

Antirészecskék

HuTP utótalálkozó, 2024. nov. 30.

Horváth Dezső

horvath.dezso@wigner.hun-ren.hu

Wigner Fizikai Kutatóközpont, Budapest
és Babeş-Bolyai Tudományegyetem, Kolozsvár



70 éves a CERN



Az antianyag születése

Paul Dirac, 1928:

Új egyenlet a hidrogénatom precíz matematikai leírására: **szépészet??**

Két megoldás elektronra ($x^2 = 4 \Rightarrow x = \pm 2$):

- Pozitív energiájú és negatív töltésű: e^-
- Negatív energiájú és pozitív töltésű: e^+

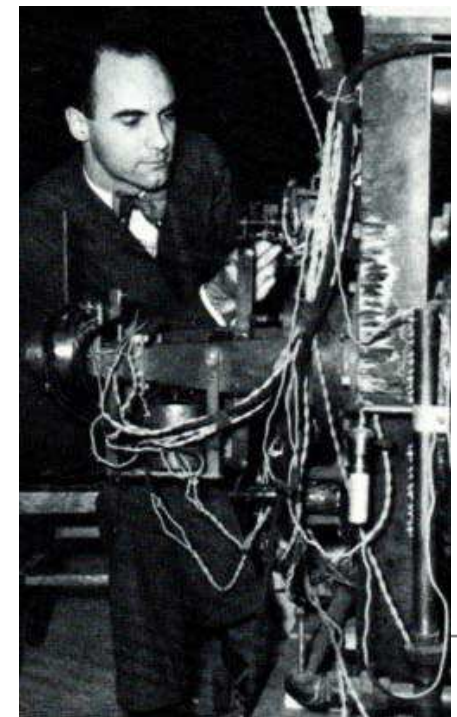
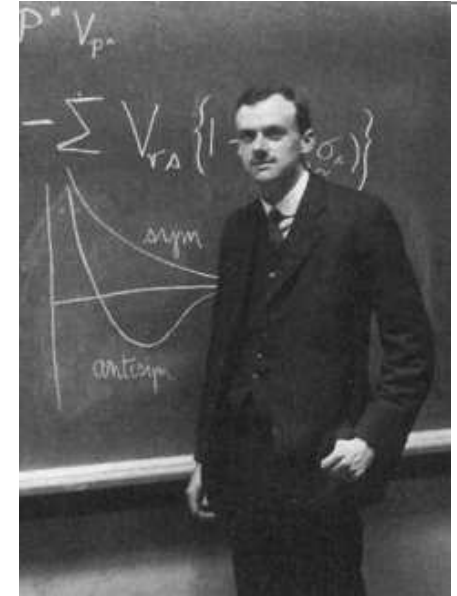
Negatív energia (tömeg!) nem fizikai, Dirac elektron-hiánynak értelmezte.

Carl Anderson, 1932:

e^+ kozmikus sugarakban
 \Rightarrow valódi részecske, pozitron

Nobel-díjak:

Dirac: 1933; Anderson: 1936



Antirészecskék

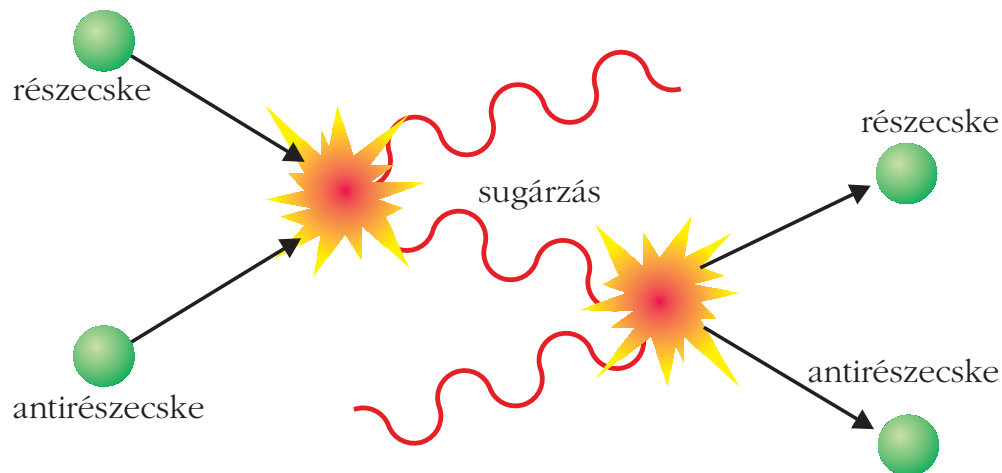
Minden anyagi részecskének van antirészecskéje.
Tulajdonságaik (a töltés előjelén kívül) egyeznek.

Pl. proton (a hidrogénatom magja) \Leftrightarrow antiproton.

Ha részecske antirészecskéjével ütközik, megsemmisülnek, energiájuk
szétsugároz.

Sugárzás atommag terében részecske + antirészecske párokat tud kelteni.

