

Anyag antianyag

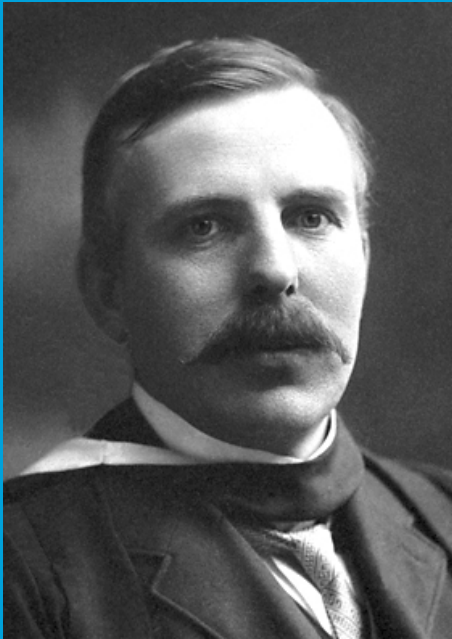
Kiss Miklós PhD
Gyöngyösi Berze Nagy János Gimnázium

Berze Természettudományos Önképzőkör 9. viszneki tábora
2016. július 4.

Néhány évszám

Proton	1815 W. Prout (Prout hipotézis: protyle ma proton)
Elektron:	1897 J. J. Thomson
Atommag:	1909 E. Rutherford (1908 Nobel-díj a radioaktivitásért)
Proton	1917-19 W. Rutherford (Pro(u)t-on név 1920)
Kozmikus sugárzás:	1912 W. Hess (1936 Nobel-díj)
Pozitron	1930 P. Dirac PhD dolgozat (1933 Nobel-díj)
Pozitron	1932 C. D. Anderson (1936 Nobel-díj)
Neutron	1933 J. Chadwick
Antiproton	1955 E. G. Segrè, O. Chamberlain (1959 Nobel-díj)
p – n atommag	1933 W. Heisenberg
Antihidrogén	1995 PS210 experiment CERN Walter Oelert and Mario Macri
Antihélium	2011 STAR RHIC

Ernest Rutherford of Nelson



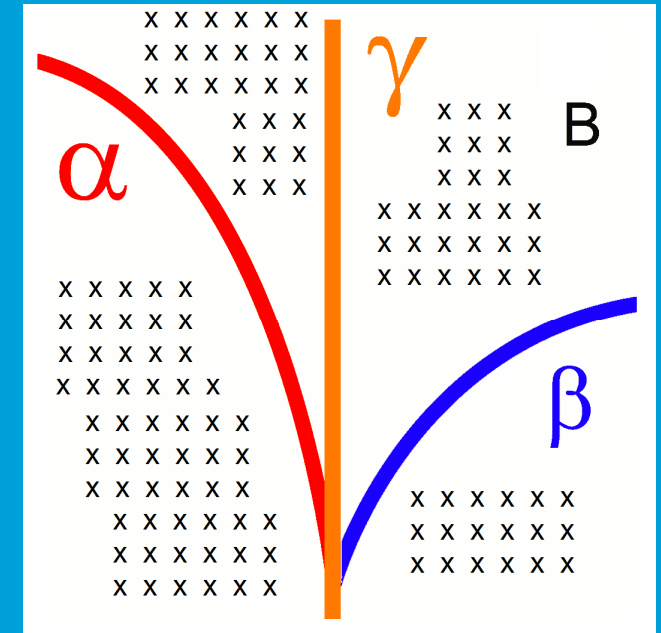
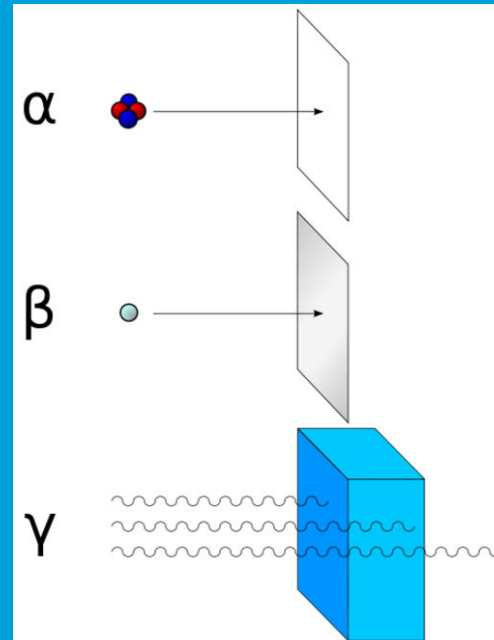
Természetes radioaktivitás:

α , β , γ
áthatolás, eltérülés

Kölcsönhatás: erős, gyenge
elektromágneses,
(gravitációs)



Ernest Rutherford (1871-1937). Nobel Prize for Chemistry in 1908.
Knighted in 1914, Order of Merit in 1924, Baron in 1931.



Kozmikus sugárzás

Victor Franz Hess



Ballonos kísérletek
1911-1912
a sugárzás a
világűrben (is) jön

1 km-ig csökken,
5 km magasan
kétszerese a
földközelinek



Nobel-díj 1936



High Energy Physics
(HEP, Részecskefizika)

Innsbruck

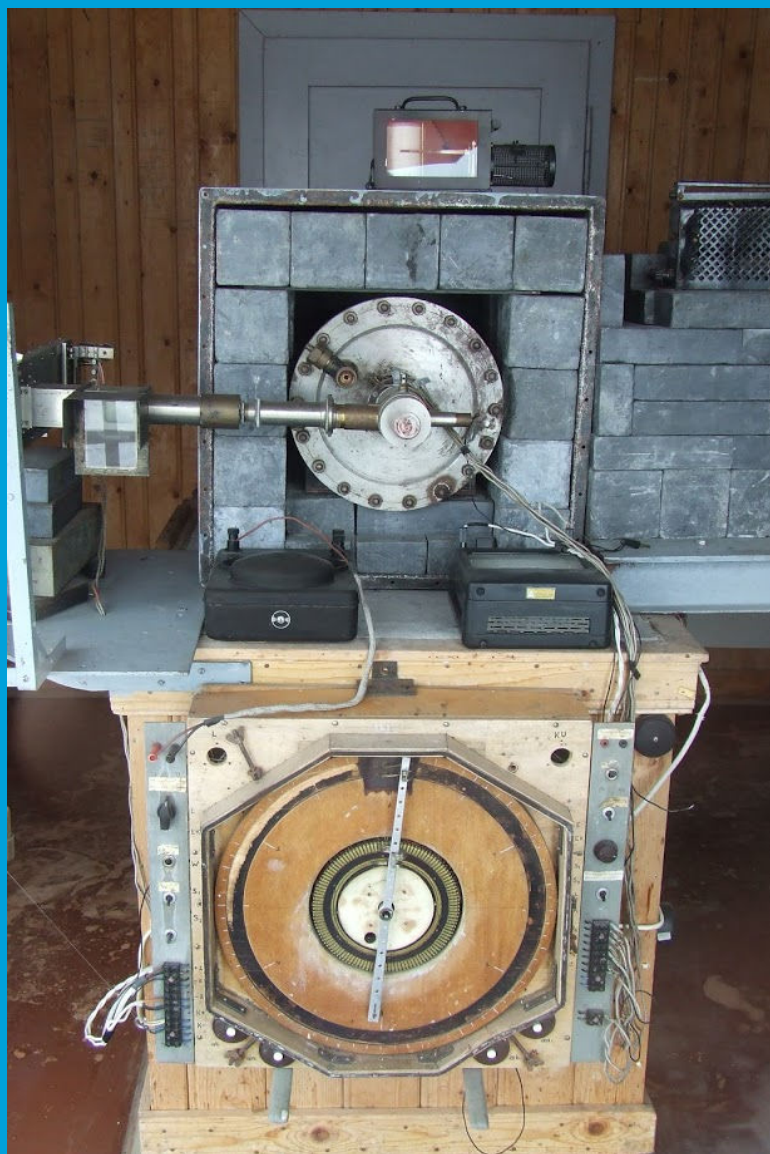
Hafelekar
magashegyi
obszervatórium

1928

Nordkettenbahn felső
állomásánál 2300 m



A mérőeszköz



Argonnal töltött henger
1500 kg ólom árnyékolás

A kozmikus sugárzás hatására töltött
részecske keletkezett
Mérés elektrométerrel, automatikus
fényképezés

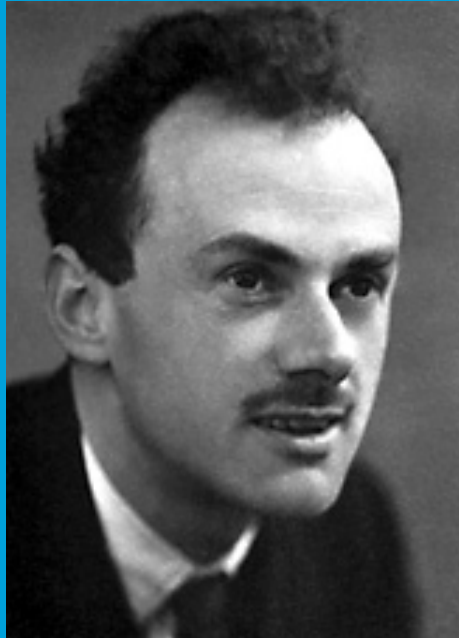
Victor Franz Hess

Born in 1883 in Styria, Austria - died in 1964 in New York, USA

As a young lecturer and research worker at the Institute of Physics in Vienna, Victor Franz Hess developed an interest in those subjects that were to become his central field of research for the rest of his life, namely radioactivity and atmospheric electricity. Following years of research in Vienna and the USA, he was awarded the chair of experimental physics in Graz before being made a full professor at the University of Innsbruck in 1930 at the age of 47. He explained his reasons for the move to Innsbruck as follows: „The cablecars there make Innsbruck the perfect place for my research into cosmic rays.“

Pozitron, antineutrínó

Paul Adrien Maurice Dirac



1930

Doktori dolgozatában

"Minden részecske töltését megfordíthatjuk, így is egy lehetséges világot kaphatunk."

