

A NAGYENERGIÁS FIZIKA FELFEDEZÉSEI: AZ ŐSROBBANÁSTÓL A HIGGS-BOZONIG

LOVASSY LÁSZLÓ GIMNÁZIUM, VESZPRÉM – PÁLYAORIENTÁCIÓS NAP

BÍRÓ GÁBOR
2021 03 31

WIGNER FIZIKAI **KUTATÓKÖZPONT**
MTA KIVÁLÓ **KUTATÓHELY**
EÖTVÖS LORÁND **KUTATÁSI HÁLÓZAT**
EÖTVÖS LORÁND **TUDOMÁNYEGYETEM**



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

- *Részecskekeltés 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

- *Részecskekeltés 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



„Az energia nem vész el, csak átalakul...”

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



„Az energia nem vész el, csak átalakul...”

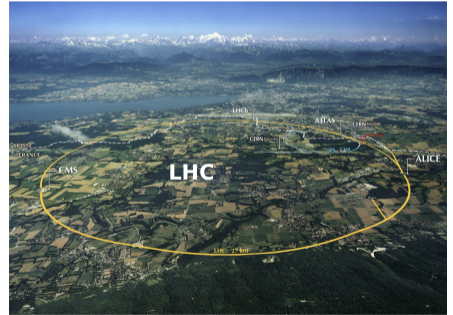
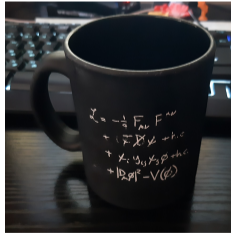
Fizikai modellek + Részecskegyorsítók + Detektorok + Adatgyűjtő rendszerek + Szimulációk + Kiértékelés



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	foton	Higgs-bozon
Kvarkok	4,8 MeV/c ² -1/3	95 MeV/c ² -1/3	4,2 GeV/c ² -1/3	0	
	d-kvark	s-kvark	b-kvark	1	g
				0	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	Z ⁰
	1/2	1/2	1/2	1	Z-bozon
	elektron-neutrínó	müon-neutrínó	tau-neutrínó		
	0,511 MeV/c ²	105,7 MeV/c ²	1,777 GeV/c ²	80,4 GeV/c ²	
	-1	-1	-1	±1	W [±]
	1/2	1/2	1/2	1	W-bozon
	e	μ	τ		
	elektron	müon	tau		

Bozonok (kölcsonhatások)



„Az energia nem vész el, csak átalakul...”

