

Od pozitronu k Higgsovu bosonu a co dál?

Jiří Chýla

Fyzikální ústav Akademie věd ČR

Během osmdesáti let mezi objevy pozitronu a Higgsova bosonu se **zásadně změnil způsob, jak hledat nové částice i samotný obsah pojmu „částice existuje“**.

Změnila se ovšem také experimentální zařízení a cesta od „surových“ dat k jejich fyzikální interpretaci jako svědectví o existenci nových částic a jevů **se stala mnohem složitější**.

Nemilosrdná nezávislá kontrola měření je proto naprostou nutností.

Hlavní etapy na cestě k zákonům mikrosvěta

✚ Elektron

✚ Foton

✚ Atomové jádro

✚ Pozitron

✚ Neutron

✚ Pion

✚ Podivné částice

✚ Elektronové neutrino

✚ Mionové neutrino

✚ Resonance

✚ Struktura protonu

✚ Těžké kvarky

✚ Jety

✚ Gluony

✚ Nosiče slabých sil

✚ Higgsův boson

✚ A co dál?

✚ Temná hmota?

Standardní teorie struktury hmoty a sil působících v mikrosvětě

Podle ní jsou základními stavebními kameny hmoty

tři generace základních fermionů

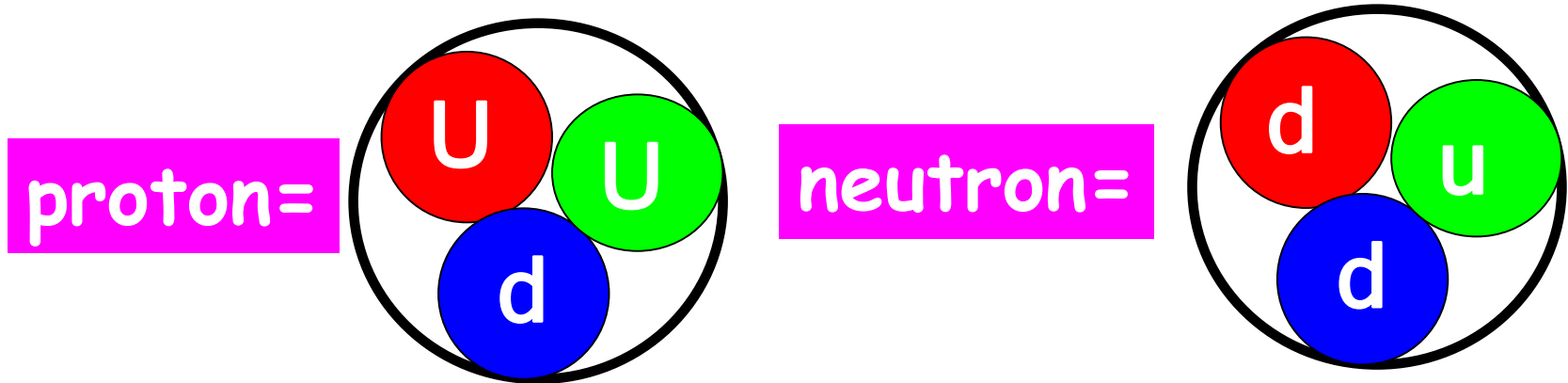
tj. částic se spinem $1/2$, jež se dále dělí na

kvarky a leptony

$Q = \frac{2}{3}$	u u u (0.3 MeV)	c c c (1.5 GeV)	t t t (175 GeV)
$Q = -\frac{1}{3}$	d d d (0.3 MeV)	s s s (0.5 GeV)	b b b (4.5 GeV)
$Q = 0$	ν_e (3 eV)	ν_μ (0.2 MeV)	ν_τ (0.2 GeV)
$Q = -1$	e^- (0.5 MeV)	μ^- (0.1 GeV)	τ^- (1.8 GeV)

Ke každé z těchto částic existuje i odpovídající **antičástice**

Z **barevných kvarků** jsou složeny dobře známé částice, jako jsou například **proton a neutron**



Vše nasvědčuje tomu, že na rozdíl od leptonů

kvarky v přírodě neexistují jako volné částice

ale vždy jen **uvnitř částic**, jako jsou protony a neutrony.