Kisebb energián elektron–pozitron párt,
nagy energián, pl. $E > 2M_{\text{proton}}c^2$ proton+antiproton párt.



Csillagászat (űrteleszkópok!)

- A galaxisok kialakulása már az Ősrobbanás után 500-800 millió évvel megkezdődött
- Korai galaxisok kisebbek és kevésbé szimmetrikusak \Rightarrow gyorsabb formálódás
- A legtávolabbi felvételeken nyomon követhető csillagok képződése



Fiatal galaxisok

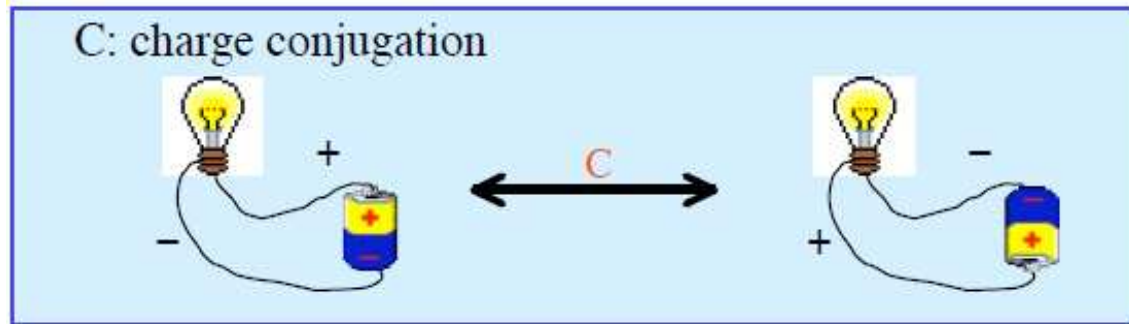
Nem látunk antianyag-galaxisokat:
sugárzási övezet lenne körülöttük

Billiomod résszel több részecske keletkezett, mint
antirészecske

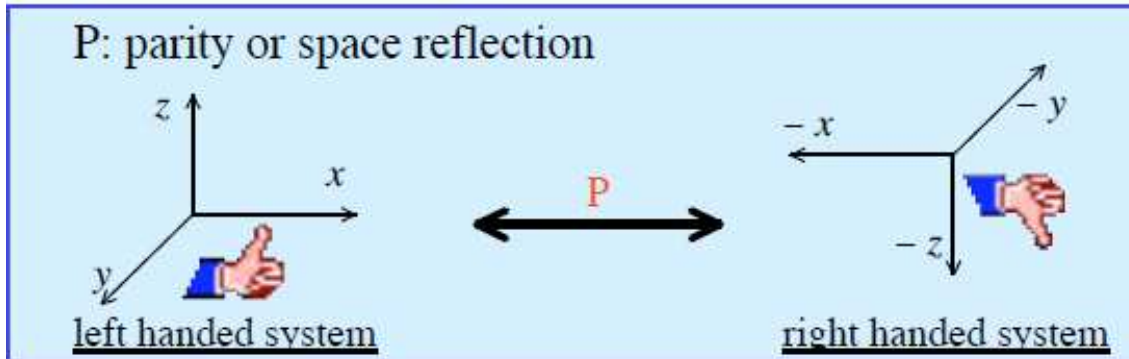
Különbség anyag és antianyag között?

Tükrözési szimmetriák

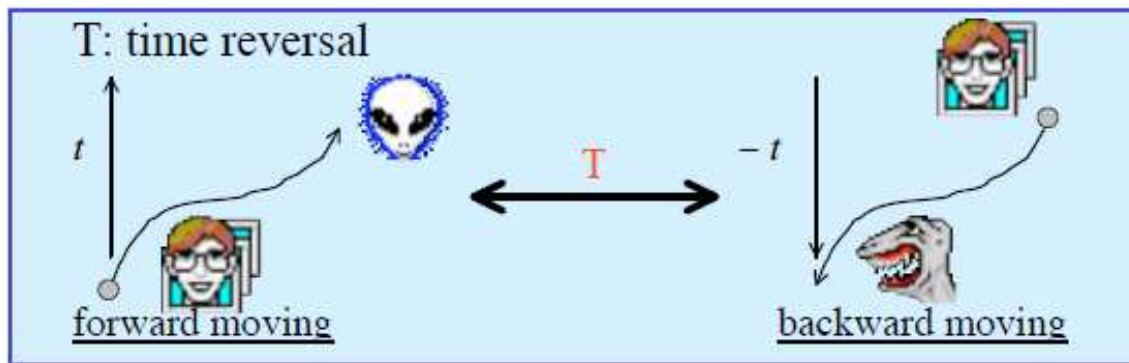
Töltéstükrözés: C
részecske
⇓
antirészecske



Tértükrözés: P
Jobbkéz \Rightarrow balkéz



Időtükrözés: T
Idő visszafelé



CPT-szimmetria:
elektromágnesség,
mikrovilág

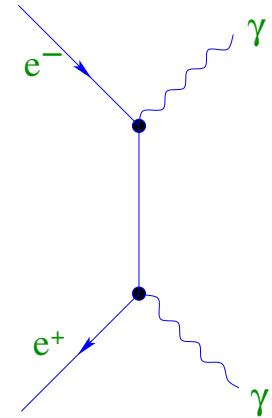
T. Nakada, CERN

CPT-invariancia

Elméleti alaptétel (R. Feynman):

$$CPT|p(r, t)\rangle = |\bar{p}(-r, -t)\rangle \sim |p(r, t)\rangle$$

azaz szabad **antirészecske** \sim **részecske**,
amely téridőben visszafelé mozog.



