

Részecskegyorsítók.
Dozimetria.
Mai nagy kérdések.

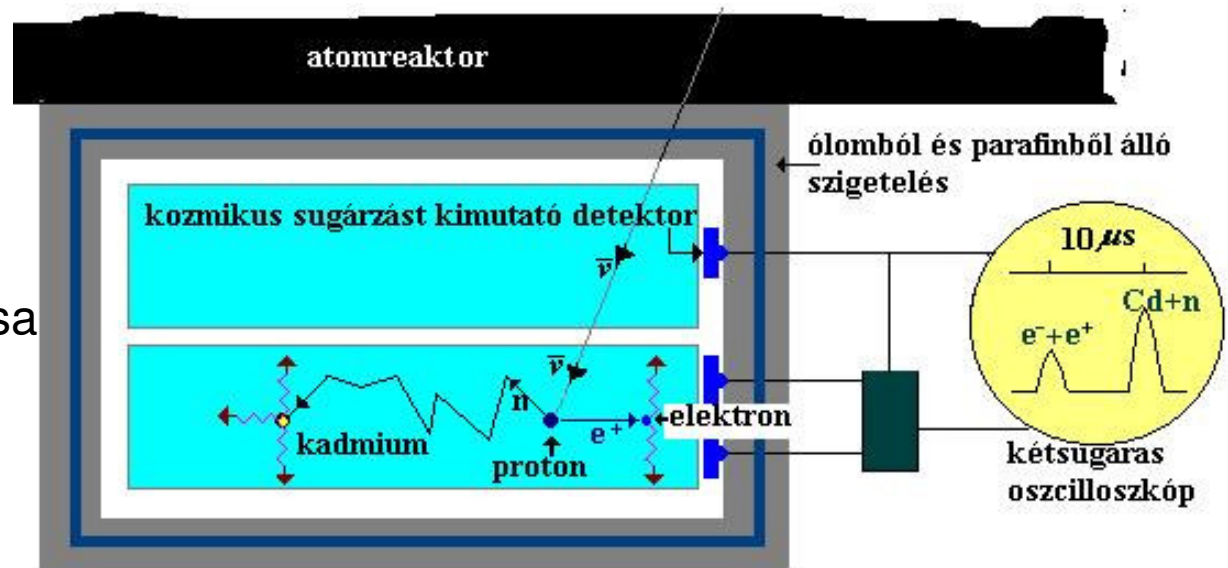
Atommag és részecskefizika
11. előadás, 2011. május 17.

Klasszikus neutrínódetektorok 1.

Reines—Cowan-kísérlet



pozitron annihiláció
koincidencia események
neutronbefogás
neutron lassulás
kaszád gamma-kibocsátás
 kozmikus események kizárása



képek: <http://www.ibela.sulinet.hu/atomfizika>

hatáskeresztmetszet σ : $N_{reakció} = \sigma j N_c t$ $\sigma = 0,18 \text{ ab} = 0,18 \times 10^{-46} \text{ m}^2$

Cd neutronbefogás: $n + {}^{117}\text{Cd} \rightarrow {}^{118}\text{Cd}^*$ ezután 3 foton gyors egymásutánban

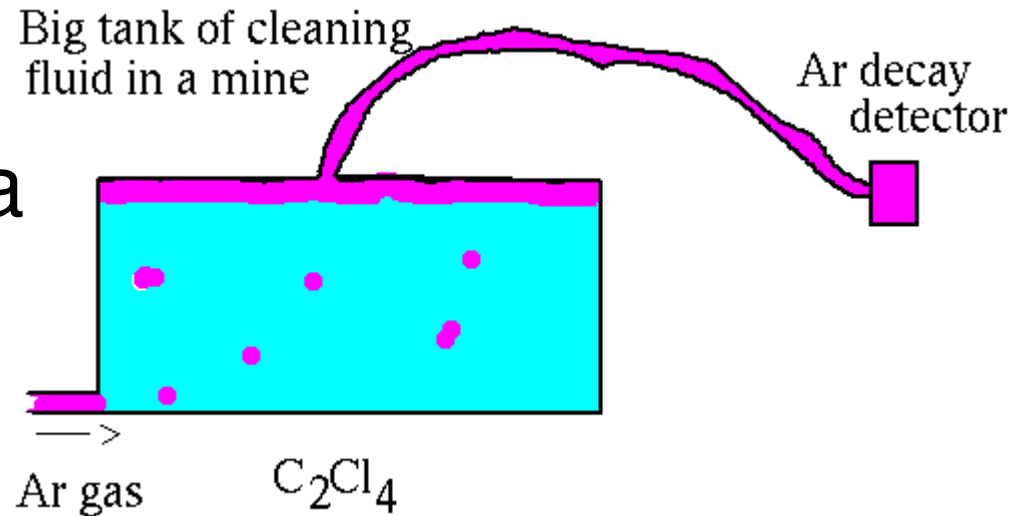
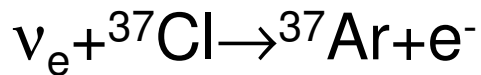
„Esemény”: 2 foton az annihilációból és 10 μs múlva további fotonok (a n termalizálódik)

Késleltetett dupla coincidencia esemény

Naponta kb. 36 ilyen esemény. Háttér elhanyagolható.

Klasszikus neutrínódetektorok 2.

Davis 1957
Homestake bánya



1500 m mélyen, 400 m³ perklór-etilén

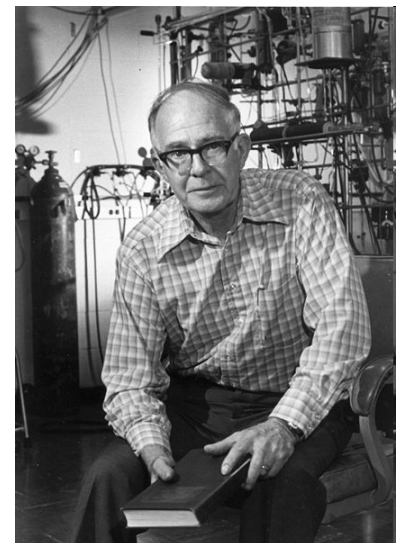
A keletkezett ³⁷Ar gázt kibuborékolatással össze lehet gyűjteni

³⁷Ar maga is radioaktív, felezési ideje elég nagy

ionizációs kamrában mérhető a mennyisége

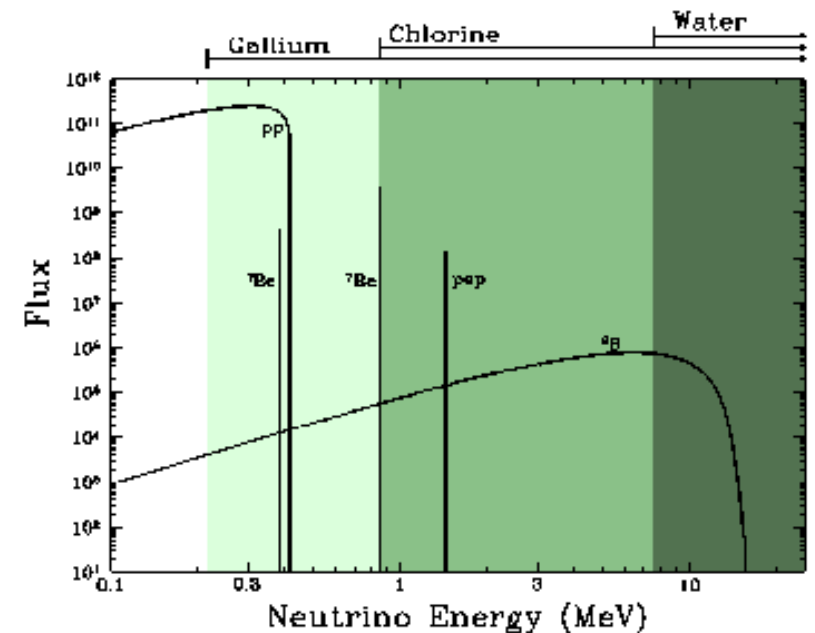
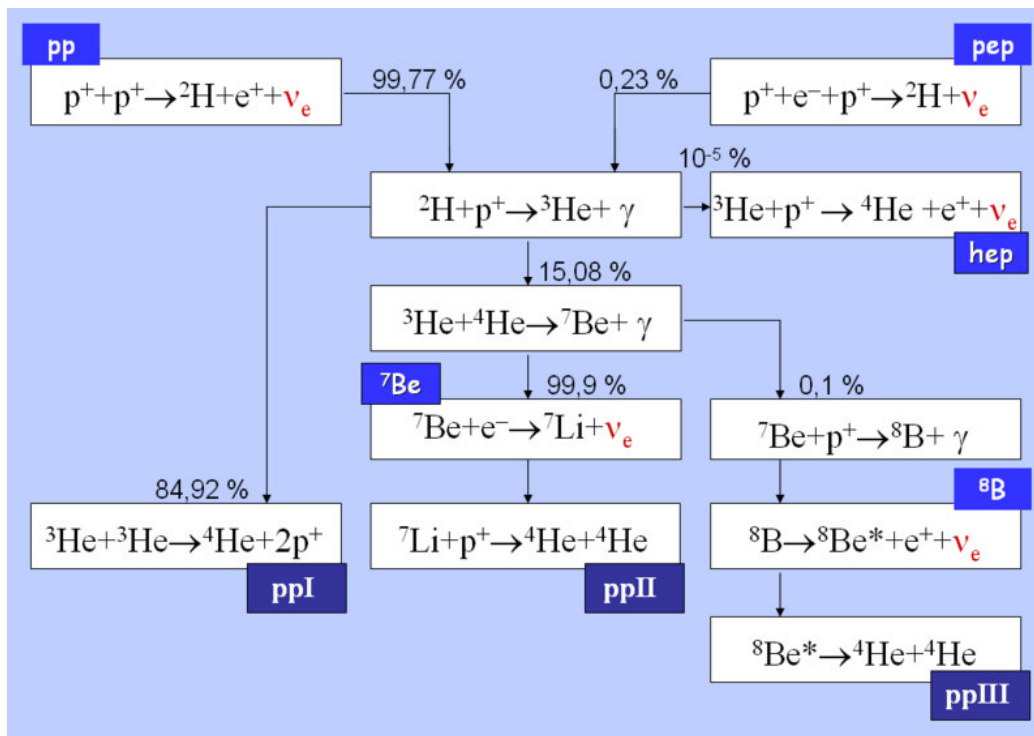
minimális neutrínó-energia kb. 900 keV

Nobel-díj 2002



Napneutrínók

- Napneutrínó fluxusa Napmodellekből
 \leftrightarrow detektált neutrínók Homestake bányában



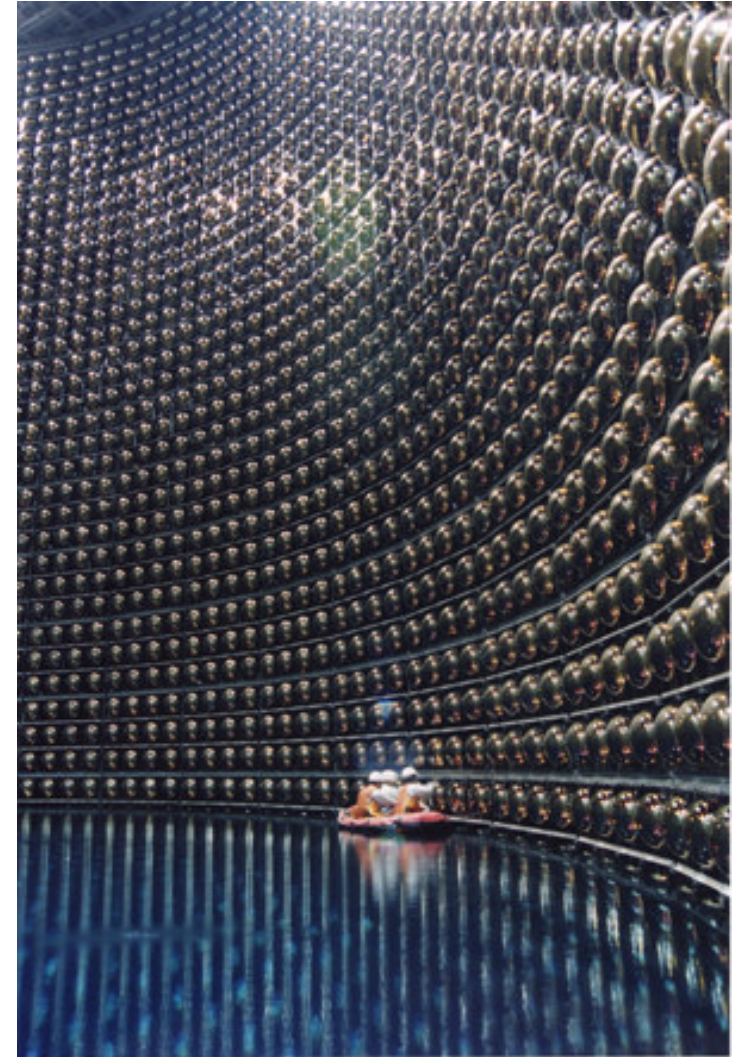
Napjaink neutrínó-detektorai

Kamiokande, Kamland, Sudbury, Borexino,
Antares, Bajkál-tó (bányák, víz alatti helyek)

neutrínó – elektron szórás + Cserenkov sugárzás

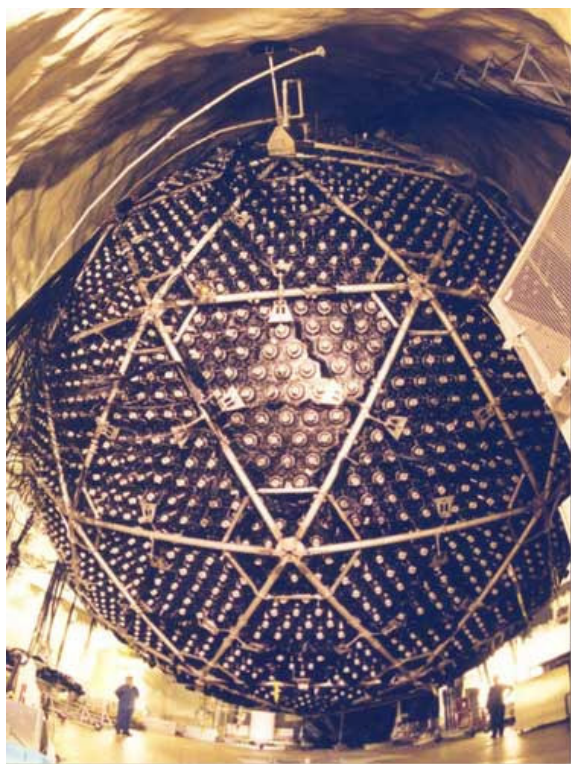
Neutrínó: deutron disszociáció, neutronbefogás

