

A sötét anyag keresése az atommagban

Krasznahorkay Attila
MTA Atomki, Debrecen



ATOMKI, Debrecen

Az Atomki látképe Debrecen központjában

4 osztály:

- **Atommagfizika**
- Atomfizika
- Alkalmazott fizika
- Gyorsító centrum

Mérete: 100 kutató, 100 mérnök+
egyéb

www.atomki.mta.hu



Tavasza van, a természet megújulása, és a látható világunk gyönyörű. Látásunk segítségével megismerhetjük a környező világunkat, felismerhetjük a természet törvényeit, és felhasználhatjuk azokat az életünk megkönnyítésére.



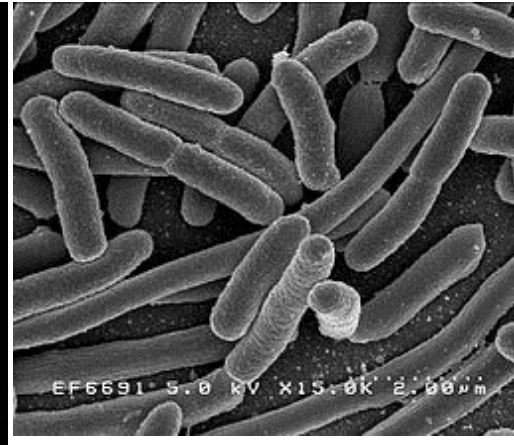
A szabad szemmel történő megfigyeléseinknek azonban korlátai is vannak...

Látható és láthatatlan világunk

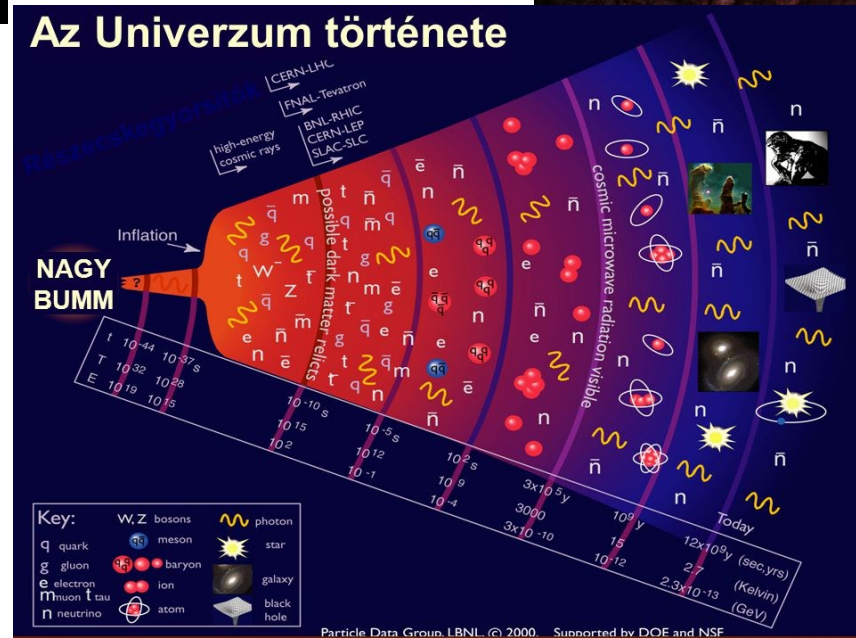
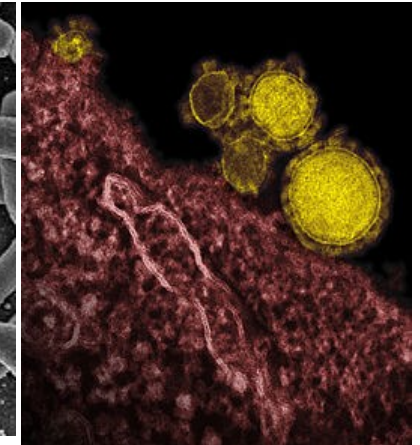
- A levegő
- Túl kicsi dolgok → Mikroszkóp
- Túl távoli dolgok → távcső, teleszkópok
- Gravitációs vonzás, Mágneses vonzás
- Radioaktív sugárzások



Baktériumok (1674, 1865)



Vírusok (1892)



Egy új láthatatlan mikrovilág felfedezése

Lénárd Fülöp, a katódsugarak vizsgálata 1886, foszforeszkáló ernyő, vékony fólia publ. 1893 → Nobel díj 1905

J.J. Thompson, 1897 az elektron felfedezése → Nobel díj 1906

W.C. Röntgen: az X sugarak, a későbbi Röntgen sugarak felfedezése. Wilhelm Conrad Röntgen 1901-ben elsőként kapta meg a fizikai Nobel díjat

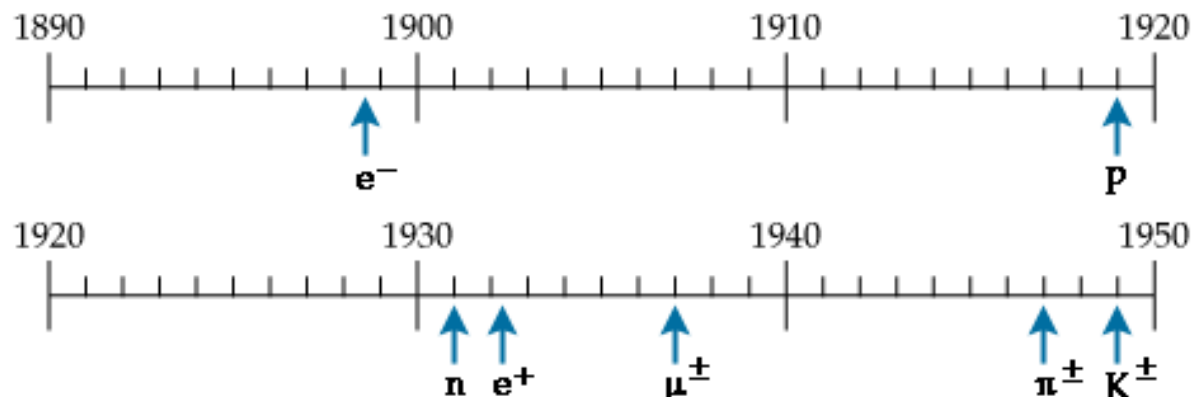
Egy új eszköz a láthatatlan sugárzás kimutatására, a Fotoemulzió
Becquerel, 1899 α , β , γ sugárzás → Nobel díj 1903

Rutherford, az atomok szerkezete, az atommag → Nobel díj 1908

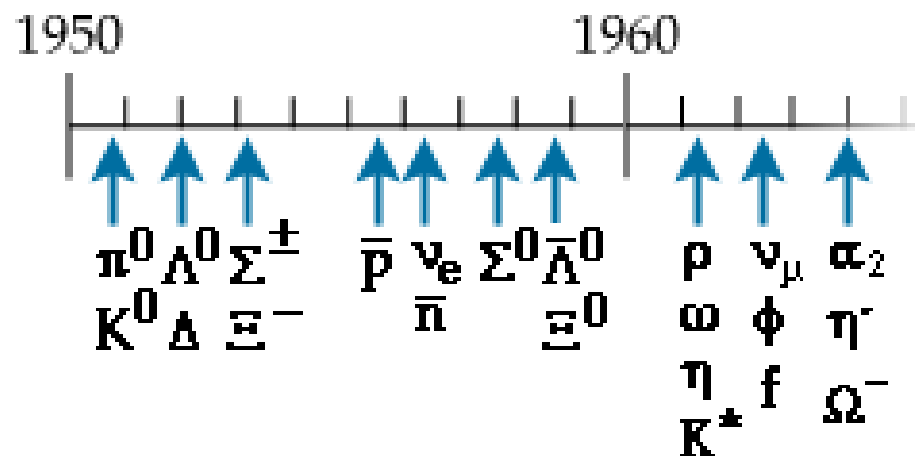
Elektronikus detektorok, részecskegyorsítók → új részecskék

Korszakváltás: Gyorsítók előtt és a gyorsítók után. Új részecskék százait ismerik meg a kutatók!

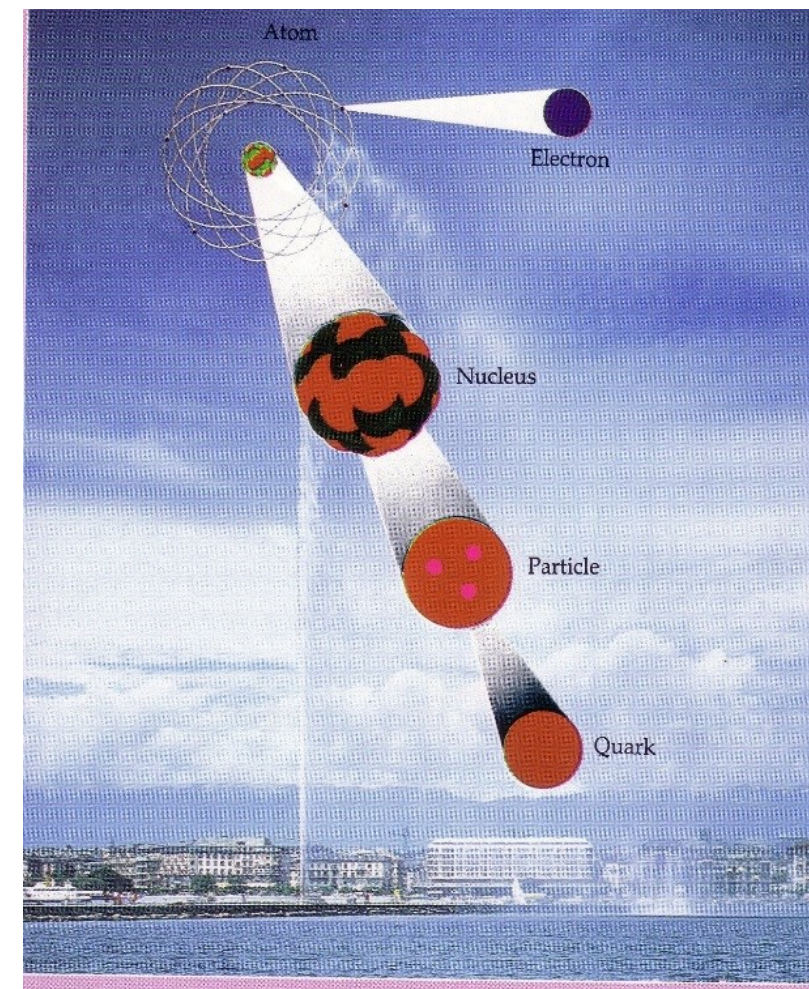
A gyorsítók kora
előtt
csak néhány
részecskét
ismertünk
(lásd kozmikus
sugárzás)