Dirac egyenlethez vezet a relativisztikus energiaképlet:

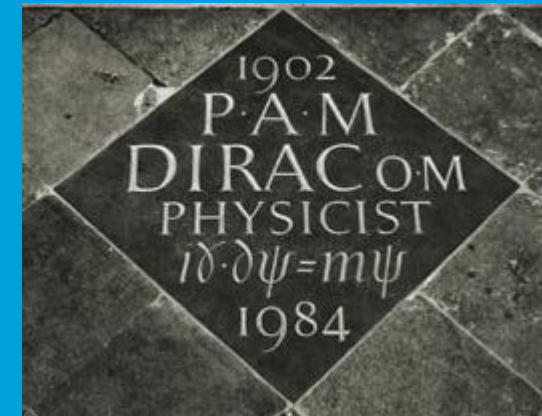
$$E^2 = (mc^2)^2 + (pc)^2$$

Hogyan kerülhető el a gyökvonás? -> Dirac mátrixok.

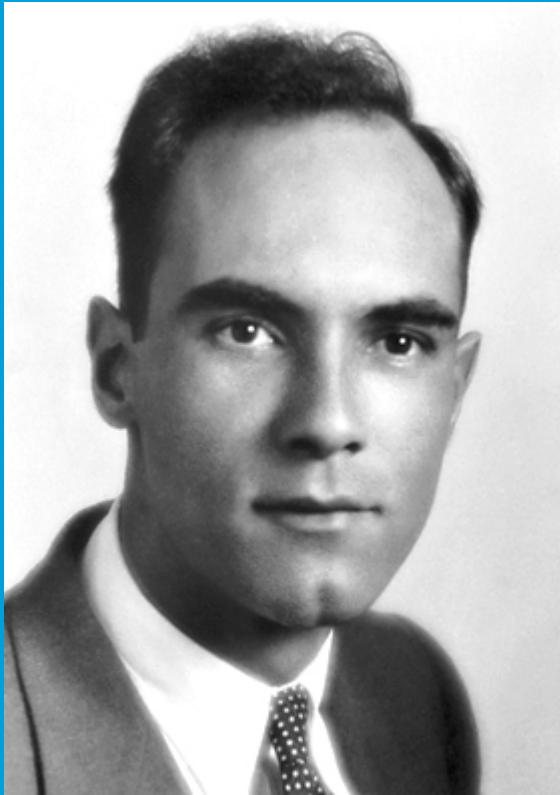
Dirac-egyenlet: Két megoldás, az egyik az elektron, de mi a másik?

← USA

Westminster →

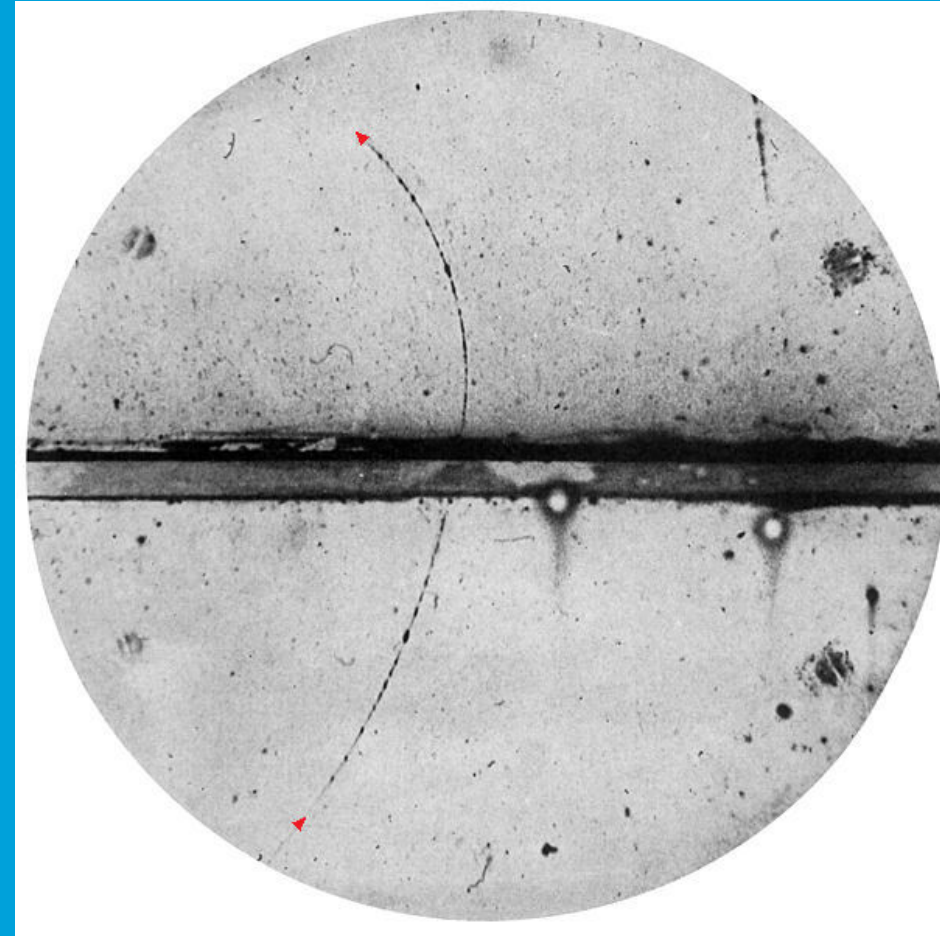


Carl David Anderson



1932: pozitron
felfedezése

Ködkamrában az
alulról érkező
pozitív töltésű
részecske lelassul
(görbület) az ólom
lemezen áthaladva.



1936: a müon felfedezése
Seth Neddermeyerrel

$$m_{\mu} = 207m_e,$$

ami nem a pion. I. I. Rabi: Ki rendelte ezt? ($m_{\pi^{\pm}} = 273m_e$)

Gyenge folyamatok

Anyag és antianyag a gyenge kölcsönhatásban

$$n \rightarrow p + e^{-} + \bar{\nu}_e$$

$$p \rightarrow n + e^{+} + \nu_e$$

$$n + \nu_e \rightarrow p + e^{-} \text{ anyag}$$

$$n + e^{+} \rightarrow p + \bar{\nu}_e$$

$$p + \bar{\nu}_e \rightarrow n + e^{+}$$

$$p + e^{-} \rightarrow n + \nu_e \text{ anyag}$$

$$\bar{n} \rightarrow \bar{p} + e^{+} + \nu_e$$

$$\bar{p} \rightarrow \bar{n} + e^{-} + \bar{\nu}_e$$

$$\bar{n} + \bar{\nu}_e \rightarrow \bar{p} + e^{+} \text{ anti}$$

$$\bar{n} + e^{-} \rightarrow \bar{p} + \nu_e$$

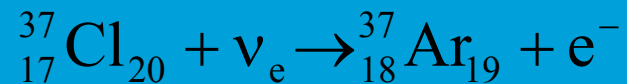
$$\bar{p} + \nu_e \rightarrow \bar{n} + e^{+}$$

$$\bar{p} + e^{+} \rightarrow \bar{n} + \bar{\nu}_e \text{ anti}$$

A neutrínó detektálása

Bruno Pontecorvo:

klór-argon módszer



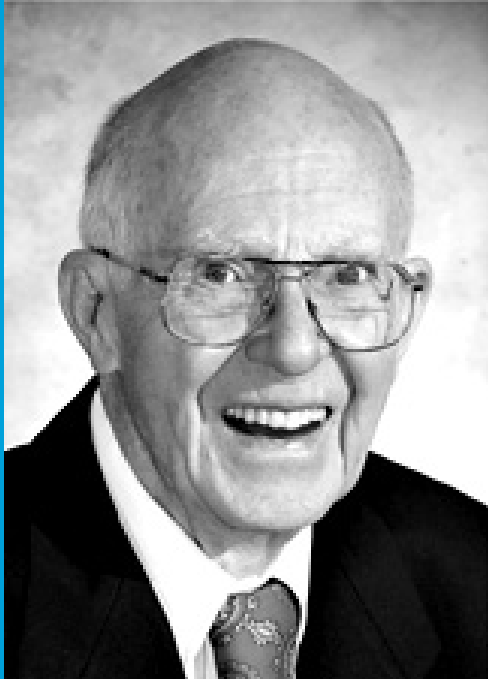
A keletkező argon radioaktív, bétabomló,
felezési ideje:

$$T = 35 \text{ nap}$$

A klór pl. széntetrakloridban:



Roy Davis



Neutrínó detektálási kísérlet:
Brookhaven, Savannah River 1955
atomreaktorokban
4000 liter szén-tetraklorid