CPT sérülése sértené:

- a kölcsönhatások **lokáltságát** azaz a **kauzalitást**, vagy
- **unitaritást**, az **anyag, információ, ...** megmaradását,
- vagy a Lorentz-invarianciát.

Elmélet általában: *CPT* nem sérül

De miért nincsenek antianyag-galaxisok? Az
Ősrobbanáskor egyformán kellett keletkezniük

Vannak *CPT*-sértő modellek \Rightarrow ellenőrizni

Részecske = – antirészecske ?

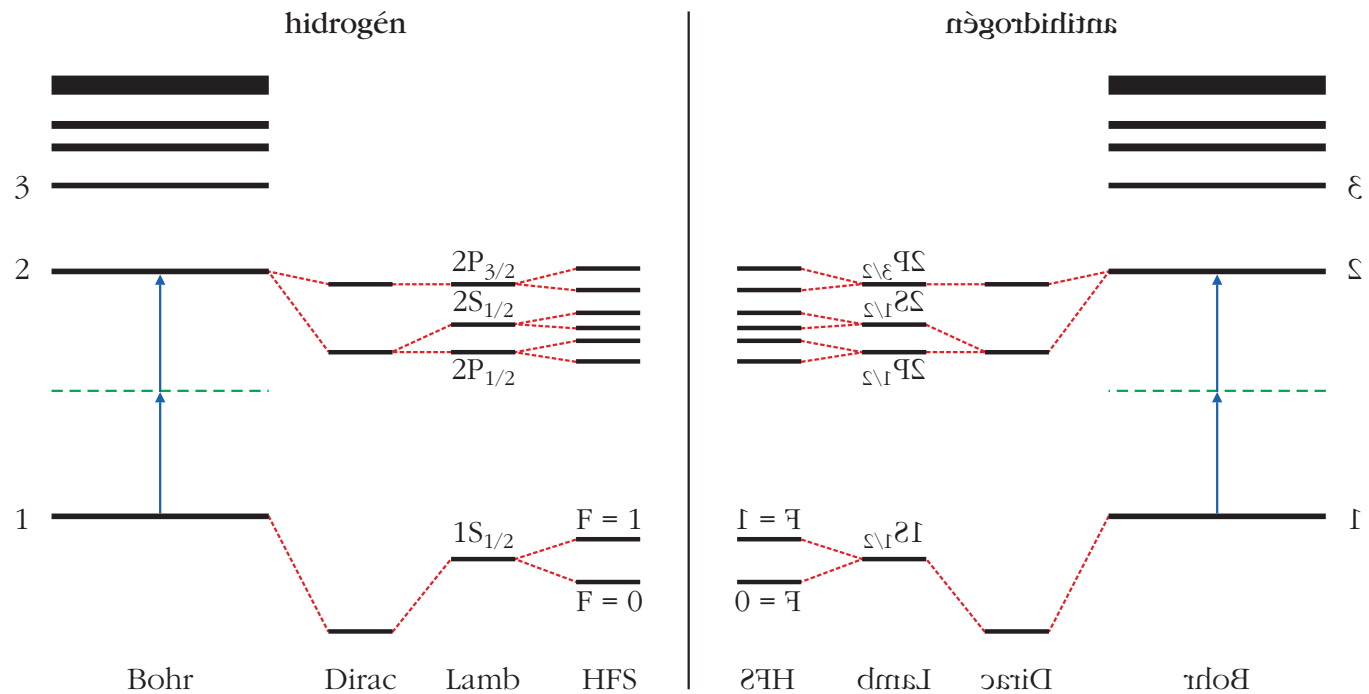
$$[m(K^0) - m(\bar{K}^0)]/m(\text{átlag}) < 10^{-18}$$

proton ~ antiproton? (m, q, μ összehasonlítása)

$\bar{H} \sim H$? ($2S - 1S$) átmenet, megfigyelve: ALPHA, 2016-17.

Kétfotonos bomlás \Rightarrow hosszú élettartam \Rightarrow keskeny vonal

Kétfotonos
spektroszkópia
hideg atomon
 \Downarrow
ellentétes
irányú lézerek
 \Downarrow
hőmozgási
hatás
kiküszöbölve



M. Charlton, J. Eades, D. Horváth, R. J. Hughes, C. Zimmermann:

Antihydrogen physics, *Physics Reports* 241 (1994) 65–117.