Experimentální data lze pochopit jen za předpokladu, že

hadrony jsou bezbarvé kombinace kvarků.

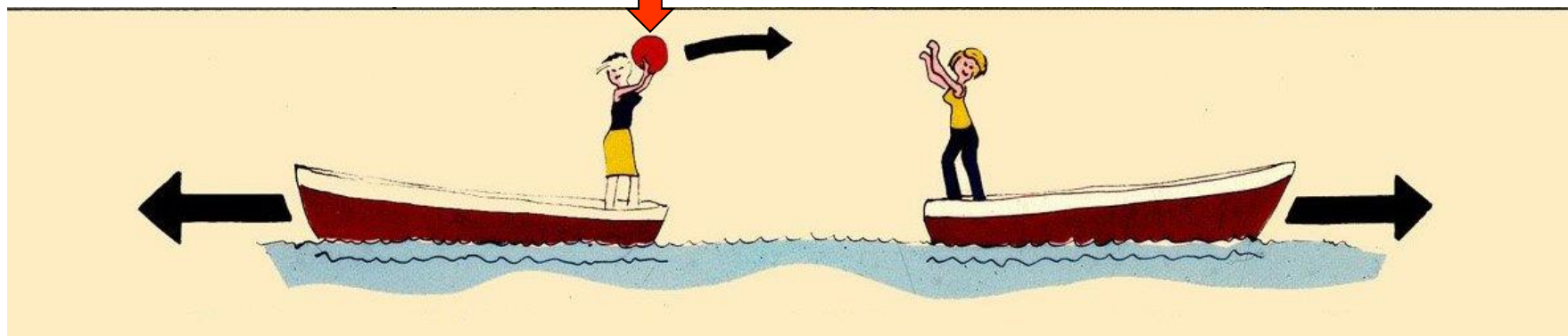
Síly mezi kvarky a leptony

gravitační
elektromagnetické
slabé
silné.

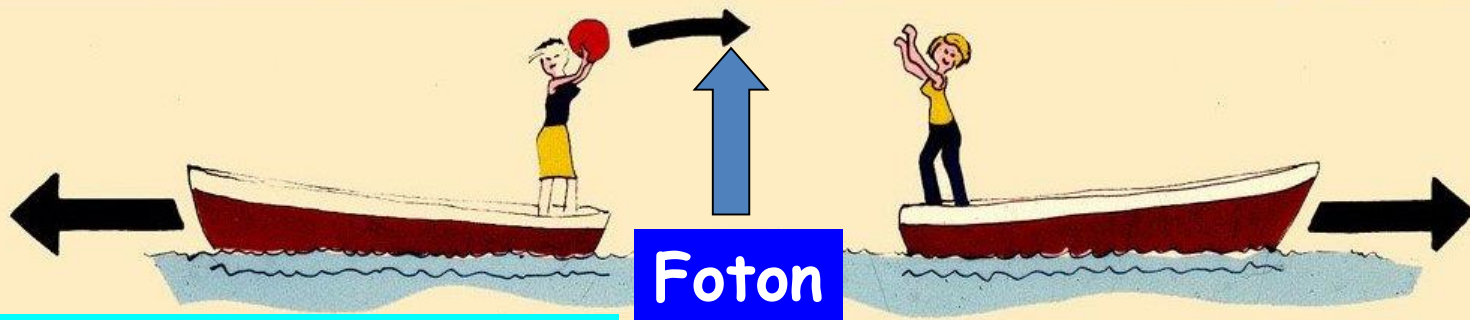
Patří do jedné třídy teorií
jež představují základní rámec
pro popis sil v mikrosvětě.

Mají společnou charakteristiku: lze je popsat pomocí
výměny částic se spinem 1, tzv.