Neutrínó+neutron \rightarrow proton+elektron

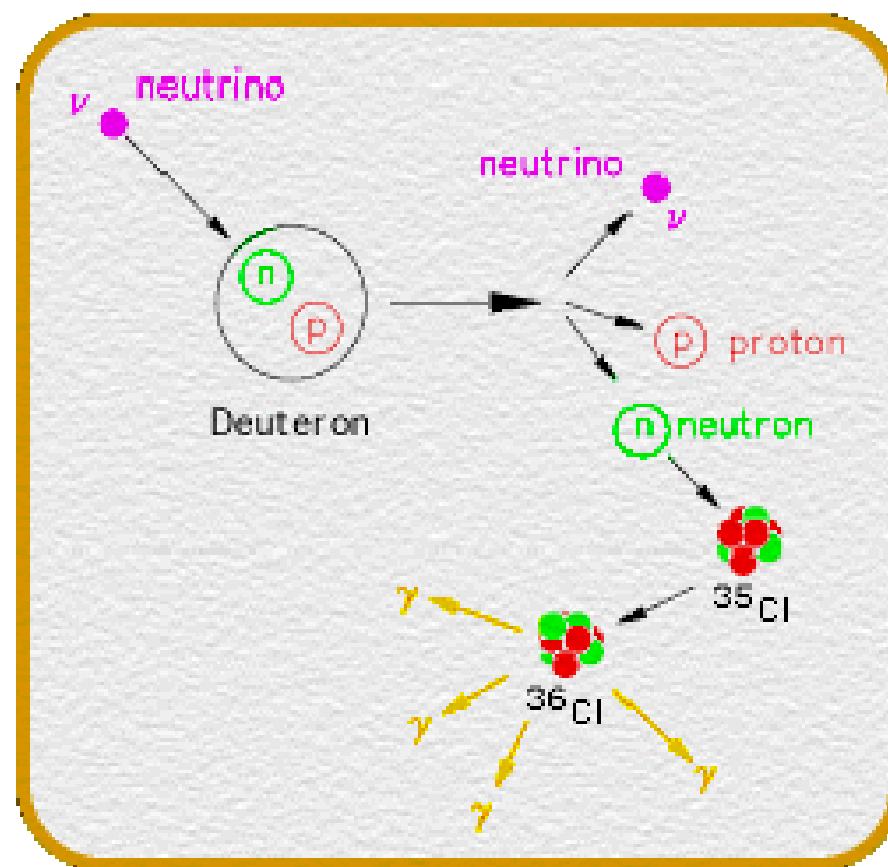


SNO – Sudbury Neutrino Observatory

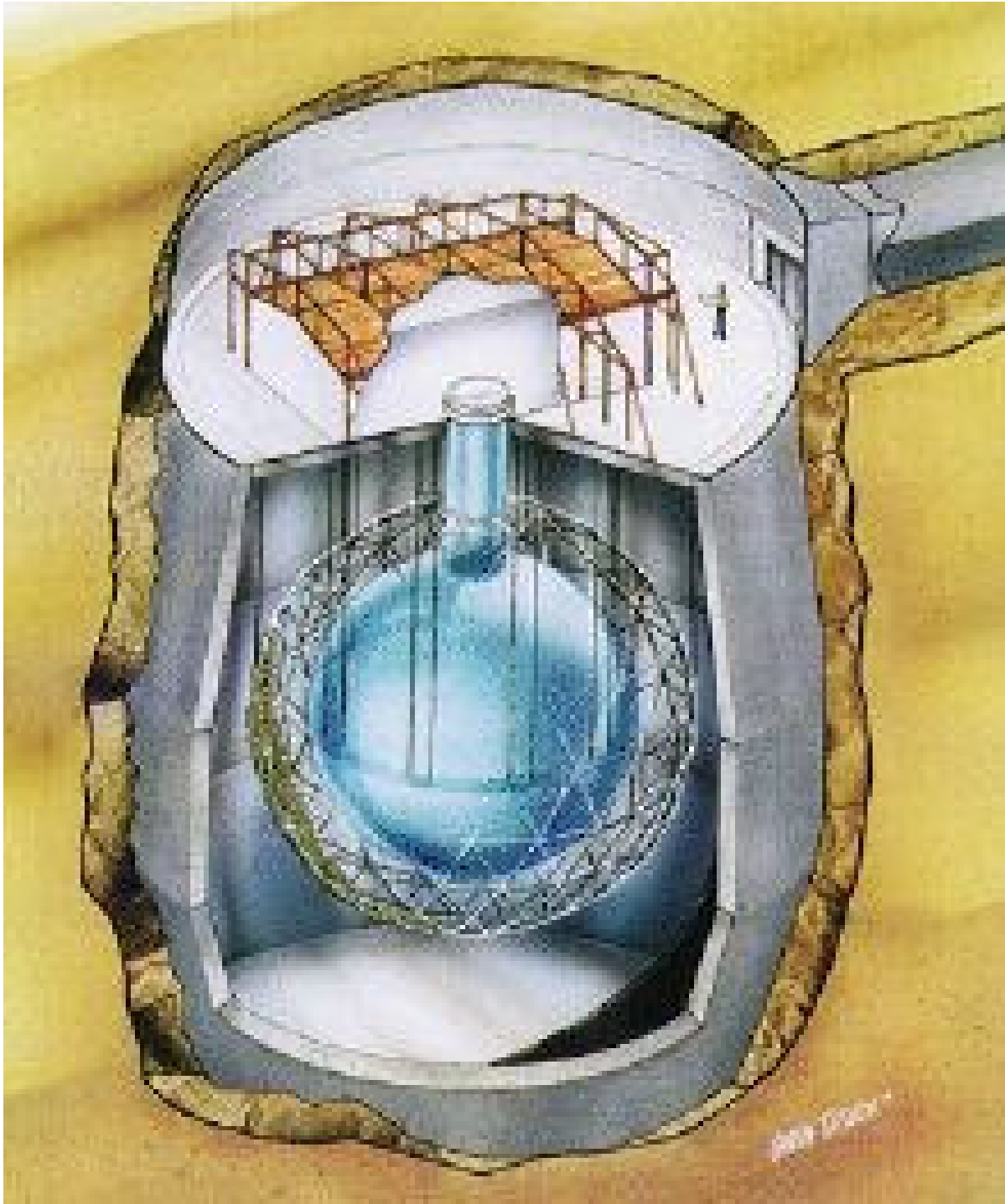
semleges áram Z^0



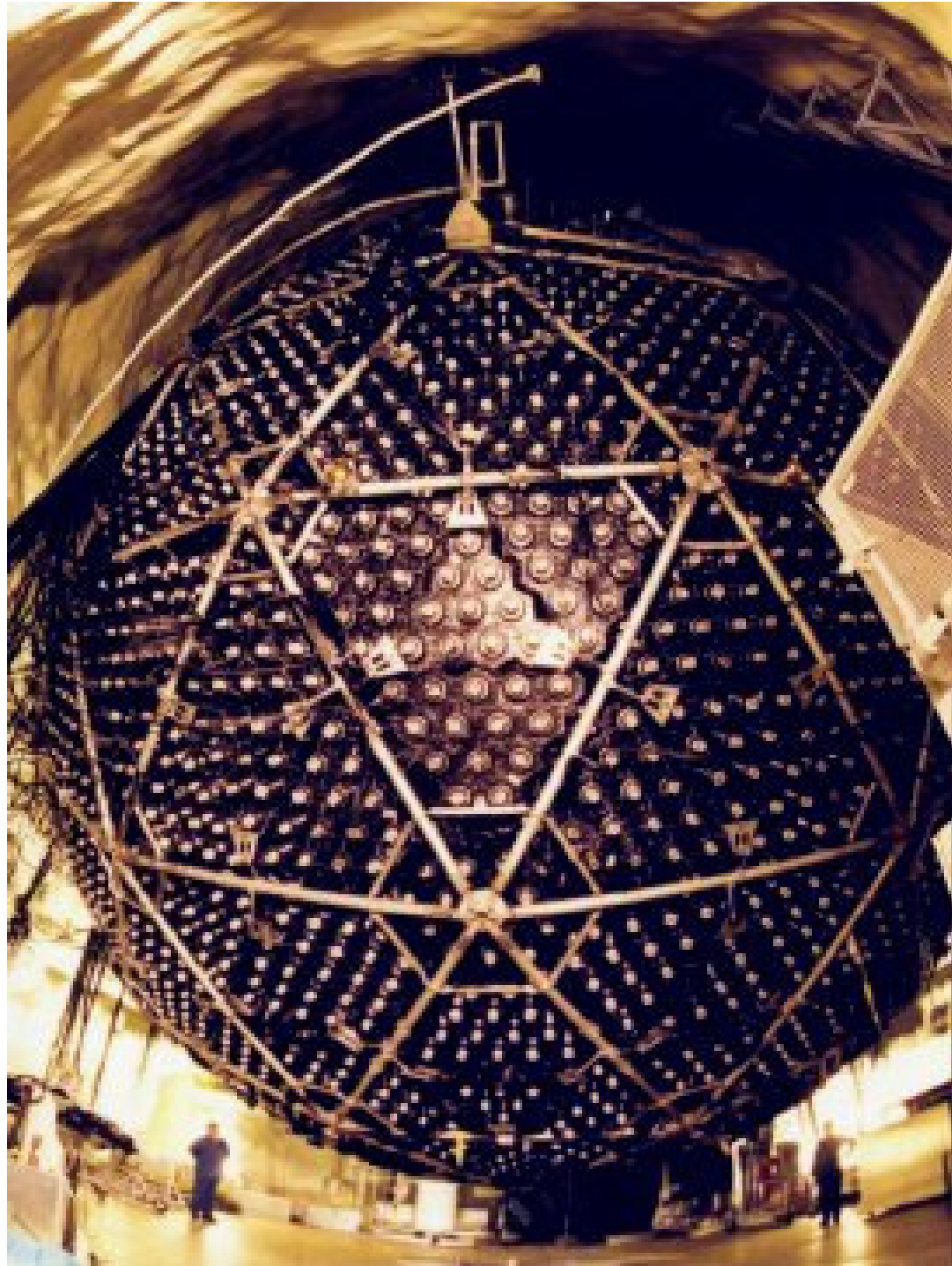
Minhárom neutrínó képes rá

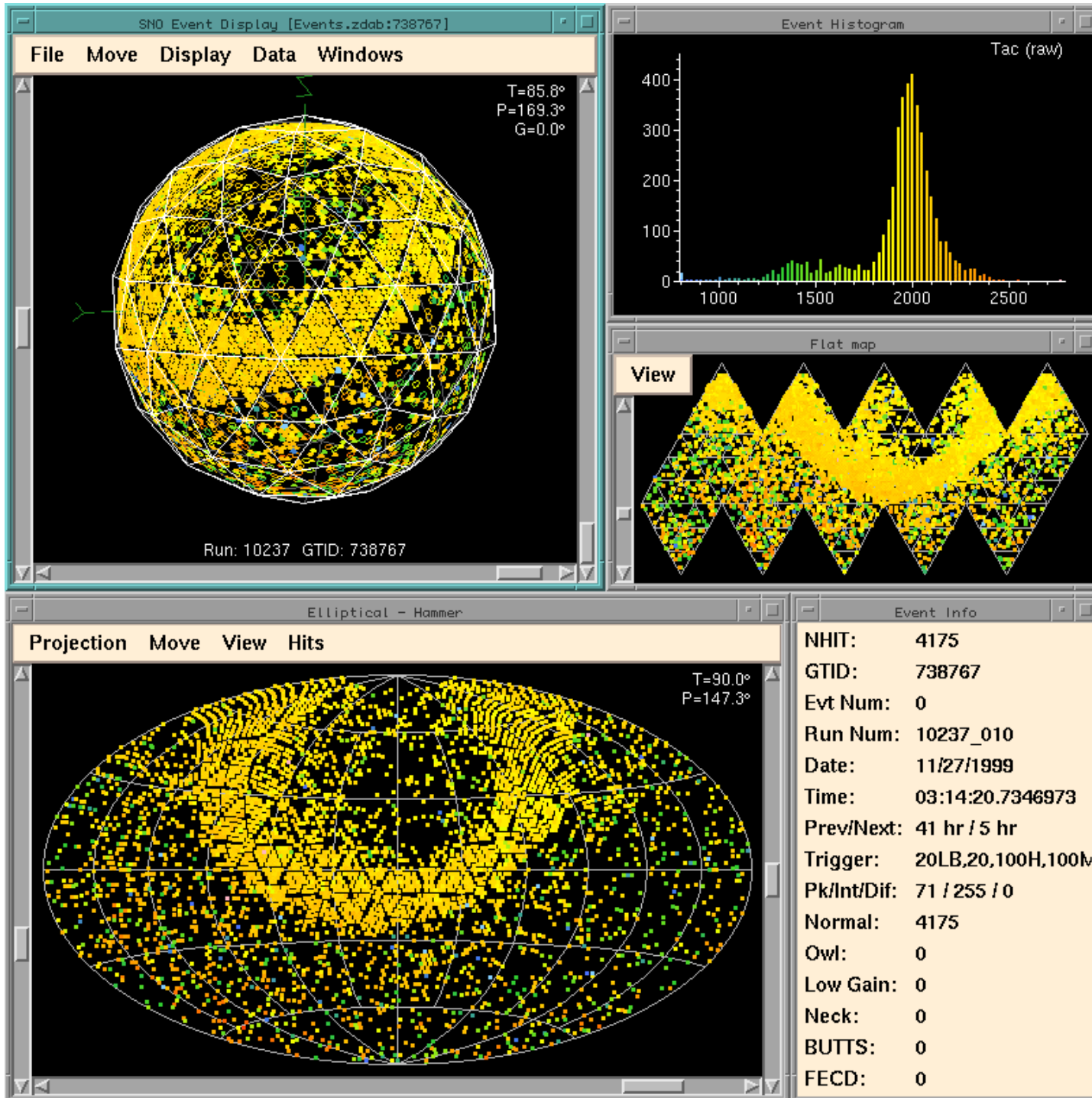


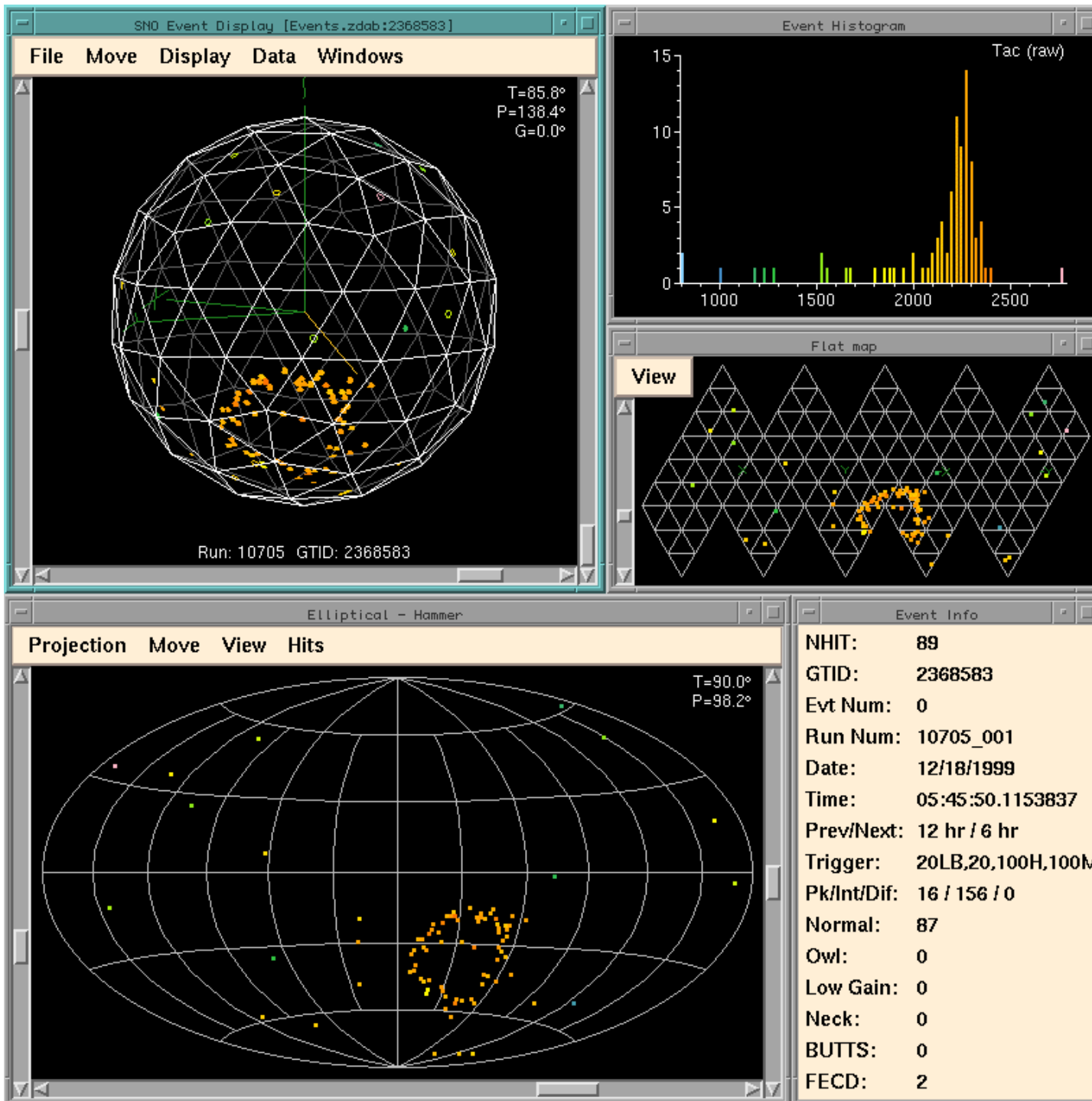
Megvan minden Nap-neutrínó, de csak 1/3-uk elektron-neutrínó!



Sudbury Neutrino Observatory





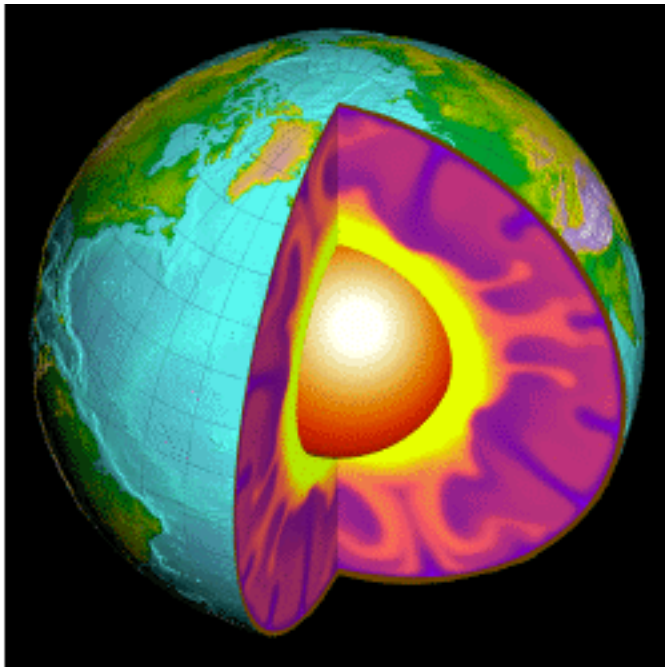


Geo-neutrínók

Mi a forrása a föld belsejét melegítő hőnek?

Földben levő β^- -bomló anyagokból (Th, U)

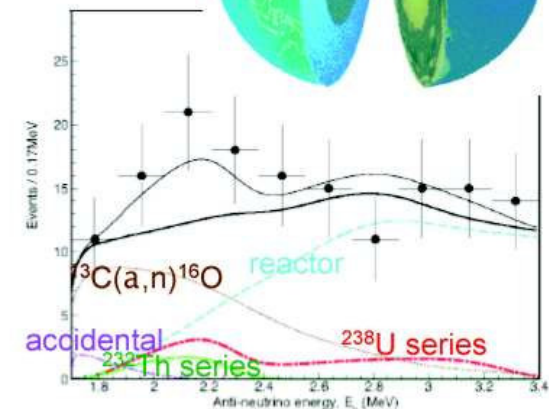
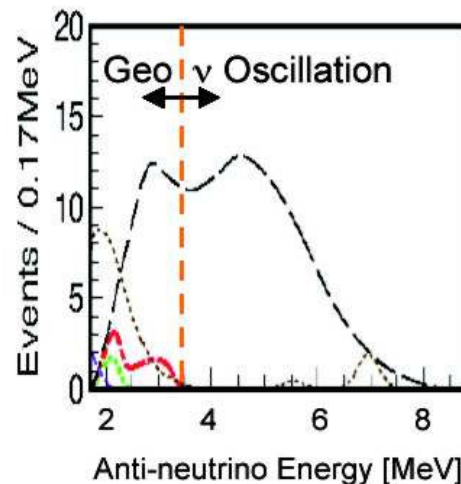
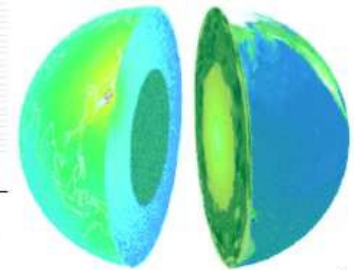
Ugyanakkor, nincs atomreaktor (láncreakció) a Föld belsejében.



Geo-physics with ν 's at KamLAND

Haruo Ikeda

- Exploring the Earth's interior with ν 's
 - the Earth's heat flow
 - $\bar{\nu}$ & energy from radio active decays

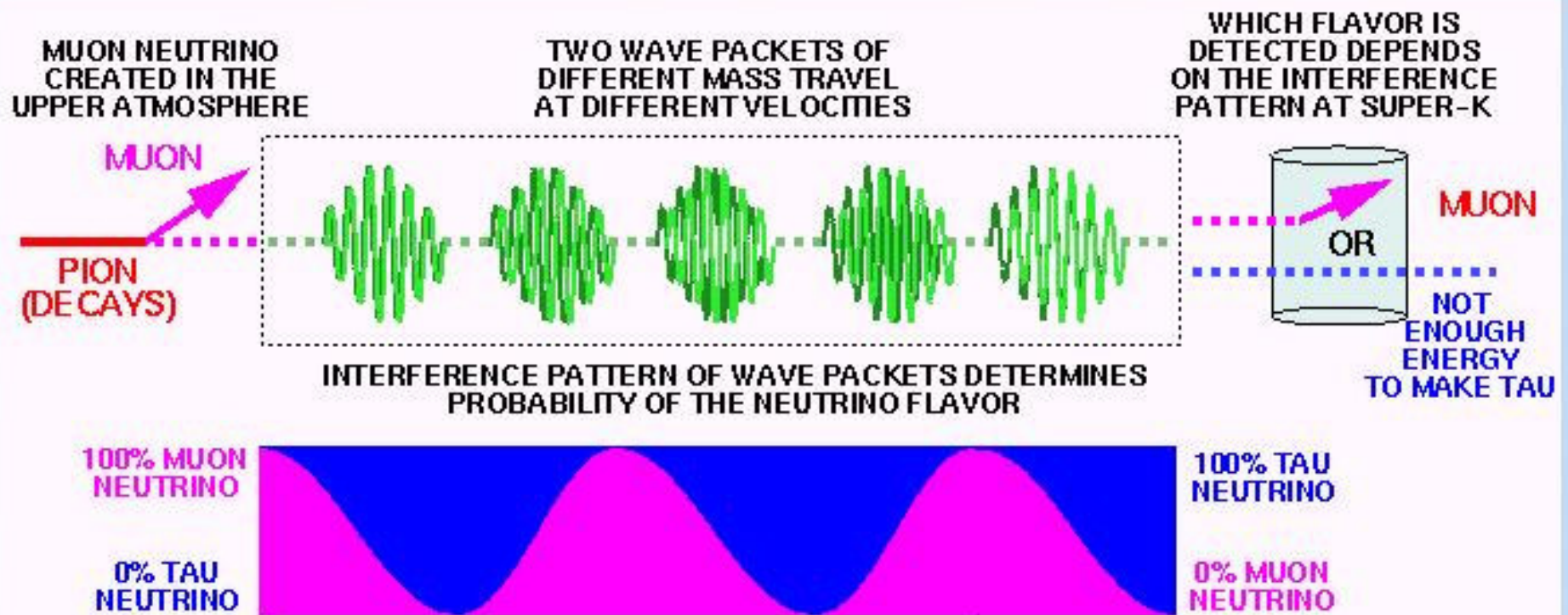


5 ~ 54 geo- ν events at 90% CL

Neutrínó-oszcilláció

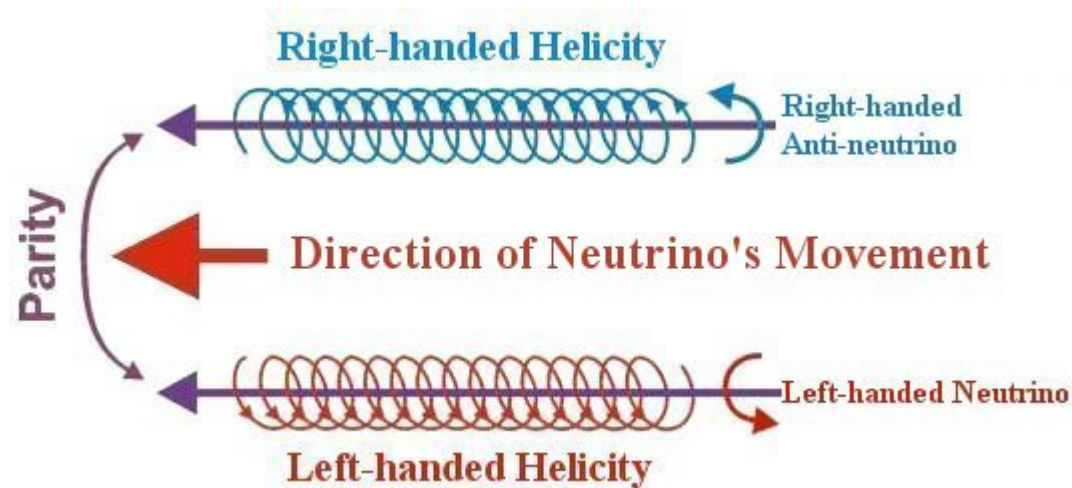
- Béta-bomlás H sajátállapota \leftrightarrow szabad mozgás

Neutrino Oscillation

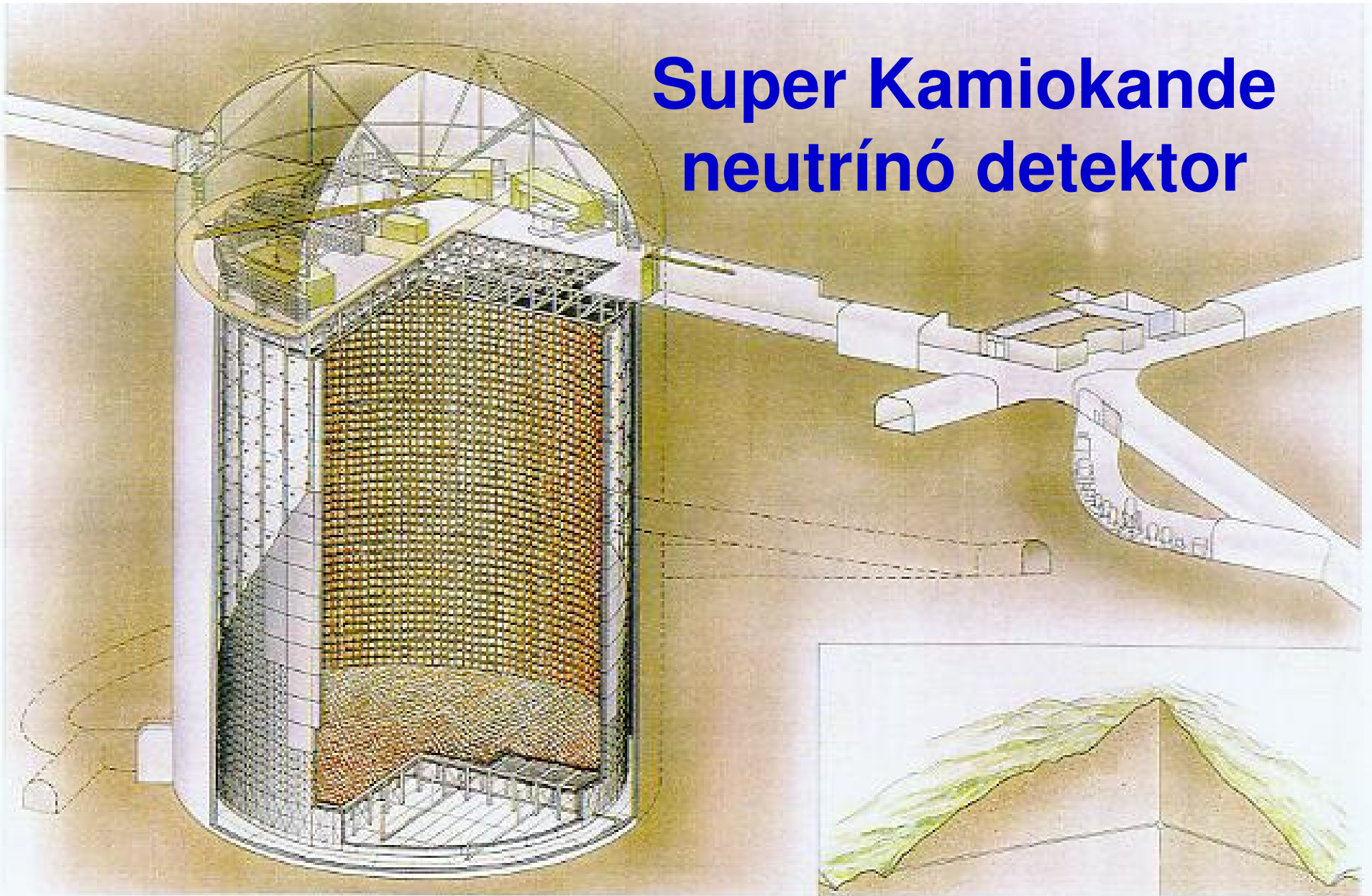


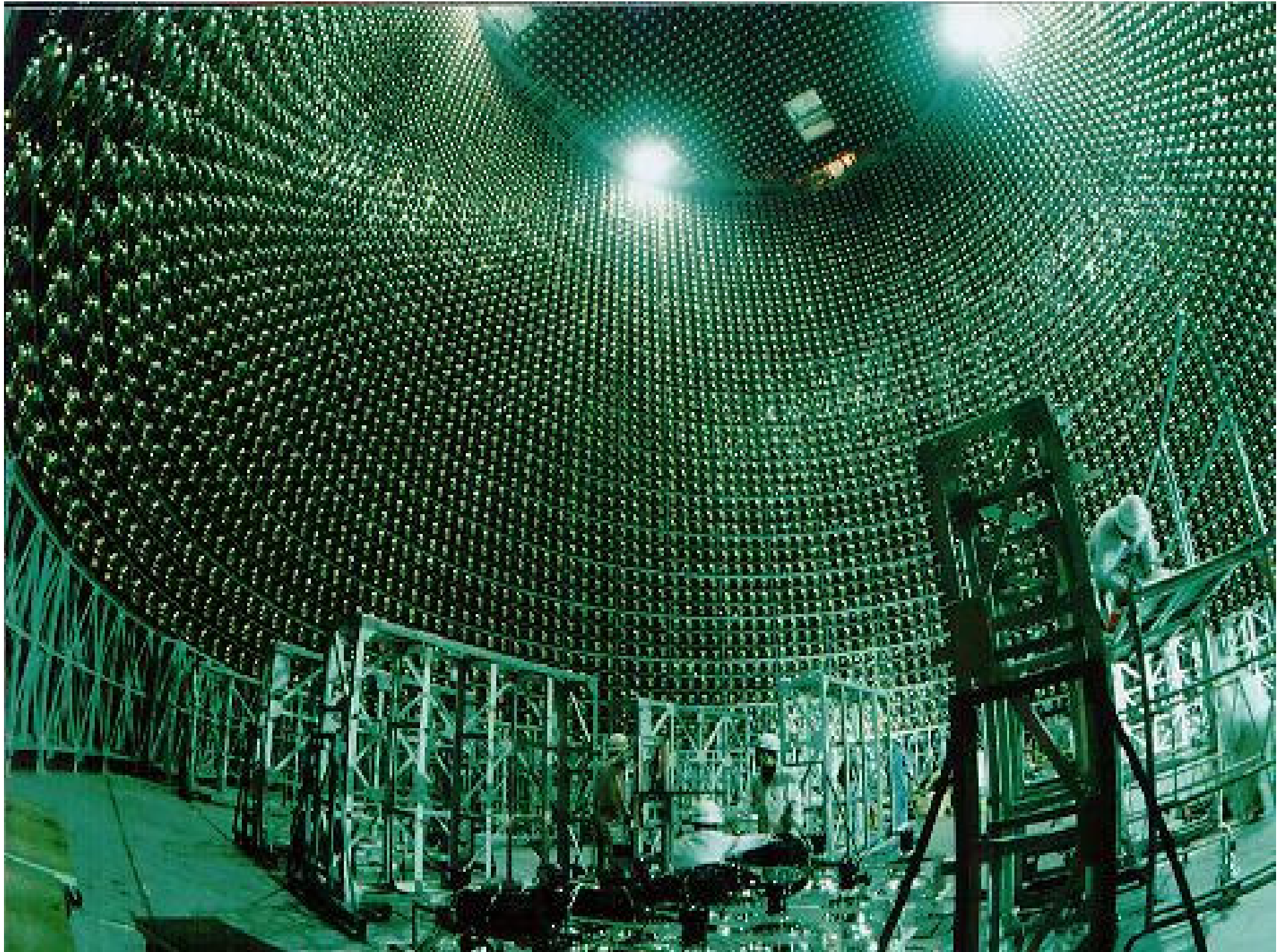
Balkezes neutrínók

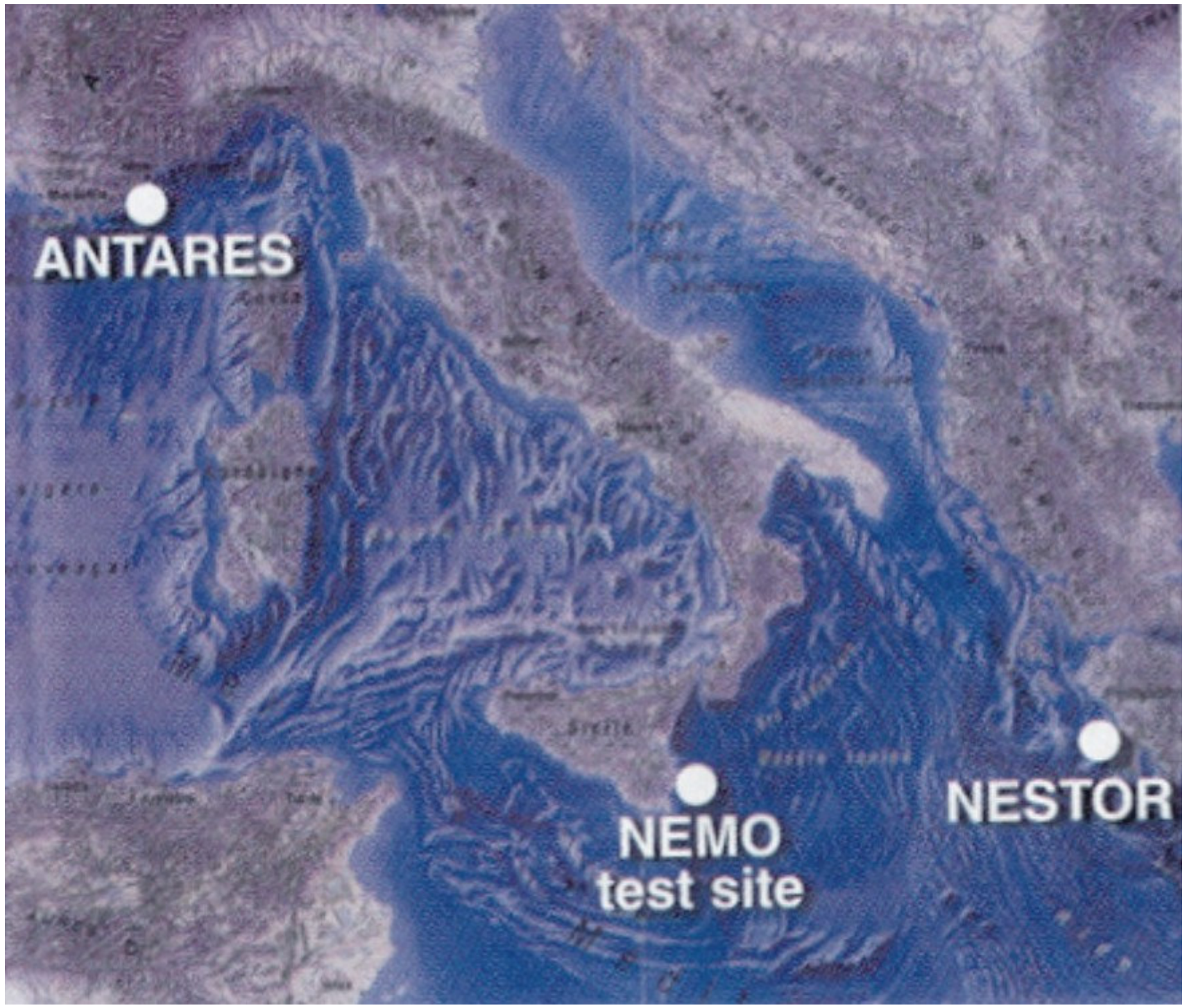
Wu-kísérlet, paritás nem marad meg:
nincsenek jobbkezes neutrínók



