

# Úton a kvarkok felé

Atommag- és részecskefizika

3. előadás 2010. március 1.

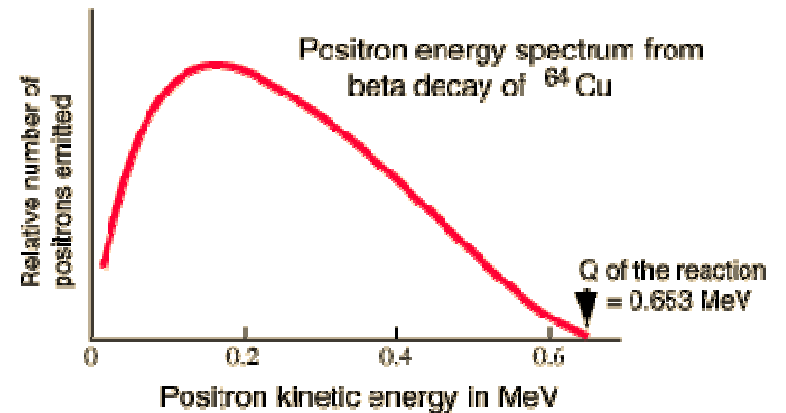
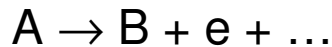
# A béta-bomlás energiaspektruma

1. béta-bomló atommagok:  $^{40}\text{K}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^3\text{H}$ ,  $^{214}\text{Bi}$  ...
2. e/m meghatározás – a keletkező részecske egy elektron

3. az energia mérése  
(folyadékszintilláció, mágneses spektrométer)

folytonos spektrum (ELTE, BSc labor!)

Hogyan lehet ez? Nem lehet kéttest-bomlás!



lendület megmarad: kezdetben 0, végén is:  $p_B = p_e$  de ellentétes irányban  
 $Q = p^2/2m_B + p^2/2m_e$  ebből  $p$  adódik, és  $E_e$  kiszámolható, adott érték.

Hova lesz a többi?

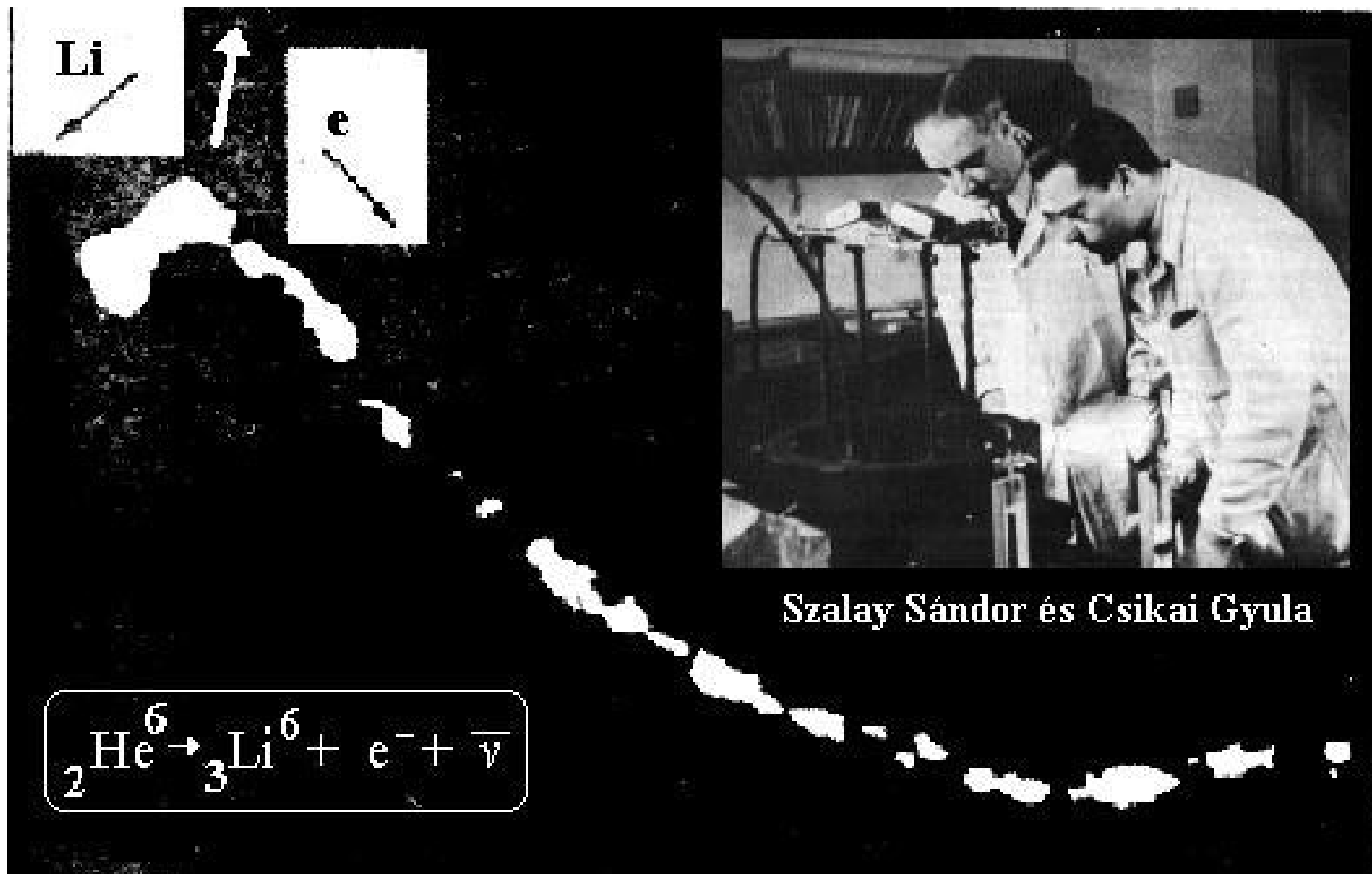
Ha ismerjük a spineket! (1925 Uchlenbeck)  $^{14}\text{C} \rightarrow ^{14}\text{N} + e$  spin:  $0 \rightarrow 1 + 1/2$ : nem lehet  
Nem csak az energia hiányzik! A perdület is!

Wolfgang Pauli 1931:

új részecske keletkezik, ami nem hat kölcsön a detektorokkal: **neutrínó**



# A Szalay–Csikai-kísérlet



Szalay Sándor és Csikai Gyula

A neutrínó „hűlt helye”, ködkamrafelvétel, Debrecen, 1957

Vastag nyom – lítium, vékony az elektron, az összlendület nem 0

**Kell, hogy legyen egy láthatatlan részecske is!**

# Hány neutrínó van? Első lépés...



anti-elektronneutrínó



Ugyanaz a részecske keletkezik-e a pozitronnal, mint az elektronnal? Nem!  
Az egyik átalakítja a protont neutronná, a másik nem! (Reines-Cowan, Davis)

**Kísérleti tapasztalat:** elektronnal mindig az egyik neutrínó keletkezik, a pozitronnal mindig a másik, sose az egyik.

Ezt törvénnyel fejezzük ki: **megmarad a leptonszám**, a többi lehetséges de nem megvalósuló reakciót ez a megmaradási törvény tiltja meg.

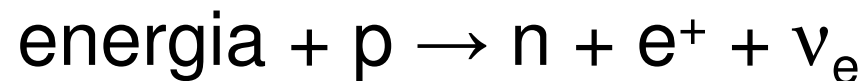
	$e^-$	$e^+$	$\nu$	$\bar{\nu}$
leptonszám:	1	-1	1	-1

# Béta-bomlás fajtái

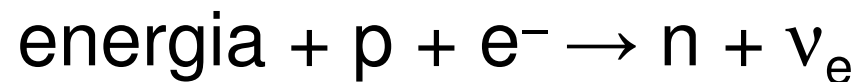
- Negatív béta-bomlás:



- Pozitív béta-bomlás:



- Elektronbefogás:

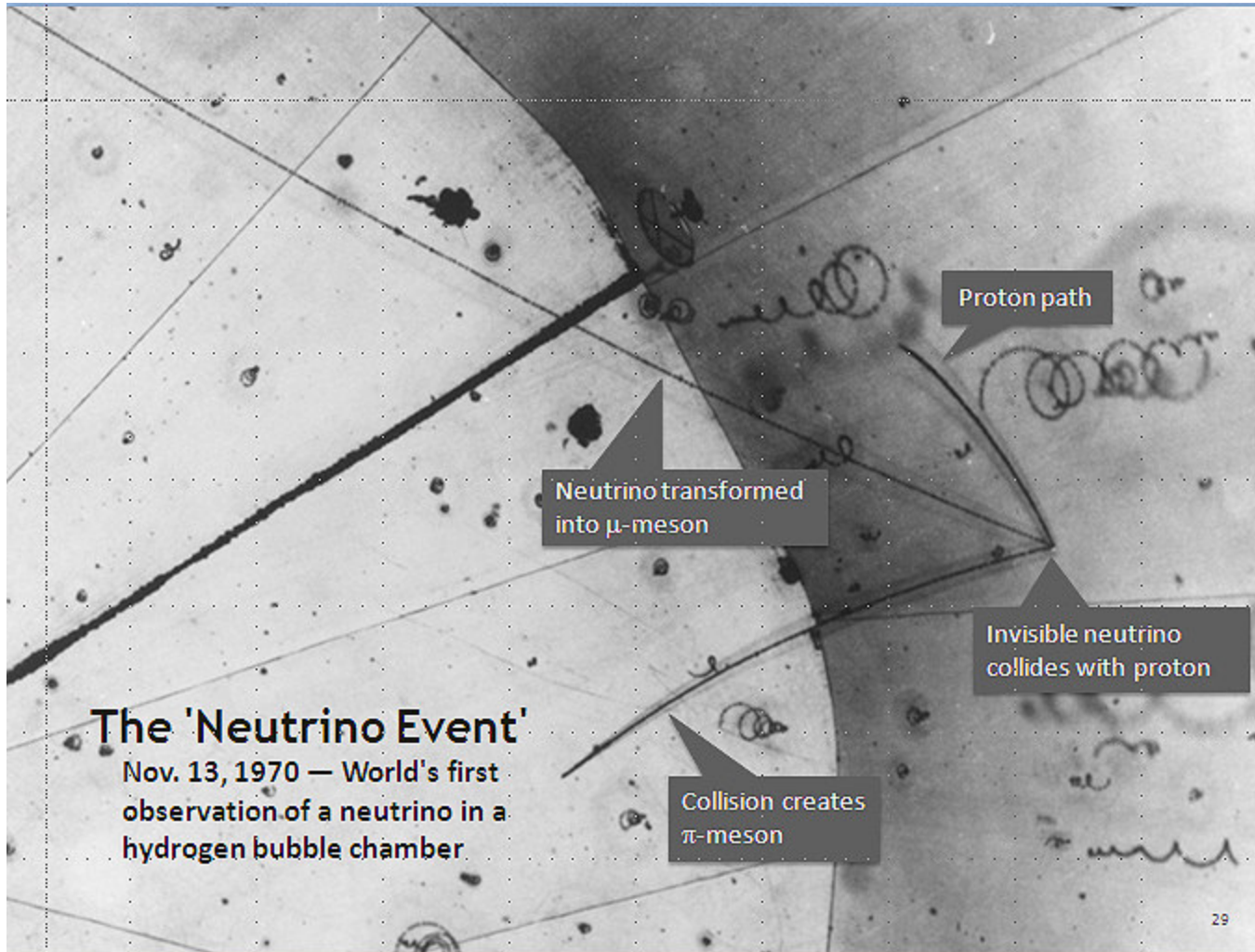


- Megmaradó mennyiségek:

leptonszám, töltés, barionszám

(azaz nukleonszám), spin, energia, impulzus

# Neutrínó-megfigyelés buborékkamrával, 1970



# Részecskefizika a harmincas évek közepén

- Proton, elektron, neutron, foton...  
teljesen elég volt az atomok leírásához.
- Minden rendben, teljesnek tűnt a kép... de  
azért néhány apróság kilógott, *elméleti* oldalról:
  - Dirac-egyenlet antirészecskét jósolt (ahogy láttuk)
  - A magerő rövid hatótávolságú, a közvetítő  
részecskéje, ha van, az elektronnál nehezebb, a  
protonnál könnyebb (pí-mezon)
  - A béta-bomlásban nem marad meg az energia?  
Láthatatlan, új részecske (neutrínó)

Figyelmeztető jelek, hogy még hiányzanak fontos részletek...

