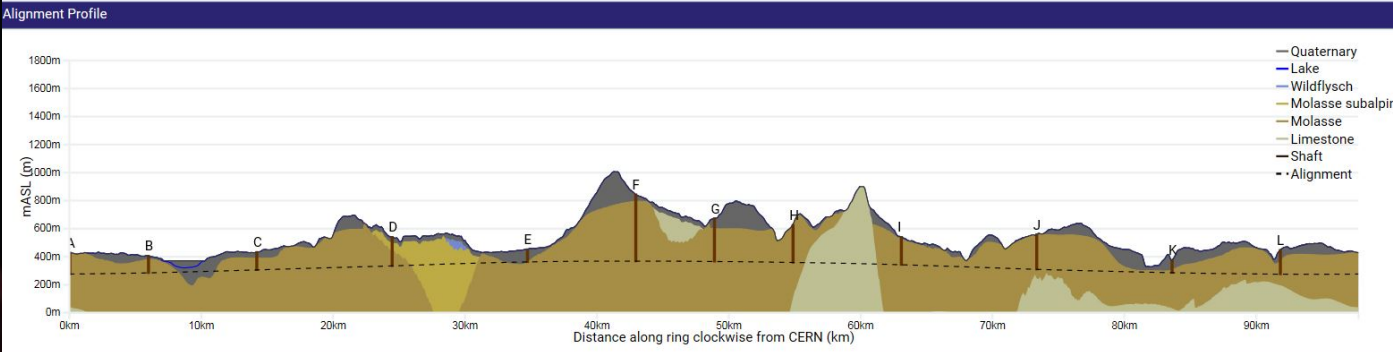
Alignment centre  
X: 2499941 Y: 1107760

	Angle	Depth	Angle	Depth
LHC	37°	49m	-40°	83m
SPS		121m		126m
TI2		121m		126m
TI8		51m		118m

Alignment Location

Geology Intersected by Shafts Shaft Depths

Point	Shaft Depth (m)					Geology (m)		
	Actual	Molasse SA	Wildflysch	Quaternary	Molasse	Urgonian	Limestone	
A	152	0	0	0	152	0	0	
B	121	0	0	26	95	0	0	
C	127	0	0	44	83	0	0	
D	205	66	0	40	100	0	0	
E	89	0	0	89	0	0	0	
F	476	0	0	49	427	0	0	
G	307	0	0	73	234	0	0	
H	266	0	0	0	266	0	0	
I	198	0	0	11	187	0	0	
J	248	0	0	1	247	0	0	
K	88	0	0	70	18	0	0	
L	172	0	0	89	83	0	0	
Total	2449	66	0	492	1892	0	0	



## Optimalizálás:

Kőzettípus  
Mélység hozzáférés  
Felszíni elemek?