Megépülnek a gyorsítók.
Ezek már
furcsa, új részecskék
százaival
hozzák zavarba a kutatókat

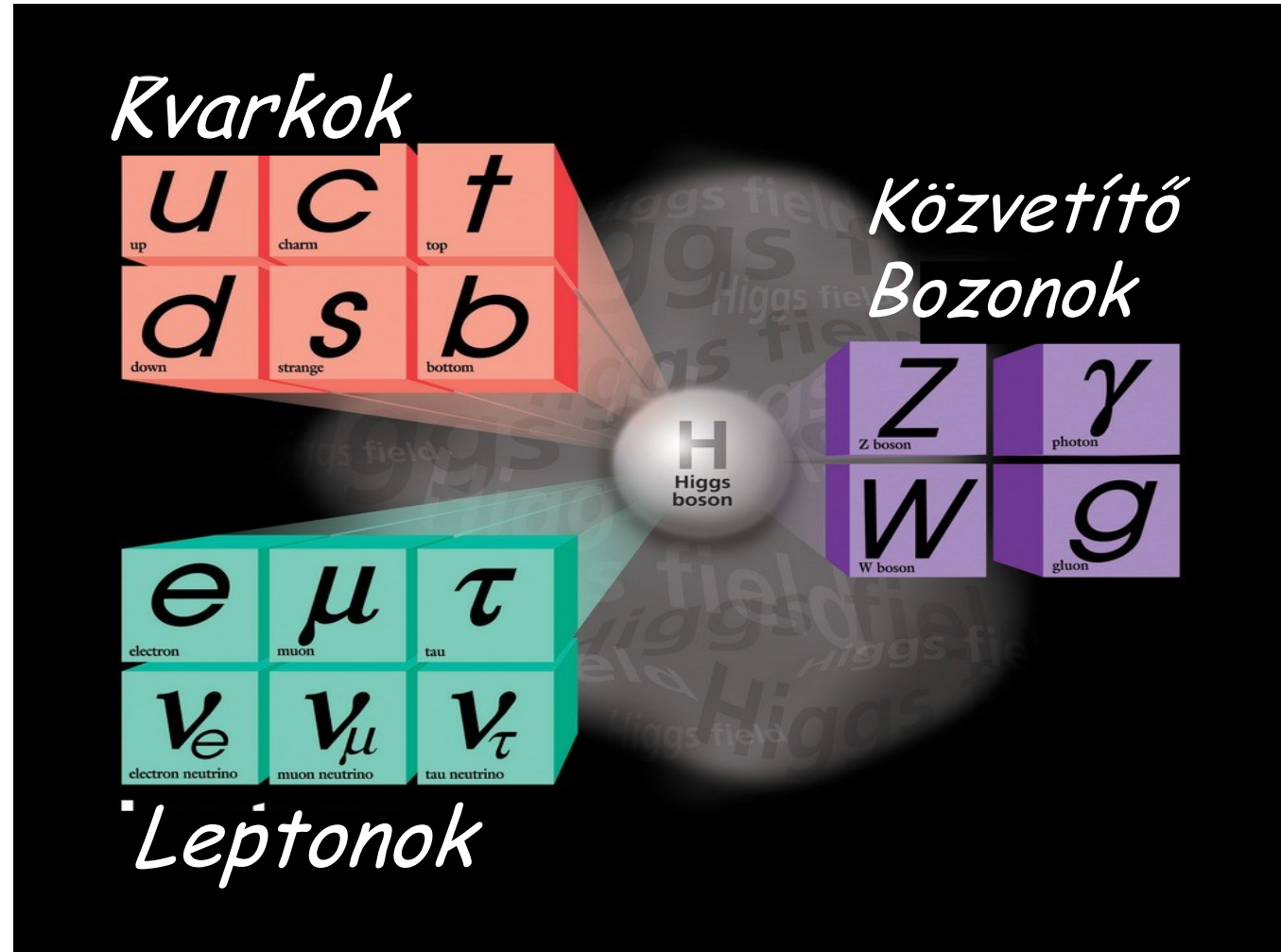


Vigyázzunk a nevekkal, még néhány újabb részecske és elfogy a görög abc... ☺



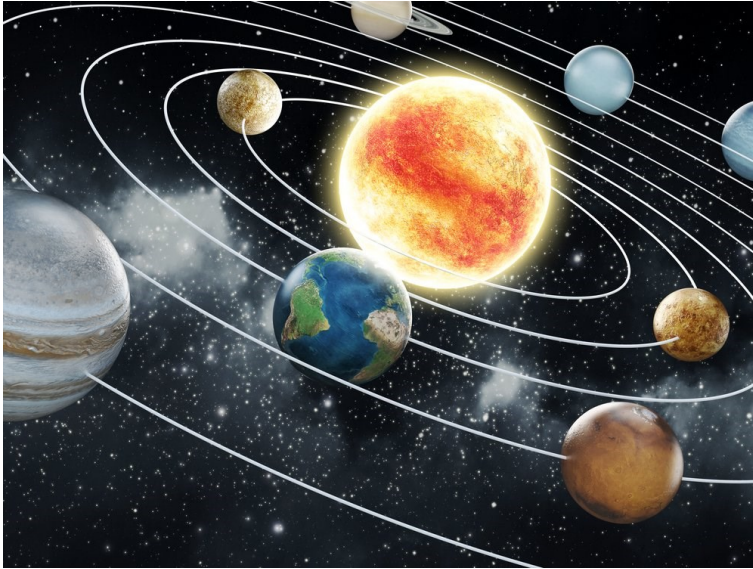
Leptonok és kvarkok
Mai tudásunk szerint
ők a létező világunk
elemi építőkövei!

A Standard modell alapjai:
anyagi részecskék (fermionok:kvarkok és leptonok)
és a kölcsönhatások közvetítő részecskéi (bozonok)



2012 a Higgs bozon felfedezése $\rightarrow$ az anyagi világról alkotott képünk kiteljesedett

A sötét anyag kutatásának első motivációja



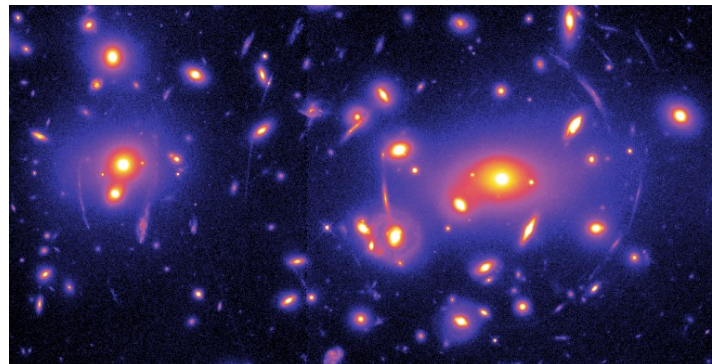
A gimnáziumban megtanultuk, hogy a Nap körül keringő bolygók mozgását Newton törvényeivel pontosan értelmezni lehet.

A gravitációs
lencsehatás

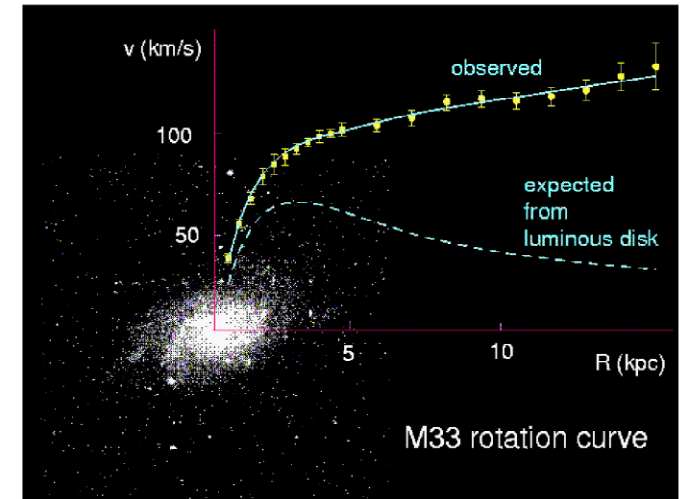
Sötét galaxisok



Andromeda galaxis
Tömeg: 370 milliárd $M_{\odot}$
Távolság: 2,5 millió fé



- A rotációs görbék tanulmányozása
- Sötétanyag-glória a galaxisok körül



Népszámlálás az Univerzumban

Csillagok és galaxisok csak: 0.5 %
Az ismert anyag: 5 %
Sötét anyag: ≈ 30 %
Sötét energia ≈ 65 %

Mit tudunk, és mit nem a sötét anyagról?

- Érzékeljük a látható csillagokra kifejtett gravitációs hatását.
- Nagyon sok van belőle (95%)
- Szorgalmasan keressük az alkotó részecskéit, egyre érzékenyebb detektorokkal.

Nem tudjuk viszont

- Milyen részecske (részecskék) alkotják?
- Milyen (új) kölcsönhatások hatnak ezen részecskék között?

