

RUBIK KOCKÁBAN A VILÁG

A TÖKÉLETES KVARKFOLYADÉK MODELLEZÉSE

Csörgő Tamás fizikus, MAE
MTA Wigner FK, Budapest és KRF, Gyöngyös

A KVARKOK FOLYADÉKÁNAK MEGLEPŐ TULAJDONSÁGAI

MÉRŐ

A nagyenergiás magfizikában a legfontosabb nevezett relativisztikus nehézion-ütköztetéshez igen közeli sebességű nehézion-ütköztetések egymással. Ezen ütköztetések során az atommagok pillantással a Világegyetemünk keletkezésének Nagy Bumm után uralkodott. Emiatt a nehézion-ütköztetéseket – a bennük uralkodó óriási energiák miatt – Nagy Bummoknak



ÖVEK

A nehézion-ütköztetéseket óriási gyorsítók, az úgynevezett nehézion-gyorsítók fel a Természetnek. A fénysebességhoz közeli sebességre gyorsított nehézion-ütköztetéseket ütköztetünk egymással, amilyen egy szem-romásodperccel a világban zajló nehézion-ütköztetések miatt – Kis

OTKA

A cikk az OTKA és az Élet és Tudomány közös pályázatán első helyezést ért el.

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

KRF, Gyöngyös:

10 éves a Kutatók Éjszakája



DEDIKÁCIÓ: 40 ÉVES A RUBIK KOCKA

[See What's Happening](#) [Upcoming Exhibitions](#) [Beyond Rubik's Cube](#)

BEYOND RUBIK'S CUBE

Coming to
LSC April
26, 2014

Beyond Rubik's Cube is a 7000 square foot traveling exhibition exploring the innovations and insights inspired by 40 years of playing with the world's most popular puzzle.



Bring the
Exhibition to
Your
Institution!

[► Museum Professionals Click Here!](#)

Play with a giant
working Rubik's
Cube that shows how
the pieces twist
without falling apart.



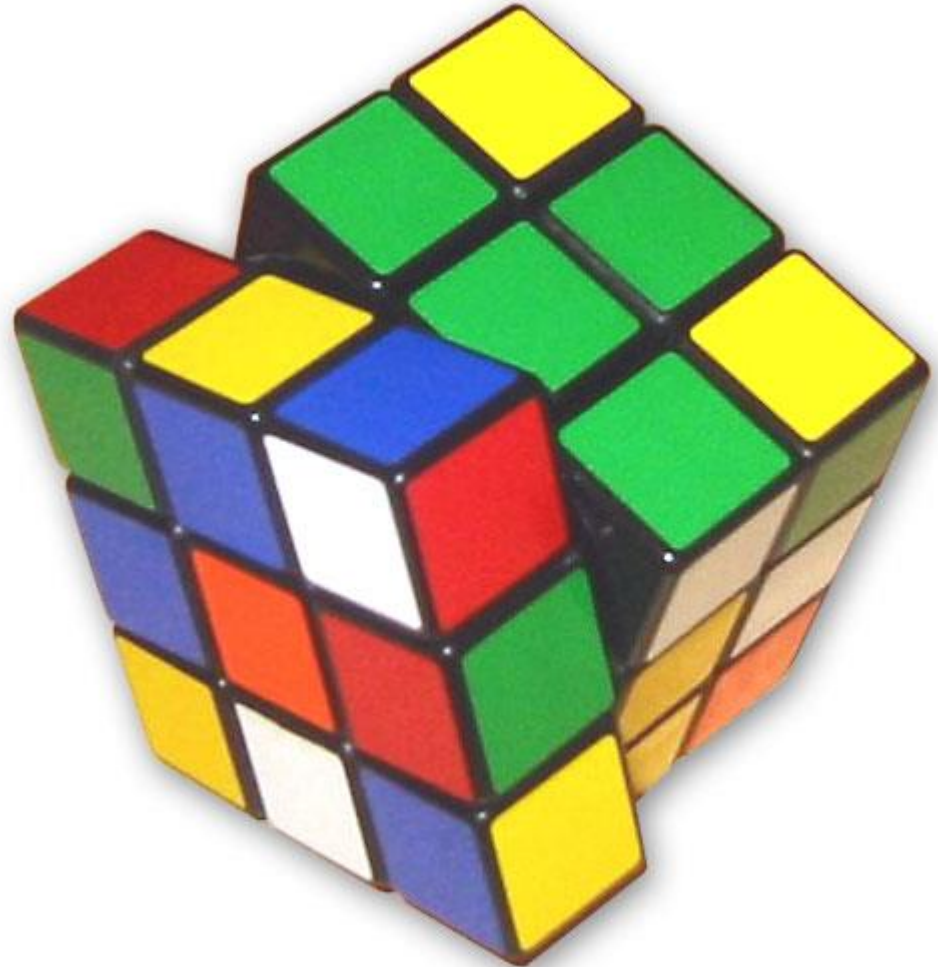
Marvel at the robots
that can solve the
Rubik's Cube faster
than humans.



Study artifacts from
Erno Rubik's
personal collection
that show the
invention and design
of the original
Rubik's Cube.



We've got the largest
Rubik's Cube ever
assembled – the
Groovik's Cube. It's
so big it takes three
people working
together to solve it.



A KÉRDÉS: MIÉRT?

See What's Happening Upcoming Exhibitions Beyond Rubik's Cube



Coming to
LSC April
26, 2014

Beyond Rubik's Cube is a 7000 square foot traveling exhibition exploring the innovations and insights inspired by 40 years of playing with the world's most popular puzzle.



Bring the
Exhibition to
Your
Institution!

[► Museum Professionals Click Here!](#)

Play with a giant
working Rubik's
Cube that shows how
the pieces twist
without falling apart.



Marvel at the robots
that can solve the
Rubik's Cube faster
than humans.

Study artifacts from
Erno Rubik's
personal collection
that show the
invention and design
of the original
Rubik's Cube.

We've got the largest
Rubik's Cube ever
assembled – the
Groovik's Cube. It's
so big it takes three
people working
together to solve it.



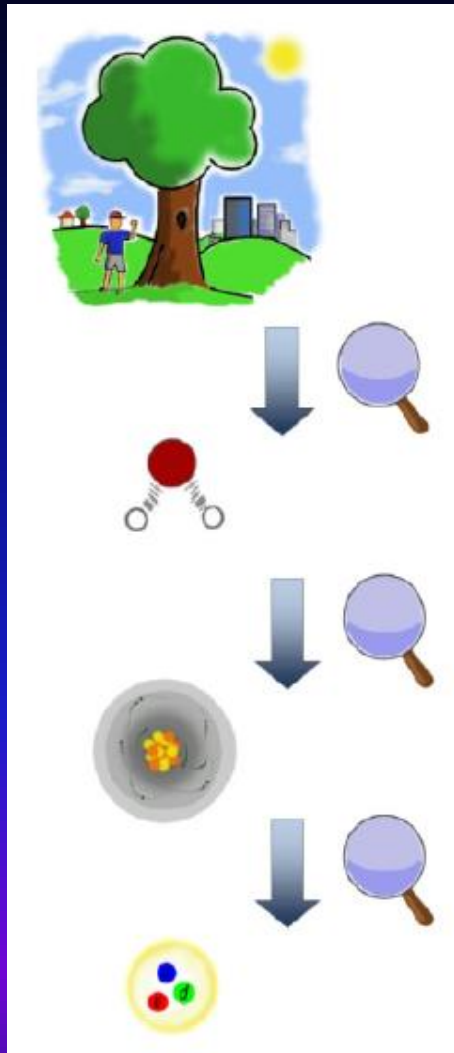
A Rubik kocka: a világ legnépszerűbb logikai játéka. Kb 400 000 000 db kelt el belőle .

