

# Az LHC és kísérletei - a Fekete Lyukas Rubik Kockán

Csörgő T.

MTA Wigner FK, Budapest és KRF, Gyöngyös

9. BerzeTÖK tábor  
Visznek, 2016 július 7



# ÉVFORDULÓK



Rubik Studio - May 2015



**2014:**

**Rubik Ernő: 70 éves**

**CERN: 60 éves**

**Rubik kocka: 40 éves**

**Kvarkfolyadék: 10 éves**

**2015:**

**AGS and RHIC Users Meeting**

**BNL, Upton, USA:**

**Dedikáció: 10 éves a kvarkfolyadék**

**10 éves a Kutatók Éjszakája**

**20 éve halt meg Kiss Lajos Tanár Úr**

**2016:**

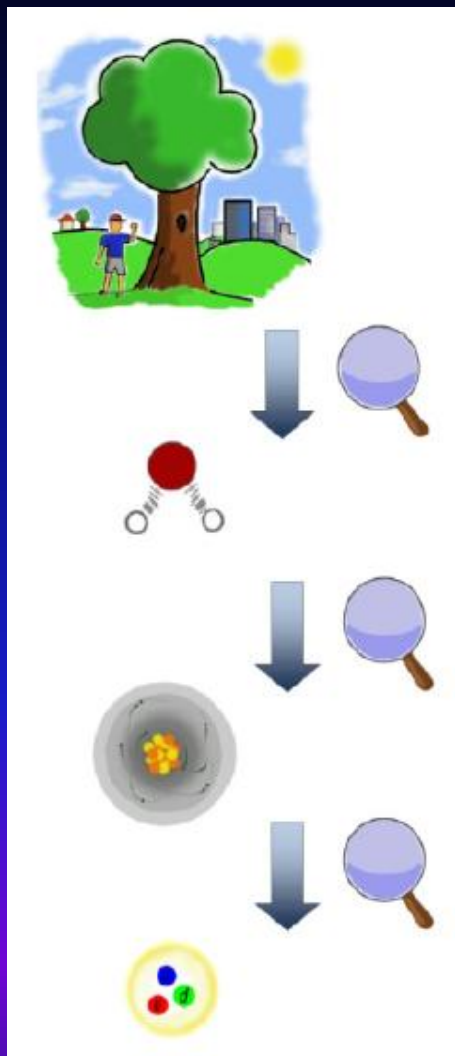
**Gyöngyös, KRF, 2016 jún 6-11:**

**Low-X 2016 konferencia**

**Hadron és kvarkanyag:**

**Lyukas és „folyékony” Rubik kocka**

# ALAPVETŐ KÉRDÉS: MIBŐL VAGYUNK?



Fermionok				
Kvarkok	2.4 MeV $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ u up	1.27 GeV $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ c charm	171.2 GeV $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ t top	
	4.8 MeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ d down	104 MeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ s strange	4.2 GeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ b bottom	
	<2.2 eV 0 $\frac{1}{2}$ $\nu_e$ elektron neutrínó	<0.17 MeV 0 $\frac{1}{2}$ $\nu_\mu$ műon neutrínó	<15.5 MeV 0 $\frac{1}{2}$ $\nu_\tau$ tau neutrínó	
	0.511 MeV -1 $\frac{1}{2}$ e elektron	105.7 MeV -1 $\frac{1}{2}$ $\mu$ műon	1.777 GeV -1 $\frac{1}{2}$ $\tau$ tau	
				0 0 1 Y foton
				0 0 1 g gluon
			91.2 GeV 0 1 Z <sup>0</sup> gyenge	
Leptonok				80.4 GeV $\pm 1$ 1 W <sup>±</sup> gyenge
			Bozonok	

A modern fizika válasza kissé komplikált, de jól modellezhető:

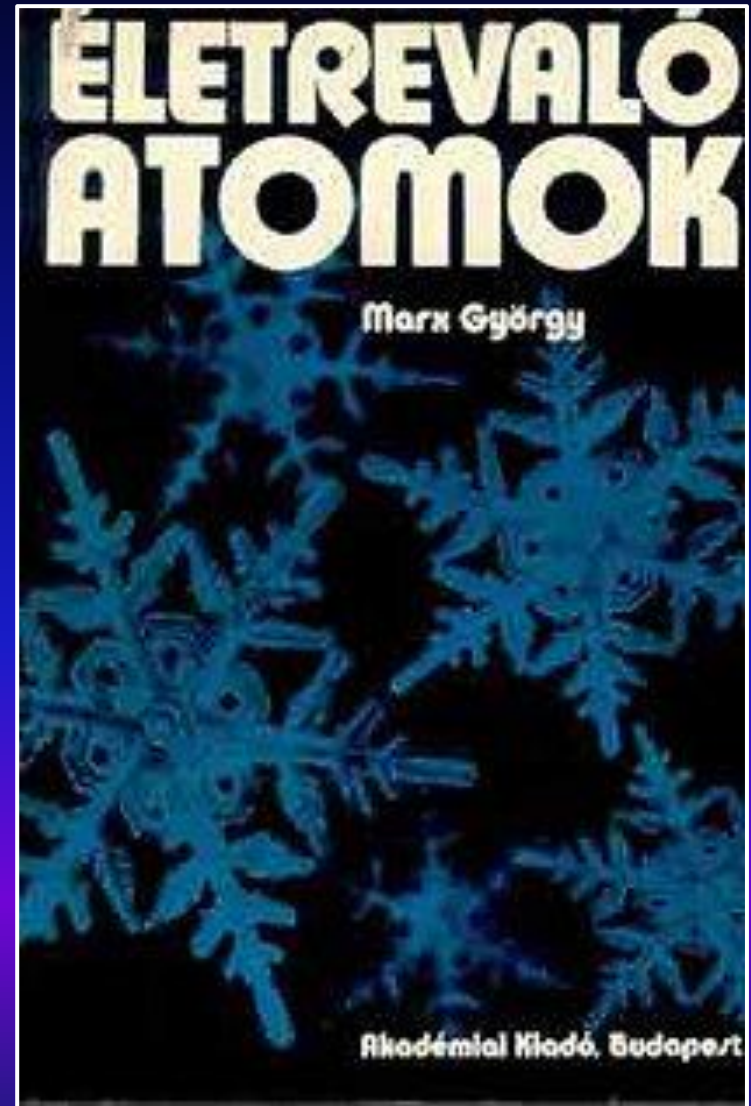
Csörgő J, Török Cs, Csörgő T.: Részecskés kártyajáték – elemi részecskék, játékosan (2011)

# MODELLEZÉS ÉS A MARSLAKÓK

A fény néha  
golyóként viselkedik,  
de nem golyó;  
hullámként terjed,  
de nem hullám;  
Egyszerre golyó is és hullám is,  
Egyszerre egyik sem.  
Akkor mi is a fény?

A fény:  
ÉPPEN OLYAN,  
THATAGATA,  
mint a fény

Értelmezés /Marx György/:  
Marslakó a Földön

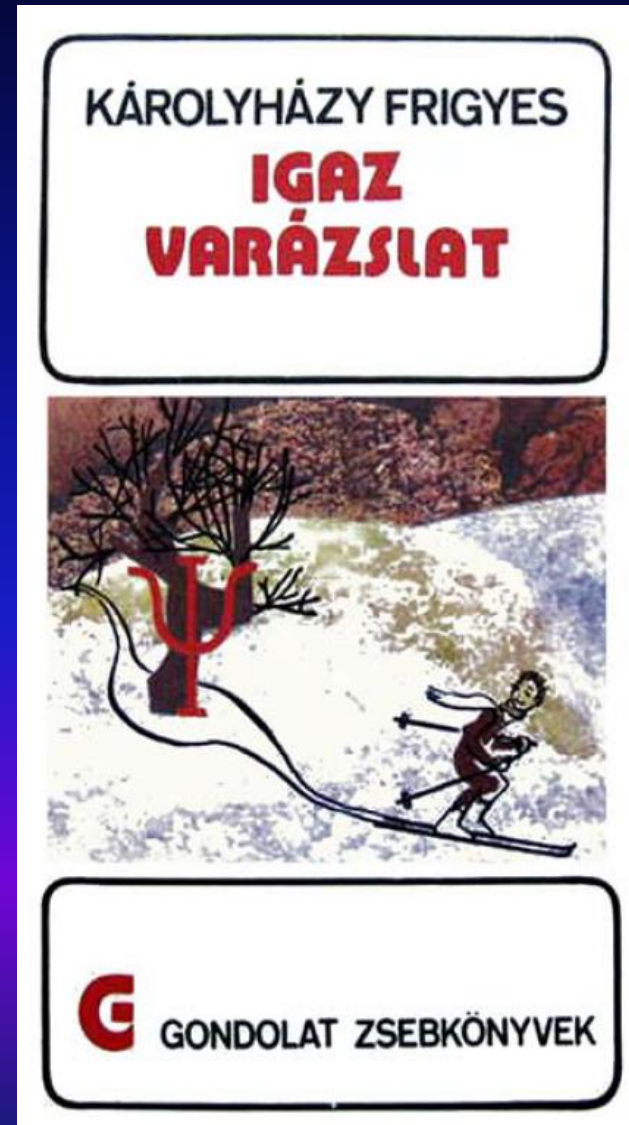


# A KVANTUMMECHANIKA FILOZÓFIÁJA

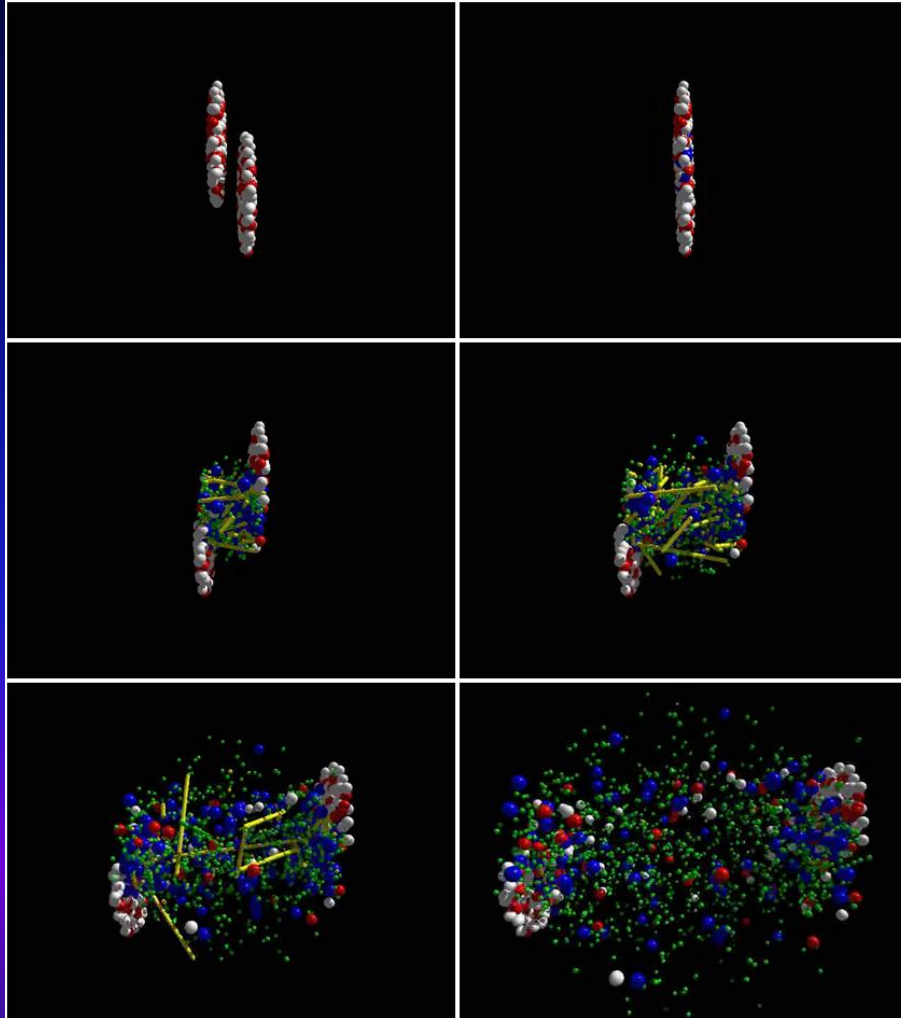
Az elektron  
Golyóként csapódik be, de  
Hullámként terjed  
(síelő elektron a címlapon)

Áthatol a hegyen annak  
megmászása nélkül

Minden részecske  
éppen ilyen...