# Kozmikus sugárzás

- *Mai tudásunk:* a Földet a világűrből érő részecskezápör, 90%-ban protonok, 9% He, 1% elektronok, kis mennyiségben nehezebb atommagok. Másodlagos sugárzást is keltenek.
- Pozitron, müon, pion felfedezéséhez vezetett
- $^{14}\text{C}$  izotópot termel - kormeghatározás  $n + \text{N}^{14} \rightarrow p + \text{C}^{14}$
- $1\text{e}8$  TeV energiát is elérhetnek (CERN LHC: 3.5 TeV). Ez 10 Joule nagyságrend!
- Természetes háttérsugárzás kb. ötödét adja.
- Magassággal nő – Föld mágneses tere árnyékol
- Sarki fény okozója ( $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$  gerjesztés,  $\text{N}_2$  ionizáció)
- Elektronikai hibák, bithibák okozója (Voyager)...
- Klímaváltozás?

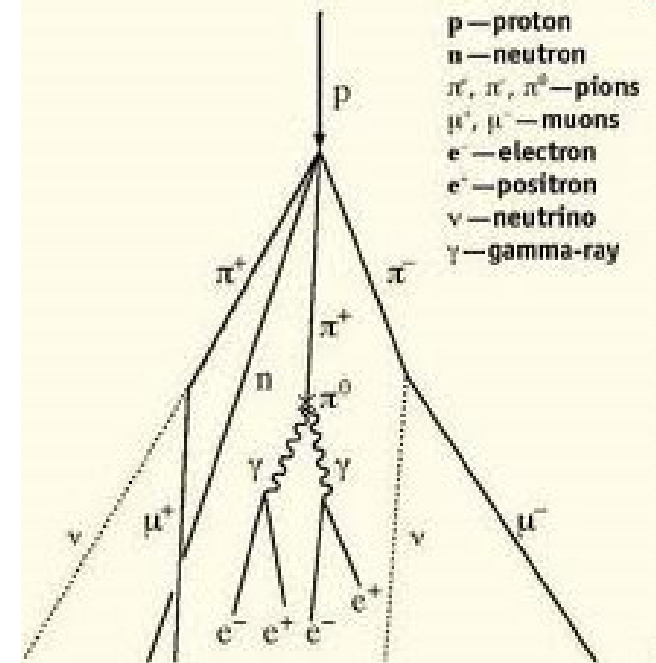
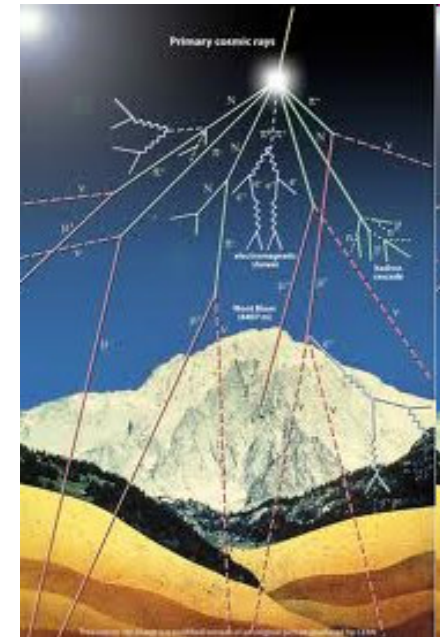
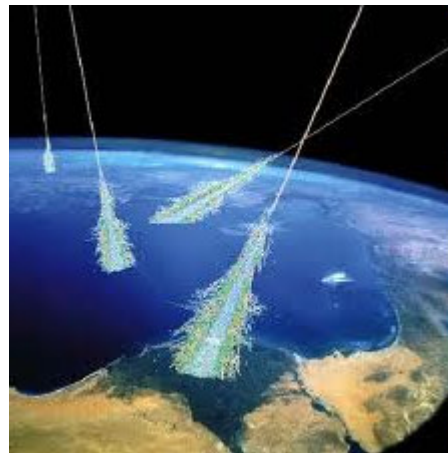




# Kozmikus záporok

- Beérkező részecske eltalál egy atommagot
- Sok más részecske keletkezik, főleg pionok (ld. később)
- Pionok elbomlanak
- Semleges pion két fotonra bomlik
- Fotonok elektron-pozitron párt keltenek
- Elektron v pozitron fotonokat sugároz ki (fékezési sugárzás)
- stb...

Greisen–Zatsepin–Kuzmin (GZK) határ: 50 Mpc-en belül max.  $5 \times 10^{19}$  eV energiájú proton érkezhethet, mert a kozmikus háttérsugárzással kölcsönhatva pionokat keltene... de mégis találtak nagyobb energiájúakat.



# Kozmikus záporok felfedezése

- Levegő ionizációja: azt hitték, földi radioaktivitás okozza (magassággal csökken, kis magasságokban).
- 1909: T. Wulf: elektrométer: Eiffel torony tetején nagyobb a sugárzás mint a lábánál
- 1912: Victor Hess: hőléggallon, 5300 méter magasan négyszer akkora az ionizáció mint lent (Nobel-díj: 1936). Napfogyatkozáskor is! Tehát a sugárzás nem (csak) a Naptól jön, hanem a világűrből.
- 1937 Pierre Auger: kozmikus záporok: egymástól távoli detektorai néha egyszerre szólaltak meg (koincidencia)
- Argentína: ma is folynak mérések, Pierre Auger Observatory, nagyon nagy kiterjedésű műszerhálózat.
  - Fluoreszcencia (légköri nitrogén) mérése, újholdkor, derült időben
  - Víztartályos Cserenkov-detektorok szétszórva a Földfelszínen

# A müon felfedezése (1936)



- Anderson és **Neddermeyer**  
kozmosz sugárzásban  
ködkamra felvételek mágneses térben

pályasugár:  $p/qB \rightarrow p$

nyomsűrűség  $dE/dx \propto q/v \rightarrow$  tömeg (E)

nyugalmi tömeg  $m_0 c^2 = \sqrt{E^2 - p^2 c^2}$

A pályagörbületének iránya mutatja a töltés előjelét

A proton és az elektron tömege közötti tömegű új  
részecske!  $m \approx 210 m_{\text{elektron}} \approx 106 \text{ MeV}$

**neve: müon, jele:  $\mu$**

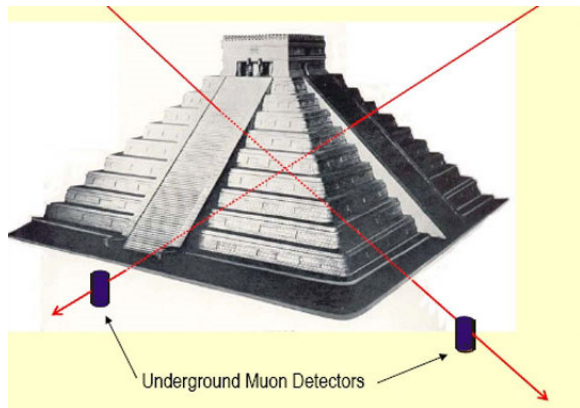
Későbbi munkája: robbantásos technikával létrehozott kritikus tömeg atombombában

# Müon

- Negatív elemi töltésű,  $\frac{1}{2}$  spinű.
- 2.2  $\mu\text{s}$  élettartamú (leghosszabb a neutron után)
- Tömege 105.7 MeV.
- Forrása: kozmikus sugárzás (NEM radioaktivitás v hasadás)
- Az elektron nagy tömegű testvére
- Nem szenved olyan nagy fékezési sugárzást mint az elektron (nagy tömeg  $\rightarrow$  kis gyorsulás atommag közelében)
- Ezért nagy az áthatolóképessége (több száz méterrel a föld alatt is mérhető – másodlagos kozmikus sug.)
- Kilóg a később felfedezett hasonló tömegű mezonok közül
- I. Rabi: „Ezt meg ki rendelte?”
- 1941: Mount Washington kísérlet  $\rightarrow$  idő-dilatáció, speciális relativitáselmélet bizonyítéka (müonfluxus a hegy tetején és alján kevéssé különbözik)

# Müonok a gyakorlatban

- Radioaktív anyagok csempészete elleni harc
  - Koszmikus müonokkal
  - Sugárzó anyagokat ólomtartályban szállítják
  - Ezen a müonok szóródnak
- Piramisok kamráinak, barlangoknak a feltérképezése
- Higgs részecske keresése (müonos bomlások)



# A müon bomlása

Powell fotoemulziós képein: müon elbomlott elektronra és láthatatlan részecskére  
azonosítás: pályasugár ( $mv/qB$ ) és nyomsűrűség ( $q/v$ )

A pionokat előállító gyorsítókkal már sok müon-t lehetett előállítani,  
bomlását is részletesen lehetett vizsgálni.

A keletkezett elektron energiája: folytonos!

$\mu^- \rightarrow e^-$  már a lendület és az energia sem maradna meg

$\mu^- \rightarrow e^- + \tilde{\nu}$   $(m_\mu - m_e)c^2$ -ből, és a lendületmegmaradásból  
 $E_e$  meghatározható, nem folytonos  
keletkezik még egy részecske

$\mu^- \rightarrow e^- + \tilde{\nu} + \nu_\mu$  a müonhoz tartozó neutrínó:  $\nu_\mu$

Az új neutrínó nem azonos a korábbiak egyikével sem,  
ezt kísérletileg igazolták

# Leptonszám-megmaradás

	$e^-$	$e^+$	$\nu_e$	$\tilde{\nu}_e$	$\mu^-$	$\mu^+$	$\nu_\mu$	$\tilde{\nu}_\mu$
elektronikus-leptonszám	1	-1	1	-1	0	0	0	0
müonikus-leptonszám	0	0	0	0	1	-1	1	-1

külön-külön megmaradnak

$$\mu^- \rightarrow e^- + \tilde{\nu}_e + \nu_\mu$$

$$\begin{array}{l} \ell_e \\ \ell_\mu \end{array} \quad \begin{array}{l} 0 \\ 1 \end{array} = \begin{array}{l} 1 \\ 0 \end{array} - \begin{array}{l} 1 \\ 0 \end{array} + \begin{array}{l} 0 \\ 1 \end{array}$$

Majdnem általános természeti törvény: neutrínó-oszcillációkor nem áll fenn, de a részecskék keletkezésekor igen.

# A pí-mezon jóslat 1935



- Hideki Yukawa (Nobel-díj 1949)
- Az erős kölcsönhatás hatótávolsága kicsi
  - Ezt az atommag méretéből lehet látni
- Yukawa-potenciál: tömeges közvetítő részecske esetén.  $m=0$  határeset: Coulomb.

$$V(r) = -g^2 \frac{e^{-mcr/\hbar}}{r}$$

- $\hbar=6.6e-22$  MeV·s
- A közvetítő részecske tömege 100 MeV körüli kell hogy legyen!
- Az egy évvel később felfedezett müont hitték a megjósolt pionnak (amíg ki nem derült hogy másféle bomlásai vannak, és nem is vesz részt az erős kölcsönhatásban)

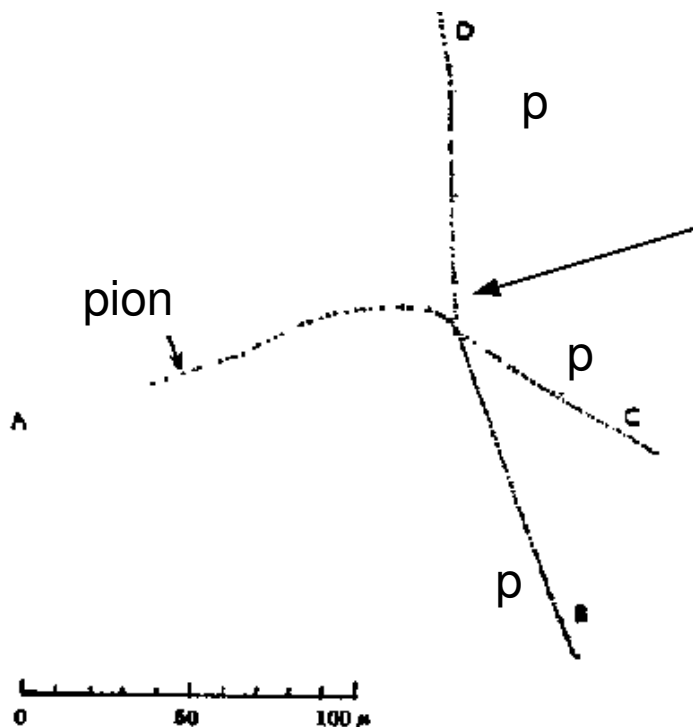


# Fotoemulzió



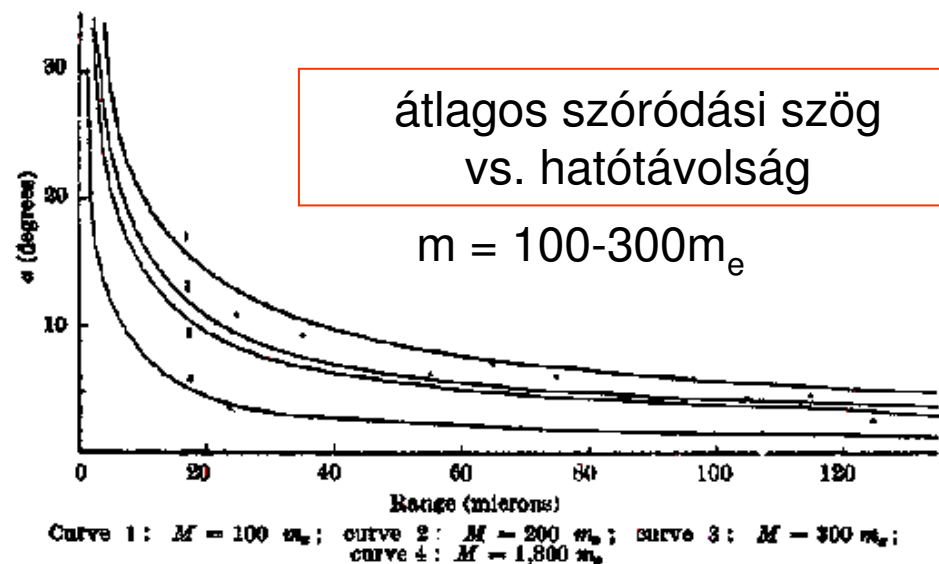
- Cecil Powell (Bristol)
- Emulzió: ezüsthálid zselatinban
- Ionizáló részecske → Ag szemcsék
- Szemcsék sűrűsége: ionizáció mértéke
- Fényképelőhívás
- Powell növelte az érzékenységet
- Az emulzió időben folytonosan érzékel