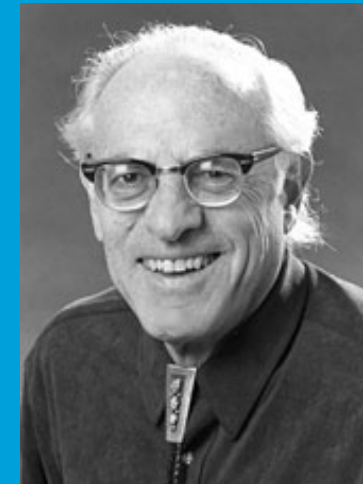
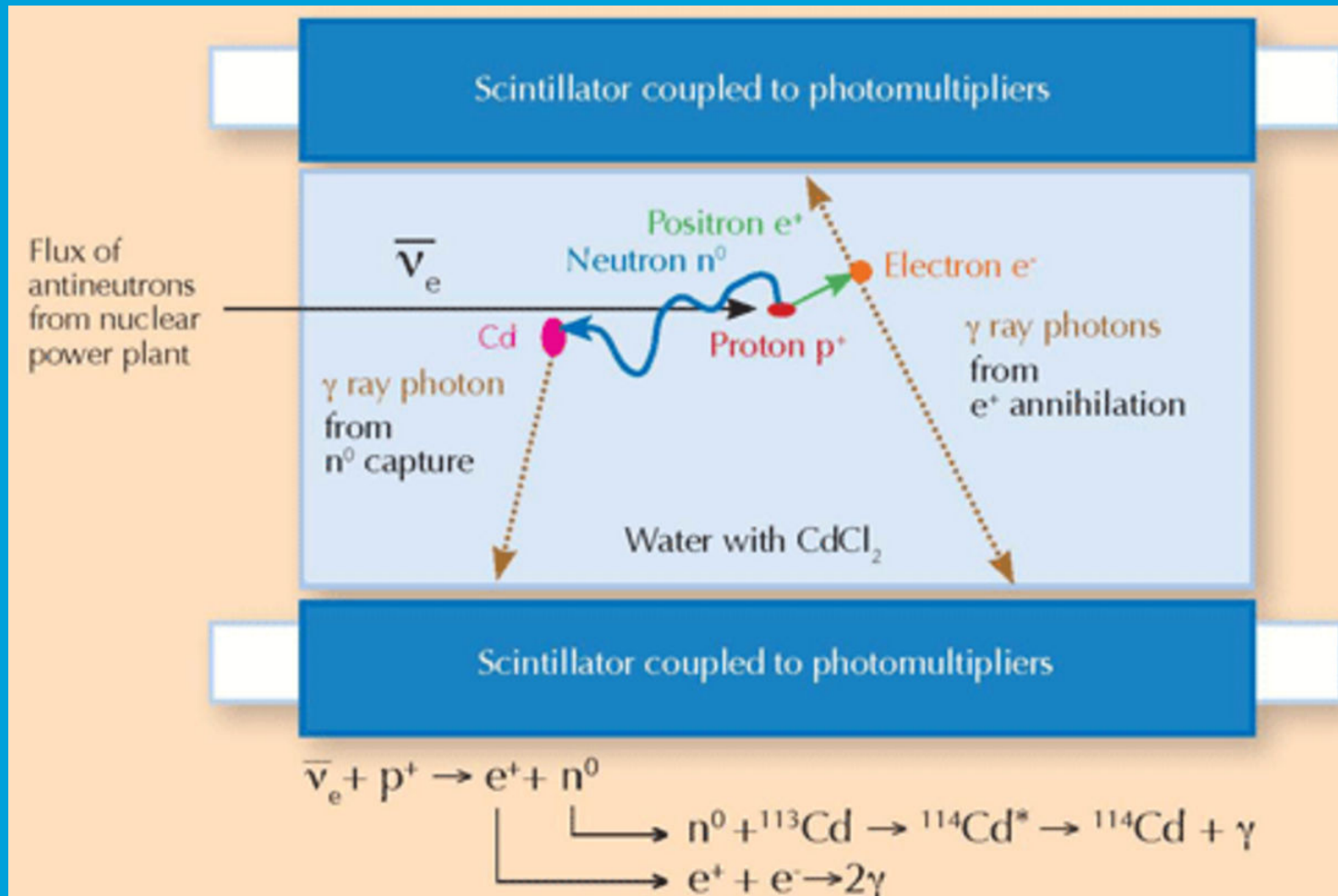
Negatív eredmény

Ok: a reaktorból antineutrínók lépnek ki

Neutrínó – antineutrínó nem ugyanaz a részecske

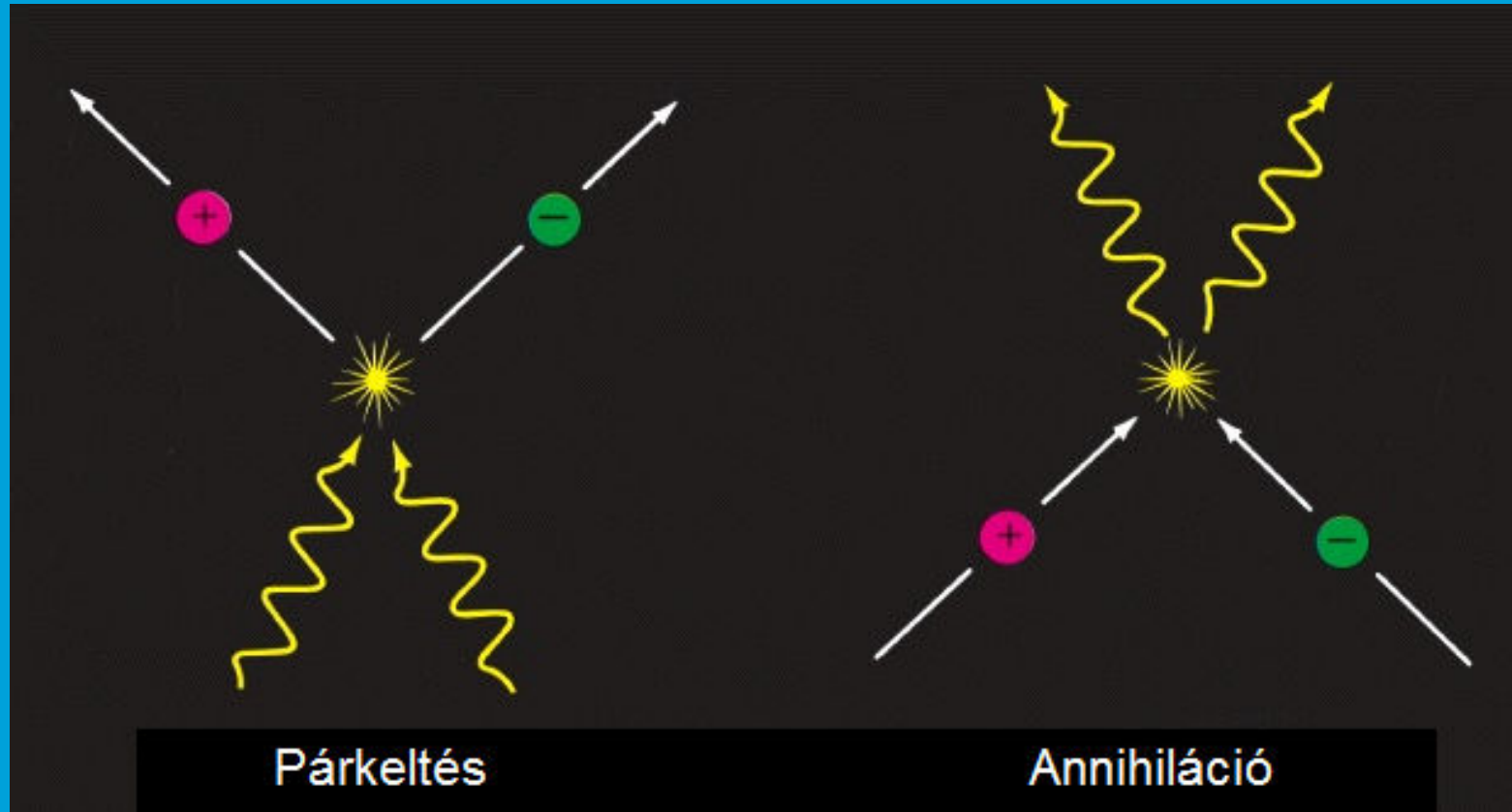
Reines-Cowan kísérlet

1956. július 20. Nobel-díj 1995: Reines



Párkeltés – annihiláció I.