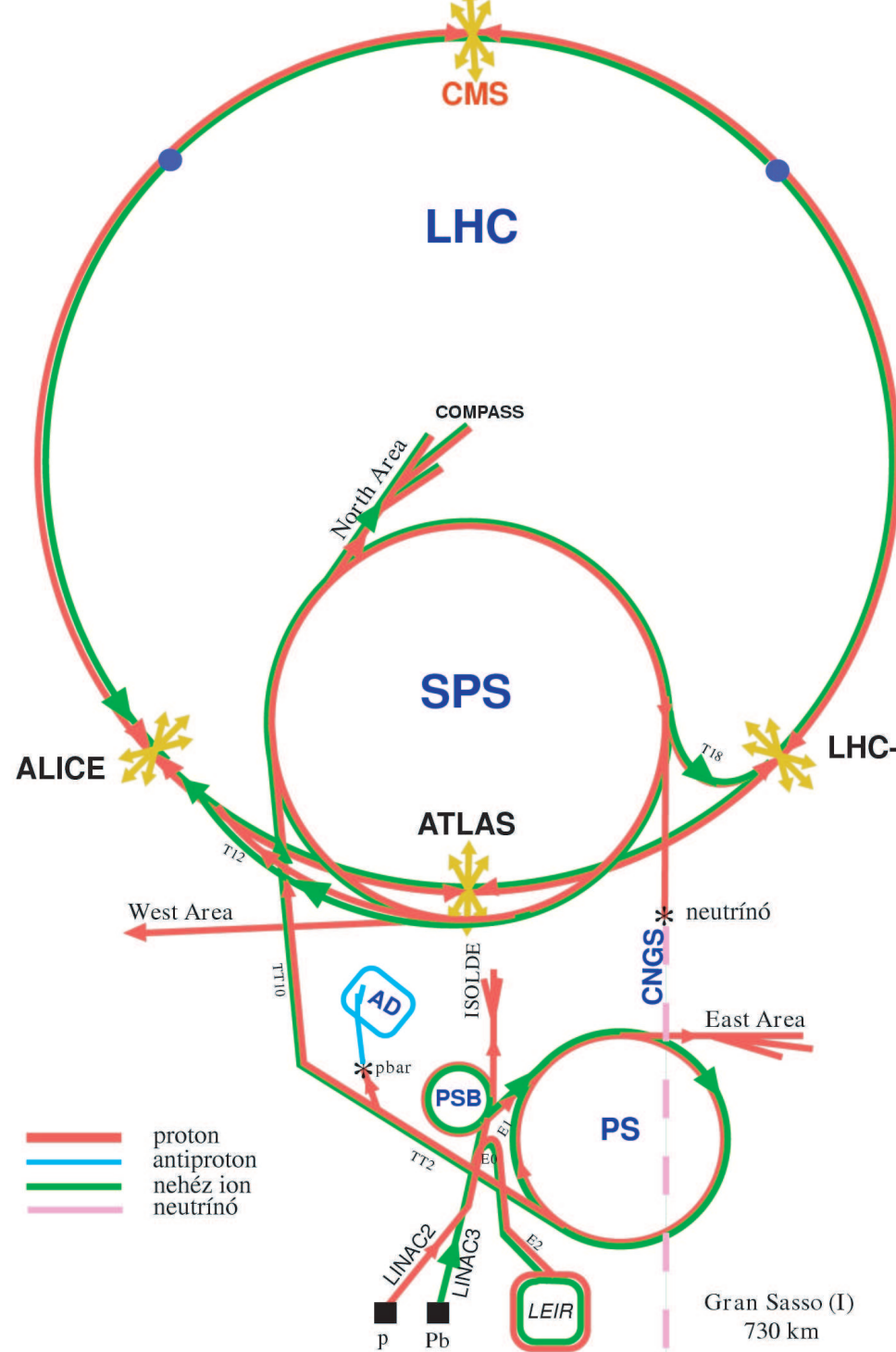
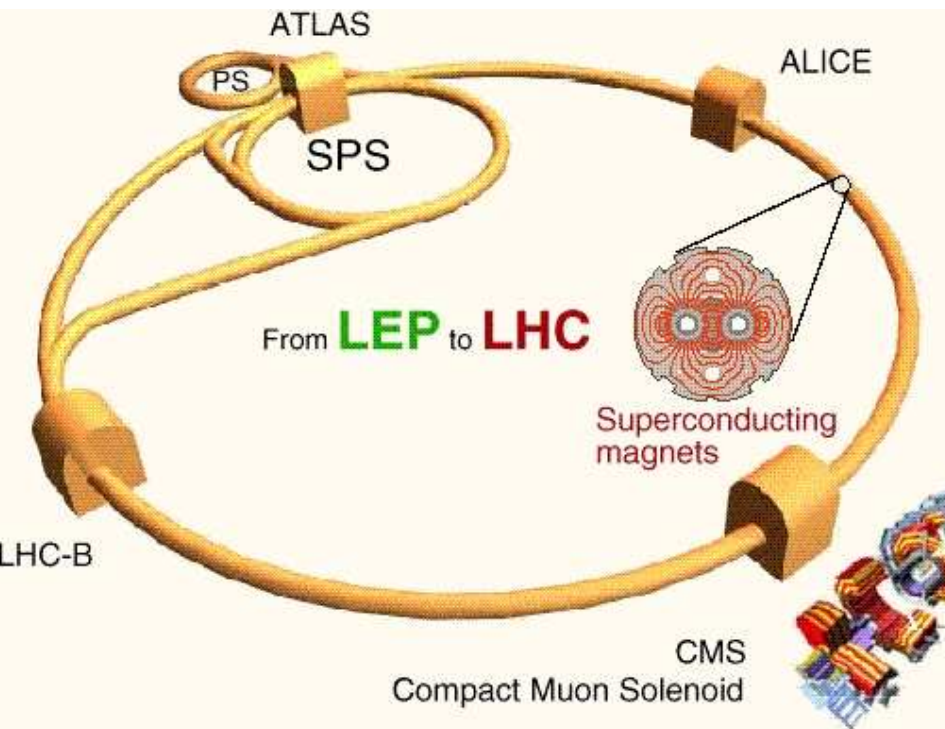
A CERN antianyaggyára