Rubik Ernő kérdése:
Miért? Miért került a Kocka kapcsolatba százmilliókkal szerte e világon?

Válaszunk:
A Rubik kockában benne van az egész Világ!

No de mit is tudnak a fizikusok ma a Világról?

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	0 0 1 γ foton
	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	0 0 1 g gluon
	<2.2 eV 0 $\frac{1}{2}$ ν_e elektron neutrínó	<0.17 MeV 0 $\frac{1}{2}$ ν_μ műon neutrínó	<15.5 MeV 0 $\frac{1}{2}$ ν_τ tau neutrínó	91.2 GeV 0 0 1 Z⁰ gyenge
	0.511 MeV -1 $\frac{1}{2}$ e elektron	105.7 MeV -1 $\frac{1}{2}$ μ műon	1.777 GeV -1 $\frac{1}{2}$ τ tau	80.4 GeV ±1 1 W[±] gyenge
				Bozonok
	Leptonok			

A modern fizika válasza kissé komplikált, de jól modellezhető:

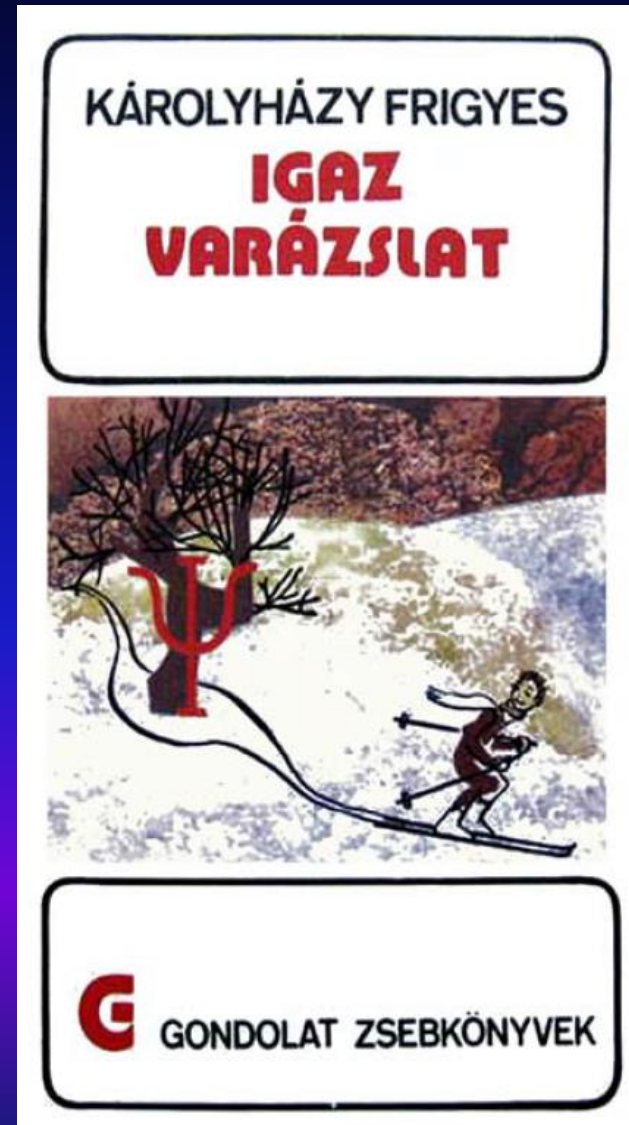
Csörgő J, Török Cs, Csörgő T.: Részecskés kártyajáték – elemi részecskék, játékosan (2011)

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...

