

A NAGYENERGIÁS FIZIKA KIHÍVÁSAI: MI MINDEN KELL A NAGY FELFEDEZÉSHEZ?

KUTATÓK ÉJSZAKÁJA 2021

BÍRÓ GÁBOR

2021 09 24

EÖTVÖS

WIGNER

MTA

EÖTVÖS

LORÁND

FIZIKAI

KIVÁLÓ

LORÁND

TUDOMÁNYEGYETEM

KUTATÓKÖZPONT

KUTATÓHELY

KUTATÁSI HÁLÓZAT



ELKH

Eötvös Loránd
Kutatási Hálózat



2010: Vasvári Pál Gimnázium, Székesfehérvár

2013: Fizika BSc, Eötvös Loránd Tudományegyetem

- *Folyási jelenségek anizotropikus szemcsés anyagokban, Wigner FK*

2015: Fizikus MSc, Eötvös Loránd Tudományegyetem

- *Újgenerációs nagyenergiás fizikai detektorszimulátorok alkalmazása azonosított hadronspektrumok vizsgálatára, Wigner FK*

2021: Részecskefizika PhD, Eötvös Loránd Tudományegyetem

- *Részecskekeletés és hadronizáció vizsgálata nagyenergiás nehézion-ütközésekben, Wigner FK*

Tapasztalatok:

2013-tól: Wigner FK, fiatal kutató

Hosszabb kutatóutak: CERN (5 hónap), CCNU (Wuhan, 1 év), Olaszország, Németország, Hollandia, Franciaország, Belgium, Ukrajna...

CERN Nyári Diák (2014), Kar Kiváló Hallgatója (2015), Új Nemzeti Kiválóság Program ösztöndíjas (2017)

Fizika BSc gyakorlati órák, 20+ konferencia előadás



2010: Vasvári Pál Gimnázium, Székesfehérvár

2013: Fizika BSc, Eötvös Loránd Tudományegyetem

- *Folyási jelenségek anizotropikus szemcsés anyagokban*, Wigner FK

2015: Fizikus MSc, Eötvös Loránd Tudományegyetem

- *Újgenerációs nagyenergiás fizikai detektorszimulátorok alkalmazása azonosított hadronspektrumok vizsgálatára*, Wigner FK

2021: Részecskefizika PhD, Eötvös Loránd Tudományegyetem

- *Részecskekeletés és hadronizáció vizsgálata **nagyenergiás nehézion-ütközésekben***, Wigner FK

Tapasztalatok:

2013-tól: Wigner FK, fiatal kutató

Hosszabb kutatóutak: CERN (5 hónap), CCNU (Wuhan, 1 év), Olaszország, Németország, Hollandia, Franciaország, Belgium, Ukrajna...

CERN Nyári Diák (2014), Kar Kiváló Hallgatója (2015), Új Nemzeti Kiválóság Program ösztöndíjas (2017)

Fizika BSc gyakorlati órák, 20+ konferencia előadás



MIVEL FOGLALKOZIK A NAGYENERGIÁS FIZIKA?



MIVEL FOGLALKOZIK A NAGYENERGIÁS FIZIKA?



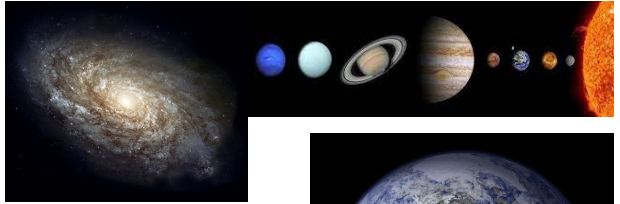
MIVEL FOGLALKOZIK A NAGYENERGIÁS FIZIKA?



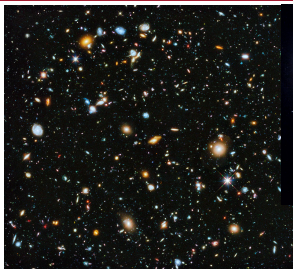
MIVEL FOGLALKOZIK A NAGYENERGIÁS FIZIKA?



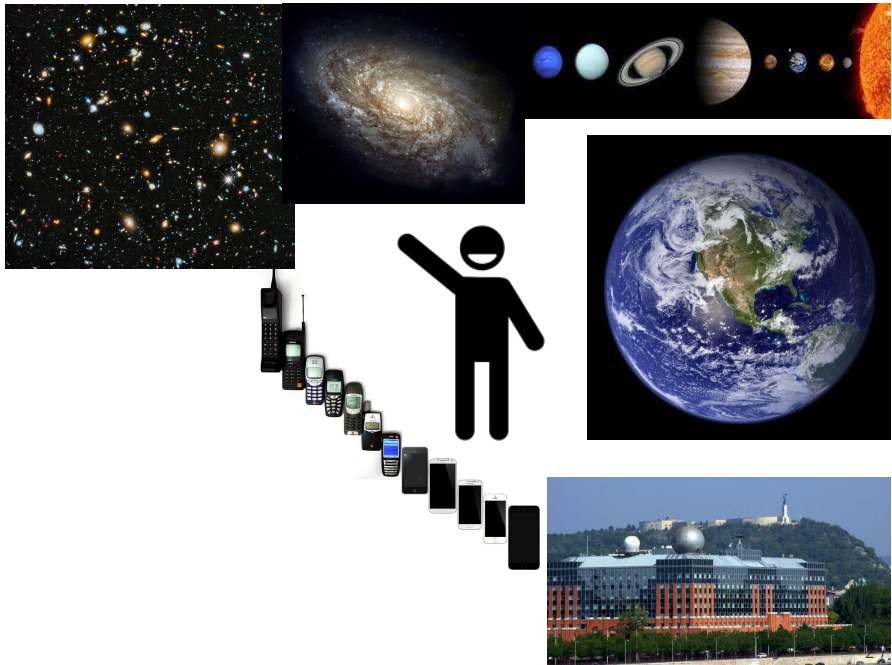
MIVEL FOGLALKOZIK A NAGYENERGIÁS FIZIKA?