Épült 1997-99-ben, a CERN döntéséhez a megvalósíthatósági tanulmányunk is hozzájárult

A CERN gyorsítói

LHC: Large Hadron Collider



A CERN antiproton–lassítója (AD)



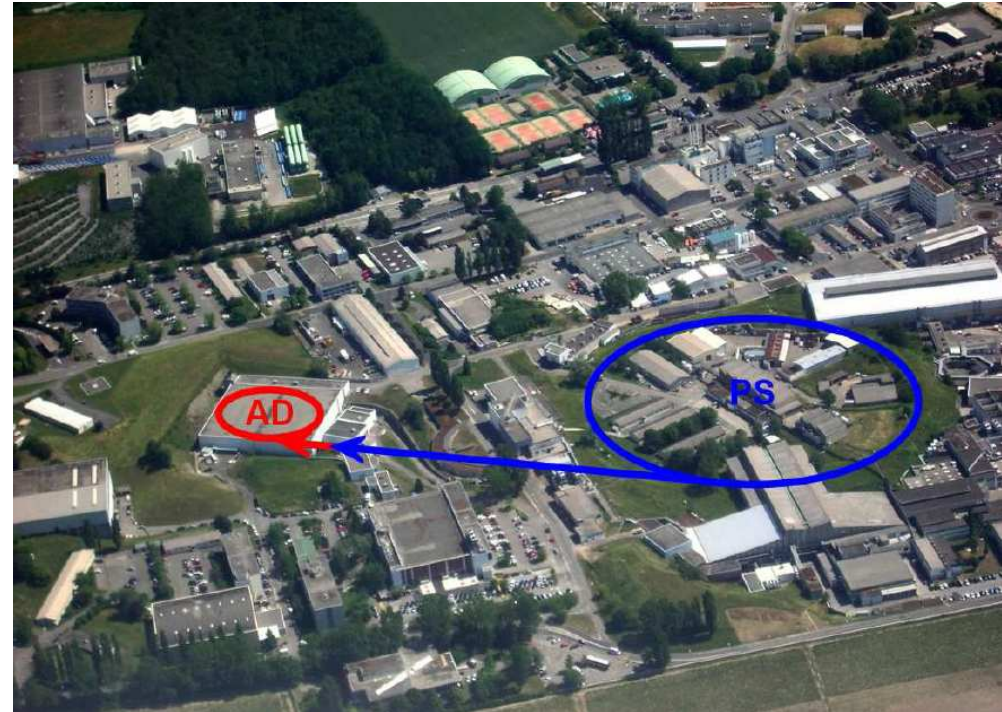
a *CPT*-invariancia ellenőrzésére épült



Hat alapvető kísérlet az AD-nál:
Antihidrogén-spektroszkópia
és antigravitáció

ASACUSA:

Antiproton tömege és töltése
Antiproton mágneses momentuma
Antihidrogén finomszerkezete

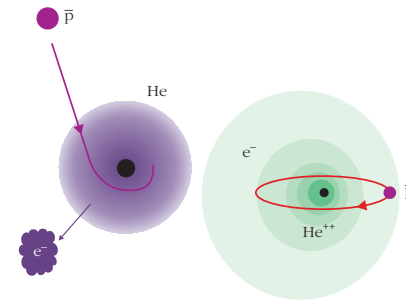


ASACUSA: Atomic Spectroscopy And Collisions Using Slow Antiprotons
Tokió, Aarhus, Bécs, Brescia, Budapest, Debrecen, München