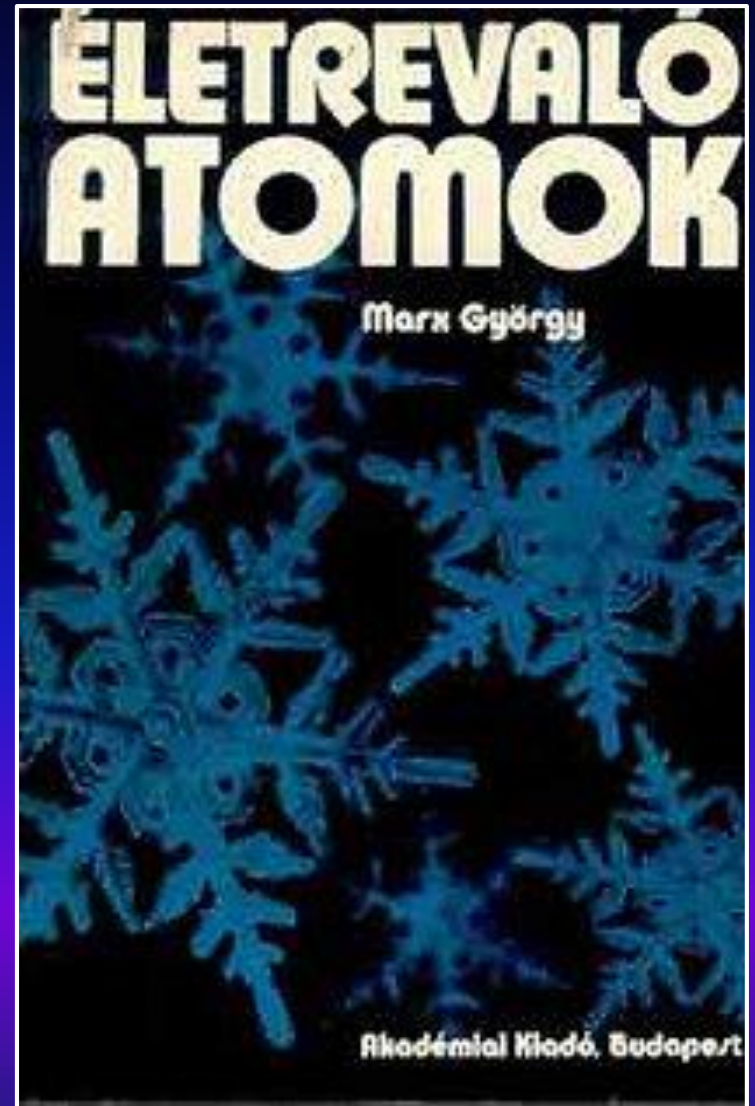


MODELLEZÉS ÉS A MARSLAKÓK

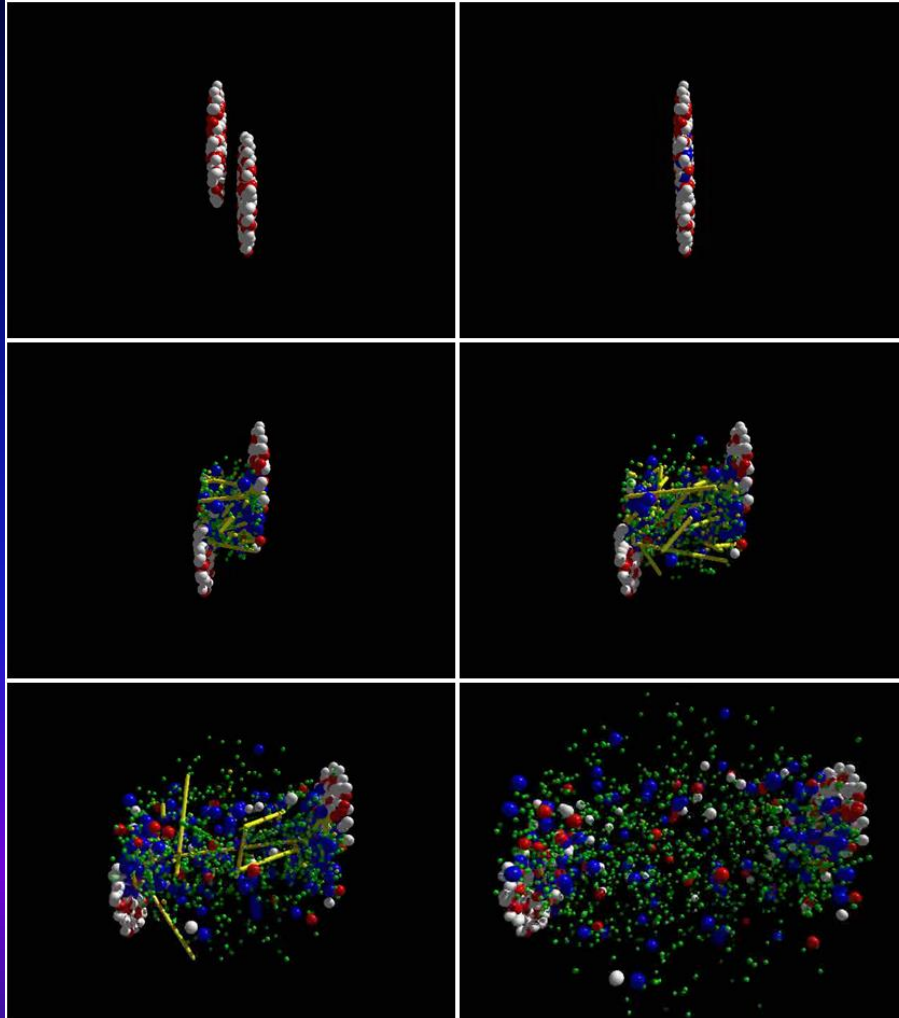
A fény néha
golyóként viselkedik,
de nem golyó;
hullámként terjed,
de nem hullám;
Egyszerre golyó is és hullám is,
Egyszerre egyik sem.
Akkor mi is a fény?

A fény:
ÉPPEN OLYAN,
THATAGATA,
mint a fény

Értelmezés /Marx György/:
Marslakó a Földön

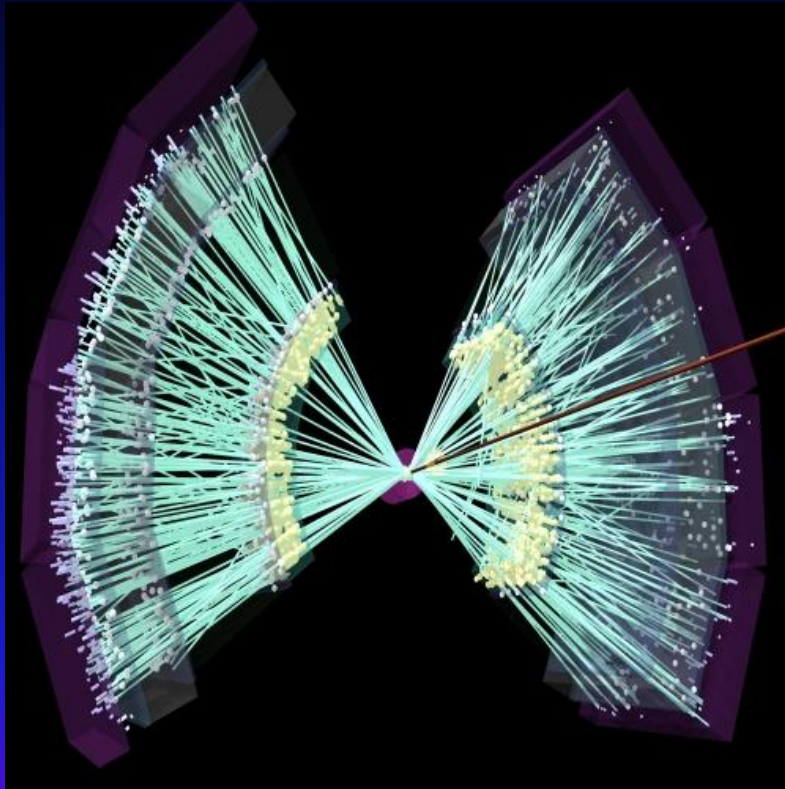


A KVARKANYAG - ELMÉLETILEG



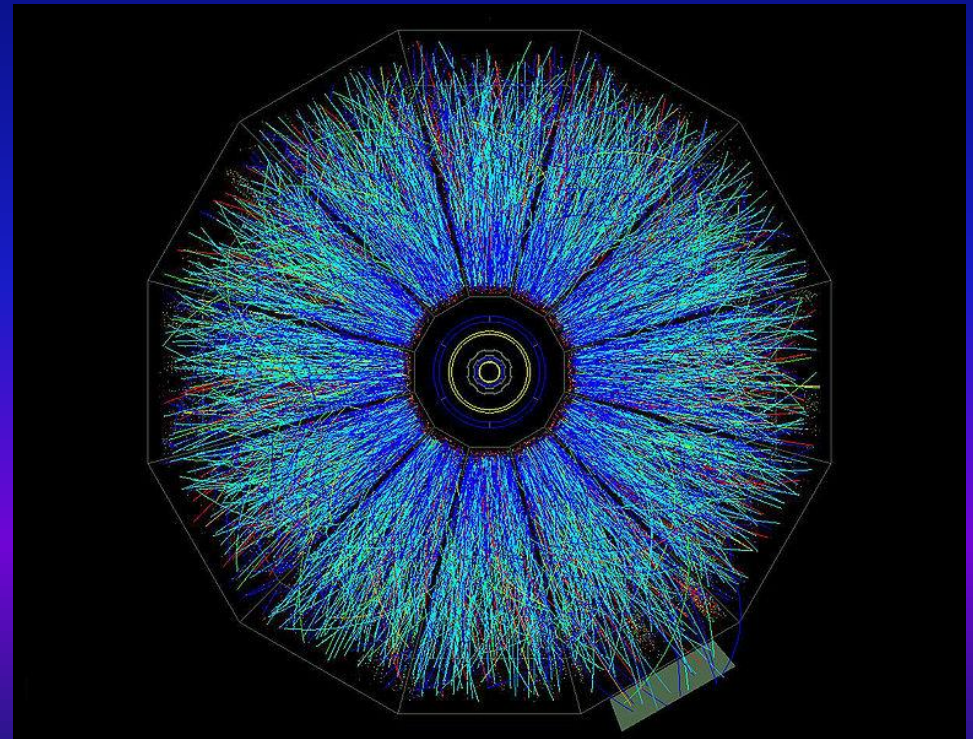
A RHIC Au+Au ütközéseinek elméleti leírása. Nagy energiás nehézion-ütközésekben erősen kölcsönható kvark-gluon plazma jön létre, meglepő tulajdonságokkal: a kvarkok tökéletes folyadékának tulajdonságait az USA Relativisztikus Nehézion Ütköztető (RHIC) gyorsítójának kísérletei tárták fel a Brookhaveni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