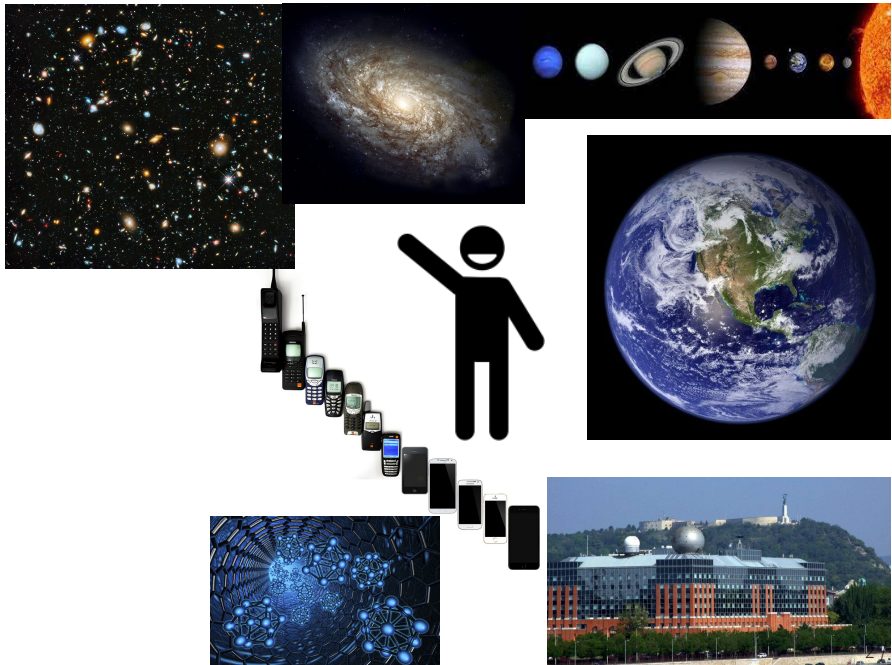
MIVEL FOGLALKOZIK A NAGYENERGIÁS FIZIKA?



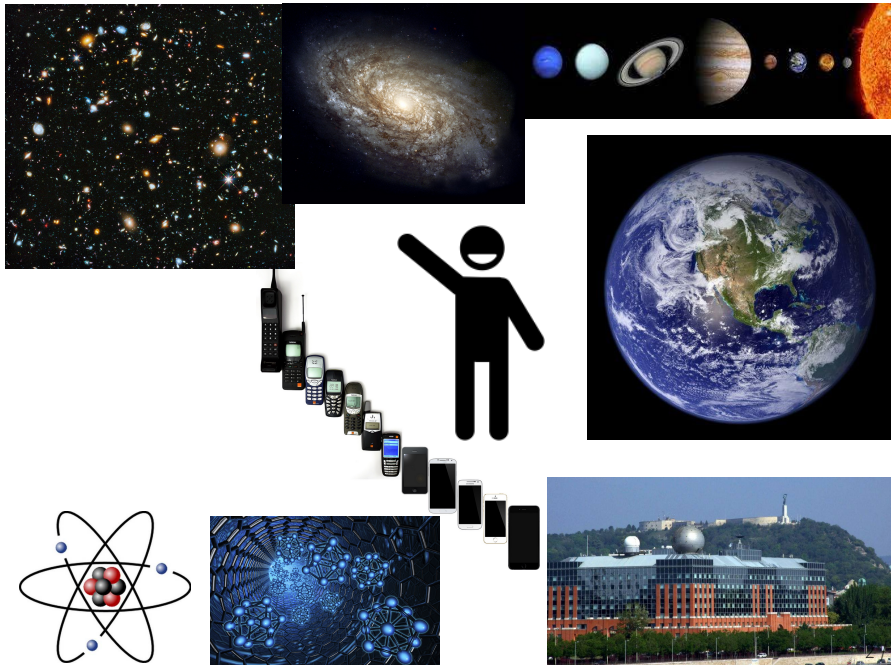
MIVEL FOGLALKOZIK A NAGYENERGIÁS FIZIKA?



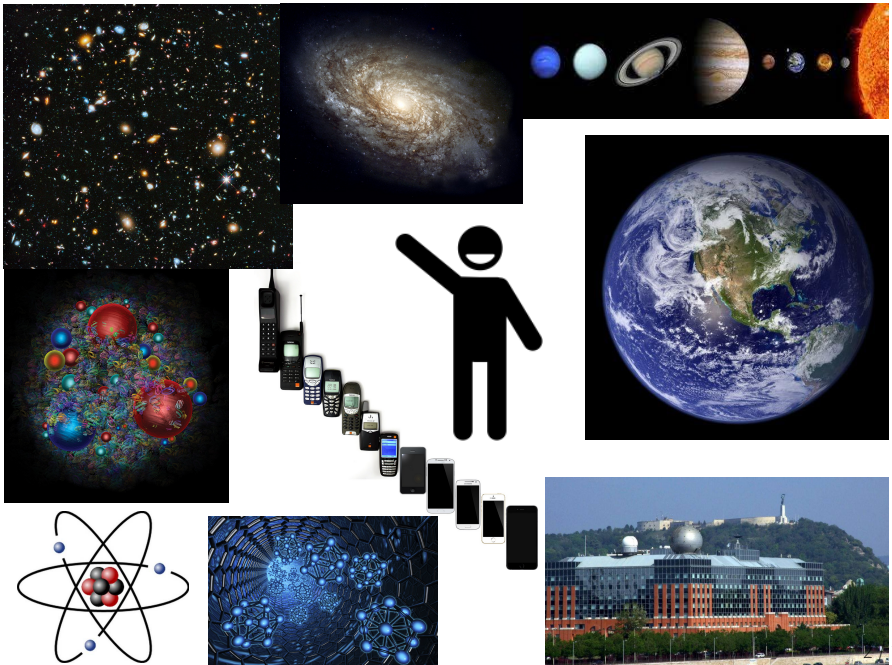
MIVEL FOGLALKOZIK A NAGYENERGIÁS FIZIKA?