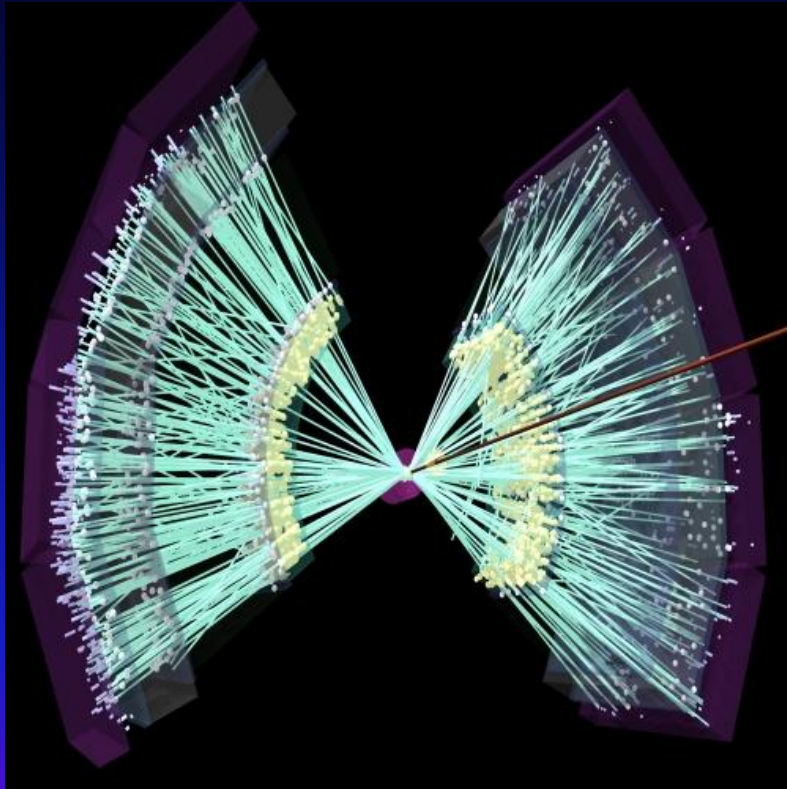
# A KVARKANYAG - ELMÉLETILEG



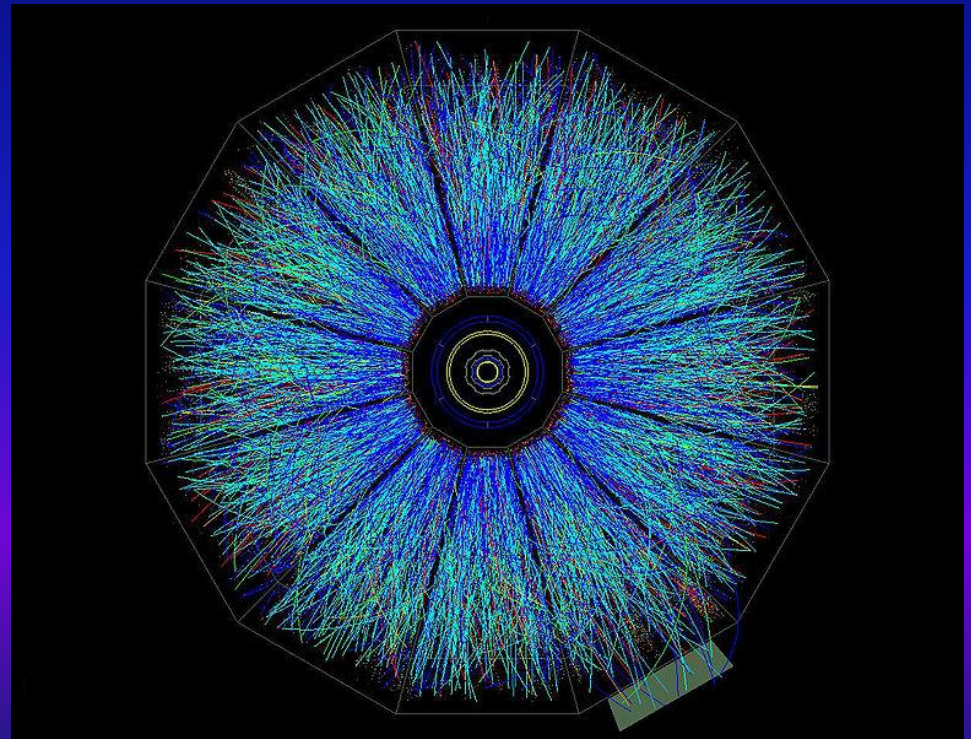
A RHIC Au+Au ütközéseinek elméleti leírása. Nagy energiás nehézion-ütközésekben erősen kölcsönható kvark-gluon plazma jön létre, meglepő tulajdonságokkal: a kvarkok tökéletes folyadékának tulajdonságait az USA Relativisztikus Nehézion Ütköztető (RHIC) gyorsítójának kísérletei tárták fel a Brookhaveni Nemzeti Laboratóriumban. Az eredményeket megerősítették, és további részletekkel gazdagították a CERN LHC ALICE, ATLAS és CMS kísérletei.

# KVARKFOLYADÉK - KÍSÉRLETILEG

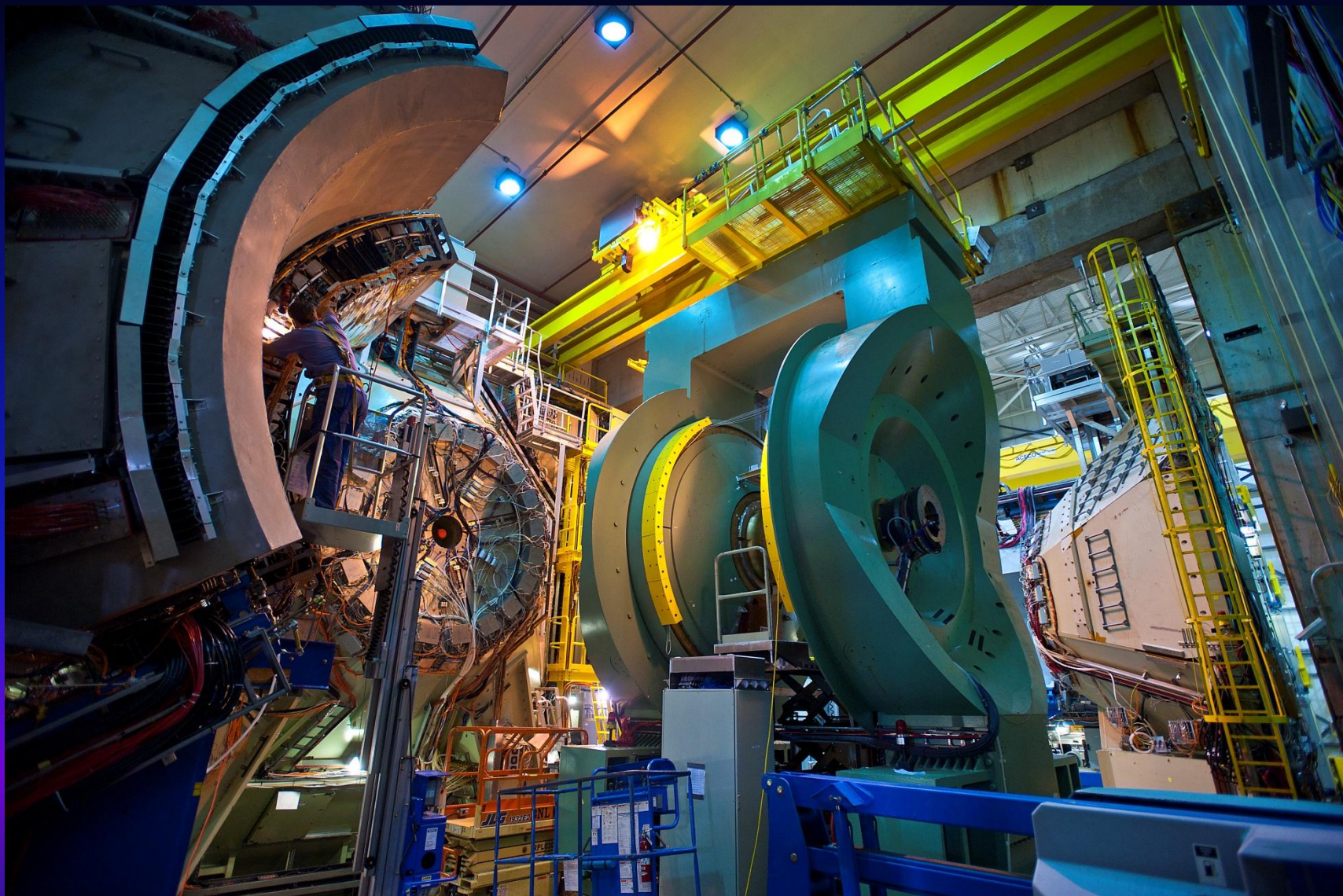
A kvarkok tökéletes folyadékát, angol rövidítésével az sQGP-t az USA Brookhaveni Nemzeti Laboratóriumában a PHENIX és a STAR kísérletben fedezték fel a RHIC (Relativistic Heavy Ion Collider) gyorsítóban.



A tökéletes kvarkfolyadék, az sQGP tulajdonságait megerősítette és további részletekkel gazdagította a CERH LHC ALICE, ALTAS és CMS kísérlete.



# A RHIC GYORSÍTÓ PHENIX KÍSÉRLETE



A sikeres kutatás kulcsa a RHC ütközéseinek a változatossága:  
(p,d,He,Cu,Au,U)+(p,d,He,Cu,Au,U),  $\sqrt{s} = 5 - 500$  GeV



# A KVARKFOLYADÉK TULAJDONSÁGAI

## A RHIC-nél

Au+Au:

Új jelenség

Új anyag

Folyadék halmazáll.