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



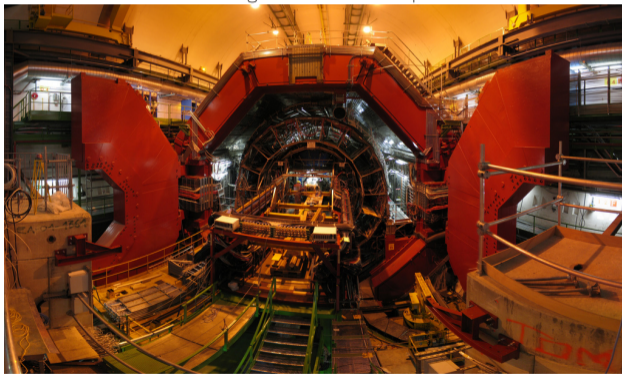
$$\begin{aligned}
 \mathcal{L} = & -\frac{1}{2} \partial_\nu g_\mu^a \partial_\nu g_\mu^a - g_s f^{abc} \partial_\mu g_\nu^a g_\mu^b g_\nu^c - \frac{1}{4} g_s^2 f^{abc} f^{ade} g_\mu^a g_\nu^b g_\mu^c g_\nu^d + \frac{1}{2} i g_s^2 (\bar{\psi}_i^\sigma \gamma^\mu \psi_j^\sigma) g_\mu^a + \bar{G}^a \partial^2 G^a + g_s f^{abc} \partial_\mu \bar{G}^a G^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} + \frac{2M}{g} H + \frac{1}{2} (H^2 + \phi^0 \phi^0 + 2\phi^+ \phi^-) \right] + \frac{2M^4}{g^2} \alpha_h - i g_{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_\nu W_\mu^+)] - i g_{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_\nu 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_\mu^0 Z_\nu^0 W_\mu^+ 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] - g M W_\mu^+ W_\mu^- H - \frac{1}{2} g \frac{M}{c_w} Z_\mu^0 Z_\mu^0 H - \frac{1}{2} i g [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) - i g \frac{s_w}{c_w} M Z_\mu^0 (W_\mu^+ \phi^- - W_\mu^- \phi^+) + i g_{s_w} M A_\mu (W_\mu^+ \phi^- - \\
 & W_\mu^- \phi^+) - i g \frac{1-2c_w^2}{2c_w} Z_\mu^0 (\phi^+ \partial_\mu \phi^- - \phi^- \partial_\mu \phi^+) + i g_{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{s_w^2}{c_w} Z_\mu^0 \phi^0 (W_\mu^+ \phi^- + W_\mu^- \phi^+) - \frac{1}{2} i g^2 \frac{s_w^2}{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} i g^2 s_w A_\mu H (W_\mu^+ \phi^- - W_\mu^- \phi^+) - g^2 \frac{s_w}{c_w} (2c_w^2 - 1) Z_\mu^0 A_\mu \phi^+ \phi^- - \\
 & g^1 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 + i g_{s_w} A_\mu [- (\bar{e}^\lambda \gamma^\mu e^\lambda) + \frac{2}{3} (\bar{\nu}_j^\lambda \gamma^\mu \nu_j^\lambda) - \frac{1}{3} (\bar{d}_j^\lambda \gamma^\mu d_j^\lambda)] + \frac{i g}{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{i g}{2\sqrt{2}} W_\mu^+ [(\bar{\nu}^\lambda \gamma^\mu (1 + \gamma^5) e^\lambda) + (\bar{u}_j^\lambda \gamma^\mu (1 + \gamma^5) \nu_j^\lambda)] + \frac{i g}{2\sqrt{2}} W_\mu^- [(\bar{e}^\lambda \gamma^\mu (1 + \gamma^5) \nu^\lambda) + \\
 & (\bar{d}_j^\lambda \gamma^\mu (1 + \gamma^5) u_j^\lambda)] + \frac{i g}{2\sqrt{2}} \frac{m_\lambda}{M} [-\phi^+ (\bar{\nu}^\lambda (1 - \gamma^5) e^\lambda) + \phi^- (\bar{e}^\lambda (1 + \gamma^5) \nu^\lambda)] - \frac{g}{2} \frac{m_\lambda}{M} [H (\bar{e}^\lambda e^\lambda) + i \phi^0 (\bar{e}^\lambda \gamma^5 e^\lambda)] + \frac{i g}{2M\sqrt{2}} \phi^+ [-m_d^\lambda (\bar{u}_j^\lambda C_{\lambda\kappa} (1 - \gamma^5) d_j^\lambda) + m_u^\lambda (\bar{u}_j^\lambda C_{\lambda\kappa} (1 + \\
 & \gamma^5) d_j^\lambda)] + \frac{i g}{2M\sqrt{2}} \phi^- [m_d^\lambda (\bar{d}_j^\lambda C_{\lambda\kappa}^\dagger (1 + \gamma^5) u_j^\lambda) - m_u^\lambda (\bar{d}_j^\lambda C_{\lambda\kappa}^\dagger (1 - \gamma^5) u_j^\lambda)] - \frac{g}{2} \frac{m_\lambda}{M} H (\bar{u}_j^\lambda u_j^\lambda) - \frac{g}{2} \frac{m_\lambda}{M} H (\bar{d}_j^\lambda d_j^\lambda) + \frac{i g}{2} \frac{m_\lambda}{M} \phi^0 (\bar{u}_j^\lambda \gamma^5 u_j^\lambda) - \frac{i g}{2} \frac{m_\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 + i g_{c_w} W_\mu^+ (\partial_\mu \bar{X}^0 X^- - \partial_\mu \bar{X}^+ X^0) + i g_{s_w} W_\mu^+ (\partial_\mu \bar{Y} X^- - \partial_\mu \bar{X}^+ Y) + i g_{c_w} W_\mu^- (\partial_\mu \bar{X}^- X^0 - \partial_\mu \bar{X}^0 X^+) + i g_{s_w} W_\mu^- (\partial_\mu \bar{X}^- Y - \partial_\mu \bar{Y} X^+) + \\
 & i g_{c_w} Z_\mu^0 (\partial_\mu \bar{X}^+ X^+ - \partial_\mu \bar{X}^- X^-) + i g_{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} i g M [\bar{X}^+ X^0 \phi^+ - \bar{X}^- X^0 \phi^-] + \frac{1}{2c_w} i g M [\bar{X}^0 X^- \phi^+ - \bar{X}^0 X^+ \phi^-] + \\
 & i g M s_w [\bar{X}^0 X^- \phi^+ - \bar{X}^0 X^+ \phi^-] + \frac{1}{2} i g M [\bar{X}^+ X^+ \phi^0 - \bar{X}^- X^- \phi^0]
 \end{aligned}$$

„Az energia nem vész el, csak átalakul...”