# Az első megfigyelt pion



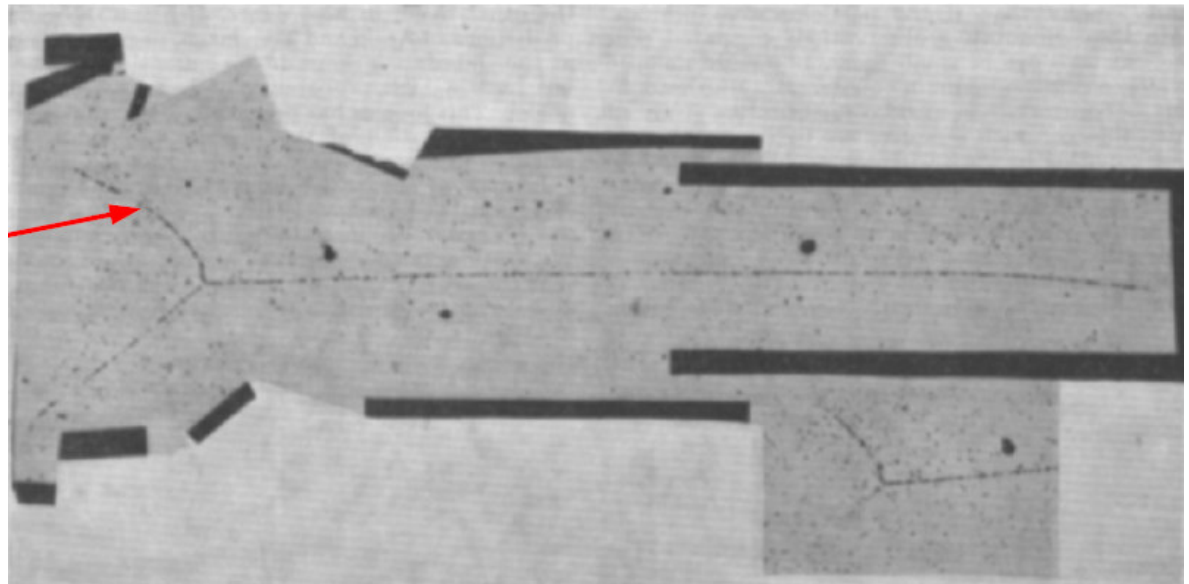
- Miért új részecske a bal oldali track?
- elektron nem lehet, túl messzire eljutott
  - müon nem lehet, túl sok nukleáris kh. fordult elő
  - proton nem lehet, túl sokszor szóródik

1947 Powell (Nobel-díj: 1950), Lattes  
 fotoemulzió (Ag)  
 hegytető  
 kozmikus sugárzás

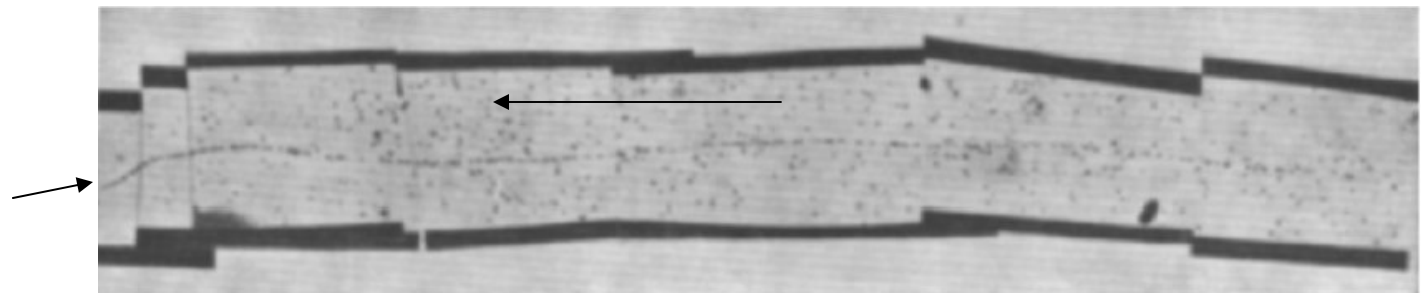


# Pozitív és negatív pionok: $\pi^+$ , $\pi^-$

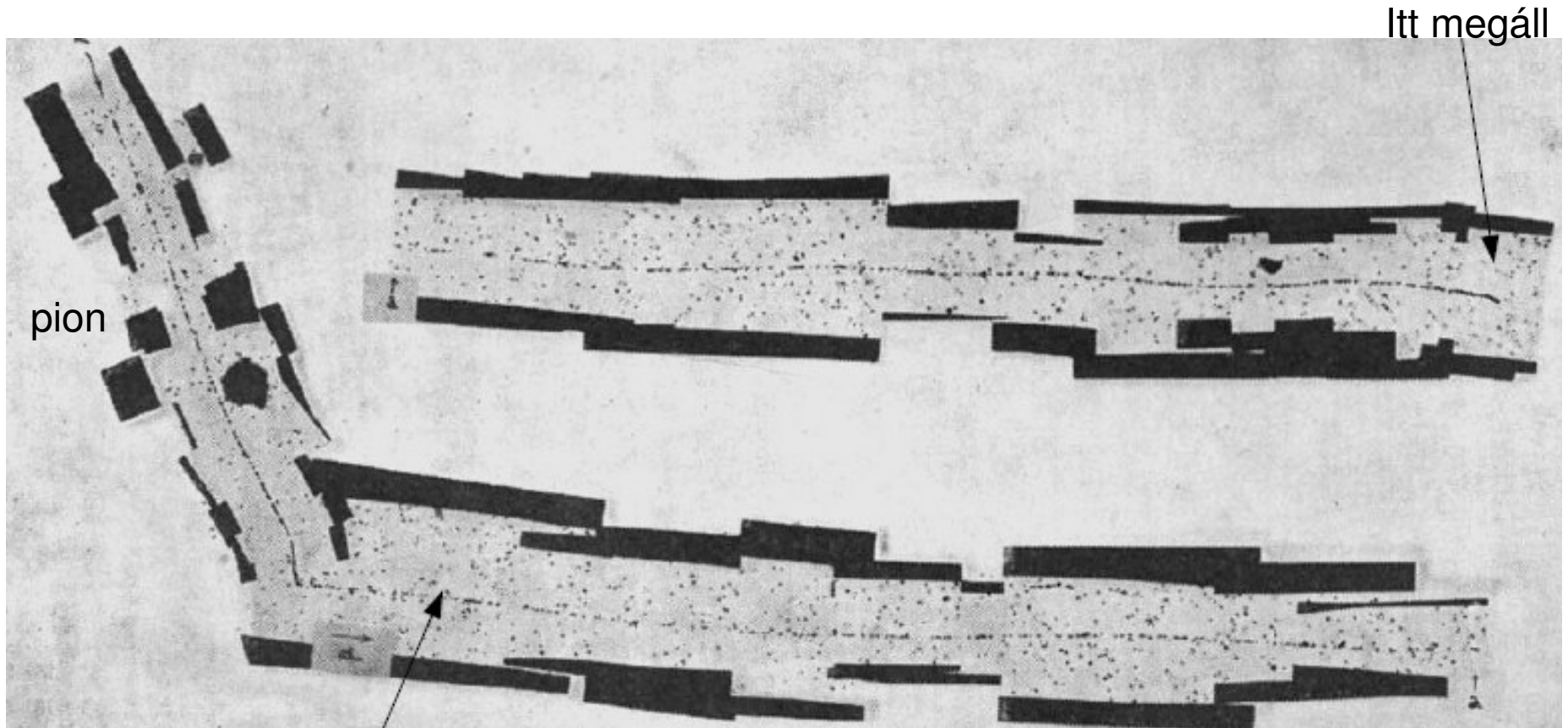
Negatív pion  
Útja végén befogódik  
egy atommagba



Pozitív pion  
balra halad  
majd megáll



# Pion bomlása... mi a bomlástermék?



Müon! A pion egy müonra bomlott!

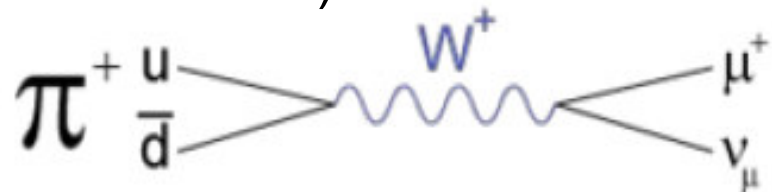
# Pion bomlása

Event No.	Range in emulsion in microns of	
	Primary meson	Secondary meson
I	133	613
II	84	565
III	1040	621
IV	133	591
V	117	638
VI	49	595
VII	460	616
VIII	900	610
IX	239	666
X	256	637
XI	81	500

Mean range  $614 \pm 8 \mu$ . Straggling coefficient  $\sqrt{\sum \Delta_i^2/n} = 4.3$  per cent, where  $\Delta_i = R_i - \bar{R}$ ,  $R_i$  being the range of a secondary meson, and  $\bar{R}$  the mean value for  $n$  particles of this type.

- A müonok hatótávolsága mindig ugyanannyi!
- Tehát kezdeti mozgási energiájuk konstans
- Az álló pion bomlott el
- Ezért ez KÉTtest bomlás (nem pl. háromtest)

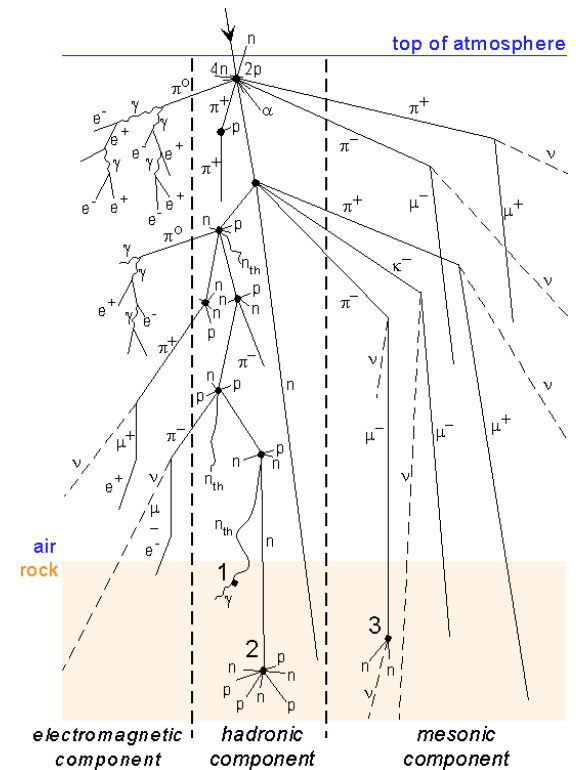
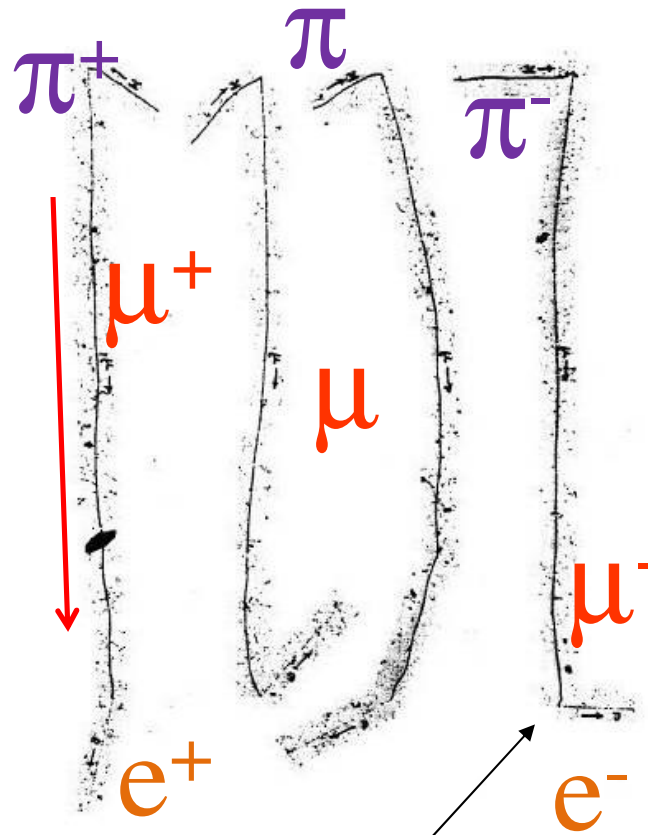
Modern elképzelés:



# Pi-mezon (pion) bomlási lánc

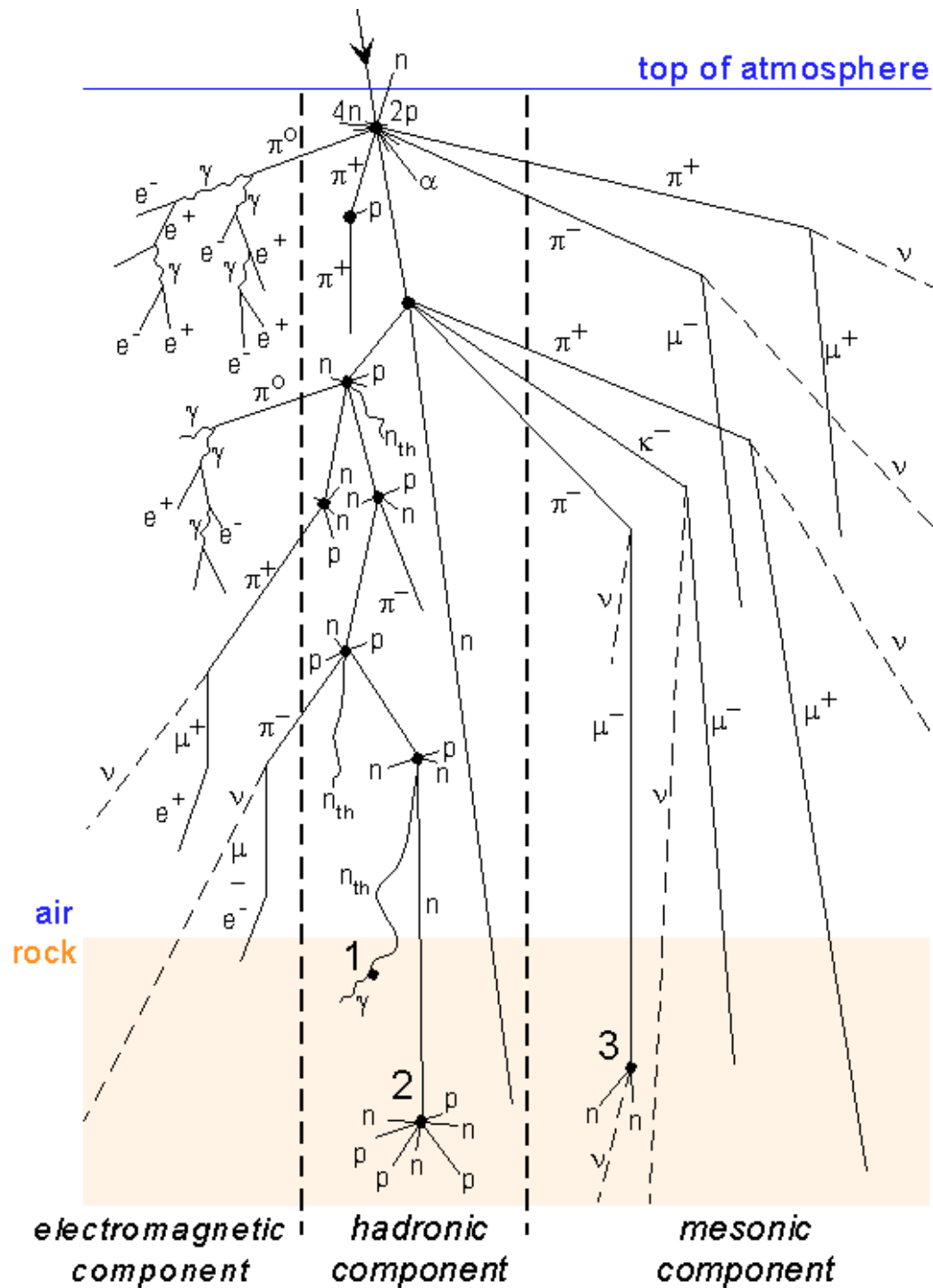
$mc^2 \approx 150 \text{ MeV}$

keletkezés:  
protonok ütközése  
atommagokkal.  
hamar elbomlik müonra,  
a pálya megtörik: láthatatlan vagy semleges  
részecskék is vannak!



# Kozmikus sugárzás komponensei

- Elektromágneses
- Hadronikus
- Mezonikus



# Leptonszám

Pi mezon bomlásakor az impulzusmegmaradás sérülni látszik: semleges részecske:  $\nu_\mu$  (műonneutrínó) keletkezik

$$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu \quad \pi^- \rightarrow \mu^- + \tilde{\nu}_\mu$$

A két neutrínó nem azonos:  
leptonszám megmaradás törvénye

A műon is bomlik!

$$\mu^- \rightarrow e^- + \tilde{\nu}_e + \nu_\mu$$

Elektronikus és műonikus leptonszám is van!



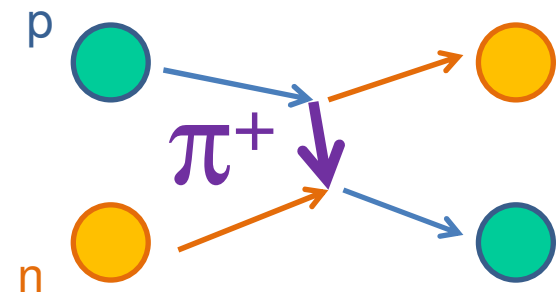
# Pi-mezonok

A gyorsítóknak is könnyen elő lehet állítani, ha a felgyorsított proton energiája nagyobb 200 MeV-nél, 1948-ban ez elindult a Berkeley-i ciklotronban

Így felfedezték fel a pozitív és negatív töltésű pi-mezon mellett a **semleges** pi-mezont is (izospin: kell lennie egy semlegesnek is...)  
Tömegük kb. egyforma (hasonlóan a neutron és a proton tömegéhez):  
Töltöttek: 139.57 MeV, semleges: 134.98 MeV.  
De hárman vannak, van  $\pi^0$  mezon is! izospin=1,  $T_z=-1,0,1$

Yukawa – magerők közvetítője,  
a magerők közvetítő részecske modellje  
(minden kölcsönhatásra alkalmas)

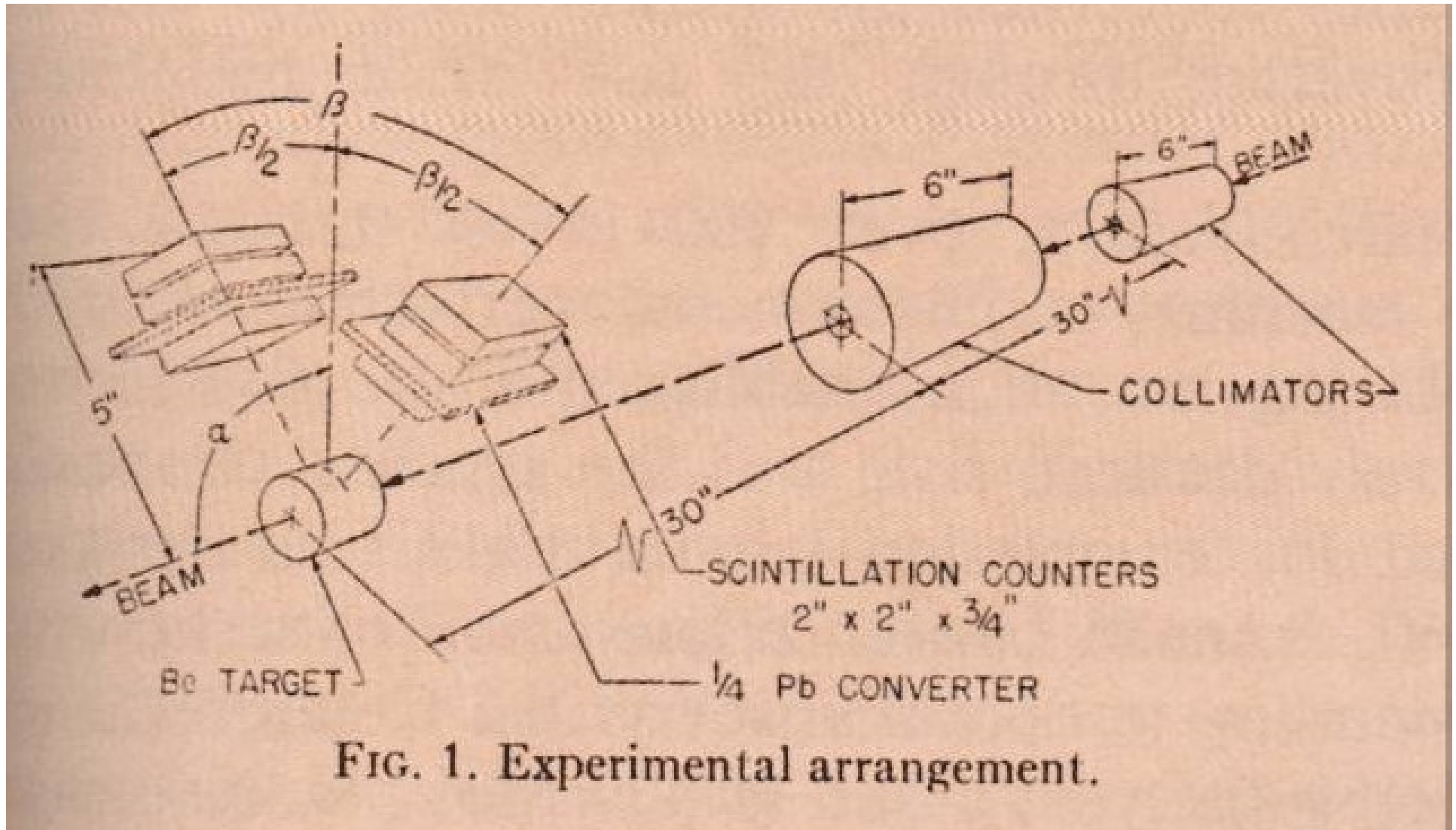
Hatótávolság a határozatlansági relációból:  
 $d = ct = hc/\Delta E = hc/mc^2 = 1,3 \text{ fm}$   
ha  $mc^2 = 150 \text{ MeV}$