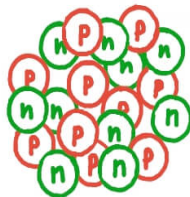
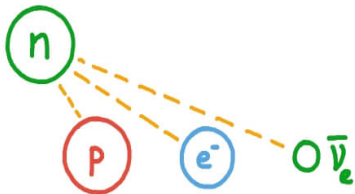
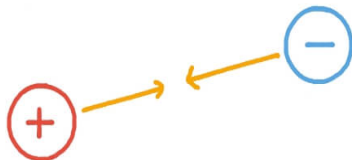
MIVEL FOGLALKOZIK A NAGYENERGIÁS FIZIKA?



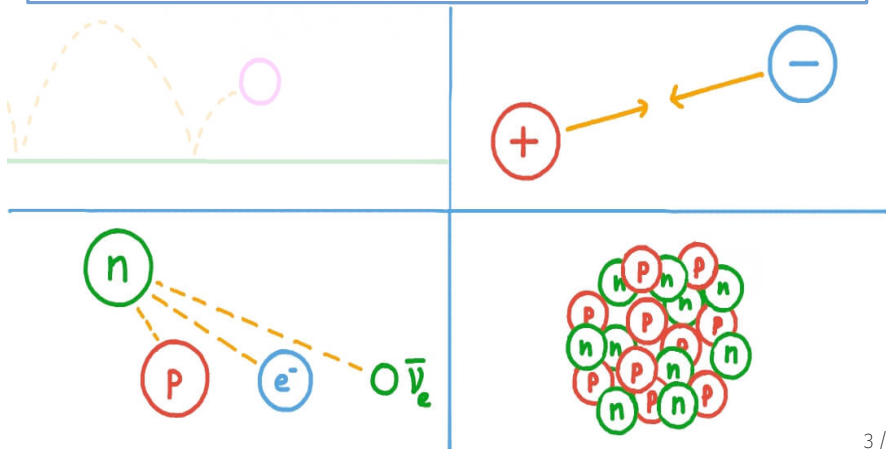
MIVEL FOGLALKOZIK A NAGYENERGIÁS FIZIKA?



FUNDAMENTÁLIS KÖLCSÖNHATÁSOK



FUNDAMENTÁLIS KÖLCSÖNHATÁSOK

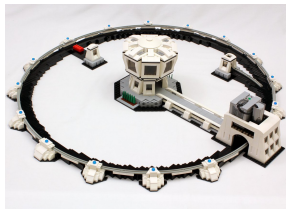
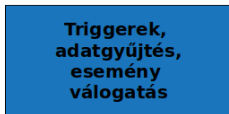
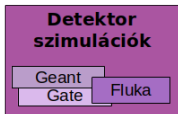
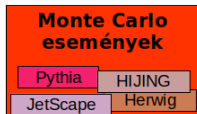
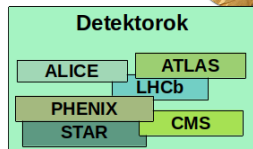
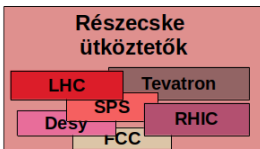
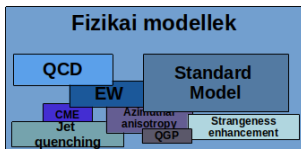


MI MINDEN KELL A NAGY FELFEDEZÉSHEZ?

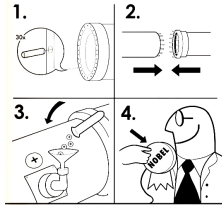
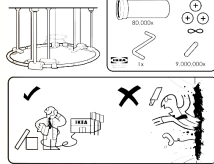
MI MINDEN KELL A NAGY FELFEZÉSHEZ?



Fizikai modellek + Részecskegyorsítók + Detektorok + Adatgyűjtő rendszerek + Szimulációk + Kiértékelés



HÄDRÖNN CJÖLIDDER

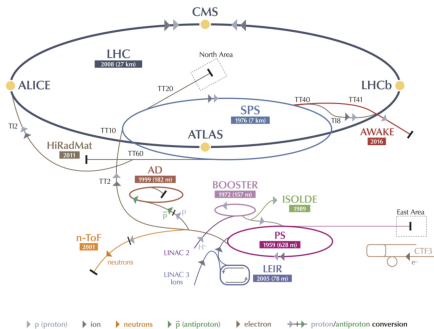


MI MINDEN KELL A NAGY FELFEDEZÉSHEZ?