Kvarkok folynak

A folyás  $\sim$  tökéletes

## Jellemzői:

Opálos,  $R_{AA} \sim 0.2$

Csillapítási hossz  $\sim 2$  fm

$C_s = 0.35 \pm 0.05$

$\eta/s \leq$  szuperfolyékony He/5

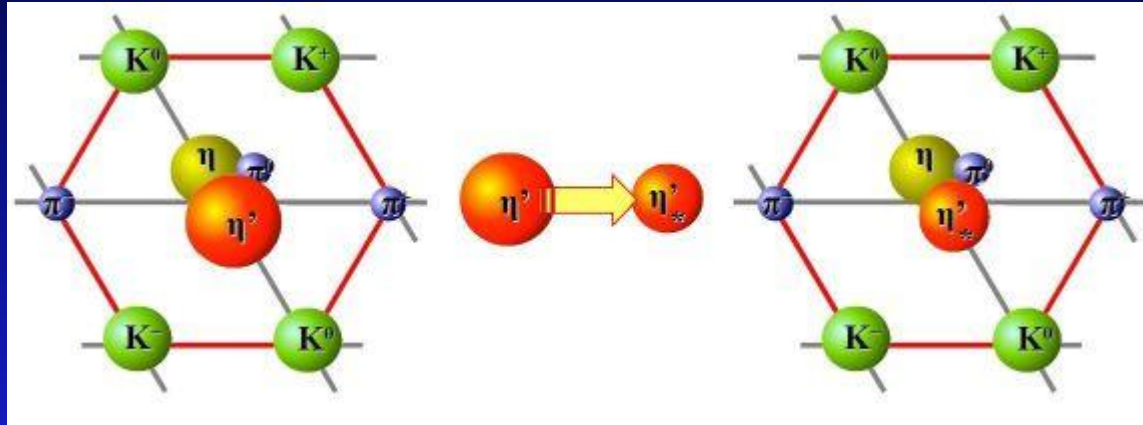
$T_{init} \geq 4 \times 10^{12}$  K

$\epsilon_{init} \geq 15$  GeV/fm<sup>3</sup>

$p_{init} \geq 1.5$  GeV/fm<sup>3</sup>

## A RHIC-nél

az  $\eta'$  mezon tömegcsökkenése  
egy elveszett szimmetria helyreáll

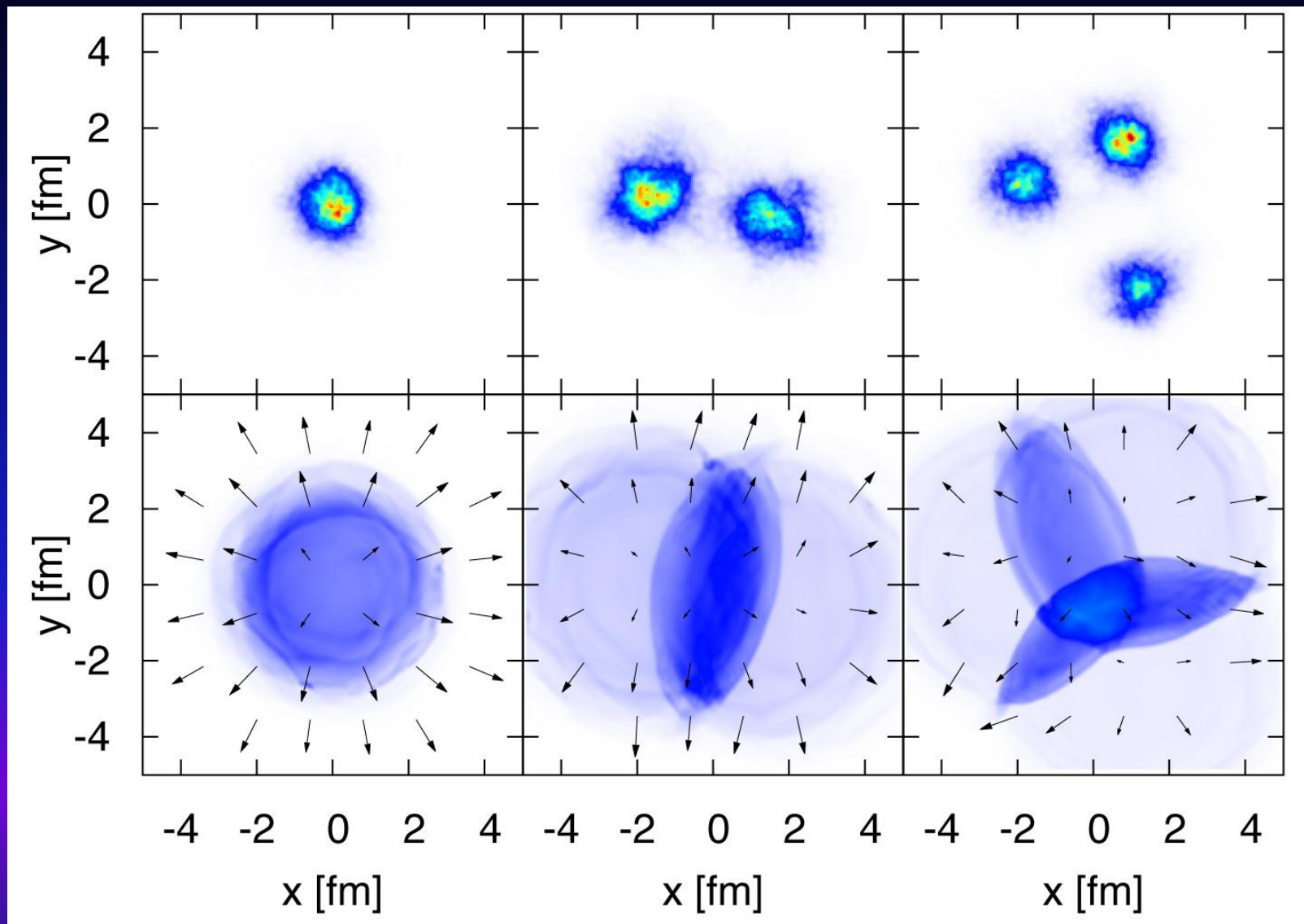


T. Cs, R. Vértesi, J. Sziklai  
Phys.Rev.Lett.105:182301,2010

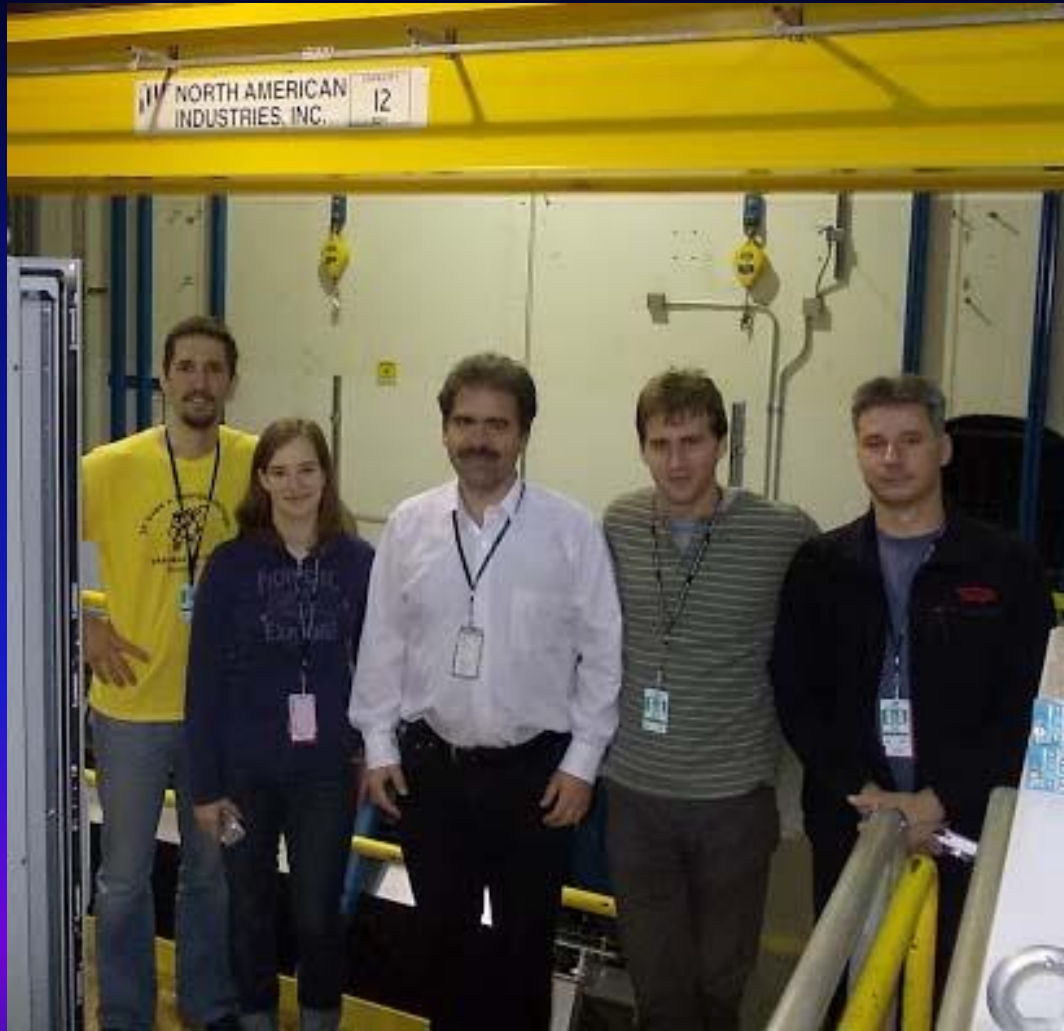
Új eredmény (PHENIX, 2015):  
a tökéletes kvarkfolyadék cseppjei  
He+Au ütközésekben is megjelennek!

**Forró, robban, folyik!** <http://arxiv.org/abs/1507.06273>

# A TÖKÉLETES KVARKFOLYADÉK CSEPPJEI



# ÉLŐ KAPCSOLAT A PHENIX FIZIKÁVAL



**Magyarok Amerikában, forró nyomon az Ősanyag nyomában**

**Cs.T., Novák Tamás (Wigner, KRF), Kőfaragó M, Nagy M, Vargyas M a PHENIX(b)en**

**<http://www.otka.hu/otka-magazin/a-honap-kutatoja/2013-januar>**

# ÉLŐ KAPCSOLAT A CERN FIZIKÁJÁVAL

cmseye06 2013-01-29 13:59:23



**Berzés öregdiákok a CERN-ben, a protonok nyomában:**

**Cs.T. és Novák Tamás (Wigner és KRF, TOTEM) és Szillásy Zoltán (CMS) a mérésen**

# ÉLŐ KAPCSOLAT A CERN FIZIKÁJÁVAL

**Berzés öregdiákok a CERN-ben, a protonok nyomában:**

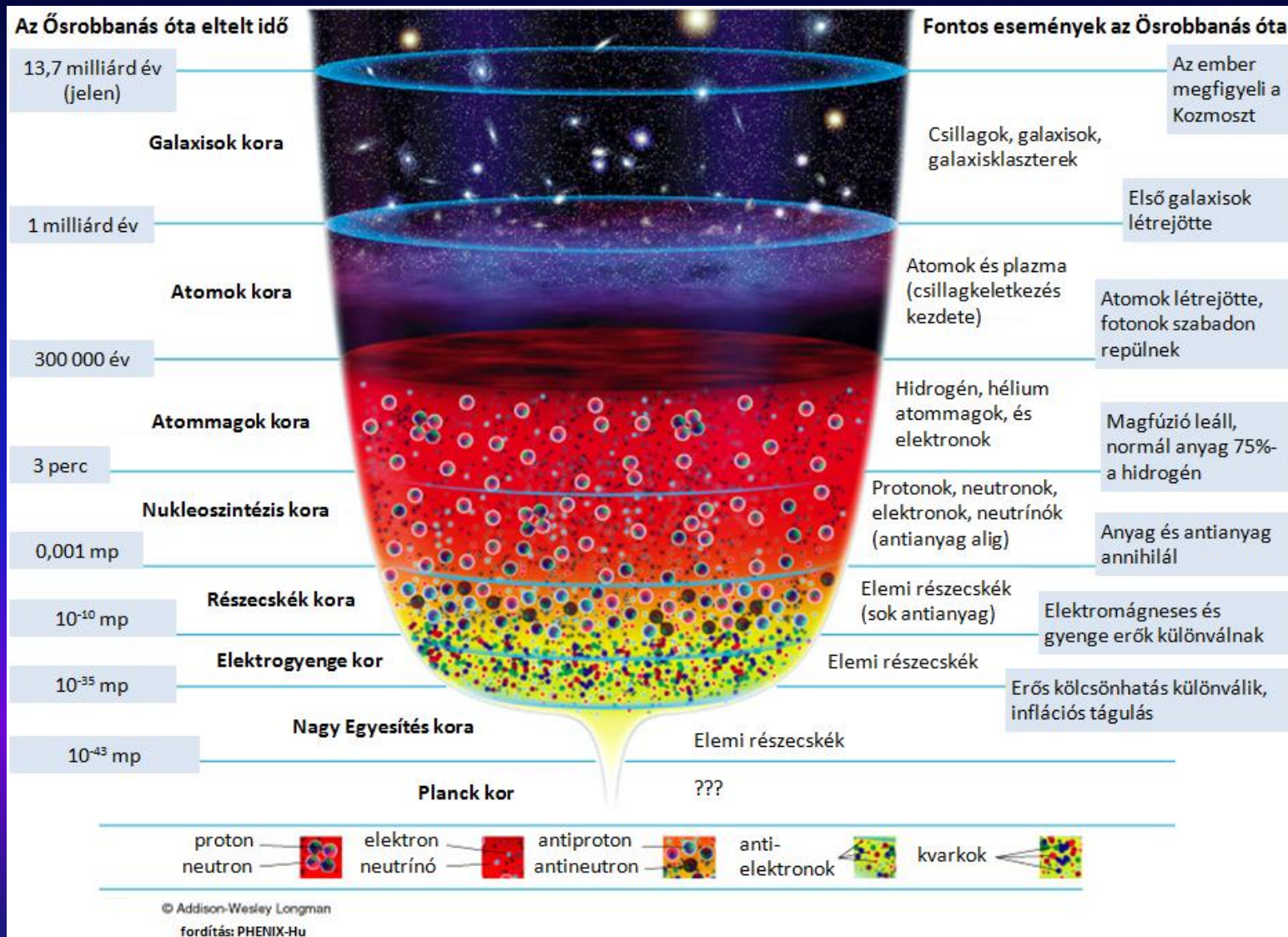
**Cs.T. és Novák Tamás (Wigner és KRF, TOTEM) és Szillásy Zoltán (CMS) a mérésen**