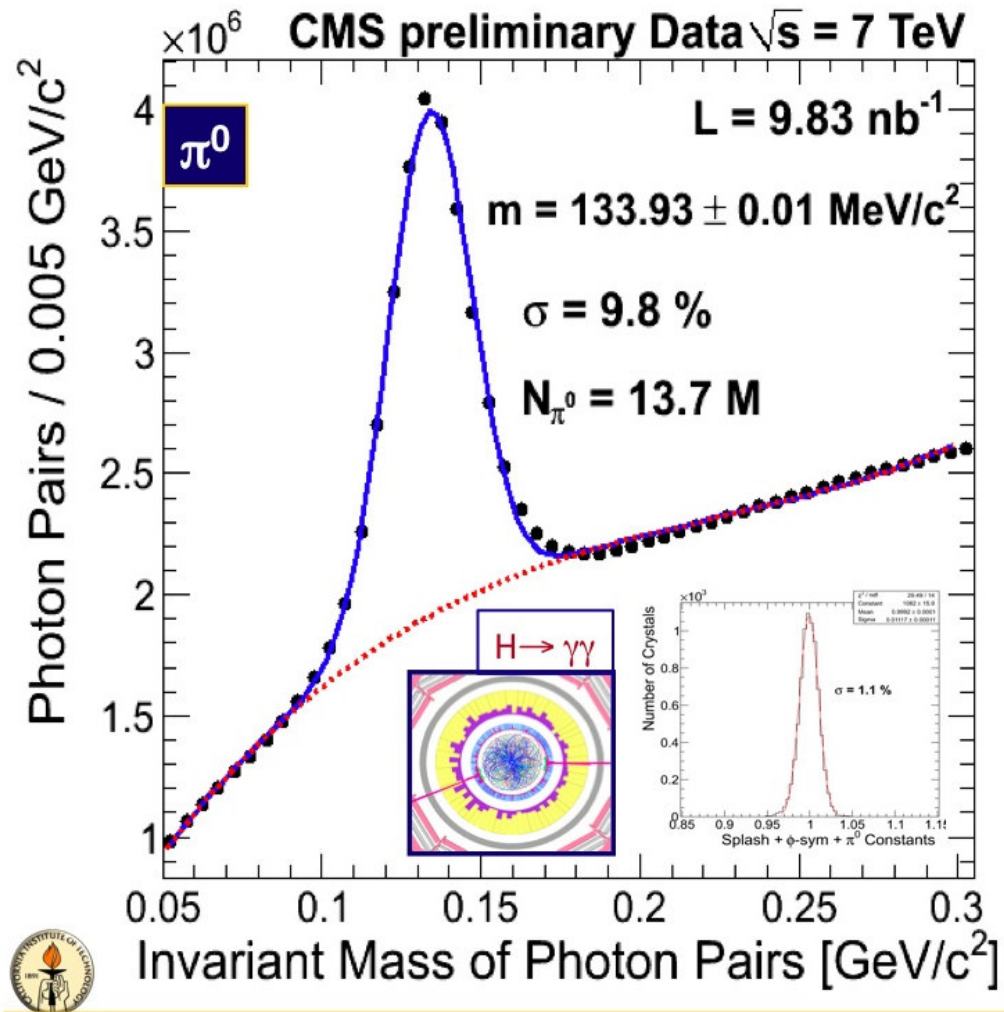
# Semleges pion felfedezése: 1950

- Yukawa: a proton-proton vonzásért a semleges pion a felelős.
- 1948, Oppenheimer: Kozmikus sugárzás: „soft component”: lassú elektronok és fotonok is vannak, ezek a  $\pi^0$  bomlásából származnak.
- 1949, Berkeley gyorsító: protonnyaláb céltárgyra ütközött, 175 MeV proton-energia esetén hirtelen megnőtt a fotonok által keltett elektron-pozitron párok száma.
- 1950: Berkeley, kétfotonos bomlásának megfigyelése (felfedezés) részecskegyorsítóban: elektron-szinkrotronból származó röntgensugárzás céltárgyon pionokat keltett, amelyek két fotonra bomlottak: ezeket koincidenciaméréssel találták meg. Az első instabil részecske gyorsítós felfedezése.
- Később kozmikus sugárzásban is megfigyelték (Bristol)

# A semleges pion felfedezése, Steinberger, 1950



# A semleges pion „újráfelfedezése” az LHC-ben, 2010



# V-részecskék 1.

felfedezés: 1946, Rochester, Butler

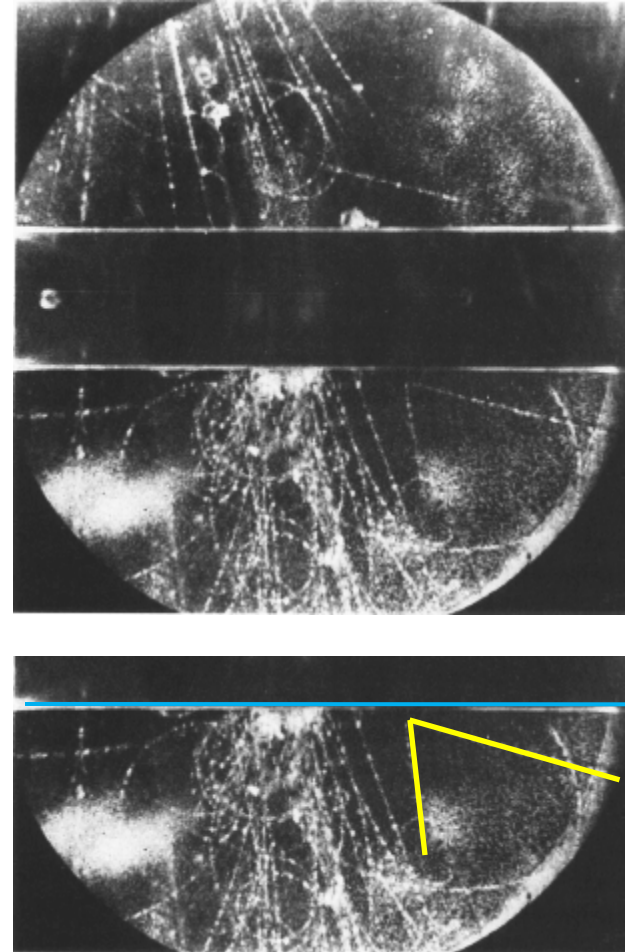
ezen a képen egy semleges részecske bomlásakor két töltött részecske (töltött pionok) nyoma villa alakot (sárga) rajzol ki

A semleges részecske a kozmikus sugárzás hatására az elnyelő ólomban keletkezett. A villa alak miatt ezt V-részecskének hívjuk.

Gondos vizsgálat kimutatta, hogy nem lehet  $e^-e^+$  pár (közelebb kéne lenniük!), nem lehet pion- vagy müonbomlás (lendület megmaradás), hanem egy új semleges részecske, tömege a pionénál nagyobb (kb. fél protontömeg), neve kaon lett.

2x2 hasonló tömegű részecskét fedeztek fel.

forrás: <http://hep.uchicago.edu/workshops/kaon99/>



# A képek analízise

Mekkora tömegű részecske volt a „villa nyele”?

$r=mv/qB$  alapján a töltött részecskék  $p$ -a meghatározható ( $p_1, p_2$ )  
A laborrendszerben az energia és az impulzus megmarad:

$$\sqrt{p^2 c^2 + m_V^2 c^4} = \sqrt{p_1^2 c^2 + m_1^2 c^4} + \sqrt{p_2^2 c^2 + m_2^2 c^4} = E_1 + E_2$$

$$\underline{p} = \underline{p}_1 + \underline{p}_2$$

ebből  $m_V$ -t ki lehet számolni.  $m_V c^2 = \sqrt{(E_1 + E_2)^2 - p^2 c^2}$

$m_V c^2 \approx 500$  MeV. A protonnál könnyebb új semleges részecske.  
( $K^0$  lesz a neve, semleges kaon.)

bomlása:  $K^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-$

# A V-részecske élettartamáról

A V-részecskék néhány cm-t tesznek meg a buborékkamrákban.

$$t=L/v>L/c=3 \text{ cm}/(30\text{cm/ns})=0,1 \text{ ns}=10^{-10} \text{ s}$$

Ez  $10^{13}$ -szor több mint a magfizikai folyamatok tipikus időtartama.

Nagyon hosszú idő.  $10^{13}$  s pl. 0,3 millió év.

**Hosszú élettartamú részecskék.** Valami miatt ezek a részecskék nem bomlanak el úgy, mint a többi részecske.

Ezt a tapasztalatot, a gyors reakciók hiányát megmaradási törvénnyel rögzítjük. Nem vasszigorú megmaradás.

Sokáig „próbál” megmaradni a mennyiség,  
de aztán mégis megváltozik, kis valószínűséggel. Ez a mennyiség a:

**Ritkaság** (A. Pais, Murray Gell-Mann, K. Nishijima), angolul *strangeness*.

Hosszú élettartamú részecskékhez ritkaság-számot rendelünk.

A ritkaság-megmaradás gátolja ezek bomlását.

Aminek a bomlásterméke is ritka, annak a ritkasága  $s = 2$ .

(Többször -1, -2 ritkaság is előfordulhat.)

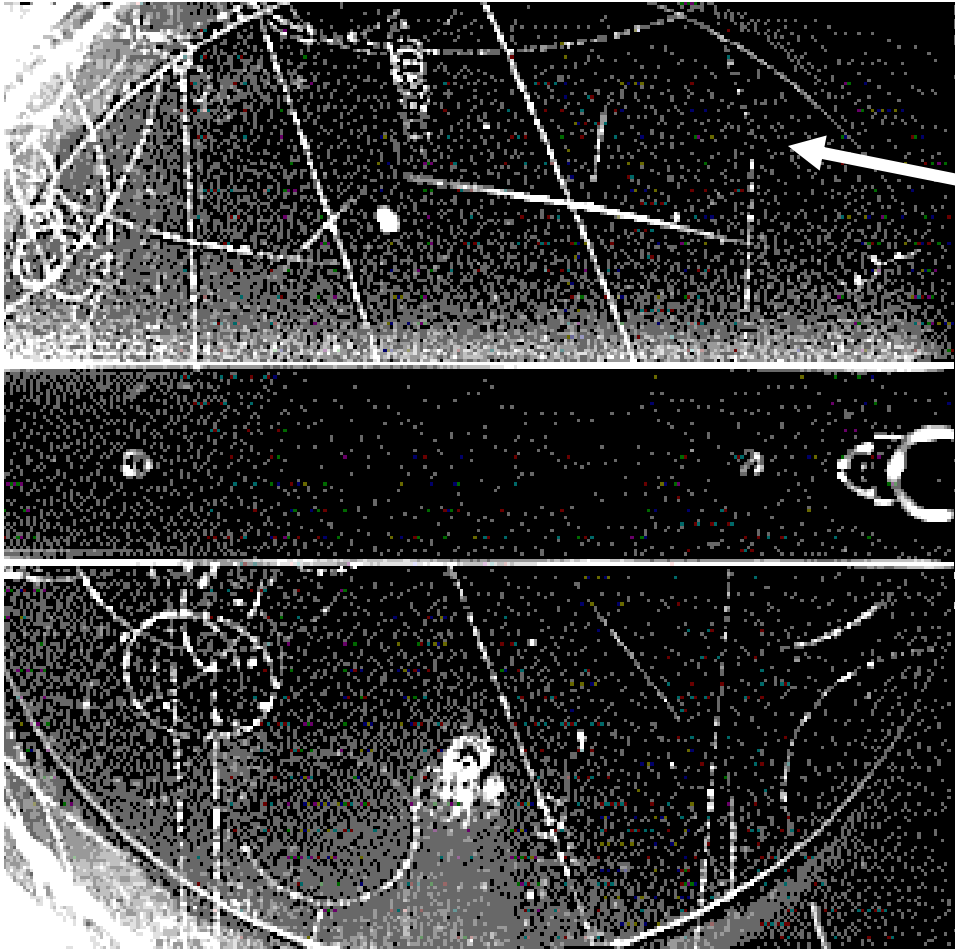
# Kaon

$K^0$

- *ritka* részecske (nem hétköznapi értelemben). Angolul: *strange*.
- tömege kb. 500 MeV
- élettartama  $10^{-10}$  s körül van
- *ritkaság* kvantumszám  $s = 1$
- két pionra bomlik
- (lesz majd három testvére,  
két „mostoha” és egy „édes”)



# Töltött kaon



- Müonra és neutrínóra bomlik.
- A bomlási pont egy töréspont, *kink*
- A müon áthalad a kamrán
- A neutrínó láthatatlan, csak az impulzus-mérleg árulja el.
- Ma is mérnek így, a *törés* alapján kaonokat (pl. NA49, CERN, 1994)

# Antiproton felfedezése

Dirac megjósolta (1933)

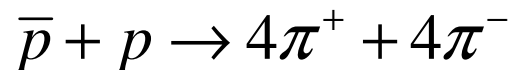
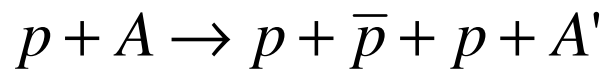
1955 Segrè, Chamberlain (Nobel-díj: 1959)

Berkeley, ciklotron gyorsító

Bevatron, 6.5 GeV (kb. ennyi kell legalább)

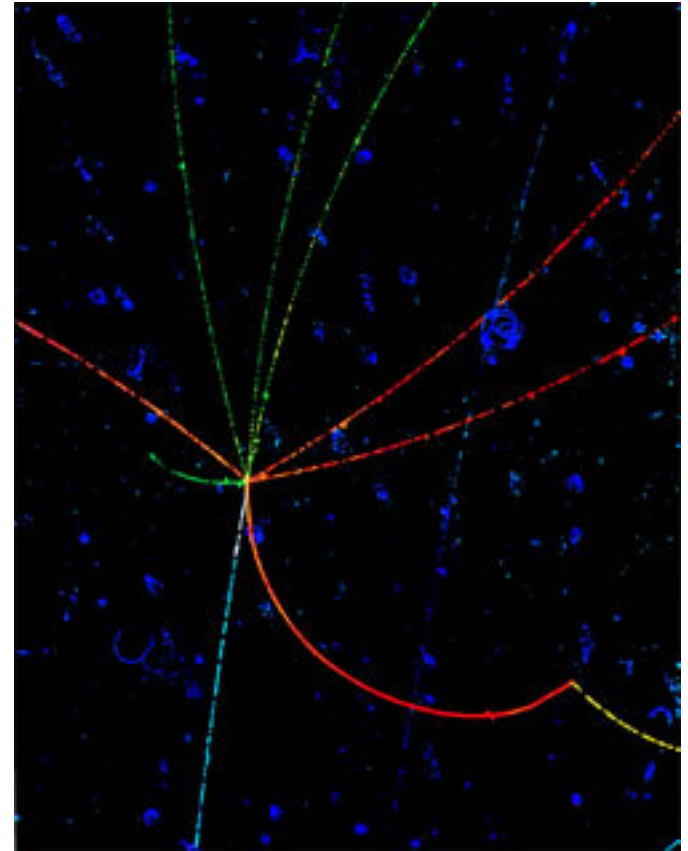
Protonok réztömbre irányítva

Antiprotonokat kiválogatták a keletkezett részecskékből: impulzusméréssel (kvadrupólmágnesek, kollimátorok), valamint sebességméréssel (szcintillátorok 12 m távolságban, Cserenkov-detektorokkal), elkülönülnek a pionoktól.