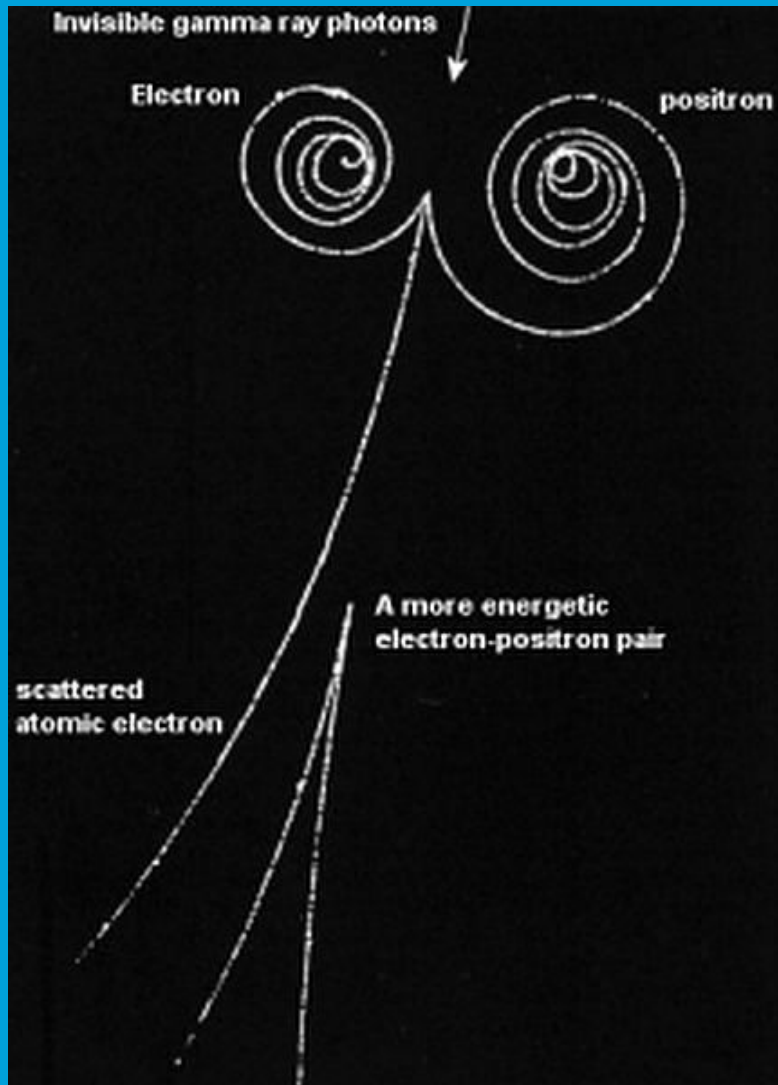
Két fotonnal



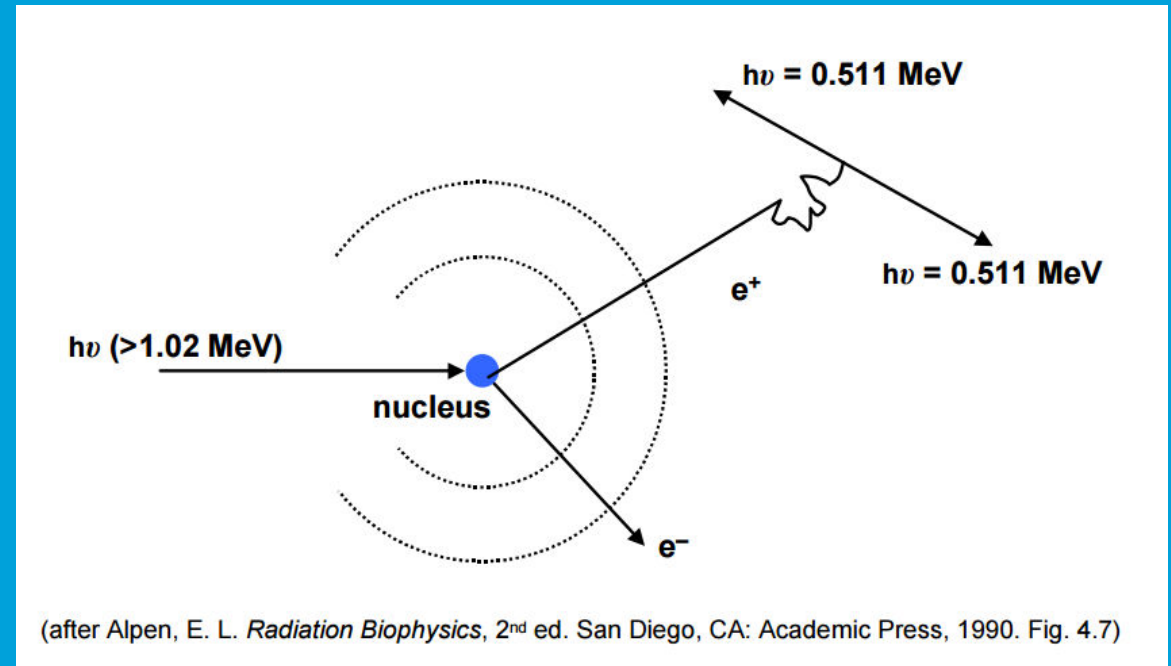
Egy foton nem elég! Miért?

Magas hőmérséklet, pl. a Big-Bang után, vagy gyorsító, pl. LEP.

Párkeltés – annihiláció II.



← Buborékkamra



Egy foton által egy mag közelében

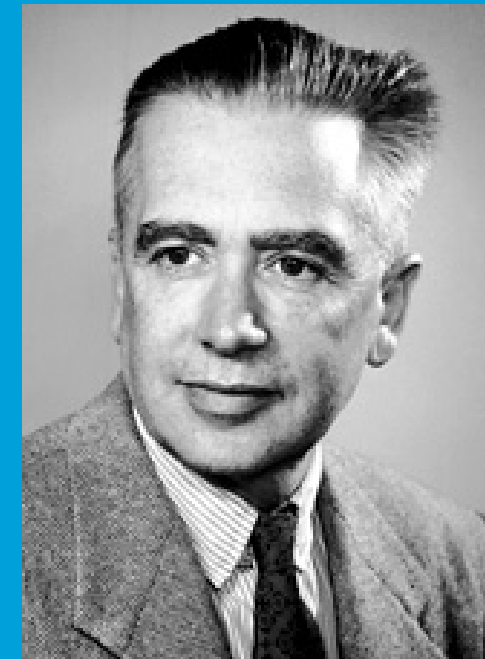
Antiproton és tovább

Antiproton, antineutron

1955: antiproton BeVatron (1BeV=1GeV)



← Owen Chamberlain,
Emilio Segre



Nobel-díj 1959

valamint

Clyde Wiegand és Tom Ypsilantis

1957: antineutron

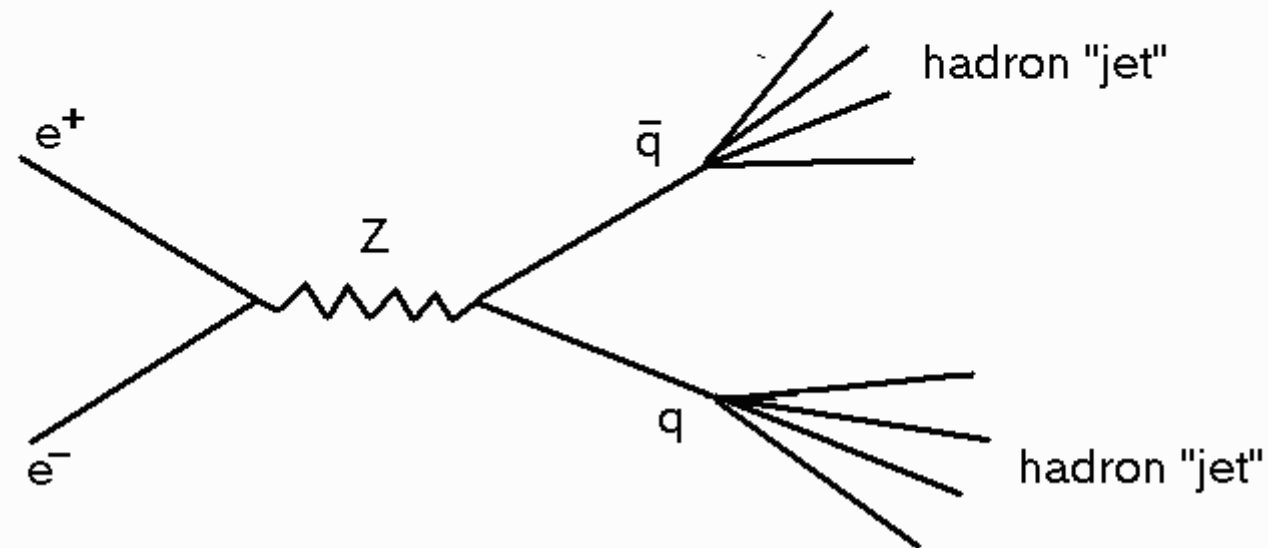
Oreste Piccione?