Fizikai modellek + Részecskegyorsítók + Detektorok + Adatgyűjtő rendszerek + Szimulációk + Kiértékelés



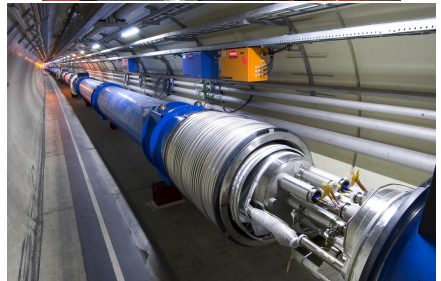
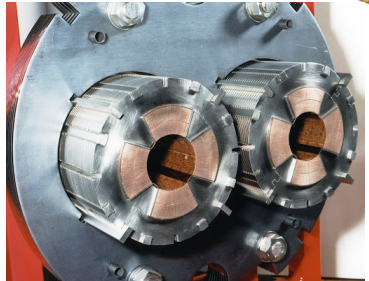
A CERN gyorsítói



LHC Large Hadron Collider SPS Super Proton Synchrotron PS Proton Synchrotron

AD Antiproton Decelerator CTF3 Clic Test Facility AWAKE Advanced WAKEfield Experiment ISOLDE Isotope Separator OnLine DEvice

LEIR Low Energy Ion Ring LINAC LINear ACcelerator n-ToF Neutrons Time Of Flight HiRadMat High-Radiation to Materials



Mi minden kell a nagy felfedezéshez?

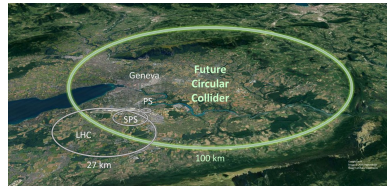
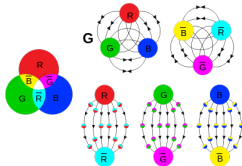
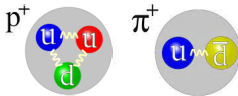
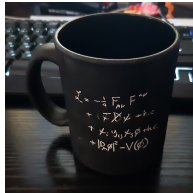
Fizikai modellek + Részecskegyorsítók + Detektorok + Adatgyűjtő rendszerek + Szimulációk + Kiértékelés



Az anyagi részecskék három családja (fermionok)

	I	II	III		
tömeg	2,3 MeV/c ²	1,27 GeV/c ²	173 GeV/c ²	0	125 GeV/c ²
töltés	2/3	2/3	2/3	0	0
spin	1/2	1/2	1/2	1	0
név	u-kvark	c-kvark	t-kvark	γ	H
				foton	Higgs-bozon
Kvarkok	4,8 MeV/c ²	95 MeV/c ²	4,2 GeV/c ²	0	
	2/3	-1/3	-1/3	0	
	1/2	1/2	1/2	1	
	d-kvark	s-kvark	b-kvark	g	
				gluon	
Leptonok	<2,2 eV/c ²	<0,17 MeV/c ²	<15,5 MeV/c ²	91,2 GeV/c ²	
	0	0	0	0	
	1/2	1/2	1/2	1	
	ve	νμ	ντ	Z ⁰	
	elektron-neutrínó	müon-neutrínó	tau-neutrínó	Z-bozon	
	0,511 MeV/c ²	105,7 MeV/c ²	1,777 GeV/c ²	80,4 GeV/c ²	
	-1	-1	-1	±1	
	1/2	1/2	1/2	1	
	e	μ	τ	W [±]	
	elektron	müon	tau	W-bozon	

Bozonok (kölcsonhatások)



MI MINDEN KELL A NAGY FELFEDEZÉSHEZ?

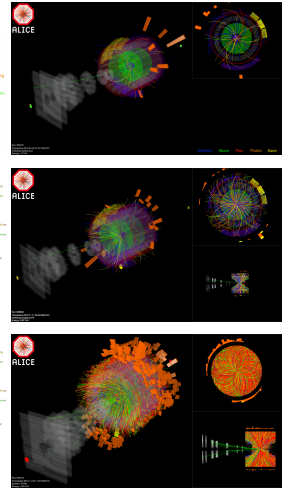
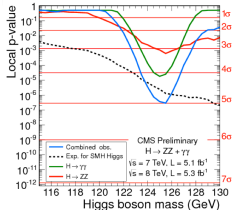
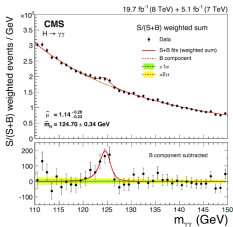
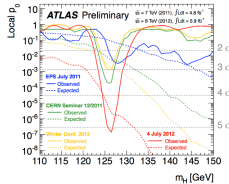
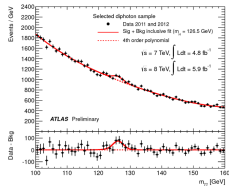
Fizikai modellek + Részecskegyorsítók + Detektorok + Adatgyűjtő rendszerek + Szimulációk + Kiértékelés