## Kőzetek:

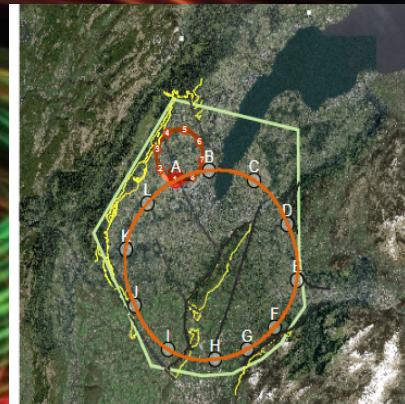
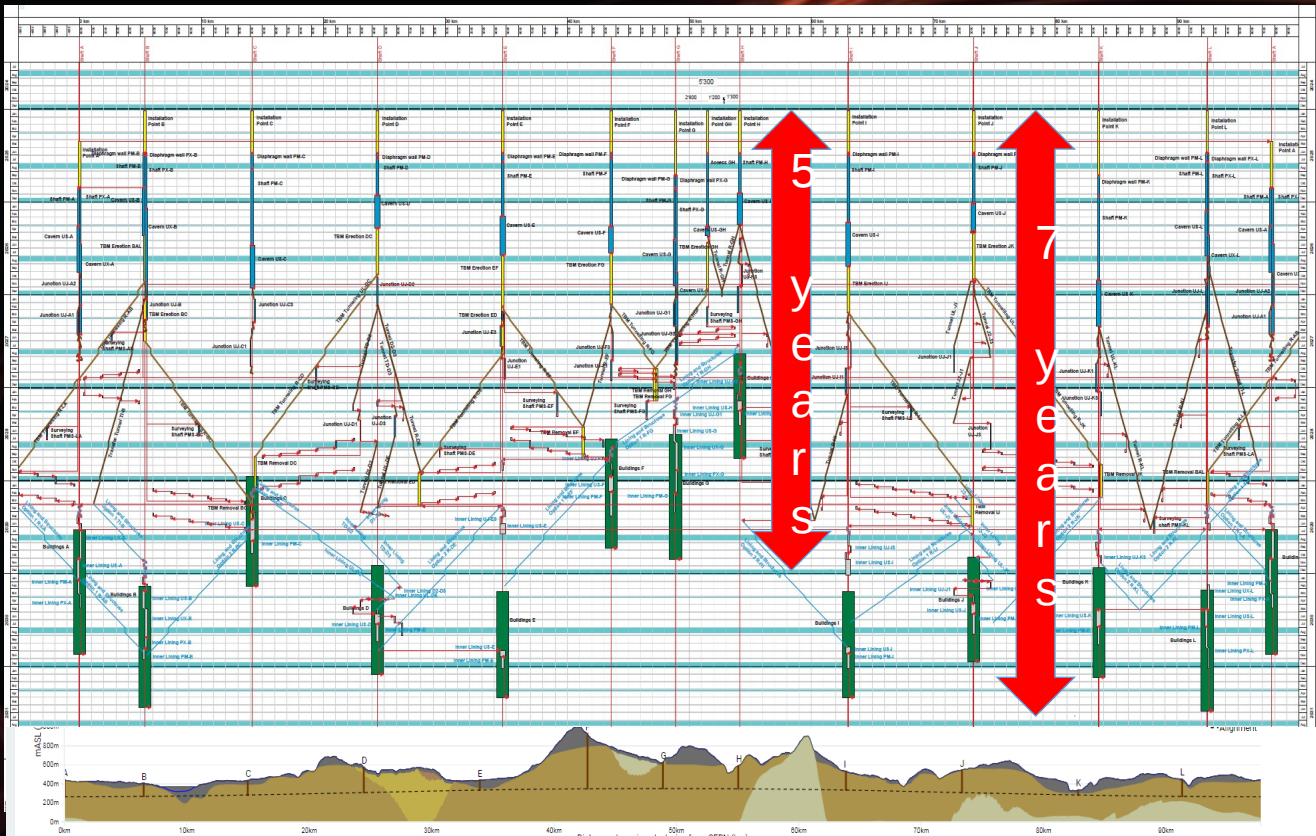
molassz 90%,  
mészkö 5%,  
moréna 5%

## Elhelyezkedés:

90-100 km pont illik  
a Genfi medencébe  
30 m-rel a tómeder  
alatt (sekély)  
Kapcsolat az LHC &  
SPS gyorsítókkal