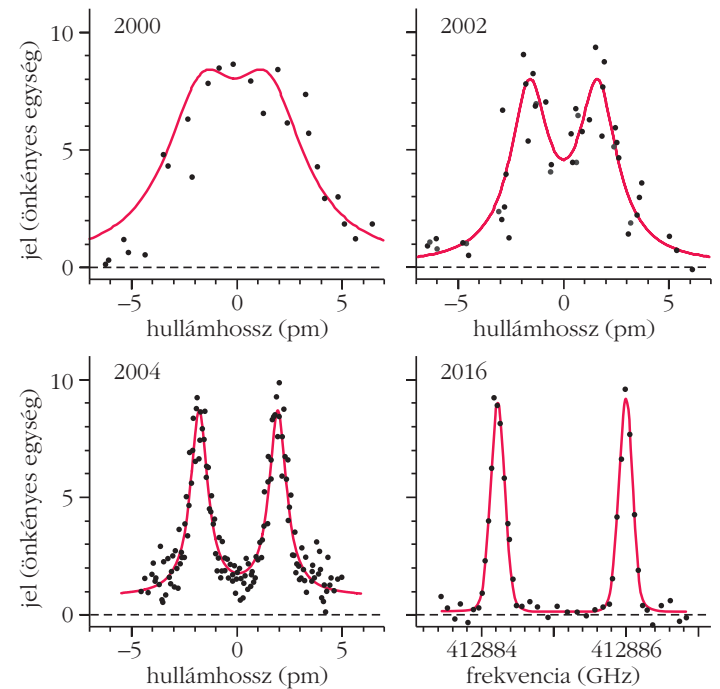
Barna Dániel, Radics Bálint, Juhász Bertalan, Sótér Anna, Horváth Dezső



ASACUSA: lézerspektroszkópia



Antiprotonos héliumatom



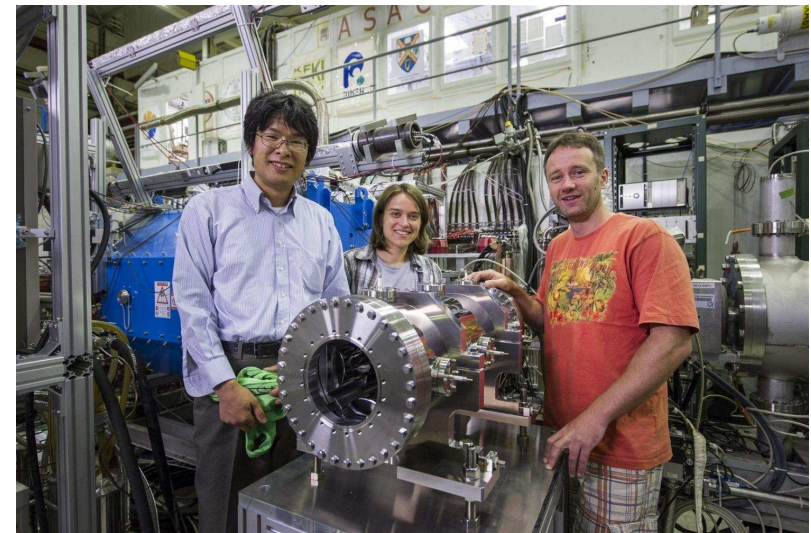
A lézerspektroszkópia fejlődése



Aszakusza: Tokió templomi negyede



ASACUSA: a mérőberendezés



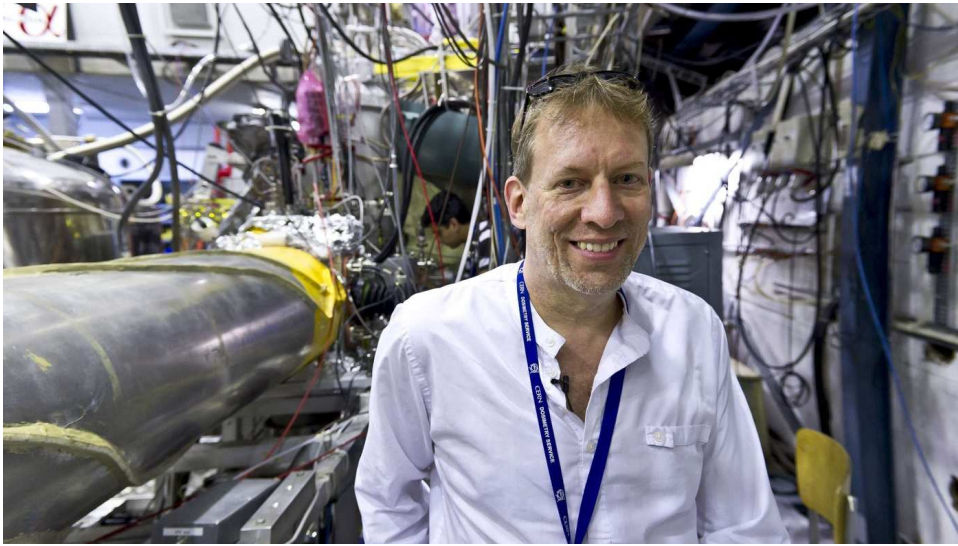
Hori Maszaki, Sótér Anna és
Barna Dániel
a berendezés építői

A hűtőrendszer és a lézerek a fal mögött



ALPHA: antihidrogén vizsgálata

ALPHA: Antimatter Laser PHysics Apparatus (9 ország 19 intézete)



Jeffrey Hangst és az ALPHA kísérlet

- Csapdázz 90,000 antiprotont.
- Keverj hozzá 3 millió pozitront.
- Kelts 50,000 $\bar{\text{H}}$ atomot.
- Zavard el a töltött részecskéket.
- Csapdázz 20 $\bar{\text{H}}$ atomot $T = 0.54 \text{ K}$ -nél.