Super Kamiokande neutrínó detektor





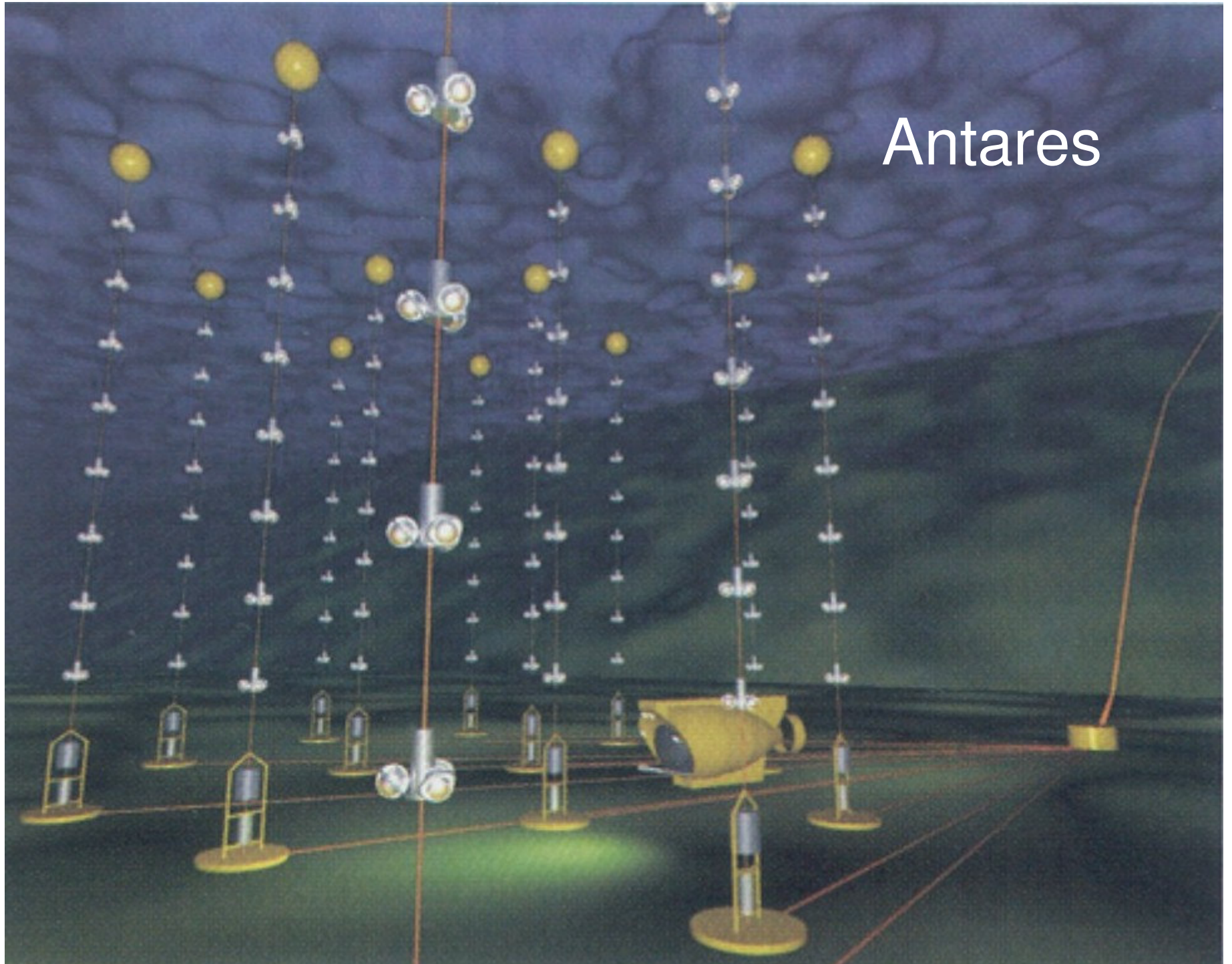


ANTARES

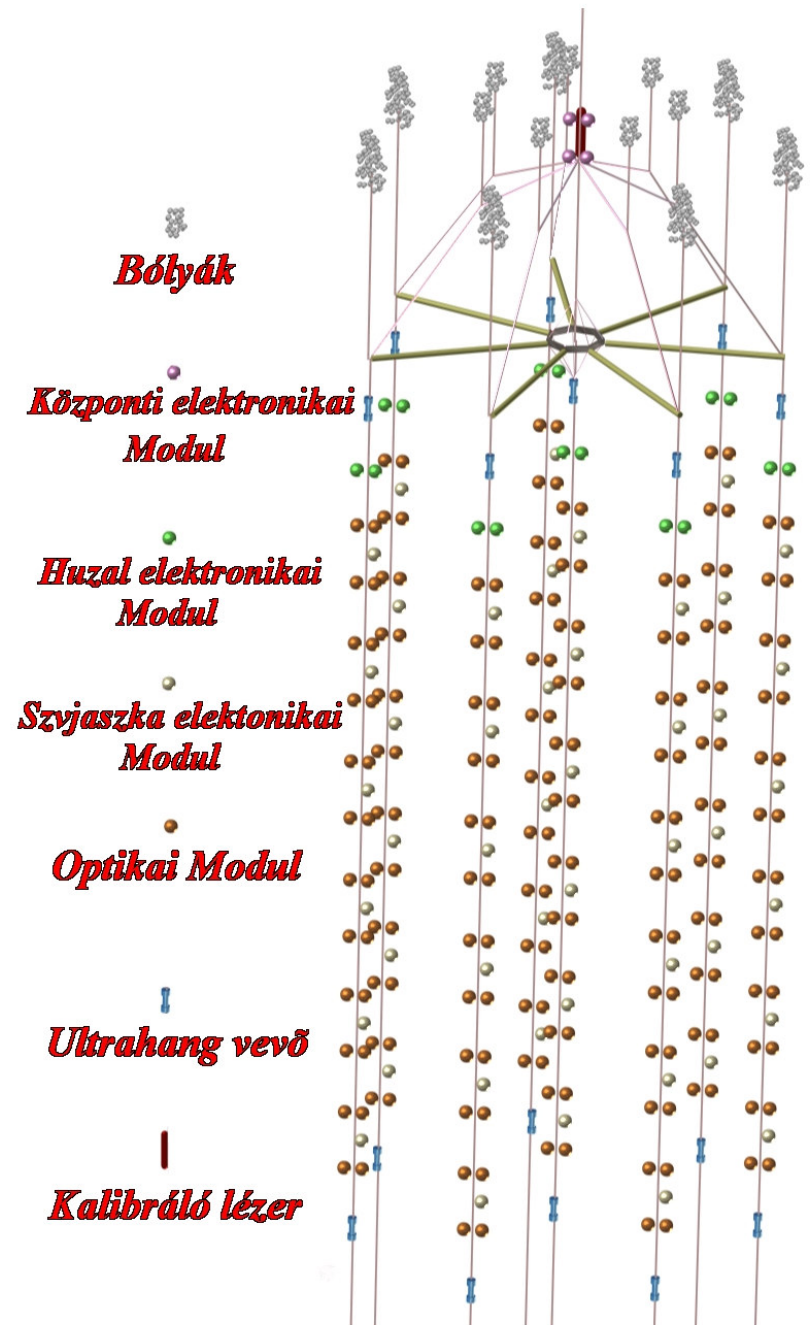
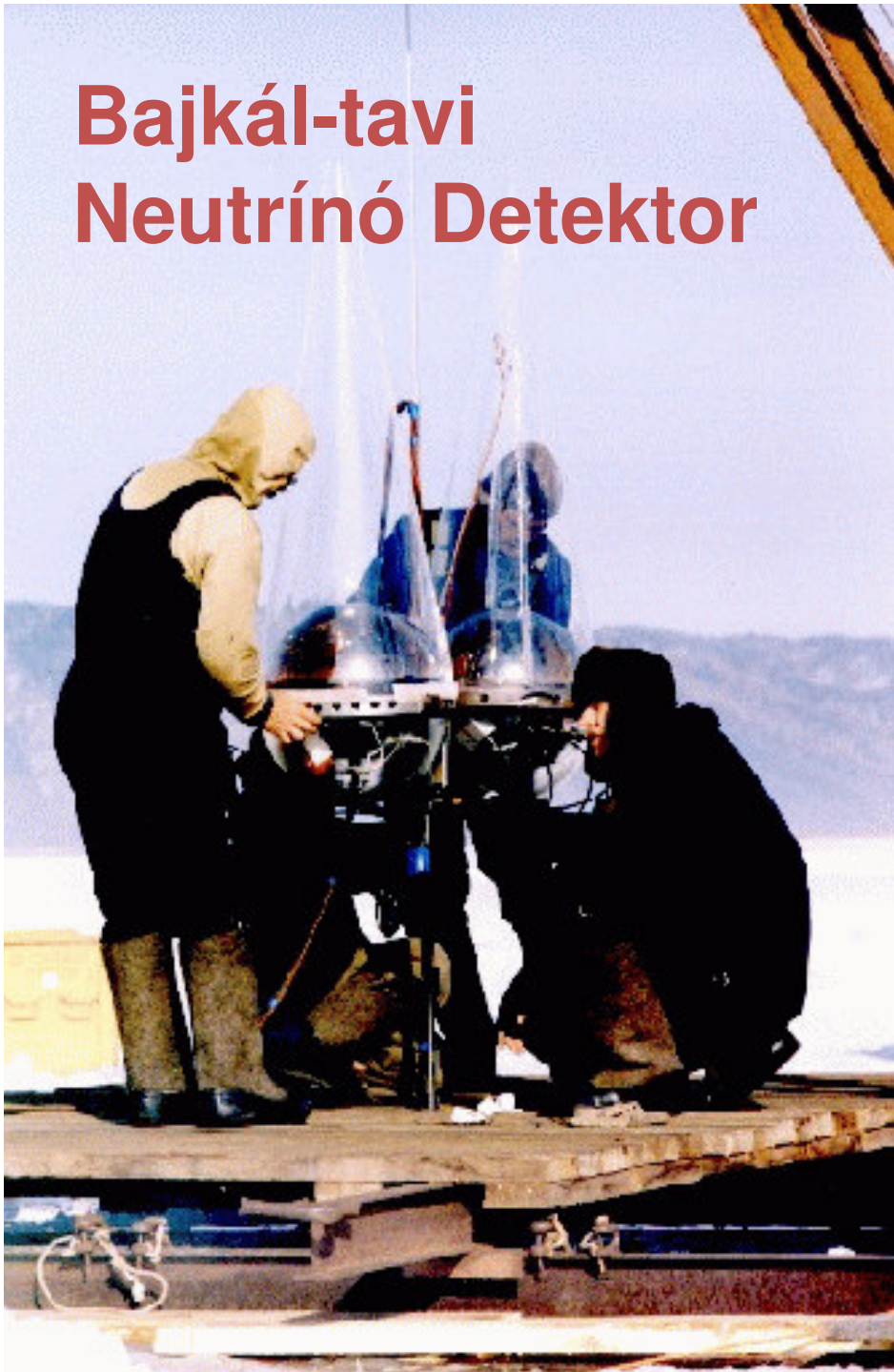
**NEMO
test site**

NESTOR

Antares



Bajkál-tavi Neutrínó Detektor



Részecskegyorsítók

Gyorsítófizika:

Nagyteljesítményű rádiófrekvenciás hullámok
hidegfizika, folyékony He
szupravezetés
mágnes tervezés és gyártás
vákuumtechnika

Részecskenyalábok fizikája:

egyrészecske-dinamika
kollektív effektusok
két nyaláb kölcsönhatása

Klasszikus mechanika, kvantummechanika, nemlineáris
dinamika, relativitáselmélet, elektrodinamika, számítástechnika

Óriási téma:

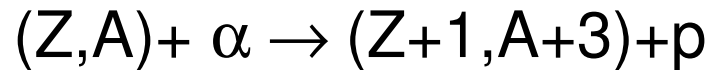
- Részecskegyorsítás
- Tárológyűrűk, részecskepályák
- Pályastabilitás (hosszú távon)
- Szinkrotronsugárzás
- Kollektív effektusok
- Modern gyorsítók: LEP, RHIC, LHC, ...

Történelem

Első gyorsító: 1932

Előtte: csak természetes α források, pl. rádium

Az egyetlen ismert magreakció:



Minden gyorsító elve:

elektromos térrel való gyorsítás (töltött részecskék!)

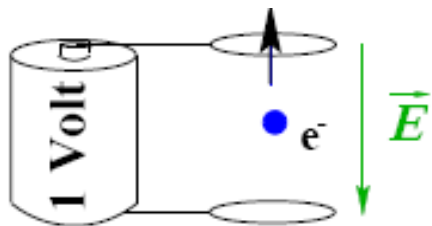
Nagyon változatos kivitelezés

Gyorsítás elektromágneses térrel

Lorentz-erő:

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = Q * \left(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B} \right)$$

Csak az elektromos tér gyorsít, a mágneses nem!



$$1 \text{ eV} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

keV, MeV, GeV, TeV

Teljes részecske-energia:

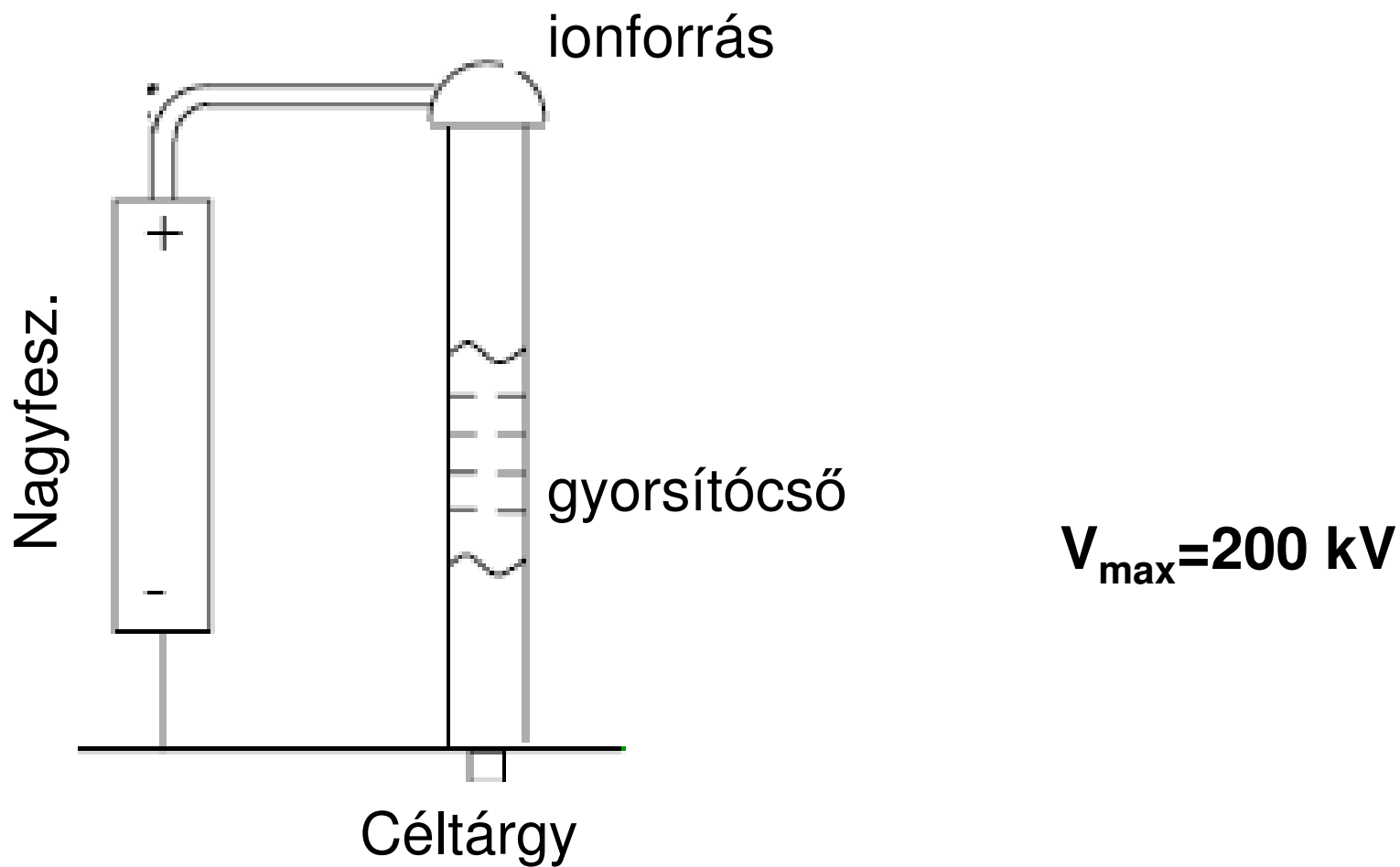
$E = \gamma mc^2$ ahol:

$$\gamma = 1/\sqrt{1 - \beta^2}; \quad \beta = v/c$$

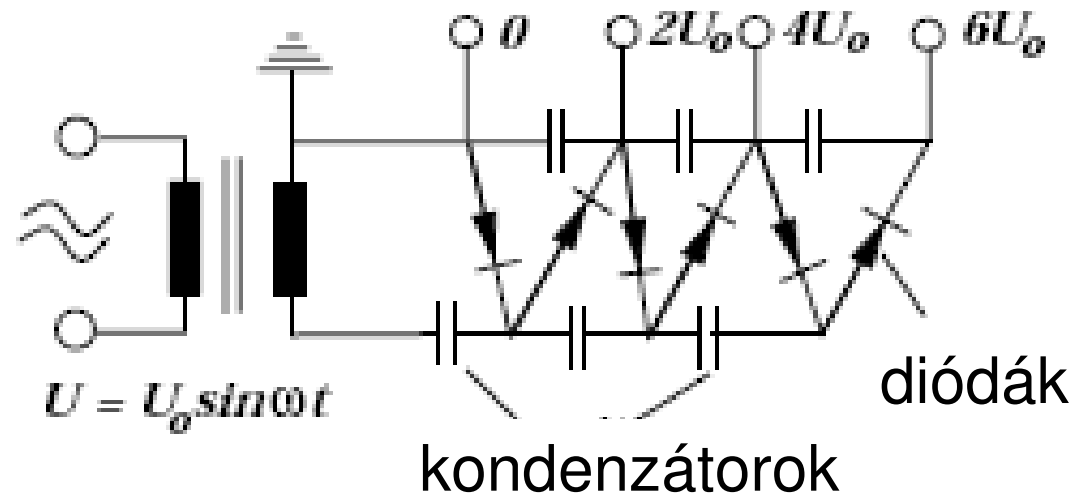
Álló elektron: $E = 0.511$ MeV

Álló proton: $E = 0.938$ GeV

Ionforrás nagyfeszültséggel

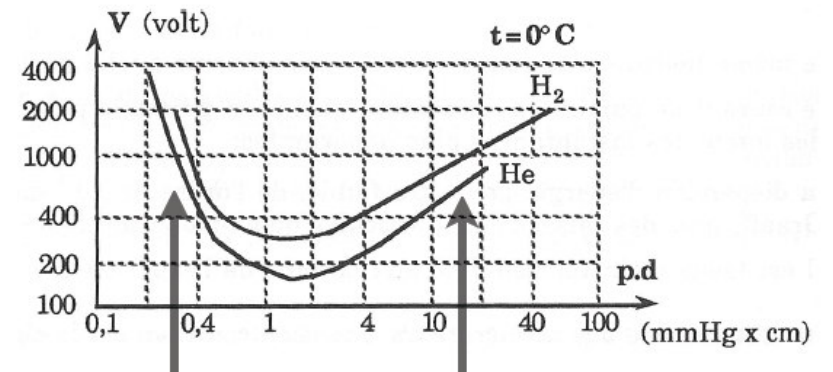
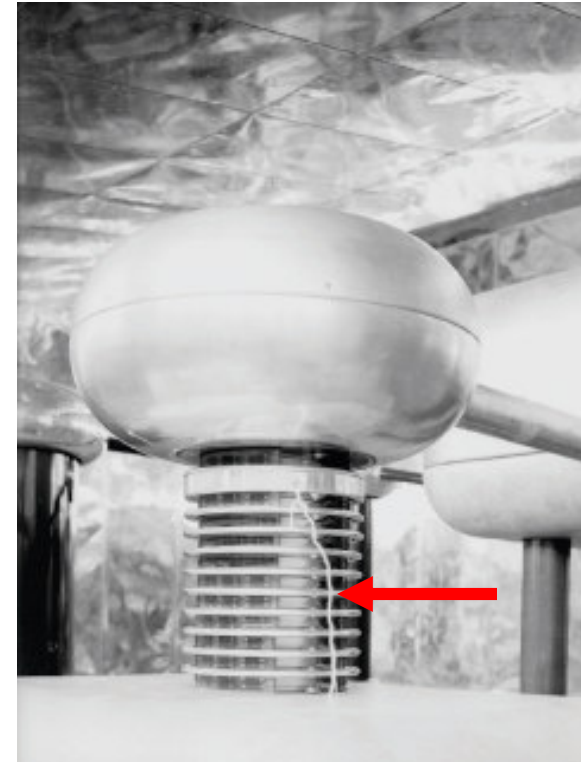


Kaskád-feszültséggenerátor



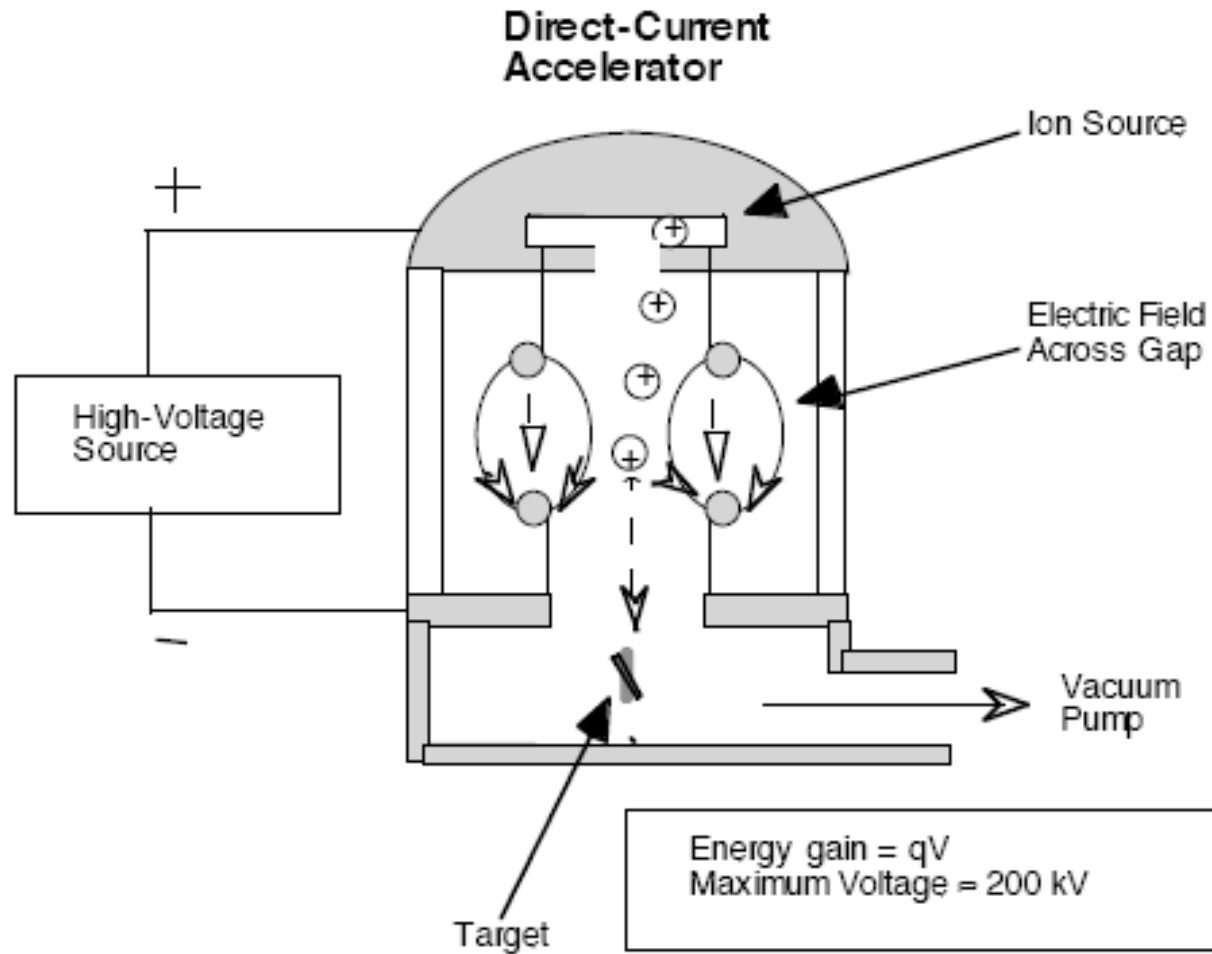
Váltófeszültség → nagy egyenfeszültség
Egyszerű, olcsó, könnyű (transzformátorhoz képest)
Bármelyik szakaszból levehető a kívánt feszültség

Limitáció: 1 MV



Átütési feszültség

Cockcroft-Walton, 1932



Max. 1 MV, feszültségduplázó áramkörökkel,
Első proton-gyorsító. Ma: injektorokban alkalmazzák.
1951: Nobel-díj: $p + \text{Li} \Rightarrow 2\text{He}$ (alagúteffektussal. ≈ 100 keV)

Van de Graaff, 1929

Mozgó szalagról állandó pozitív sztatikus töltésutánpótlás → nagy, 10 MV feszültség!