# ÉLŐ KAPCSOLAT GYÖNGYÖSSEL



*LOW-X 2016 Konferencia  
Károly Róbert Főiskola Gyöngyös  
2016. június 6-10.*

# VILÁGEGYETEMÜNK: A MAI FIZIKAI KÉP ÉS A TÖKÉLETES KVARKFOLYADÉK FIZIKÁJA



# ELEMI RÉSZECSKÉK

Three generations of matter (fermions)

	I	II	III		
mass →	2.4 MeV/c <sup>2</sup>	1.27 GeV/c <sup>2</sup>	171.2 GeV/c <sup>2</sup>	0	? GeV/c <sup>2</sup>
charge →	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0	0
spin →	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	0
name →	<b>u</b> up	<b>c</b> charm	<b>t</b> top	<b>γ</b> photon	<b>H</b> Higgs boson
	4.8 MeV/c <sup>2</sup>	104 MeV/c <sup>2</sup>	4.2 GeV/c <sup>2</sup>	0	
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0	
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
Quarks	<b>d</b> down	<b>s</b> strange	<b>b</b> bottom	<b>g</b> gluon	
	<2.2 eV/c <sup>2</sup>	<0.17 MeV/c <sup>2</sup>	<15.5 MeV/c <sup>2</sup>	91.2 GeV/c <sup>2</sup>	
	0	0	0	0	
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
	<b>ν<sub>e</sub></b> electron neutrino	<b>ν<sub>μ</sub></b> muon neutrino	<b>ν<sub>τ</sub></b> tau neutrino	<b>Z<sup>0</sup></b> Z boson	
	0.511 MeV/c <sup>2</sup>	105.7 MeV/c <sup>2</sup>	1.777 GeV/c <sup>2</sup>	80.4 GeV/c <sup>2</sup>	
	-1	-1	-1	$\pm 1$	
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
Leptons	<b>e</b> electron	<b>μ</b> muon	<b>τ</b> tau	<b>W<sup>±</sup></b> W boson	Gauge bosons



# ELEMI RÉSZECSKÉK

# - JÁTÉKOSAN

Three generations of matter (fermions)

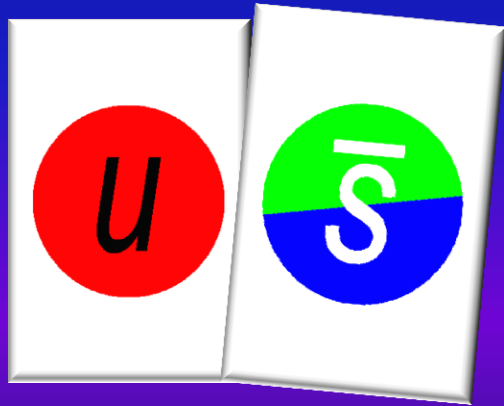
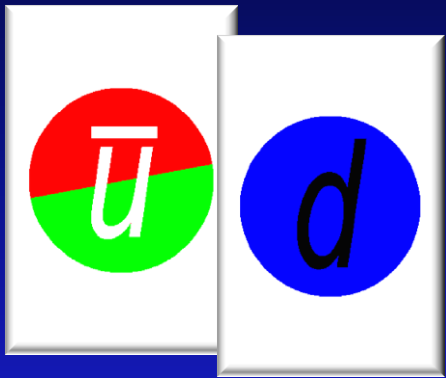
	I	II	III		
mass →		1.27 GeV/c <sup>2</sup>	171.2 GeV/c <sup>2</sup>	0	? GeV/c <sup>2</sup>
charge →		$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0	0
spin →		$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	0
name →	<b>u</b>	<b>c</b> charm	<b>t</b> top	<b>γ</b> photon	<b>H</b> Higgs boson
<b>Quarks</b>	<b>d</b>	<b>s</b>	<b>b</b> bottom	<b>g</b> gluon	
			4.2 GeV/c <sup>2</sup>	0	
			$-\frac{2}{3}$	0	
			$\frac{1}{2}$	1	
			<15.5 MeV/c <sup>2</sup>	91.2 GeV/c <sup>2</sup>	
			0	0	
			$\frac{1}{2}$	1	
			<b>ν<sub>τ</sub></b> tau neutrino	<b>Z<sup>0</sup></b> Z boson	
<b>Leptons</b>			1.777 GeV/c <sup>2</sup>	80.4 GeV/c <sup>2</sup>	
			-1	$\pm 1$	
			$\frac{1}{2}$	1	
			<b>e<sup>-</sup></b>	<b>W<sup>±</sup></b> W boson	
					<b>Gauge bosons</b>

**ANTI-RÉSZECSKÉK**

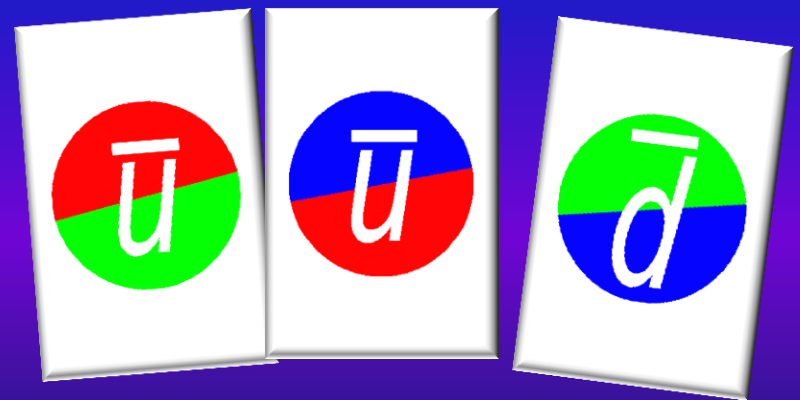
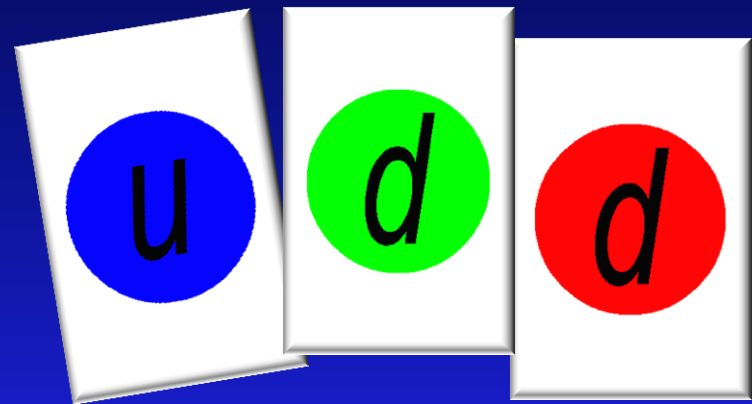
$\bar{u}$     $\bar{d}$   
 $\bar{\nu}_{\mu}$     $e^{+}$   
 $\bar{\nu}_{e}$     $\mu^{+}$     $\bar{s}$

# SU(3) SZÍN ÉS AZ OPTIKAI SZÍNEK

Mezonok



Barionok



# KVARKANYAG – A RUBIK KOCKÁN



Tökéletes kvarkfolyadék a Rubik kockán:

Lokálisan színes, globálisan fehér:

**Piros**, szemben vele anti-piros: zöld/kék

**Zöld**, szemben vele anti-zöld: kék/piros

**Kék**, szemben vele anti-kék: piros/zöld

kvarkok, szemben velük anti-kvarkok

megmaradási törvények

forog és „tágul”

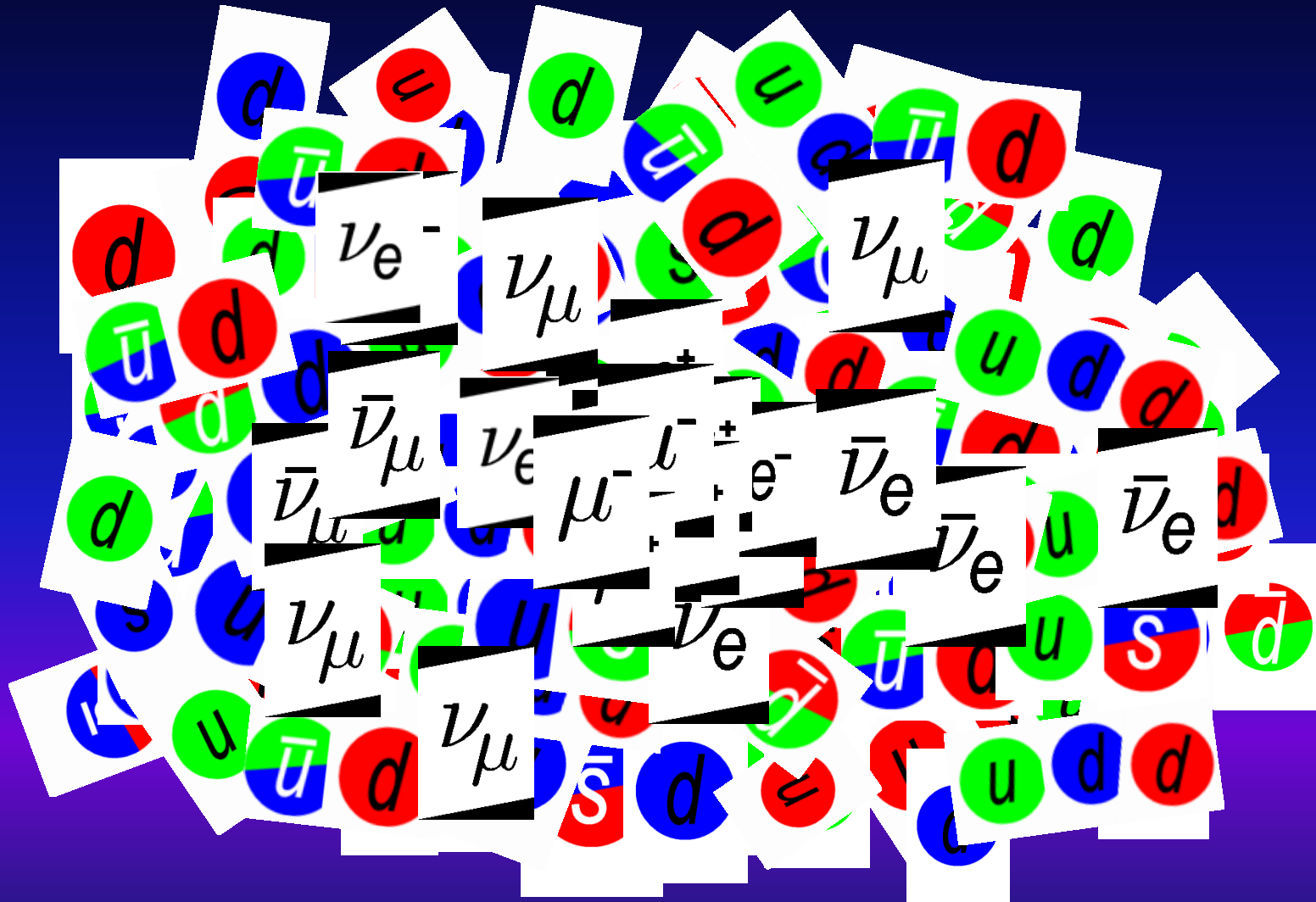
nagy mértékben összekeveredhet (entrópia)

könnyen forog –

a tökéletes kvarkfolyadék modellje



# KVARKFOLYADÉK - KÁRTYÁKKAL



# NEMZETKÖZI VISSZHANG, PÉLDÁK

## SUBATOMIC SHUFFLE

Prefer particle physics to poker? Pick up a deck of the Quark Matter Card Game, and you can have both. Instead of kings and queens, the cards feature quarks (up, down, and strange); muons, electrons, and their neutrinos; and antiparticles for all.