# - a jövő gyorsítójának alagútja



Tervezés & építés

Első szektorok már  
5 év múlva  
installálhatóak

Teljes építés 7 év





– a jövő gyorsítójának alagútja





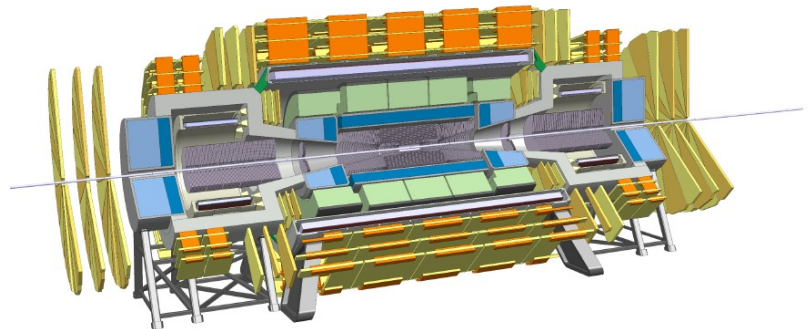
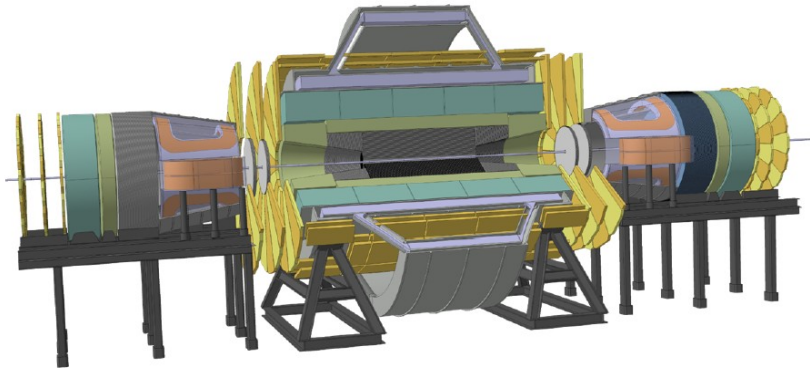
# – a jövő gyorsítójának detektora

**Szolenoid: 6 T, 12 m & árnyékolás**

65 GJ mágneses energia  
28 m átmérő  
>30 m shaft  
~több milliárd €

**Szolenoid: 4 T, 10 m, árnyékolás nélkül**

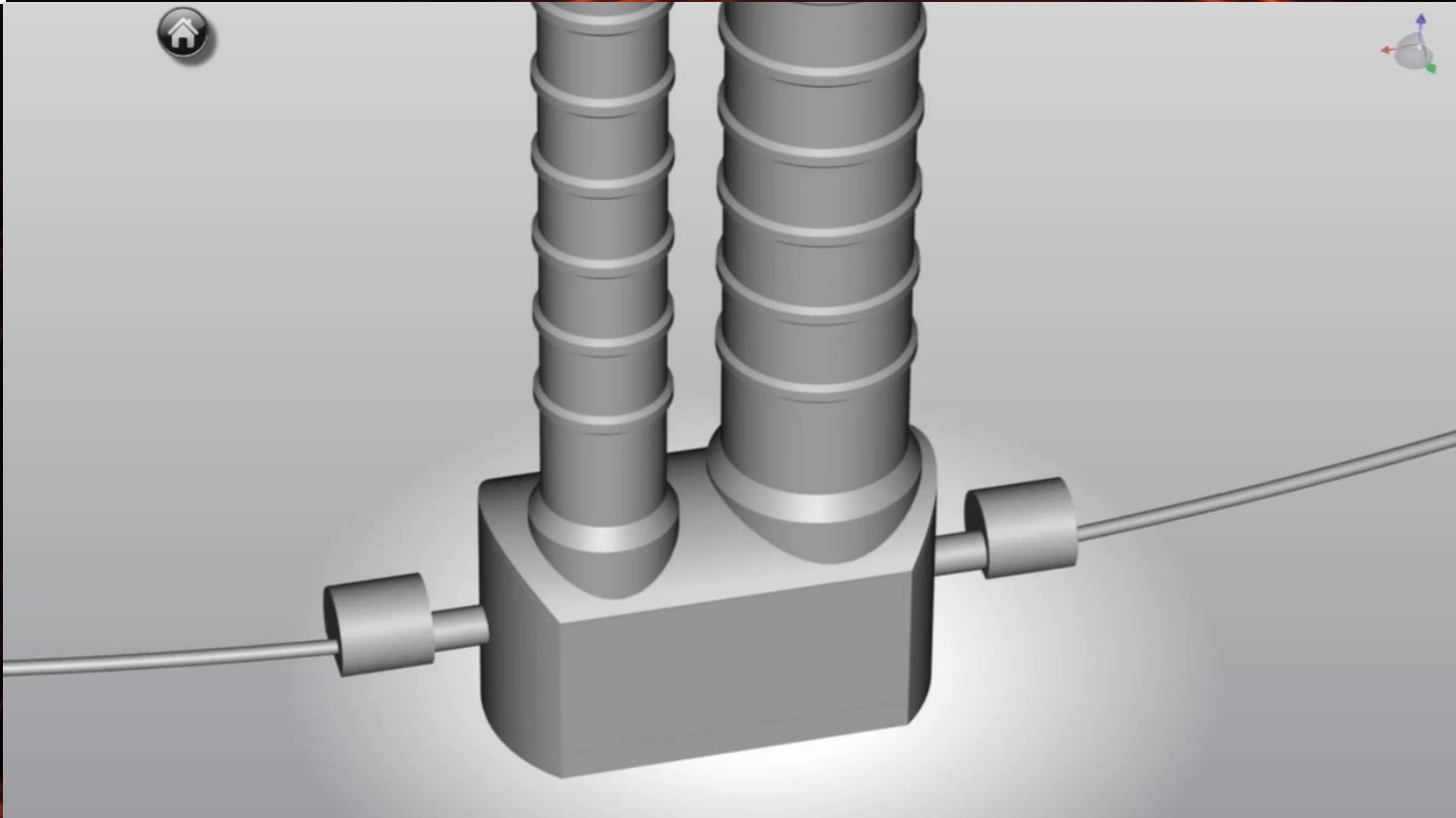
14 GJ mágneses energia  
Hengerszimmetrikus (tracking)  
20 m átmérő (~ ATLAS)  
15 m shaft  
~1 milliárd €