$$\begin{aligned}
 \mathcal{L} = & -\frac{1}{2} \partial_\nu g_\mu^a \partial_\nu g_\mu^a - g_s f^{abc} \partial_\mu g_\nu^a g_\mu^b g_\nu^c - \frac{1}{4} g_s^2 f^{abc} f^{ade} g_\mu^a g_\nu^b g_\mu^c g_\nu^d - \frac{1}{2} ig_s^2 (\bar{q}_i^\sigma \gamma_i^\mu q_j^\sigma) g_\mu^a + \bar{C}^a \partial^2 C^a + g_s f^{abc} \partial_\mu \bar{C}^a C^b g_\mu^c - \partial_\nu W_\mu^+ \partial_\nu W_\mu^- - M^2 W_\mu^+ W_\mu^- - \\
 & \frac{1}{2} \partial_\nu Z_\mu^0 \partial_\nu Z_\mu^0 - \frac{1}{2c_w^2} M^2 Z_\mu^0 Z_\mu^0 - \frac{1}{2} \partial_\mu A_\nu \partial_\mu A_\nu - \frac{1}{2} \partial_\mu H \partial_\mu H - \frac{1}{2} m_h^2 H^2 - \partial_\mu \phi^+ \partial_\mu \phi^- - M^2 \phi^+ \phi^- - \frac{1}{2} \partial_\mu \phi^0 \partial_\mu \phi^0 - \frac{1}{2c_w^2} M \phi^0 \phi^0 - \beta_h \left[\frac{2M^2}{g^2} + \right. \\
 & \left. \frac{2M}{g} H + \frac{1}{2} (H^2 + \phi^0 \phi^0 + 2\phi^+ \phi^-) \right] + \frac{2M^2}{g^2} \alpha_h - ig_{c_w} [\partial_\nu Z_\mu^0 (W_\mu^+ W_\nu^- - W_\nu^+ W_\mu^-) - Z_\nu^0 (W_\mu^+ \partial_\nu W_\mu^- - W_\nu^- \partial_\mu W_\mu^+) + Z_\mu^0 (W_\nu^+ \partial_\nu W_\mu^- - W_\nu^- \partial_\mu W_\mu^+)] - \\
 & ig_{s_w} [\partial_\nu A_\mu (W_\mu^+ W_\nu^- - W_\nu^+ W_\mu^-) - A_\nu (W_\mu^+ \partial_\nu W_\mu^- - W_\nu^- \partial_\mu W_\mu^+) + A_\mu (W_\nu^+ \partial_\nu W_\mu^- - W_\nu^- \partial_\mu W_\mu^+)] - \frac{1}{2} g^2 W_\mu^+ W_\mu^- W_\nu^+ W_\nu^- + \frac{1}{2} g^2 W_\mu^+ W_\nu^- W_\mu^+ W_\nu^- + \\
 & g^2 c_w^2 (Z_\mu^0 W_\mu^+ Z_\nu^0 W_\nu^- - Z_\nu^0 Z_\mu^0 W_\nu^+ W_\nu^-) + g^2 s_w^2 (A_\mu W_\mu^+ A_\nu W_\nu^- - A_\mu A_\nu W_\mu^+ W_\nu^-) + g^2 s_w c_w [A_\mu Z_\nu^0 (W_\mu^+ W_\nu^- - W_\nu^+ W_\mu^-) - 2A_\mu Z_\mu^0 W_\nu^+ W_\nu^-] - g\alpha [H^3 + H\phi^0 \phi^0 + \\
 & 2H\phi^+ \phi^-] - \frac{1}{8} g^2 \alpha_h [H^4 + (\phi^0)^4 + 4(\phi^+ \phi^-)^2 + 4(\phi^0)^2 \phi^+ \phi^- + 4H^2 \phi^+ \phi^- + 2(\phi^0)^2 H^2] - gM W_\mu^+ W_\mu^- H - \frac{1}{2} g \frac{M}{c_w} Z_\mu^0 Z_\mu^0 H - \frac{1}{2} ig [W_\mu^+ (\phi^0 \partial_\mu \phi^- - \\
 & \phi^- \partial_\mu \phi^0) - W_\mu^- (\phi^0 \partial_\mu \phi^+ - \phi^+ \partial_\mu \phi^0)] + \frac{1}{2} g [W_\mu^+ (H \partial_\mu \phi^- - \phi^- \partial_\mu H) - W_\mu^- (H \partial_\mu \phi^+ - \phi^+ \partial_\mu H)] + \frac{1}{2} g \frac{1}{c_w} (Z_\mu^0 (H \partial_\mu \phi^0 - \phi^0 \partial_\mu H) - \\
 & ig \frac{1}{2} M Z_\mu^0 (W_\mu^+ \phi^- - W_\mu^- \phi^+) + ig_{s_w} M A_\mu (W_\mu^+ \phi^- - W_\mu^- \phi^+) - ig \frac{1-2c_w^2}{2c_w} Z_\mu^0 (\phi^+ \partial_\mu \phi^- - \phi^- \partial_\mu \phi^+) + ig_{s_w} A_\mu (\phi^+ \partial_\mu \phi^- - \phi^- \partial_\mu \phi^+) - \\
 & \frac{1}{4} g^2 W_\mu^+ W_\mu^- [H^2 + (\phi^0)^2 + 2\phi^+ \phi^-] - \frac{1}{4} g^2 \frac{1}{c_w} Z_\mu^0 Z_\mu^0 [H^2 + (\phi^0)^2 + 2(2s_w^2 - 1)^2 \phi^+ \phi^-] - \frac{1}{2} g^2 \frac{1}{c_w} Z_\mu^0 \phi^0 (W_\mu^+ \phi^- + W_\mu^- \phi^+) - \frac{1}{2} ig^2 \frac{1}{c_w} Z_\mu^0 H (W_\mu^+ \phi^- - \\
 & W_\mu^- \phi^+) + \frac{1}{2} g^2 s_w A_\mu \phi^0 (W_\mu^+ \phi^- + W_\mu^- \phi^+) + \frac{1}{2} ig^2 s_w A_\mu H (W_\mu^+ \phi^- - W_\mu^- \phi^+) - g^2 \frac{1}{2} (2c_w^2 - 1) Z_\mu^0 A_\mu \phi^+ \phi^- - g^2 s_w^2 A_\mu A_\mu \phi^+ \phi^- - \bar{e}^\lambda (\gamma \partial + \\
 & m_e \lambda) e^\lambda - \bar{\nu}^\lambda \gamma \partial \nu^\lambda - \bar{u}_j^\lambda (\gamma \partial + m_u \lambda) u_j^\lambda - \bar{d}_j^\lambda (\gamma \partial + m_d \lambda) d_j^\lambda + ig_{s_w} A_\mu [-(\bar{e}^\lambda \gamma^\mu e^\lambda) + \frac{2}{3} (\bar{u}_j^\lambda \gamma^\mu u_j^\lambda) - \frac{1}{3} (\bar{d}_j^\lambda \gamma^\mu d_j^\lambda)] + \frac{ig}{4c_w} Z_\mu^0 [(\bar{\nu}^\lambda \gamma^\mu (1 + \\
 & \gamma^5) \nu^\lambda) + (\bar{e}^\lambda \gamma^\mu (4s_w^2 - 1 - \gamma^5) e^\lambda) + (\bar{u}_j^\lambda \gamma^\mu (\frac{4}{3}s_w^2 - 1 - \gamma^5) u_j^\lambda) + (\bar{d}_j^\lambda \gamma^\mu (1 - \frac{8}{3}s_w^2 - \gamma^5) d_j^\lambda)] + \frac{ig}{2\sqrt{2}} W_\mu^+ [(\bar{\nu}^\lambda \gamma^\mu (1 + \gamma^5) e^\lambda) + (\bar{u}_j^\lambda \gamma^\mu (1 + \\
 & \gamma^5) C_{\lambda\kappa} d_j^\kappa)] + \frac{ig}{2\sqrt{2}} W_\mu^- [(\bar{e}^\lambda \gamma^\mu (1 + \gamma^5) \nu^\lambda) + (\bar{d}_j^\kappa C_{\lambda\kappa}^\dagger \gamma^\mu (1 + \gamma^5) u_j^\lambda)] + \frac{ig}{2\sqrt{2}} \frac{\lambda}{M} [-\phi^+ (\bar{\nu}^\lambda (1 - \gamma^5) e^\lambda) + \phi^- (\bar{e}^\lambda (1 + \gamma^5) \nu^\lambda)] - \frac{g}{2} \frac{\lambda}{M} [H(\bar{e}^\lambda e^\lambda) + \\
 & i\phi^0 (\bar{e}^\lambda \gamma^5 e^\lambda)] + \frac{ig}{2M\sqrt{2}} \phi^+ [-m_d^\kappa (\bar{u}_j^\lambda C_{\lambda\kappa} (1 - \gamma^5) d_j^\kappa) + m_u^\lambda (\bar{u}_j^\lambda C_{\lambda\kappa} (1 + \gamma^5) d_j^\kappa) + \frac{ig}{2M\sqrt{2}} \phi^- [m_d^\lambda (\bar{d}_j^\lambda C_{\lambda\kappa}^\dagger (1 + \gamma^5) u_j^\kappa) - m_u^\kappa (\bar{d}_j^\lambda C_{\lambda\kappa}^\dagger (1 - \gamma^5) u_j^\kappa) - \\
 & \frac{g}{2} \frac{\lambda}{M} H(\bar{u}_j^\lambda u_j^\lambda) - \frac{g}{2} \frac{\lambda}{M} H(\bar{d}_j^\lambda d_j^\lambda) + \frac{ig}{2} \frac{\lambda}{M} \phi^0 (\bar{u}_j^\lambda \gamma^5 u_j^\lambda) - \frac{ig}{2} \frac{\lambda}{M} \phi^0 (\bar{d}_j^\lambda \gamma^5 d_j^\lambda) + \bar{X}^+ (\partial^2 - M^2) X^+ + \bar{X}^- (\partial^2 - M^2) X^- + \bar{X}^0 (\partial^2 - \frac{M^2}{c_w^2}) X^0 + \bar{Y} \partial^2 Y + \\
 & ig_{c_w} W_\mu^+ (\partial_\mu \bar{X}^0 X^- - \partial_\mu \bar{X}^+ X^0) + ig_{s_w} W_\mu^+ (\partial_\mu \bar{Y} X^- - \partial_\mu \bar{X}^+ Y) + ig_{c_w} W_\mu^- (\partial_\mu \bar{X}^- X^0 - \partial_\mu \bar{X}^0 X^+) + ig_{s_w} W_\mu^- (\partial_\mu \bar{X}^- Y - \partial_\mu \bar{Y} X^+) + ig_{c_w} Z_\mu^0 (\partial_\mu \bar{X}^+ X^+ - \\
 & \partial_\mu \bar{X}^- X^-) + ig_{s_w} A_\mu (\partial_\mu \bar{X}^+ X^+ - \partial_\mu \bar{X}^- X^-) - \frac{1}{2} g M [\bar{X}^+ X^+ H + \bar{X}^- X^- H + \frac{1}{c_w} \bar{X}^0 X^0 H] + \frac{1-2c_w^2}{2c_w} ig M [\bar{X}^+ X^0 \phi^+ - \bar{X}^- X^0 \phi^-] + \frac{1}{2c_w} ig M [\bar{X}^0 X^- \phi^+ - \\
 & \bar{X}^0 X^+ \phi^-] + ig M s_w [\bar{X}^0 X^- \phi^+ - \bar{X}^0 X^+ \phi^-] + \frac{1}{2} ig M [\bar{X}^+ X^+ \phi^0 - \bar{X}^- X^- \phi^0]
 \end{aligned}$$