és Bruce Cork

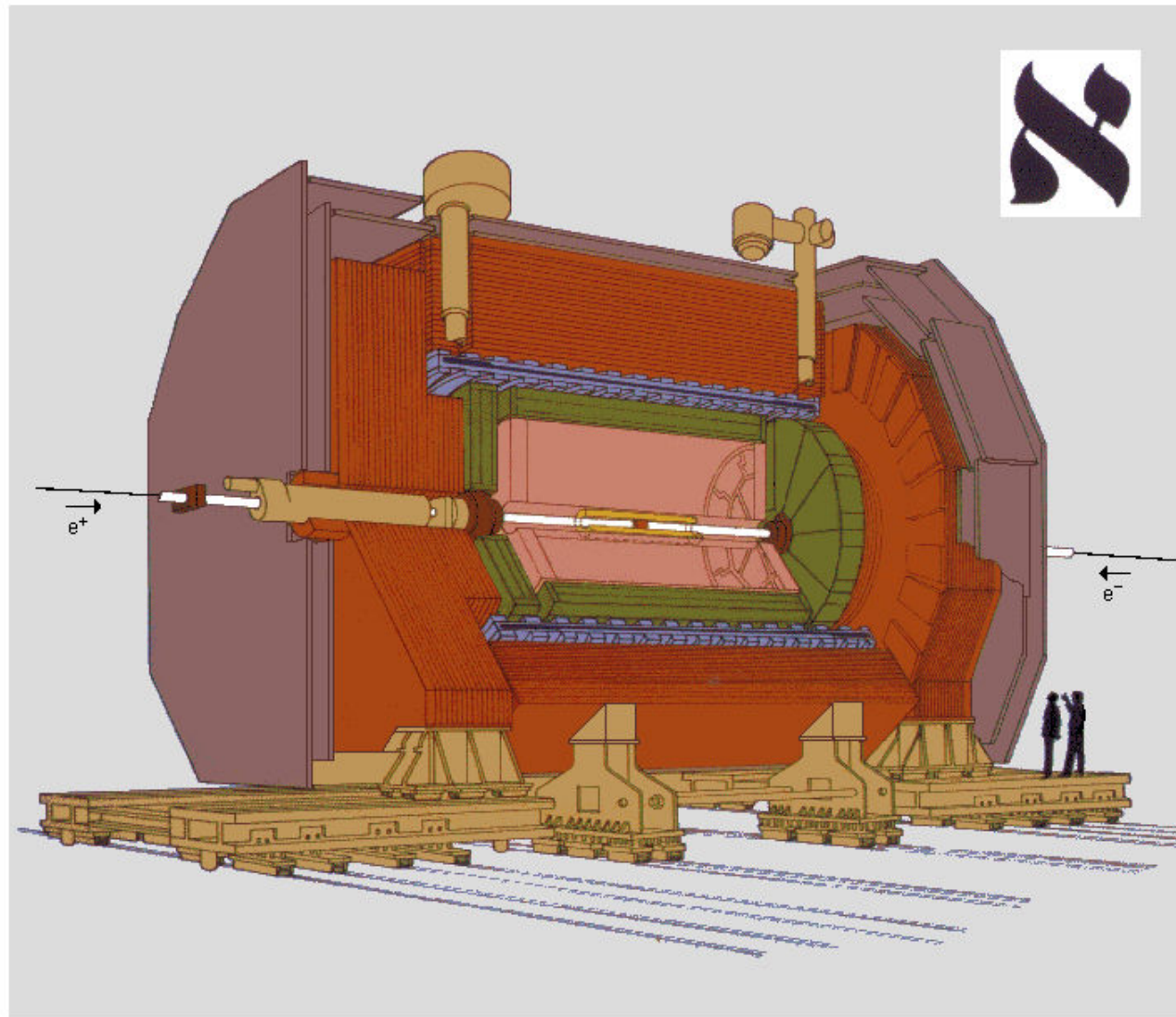










LEP

Consider a collision with a center-of-mass energy of 91.2 GeV, at this energy a Z boson will be created (most of the time), the Z will decay to a quark-antiquark pair (most of the time). This is illustrated in the Feynman diagram below:

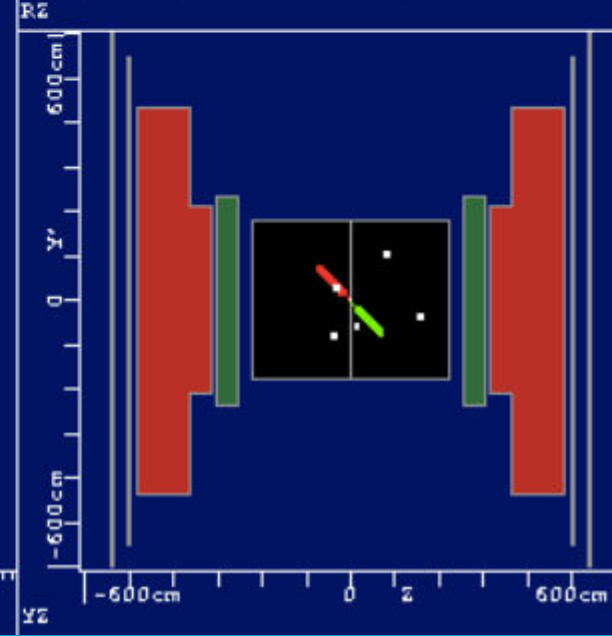
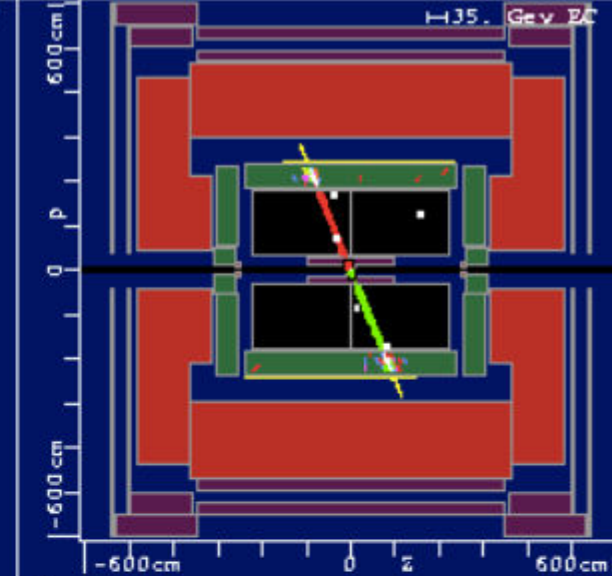
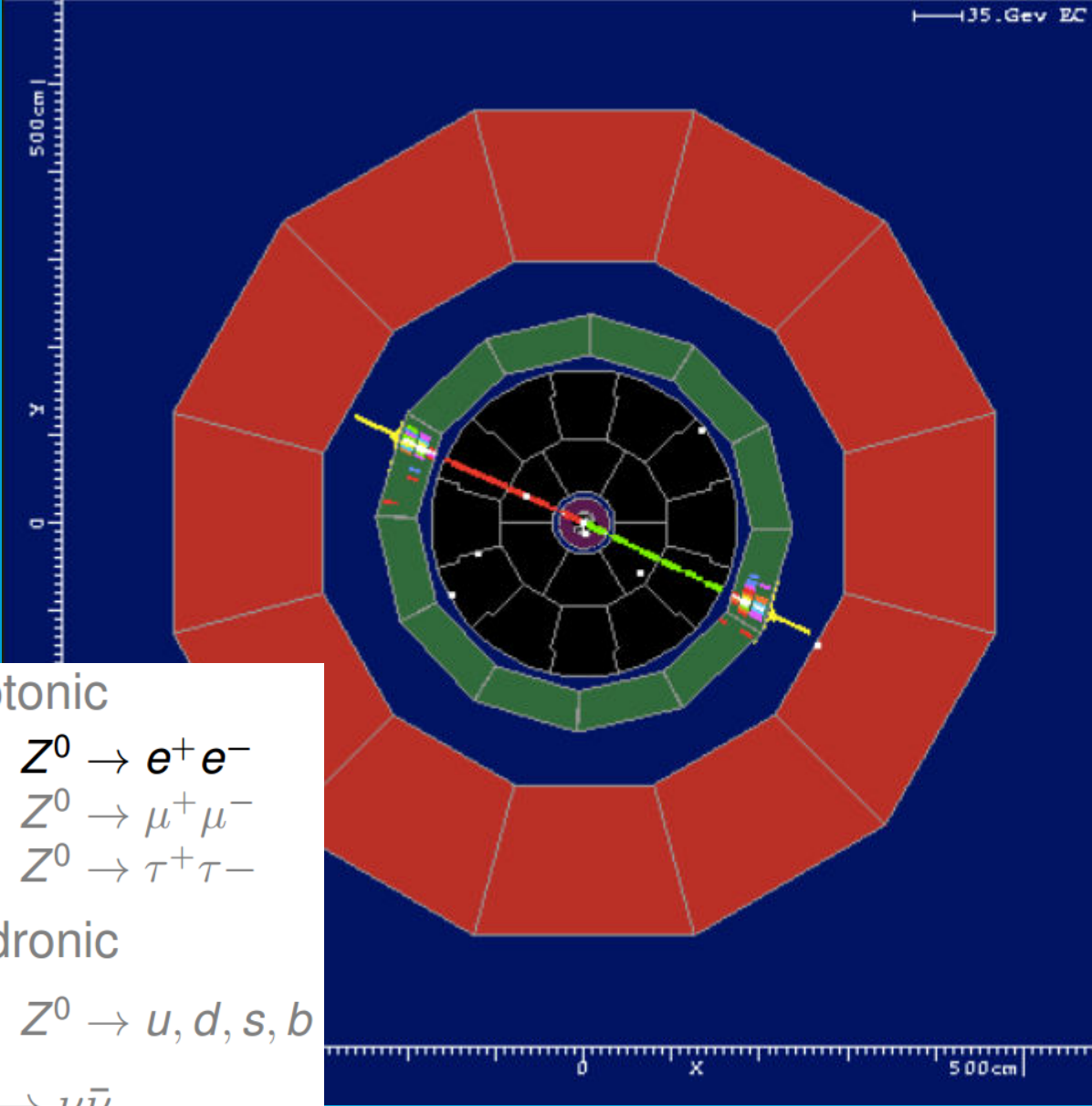


The ALEPH Detector



-  Vertex Detector
-  Inner Tracking Chamber
-  Time Projection Chamber
-  Electromagnetic Calorimeter
-  Superconducting Magnet Coil
-  Hadron Calorimeter
-  Muon Chambers
-  Luminosity Monitors