Ionforrás: a pozitívan töltött gömbben, +10 MV és a földpotenciál között gyorsulnak

Feszültség növelése: „tandem” elv (1950).

-először: negatív ionok.... Pozitív terminál felé gyorsulnak ... stripper (elektronok eltávolítása)... sokszorosan pozitívan töltött ionok... visszafele (termináltól távolodva) is gyorsulnak! (pl. 25 MV, Holifield, Oak Ridge NL)

A Van de Graaf generátor működési elve

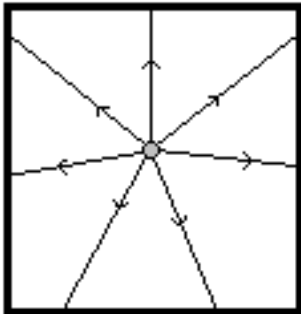


FIG. 1
A CHARGED METAL
BALL AND THE E-FIELD.
(REPRESENTED BY
LINES)

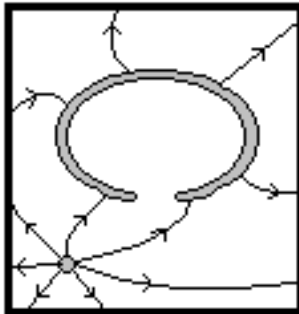


FIG. 2
CHARGED METAL
BALL APPROACHES
A NEUTRAL HOLLOW
SPHERE.

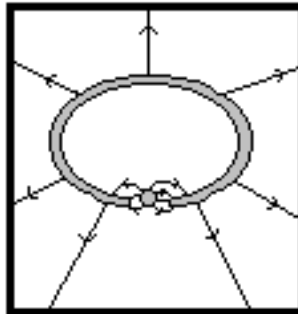


FIG. 3
CHARGED BALL GOES
INSIDE.

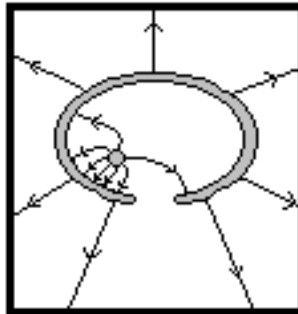


FIG. 4
CHARGED BALL
INSIDE HOLLOW
SPHERE.

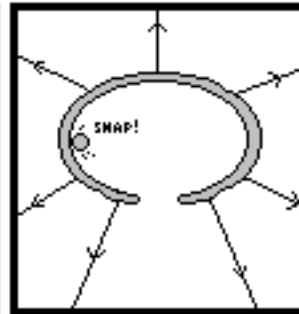


FIG. 5
CHARGED BALL
TOUCHES THE
INSIDE OF THE
HOLLOW SPHERE
AND LOSES ALL ITS
CHARGE TO THE
SPHERE.

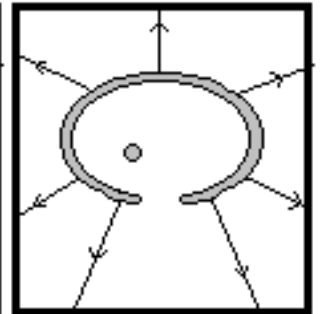
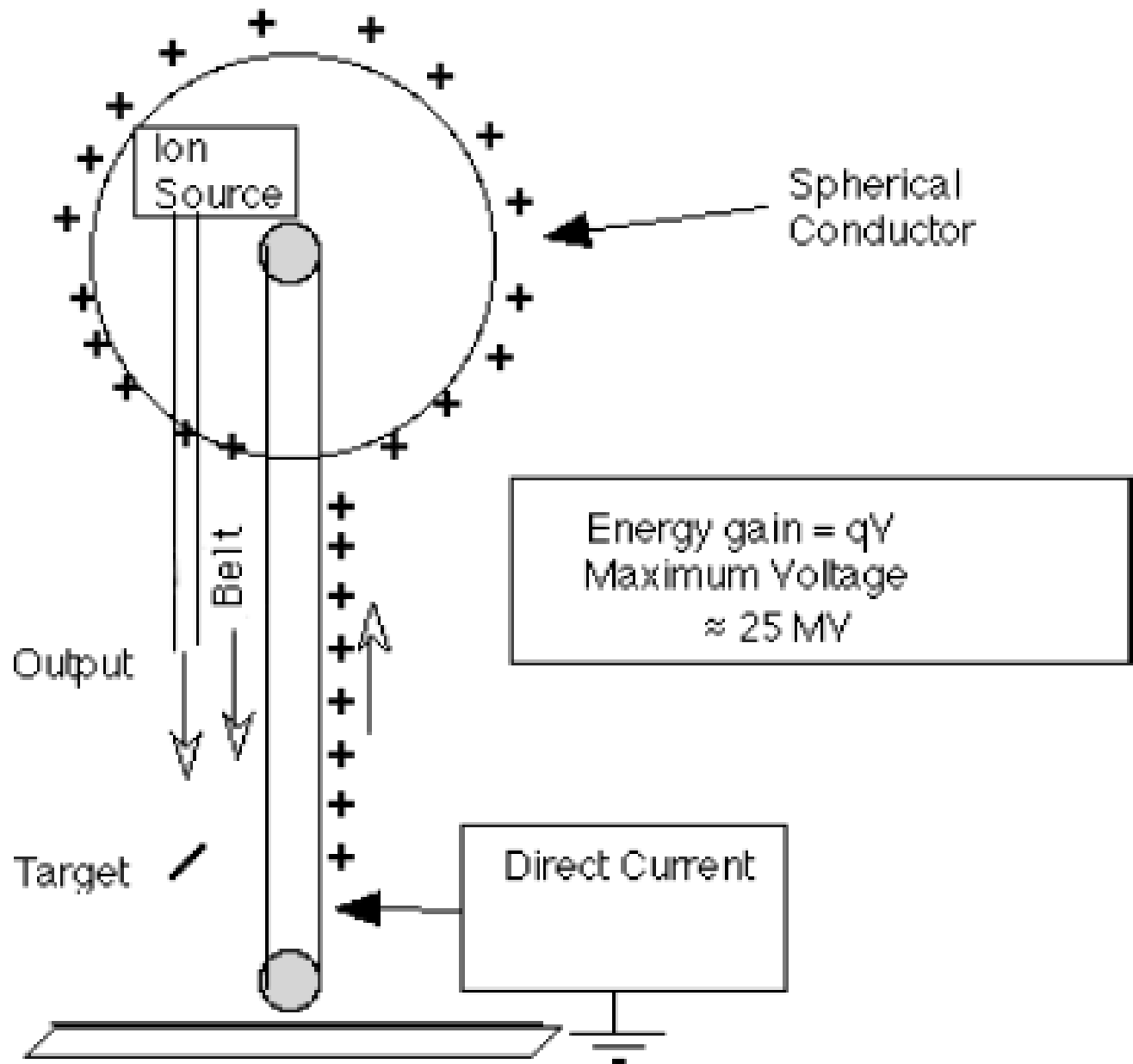
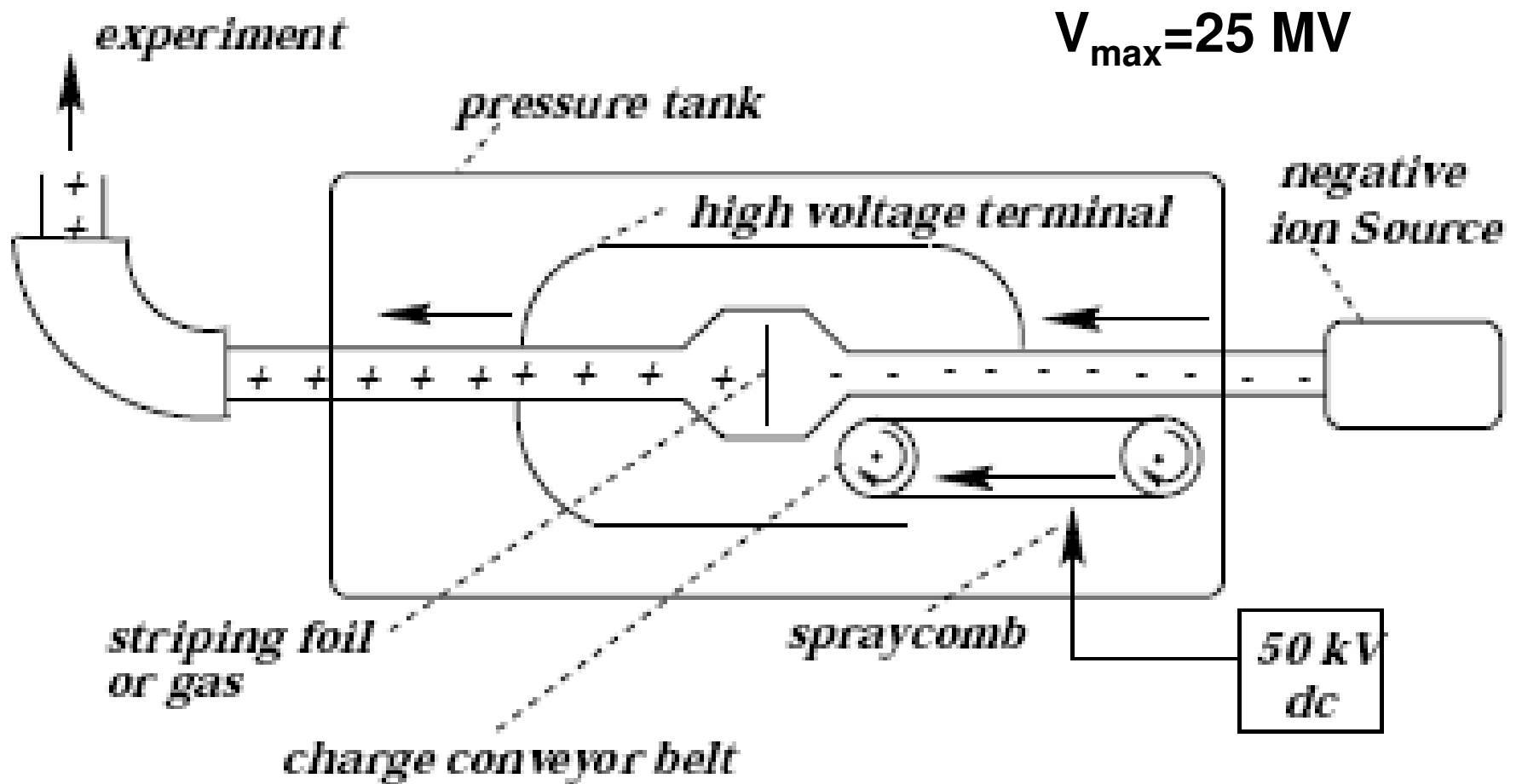


FIG. 6
NEUTRAL METAL
BALL CAN NOW BE
REMOVED.



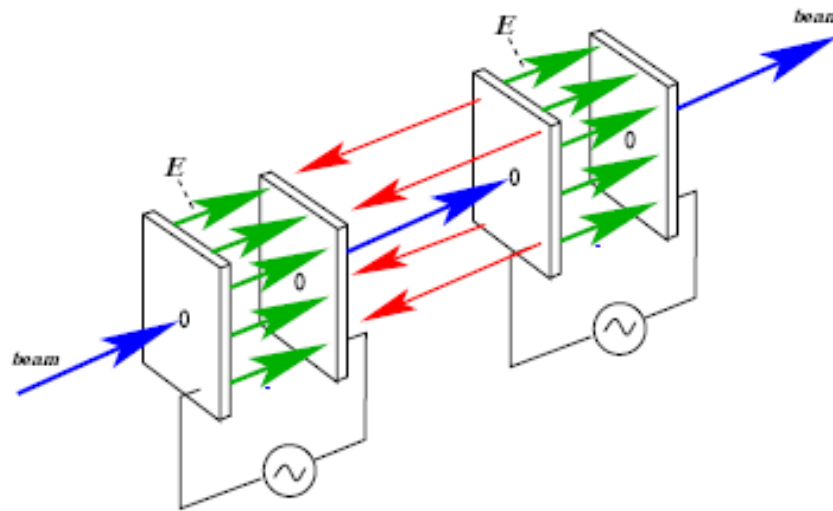
Tandem van de Graaf generátor



Limitációk:

- mekkora potenciálkülönbség tartható fenn
- negatív ion kell (egyres elemekre nincs, nehéz)
- általában csak egyszeresen negatív ionok

Változó elektromos terek



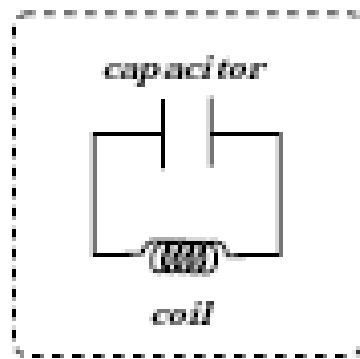
Lineáris gyorsító (LINAC)

Csomagocskákban vannak az ionok

Hosszú gyorsító kell!

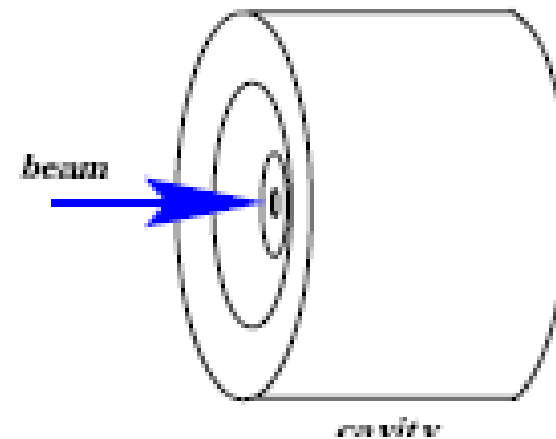
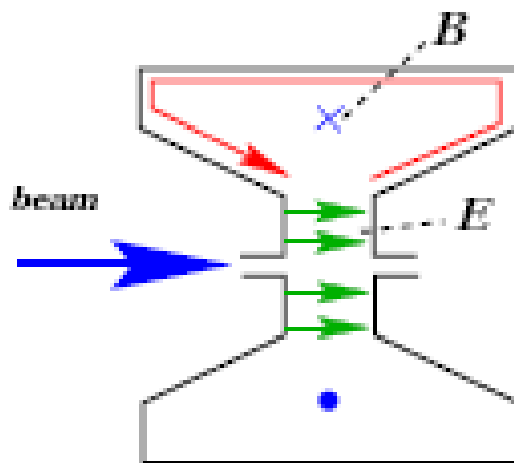
Változó tér kell!

Rezonátor

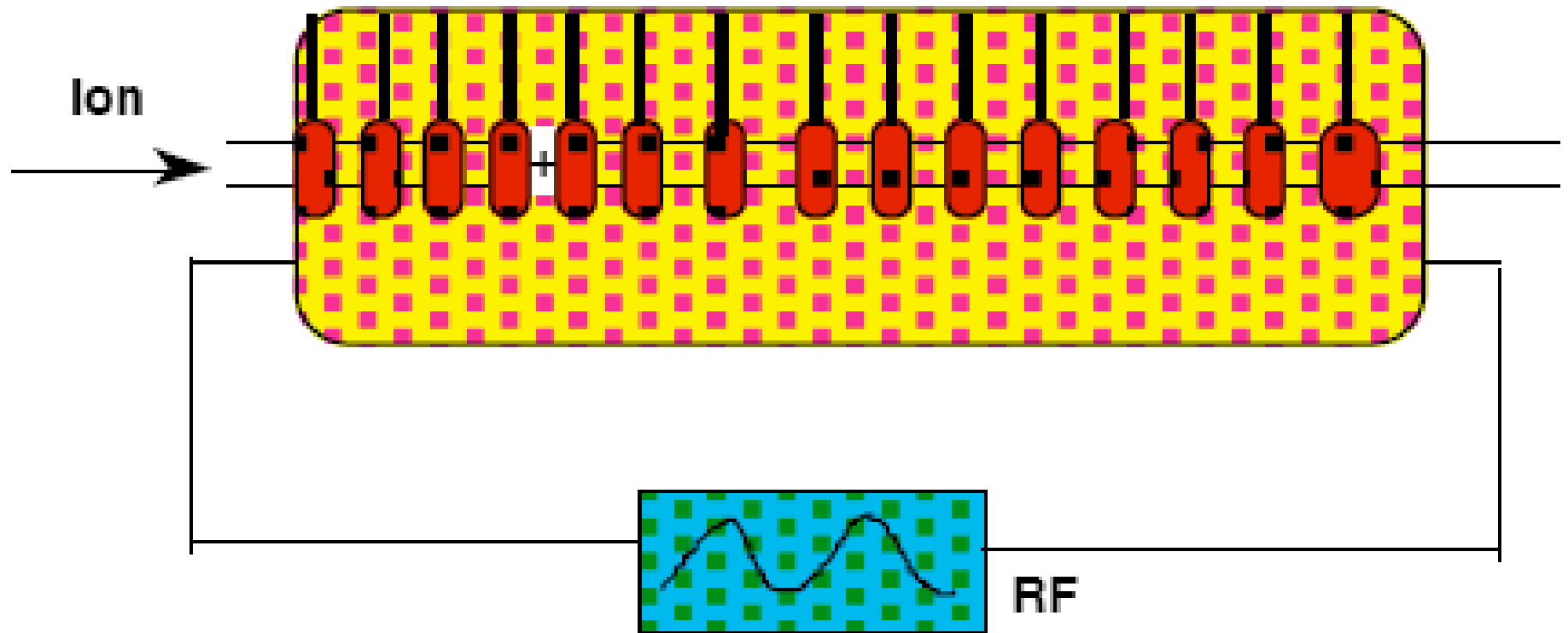


$$L = \frac{\mu_0 \cdot N^2 \cdot A}{l}$$

$$C = \frac{\epsilon_0 \cdot A}{d}$$



Lineáris gyorsító (linac)



Rádiófrekvenciás gyorsítás: kisebb
potenciálkülönbség elég

Pozitív ionokat injektálunk

Megfelelő fázisban levő RF: gyorsít

Elektródák közti távolság nő... szinkron megőrzése

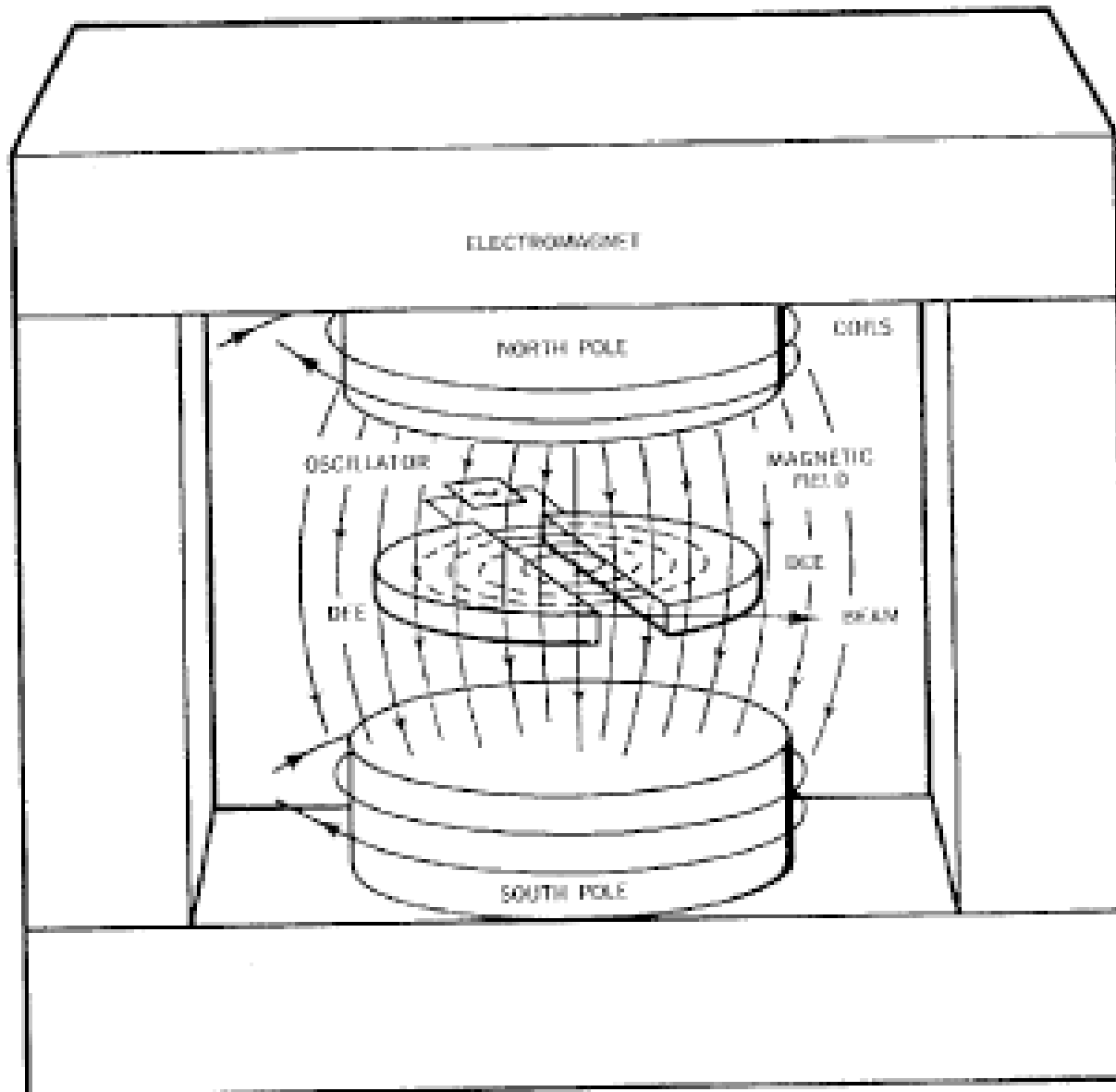
R. Videroe (1928): első ilyen gyorsító, 50 keV

1945 után: nagy telj. rövidhullámú oszcillátorok

e, p, nehézion

SLAC (Stanford), 50 GeV elektron, pozitron, 3 km

Ciklotron

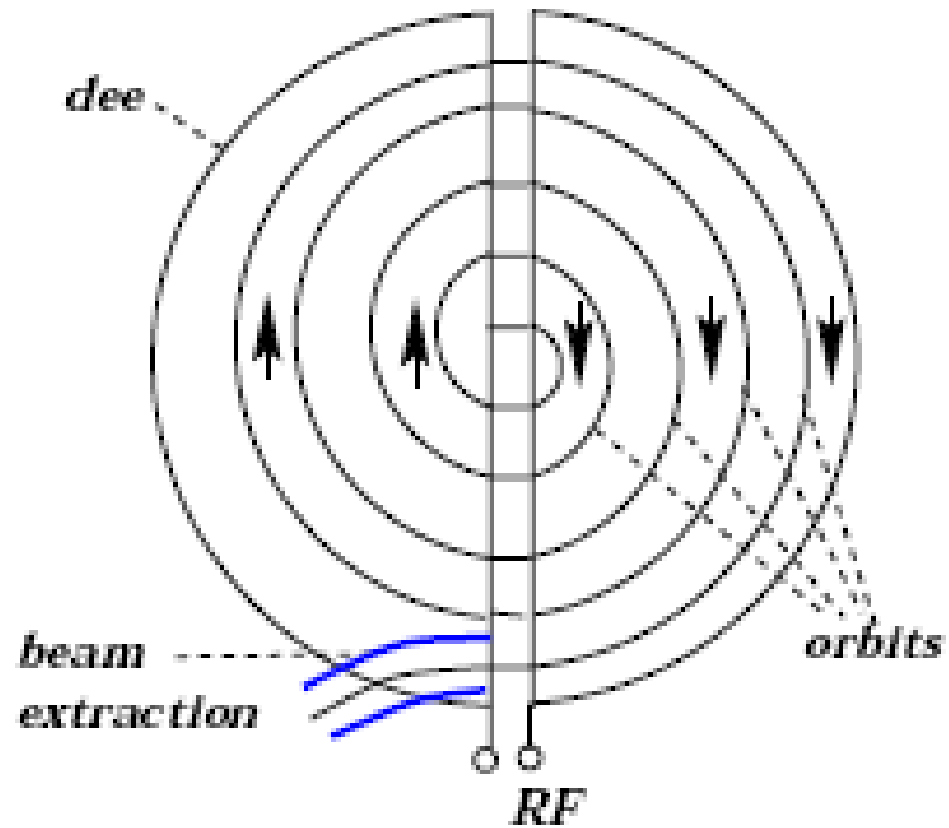


Ciklotron

1929 Lawrence

1931 Livingston 80 keV

1932 Lawrence 1.2 MeV



Lawrence, 1929-30 (80 keV protonok)

RF elektromos tér itt is

Mágneses tér: spirálban mozognak kifelé az ionok,

Középen injektálunk

A D alakú elektródák közti résen (gap) áthaladva gyorsulnak

Nem-relativisztikusan: minden félkör ugyanannyi idő

(sebesség, pályasugár és megtett út arányosak)

Relativisztikusan: nem igaz... limitáló tényező energiában

Ezért főleg ionok gyorsítása: magfizika, radioaktív elemek gyártása, orvosi alkalmazások

PI. NSCL National Superconducting Cyclotron Laboratory,
East Lansing, MI



NSCL ciklotron

Szinkrotron

Kiküszöböli a speciális relativitáselmélet miatti ciklotron-limitet:

Mindig ugyanaz a pályasugár, miközben a mágneses teret fokozatosan növelik

RF oszcillátor: gyorsítás mint eddig.