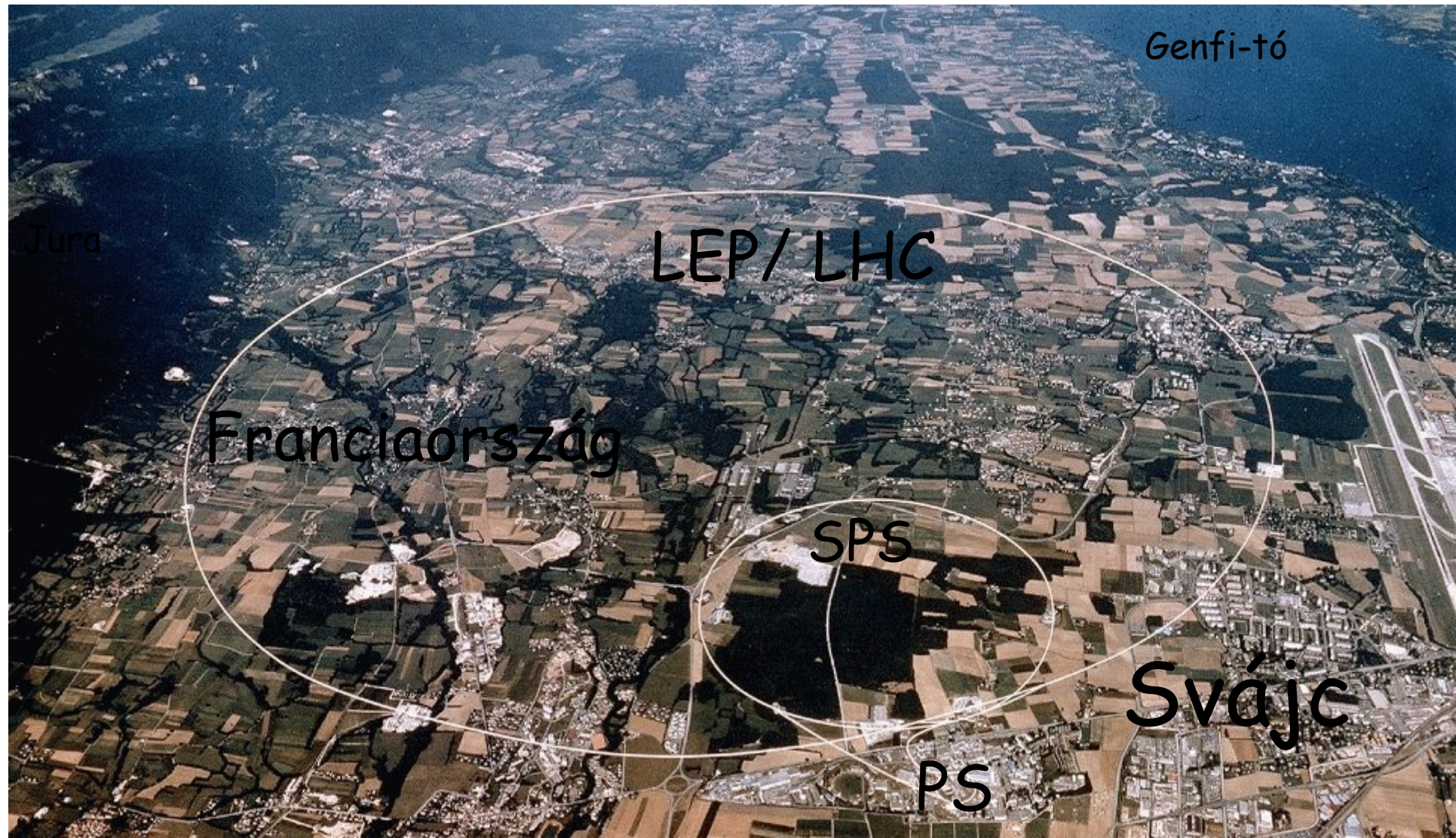
Keresés a pincétől a padlásig, már 30 éve, minden szegletben, óriási erővel...

- Csúcstechnológiával épült földalatti detektorokkal,



az űrben felépített nagy érzékenységű spektrométerekkel

Ebbe a keresésbe néhány éve a világ legnagyobb gyorsító laboratóriuma, a CERN-ben épített nagy hadron-ütköztető (LHC), fizikusai is bekapcsolódtak.



A nagy tudomány hálójában

A technikai potenciál a CERN-ben óriási. Az egyes kísérletekben több ezer ember dolgozik.

Tudunk-e, és ha igen, hogyan, Magyarországról ezekbe a kísérletekbe bekapcsolódni? A válasz természetesen igen.

1992 óta hivatalos tagjai és befizetői vagyunk ennek a 20 tagországot tömörítő szervezetnek. Részt veszünk a kísérletekben, detektorok építésében, adatfeldolgozásban stb. Ezzel bekerültünk a nagy tudomány hálójába.

A jelen előadásomban azonban ezektől különböző, Debrecenben elért kísérleti eredményekről szeretnék beszámolni.



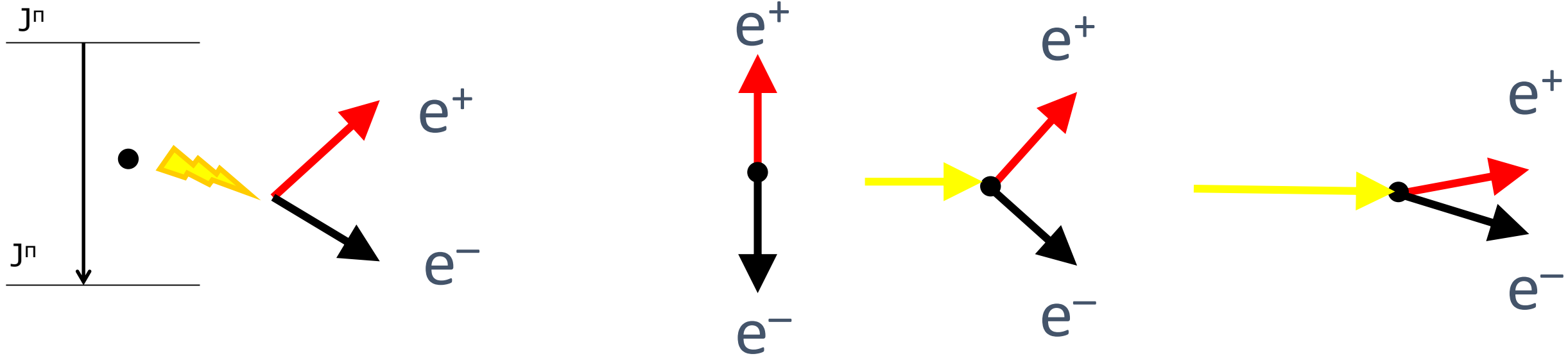
Az atommag mint felfedező gép

- Az LHC-t felfedező gépnek építették, ahol a nagyenergiás protonok ütközéseit vizsgálják. Ezek a protonok viszont ott vannak az atommagban is.
- Mi az MTA Atommagkutató Intézetében az atommagok tulajdonságait és átalakulásait vizsgáljuk. Valójában azonban az atommag is egy olyan felfedező gép, mint az LHC, csak kisebb energiákon. Amiben talán a természet összes kölcsönhatása jelen van.
- A négy jelenleg ismert kölcsönhatás közül kettőt az atommagban fedeztek fel. Ezek az erős és a gyenge kölcsönhatás. Hogy mire is jók ezek? Az erős kölcsönhatás eredményezi az atommagok igen nagy kötési energiáját, amit felszabadítva termelnek energiát az atomreaktorok. A gyenge kölcsönhatás nélkül pedig nem sütné a Nap.
- Mi az atommagban kezdtük el keresni a sötét anyagot.