KVARKFOLYADÉK - KÍSÉRLETILEG

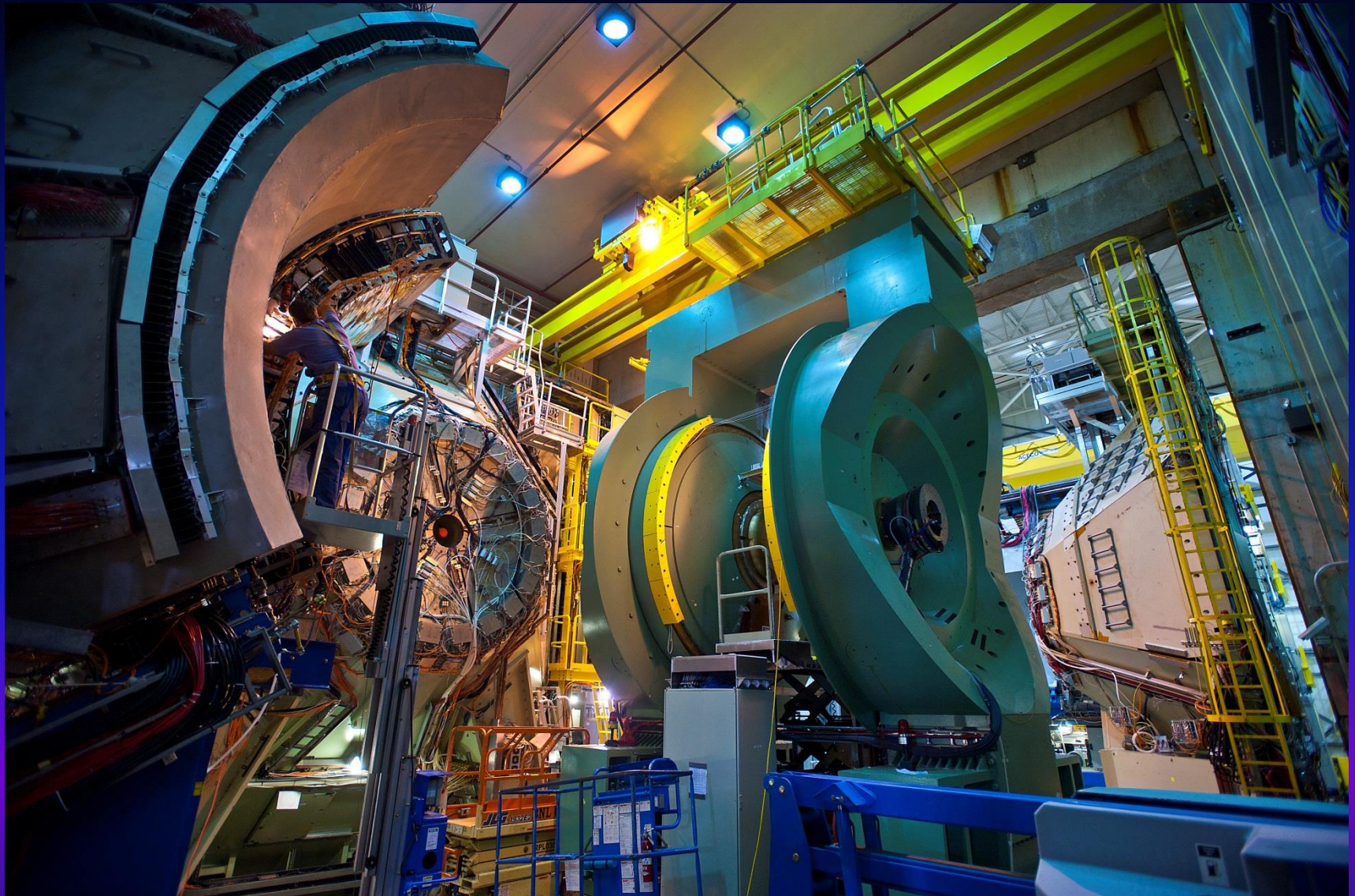


A tökéletes kvarkfolyadék, az sQGP tulajdonságait megerősítette és további részletekkel gazdagította a CERH LHC ALICE, ALTAS és CMS kísérlete.

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 RHIC GYORSÍTÓ PHENIX KÍSÉRLETE