Példa: RHIC – Relativistic Heavy Ion Collider, NY

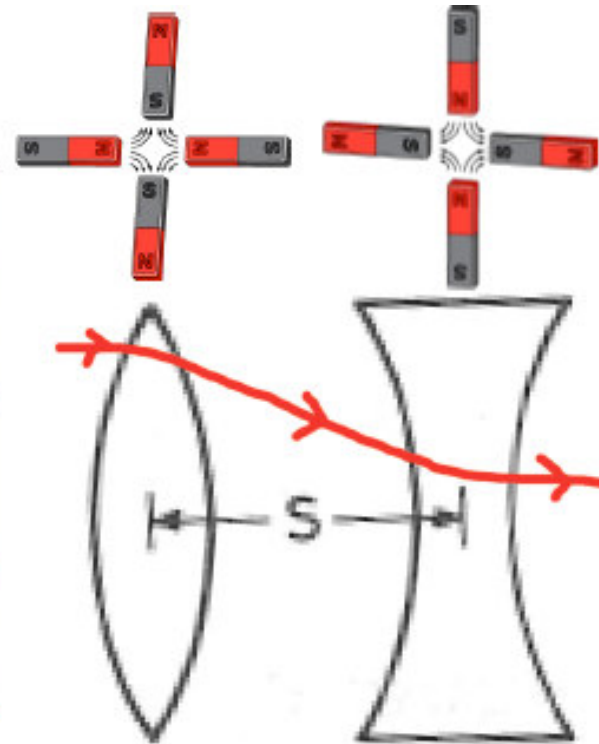
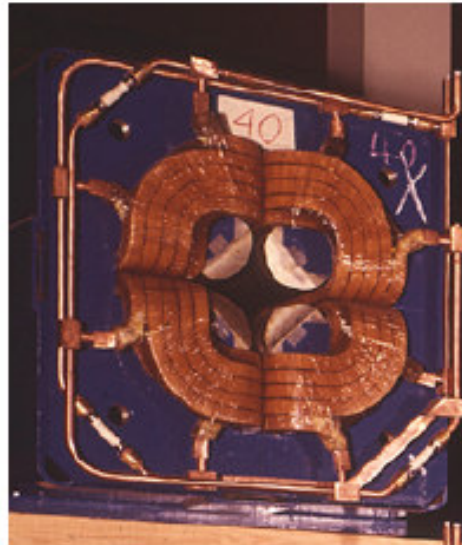
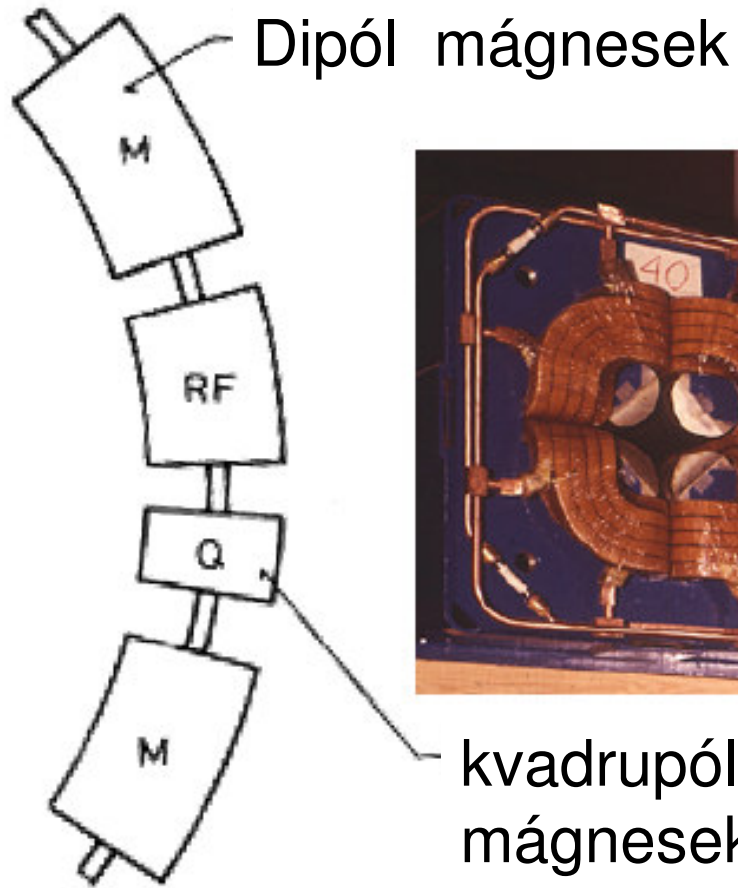
LHC – Large Hadron Collider, Genf

1949 elektronok

1952 3 GeV protonok

1955 Bevatron 6 GeV protonok

Modern szinkrotron, fókuszálással



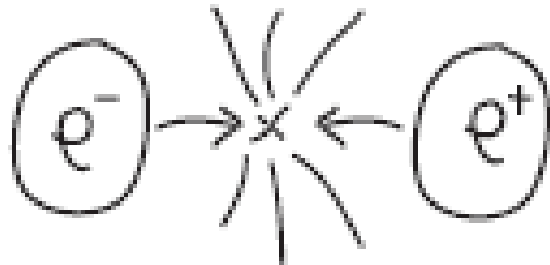
Minden mai szinkrotron
így működik

Mai gyorsítók paraméterei

Frascati	0.5 GeV	1999
Cornell	6 GeV	1979
KEK	8 GeV	1999
SLAC PEP-II	12 GeV	1999
SLAC SLC	50 GeV	1989
CERN LEP	105 GeV	1989
DESY HERA	30(920) GeV	1992
CERN SPS	300 GeV	1981
Tevatron	1000 GeV	1987
CERN LHC	7000 GeV	2009

Nem teljes lista, számos más is! Legközelebbi: Austron (Bécsújhely)

Milyen részecskét ütköztessünk?



Elektronok: pontszerűek.
Az energia teljesen az ütközésre fordítódik.

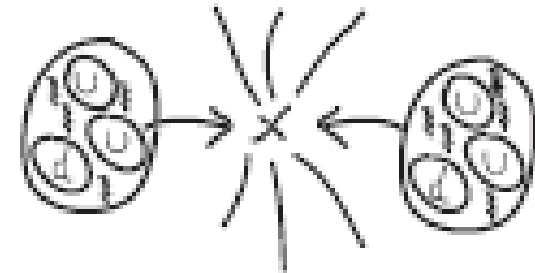
Előny:

Az energia pontosan ráállítható pl. egy részecsketömegre (W,Z), precíziós mérések

Hátrány:

Egy adott energia fölött túl sok szinkrotronsugárzás

LEP



Az energiát a proton összetevői hordozzák, de csak az egyik összetevő ütközik!

Előny:

Egyetlen energián sok folyamat tanulmányozható (felfedezések!)

Hátrány:

Kiseb energia fordítódik az ütközésre, mint a nyalábenergia

LHC

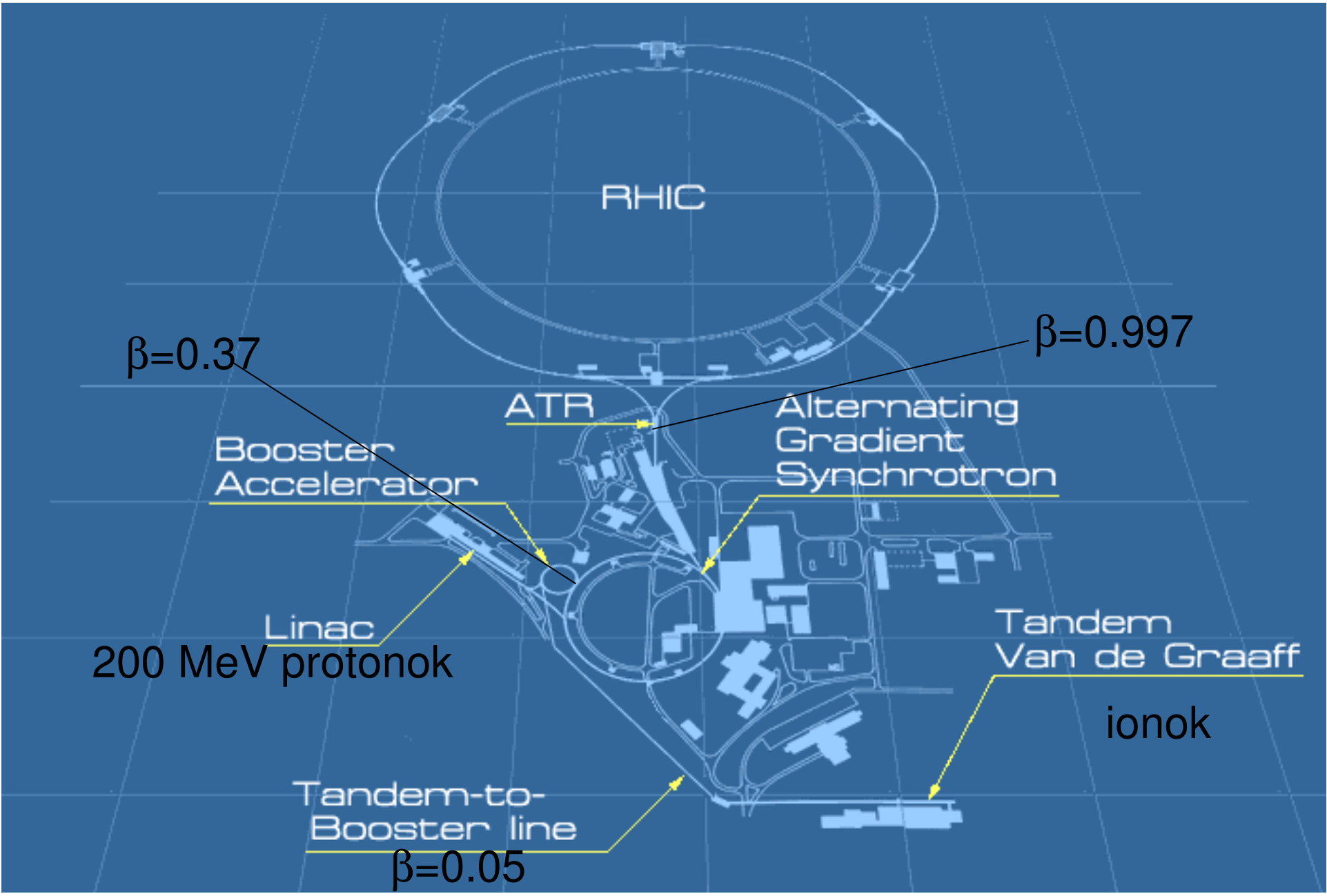
Gyorsítók és részecskefizika

(példa)

1978 előtt: antiproton élettartam: 0,12 ms (!)

1978: ICE tárológyűrű: 240 antiprotont tároltak 85 óráig

⇒ proton és antiproton élettartamok hasonlóak lehetnek!



RHIC

$\beta=0.997$

$\beta=0.37$

ATR

Alternating
Gradient
Synchrotron

Booster
Accelerator

Linac

200 MeV protonok

Tandem
Van de Graaff

ionok

Tandem-to-
Booster line

$\beta=0.05$

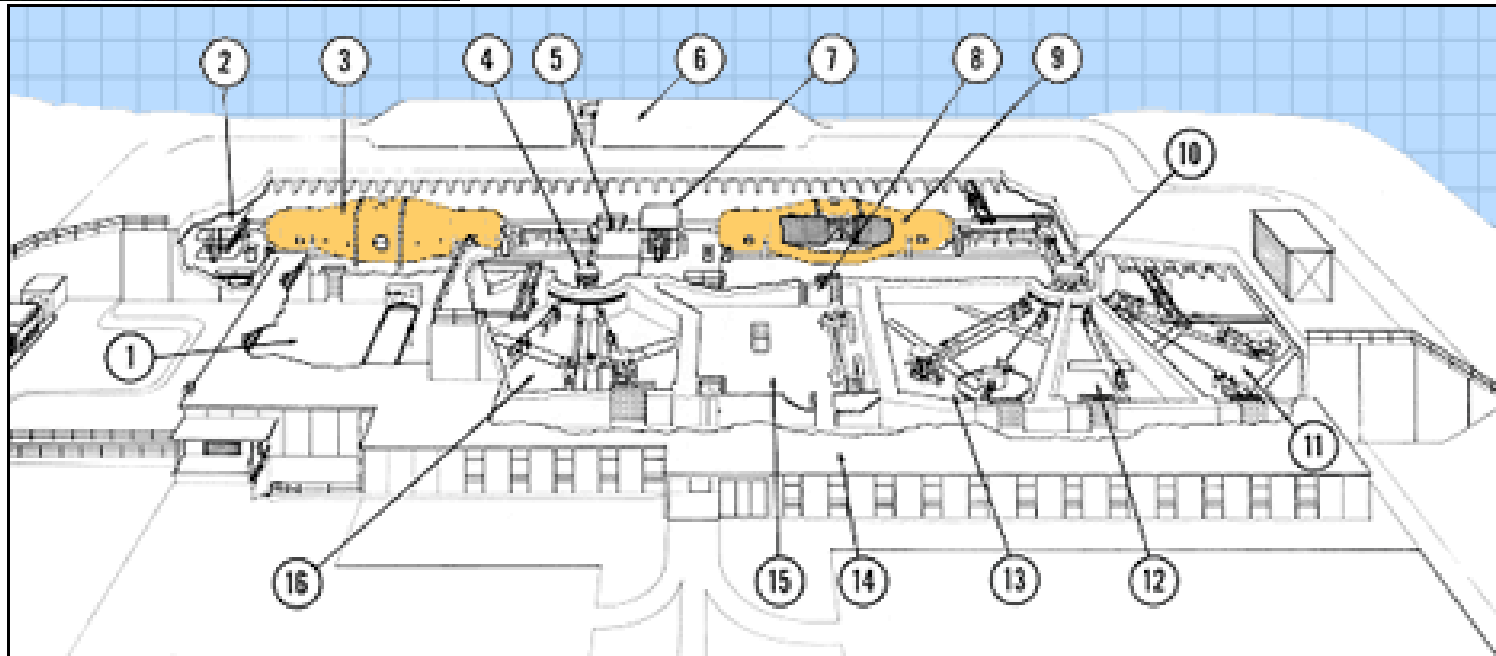


BNL Tandem van de Graaf

1970

40 féle ion, H.... U

Kettő 24 m hosszú, 15 MV gyorsító



BNL lineáris gyorsító

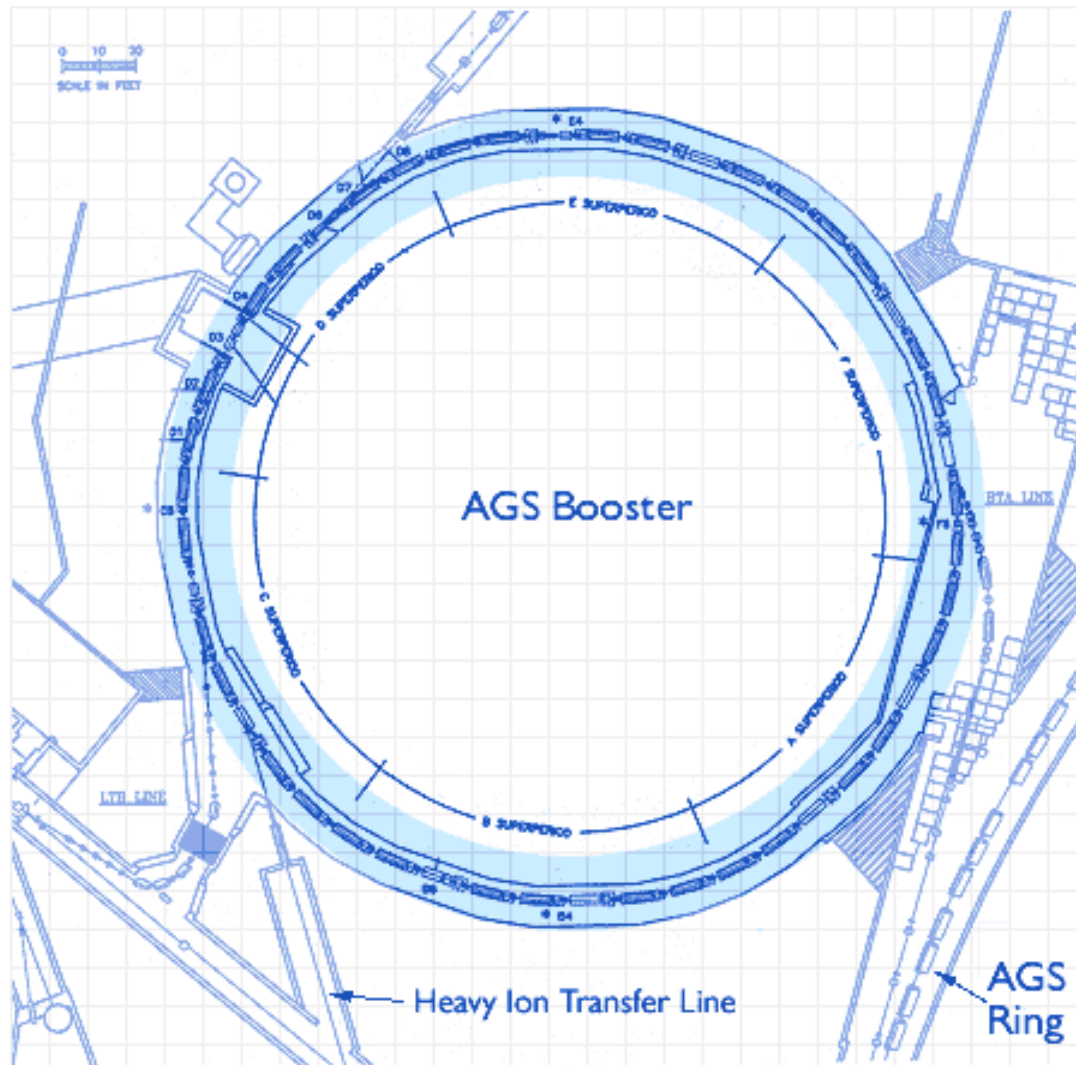


1960-as évek
Protonnyaláb, 35 mA
áramforrás (!!!)
ionforrás
459 láb hosszú,
9 RF szekció, 200 MeV

BNL „booster”

1986-91

vdG-ból vagy linacból fogad el nyalábokat, előgyorsítás, nagy vákuum: Au atommag gyorsítás is



BNL AGS (Alternating Gradient Synchrotron)

1960

Egyik legsikeresebb gyorsító:

3 Nobel-díj:

1988 muon-neutrínó (Lederman,
Schwartz, Steinberger), neutrínó-nyaláb

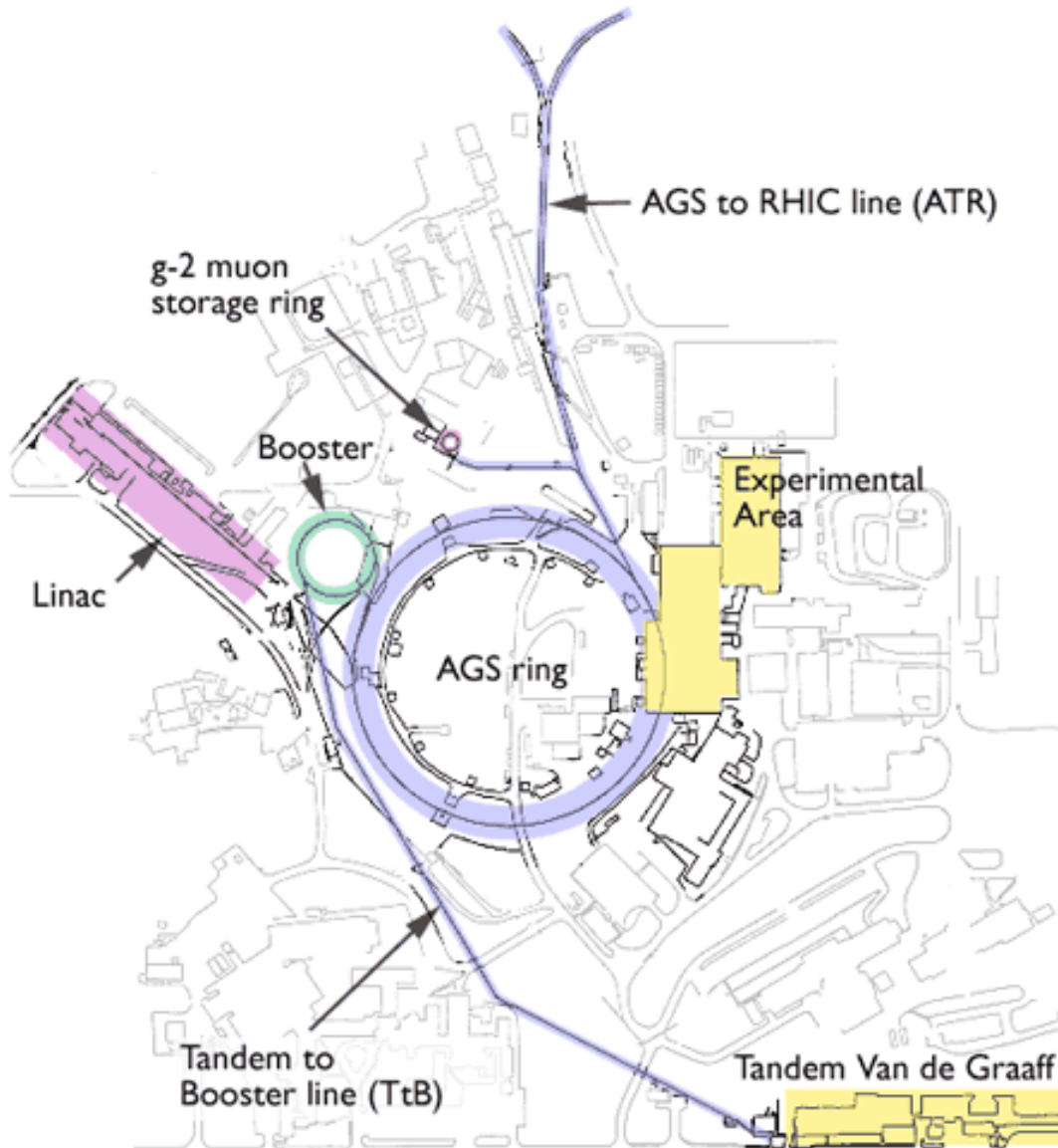
1980 CP-sértés (Cronin, Fitch). $K_L \rightarrow 2\pi$

1976 Ting: J/Ψ (c kvark)

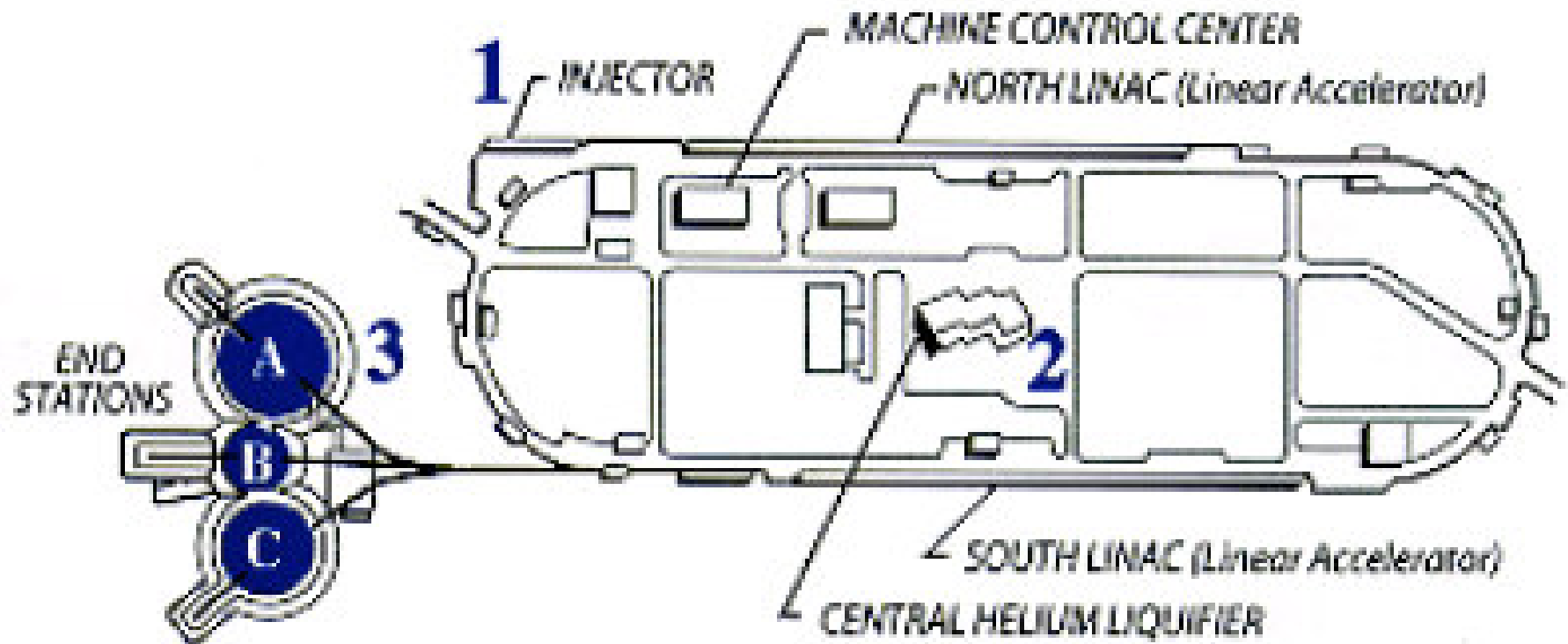


BNL AGS

Alternating gradient
Focusing:
240 mágnes váltakozó
mágn. térrel fókuszálás
vízszintes és függőleges
síkban is.
 $25 \cdot 10^{12}$ proton/csomag