A sötét erő és a sötét foton

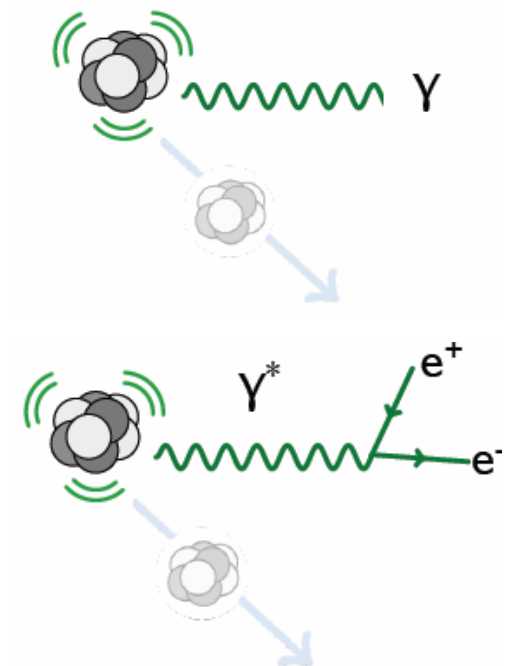
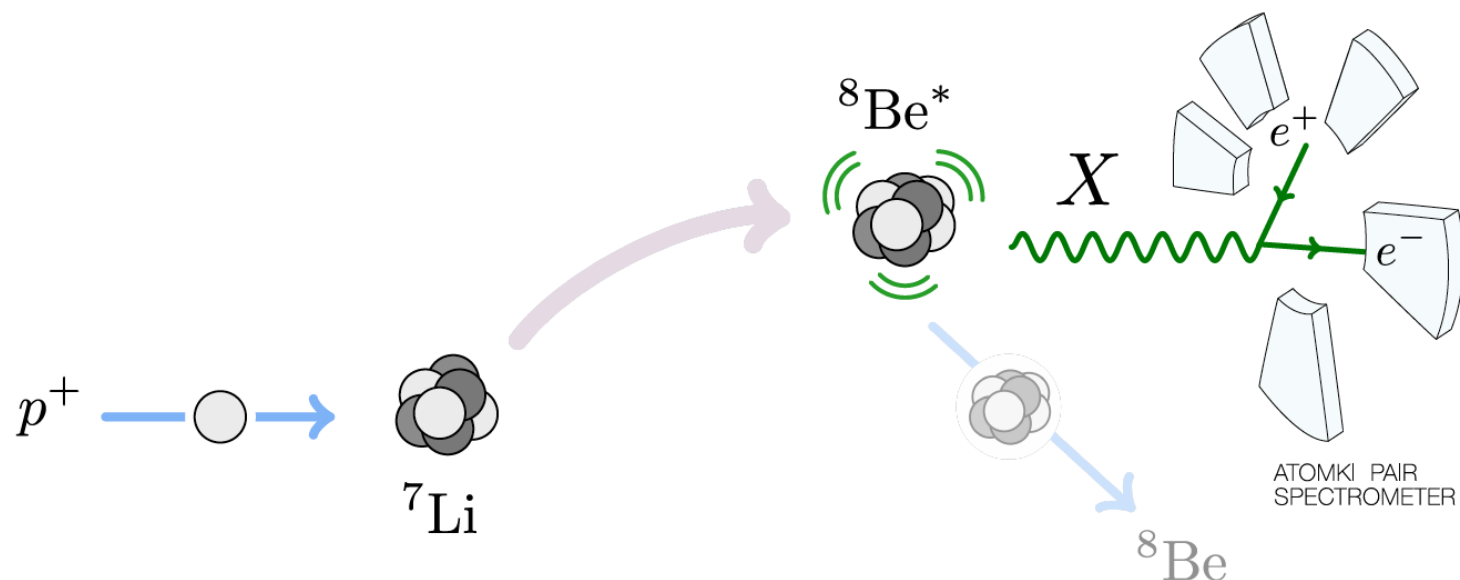
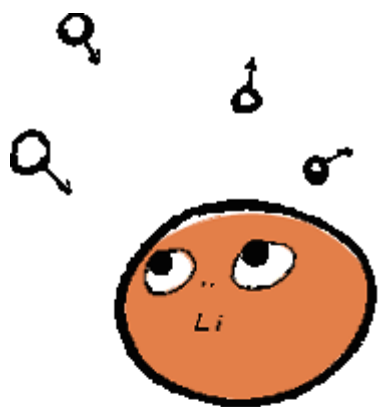
- Látható világunkban a fotonok, a fény kvantumai, közvetítik az elektromágneses kölcsönhatást. A sötét világban a fény megfelelője a sötét sugárzás, aminek kvantumjai a sötét fotonok (2008).
- Nagy kísérletek folynak a sötét foton kimutatására szerte a világon.
- A fenti elmélet értelmében lehetnének sötét atomok, és elkezdhetnénk gondolkodni a sötét kémiáról is. De van akik már sötét DNS-ről, stb. is beszélnek.
- A sötét foton jellemzői:
 - Jól meghatározott (rövid) élettartam
 - Elektron-pozitron párra történő bomlás

A sötét foton e^+e^- bomlásának keresése atommag átmenetekben

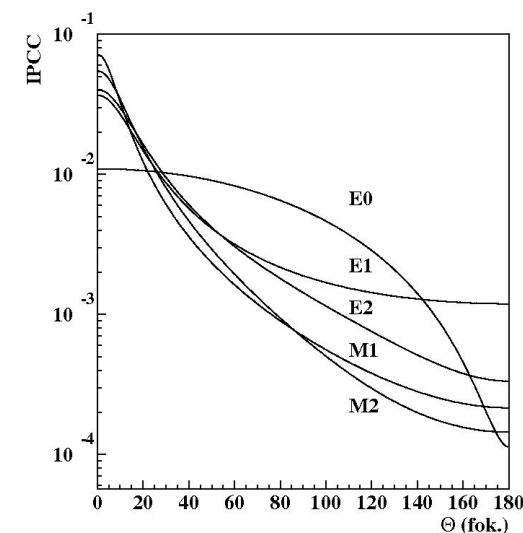


Tehát, ha a keletkezett e^- és e^+ egymáshoz képesti szögét mérjük egymás után nagyon sok eseményre, és felrajzoljuk a szögek gyakoriságát, az úgynevezett szöghorrelációt, akkor abban egy jellegzetes csúcsot várunk.

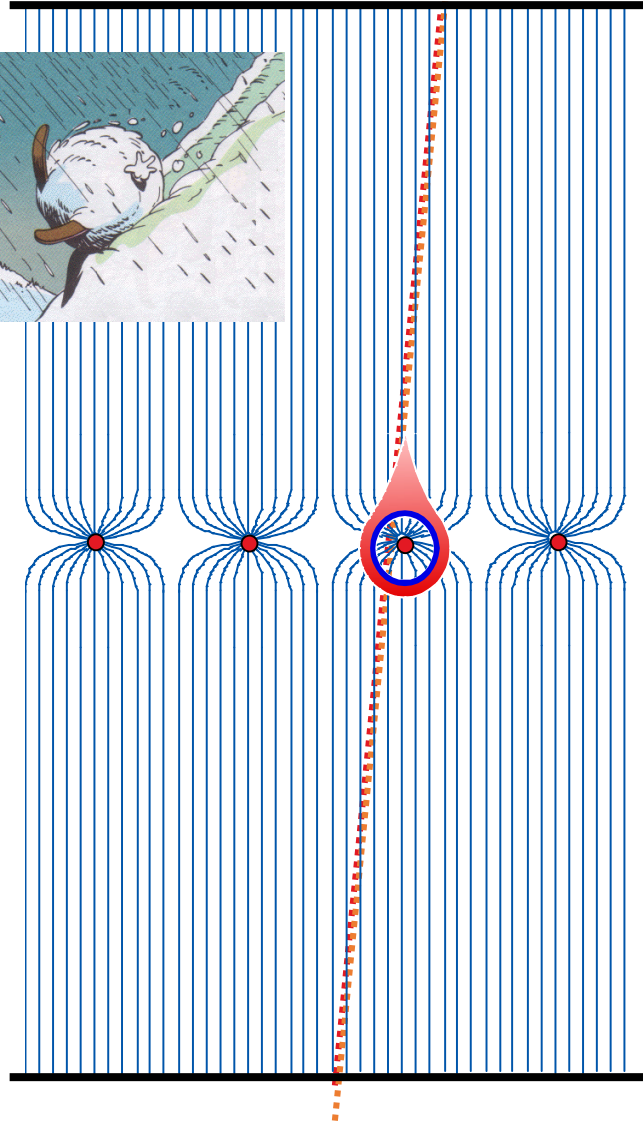
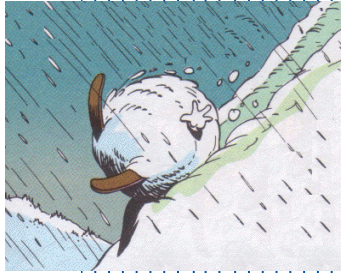
A $^8\text{Be}^*$ előállítása és bomlása



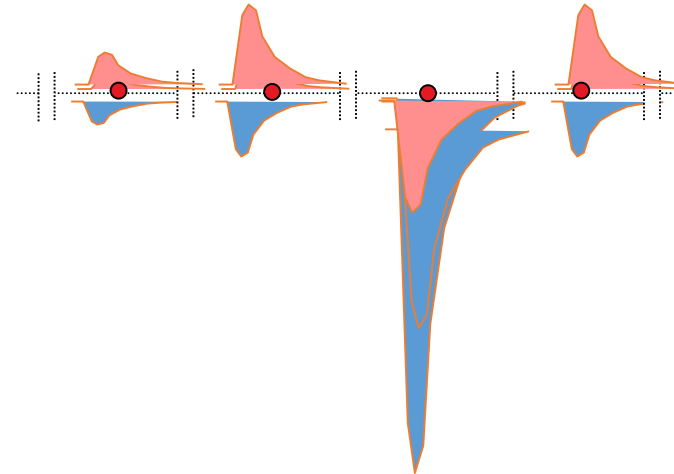
- A proton kilőkődésével: $B(p + ^7\text{Li}) \approx 100\%$
 - γ -sugárzás kibocsátásával: $B(^8\text{Be} + \gamma) \approx 1.5 \times 10^{-5}$
 - Belső párkeltésével: $B(^8\text{Be} + e^+ e^-) \approx 5.5 \times 10^{-8}$
- Sima, monoton csökkenő görbék
- Sötét foton keletkezésével: $B(^8\text{Be} + X) \approx 5.5 \times 10^{-10}$
- csúcs keresése a görbén