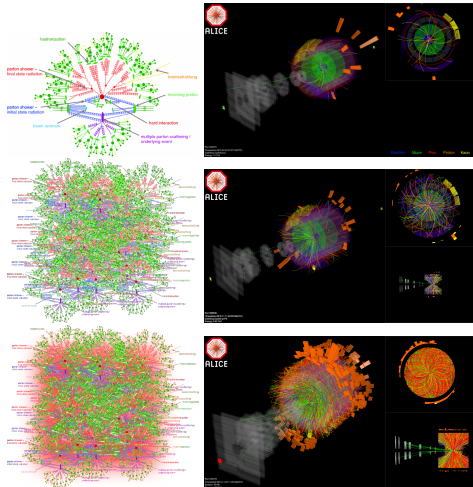
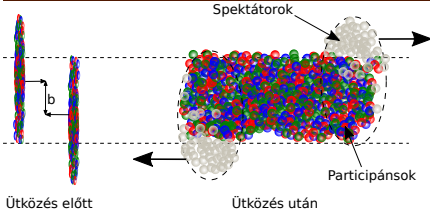
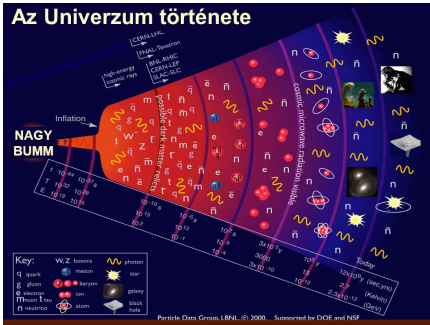
MI MINDEN KELL A NAGY FELFEDEZÉSHEZ?