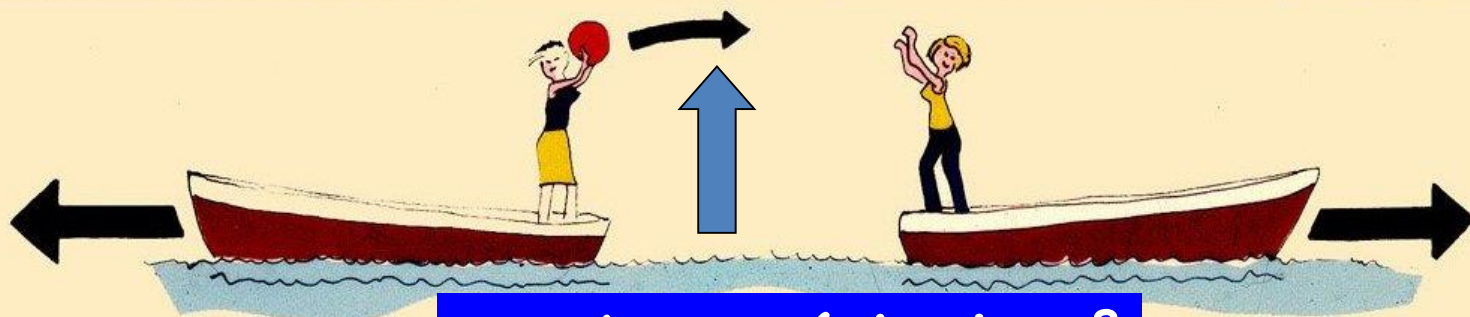
nosičů sil



Dosah sil je nepřímo úměrný hmotnosti příslušného IVB



Elektromagnetické síly



Silné síly

osm barevných gluonů



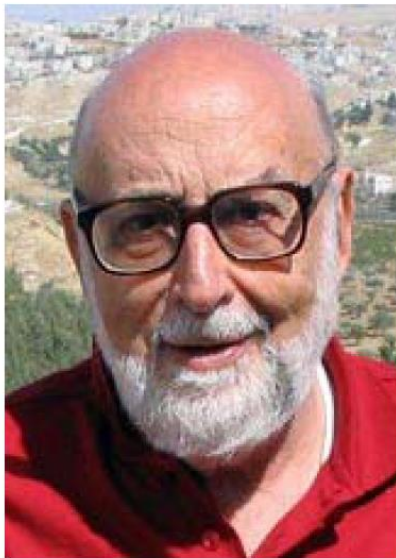
Slabé síly

bosony W^+ , W^- , Z

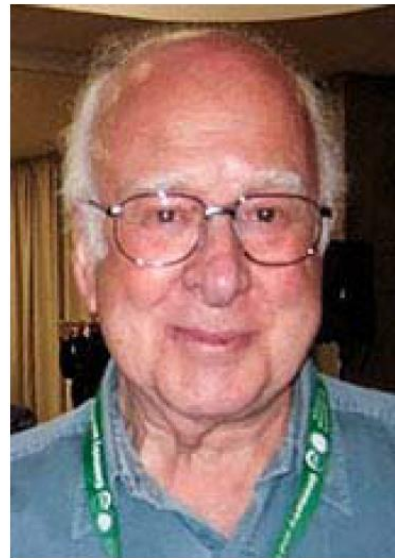
Dnešní standardní model je výsledkem experimentálních a teoretických objevů posledních 70. let. **Objev Higgsova bosonu** v roce 2012 by jeho završením

The Nobel Prize in Physics 2013
François Englert, Peter Higgs

The Nobel Prize in Physics 2013



François Englert



Peter W. Higgs

Nobelova cena za fyziku pro rok 2013 byla udělena společně Francoisi Englertovi a Peteru Higgsovi "za teoretický objev mechanismu, který přispěl k našemu pochopení původu hmotnosti subatomárních částic a který byl nedávno potvrzen objevem předpověděné fundamentální částice v experimentech ATLAS 6. dubna CMS na urychlovači Large Hadron Collider v CERN".