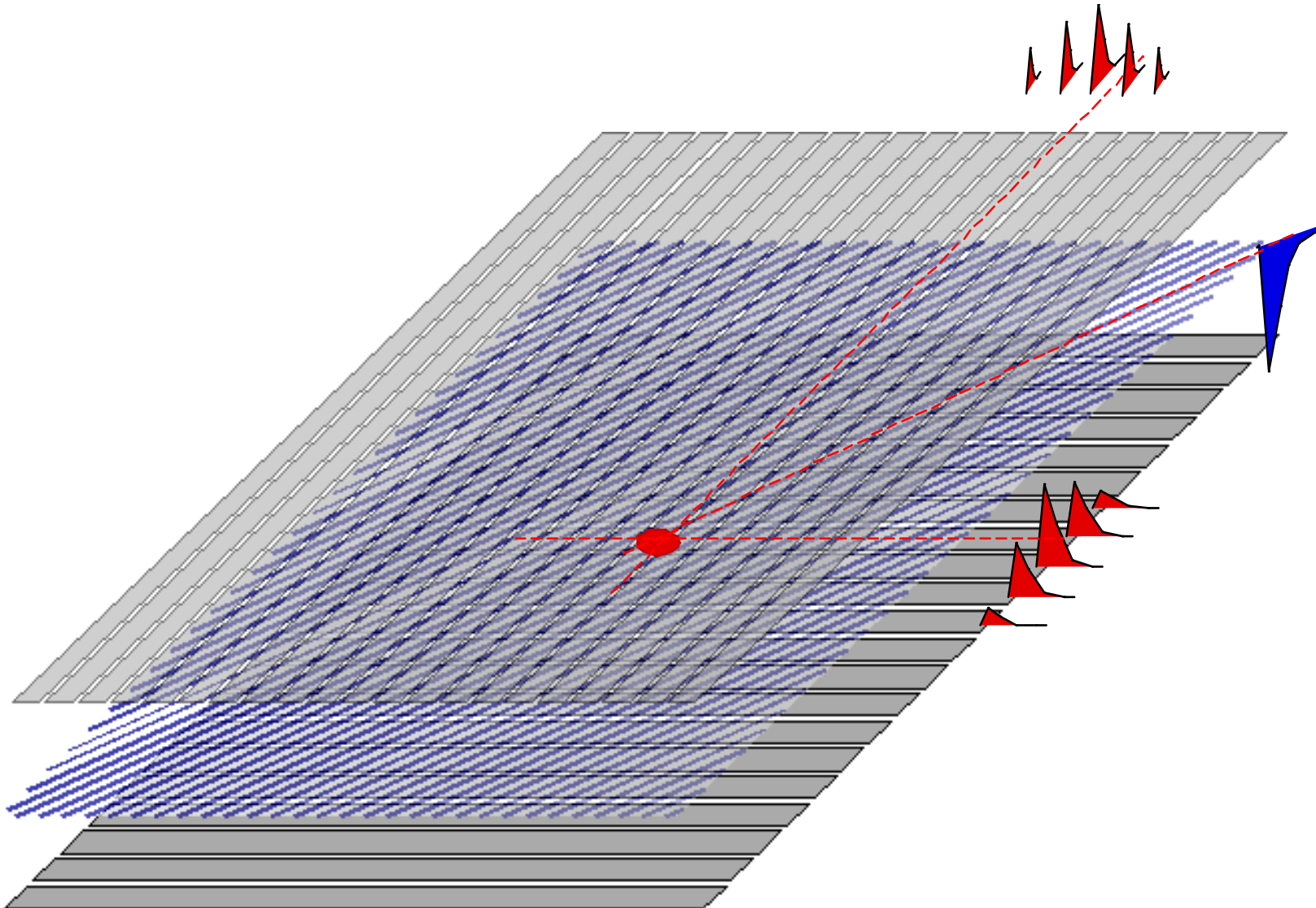
Meglátni a láthatatlant (detektorok)



SOKSZÁLAS PROPORCIONÁLIS KAMRA (MWPC):



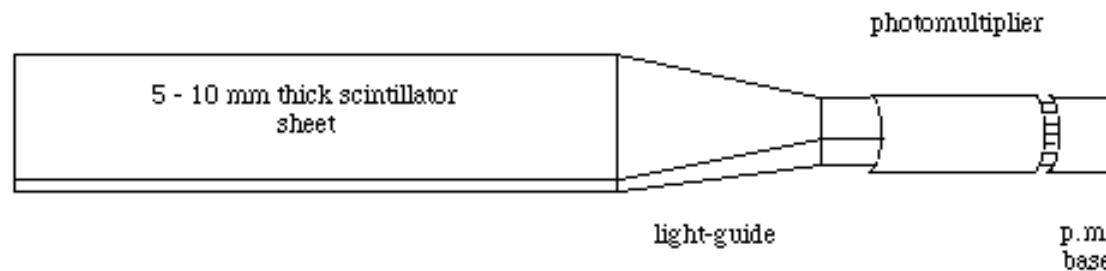
Meglátni a láthatatlant (detektorok)

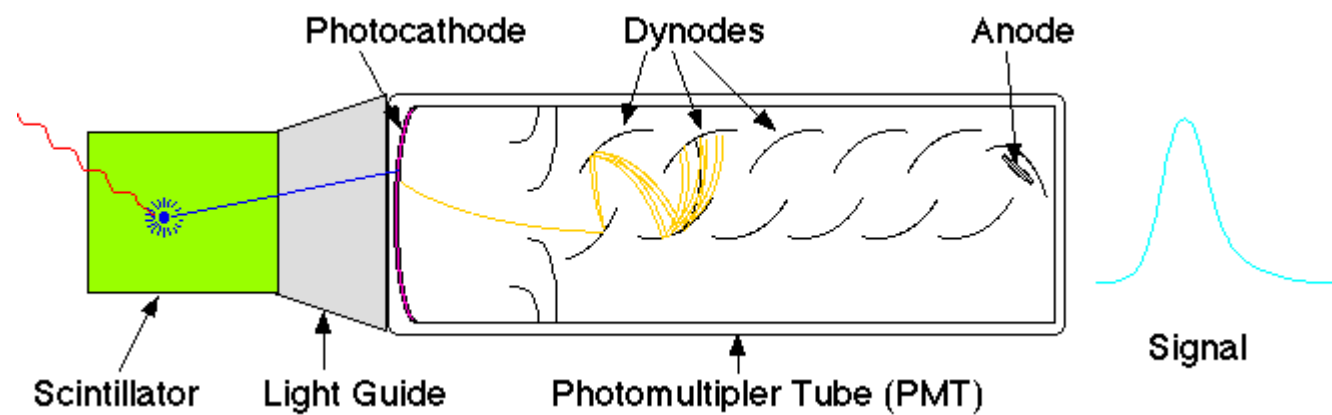


KÉTDIMENZIÓS
MWPC KIOLVASÁS A
KATÓDOKON
INDUKÁLT TÖLTÉS
SEGÍTSÉGÉVEL
Charpak és Sauli,
Nobel díj: 1973

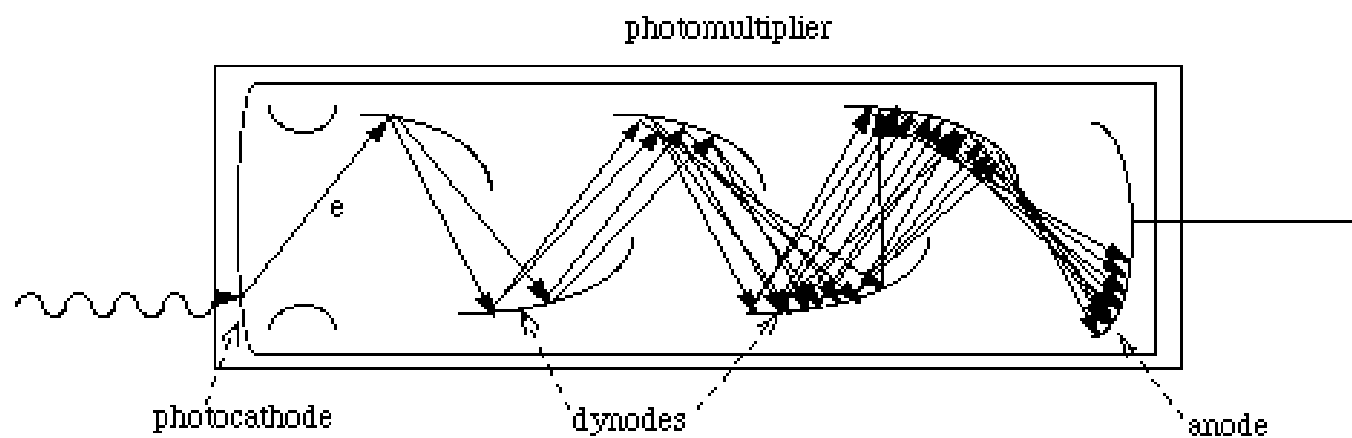
Szcintillációs detektorok

- Szcintilláló anyagok:
 - A gerjesztett atomok legerjesztődésekor illetve a szabaddá vált elektronok befogódásakor "szcintillációs fény" keletkezik.
 - szervetlen kristályok (ZnS(Ag), NaI(Tl), CsI(Tl)...)
 - Szerves anyagok (plasztikok, folyadékok...)
 - Gázok
- A keletkezett fényt fényvezetővel (plexi, fényvezető szál...) visszük a fotoelektron sokszorozóra.