Folyamatos elektronnyaláb



JLAB- Thomas Jefferson National Accelerator Facility,
Newport News, VA, USA



Ionforrások

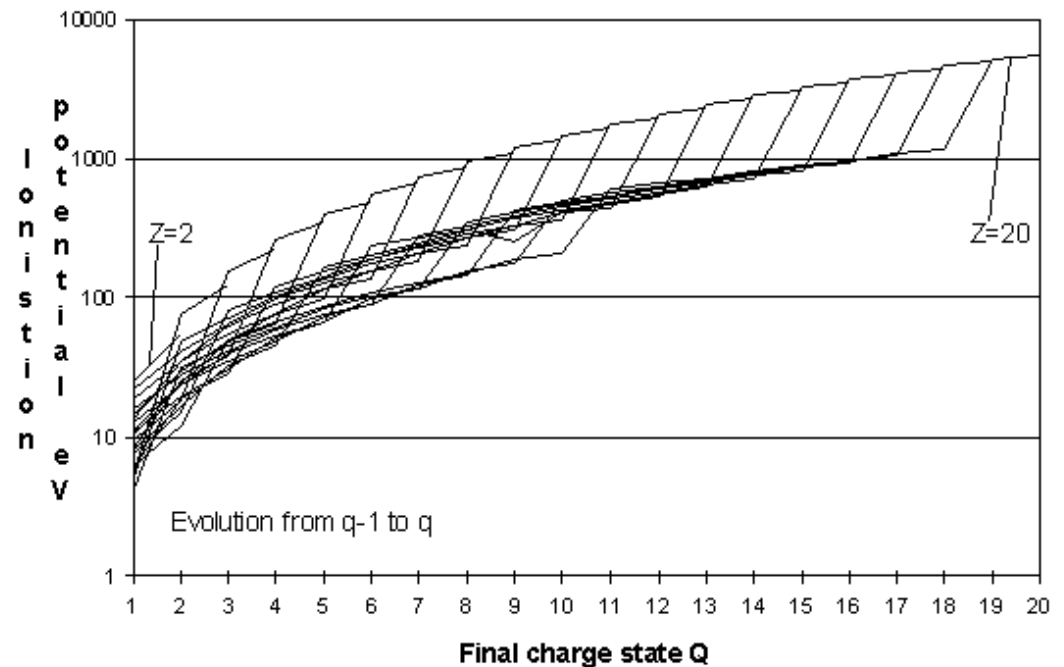
Ajánlott irodalom:

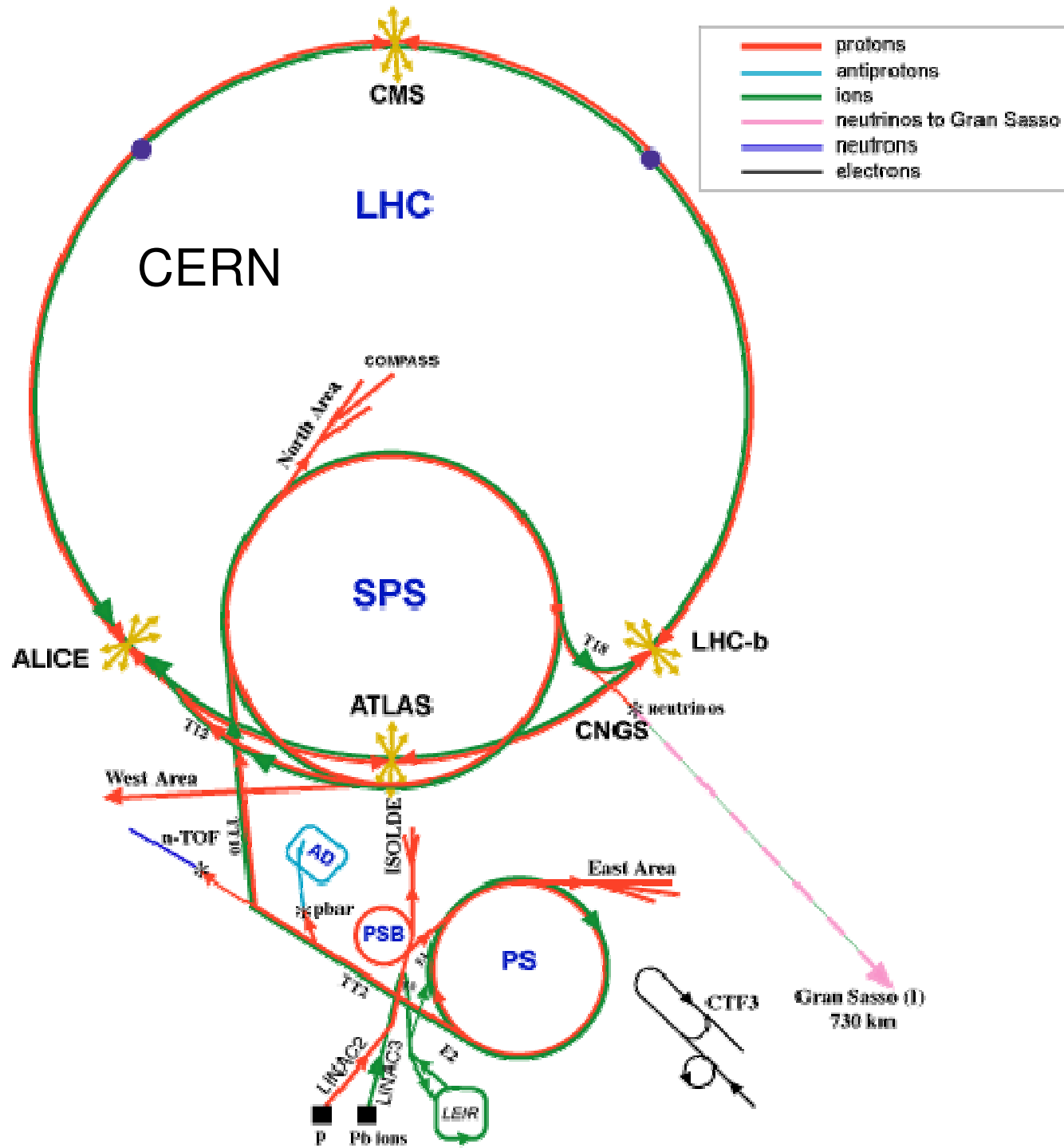
<http://linac2.home.cern.ch/linac2/seminar/seminar.htm>

Alkalmazások: fúzió, ion implantáció, űr-hajtóművek, étel sterilizálás, ipari polimerizáció, orvosi, katonai, tudományos...

18 féle technika van rá!...

Ionizáció: legeffektívebb elektron bombázással
3-szoros $E_{\text{ioniz.}}$ energián





Luminozitás

Hatáskeresztmetszet mértékegysége: barn: 10^{-24} cm²

Luminozitás tipikusan pl.

$$10^{30} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1} \text{ (RHIC p+p)}$$

$$\sim 10^{33} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1} \text{ (LHC p+p, jelenlegi)}$$

$$10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1} \text{ (LHC p+p, tervezett)}$$

Gyakran inverz pikobarn/week egységben adják meg!

(praktikusabb): $1/\text{pikobarn/week} \approx 1,67 \cdot 10^{30} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$

Ütközési ráta: luminozitás szorozva a hatáskeresztmetszettel:

pl. p+p 70 mbarn = 0,07 barn és $10^{30} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$

→ 70 kHz.

Overlap: a nyaláb általában csomagokban jön,

Tipikusan 1 ns-nál rövidebb, 25-100 ns-onként.

Legyen pl. 10 MHz a csomagfrekvencia (100 ns követési táv).
70 kHz ütközési ráta mellett, legalább 1 ütközés valószínűsége
csomagonként kb. $p_1=0,7$ %.

KÉRDÉS: mekkora a valószínűsége a dupla
(vagy még többszörös) ütközésnek csomagonként?
Számoljuk ki p_2 értékét (legalább 2 ütközés valószínűségét)
 p_1 függvényében! ($0 < p_1 < 1$)

Sugárvédelem és dozimetria

- Sugárvédelem
- Természetes és mesterséges sugárterhelés
- Sugárzás biológiai hatásai
- dózisfogalmak
- dózis nagyságrendjei
- dóziskorlátok
- kockázat

SUGÁRVEDELEM

1. KOCKÁZAT



2. DOZISFOGALMAK

D, \dot{D}, H, H_E

egységnyi tömegben elnyelt energia

↓
ennek biológiai károsító hatása

3. SUGÁRZÁSOK BIOLÓGIAI HATÁSAI

mechanizmusok

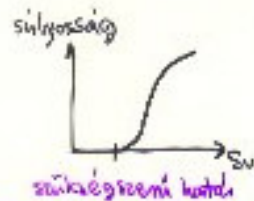
osztályozás

→ genetikai

→ somatikus

→ "működészerű"
akut, késői, lokális

→ stochasztikus



4. DOZISKORLÁTOZÁSOK RENDSZERÉ

• elsőrendű korlát → többféle dózissal ...

50 mSv/év

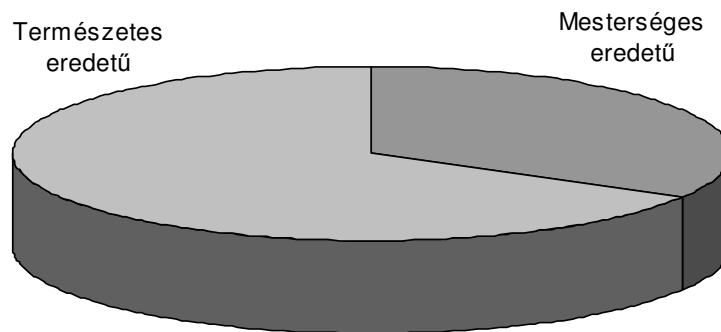
• másodrendű korlát

5. DOZISMÉRÉS

6. TERMÉSZETES SUGÁRTERHELES 2 mSv/év
kosmikus + földi eredetű (külső, belső)

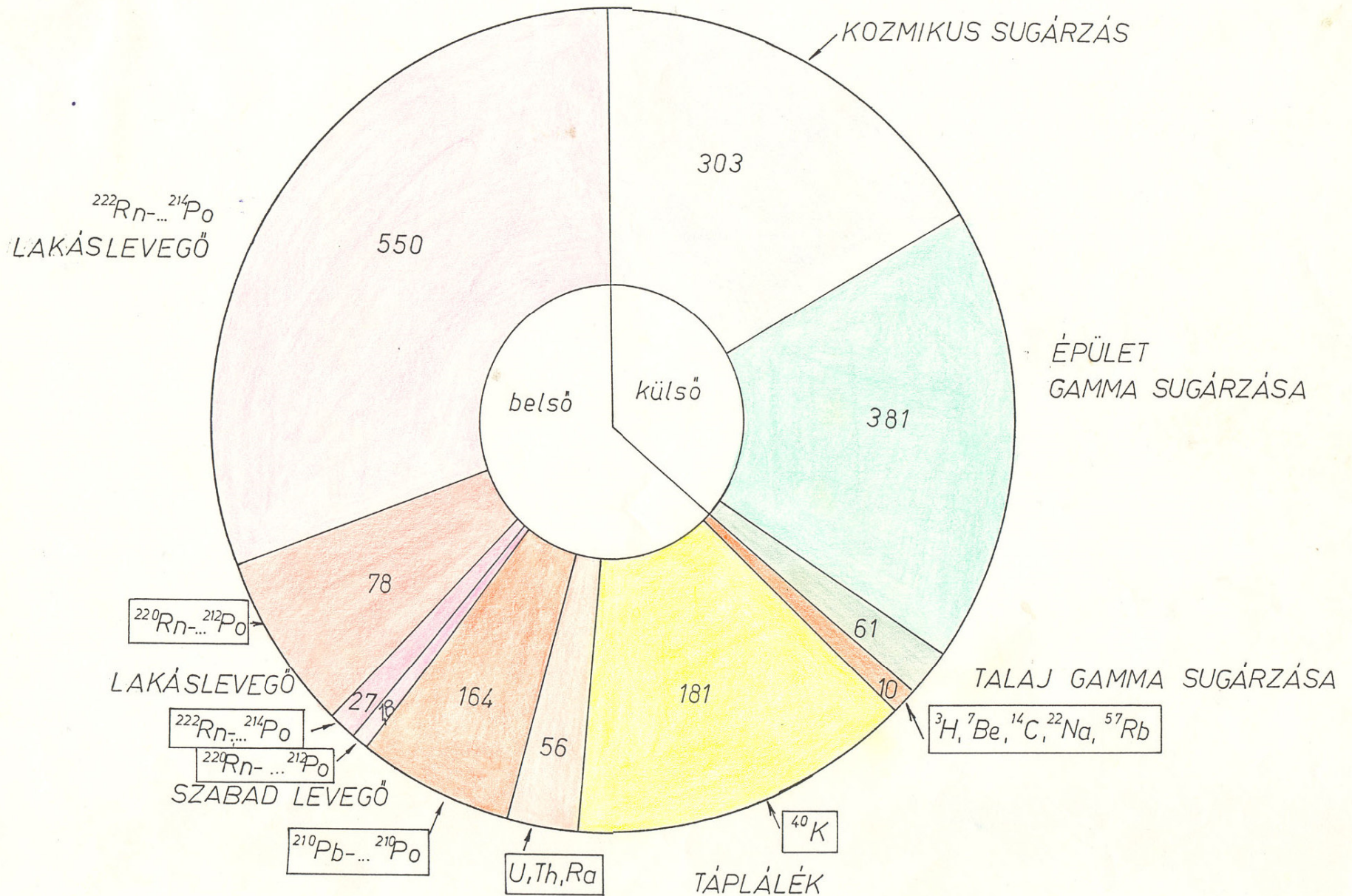
Sugárvédelem – általában

- Nemzetközi Sugárvédelmi Bizottság:
International Commission on Radiological Protection – ICRP
- Ionizáló sugárzás alkalmazása monoton nő:
 - CT, PET, röntgen, ipari radiográfia, élelmiszersterilizálás, füstjelzők, atomenergia, stb...
- Ma kb 15 ezer ember dolgozik ionizáló sugárzással, doziméteres ellenőrzés mellett



Természetes és mesterséges sugárterhelés

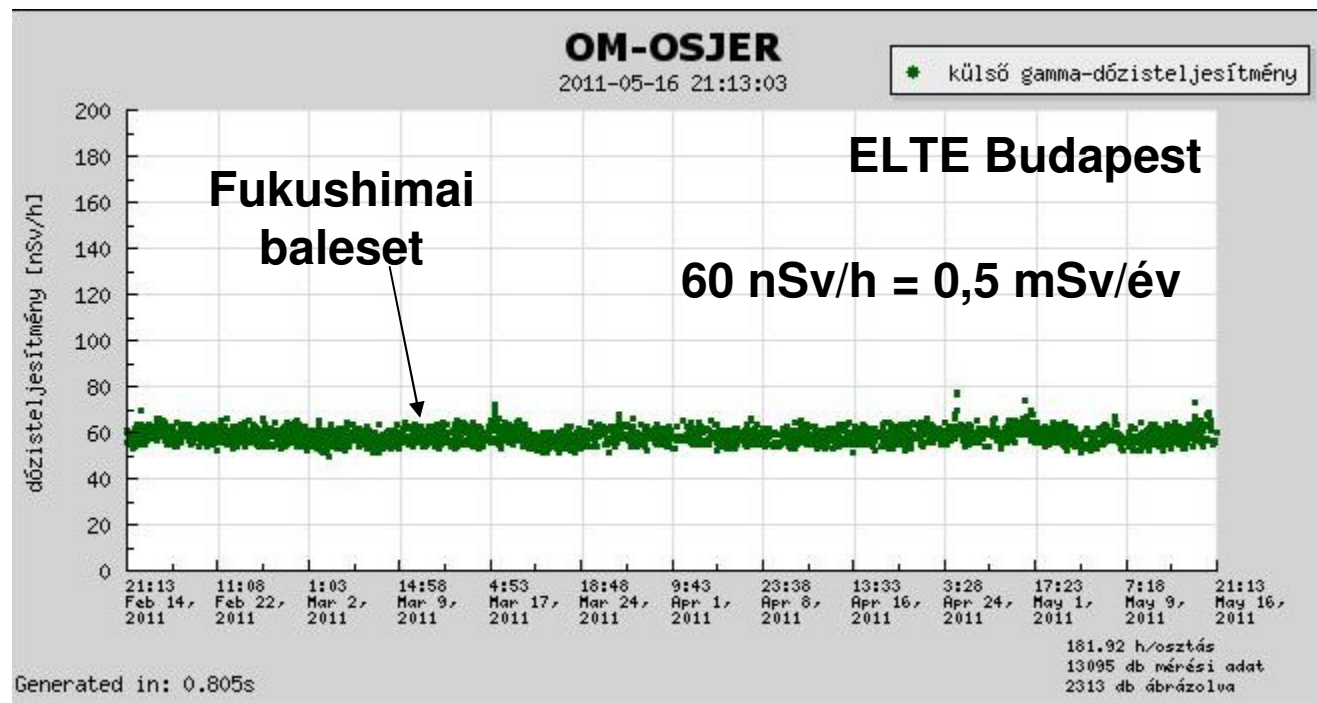
- Radon: talajból és építőanyagokból, urántartalom miatt. A természetes terhelés felét adja, de több nagyságrenddel is feldúsulhat. Az egyetlen természetes forrás ami ellen aktívan védekezünk.
- Kozmikus sugarak (proton, alfa, foton) légköri magreakciói, ^3H , ^7Be , ^{10}Be , ^{22}Na , ^{24}Na , ^{14}C , stb. , müonok. 0,3 mSv/év.
- Összes terhelés kb. **2-4 mSv/év.**
- Repülés (2 óra alatt 0,01 mSv), dohányzás, közeli szénerőmű: növeli.
- Mesterséges terhelés:
 - 95% orvosi alkalmazások
 - 5% légköri kísérleti atomrobbantások miatt
 - Töredék %: Nukleáris technológiák



TERMÉSZETES EREDETŰ KÜLSŐ ÉS BELSŐ SUGÁRFORRÁSOKTÓL SZÁRMAZÓ EFFEKTIV DÓZISEGYSÉGNÉRTÉKEK $\mu\text{Sv a}^{-1}$ EGYSÉGBEN NORMÁLIS, TERMÉSZETES HÁTTERŰ TERÜLETEN.

Környezeti sugárterhelés

- Országos Sugárzásfigyelő Jelző- és Ellenőrző Rendszer – OSJER)
 - Nyilvános adatok: <http://omosjer.reak.bme.hu>
- Országos Meteorológiai Szolgálat
 - Nyilvános adatok: <http://www.met.hu>



Dózisfogalmak

Az elnyelt dózis (D) az anyagban tömegegységenként elnyelt energia:

$$D = \frac{dW}{dm} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{dW}{dV}$$

ahol dW az elnyelt energia, m az elnyelő anyag tömege V térfogatban, és ρ az anyag sűrűsége. Az elnyelt dózis egysége a **gray**:

$$[D] = 1 \text{ J/kg} = 1 \text{ Gy (gray)}.$$

Elnyelt dózisteljesítmény az időegység alatt elnyert dózis:

$$\dot{D} = \frac{dD}{dt}$$

Gyakorlatban használt egysége: $\mu\text{Gy/h}$, $n\text{Gy/h}$.

Pontszerű A aktivitású gamma-forrástól r távolságra t idő alatt az elnyelt dózis tömegegységenként:

$$D = \frac{K_{\gamma} \cdot t \cdot A}{r^2}$$

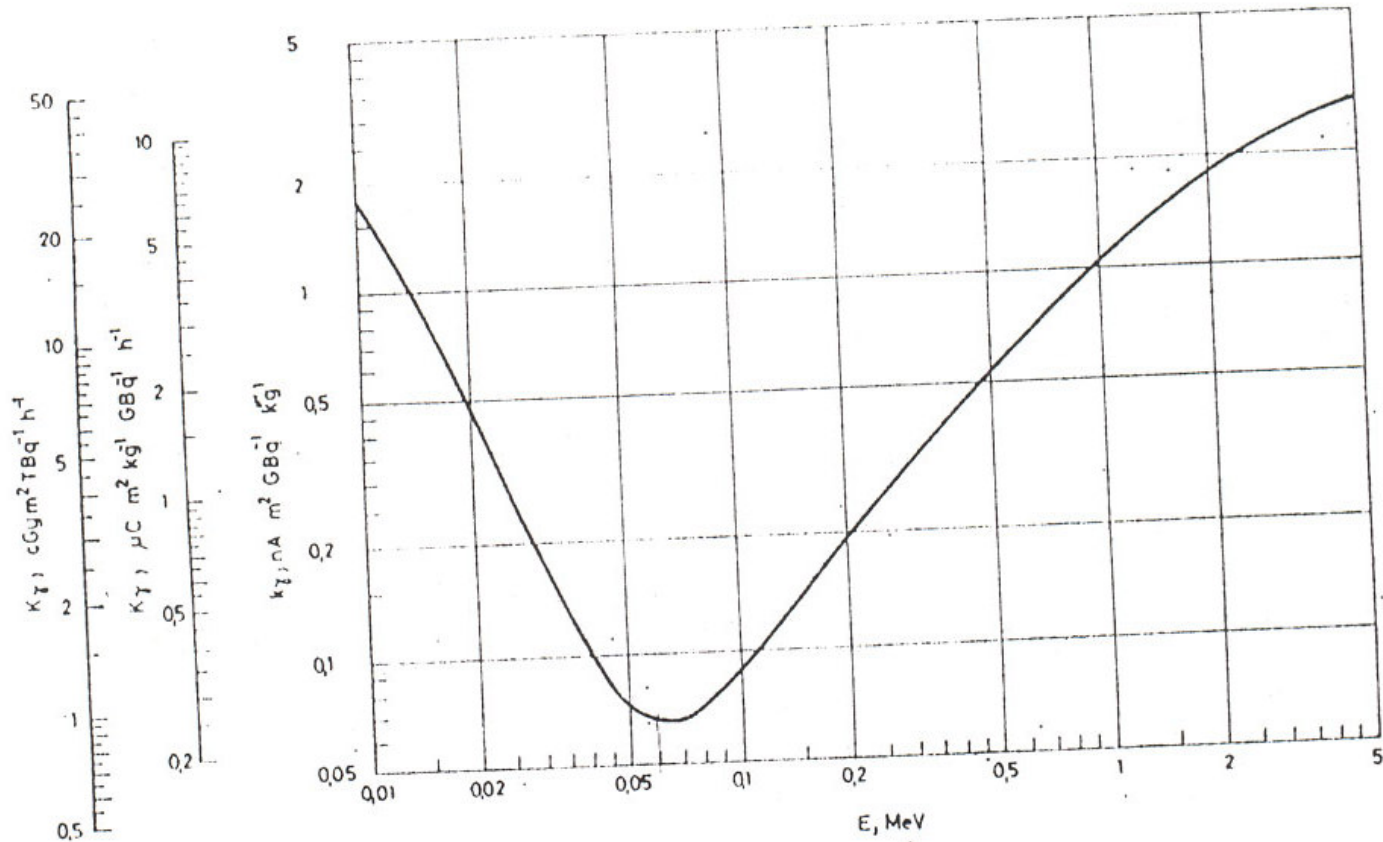
ahol K a forrásra jellemző érték, az *izotóp dózisállandója*.

Dózisállandó példák

Izotóp	K
^{24}Na	0.444
^{42}K	0.033
^{60}Co	0.305
^{131}I	0.054
^{137}Cs	0.0799
^{226}Ra	0.200

$\frac{\text{Gy} \cdot \text{m}^2}{\text{TBq} \cdot \text{h}}$

2.2 Biológiai dózis



I. ábra
Monoenergiás gamma sugárzás dózisállandója az energia függvényében

- **Egyenérték-dózis** (H_T) a sugárzás biológiai hatását leíró számított dózismennyiség. Az R típusú sugárzástól, T szövetben vagy szervben elnyelt dózis:

$$H_{T,R} = D_{T,R} \cdot w_R, \text{ ahol}$$

$D_{T,R}$ a T szövetben vagy szervben elnyelt dózis átlagértéke és w_R az R **sugárzás** károsító hatásának **súlyozótényezője**, az egyes sugárzásokra jellemző dimenzió nélküli szám.

egysége a Sievert (Sv): $[H] = J/kg = Sv$ (sievert).