Mendělejevova tabulka prvků současnosti

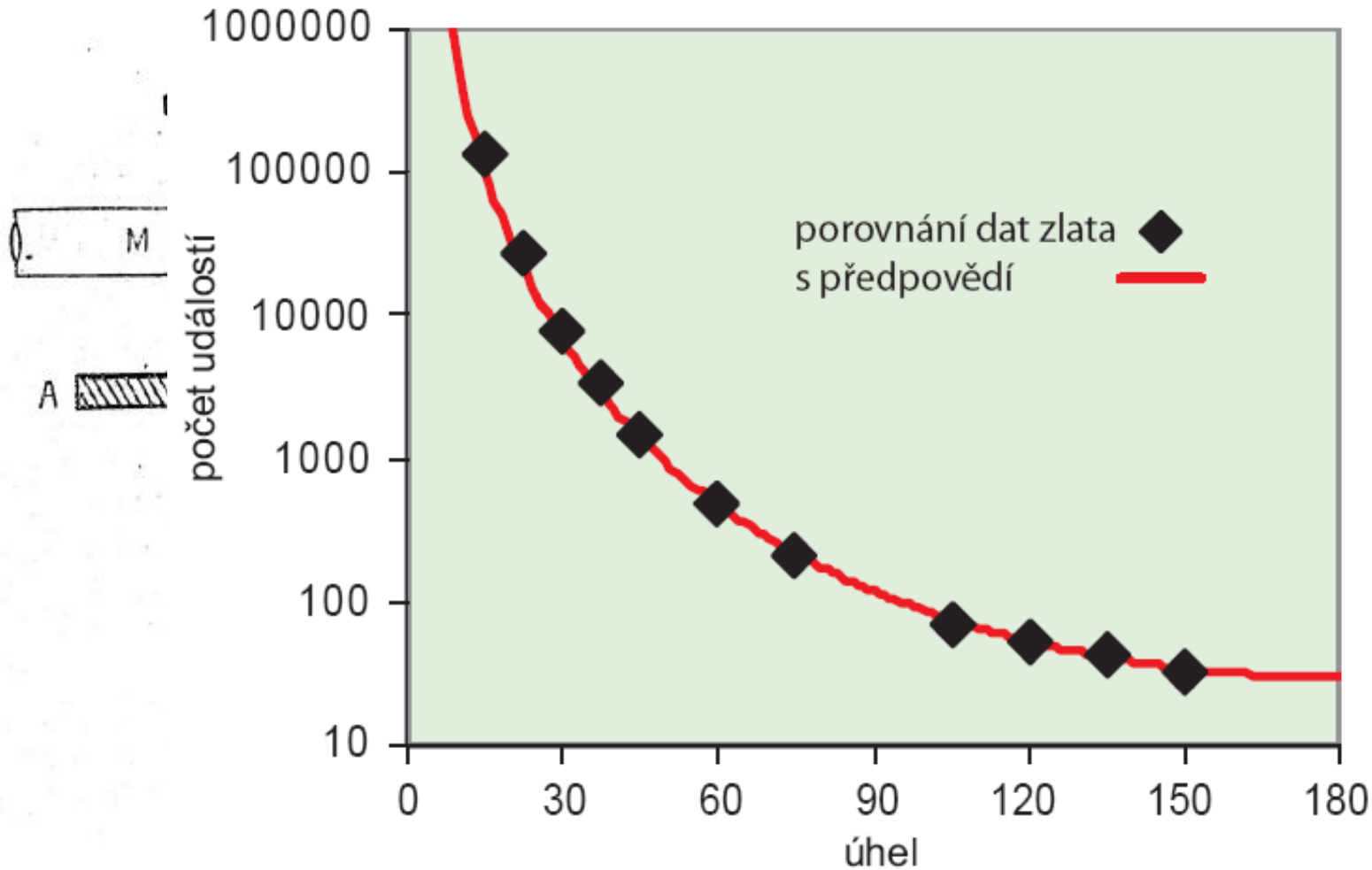


Výraz „**existuje**“ má jiný význam v případě

- ✚ leptonů a fotonu
- ✚ kvarků a gluonů
- ✚ nosičů slabých sil W^+ , W^- , Z a Higgsova bosonu



Předehra: objev atomového jádra



(Collected results.)