# - a jövő gyorsítójának detektora



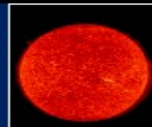
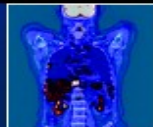
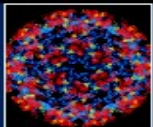
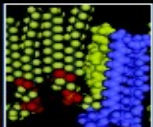
# Jó befektetés-e egy részecskegyorsító?

Jelenleg 24 000 részecskegyorsító  
üzemel a Földön.

A gyorsítóknak csak 1%-a, kb 200, amely  
alapkutatásban vesz részt.

Ezekkel 400 millárd € értékű termék  
készül évente.

Évente 75 000 beteget kezelnek  
hadronterápiás gyorsítókkal.





# Hol alkalmazunk részecskegyorsítókat?

Egészségügy, járványügy

Élelmiszeripar, virológia

Vegyipar, anyagtudomány

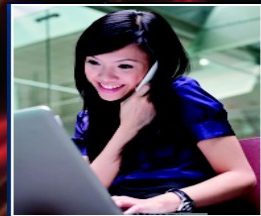
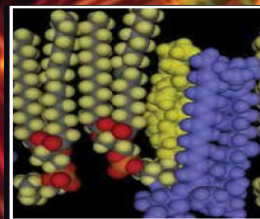
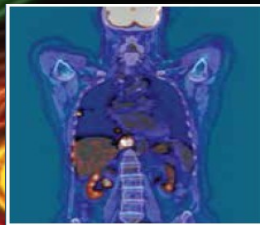
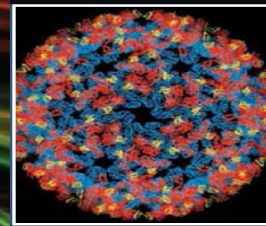
Gépjárműgyártás, űripár