Hungarian high school students Csaba Török and Judit Csörgő invented the game. Their father, Tamás, a physicist at the KFKI Research Institute for Particle and Nuclear Physics in Budapest. The simplest game is "Anti," in which players quickly identify particle combinations, bearing in mind a quantum-mechanical property called "color" of the card. It's an abstract concept, but "even children who cannot read," Tamás says. For adult players, he recommends "Quark Matter," which started out as a way to represent the quark-gluon plasmas physicists cook up at Brookhaven National Laboratory.



Relativistic Heavy Ion Collider (RHIC), where the PHENIX experiment is conducted according to the schedule.

how the game is known.

The book is available for self-purchase at <http://www.brookhaven.gov>. Now it's time to play the game, says Tamás.

"It's a really fun game to play around with in your pocket."

2011.01.04.

Quark Matter at RHIC: It's in the Cards

### @brookhavenToday Story Archives

#### Quark Matter at RHIC: It's in the Cards

##### Students and RHIC physicist develop quark-gluon plasma card game

By Karen McNulty Walsh | January 4, 2011

Happy New Year! Like the sprays of confetti and streamers exploding in Times Square at midnight on December 31, millions of subatomic particles will soon be streaming from heavy ion collisions at RHIC, Brookhaven National Laboratory's Relativistic Heavy Ion Collider.

Linking subatomic particles with New Year's Eve celebrations may not be so strange: Two years ago, a group of Hungarian secondary school students rang in the New Year while playing with particles, literally. The group, which included Judit Csörgő, daughter of RHIC/PHENIX collaborator Tamás Csörgő, and her friend Csaba Török, were at a New Year's celebration, playing with the first edition of a set of cards invented by Csaba as an entertaining way to learn about subatomic particles and their interactions. The game, more formally developed and tested by the students with mentoring help from Tamás, won an honorable mention in a 2010 Hungarian competition for junior innovators. It is now available for purchase as an e-book, with cards included, on Lulu, currently with Hungarian directions. An English version is in the works.



RHIC/PHENIX collaborator Tamás Csörgő, Csaba Török and Judit Csörgő with their card game at the exhibition in the "Palace of Wonders" after the ceremony of the 19th Hungarian National Contest for Junior Innovators and Scientist (Budapest, Hungary, June 10, 2010).

# SAJTÓFIGYELEM, DÍJAK, TESZTEK

CERN Accelerating science

Sign in

## CERN Document Server

Search Submit Help Personalize

Home > Multimedia > Weekly Bulletin > News Articles > Playing with particles

Information Discussion (0) Files Linkbacks

Bulletin Issue: 09/2011 & 10/2011, Mon 28 Feb 2011  
>> french version

BUL-NA-2011

### Also in this Issue:

The EDIT school trains future experts in detector technologies

Greening the streets of CERN

LHC Report: Beams are back in the LHC

CERN's newest building

Roger Bailey takes over as head of CAS

The LHC babies

A new video studio for CERN

The LHC at the AAAS

DESERTEC: energy for the planet

Playing with particles

A Brief History of CERN

News from the Library: A Poet in the Laboratory, meet the Author Beatrice Bressan

TV programme presentations: Bang Goes the Theory by BBC (2010) and Beyond the Atom with John Ellis by Redes and Science Networks (2010)

Federal census of the population in Switzerland

Entitlement to vote in the Canton of Geneva

## PLAYING WITH PARTICLES

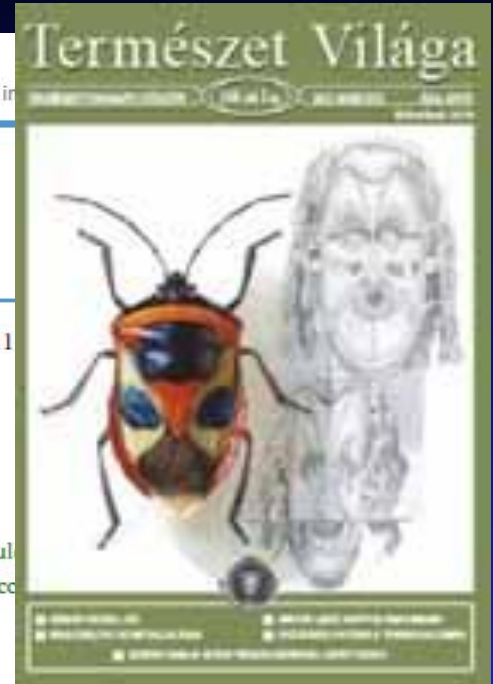
Could the principles of particle physics ever be explained by a game? Could ever teach the Standard Model the way Monopoly teaches economics? According to the Quark Matter card game, the answer is an easy "yes!".



Csaba Török and Judit Csörgő (second and third from left) at the award ceremony for the Eötvös University Innovation Contest.

Hungary, and they are now both studying science at the ELTE University, Budapest.

When he was only 17 years old, Hungarian student Csaba Török came up with the idea for the Quark Matter cards. "I wanted people to think of the Standard Model as fun – not just a serious, scientific theory," says Csaba. "The cards can turn everyone into a pseudo-physicist." He shared the idea with his friend Judit Csörgő and her physicist father, Tamás Csörgő, and together they went on to develop Quark Matter into the game it is today. Csaba and Judit were both members of the Science Club that Tamás re-organized and mentors at the Berze Secondary School in Gyöngyös,



# RÉSZECSKÉS JÁTÉKOK – DIÁK ÖTLETBŐL

**2011: Az első négy Részecskés Kártyajáték**

Török Csaba, Csörgő Judit, Cs.T., BerzeTÖK, Gyöngyös

1. ANTI
2. Kozmikus Záporok
3. Detektáljunk!
4. KVARKANYAG

**2012: előadások, bemutatók, új játékok**

5. Kvaranyag Memória [arXiv:1303.2798](https://arxiv.org/abs/1303.2798)
6. Kvaranyagból Higgs-bozont! [arXiv:1303.2732](https://arxiv.org/abs/1303.2732)
7. Részecskés Póker (Academia Europaea, Bergen)
8. Részecskés Snapszer (CERN Open Days)

**2013: előadások, bemutatók, új játékok**

9. Kvarok Háborúja: BerzeTÖK Nyári Tábor, Visznek
10. Részecskés Mahjongg - Mártély, a TÖK Mozgalom Nyári Tábora

**2014: WPCF 2014 konferencia, KRF, Gyöngyös**

11. Tökéletes Kvarkfolyadék a Rubik Kockán
12. Részecskés Leccsapós! – CERN @ Wigner Nyílt Nap, Budapest

**2016: Low-x 2016, KRF, Gyöngyös, Hungary**

13. LHC és Kísérletei a Fekete Lyukas Rubik kockán

# A KVARKOK MÁR A RUBIK KOCKÁN VANNAK

Alapötlet (CsT, 2014):  
Részecskés Kártyajáték  
3 szín és 3 anti-szín:  
Illik a Rubik kockára  
(csak kvarkok és anti-kvarkok)

Megvalósítás (CsT+Rubik Co., '14):  
100 szponzorált példány  
a WPCF 2014 résztvevőinek  
<http://wpcf2014.karolyrobert.hu/>

Angol leírás (CsT, 2015 június):  
2015 AGS and RHIC Users Meeting  
BNL, USA és KEK, Japán

Nyilvános bemutatás (2015/09):  
2015 CERN @ Wigner Nyílt Napok  
Budapest

Bernáth B: 1'10" + vakon rakom!





# A RUBIK KOCKA MATEMATIKÁJA

## Eredeti Rubik (bűvös) kocka:

3x3x3 kocka, 6 szín  
8 sarok-elem, 3 szín, 3 állás  
12 él-elem, 2 szín, 2 állás  
6 lapközép-elem, 1 szín, 1 állás  
csak páros permutációk!

sarok-elemek: 8! sorrend  
 $3^8 / 3 = 3^7$  lehetséges orientáció

él-elemek: 12! sorrend  
 $2^{12} / 2 = 2^{11}$  lehetséges orientáció

lapközepek: nincs orientáció

a kocka állása: nincs orientáció

Lehetséges állapotok száma:  
 $8! \times 3^7 \times 12! \times 2^{11} \times 1 \times 1 / 2$   
 $\sim 4.3 \times 10^{19}$

## Kvarkos (folyékony) kocka:

3x3x3, 3 szín+3 anti-szín  
8 sarok-elem, 3 szín, 3 állás  
12 él-elem, 2 szín, 2 állás  
6 lapközép-elem, 1 szín, 4 állás  
csak páros permutációk!

sarok-elemek: 8! sorrend  
 $3^8 / 3 = 3^7$  lehetséges orientáció

él-elemek: 12! sorrend  
 $2^{12} / 2 = 2^{11}$  orientáció lehet

lapközepek:  $4^6 / 2 = 2^{11}$  állás

kocka állása: 6x4 féle lehet

Lehetséges állapotok száma:  
 $8! \times 3^7 \times 12! \times 2^{11} \times 2^{11} \times 24 / 2$   
 $\sim 2.1 \times 10^{24}$

# A KVARKOS KOCKA FIZIKÁJA

	Eredeti Rubik kocka	Kvarkos kocka
Állapotok száma (N)	43252003274489856000	2125922464947725402 112000
Entrópia ( $S = \ln N$ )	$\sim 45.21$	$\sim 56.02$
Oldal hossza (L, mm)	57	57
Entrópiasűrűség ( $s = S/L^3, \text{m}^{-3}$ )	$\sim 2.4 \times 10^5$	$\sim 3.0 \times 10^5$
Szemben színek	(szín, szín+sárga): (fehér,sárga), (kék,zöld), (piros, narancs)	(szín, anti-szín): (piros, anti-piros), (kék, anti-kék), (zöld, anti-zöld)

	Tökéletes kvarkfolyadék
Energiasűrűség, $e$ [GeV/fm <sup>3</sup> ]	15
Hangsebesség, $c_s^2$	0.1
Hőmérséklet, $T$ [GeV]	0.22
Entrópiasűrűség $s = (1+c_s^2) e / T, [\text{m}^{-3}]$	$7.5 \times 10^{46}$

**Hű modellhez:**  
 $L' = L / 25^{1/3} / 10^{10}$   
 $L' \sim 2 \times 10^{-12} \text{ m}$

# MAGYAR ÉS ANGOL NYELVŰ ÖNKIADÁS, LULU.COM

 Author Spotlight

## Quark Matter Card Game

QUARK MATTER  
CARD GAME

Find Your Own Higgs Boson



[More Detail](#)

### Quark Matter Card Game - Find Your Own Higgs Boson

By Csaba Török, Judit Csörgő,  
Tamás Csörgő

eBook (PDF): **\$4.32**

Download immediately.