Sugárzás	w_r
Fotonok	1
Elektronok és müonok	1
Protonok	5
Neutronok, energiától függően	5-20
α -sugarak, hasadványok, nehéz magok	20

Effektív dózis

- Az **effektív dózis (E)** a különböző **szövetek** eltérő kockázatonövelő hatását figyelembe vevő, egész testre vonatkozó, számított biológiai dózis:

$$E = \sum_T w_T \cdot H_T \quad , \text{ ahol}$$

w_T a súlyozó tényező, amely a T testszövetből származó hatásokból eredő károsodás és a test egyenletes besugárzása esetén fellépő hatásokból eredő teljes károsodás aránya, H_T a szervekre számított egyenérték-dózis.

Az effektív dózis egysége is a sievert, $[E] = Sv = J/kg$.

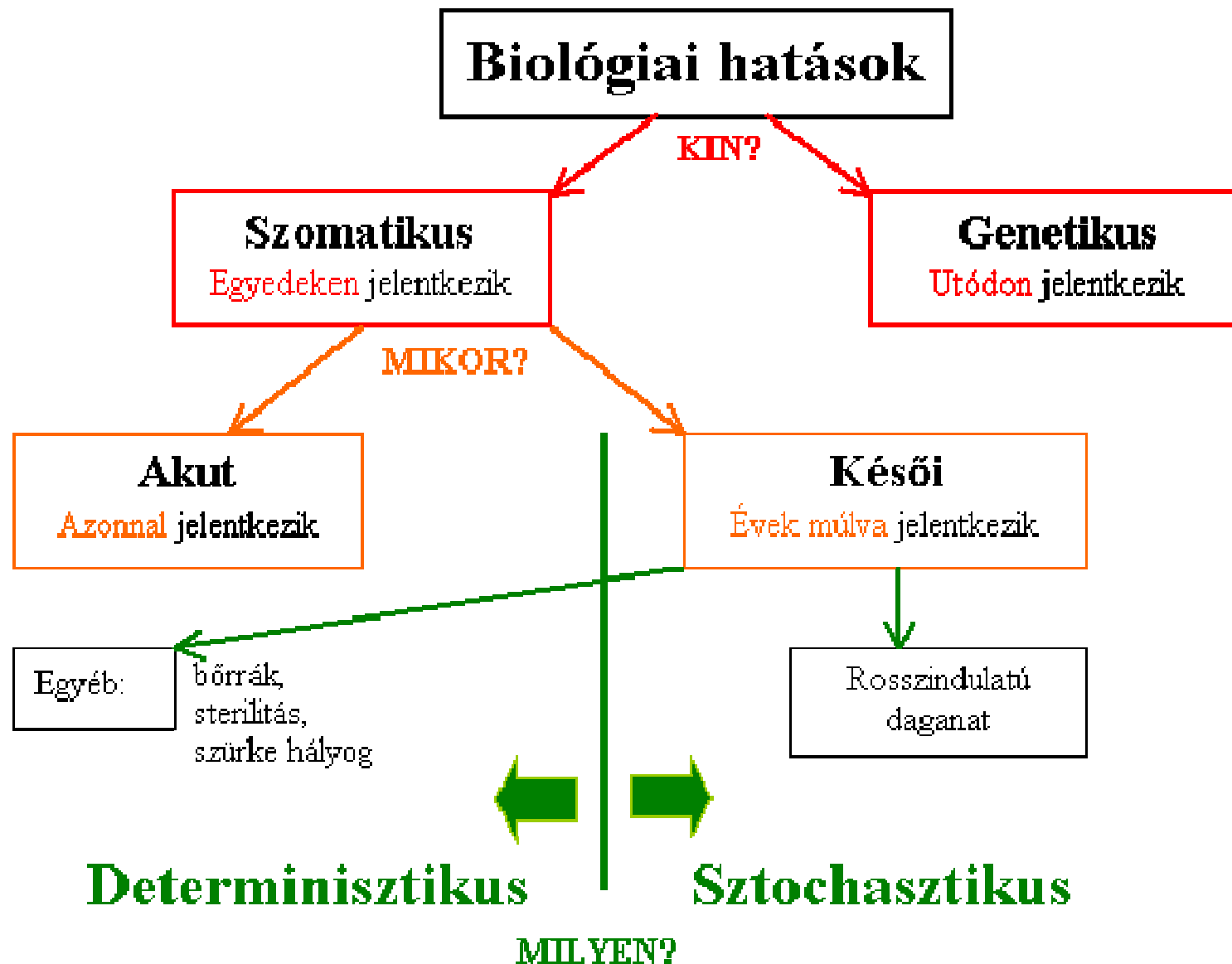
Testszöveti súlyozó tényezők

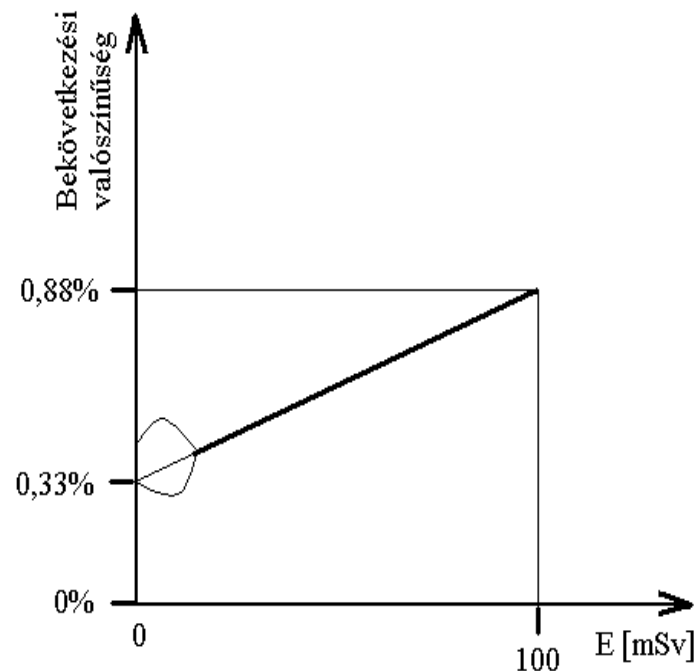
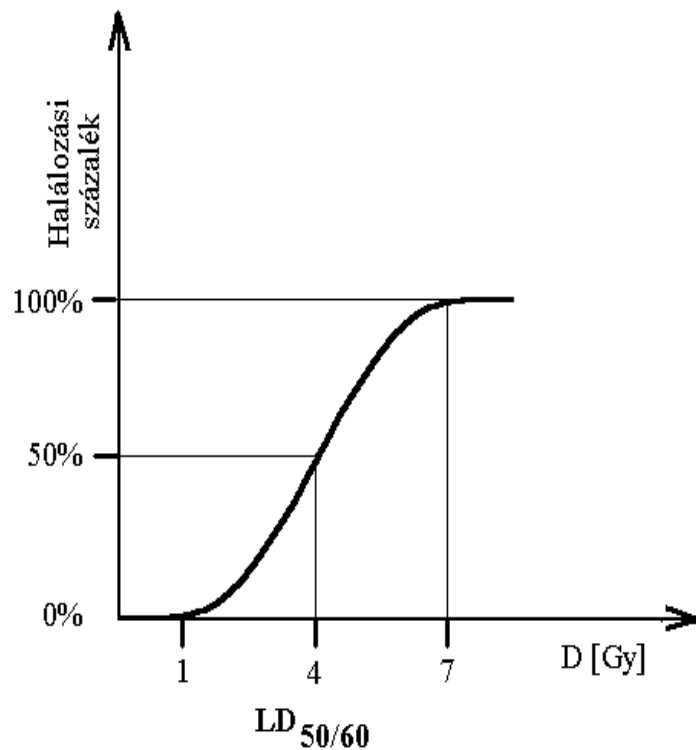
Ivarmirigyek	0,20
Vastagbél	0,12
Gyomor	0,12
Tüdő	0,12
Vörös csontvelő	0,12
Hólyag	0,05
Emlő	0,05
Máj	0,05
Nyelőcső	0,05
Pajzsmirigy	0,05
Csontfelületek	0,01
Bőr	0,01
Maradék	0,05
Összesen	1,00

Mesterséges terhelés

- Atomerőművek: a lakosság többlet sugárterhelése nem érheti el az évi 0,25 mSv-et 1000 MW villamos teljesítményre vonatkoztatva.
- Csernobil hatása Magyarországon: 1 mSv/fő alatt.
- Paksi üzemzavar (2003) hatása: 0,00013 mSv/fő
- Atombomba-kísérletek (1963 atomcsend egyezmény előtt): a 30 éves felezési idővel rendelkező ^{90}Sr és ^{137}Cs a legjelentősebbek.
 - Sr: béta-sugárzó, és a csontba épül be (kalciumhoz hasonló), csontvelőt károsítja.
 - Cs: béta- és gamma-sugárzó, izomszövetbe épül be (káliumhoz hasonló), egész test sugárterhelése.

Biológiai hatások





DETERMINISZTIKUS	SZTOCHASZTIKUS
A hatás csak küszöbdózis felett jelentkezik	Nincs küszöbdózis
A hatás súlyossága arányos a dózissal	A hatás valószínűsége arányos a dózissal
Vannak jellegzetes tünetek	Nincsenek jellegzetes tünetek
A hatás általában akut	A hatás mindig később jelentkezik

A kockázat

- A kockázat (rizikó) értelmezése : $R = W \cdot K$, ahol W a bekövetkezés valószínűsége, K a következmény súlyossága. Bizonyosság esetén $W = 1$, halálesetben $K = 1$.
- N személyt kiteve R kockázatnak, NR haláleset várható.
- Egy mikrorizikó ($R=10^{-6}$) kockázattal jár például:
 - 2500 km utazás vonaton,
 - 2000 km utazás repülőn,
 - 80 km autóbuszon,
 - 65 km autón,
 - 12 km kerékpáron,
 - 3 km motorkerékpáron,
 - egy cigaretta elszívása,
 - két hónap együttélés egy dohányossal,
 - meginni egy palack bort,
 - kövér embernek még egy vajas szendvicset enni,
 - egy órán át Budapest belvárosában lélegezni,
 - egy hétig házban aludni,
 - öt éven belül méhcsípéstől meghalni és
 - tíz éven belül villámcsapást kapni.

Példák kockázatra

Tevékenység, foglalkozás	mikrorizikó/év-ben kifejezett kockázat
Kereskedelmi munka	2-3
Gyári munka	10-100
Hivatásos autóvezetés	400
Építőipari munka	400
Szénbányászat	800
Elektromos távvezeték építés	1200
Mélytengeri halászat	800
Gyilkosság, Magyarország	30
Öngyilkosság, Magyarország	490
Dohányzás, Magyarország	3000

A sugárvédelem hármas alapelve

- **Indokoltság elve:**

Sugárzással járó tevékenységet csak pozitív nettó haszon esetén szabad folytatni. Ez ad értelmet a sugárterheléssel kapcsolatos kockázatvállalásnak.

Itt már szakmai kérdéseken kívül társadalmi-, politikai- és morális problémákkal is találkozunk.

- **ALARA (As Low As Reasonably Achievable) elv:**

Minden indokolt sugárterhelést olyan alacsony szintre kell csökkenteni, amennyire az a gazdasági és társadalmi szempontok figyelembevételével **ésszerűen** lehetséges.

- **Dóziskorlátozás:**

Az egyéni sugárterhelés egyenérték- és effektív dózisa nem haladhat meg egy megállapított határértéket.

Dóziskorlátok

(mesterséges, de nem orvosi dózisokra)

- **Foglalkozási sugárterhelés**

- 20 mSv effektív dózis évente, öt egymást követő évre átlagolva (100mSv/5év),
- **50 mSv** effektív dózis bármely egyetlen évben (félhalálos dózis 1%-a)
- 150 mSv egyenérték dózis egy évben a szemlencsére, valamint
- 500 mSv egyenérték dózis egy évben a végtagokra (kéz, láb), vagy a bőrre.

- **Lakossági sugárterhelés**

- **1 mSv** effektív dózis egy évben,
- különleges körülmények esetén öt év alatt az effektív dózis nem lépheti túl az 5 mSv –et,
- 15 mSv egyenérték dózis egy évben a szemlencsére, valamint
- 50 mSv egyenérték dózis egy évben a bőrre.

Sugárvédelem három módszere

- **Távolságvédelem:** Egy pontszerű gammaforrástól (vákuumban) időegység alatt kapott dózis a forrástól mért távolság négyzetével fordított arányban csökken. Ezért a védekezés első módja a távolságtartás. Csipesz, manipulátor, stb.
- **Idővédelem:** A sugárveszélyes helyen töltött idő csökkentésével az elnyelt dózis csökkenthető. A munkát gondosan elő kell készíteni. Sugárvédett helyen előre be kell gyakorolni.
- **Sugárzást gyengítő (árnyékoló) anyagok használata:** A sugárzás egy része a közbehelyezett anyagban elnyelődik. Ilyen közbe helyezett anyag lehet a levegő is.

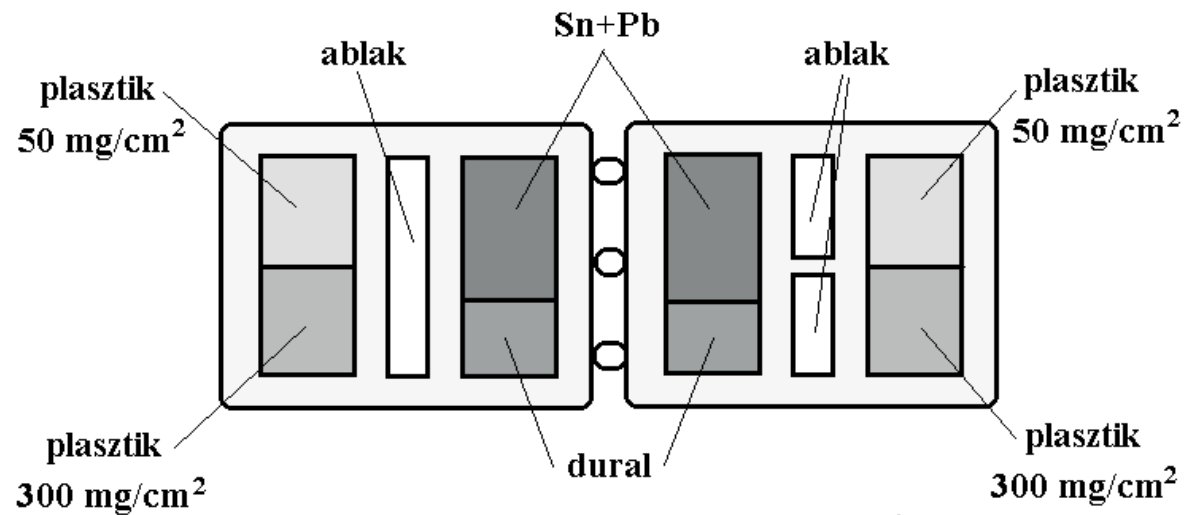
Sugárzások árnyékolása

- Töltött részecskék:
 - Nagy rendszám, nagy sűrűség (vigyázat: fékezési sugárzás)
- Gamma:
 - Nagy rendszám, nagy sűrűség
- Neutronok:
 - Lassítás: paraffin, víz, stb. (kis rendszám)
 - Elnyeletés: (n,gamma) reakciók, pl. kadmium. Gamma-sugárzás lép fel: extra gamma-árnyékolás is kell.
- Müonok:
 - Általában nem védekezünk. LHC: 100 m közetréteg.
- Neutrínók:
 - Nincs védelem. Modern kísérleteknél (CNGS) domináns veszélyforrás lehet!

Dózis mérése



Film-doziméter ablakokkal
(energiaérzékenység)



Termolumineszcens doziméter:
Felmelegítéskor fénykibocsátás,
„kiolvasás”. Újra használható.

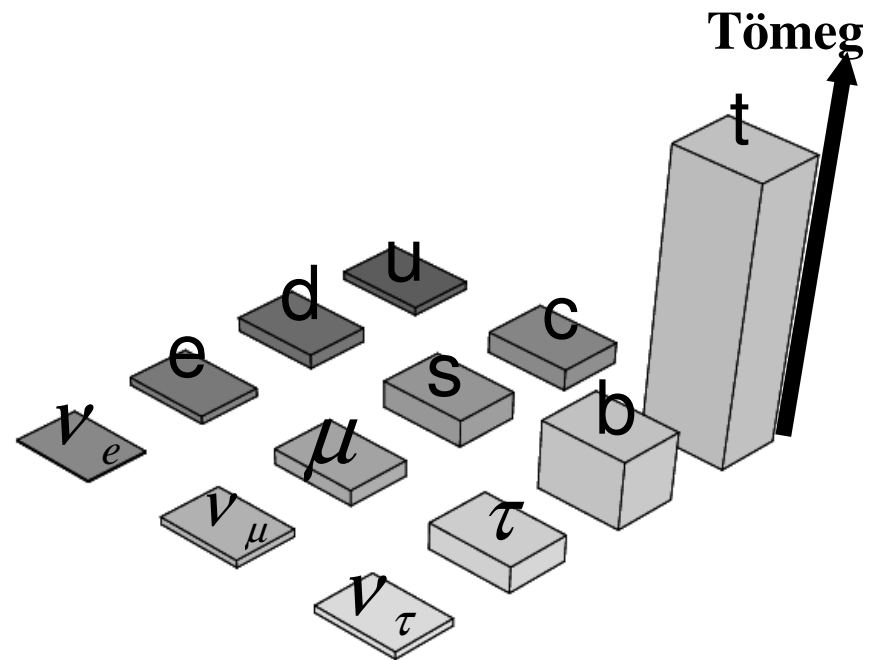
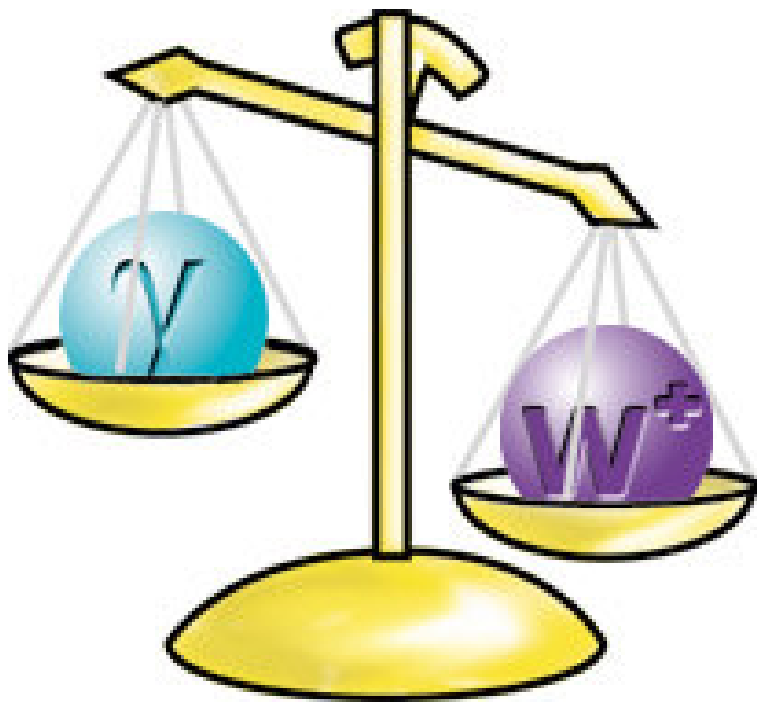
A részecskefizika mai nagy kérdéseiről

Aktuális: *tegnap* lőtték fel az ISS-re az AMS spektrométert!

- Anti-He keresés (antianyag-galaxisok?)
- Sötét anyag keresés (töltött részecskék keltése által)
- Strangeletek (nagy tömeg/töltés arány)
- Kozmikus sugárzás részletes vizsgálata
- 10-18 évig tervezik használni
- Nemzetközi Űrállomáshoz csatlakozik
- Szupravezető mágnest az utolsó pillanatban lecserélték permanens mágnesre (élettartam)
- 6700 kg, 2500 W, 2 Gbit/s a Földre, 1.5 Mrd USD
- TRD, ToF, tracker, Ring Cserenkov, EM kaloriméter



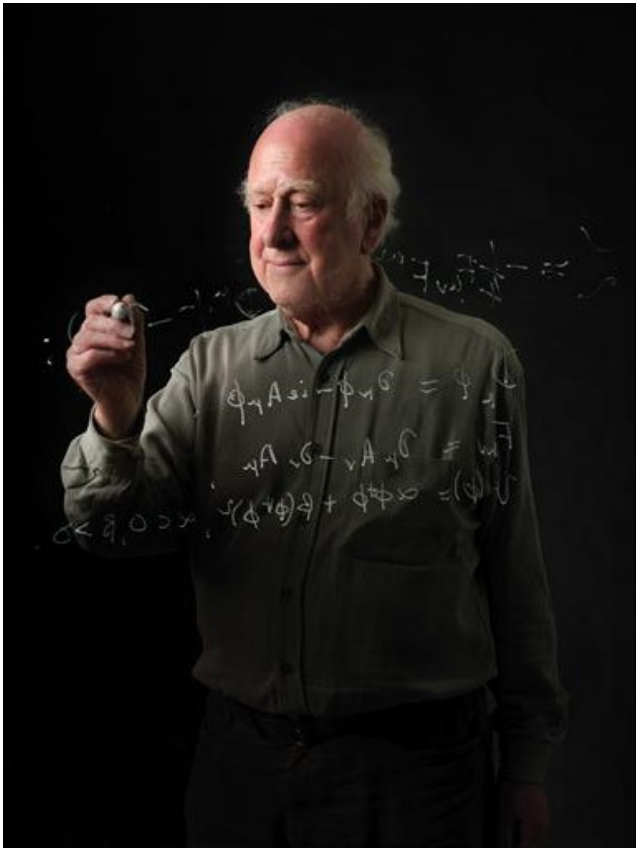
Mi a részecskék tömegének eredete?



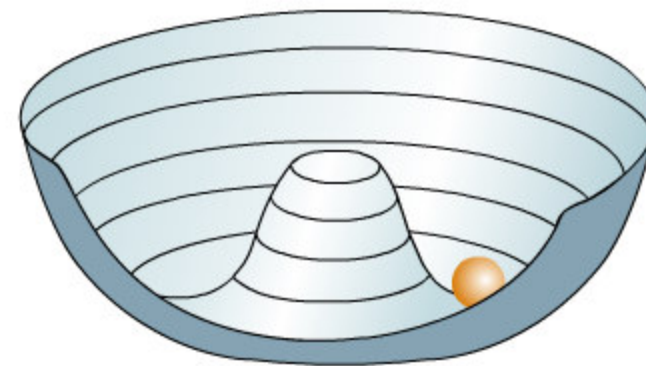
A Higgs részecske

Mi a részecskék tömegének eredete?
Miért vannak tömeges és tömegtelen részecskék?

$e^+e^- \rightarrow W^+W^-$
hatáskeresztmetszetbe
bele kell számítani a Higgs-et
hogy a kísérlettel egyezzen!



The Higgs Mechanism



● Higgs Scalar
● Goldstone Boson



A Higgs mechanizmus



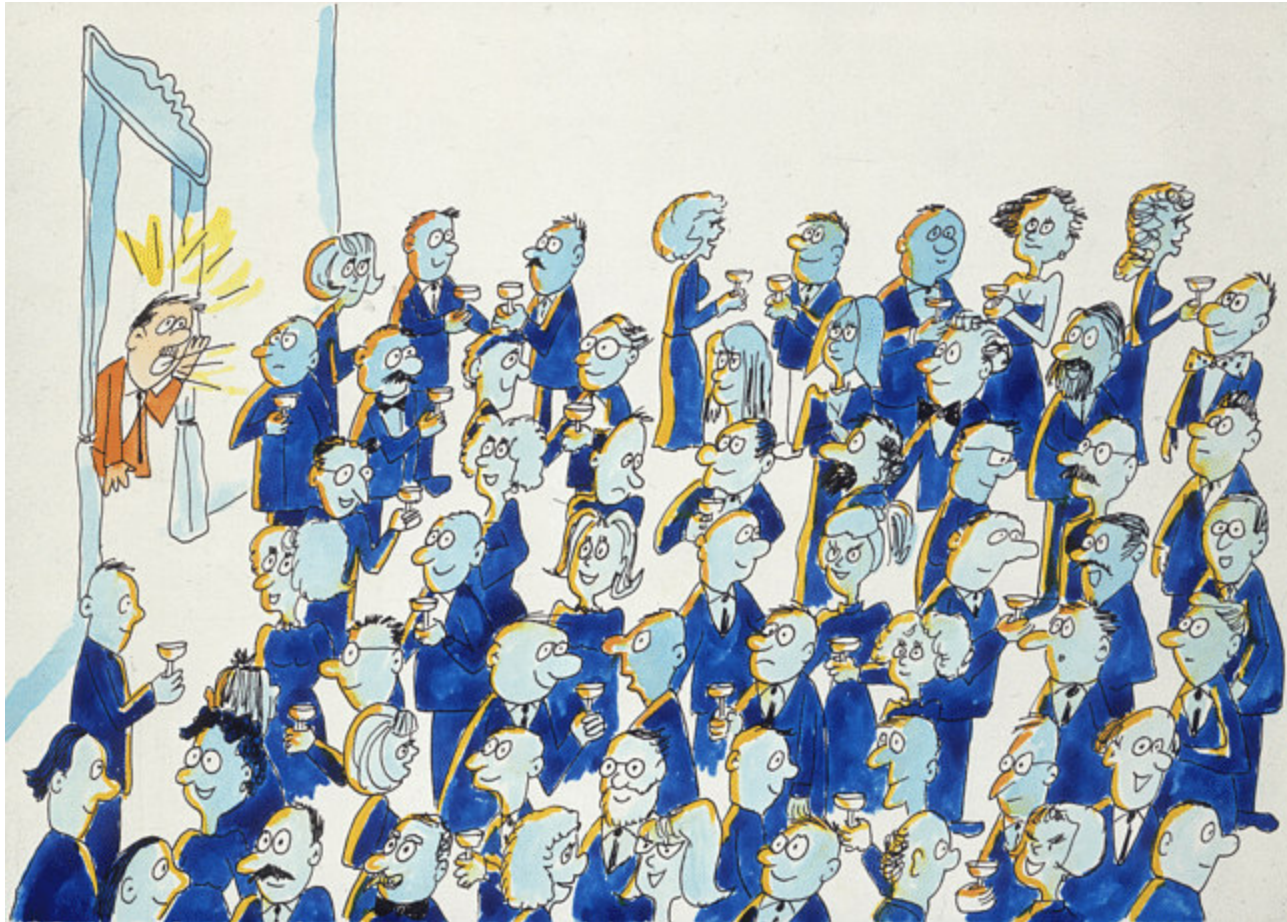
Fizikusokkal teli szoba, akik csendesen beszélgetnek
A mindent kitöltő Higgs mező...