A $\bar{\text{H}}$ -t csapdában tartják 10 s-ig \Rightarrow magától $1S$ alapállapotba kerül.
Észlelés mágnes tér ($B = 1 \text{ T}$) lekapcsolásával \Rightarrow annihiláció.

Mérések: $\bar{\text{H}}$ mágneses momentuma, töltése (0!), $2S - 1S$ átmeneti energia, és a gravitációs gyorsulása (összehasonlítva H-atommal)

Leelőzve: ATRAP (USA, Kanada, DKorea) kísérlet



Antihidrogén-nyaláb

ASACUSA: MUSASHI



Monoenergetic
Ultra
Slow
Antiproton
Source for
High-precision
Investigations

Mijamoto Muszasi ~ 1640

5.8 MeV \bar{p} AD \Rightarrow RFQ

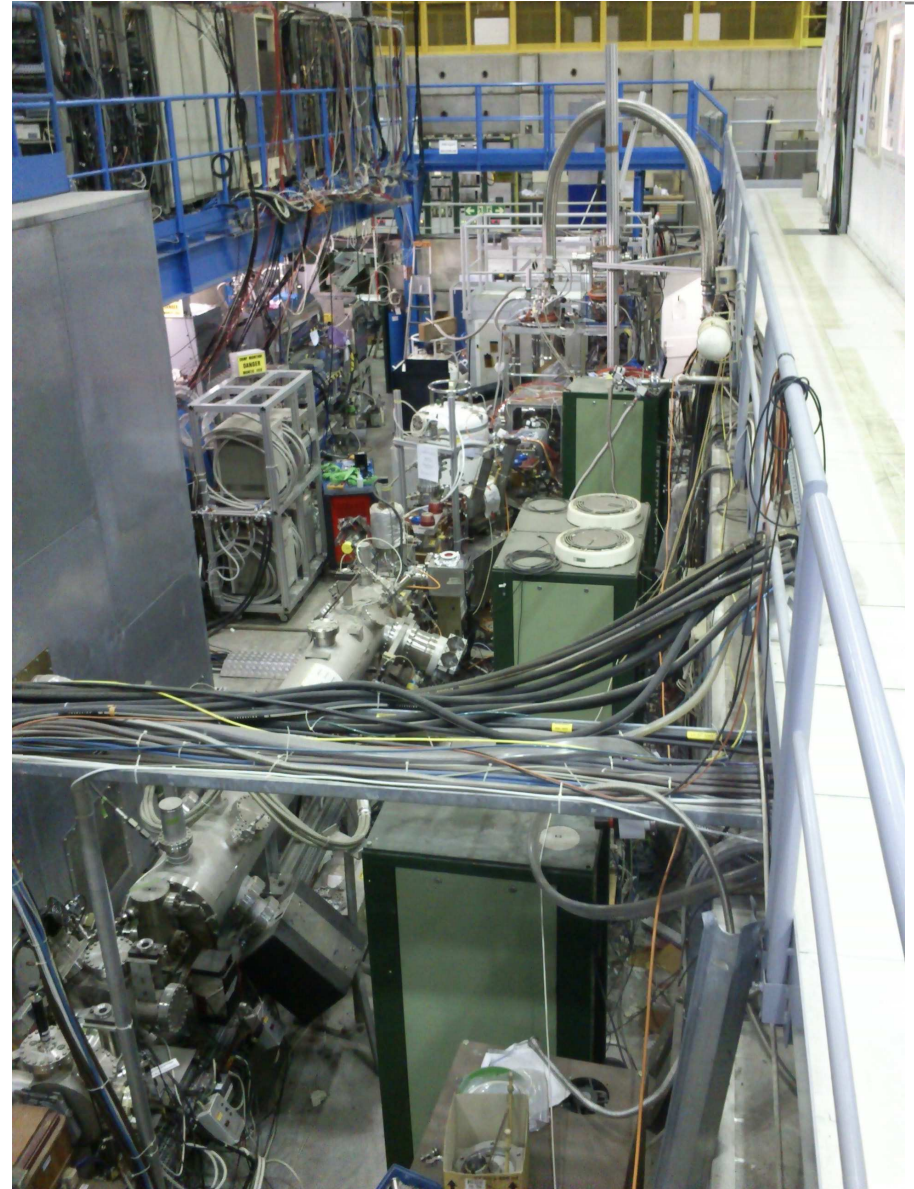
100 keV \bar{p} RFQ \Rightarrow csapda (2001)

$> 10^6$ \bar{p} csapdában hűtve (2002)

~ 350000 lassú \bar{p} kivezetve (2004)

Csapdázott \bar{p} összenyomva (2008)

$(5 \times 10^5 \bar{p}, E = 0.3 \text{ eV}, R = 0.25 \text{ mm})$



Antihidrogén atomnyaláb: ASACUSA, 2010–2017



Antigravitáció??