Quarks and leptons, such as electrons, muons and neutrinos... Sounds a bit scary, doesn't it? With the help of this booklet, you can get into touch with the incomprehensible world of elementary... [More >](#)

[Add to Cart](#)

QUA

FIND Y  
THIRD, REV



J. CSÖR

## RÉSZECSKÉS KÁRTYAJÁTÉK

ELEMI RÉSZECSKÉK - JÁTÉKOSAN  
2. KIADÁS, KÁRTYA MELLÉKLETTEL

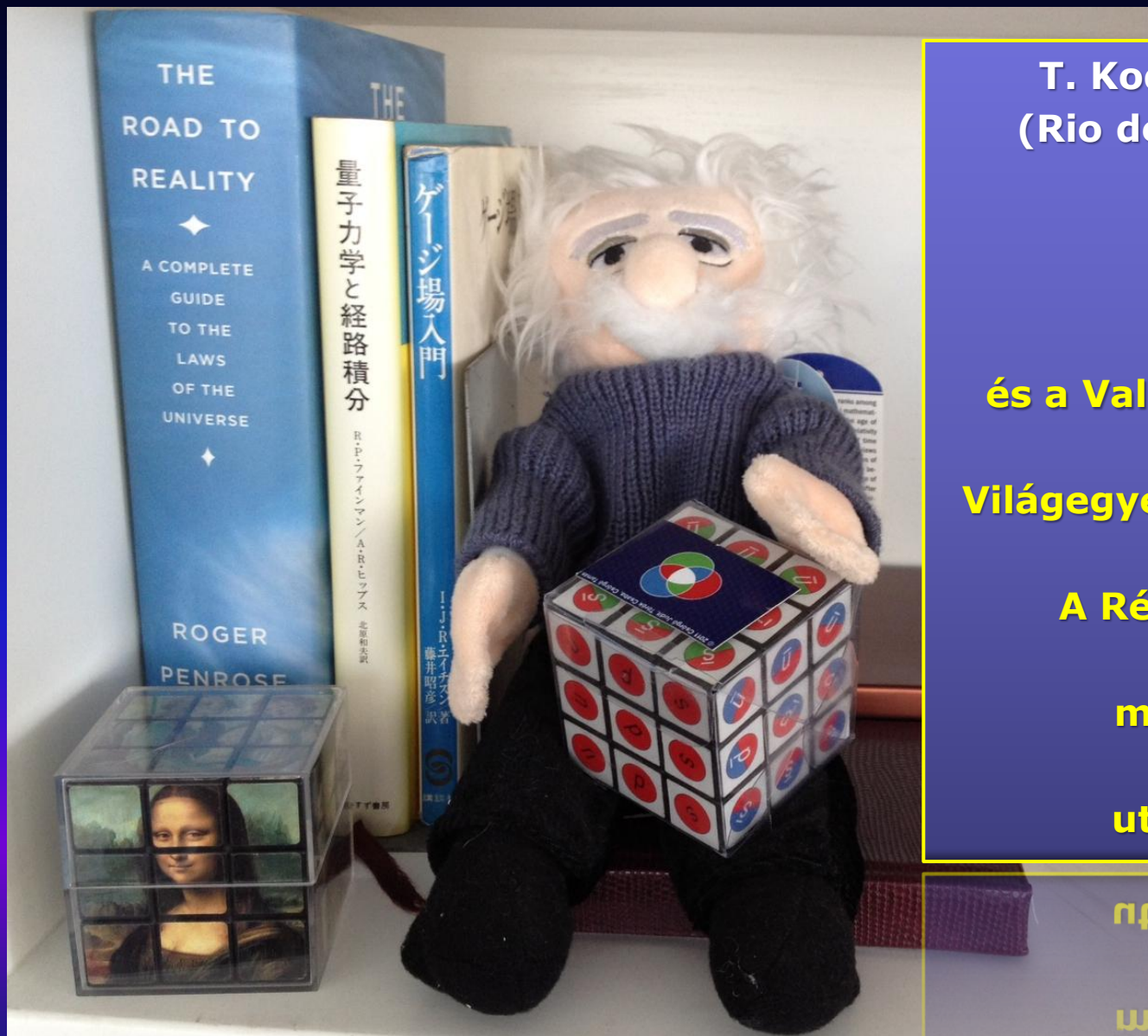


CSÖRGŐ JUDIT  
TÖRÖK CSABA  
CSÖRGŐ TAMÁS



Brookhaven National Laboratory, KEK, CERN boltjai → [Rubikshop.hu](http://Rubikshop.hu)

# KVARKANYAG – MOSOLYGÓSAN



T. Kodama professzor úr  
(Rio de Janeiro, Brazília):

**Albert Einstein,  
Mona Lisa Mosolya,  
Kvarkos Kocka,  
és a Valósághoz Vezető Út:  
Teljes Útikönyv a  
Világegyetem Törvényeihez.**

**A Részecskés Játékok a  
valóság nem teljes  
modelljei, de nagyon  
érdekes szellemi  
utazásra hívogatnak.**

utazásra hívogatnak.  
érdekes szellemi  
modelljei, de nagyon  
valóság nem teljes

# KVARKFOLYADÉK – KÉZZEL FOGHATÓAN

G.Zweig: aki először  
látta meg a kvarkokat  
kézbe is vehette őket



kvarkok ~ ászok

kvarkok és a kártyajáték

kvarkok és a kockajáték

egyszerre mindkettő?

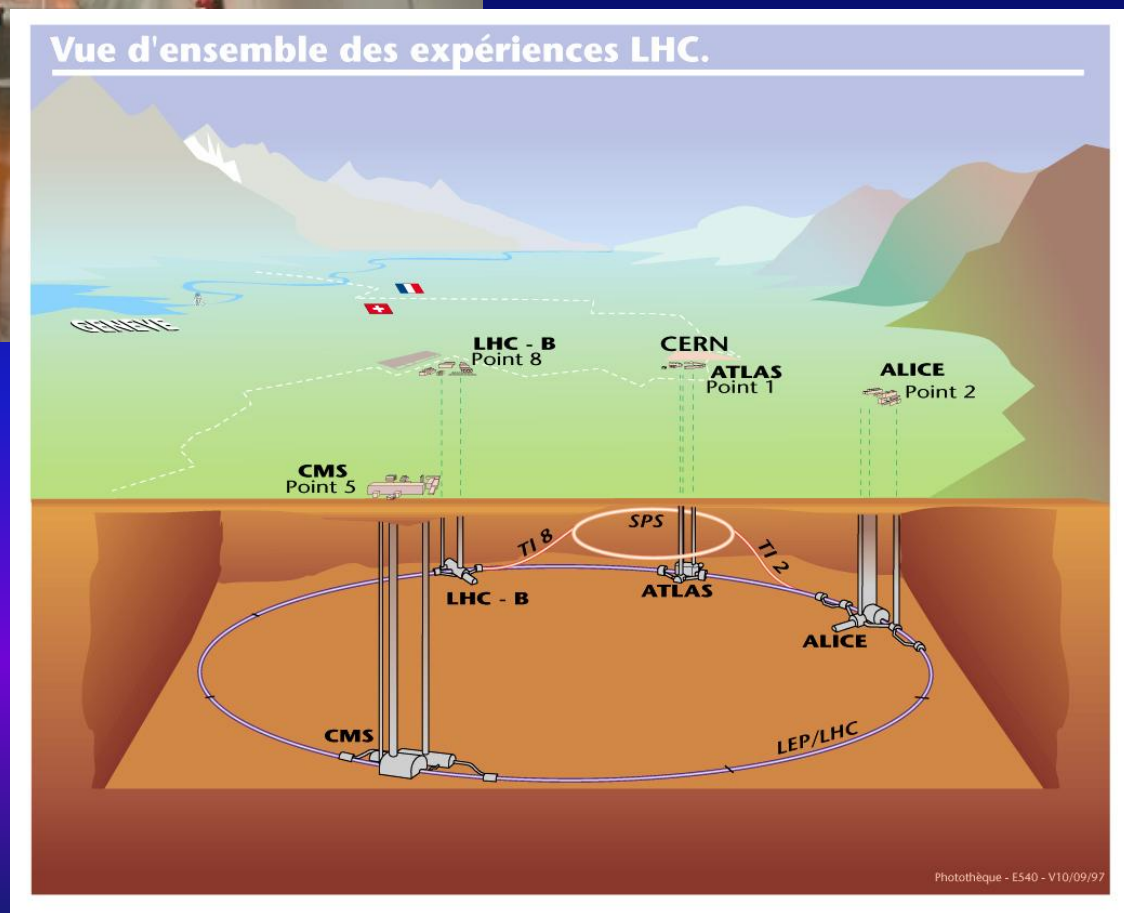
egyszerre egyik sem?

# LHC és Főbb Kísérletei

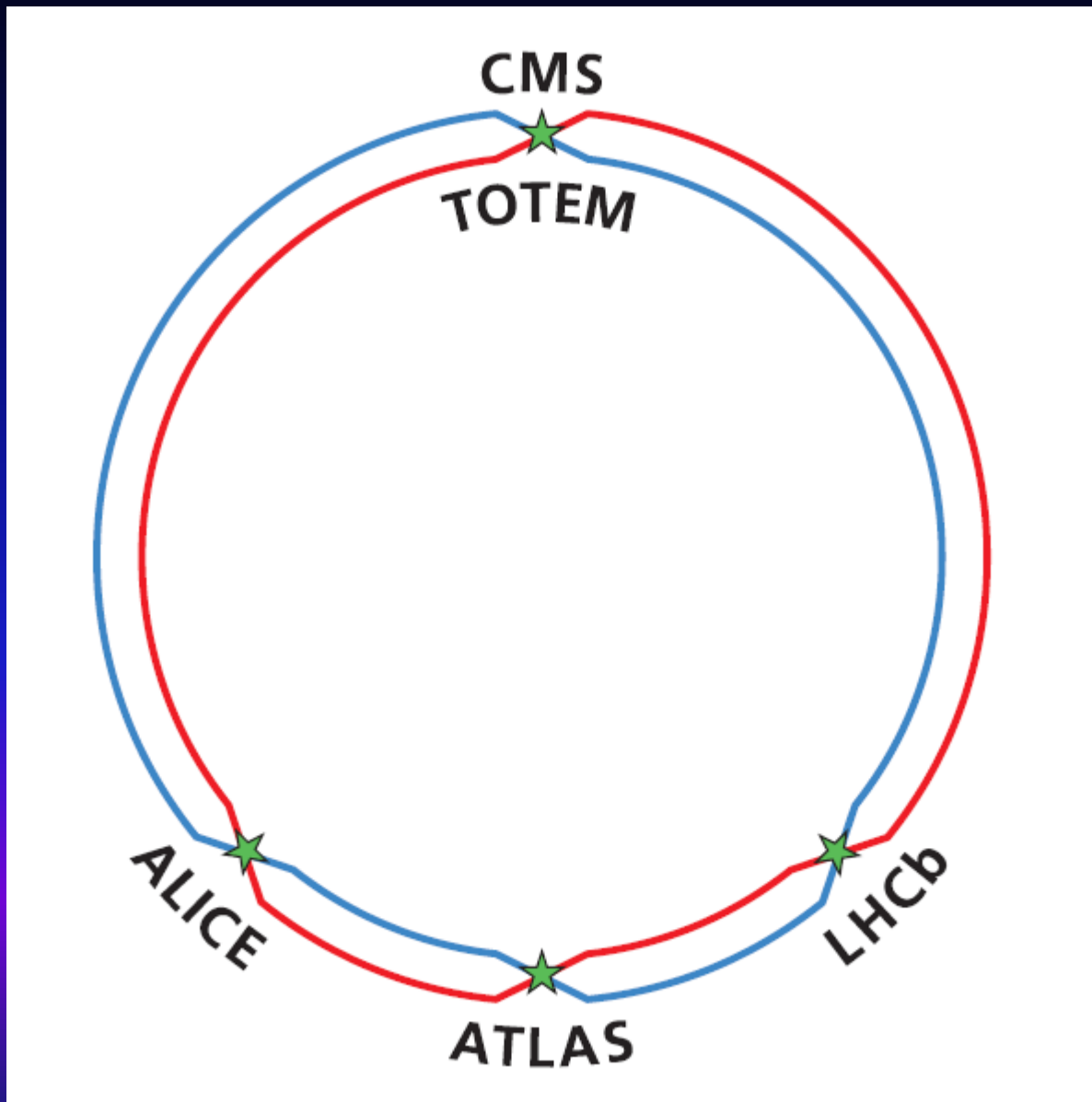


LHC = Large Hadron Collider  
Nagy Hadron Ütköztető  
Hadron = erősen kölcsönható  
megfigyelhető részecske  
= barion vagy mezon