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

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 ~ 2 fm

$C_s = 0.35 \pm 0.05$

$\eta/s \leq$ szuperfolyékony He/5

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

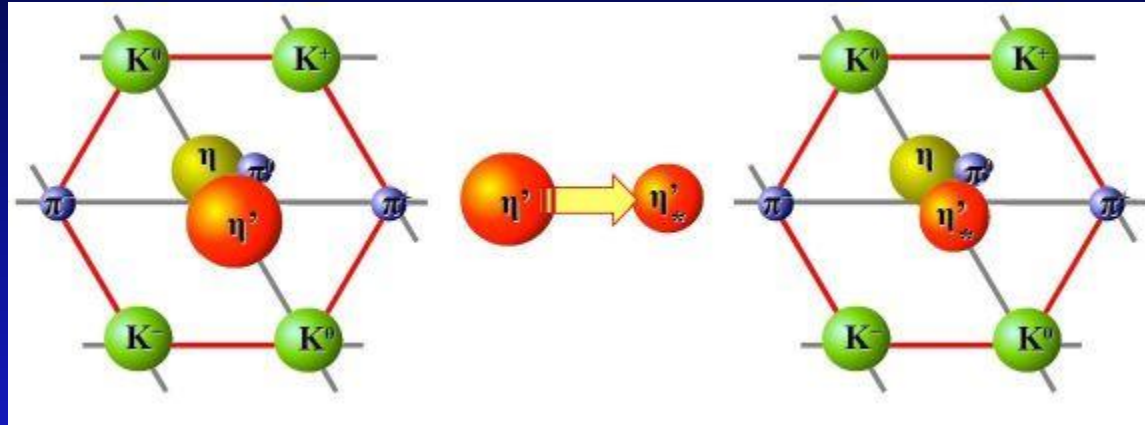
$\epsilon_{init} \geq 15$ GeV/fm³

$p_{init} \geq 1.5$ GeV/fm³

A RHIC-nél

az η' mezon tömegcsökkenése

egy elveszett szimmetria helyreáll

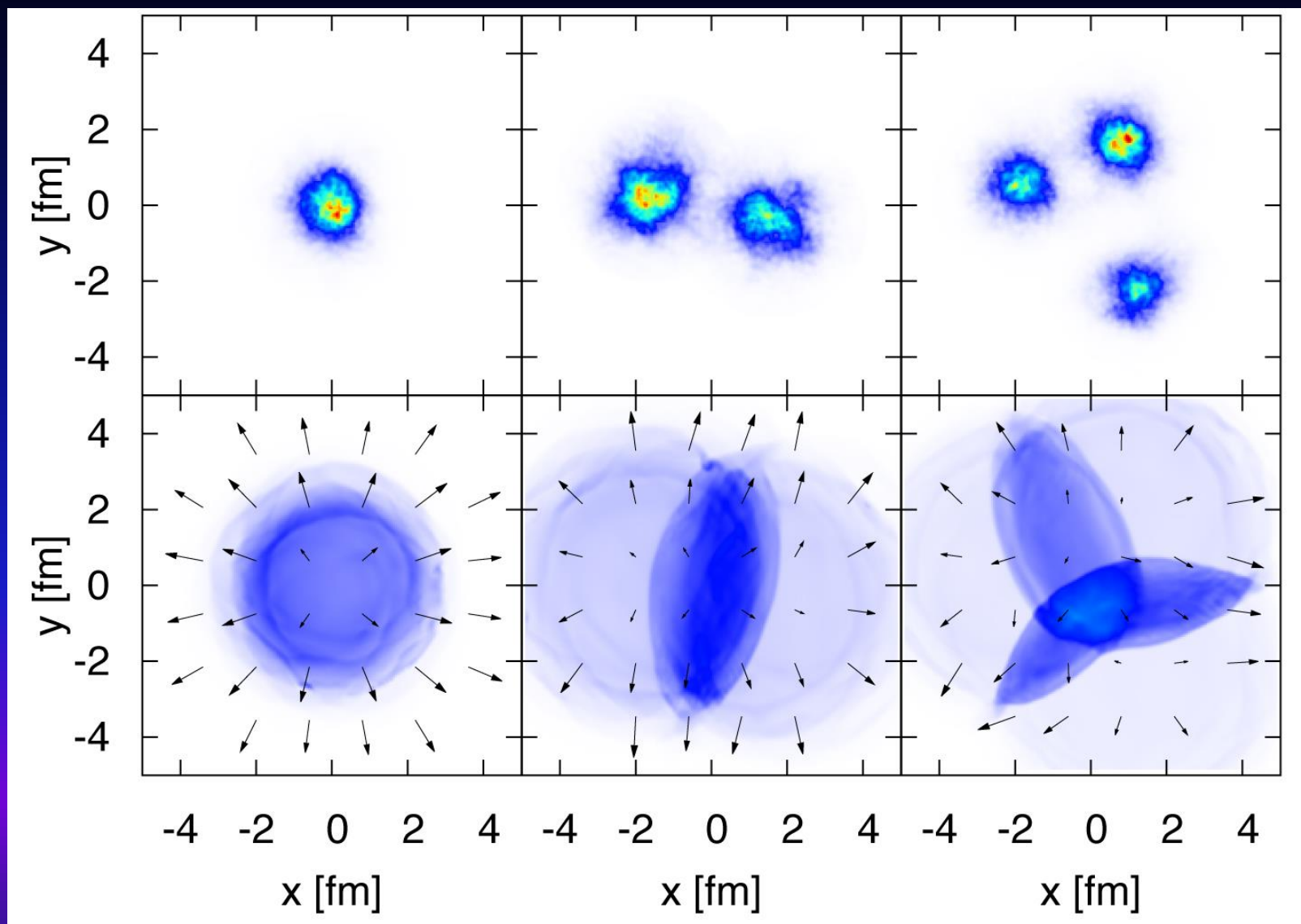


T. Cs, R. Vértesi, J. Sziklai
Phys.Rev.Lett.105:182301,2010

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

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

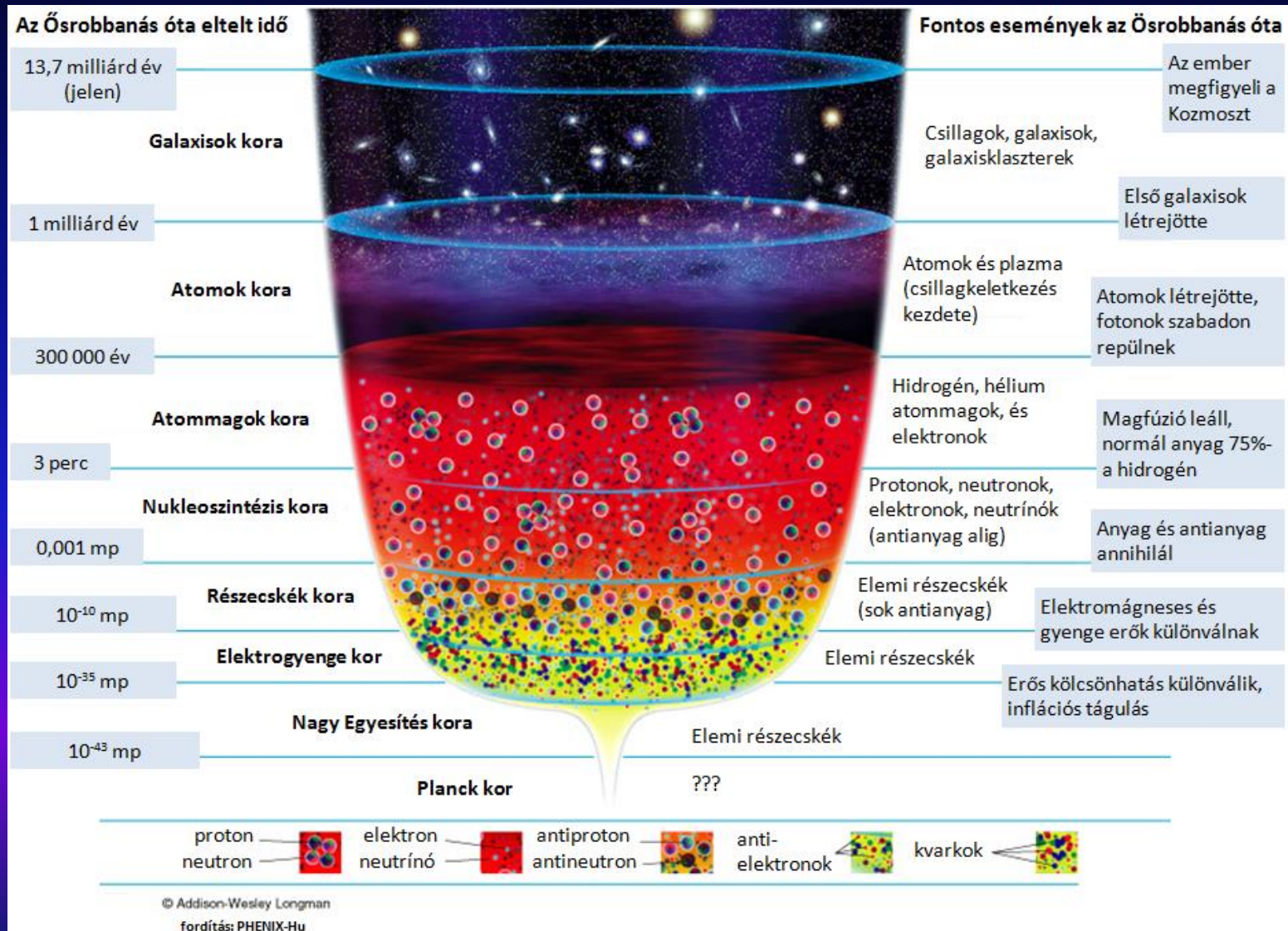
A TÖKÉLETES KVARKFOLYADÉK CSEPPJEI



PHENIX kísérlet, Brookhaveni Nemzeti Laboratórium, USA, [2015 szeptember](#)