A Higgs mechanizmus



Belép egy nagyon híres személy, mindenki vele akar találkozni. A kialakuló tolongás megnehezíti a mozgását.
A részecskének tömege lesz, mert a Higgs mezőn halad keresztül.

A Higgs mechanizmus



Most egy érdekes pletyka kerül a szobába...

A Higgs mechanizmus



...és ez szájról szájra adva, keresztülhalad a tömegen, csomósodást alkotva.
Higgs részecske: **csomósodás** a Higgs mezőben.

Az adatok kiértékelése



**Hm... most vagy megtaláltuk a Higgs bozont,
vagy Fred már megint feltette főni a kávéét...**

Szuperszimmetria

A feles és egész spinű részecskéket összekötő „tükrözés” (bozon-fermion)

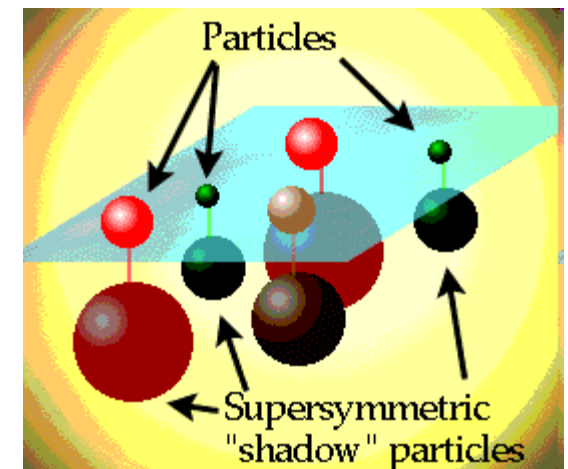
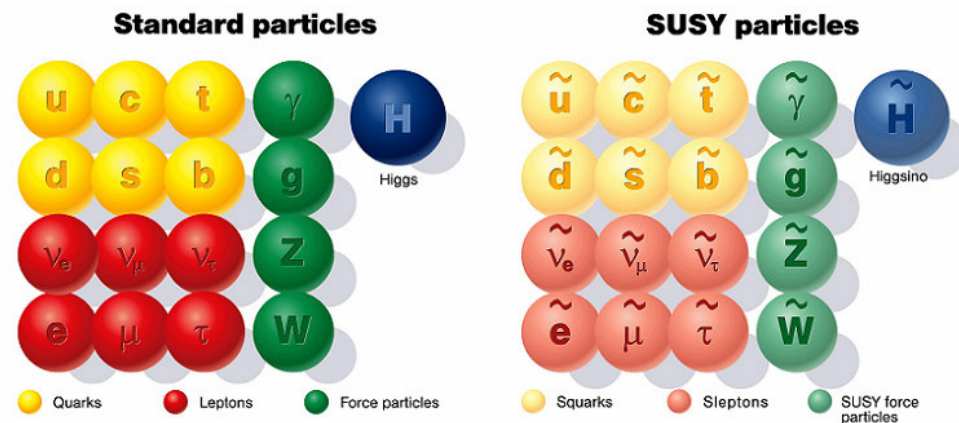
Ezt a szimmetriát nem figyelték még meg (a szimmetria sérül).

A részecskefizika nagy problémáit oldaná meg, ha létezne:

- Hierarchia-probléma: a részecskék tömege sokkal nagyobb lenne, mint amekkorát kísérletileg kapunk, ha nincs finomhangolás
- Gyenge, erős és elektromágneses kölcsönhatás egyesítése.

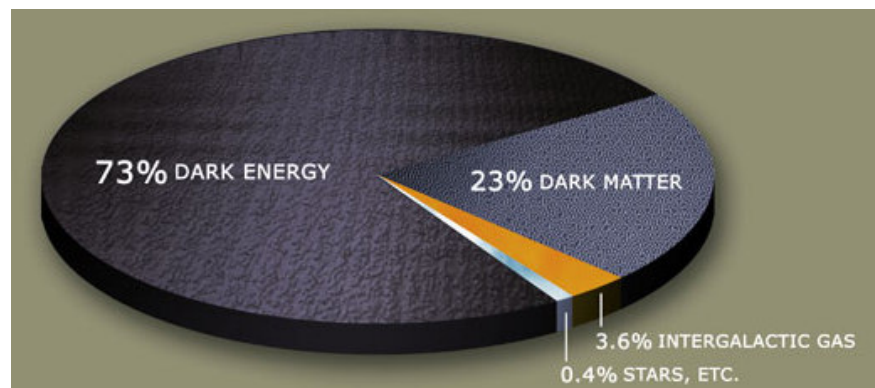
Miért erősebb 32 nagyságrenddel a gyenge kölcsönhatás a gravitációnál?
Óriási kvantum-korrekciók.

Ha a Higgs részecske nem nagyon nehéz, akkor finomhangolás szükséges.



Miből áll az univerzum?

Csak az Univerzum 4% -a áll az ismert részecskékből. A többi:
22%: **sötét anyag** és
74%: **sötét energia**



Sötét anyag: nem hat kölcsön az elektromágneses sugárzással, de a gravitációs hatásai érezhetőek (galaxisok forgása, kozmikus mikrohullámú háttér...).



Bullet cluster: két galaxishalmaz ütközése
szokásos anyag: **piros**
gravitáló anyag: **kék**

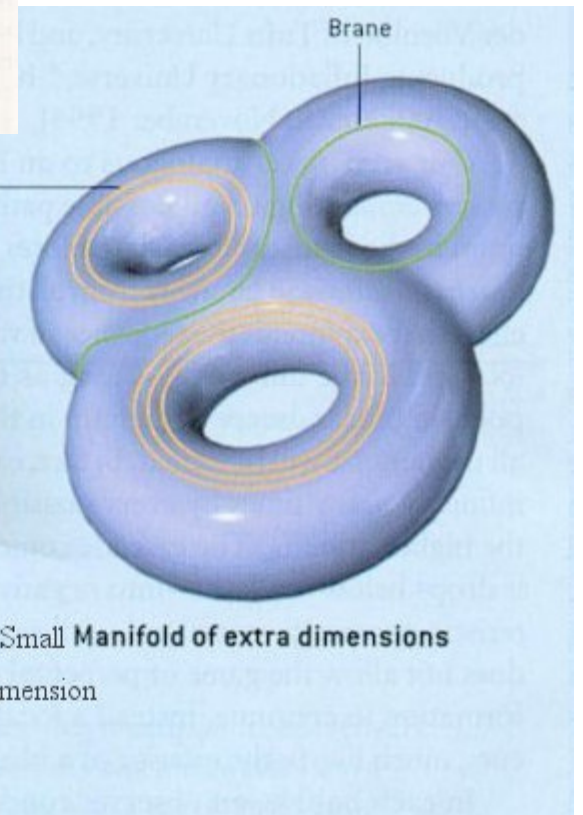
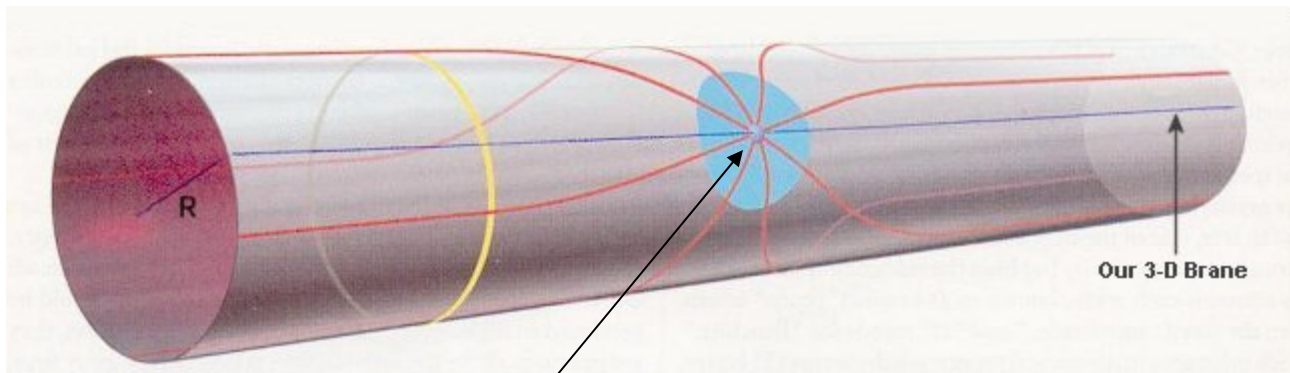
Az anyag nagy része csak nagyon gyengén hat kölcsön az elektromágneses sugárzással: ez biztosan nem a „szokásos” anyag.

Mi lehet a sötét anyag?
Axionok, steril neutrínók, WIMP-ek...
Legkönnyebb szuperszimmetrikus részecskék

Rejtett világok...?

Léteznek-e extra, rejtett térdimenziók?

A húrelmélet azt sugallja, hogy léteznek a 3 térdimenzióon kívüli, de jelenleg mérhetetlenül kicsi kiterjedésű térdimenziók.



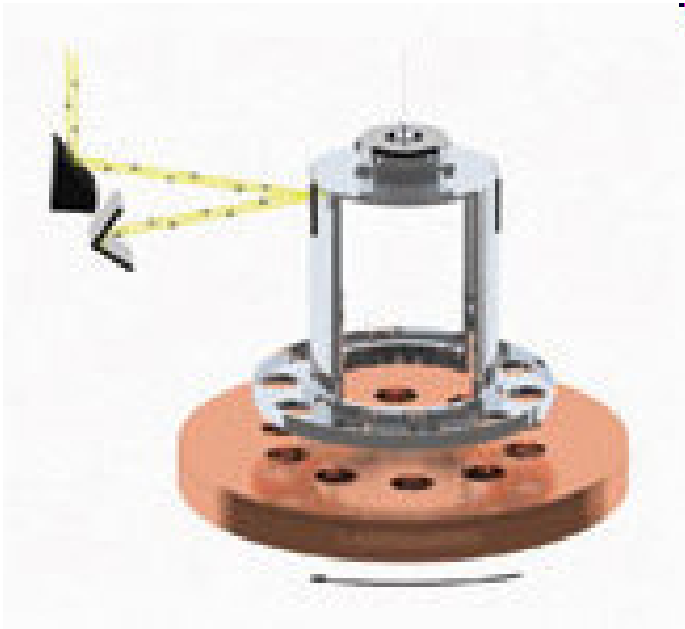
Szemléltetés:
egy kis hangya számára 2D világ,
de valójában 3D-be ágyazva!

Newton gravitációs törvénye
kis méretskálákon megváltozhat!

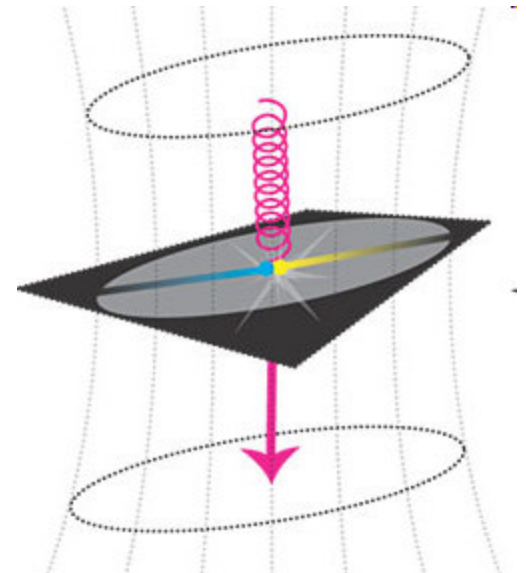
Extra dimenziók

Feltekeredett dimenziók mérete: nagyon kicsi ($< 1 \text{ mm}$)

Newton gravitációs törvénye
kis méretskálákon megváltozhat!
Az Eöt-Wash csoport kísérlete
(Washingtoni Egyetem):



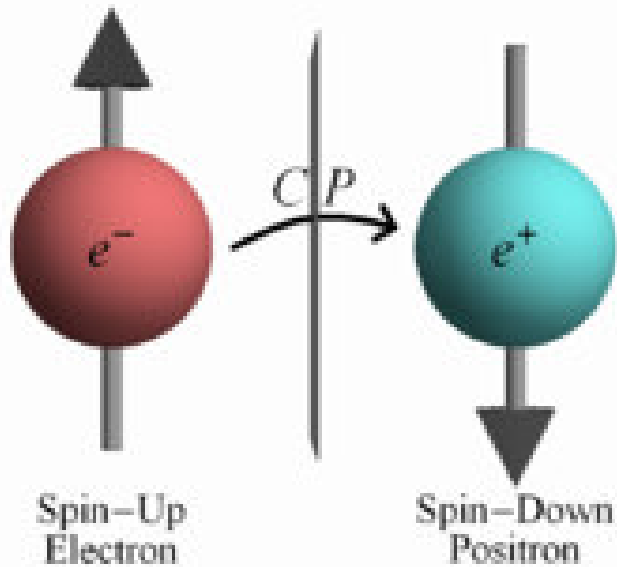
Gyorsítókban: a nagy energiájú
ütközések kis távolságokat is „felbontanak”.
Graviton távozhat a Megaverzumba
→ „hiányzó” energia a kísérletben



Anyag - antianyag

Az Ősrobbanás során anyag és antianyag is keletkezett, melyek megsemmisülnek, ha találkoznak.

Miért van akkor ma sokkal több anyag, mint antianyag?



CP szimmetria: tértükrözés+”töltéskonjugálás”

A gyenge kölcsönhatás sérti ezt a szimmetriát.

Semleges kaonok és B mezonok bomlásánál vizsgálható. (LHCb kísérlet)

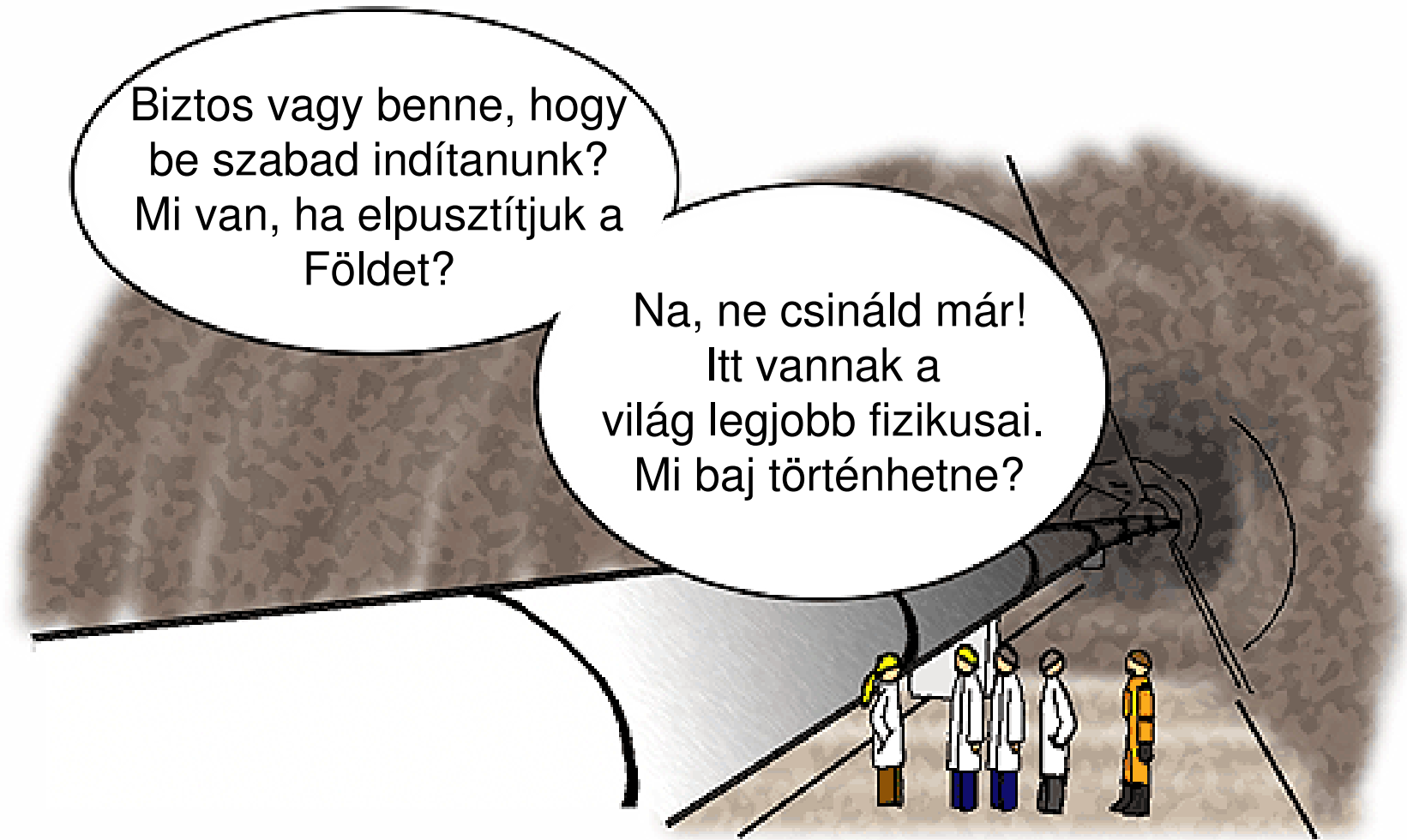
Az Ősrobbanás utáni másodpercekben a CP-sértés kellett az anyag-antianyag egyensúly felbomlásához. (KÜLÖNBEN csak fotonok lézethéneek!)

A Standard Modell sajnos nem ad elegendő mértékű CP-sértést ehhez.

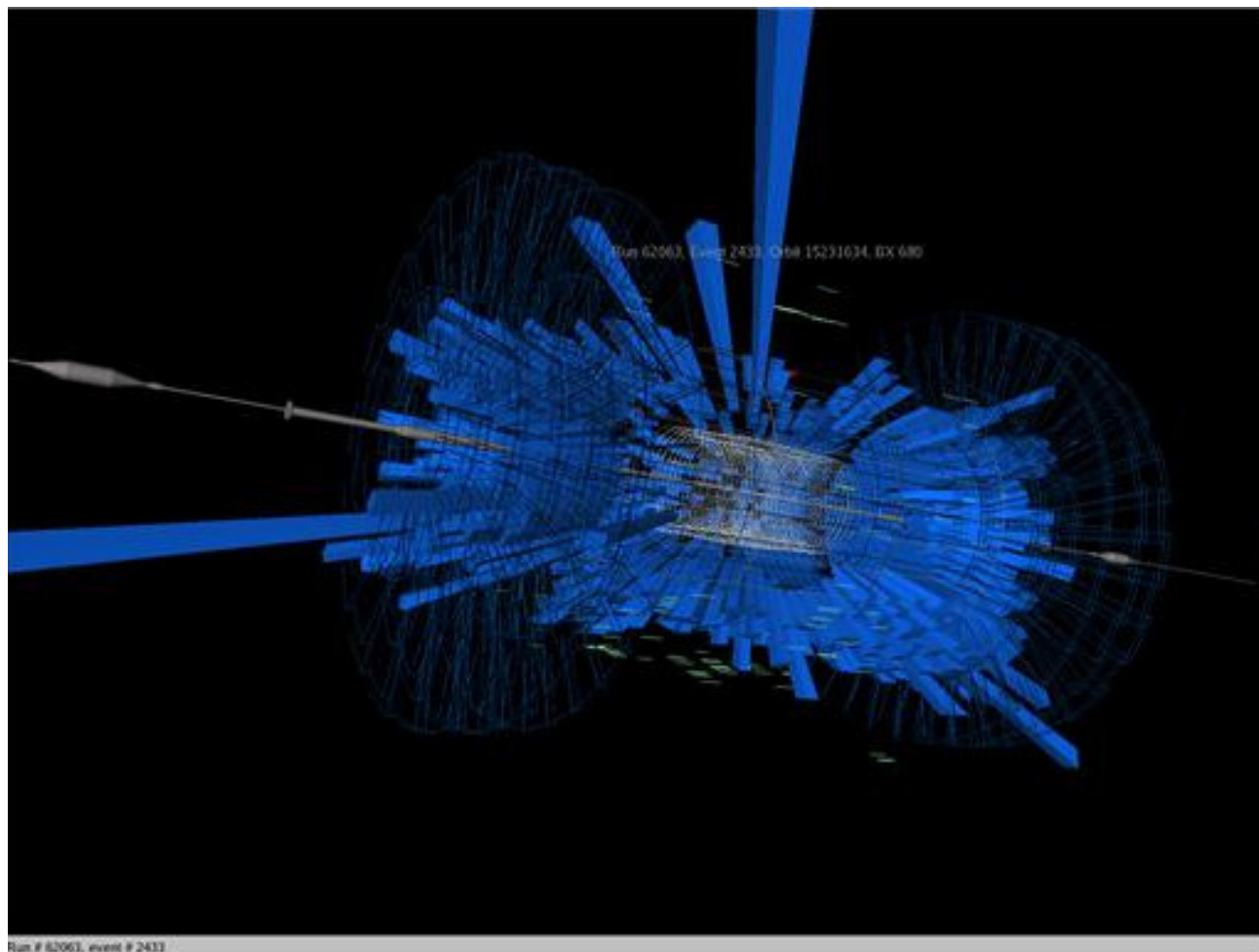
Az LHC beindításának napja

Biztos vagy benne, hogy
be szabad indítanunk?
Mi van, ha elpusztítjuk a
Földet?

Na, ne csináld már!
Itt vannak a
világ legjobb fizikusai.
Mi baj történhetne?



Az első proton-kölcsönhatás a CMS szemével



Gyakorlati haszon?

A részecskefizika és a CERN hozzájárulása más fontos célokhoz:

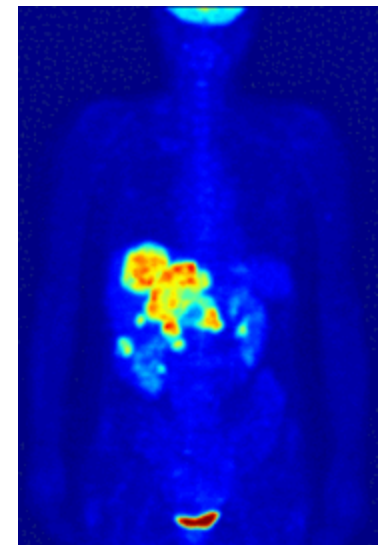
World Wide Web: a kutatók nagy csoportjai közötti információcsere eszköze

Gyorsítók felhasználása energiatermelésre: tórium mint üzemanyag
transzmutációs radioaktív hulladék kezelés

Grid computing: hatalmas adatmennyiségek elosztott feldolgozása
klímamodellek számításának segítése

Gyorsítók felhasználása az orvostudományban:
sugárterápia, radioaktív elemek gyártása, PET-diagnosztika

Tudás-kiáramlás: néhány év tapasztalatszerzés után jól képzett kutatók
áramlása a többi tudományterületre



Miért kell az alap kutatás?

- Mindig a (non-profit) kíváncsiság vezet(ett) új felfedezésekhez
- pl. elektromosság: a gyertyán végzett alkalmazott kutatás sohasem vezetett volna a villanyvilágítás feltalálásához
- 1867, 9 évvel Faraday halála után, utódai megállapítása:
„Annak ellenére, hogy nem tudjuk megmondani, hogy pontosan mit nem fedeztünk még fel, semmi okot nem látunk arra hogy azt higgyük, hogy az elektromosság valaha a gyakorlatban is felhasználható lesz.”

Magyar részvétel az LHC-ben

- CMS:
 - müondetektor-pozícionálás (részecskeimpulzus)
 - kaloriméter (részecske-energia mérés)
 - az első hadronfizikai analízisek
 - Higgs, SUSY, fekete lyuk keresés
- ALICE:
 - nagy impulzusú részecskék azonosítása
 - nagy impulzusú részecskék triggere
- TOTEM:
 - kis szögben szóródott részecskék mérése
- Adatátvitel:
 - a detektorok adatainak gyors továbbítása (elektronika)

Köszönöm a figyelmet!

- Írásbeli vizsga: 2011. május 31. 10 óra
 - Mindenkinek kötelező
 - ETR-ben NEM lesz meghirdetve
 - Megajánlott jegyet lehet kapni
 - Messze a legegyszerűbb módja a sikeres vizsgának
- Szóbeli vizsgák:
 - Sikeres írásbeli esetén: néhány ellenőrző kérdés
 - Sikertelen írásbeli esetén: vizsga, tételek, kérdések
 - Javítani és rontani is lehet
 - Június 27. után NINCS vizsgára, sem UV-ra lehetőség
 - ETR-ben jelentkezni kell (hamarosan meghirdetem)
 - Index nélkül nincs vizsga