The ALEPH Detector



Leptonic

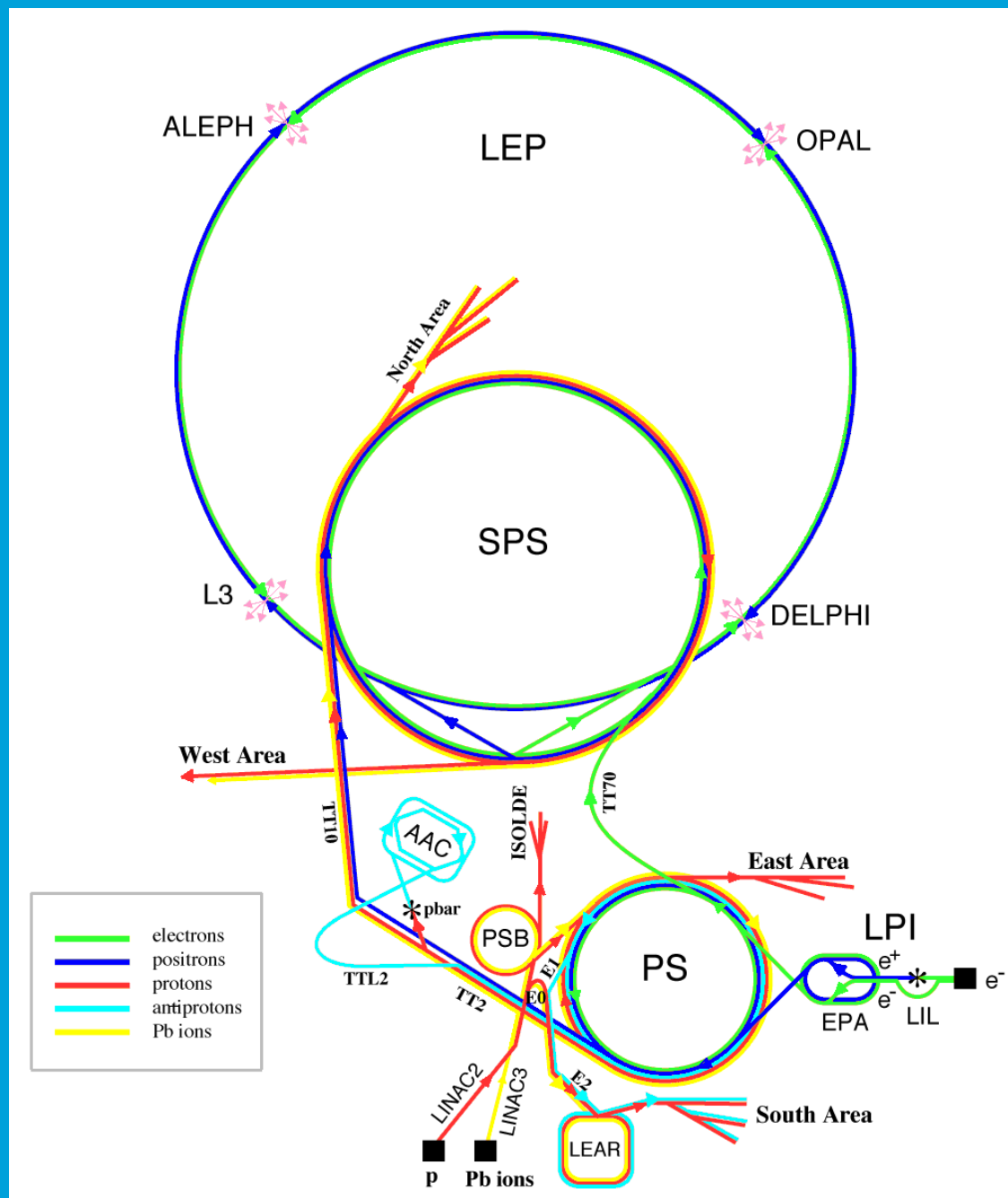
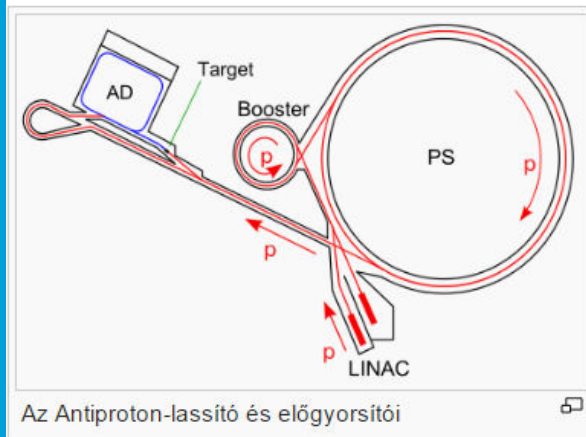
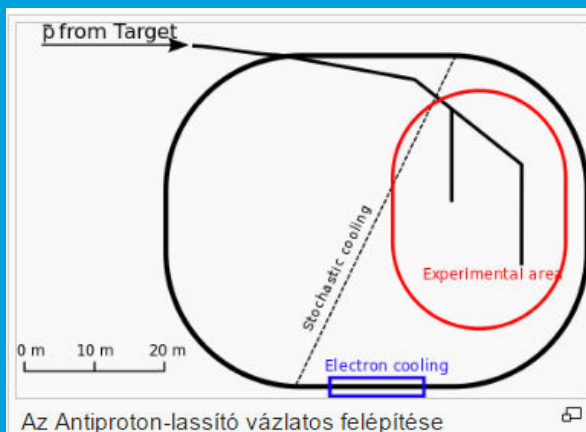
- ▶ $Z^0 \rightarrow e^+e^-$
- ▶ $Z^0 \rightarrow \mu^+\mu^-$
- ▶ $Z^0 \rightarrow \tau^+\tau^-$

Hadronic

- ▶ $Z^0 \rightarrow u, d, s, b$

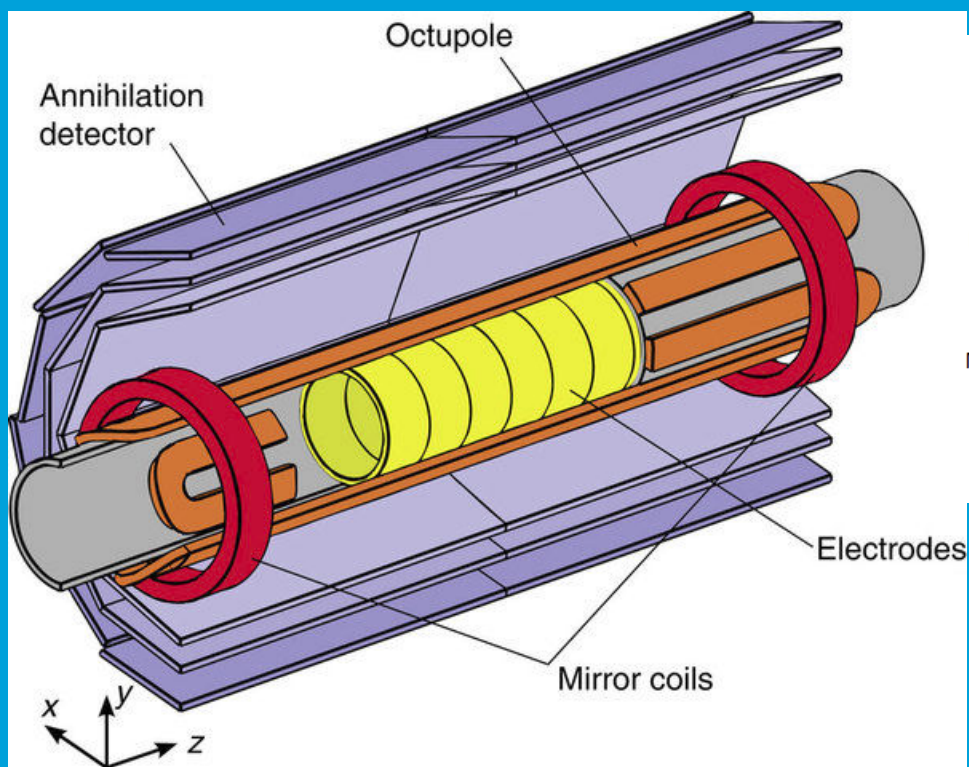
$Z^0 \rightarrow \nu\bar{\nu}$

Hol tartsuk az antianyagot?



Tároló gyűrűk

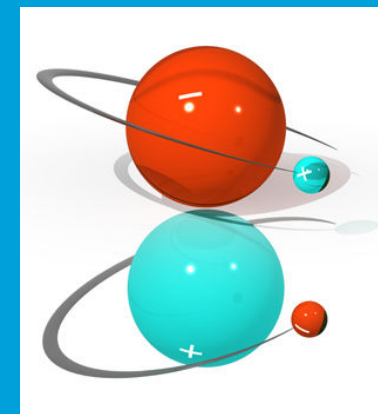
Antihidrogén 1995-től



Confinement of antihydrogen for 1000 seconds

G.B. Andresen¹, M.D. Ashkezari², M. Baquero-Ruiz³, W. Bertsche⁴, E. Butler⁵, C.L. Cesar⁶, A. Deller⁴, S. Eriksson⁴, J. Fajans^{3#}, T. Friesen⁷, M.C. Fujiwara^{8,7}, D.R. Gill⁸, A. Gutierrez⁹, J.S. Hangst¹, W.N. Hardy⁹, R.S. Hayano¹⁰, M.E. Hayden², A.J. Humphries⁴, R. Hydomako⁷, S. Jonsell¹¹, S. Kemp^{5#}, L. Kurchaninov⁸, N. Madsen⁴, S. Menary¹², P. Nolan¹³, K. Olchanski⁸, A. Olin^{8#}, P. Pusa¹³, C.Ø. Rasmussen¹, F. Robicheaux¹⁴, E. Sarid¹⁵, D.M. Silveira¹⁶, C. So³, J.W. Storey^{8#}, R.I. Thompson⁷, D.P. van der Werf⁴, J.S. Wurtele^{3#}, Y. Yamazaki^{16¶}.