Az LHC 7 kísérlete:  
ATLAS  
ALICE  
CMS  
LHCb  
LHCf  
MoEDAL  
TOTEM



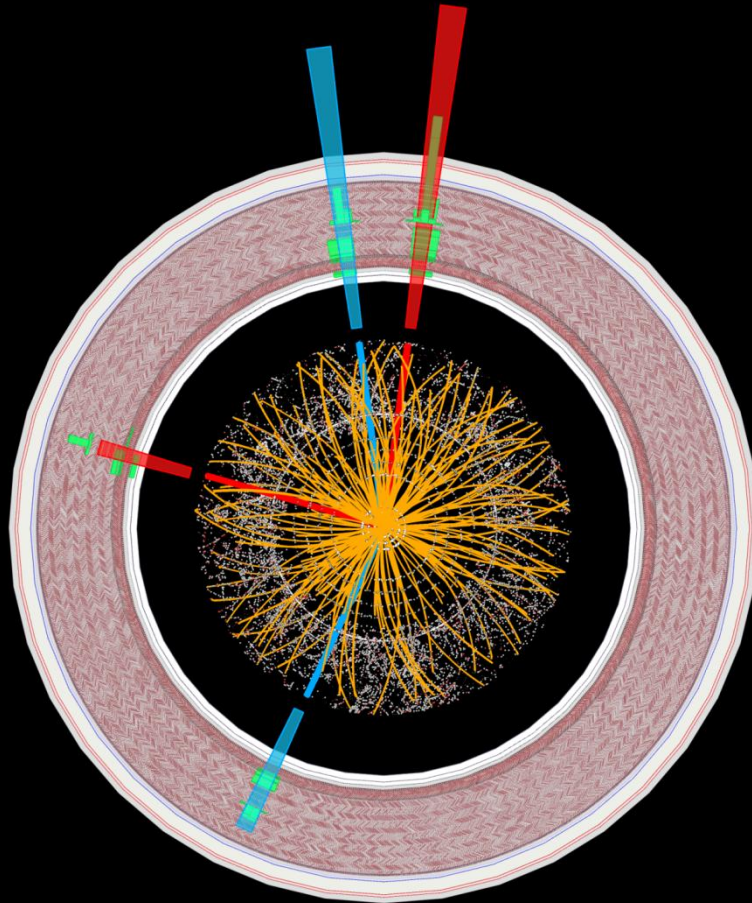
# Az LHC főbb kísérletei



# ATLAS

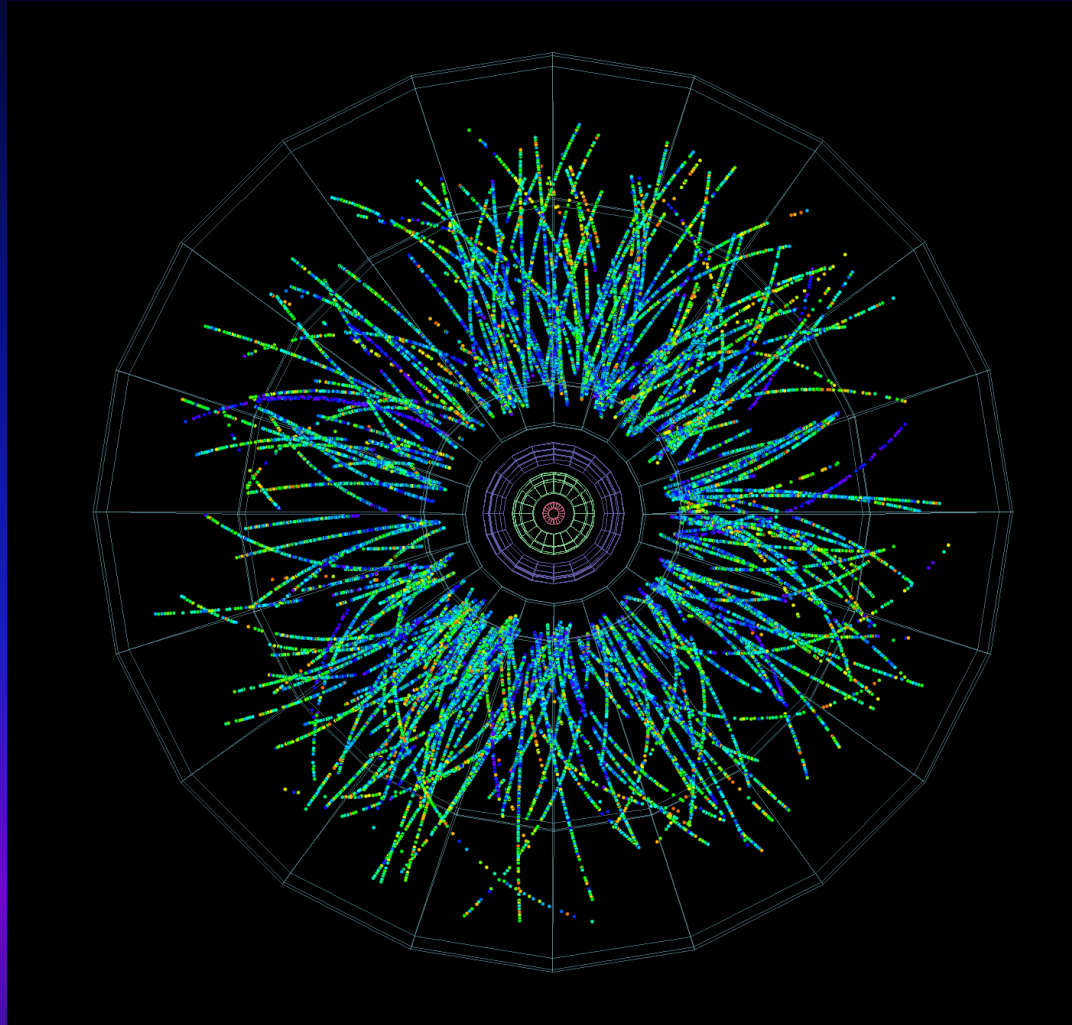
**ATLAS**  
EXPERIMENT  
<http://atlas.ch>