A TÖKÉLETES KVARKFOLYADÉK FIZIKÁJA

VILÁGEGYETEMÜNK ÉS A MAI FIZIKA



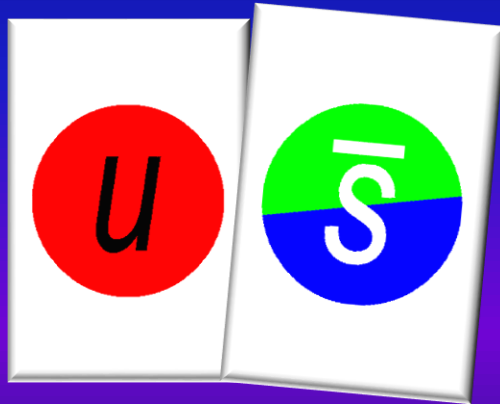
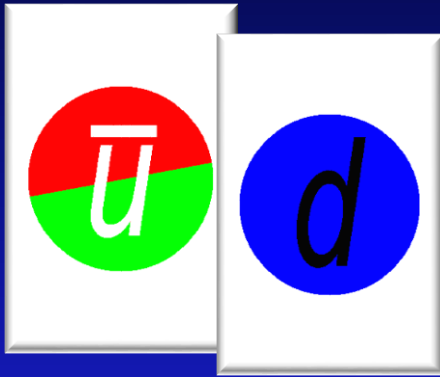
KVARKFOLYADÉK

Three generations of matter (fermions)					
	I	II	III		
mass →	2.4 MeV/c ²	1.27 GeV/c ²	171.2 GeV/c ²	0	? GeV/c ²
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 →	u up	c charm	t top	γ photon	H Higgs boson
Quarks	4.8 MeV/c ²	104 MeV/c ²	4.2 GeV/c ²	0	
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0	
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
	d down	s strange	b bottom	g gluon	
Leptons	<2.2 eV/c ²	<0.17 MeV/c ²	<15.5 MeV/c ²	91.2 GeV/c ²	
	0	0	0	0	
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	Z⁰ Z boson	
	0.511 MeV/c ²	105.7 MeV/c ²	1.777 GeV/c ²	80.4 GeV/c ²	
	-1	-1	-1	±1	
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
	e electron	μ muon	τ tau	W[±] W boson	
					Gauge bosons

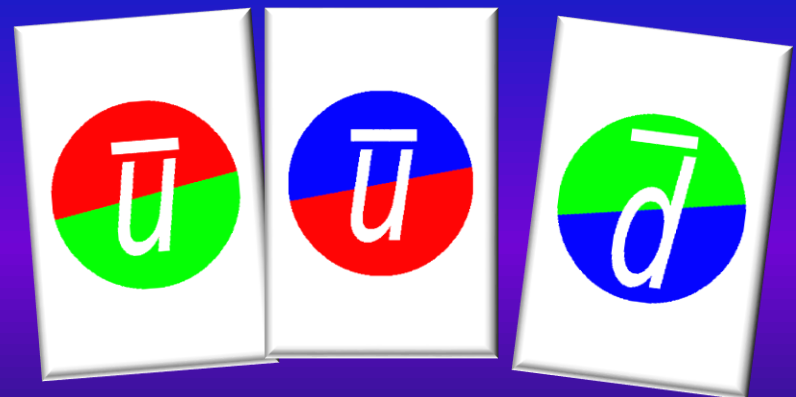
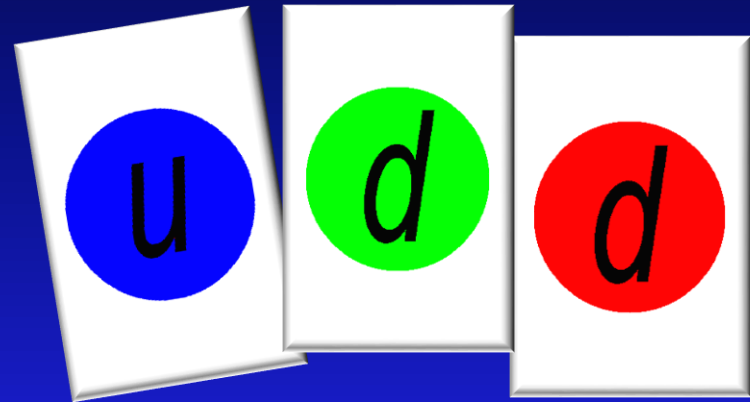
- JÁTÉKOSAN

SU(3) SZÍN és OPTIKAI SZÍN

Mezonok



Barionok



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



Az első áru volt **Brookhaven** online boltjában

RÉSZECSKÉS (KÁRTYA)JÁTÉKOK

2011: Négy alapjáték

1. ANTI
2. Kozmikus záporok
3. Detektáljunk!
4. **Kvarkanyag**

2012: Zimányi Nehézionfizikai Téli Iskola, Budapest

5. Kvarkanyag Memória: <http://arxiv.org/abs/arXiv:1303.2798>
6. [Hogyan csinálhatunk](http://arxiv.org/abs/arXiv:1303.2732) kártyajátékból Higgs bozont?
<http://arxiv.org/abs/arXiv:1303.2732>

→ Quark Matter Card Game, 3rd English Edition, 2013 május

7. Lang Ágota: Természet Világa 2013 márciusi szám, 121. o.

→ **Kvarkok Háborúja: Novák Tamás (KRF, Kutatók éjszakája'14)**

2013: BerzeTÖK tábor, Visznek

8. Csernai L, Csörgő T, Vargyas M: **Részecskés Póker** (Brgen, 2012),
9. Novák T, Csörgő T: **Részecskés Snapszer**: 2013 nyarán, Visznek
10. **RÉSZECSKÉS MAHJONGG** – 2013 nyarán, Mártély, TÖK tábor

2014: WPCF 2014 konferencia, KRF, Gyöngyös

11. **Kvarkfolyadék Rubik Kocka** – Gyöngyös, Károly Róbert Főiskola
Xth Workshop on Particle Correlations and Femtoscopy

12. CERN @ Wigner, 2014/09: Részecskés Lecsapós (Sveiczner Andris)

2015: Kvarkos Rubik kocka: BNL (USA) KEK (Japán) KRF és Wigner (Hu)

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 card game to represent the quark-gluon plasmas physicists cook up at Brookhaven's

Relativistic Heavy Ion Collider (RHIC), where the PHENIX experiment is taking place.

how the cards are known.