Mikroelektronika, félvezetők

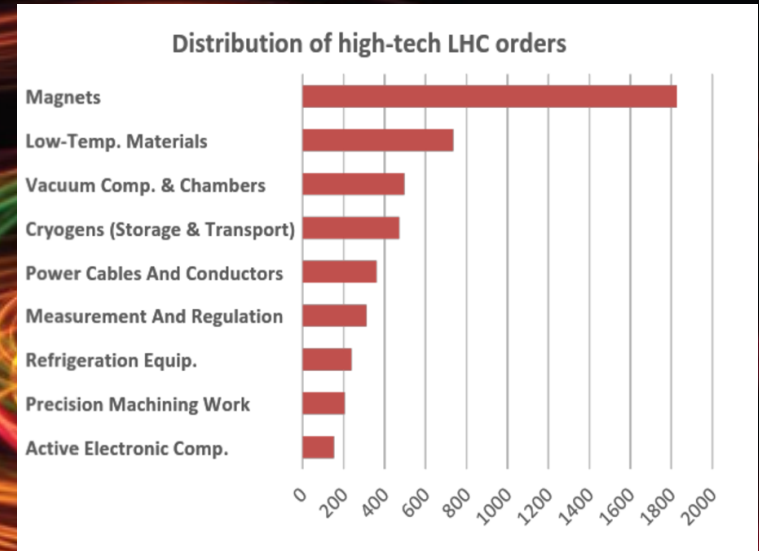
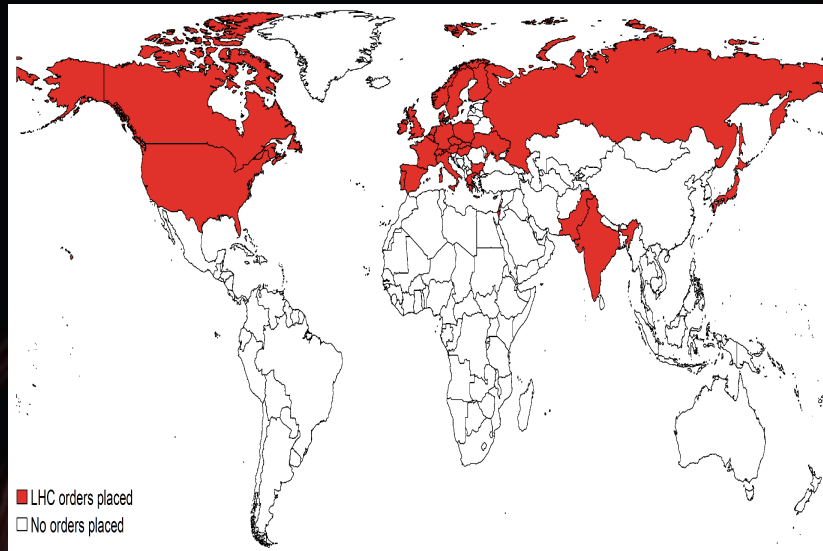
Energetika, környezetvédelem

Kulturális örökségvédelem

Nemzetbiztonság, hadipar



# Ipari partnerek az LHC építése során (1995-2008)



A CERN LHC projekt 13,4 milliárd euróba került az adófizetőknek

- mintegy 35 országból,
- 1400 cég vett részt a projektben,
- 12 000 (10 000 CHF-nél nagyobb értékű) megrendeléssel.



# Ipari és akadémiai partnerek az FCC projektben



113

Intézet

25

Ipari cég

32

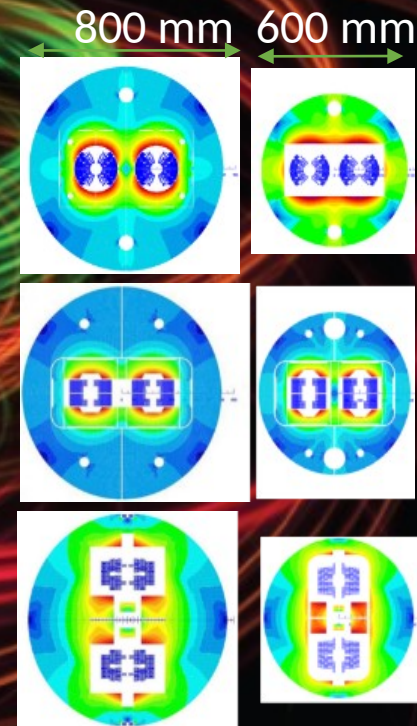
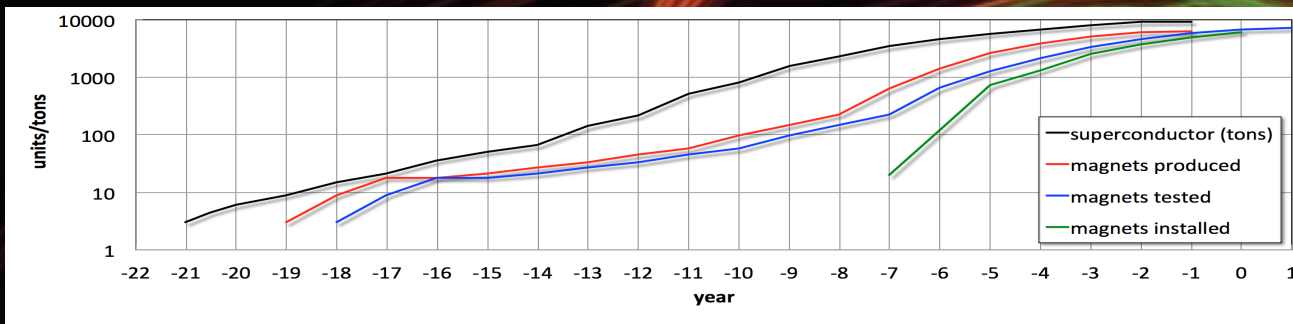
Ország