V. GOLD.		VI.
Number of scintillations, N.	$\frac{N}{\sin^4 \phi/2}$	
33.1	28.8	
43.0	31.2	
51.9	29.0	
69.5	27.5	
211	29.1	
477	29.8	
1435	30.8	
3800	35.3	
7800	35.0	
27300	39.6	
132000	38.4	
3.1	0.014	
8.4	0.012	
48.2	0.014	
200	0.0115	
607	0.011	
3320	0.012	

Experimentální výsledky Geigera & Marsdena porovnané s Rutherfordovou předpovědí založenou na modelu atomu s malým těžkým jádrem a elektrony kolem.

1913)

Měření **Geigera a Marsdena** byla v rozporu s Thomsonovým modelem, **nebylo daleko větší, než předpovídalo** počet částic rozptýlených na velké úhly.

Naměřené úhlové rozdělení odpovídalo tomu, že kladně nabitá hmota atomu je soustředěna v **malém objemu, zhruba odpovídajícím kouli o poloměru 30 femtometrů.**

Tato experimentální skutečnost vedla k formulaci

planetárního modelu atomu

v němž elektrony obíhají kolem těžkého jádra, podobně jako planety kolem Slunce.

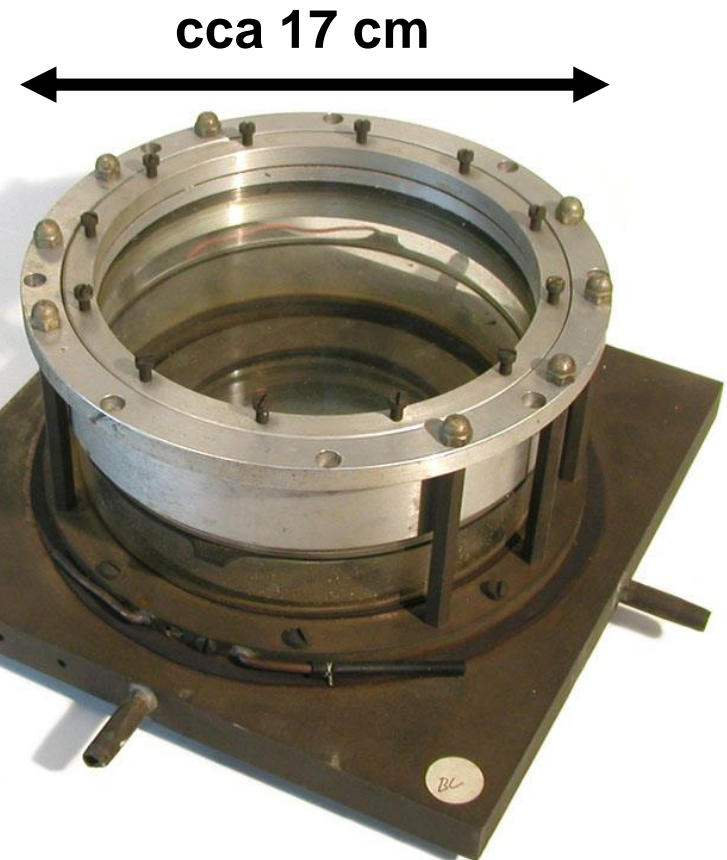
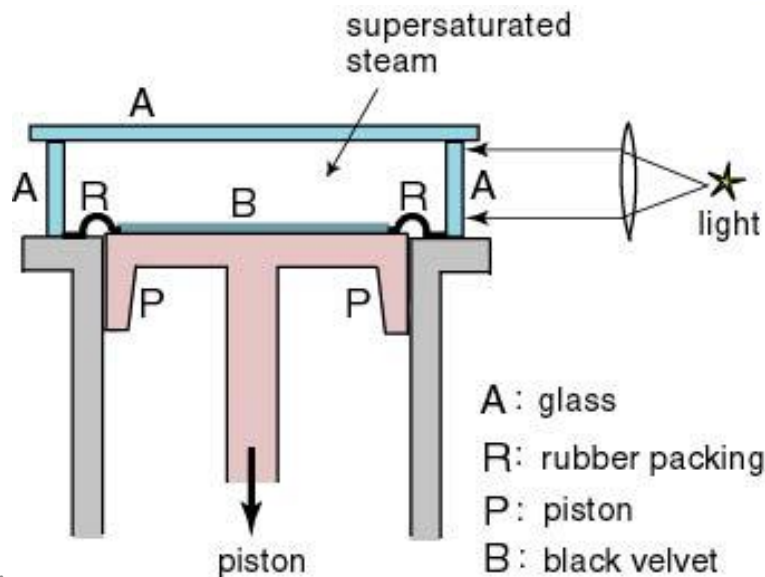
Atomy přitom ovšem vykazovaly některé vlastnosti, jež byly v rámci klasické fyziky zcela nepochopitelné.