The book is a self-paced plaything for physicists, says.

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



ncemag.org SCIENCE VOL 331 14 JANUARY 2011

Published by AAAS

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 Lab'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 BUL-NA-2011
>> french version

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!".

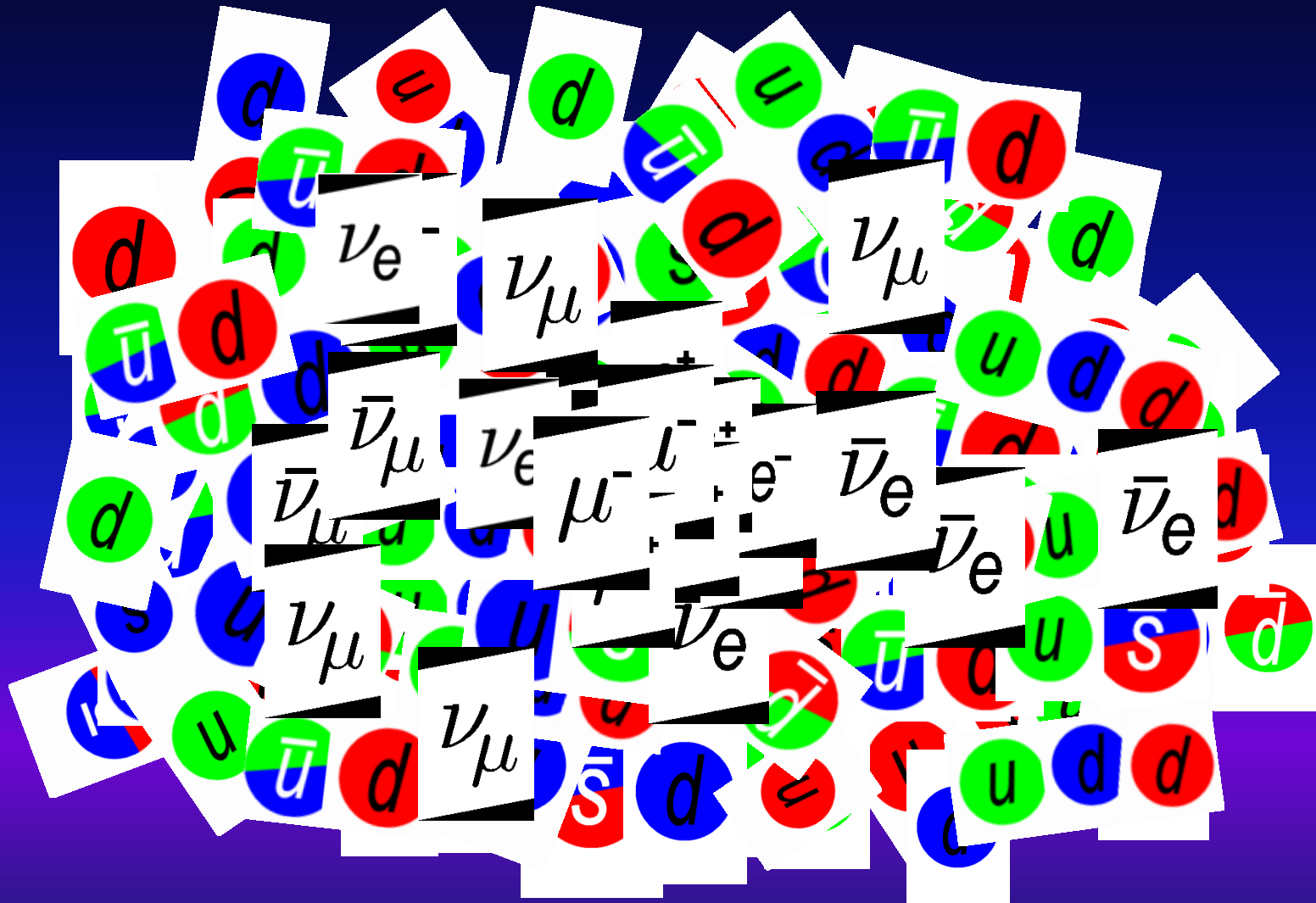


Csaba Török and Judit Csörgő (second and third from left) at the award ceremony for the Eötvös University Innovation Contest.

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



KVARKFOLYADÉK - KÁRTYÁKKAL



KVARKFOLYADÉK A RUBIK KOCKÁN

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 ($S = \ln N$)	~ 45.21	~ 56.02
Oldal hossza (L, mm)	57	57
Entrópiasűrűség ($s = S/L^3$, 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 ³]	15	
Hangsebesség, c_s^2	0.1	Hű modellhez: $L' = L / 25^{1/3} / 10^{10}$ $L' \sim 2 \times 10^{-12} \text{ m}$
Hőmérséklet, T [GeV]	0.22	
Entrópiasűrűség $s = (1+c_s^2) e / T$, [m ⁻³]	7.5×10^{46}	