Annihilációs csillag  
(Wilson-kamra)

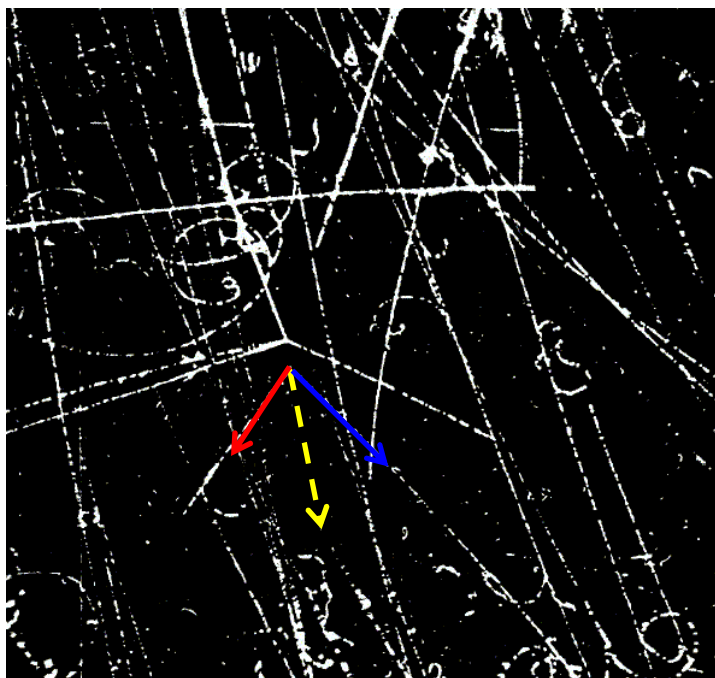
zöld:  $\pi^+$   
piros:  $\pi^-$   
sárga:  $\mu^-$



antiproton

# Antiproton annihiláció $V_2$

$\bar{p}p$  ütközés

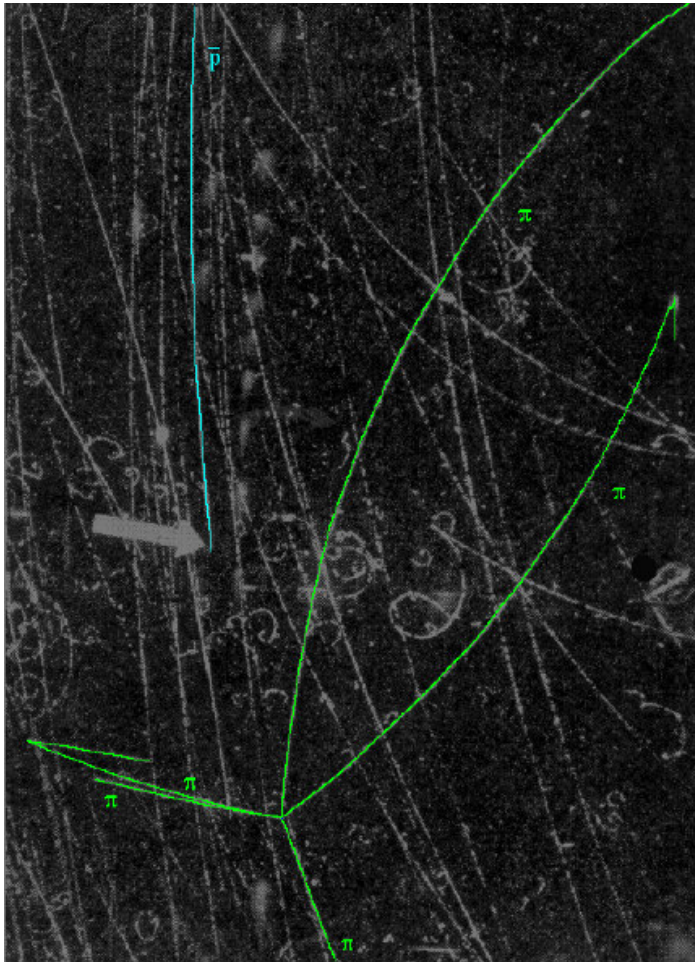


egy semleges részecske is keletkezhet!

majd elbomlik két V-alakban menő – töltött részecskére

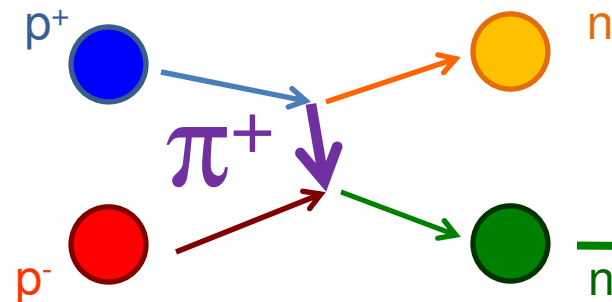
# Antineutron felfedezése

## $\bar{n}n$ ütközés



töltéscsere  $\bar{p} \rightarrow \bar{n}$ ,  
pionok keletkeznek

Antiproton nyalábbal, szintén Berkeley-ben.  
töltéscsere, szóródás: kiválogatható az  
antiproton-annihilációk közül  
(kicsi energialeadás) (nyíl a képen).  
Utána az antineutron-neutron annihiláció  
töltött részecskéket eredményez („csillag”)



neutron annihiláció:  
4 új részecske 2 + és 2 – görbületű

# Történeti lépések áttekintése

- 1895 Röntgen szivattyú
- 1896 Becquerel véletlen
- 1897 Thomson katódsugárcső
- 1898 Curie-házaspár kémia
- 1911 Rutherford alfa-forrás
- 1917 Blackett ködkamra
- 1932 Chadwick alfa-forrás
- 1933 Anderson ködkamra, kozmikus sugárzás
- 1947 Powell, Lattes fotoemulzió, kozmikus sugárzás
- 1947 Rochester, Butler V-részecskék
- 1955 Segre, Chamberlain gyorsító – Bevatron

# V-részecskék 3.

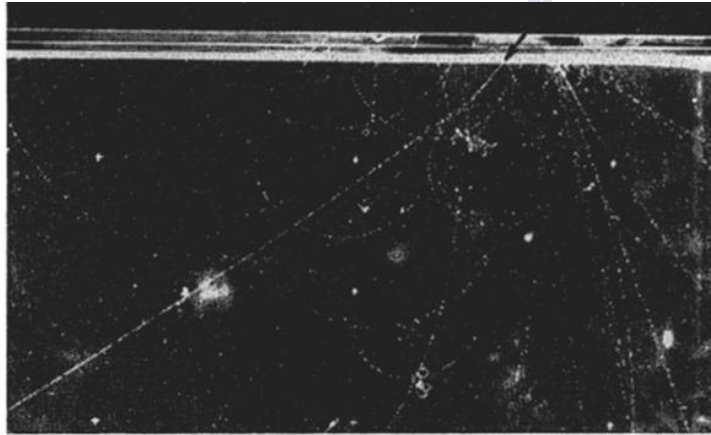
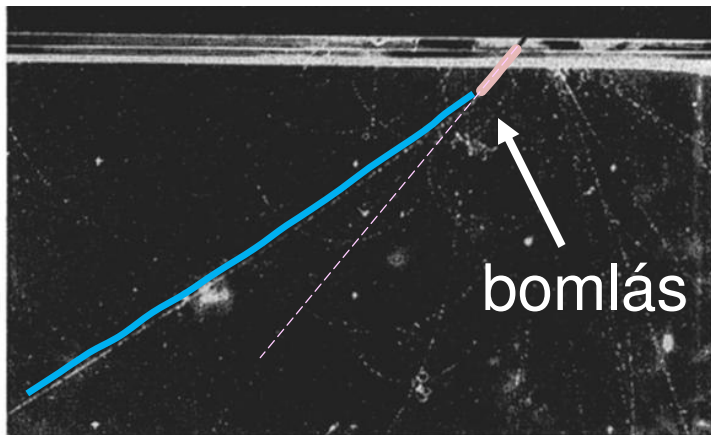


FIG. 1. Cloud-chamber photograph showing a charged  $V$  particle originating in an interaction in the lead plate and decaying into a heavy secondary particle. The  $V$  particle travels diagonally downward toward the left from the interaction and decays after having traversed only a short distance in the chamber. The heavy secondary particle proceeds almost in the same direction as the  $V$  particle. Both the primary and secondary particles are heavily ionizing.



töltött V-részecske

bomlásakor erősen ionizáló részecske keletkezik (proton), a villa másik oldala nem ionizál (nem látható).

A fő tapasztalat az oldalirányú impulzus, amit a villa középpontjában szerez a proton.

Innen látszik, hogy valami elvitt impulzust a másik irányban ( $\pi^0$ ).

$V^+ \rightarrow p + \pi^0$ , (neve  $\Sigma^+$  hiperon lesz.)

(A szerzők kizárták a bomlás nélküli szóródás esetét a megváltozott ionizálóképesség alapján.)

ritkaság  $s(\Sigma^+) = -1$

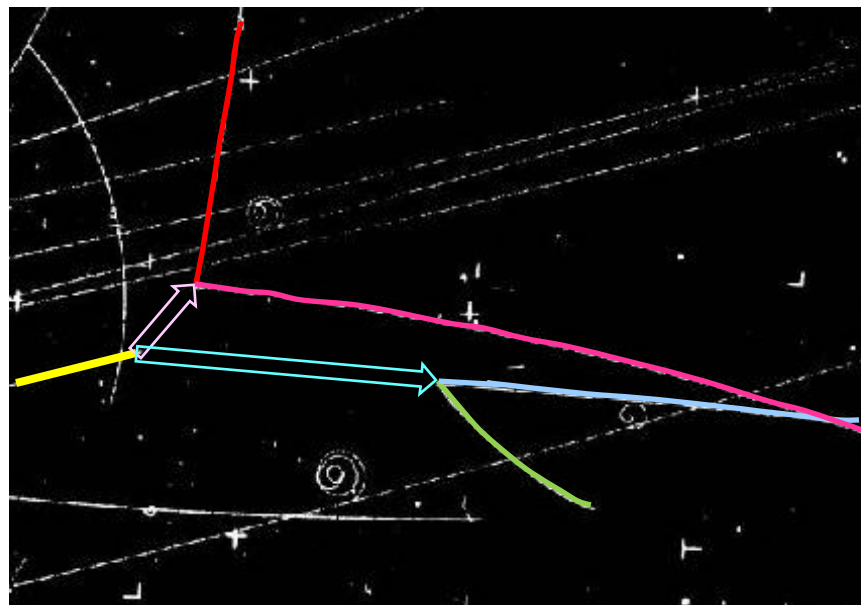
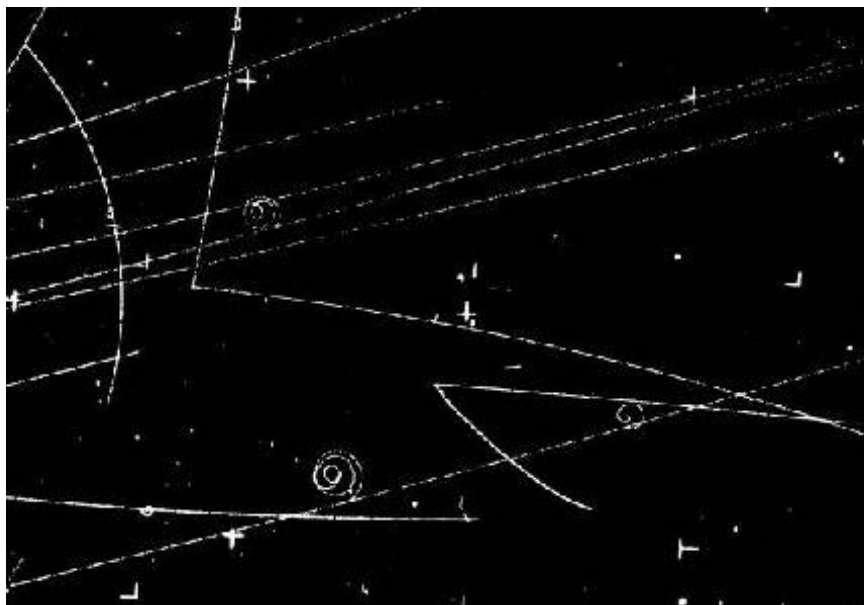
Phys. Rev. 90, 167 (1953)

Direct Experimental Evidence for the Existence of a Heavy Positive  $V$  Particle

C. M. York, R. B. Leighton, and E. K. Bjornerud



# V-részecskék 4.



Új technológia: pionok nyalábja.