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



ALICE: A Large Ion Collider Experiment



39 ország, **~2000** kutató

10 000 tonna, **26x16** méter

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

88 PB adat – 2022-től: 57+ PB **évente**

- 900 000 darab 4k felbontású film (200 év...)
- 67 milliárd darab floppy



„Az energia nem vész el, csak átalakul...”

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



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

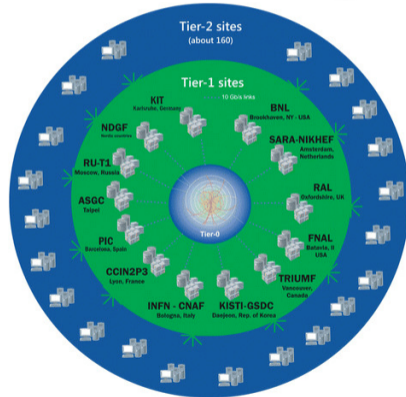
Akár **1 000 000** ütközés másodpercenként \Rightarrow és miért kell ilyen sok??

Az „érdekes” események **ritkák**: minden milliomodik 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 nagyságrendekkel lassabbak...

Megoldás: **Grid** \Rightarrow Budapest: kb. 1.3 PB és 2700 CPU

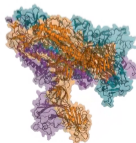
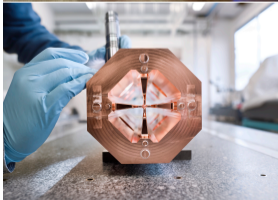


„Az energia nem vész el, csak átalakul...”

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



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



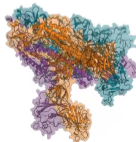
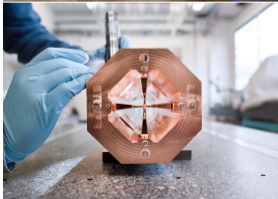
NAGYENERGIÁS FIZIKA (ÉS SOK MÁR TUDOMÁNYÁG)

„Az energia nem vész el, csak átalakul...”

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



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



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

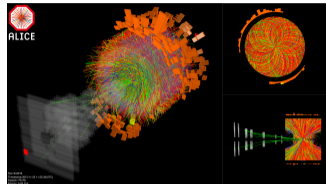
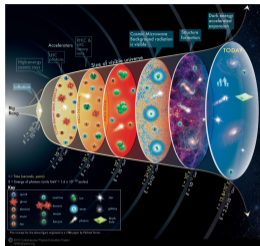
Detektorszimulációk és eseménygenerátorok, hatalmas számítási igény, modern hardverek kihasználása, új, korszerű szoftverek fejlesztése...

Fenomenológikus modellek

Hadronizáció vizsgálata statisztikus fizikai módszerekkel, kompakt csillagok...

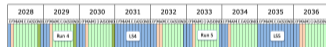
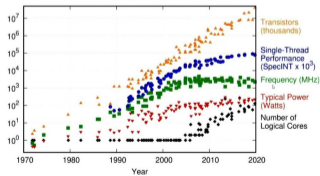
IT infrastruktúrák

ALICE Tier 2, Analysis Facility, GPU Laboratórium, Cloud



50 Years of Technology Scaling

48 Years of Microprocessor Trend Data



Különböző tudományterületek összefonódása



Különleges gondolkodásmód

A Világegyetem működésének megértése

Csúcstechnológiák használata



Élethosszig tartó tanulás, folyamatos fejlődés

Rendszeres iskolák, továbbképzések, konferenciák



Karrier (és hobbi): akár már a középiskolától

Kapcsolatok és tapasztalatok a világ minden táján

Ismeretterjesztő előadások:

- <https://wigner.hu/hu/ismeretterjeszto-programok>
- <https://wigner.hu/hu/wignercafe>

Facebook: <https://www.facebook.com/WignerFK/>

Nyílt napok, diákműhelyek: <https://wigner.hu/hu/nyilt-napok-diakmuhelyek>

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

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

Email: biro.gabor@wigner.hu

Köszönöm a figyelmet! 😊