2011
1000 s \approx 17 perc

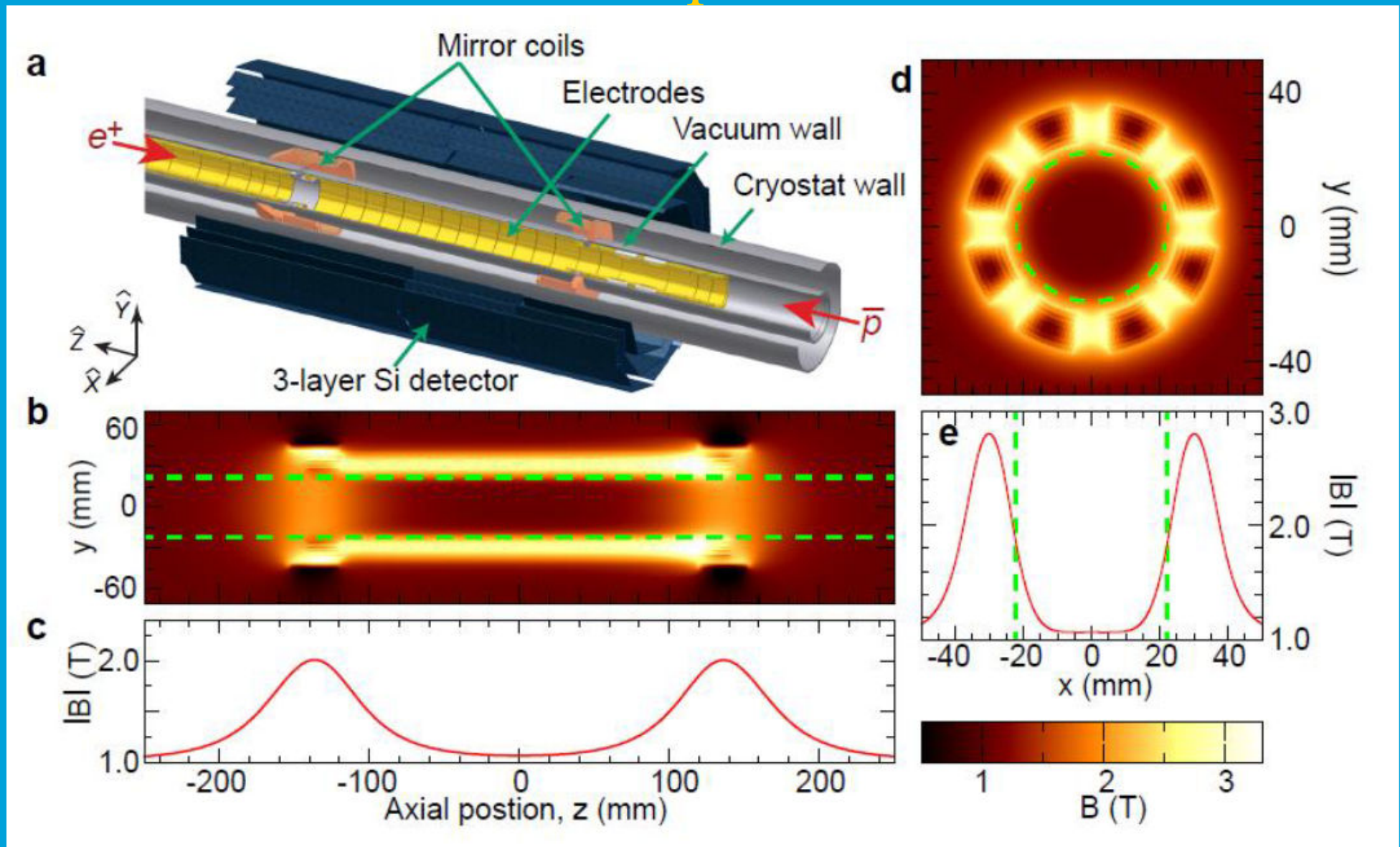


Alpha kísérlet a CERN-ben Penning-csapda

<http://alpha.web.cern.ch/>

http://socrates.berkeley.edu/~fajans/ALPHA_Spanish/EN_almacenamiento.htm

Alpha





- Why is antimatter researched?
- Does it have a utility in our daily lives?
- Could it be used as fuel?
- Could it be used to make bombs?

The production of antimatter is a costly process, both in terms of time and money. The production of a **nanogram** (a billionth of a gram) of antihydrogen costs a **few hundred million euros**. Considering these difficulties, why is antimatter worth researching?

The main reason is its **scientific interest**: research on antimatter allows us to learn more about our universe. The ALPHA collaboration, for example, wants to study if matter and antimatter are exactly symmetrical. The laws of physics offer certain predictions in this respect, but experimentation could prove them wrong. It is through this process of observation, prediction and testing that science advances.

The study of antimatter is also appealing for other reasons. The annihilation of matter and antimatter is a process that generates surprising amounts of energy, very superior to what can be obtained through chemical or nuclear processes (both of fusion and fission). Only **half a gram** of antimatter in contact with half a gram of matter would liberate the energy of a 20 kiloton nuclear bomb, that is, **the energy of a nuclear bomb like Hiroshima**.

PROCESS	LIBERATED ENERGY	EQUIVALENCIES
Combustion of 1 Kg oil	$4,2 \times 10^7$ J = 42,000.000 J	-
Nuclear fusion of 1 Kg hydrogen	$2,6 \times 10^{15}$ J = 2.600,000.000,000.000 J	55 million Kg of oil
Annihilation of 1 Kg antihydrogen with 1 Kg hydrogen	$1,8 \times 10^{17}$ J = 180.000,000.000,000.000 J	3.800 million Kg of oil

Antihélium

1970: $\overline{{}^3\text{He}}$

Institute for High Energy Physics by Y. Prockoshkin's group (
Protvino near Moscow, USSR)

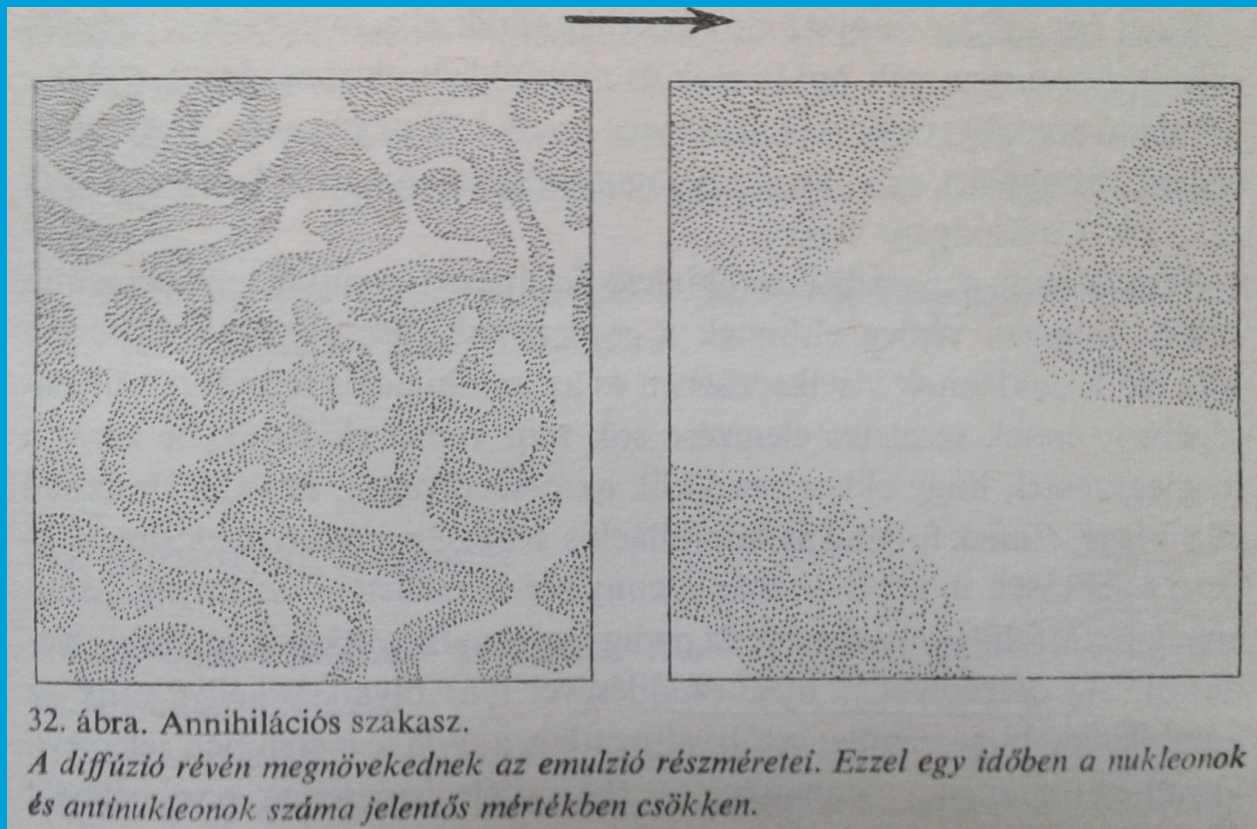
2011: $\overline{{}^4\text{He}}$

STAR detector (for Solenoidal Tracker at RHIC)

Miért nincs (sok) antianyag?