Fizikai modellek + Részecskegyorsítók + Detektorok + Adatgyűjtő rendszerek + Szimulációk + Kiértékelés



MI MINDEN KELL A NAGY FELFEZÉSHEZ?

Fizikai modellek + Részecskegyorsítók + Detektorok + Adatgyűjtő rendszerek + Szimulációk + Kiértékelés

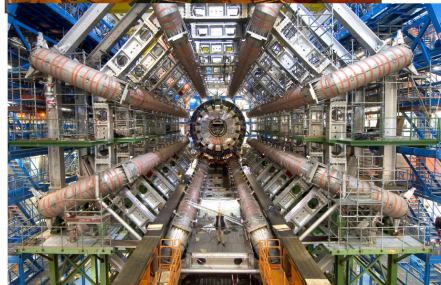


MI MINDEN KELL A NAGY FELFEDEZÉSHEZ?

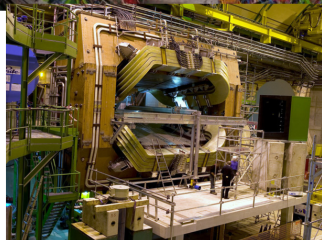
Fizikai modellek + Részecskegyorsítók + Detektorok + Adatgyűjtő rendszerek + Szimulációk + Kiértékelés



**ALICE
CMS**



**ATLAS
LHCb**



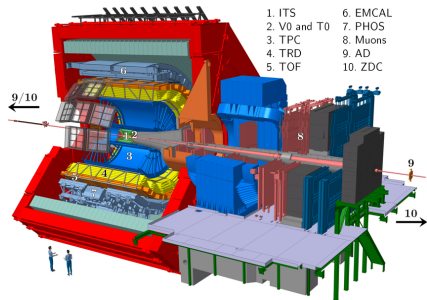
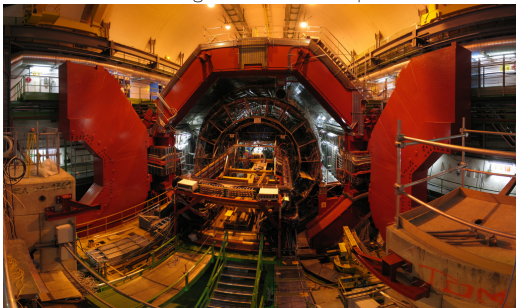
MI MINDEN KELL A NAGY FELFEDEZÉSHEZ?

Fizikai modellek + Részecskegyorsítók + Detektorok + Adatgyűjtő rendszerek + Szimulációk + Kiértékelés



ALICE: A Large Ion Collider Experiment

39 ország, **~2000** kutató
10 000 tonna, **26x16** méter

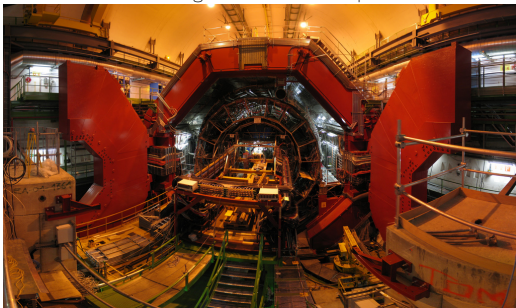


MI MINDEN KELL A NAGY FELFEDEZÉSHEZ?

Fizikai modellek + Részecskegyorsítók + Detektorok + Adatgyűjtő rendszerek + Szimulációk + Kiértékelés



ALICE: A Large Ion Collider Experiment



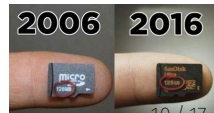
39 ország, **~2000** kutató
10 000 tonna, **26x16** méter

Ősrobbanás laboratóriumban: a Napnál
100 000-szer forróbb anyag vizsgálata

Kvark-gluon plazma: egy sűrű,
forró, átlátszatlan,
örvénylő tökéletes
folyadék



- 88 PB adat – 2022-től: 57+ PB **évente**
 - 1 PB \approx 1 000 000 000 MB
- 900 000 darab 4k felbontású film (200 év...)
- 67 milliárd darab floppy



MI MINDEN KELL A NAGY FELFEDEZÉSHEZ?