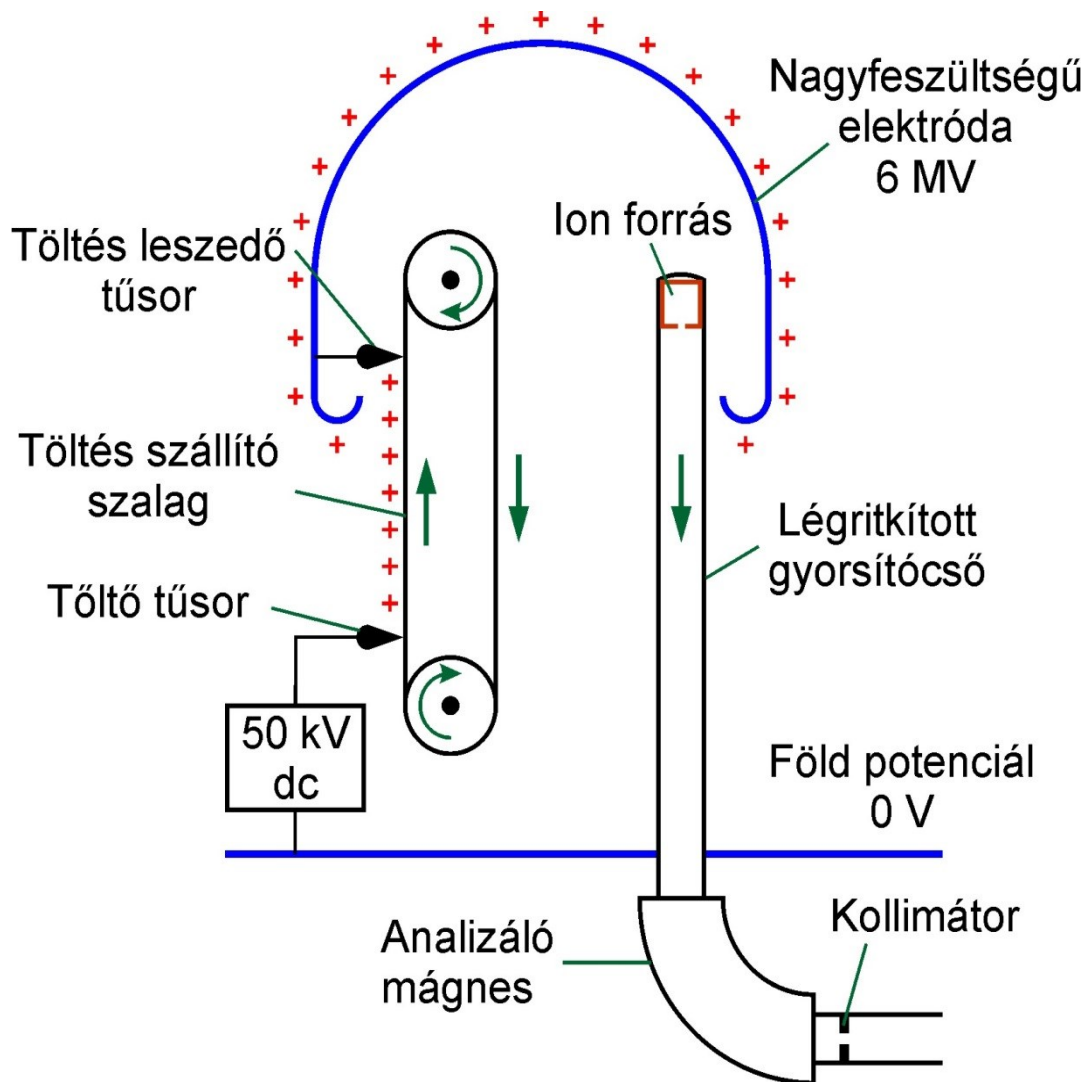




A fotoelektron sokszorozó



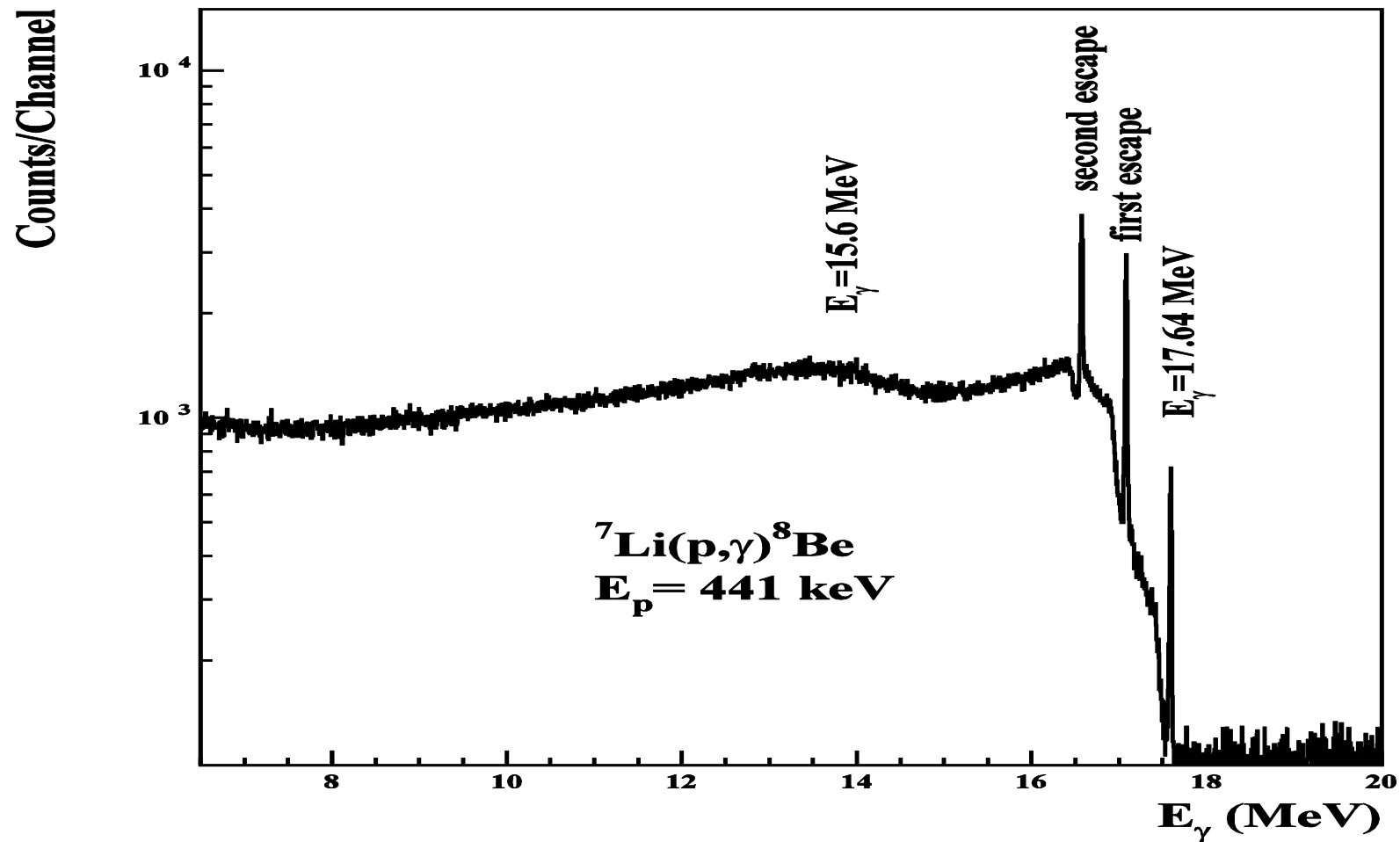
Elektrosztatikus Van de Graaff generátor



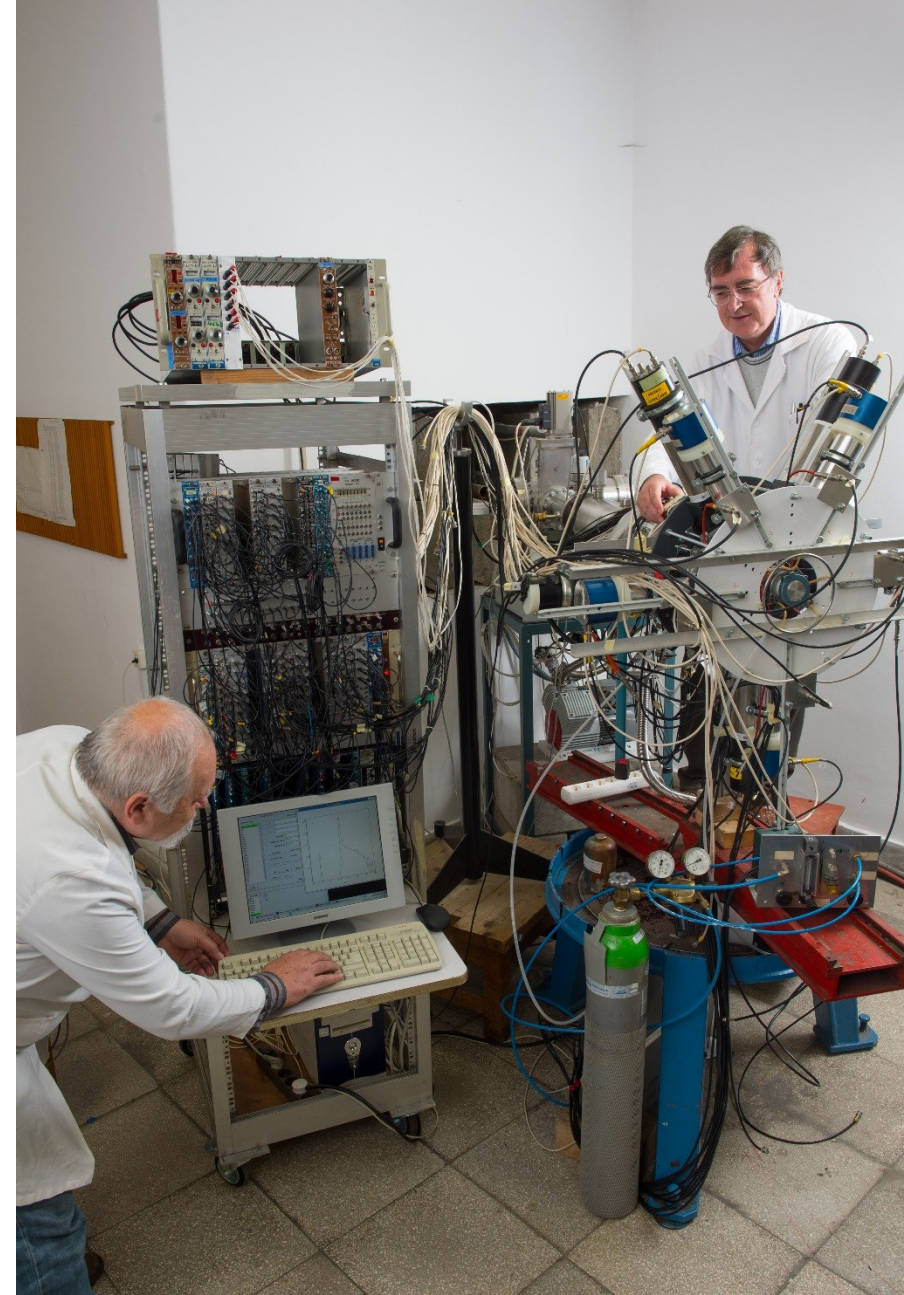
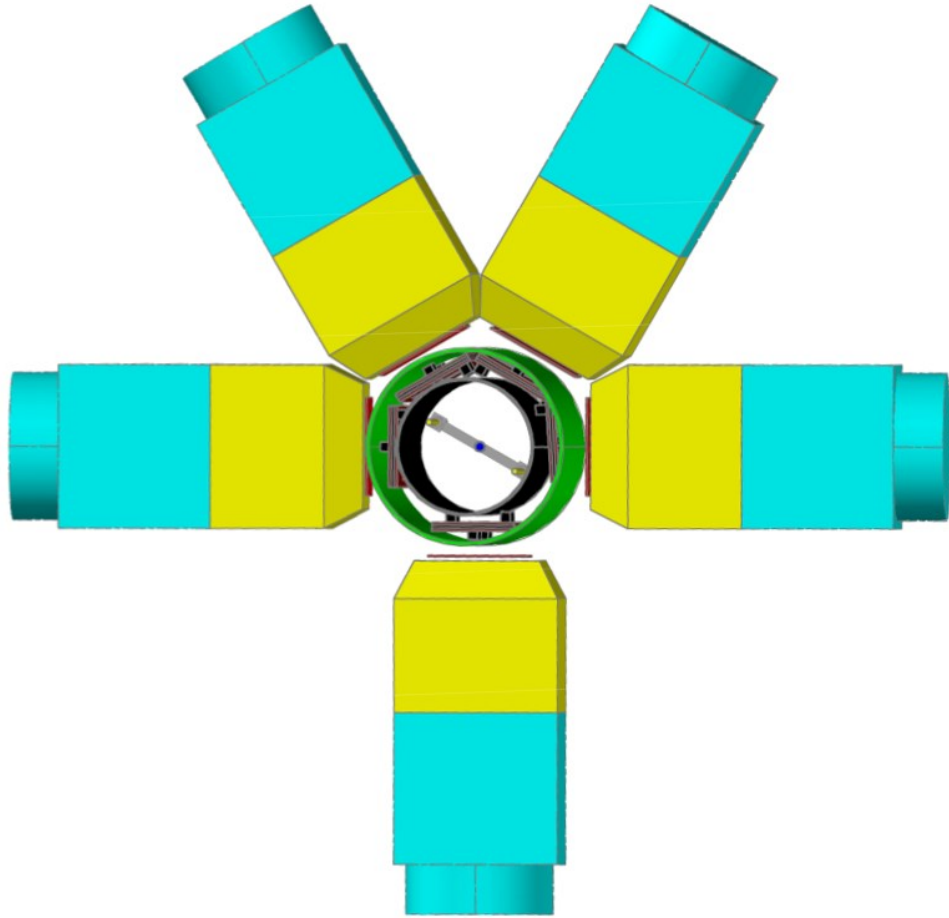
- Tűsorral feltöltött szalag viszi fel a töltéseket egy félgömbre, ami így nagyfeszültségre töltődik fel.
- A gyorsító tér előállítása sok, egyre nagyobb feszültségen lévő elektródával.
- Köztük ellenállás osztó.