Run: 203602  
Event: 82614360  
Date: 2012-05-18  
Time: 20:28:11 CEST

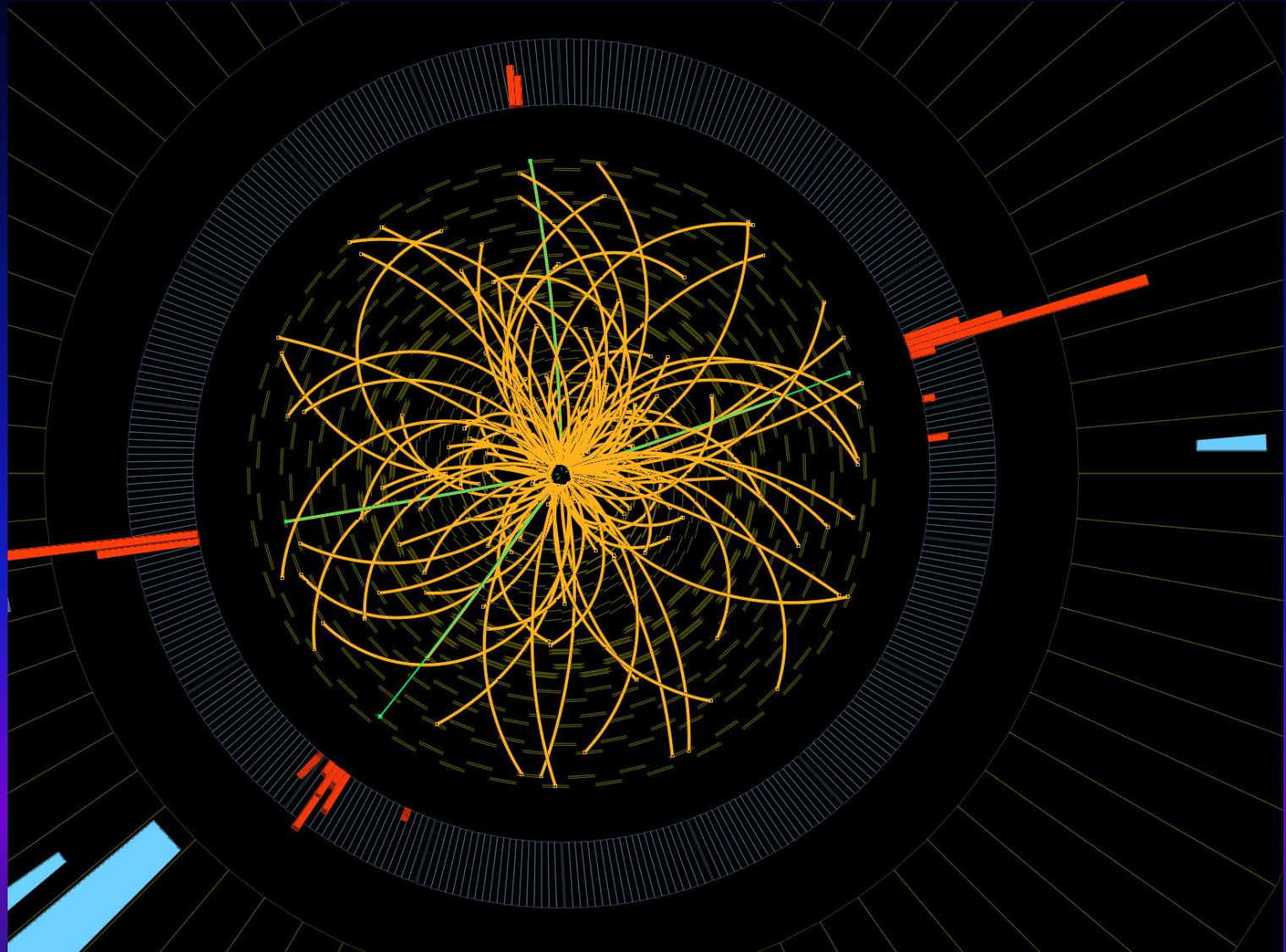




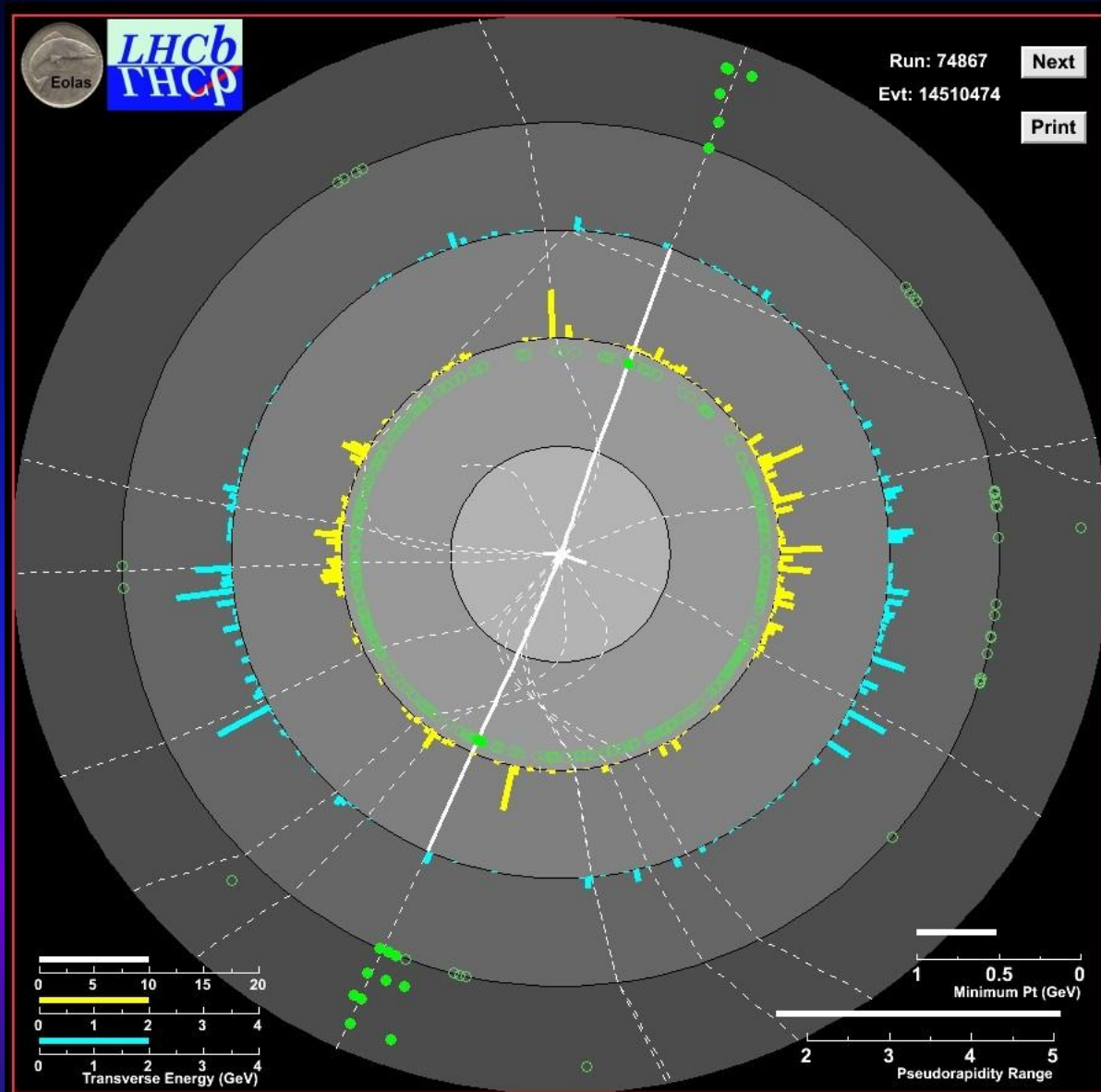
# ALICE



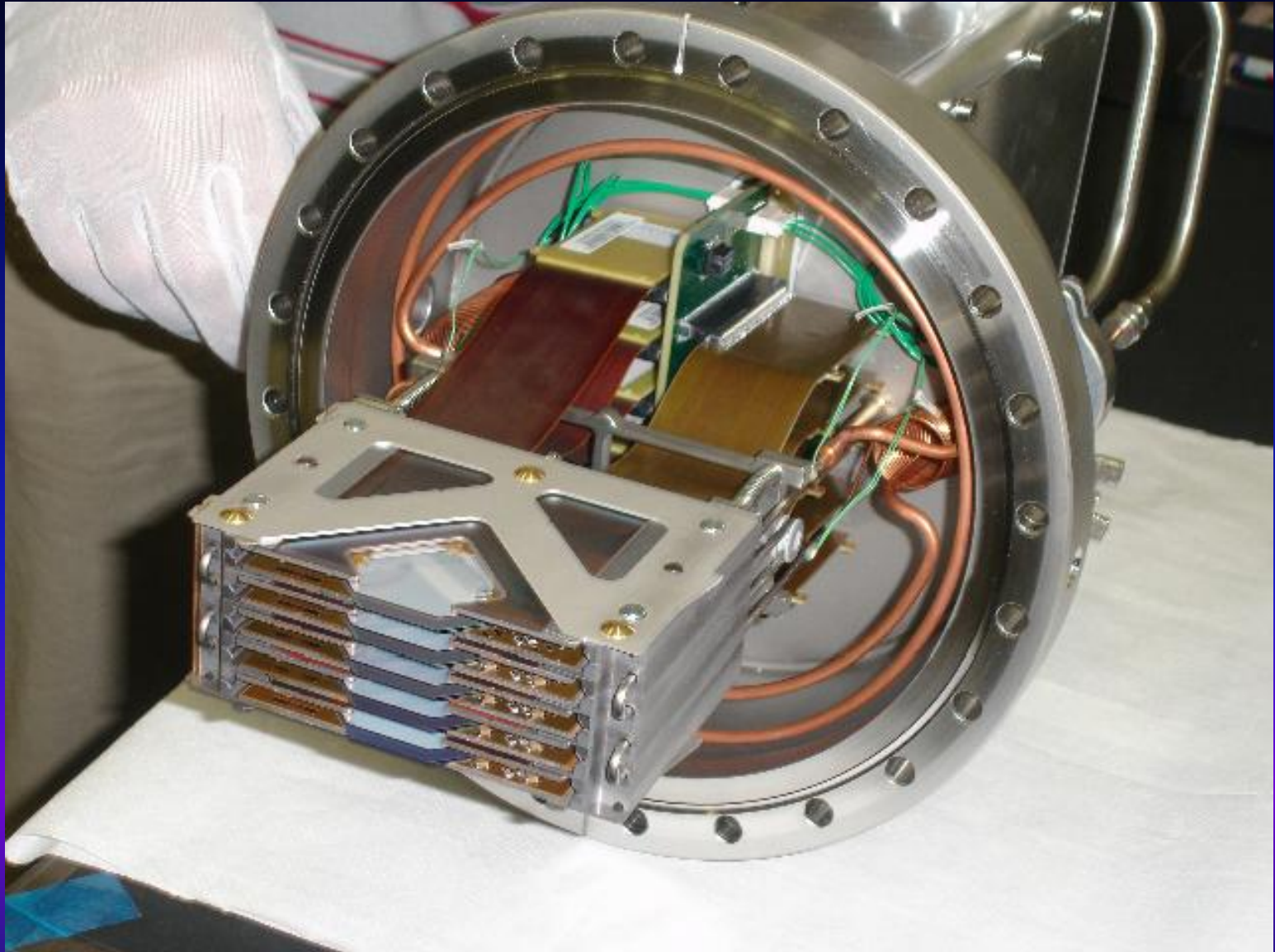
# CMS



# LHCb



# TOTEM



# A Lyukas Rubik Kocka



# LHC Kísérletek a Lyukas Rubik Kockán



Lokálisan színes, globálisan fehér:

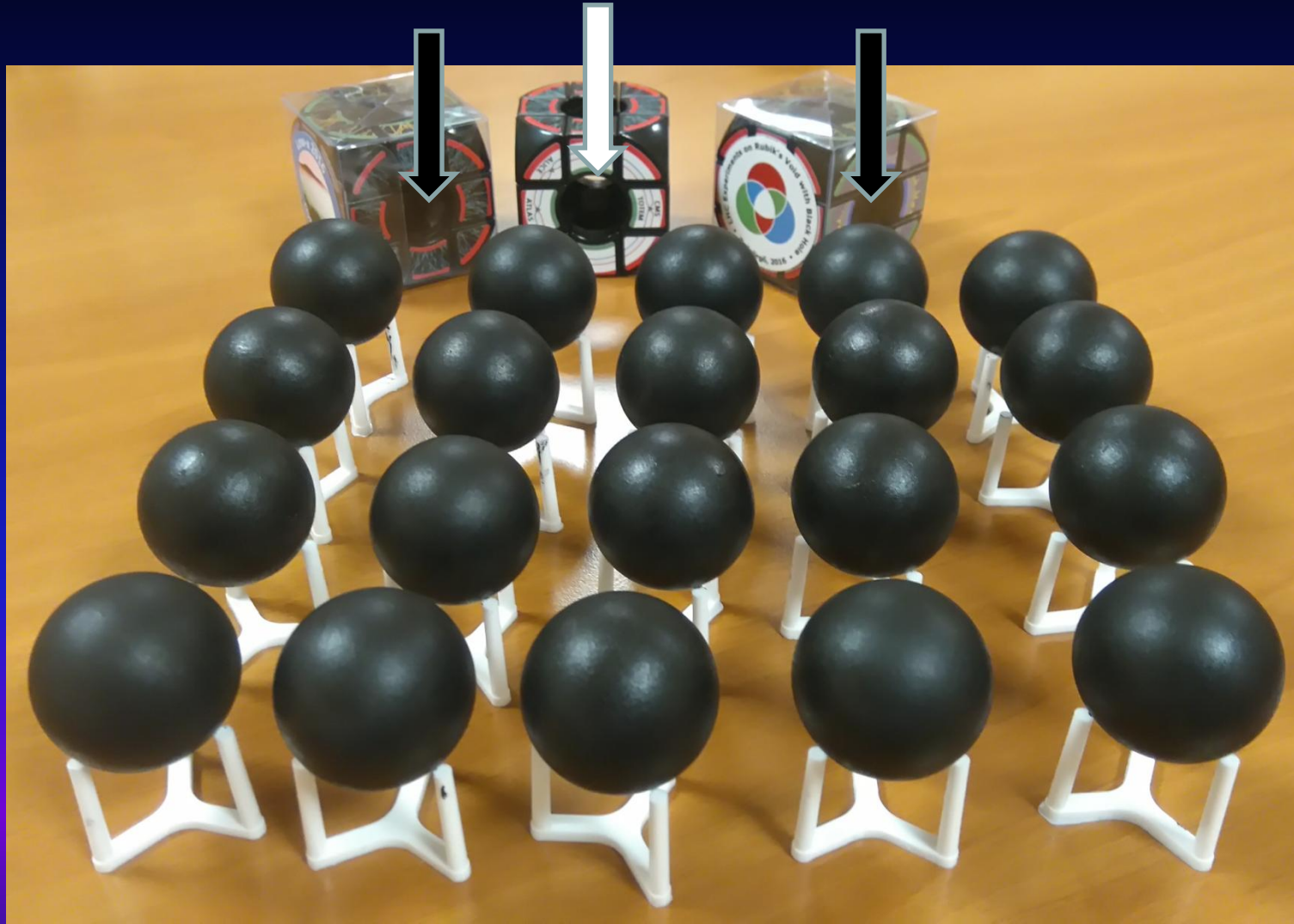
Piros, szemben vele anti-piros: zöld/kék

Zöld, szemben vele anti-zöld: kék/piros

Kék, szemben vele anti-kék: piros/zöld

a kvarkok az LHC-nál is fehér részecskéket alkotnak!

# Összetéve: LHC és a fekete lyukas kocka



**Köszönjük a figyelmet!**





# Jogi tájékoztatás:

A Lyukas Rubik Kockán lévő képek és a csomagolás olyan származtatott munka, amely a Rubik cég szellemi tulajdonjogain alapul: a Rubik Void kocka terve és megjelenítése a Rubik cég szellemi tulajdona.

A Lyukas Rubik kockára elhelyezett kísérleti események képei a CERN tulajdonát képezik.

Csörgő Tamás, e származtatott munka szerzője hálásan köszöni a CERN Press Office /Sajtóiroda/ engedélyét, hogy ebben az oktatási célú játékban ezeket a képeket felhasználhatta, elismeri, hogy ezek a képek a CERN-ből származnak (kivéve a saját tervezésű, LHC gyorsítót és 5 kísérletét összegző képet), és a CERN képeinek felhasználása során a CERN-t a használatból származó bármilyen kár térítése alól mentesíti.

A CERN-ből származó képek a CERN tulajdonában maradnak, az alább részletezett szabályoknak megfelelően: <http://copyright.web.cern.ch/>

A fekete lyuk és a terv szellemi tulajdonának azon részei, melyek nem képezik sem a CERN sem a Rubik cég tulajdonát, © Csörgő Tamás szellemi tulajdonában maradnak. Készült a Low-x 2016 konferencia alkalmából, Kelt Gyöngyösön, 2015 június 10-én.