A gyorsítóban keletkezett másodlagos pionnyaláb esik buborékkamrára.

$\pi^-$  + álló proton ütközésben keletkezett két semleges V-részecske (nyilak).

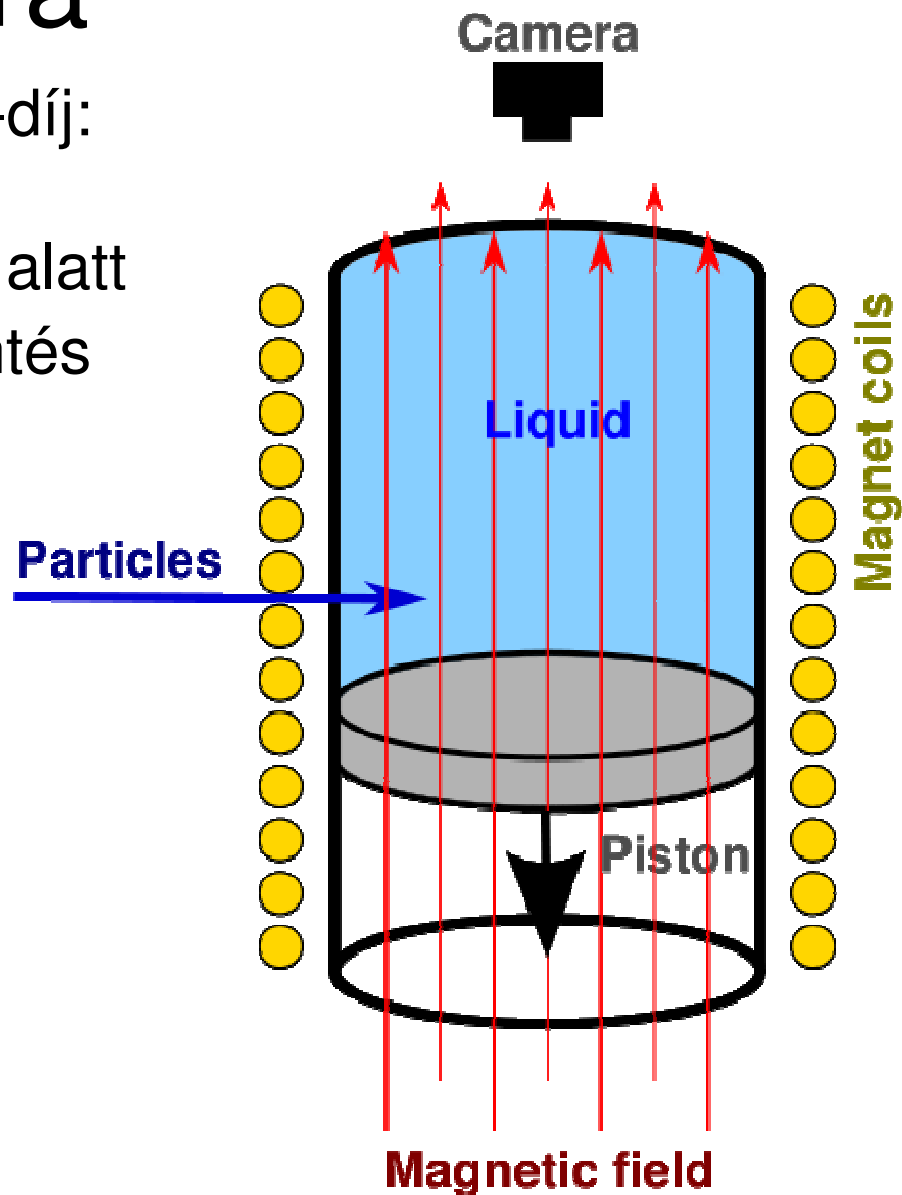
A felső két pionra bomlik (mint korábban), az alsó lendületének nagy részét a kék részecske viszi el (proton), a kis részét az elektronokkal egy irányba tekeredő kisebb energiájú negatív részecske:  $\pi^-$ . Az alsó részecske a protonnál nehezebb semleges részecske. (lambda-0 lett a neve:  $\Lambda^0$ ).

$s(\Lambda^0) = -1$ . Tovább repült, mint a kaon, mielőtt elbomlott.



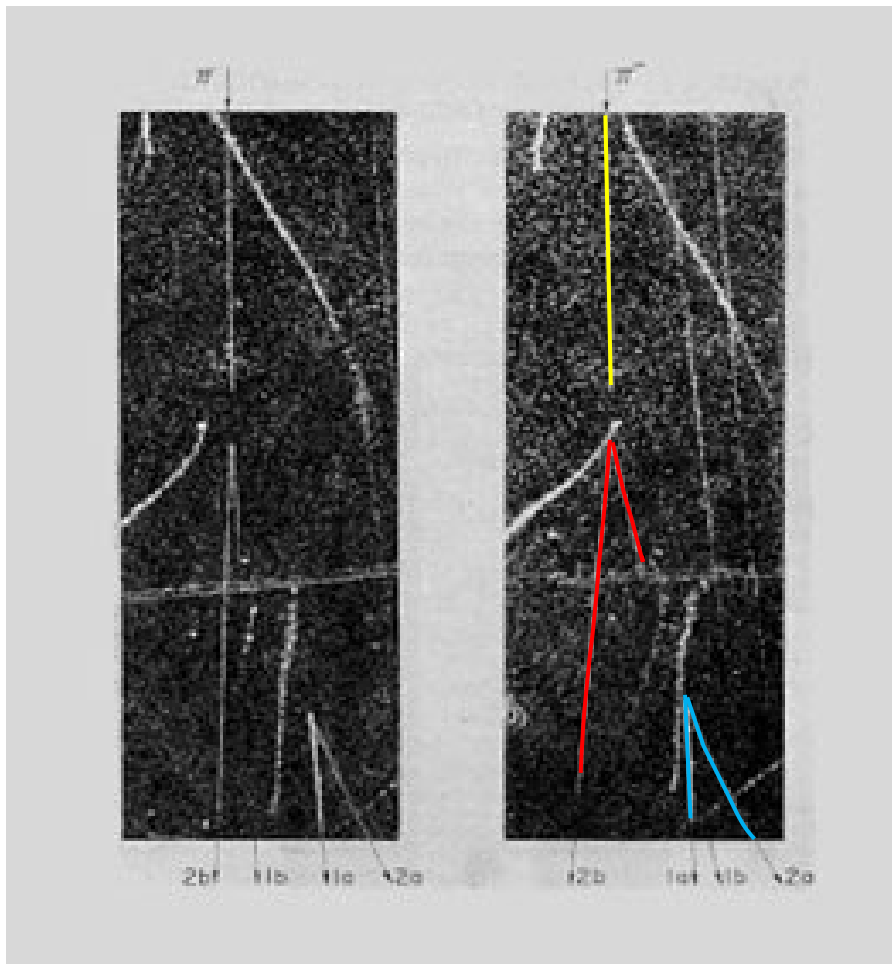
# Buborékkamra

- Donald Glaser, 1952 (Nobel-díj: 1960)
- Folyadék, kicsit a forráspont alatt
- Dugattyúval nyomáscsökkentés
- Forráspont fölé kerül
- Részecskék ionizálnak, körülöttük buborékok keletkeznek
- Pár  $\mu\text{m}$  felbontás
- Előnye a mai napig: 100% detektálási hatásfok
- Hátrány: lassú, kicsi a mai energiákon



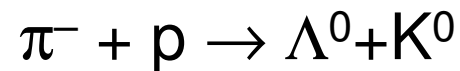


# V-részecskék 5.



Ugyanez diffúziós ködkamrában  
(korábbi technika)

Brookhaven-i gyorsító  
1,5 GeV es pionok



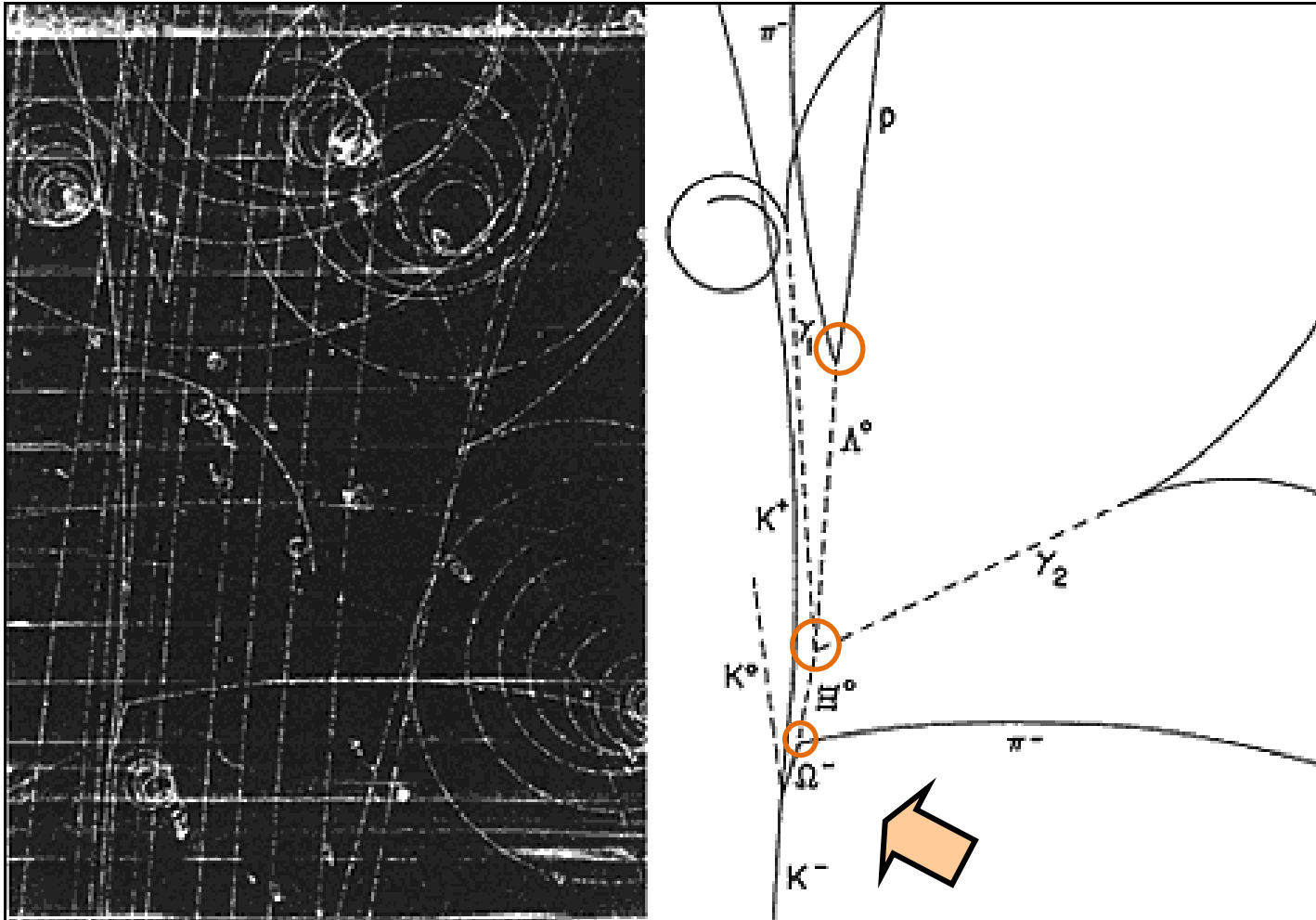
$\Lambda^0$  láthatatlan nyoma megint hosszabb,  
mint a  $K^0$ -é.

keletkezéskor

a ritkaság megmarad  $s(\Lambda^0) = -1$

De bomláskor nem marad meg!