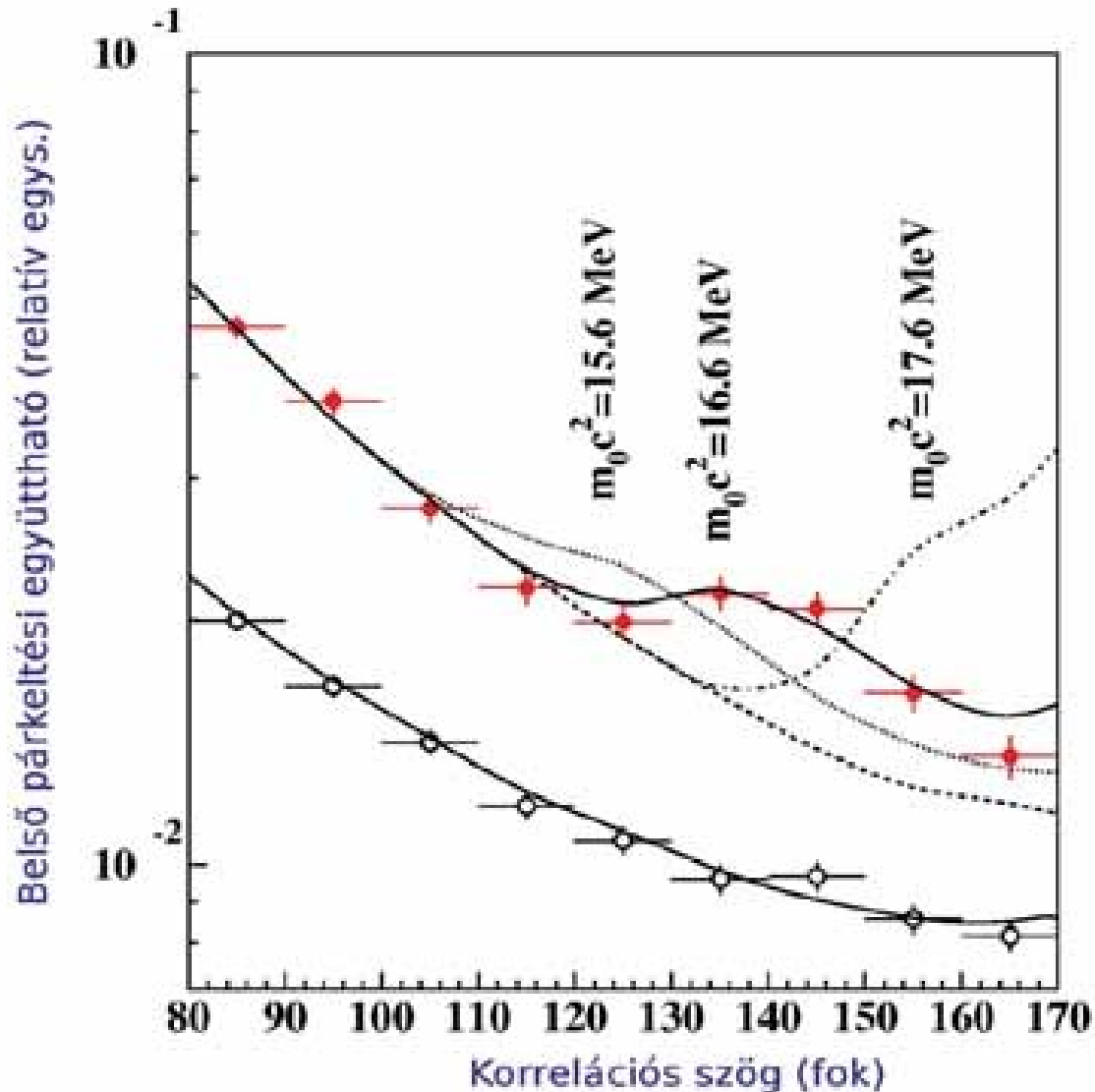
A 441 keV-es rezonancián mért γ -spektrum



Az elektron-pozitron spektrométer



Kísérleti eredményeink, és azok értelmezése



Az elektron-pozitron szöghorrelációra kapott eredményeink értelmezése egy új részecske keletkezésének és elbomlásának feltételezésével.

- Kísérlet pontok: **piros pontok hibákkal**
 - Elméleti görbe: szaggatott vonal
 - Spektrométer ellenőrzés: üres körök hibákkal
 - Új részecske feltételezésével számított görbék
- → **$m_0c^2 = 16.6 \text{ MeV}$, $X(16.6)$**

Observation of Anomalous Internal Pair Creation in ^8Be : A Possible Indication of a Light, Neutral Boson

A. J. Krasznahorkay,* M. Csatlós, L. Csige, Z. Gácsi, J. Gulyás, M. Hunyadi, I. Kuti, B. M. Nyakó, L. Stuhl, J. Timár, T. G. Tornyai, and Zs. Vajta

Institute for Nuclear Research, Hungarian Academy of Sciences (MTA Atomki), P.O. Box 51, H-4001 Debrecen, Hungary

T. J. Ketel

Nikhef National Institute for Subatomic Physics, Science Park 105, 1098 XG Amsterdam, Netherlands

A. Krasznahorkay

CERN, CH-1211 Geneva 23, Switzerland and Institute for Nuclear Research, Hungarian Academy of Sciences (MTA Atomki), P.O. Box 51, H-4001 Debrecen, Hungary

(Received 7 April 2015; published 26 January 2016)

Electron-positron angular correlations were measured for the isovector magnetic dipole 17.6 MeV ($J^\pi = 1^+, T = 1$) state $\rightarrow$ ground state ($J^\pi = 0^+, T = 0$) and the isoscalar magnetic dipole 18.15 MeV ($J^\pi = 1^+, T = 0$) state $\rightarrow$ ground state transitions in ^8Be . Significant enhancement relative to the internal pair creation was observed at large angles in the angular correlation for the isoscalar transition with a confidence level of $> 5\sigma$. This observation could possibly be due to nuclear reaction interference effects or might indicate that, in an intermediate step, a neutral isoscalar particle with a mass of $16.70 \pm 0.35(\text{stat}) \pm 0.5(\text{syst}) \text{ MeV}/c^2$ and $J^\pi = 1^+$ was created.

Evidence for a Protophobic Fifth Force from ^8Be Nuclear Transitions

Jonathan L. Feng,¹ Bartosz Fornal,¹ Iftah Galon,¹ Susan Gardner,^{1,2} Jordan Smolinsky,¹ Tim M. P. Tait,¹ and Philip Tanedo¹

¹*Department of Physics and Astronomy, University of California, Irvine, California 92697-4575 USA*

²*Department of Physics and Astronomy, University of Kentucky, Lexington, Kentucky 40506-0055 USA*

Phys. Rev. Lett. 117, 071803

Egy kis statisztika:

- Szinte minden ország újságai hírül adták
- Több mint 200 ezer letöltés a világhálóról
- 2016-ban 17 nemzetközi konferencia meghívást kaptam

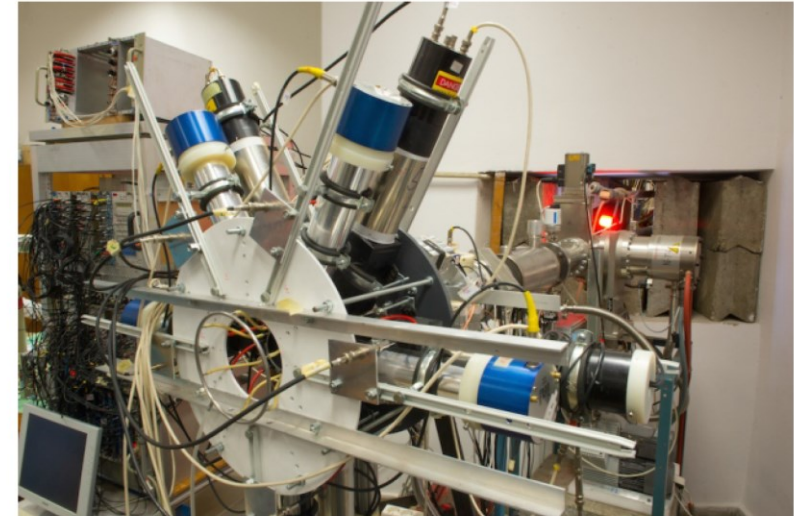
NATURE | NEWS

Has a Hungarian physics lab found a fifth force of nature?