Antirészecske Dirac-egyenletben: negatív tömeg!
Taszító gravitáció? Nem, mert az energia gravitál!
USA, Nemzeti UFO-figyelő központ:
1974 óta 90000 jelentés megfigyelésről
(mind hamisnak bizonyult).

Repülő csészealjok!!

I read a book on anti-gravity



I couldn't put it down!

iUFO



iUFO

UFO Sightings



UFO tehenet lop

UFO-fénykép



ALPHA-g kísérlet: CERN, 2023



Az antihidrogén is lefelé esik!
Leelőzve: AEGIS és GBAR kísérletek



Mennyi az antianyag a világűrben?

AMS-2: Alpha Magnetic Spectrometer
antianyag (anti-hélium!) és sötét anyag
felfedezésére

Nagyon kevés nehéz antirészecskét lát,
inkább csak pozitronokat

Össztömeg: 8500 kg,
1200 kg állandó mágnes

Vezetője: S. Ting (Nobel-díj, 1976),
költsége: 2 G\$

Építés: CERN, 1998-2010

Fellőve: 2011 május, USA

Vezérlés: CERN



AMS-2: Alpha Magnetic Spectrometer



Eddigi eredmények:

Antihéliumot nemigen látni.

Nagyenergiás pozitronok mindenhol.

Jöhetnek a sötét anyag szétsugárzásából vagy pulzárokból.

Még 10-15 évig gyűjt adatot.



Eddig tartott a fizika

Szép a tudomány, de lehet mindezt valamire használni?

Az antianyag alkalmazásai?

- Pozitron-emissziós tomográfia (PET): igen!
- AD: Antiproton Cell Experiment (ACE):
rákterápia antiprotonokkal?
- Rakéta-hajtóanyag???
- Antianyag-bomba ...

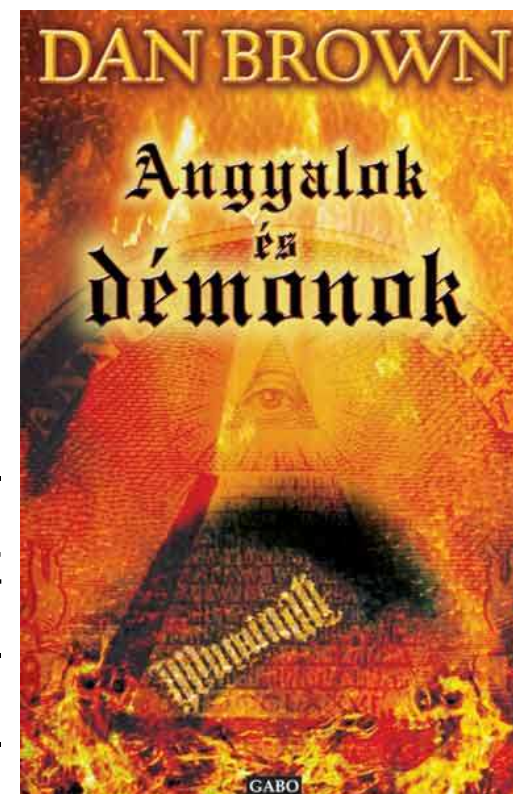
Valóság — álom — fantazmagória — marhaság

Dan Brown: *Angyalok és démonok* (2000)

Cselekmény: A CERN titkos, föld alatti laboratóriumából ellopnak egy termosznai antianyagot és fel akarják robbantani vele a Vatikánt, de a főhős, szerencsére, megakadályozza.

A CERN a könyvnek honlapot nyitott, amely közölte:

- A CERN valóban létezik, megépítette a világ legnagyobb részecskegyorsítóját (LHC, 27 km-es gyűrű, 100 m-rel föld alatt).
- Teljesen nyitott intézmény, nincsenek titkos laboratóriumai és semmi baja a Vatikánnal.
- Előállít antihidrogén-atomokat (nehezebb atomokat nem tud) az Antiproton-lassítónál (és nem az LHC-ban), tisztán tudományos célra, mikroszkópikus mennyiségben: nem alkalmas bombakészítésre.



Angyalok és démonok: a film, 2009

A CERN vezetői meghívták a film készítőit és felajánlották a CERN-t helyszínnek a film elejére. Azok mindent lefényképeztek, azután felépítették az LHC (számítógép-generált) hasonmását, és ott forgattak.



Tom Hanks az LHC ATLAS kísérleténél

Angyalok és démonok: a kiállítás



A CERN kiállítása a Globe-ban

A CERN kiállítása: antianyag-tároló



A film antianyag-csapdája
a kiállításon



Az ASACUSA-kísérlet
3-tonnás
antiproton-csapdája a
CERN-ben



Köszönöm a figyelmet!

Az Angyalok & Démonok 4-perces filmrészlete az LHC-ről