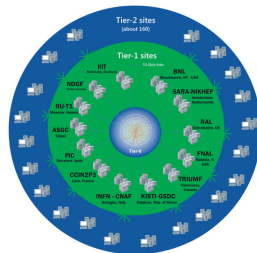
Egy darab ütközés adata: **10 kB – 2 MB** \Rightarrow akkor mi foglal ilyen sok helyet??

Akár **1 000 000** ütközés másodpercenként \Rightarrow és miért kell ilyen sok??

Az „érdekes” események **ritkák**: például minden milliárd ütközésben keletkezik 1 darab Higgs-bozon \Rightarrow az is lehet hogy éppen észre sem vesszük...

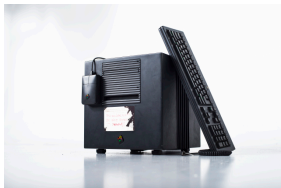
Nem minden ütközés érdekes: **1-2 TB/s** \rightarrow **0.5-4 GB/s** (ez még mindig sok – ilyen gyors internettel: a teljes Marvel Univerzum 4k-ban négy és fél perc alatt...)

Szimulációk: elengedhetetlenek, de ehhez képest sokkal lassabbak...



Grid \Rightarrow Budapest:

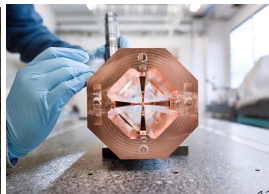
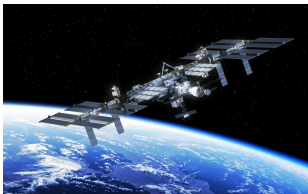
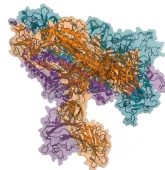
- Tier-2: kb. 800 TB és 1200 CPU
- ALICE Wigner Analysis Facility: kb. 1100 TB és 3650 CPU



„HÉTKÖZNAPI” VÍVMÁNYOK

„HÉTKÖZNAPI” VÍVMÁNYOK

„Mellékes” eredmények: WWW, számítástechnika, kriotechnika, radioterápia, geológiai képalkotás, orvosi képalkotás, anyagtudományok, COVID-19 kutatások...



Hány részecskegyorsító működik ma a Földön?

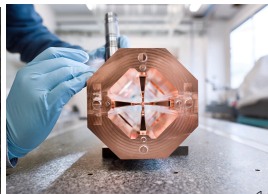
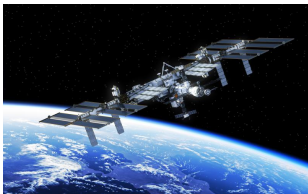
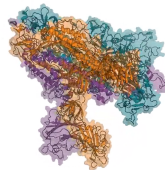
1. Kevesebb, mint 50
2. 1000-2000
3. Több mint 30 000

Hány részecskegyorsító működik ma a Földön?

1. Kevesebb, mint 50
2. 1000-2000
3. **Több mint 30 000**

„HÉTKÖZNAPI” VÍVMÁNYOK

„Mellékes” eredmények: WWW, számítástechnika, kriotechnika, radioterápia, geológiai képalkotás, orvosi képalkotás, anyagtudományok, COVID-19 kutatások...



AZ ALICE BUDAPEST CSOPORT

Elméleti kutatások

Nagyenergiás nukleáris effektusok, hadronizáció, az anyag különböző fázisainak a vizsgálata, mesterséges intelligencia...

ALICE adatanalízis

Keletkezett részecskék energiaeloszlása, korrelációk, ritka részecskék vizsgálata...

Detektorfejlesztés

2 éves fejlesztési időszakok, nagy luminozítás, detektorkomponensek tervezése és tesztelése...

Adatgyűjtő rendszerek (DAQ)

Nagy mennyiségű adat gyors kiolvasása és továbbítása, óriási sugárzási háttér, FPGA firmware/software fejlesztés...

Szimulációs modellek fejlesztése

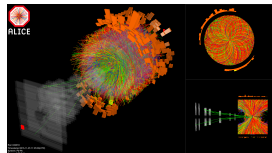
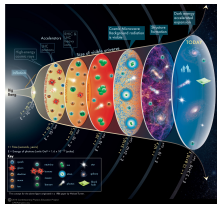
Detektorszimulációk és **eseménygenerátorok**, hatalmas számítási igény, modern hardverek kihasználása, új, korszerű szoftverek fejlesztése...

Fenomenológikus modellek

Hadronizáció vizsgálata statisztikus fizikai módszerekkel, kompakt csillagok...

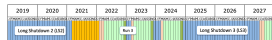
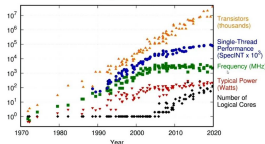
IT infrastruktúrák

ALICE Tier 2, Analysis Facility, GPU Laboratórium, Cloud

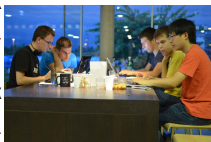


50 Years of Technology Scaling

48 Years of Microprocessor Trend Data



Különböző tudományterületek összefonódása



A Világegyetem működésének megértése

Csúcstechnológiák használata

Élethosszig tartó tanulás, folyamatos fejlődés



Rendszeres iskolák, konferenciák

Karrier (és hobbi): akár már a középiskolától



Kapcsolatok és tapasztalatok a világ minden táján

ELÉRHETŐSÉGEK

ALICE Budapest Csoport: <http://alice.kfki.hu/>

ALICE CERN honlap: <https://alice.cern/>

Email: biro.gabor@wigner.hu

Köszönöm a figyelmet! 😊

TÁMOGATÓK

A kutatást az OTKA K135515, K120660, 2019-2.1.6-NEMZ_KI-2019-00011 pályázatok támogatják.