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

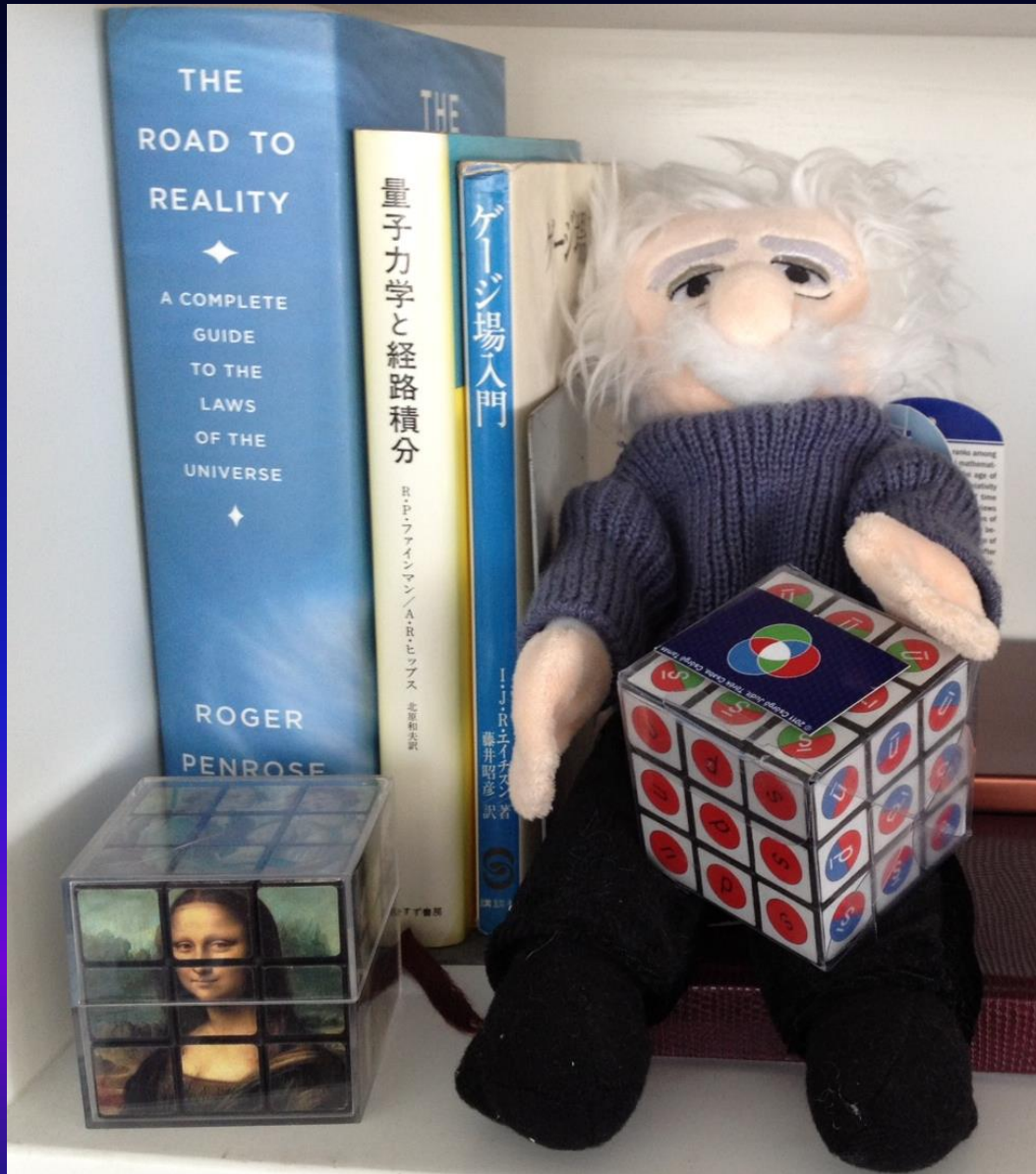
cmseye06 2013-01-29 13:59:23



Berzés öregdiákok a CERN-ben, a protonok nyomában:

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

KVARKFOLYADÉK – MOSOLYGÓSAN



T. Kodama prof. (Rió,Brazil)
összekapcsolta
**Albert Einsteint,
Mona Lisa mosolyát,
a Kvarkfolyadékos Kockát,
és a Valósághoz Vezető Utat:
a Természet törvényeinek
teljességét.**

**A részecskés játékok
nem adnak ilyen teljes képet
de hasonlóan jó,
szórakoztató bevezetést
adnak a modern fizikába.**

adnak a modern fizikába.
szórakoztató bevezetést
de hasonlóan jó
nem adnak ilyen teljes képet
A részecskés játékok

KVARKFOLYADÉK – KÉZZEL FOGHATÓAN

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



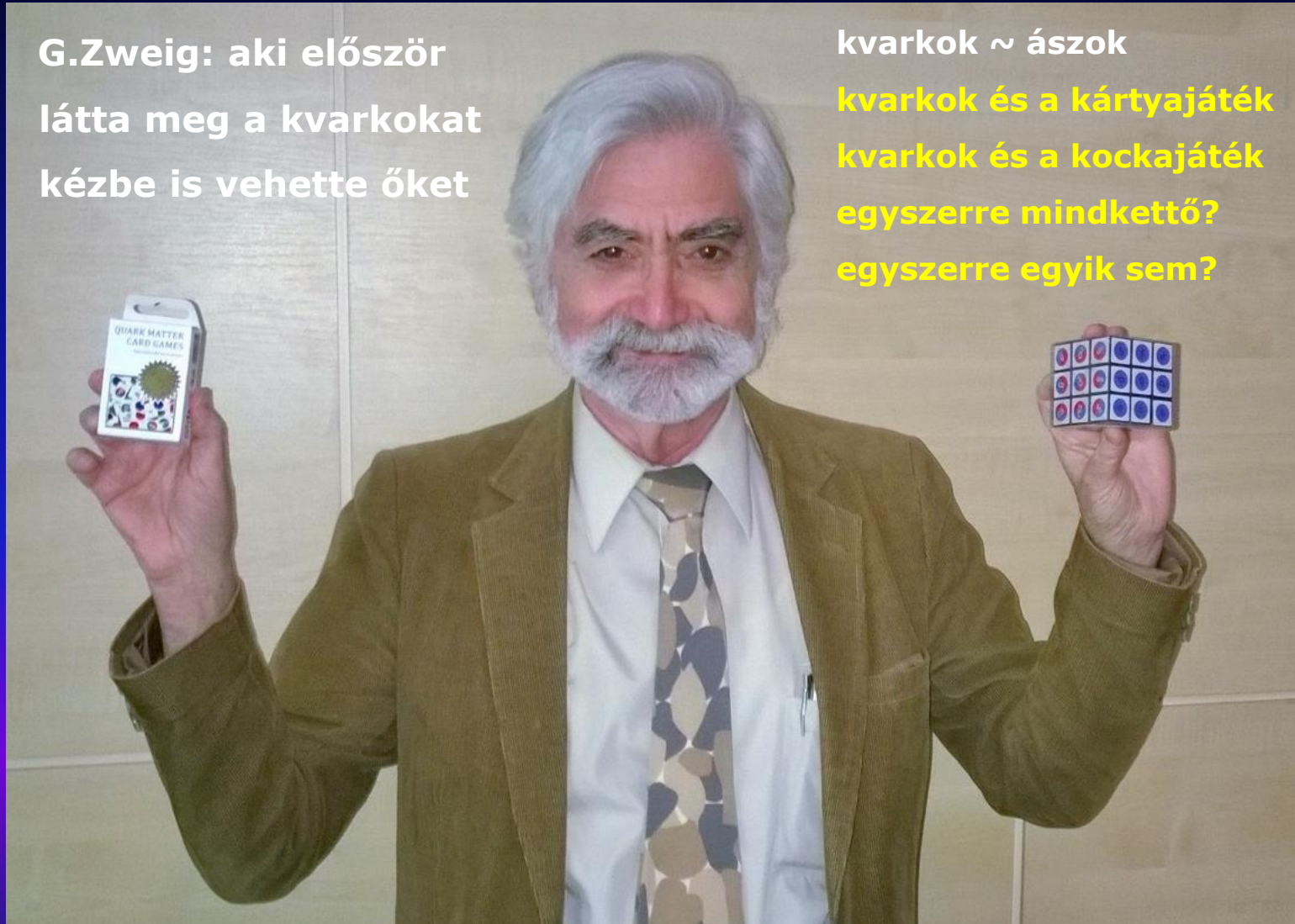
kvarkok $\sim$ ászok

kvarkok és a kártyajáték

kvarkok és a kockajáték

egyszerre mindkettő?

egyszerre egyik sem?



KÖSZÖNÖM A FIGYELMET!

KÉRDÉSEK ?

TARTALÉK

ÖSSZEFOGLALÁS

**A Nagy Bumm és
a Kis Bummok kapcsolatai**

A csillagokból születünk

Hőmérséklet ~ 4 Tkelvin

Hubble állandók

A szférák zenéje

Magyar TÖK Mozgalom:

Természettudományos Önképzőkörök

**Az önállóan gondolkodni tudó,
kiművelt emberfők neveléséért**

**Motiváció: Részecskés Kártyajáték
sikerei**