Odtud vedla cesta k **Bohrovu poloklasickému modelu** atomu a od něj ke **kvantové mechanice.**

1932: Objev pozitronu

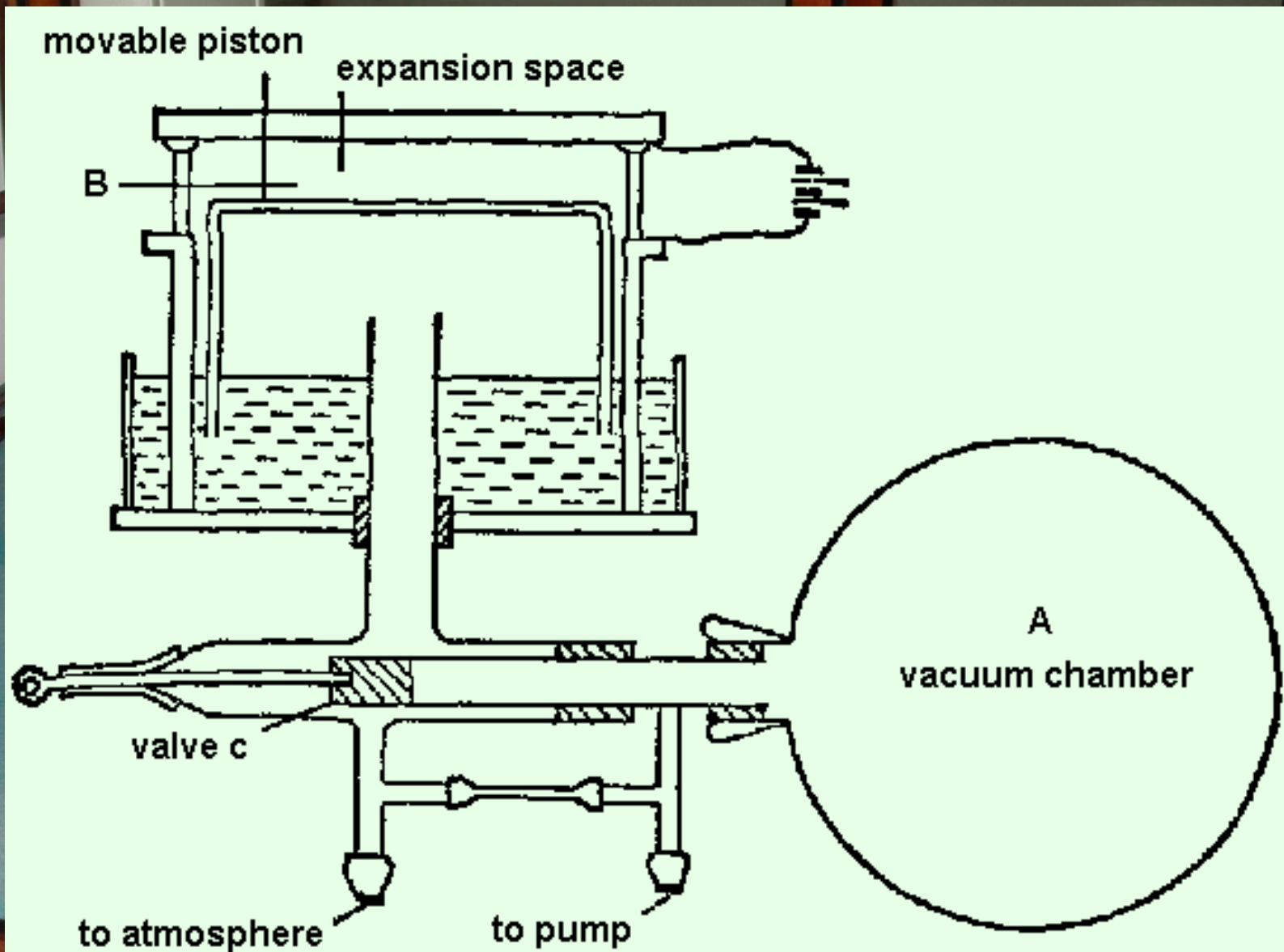
Od konce 19. století vyvíjel **H. R. Wilson** ke zviditelnění drah nabitých částic mlžné komory, jež jsou dvojího druhu:

- **expanzní**
- **difuzní**



Mlžná komora, kterou používal Anderson v letech 1935-1941 a kterou lze „spouštět“

Původní Wilsonova mlžná komora

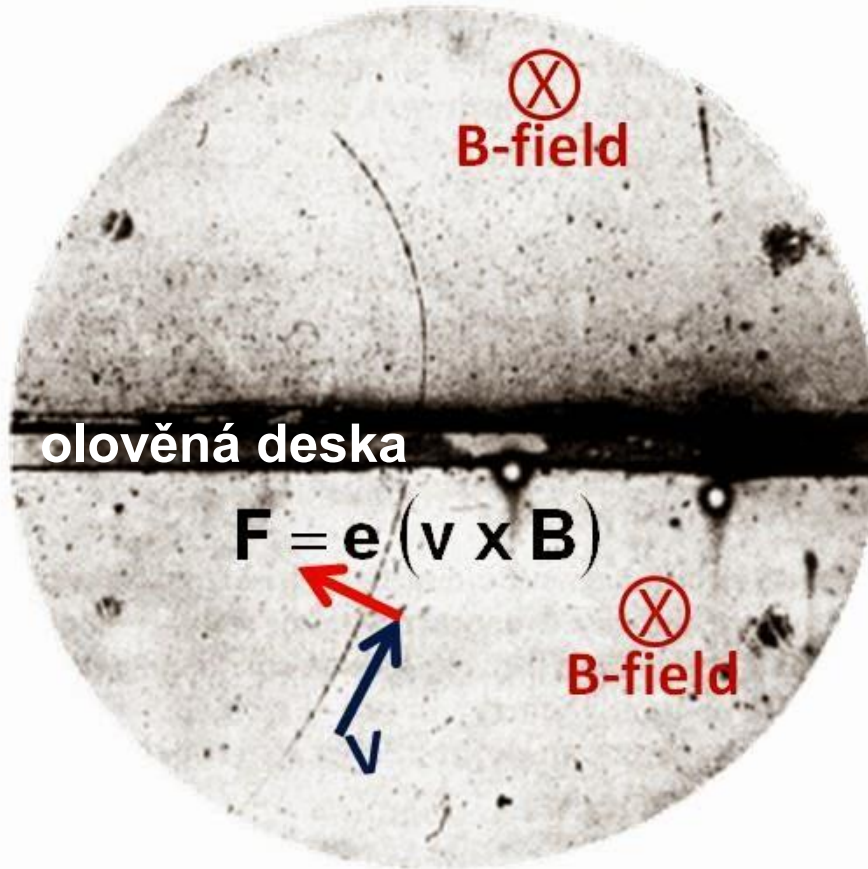


1. The Wilson Cloud Chamber



Observation of positron tracks

(September 1932)