# Az $\Omega^-$ részecske, 1964



Nicholas Samios

Brookhaven  
National  
Laboratory

Kaonok nyalábja! Ez a részecskét előtte megjósolták, ld. később...  
A második bomlásterméke is ritka, ...  $\rightarrow$  ritkaság  $s = -3$  !!!

# A reakció leírása



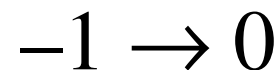
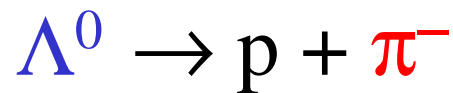
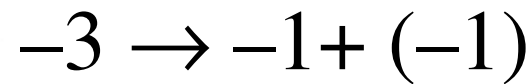
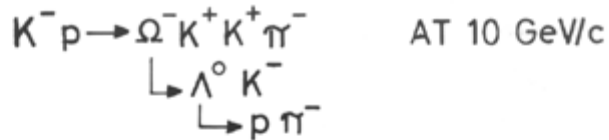
keletkezéskor ritkaság megmarad:

csak úgy lehet, hogy  $s(K^-) = -1$ ,  $s(K^+) = +1$

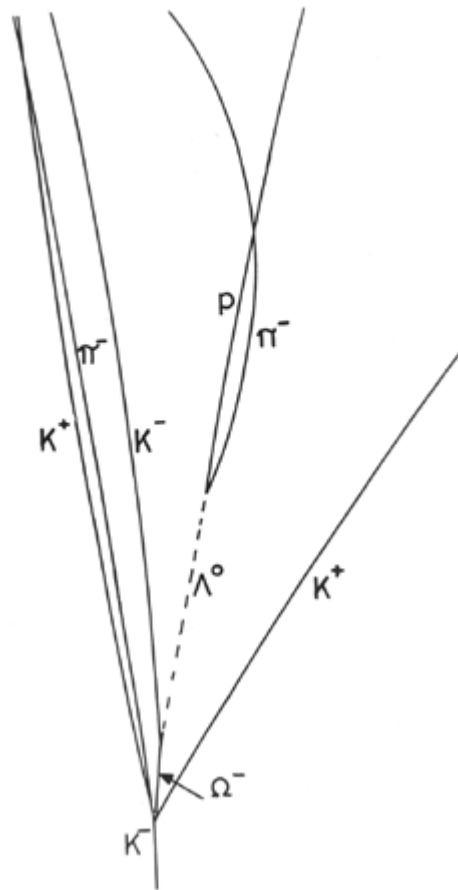
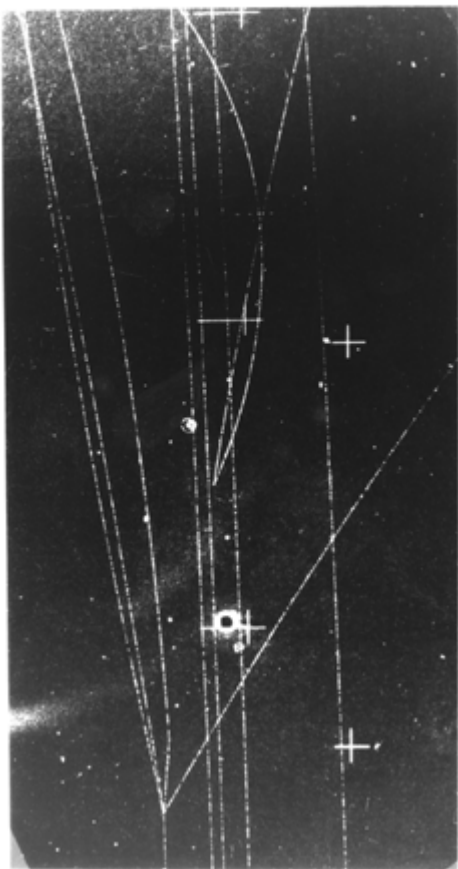
Ez egy különleges, -3 ritkaságú részecske

Ma is vizsgálják, pl. CERN: CMS, NA49

# Omega részecske másfajta keletkezése

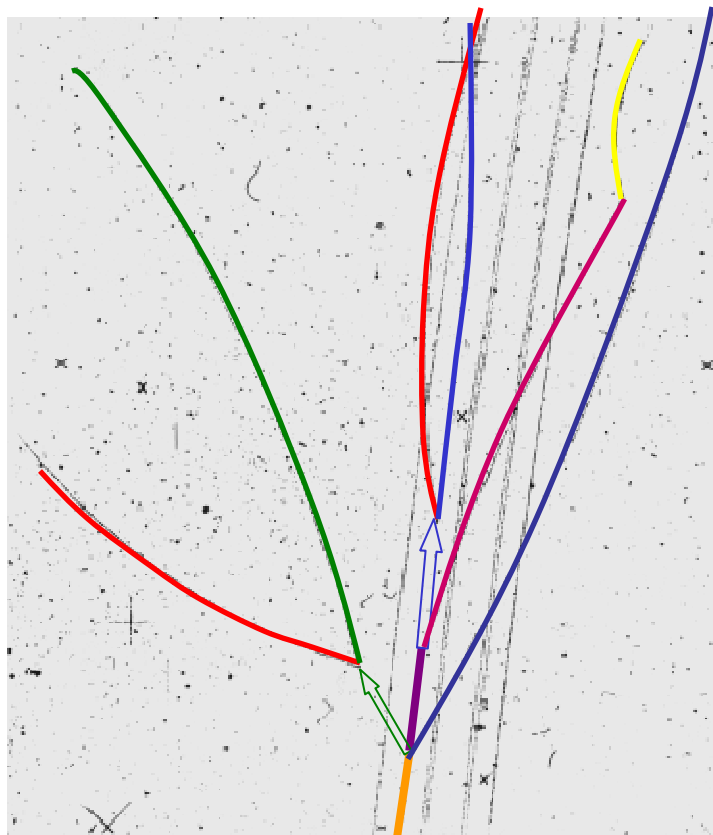
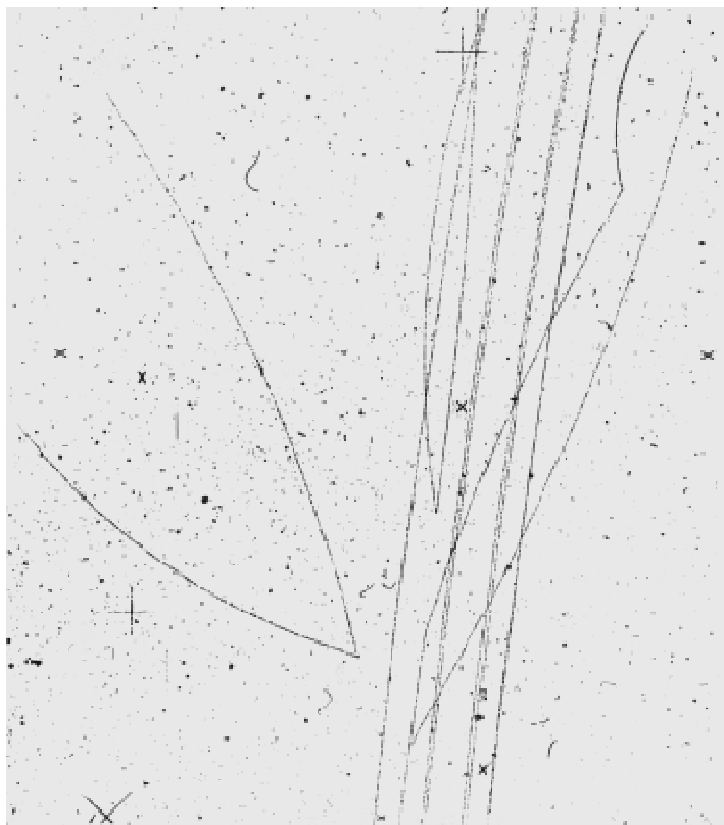


- keletkezéskor ritkaság megmarad
- bomláskor 1-gyel változik



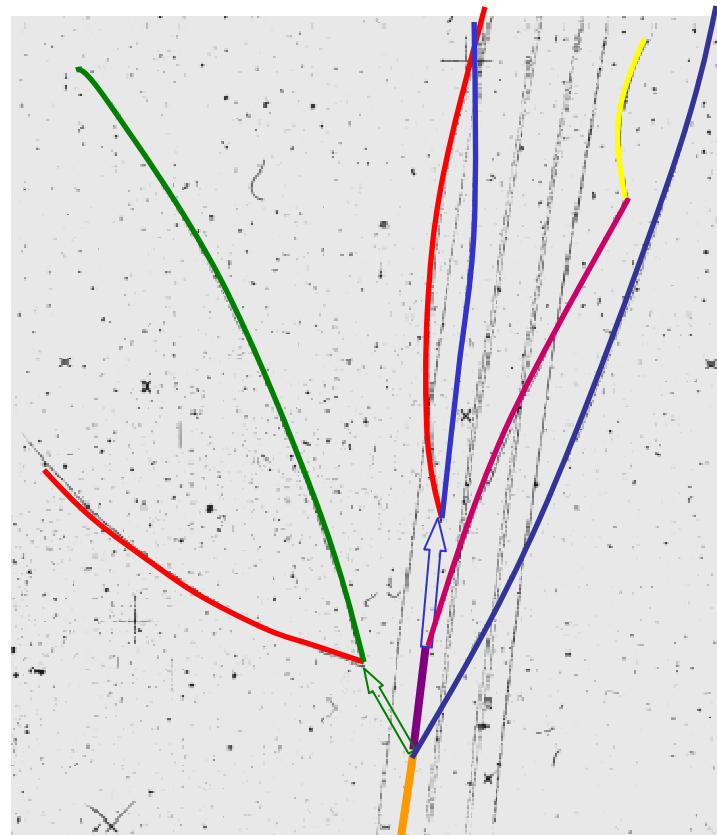
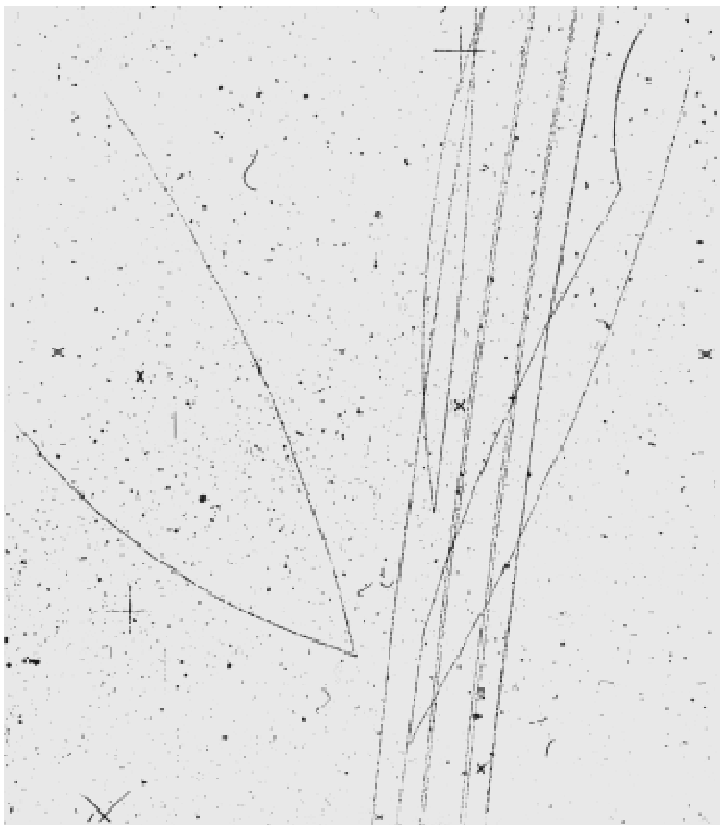
# Omega részecske 3.

Milyen reakció ez?



# Omega részecske 3.

Milyen reakció ez?  $K^- + p^+ \rightarrow K^0 + K^+ + \Omega^-$   
 $\Omega^- \rightarrow \Lambda^0 + K^-$



# Új részecskék

- $K^0, \bar{K}^0, K^+, K^-$   $\pm 1$  kb. 500 MeV
- $\Lambda^0$  -1 kb. 1116 MeV
- $\Sigma^+, \Sigma^-, \Sigma^0$  -1 kb. 1190 MeV
- $\Xi^-, \Xi^0$  -2 kb. 1320 MeV
- $\Omega^-$  -3 kb. 1672 MeV