Két lehetőség:

1. Szétvált az anyag és az antianyag – Szimmetrikus keletkezés
2. Az antianyag eltűnt – Szimmetriasértés



Roland Omnès:
A világegyetem és
átalakulásai 1981,
Gondolat
(L'Univers at ses
métamorphoses 1973,
Hermann)

Mit segíthet a matematika?

Coulomb törvény és Newton törvény
egy matematikai lehetőség

(Kiss Miklós 2004)

$$F = k \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

Q előjeles, tisztán valós,
így azonos előjel – taszítás,
ellentétes előjel – vonzás

$$F = f \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

m előjeles, tisztán képzetes,
így azonos előjel: – vonzás,
ellentétes előjel: –taszítás

A Coulomb kölcsönhatás erősebb és a vonzás miatt keveredés, rövidtávú dominancia, de távolról nem látszik, a gravitáció gyenge, de szétválasztó hatás, messziről látszik nagy tömegeknél.

Anyag és antianyag galaxis klaszterek?

Fizikai mennyiségek

Alapszabály:

A mérhető mennyiségeknek valósnak kell lennie.

Mit mérünk, hogyan mérünk?

$$i \cdot m_1 \cdot i \cdot m_2 = i^2 \cdot m_1 \cdot m_2 = -m_1 \cdot m_2,$$

ami valós!

Antianyag, antigravitáció?



Három lehetőség:

Ugyanúgy vonz (gravitál)

Taszít (antigravitál)

Másként hat kölcsön
(kvantum gravitációs
megfontolások)

Antigravitációs mérések
100% hiba.

Érdekesességek

Tunguz meteor:



Egy 40 méteres test okozta a Tunguz-eseményt 1908. 06. 30-án Szibériában (10-15 megatonnás robbanás), több mint 2000 négyzetkilométeren tarolva le a hatalmas fenyőkből álló tajgát.

Nincs kráter

(vagy esetleg a Cheko tó 8 km-re az esemény helyétől, 2007-9 Bolognai egyetem)

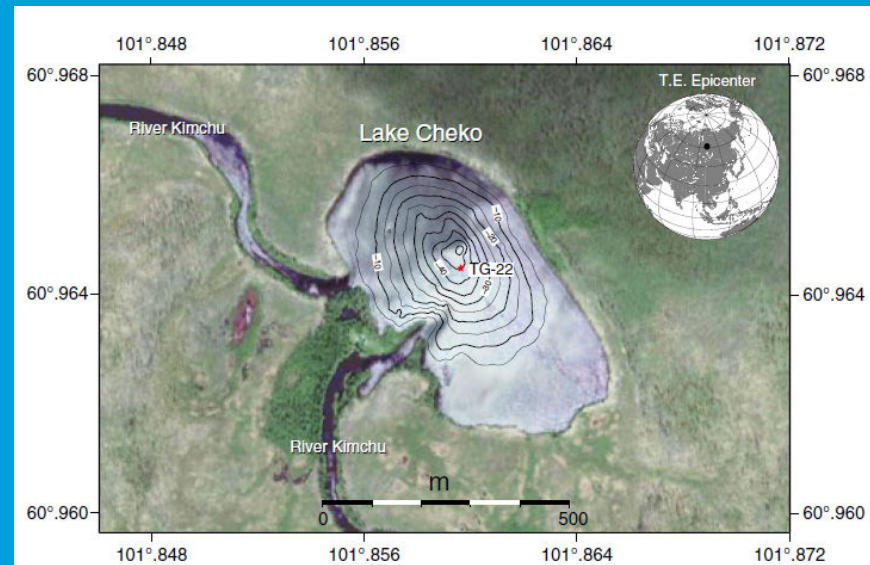


Fig. 1 Lake Cheko bathymetric map and location of sediment-core TG-22 collected during the Tunguska99 expedition.

Cseljabszk



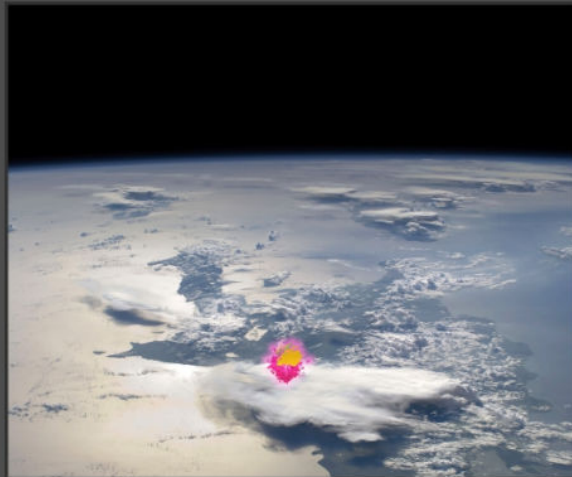
2013. február 15.
~ egy atombomba
kb. 17 méteres
600 kg

A földközeli égitesteket az 1980-as
évek óta figyelik szervezeten.



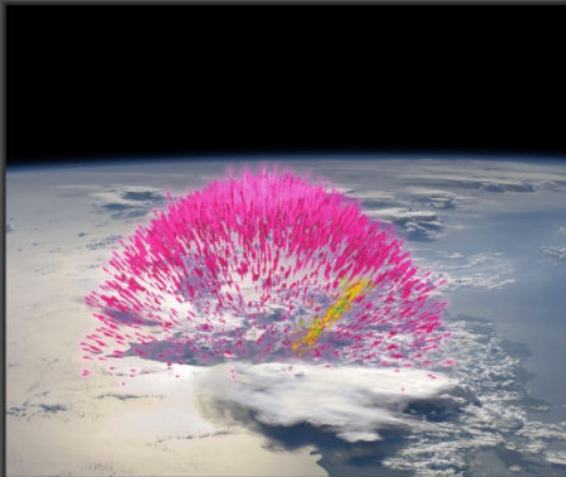
Terrestrial gamma ray flash (TGF) Fermi Telescope

How thunderstorms launch particle beams into space



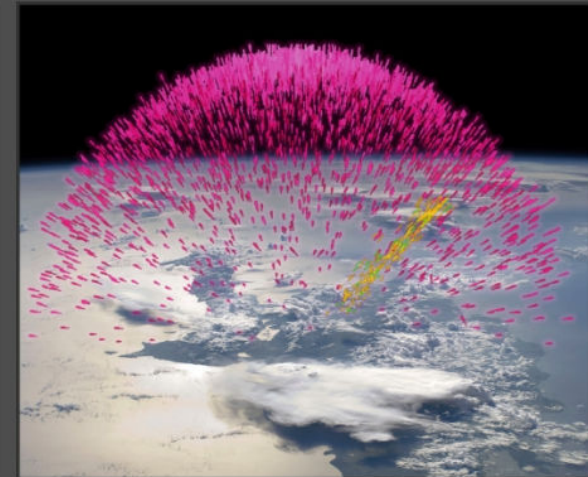
1. Electric fields near the top of the storm create an upward-moving avalanche of **electrons**. When their paths are deflected by molecules in the air, these electrons emit **gamma rays**, the highest-energy form of light.

These images are based on a TGF simulation by Joseph Dwyer at the Florida Institute of Technology. This frame tracks the gamma rays and particles from a 0.2-millisecond-old TGF that began at an altitude of 9.3 miles (15 km).



2. When gamma-ray energy collides with electrons, they accelerate to near the speed of light. Some gamma rays pass near the nuclei of atoms. When this happens, the gamma ray transforms into an electron and its antiparticle, a **positron**.

These high-energy electrons and positrons escape into space by spiraling along Earth's magnetic field. In this frame, the TGF is 1.4 milliseconds old.



3. Here the TGF is 1.98 milliseconds old, and its electron/positron beam is reaching altitudes where it may intercept spacecraft, such as NASA's Fermi Gamma-ray Space Telescope.

Fermi's Gamma-ray Burst Monitor detected a signal characteristic of positron annihilation. When a positron collided with an electron on the spacecraft, the two particles transformed into gamma rays.

Credit: NASA/Goddard Space Flight Center/J. Dwyer, Florida Inst. of Technology

Mibe kerül az antianyag?

1 gramm energiája 90 TJ

$$90 \text{ TJ} = 9 \cdot 10^{13} \text{ J}$$

21,4 kt TNT

Fele kell csak, mert anyag + antianyag

Ez a hirosimai atombomba hatása

25 milliárd \$/gramm

(<https://en.wikipedia.org/wiki/Antimatter#Cost>)

Mennyi idő szükséges az előállításához?

1 gramm antianyag (antihidrogén) előállítása

FERMILAB:

2007: 10^{14} db

Hat milliárd év ebben a tempóban!

CERN

10^{13} db

Köszönöm a figyelmet!

A Standard Modell