Radioactive decay anomaly could imply a new fundamental force, theorists say.

Edwin Cartlidge

25 May 2016



MTA-Atomki

Physicists at the Institute for Nuclear Research in Debrecen, Hungary, say this apparatus — an electron-positron spectrometer — has found evidence for a new particle.

A laboratory experiment in Hungary has spotted an anomaly in radioactive decay that could be the signature of a previously unknown fifth fundamental force of nature, physicists say — if the finding holds up.

Attila Krasznahorkay at the Hungarian Academy of Sciences's Institute for Nuclear Research in Debrecen, Hungary, and his colleagues reported their surprising result in 2015 on the arXiv preprint server, and this January in the journal *Physical Review Letters*¹. But the report — which posited the existence of a new, light boson only 34 times heavier than the electron — was largely overlooked.

Then, on 25 April, a group of US theoretical physicists brought the finding to wider attention by publishing its own analysis of the result on arXiv². The theorists showed that the data didn't conflict with any previous experiments — and concluded that it could be evidence for a fifth fundamental force. "We brought it out from relative obscurity," says Jonathan Feng, at the University of California, Irvine, the lead author of the arXiv report.

Four days later, two of Feng's colleagues discussed the finding at a workshop at the SLAC National Accelerator Laboratory in Menlo Park, California. Researchers there were sceptical but excited about the idea, says Bogdan Wojtsekhowski, a physicist at the Thomas Jefferson National Accelerator Facility in Newport News, Virginia. "Many participants in the workshop are thinking about different ways to check it," he says. Groups in Europe and the United States say that they should be able to confirm or rebut the Hungarian experimental results within about a year.



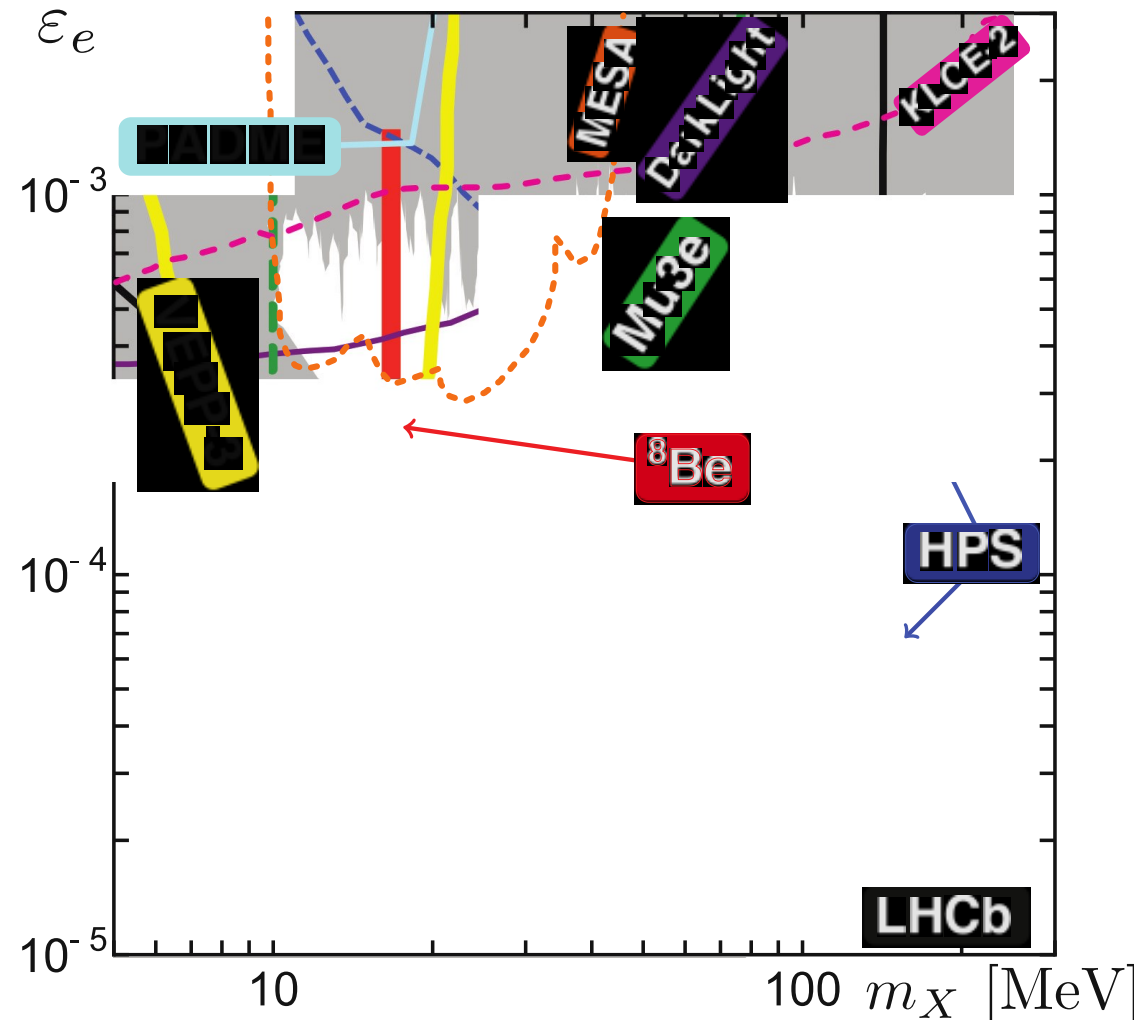
Dark matter may feel a "dark force" that the rest of the Universe does not

Eredményünk a nemzetközi listán

Eredményeinket ellenőrizni fogják a világ számos nagy laboratóriumában.

→ Eredmények néhány év múlva.

→ CERN-es kísérlet szeptemberben

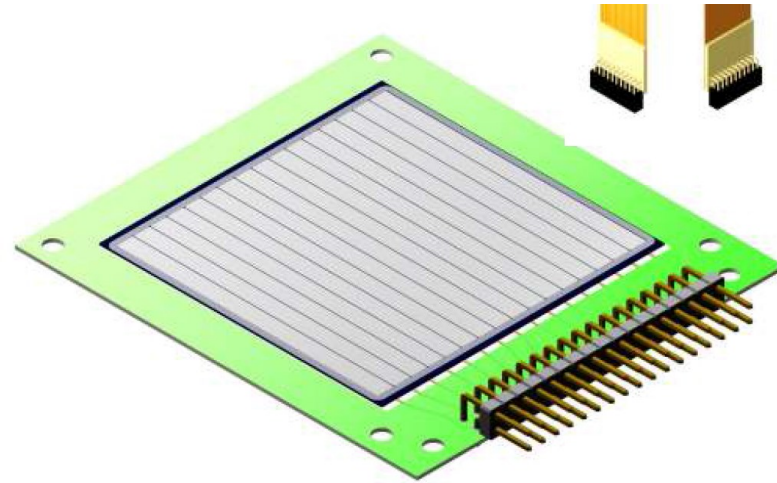


Folytatása következik...

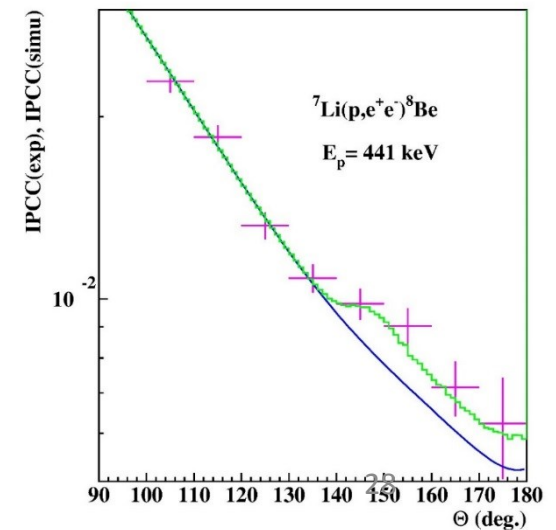
- Több teleszkóp, nagyobb határfok
- Helyzetérzékeny Si detektorok az elektronok és a pozitronok impulzus vektorainak meghatározására.
- Az invariáns tömeg pontos meghatározása.
- A 17.6 MeV-es átmenetben látunk-e valamit? (A proton fóbiás modell jóslatai)
- A részecske élettartamának meghatározása.
- E1 átmenetben ($^{11}\text{B}(p,\gamma)^{12}\text{C}$) látunk-e valamit? (megmarad-e a paritás a kölcsönhatásban?)
- A részecske két γ sugárzással történő bomlásának vizsgálata.

Az első eredmények az új Tandetronnál (2017. február)

1. Új gyorsító
2. Új detektorok
3. Új adatgyűjtő rendszer



**Az elméleti
előrejelzés teljesült!**



Fantasztikus korban élünk.

Fizikai képünk az elkövetkező években
valószínűleg alapvetően át fog alakulni.

Hegyenek részt maguk is ebben a
folyamatban!