# Úton a felfedezések felé: mágnesek



A Hadronfizika Kutatócsoport részt vesz a mágnesek fejlesztésében.

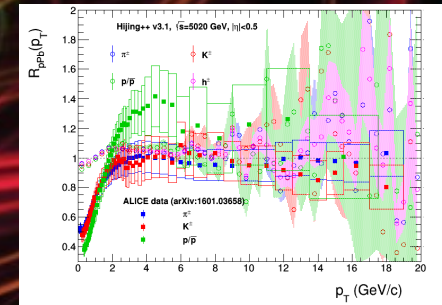
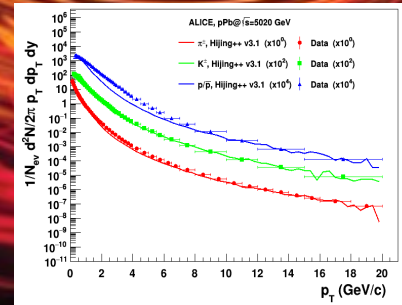
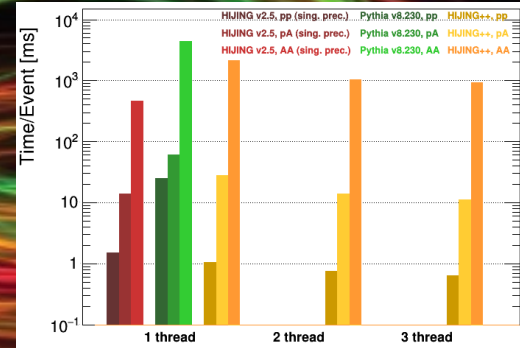
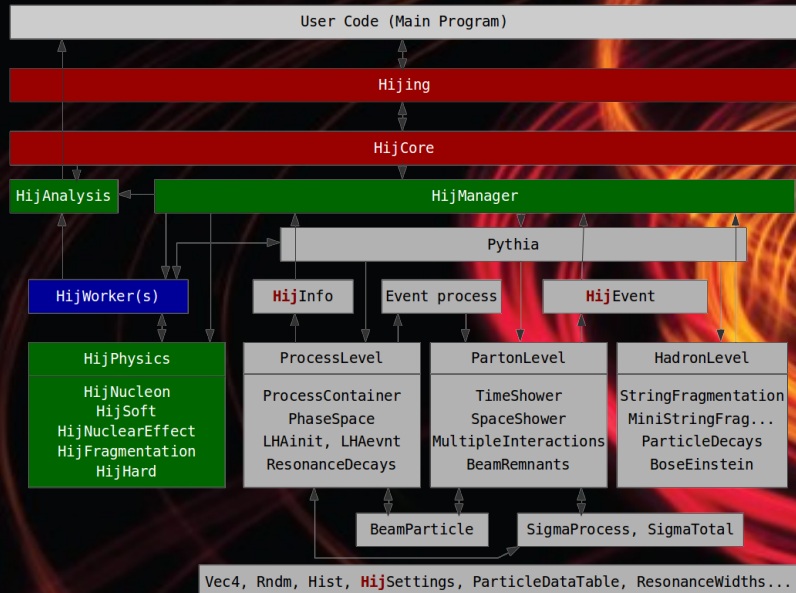




# Úton a felfedezések felé: szimuláció



A Nehézionfizika Wigner Kutatócsoport részt vesz **szoftver fejlesztésében.**





High  
Luminosity  
LHC



Magyarország  
2015 óta aktív tagja  
a FCC projektnek!