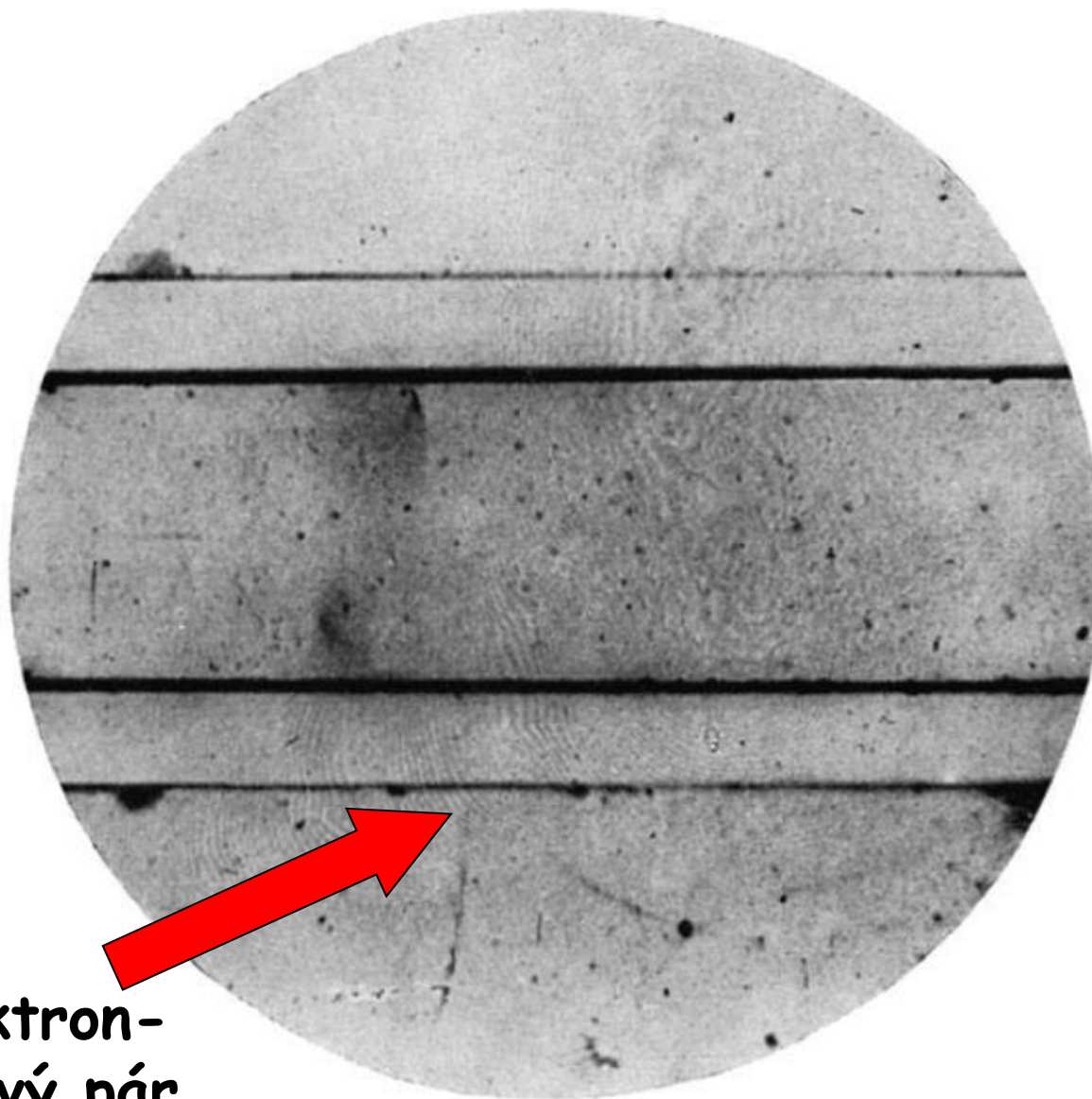
The 1936 Nobel Prize in Physics

Carl David Anderson (1905 – 1991)
"for his discovery of the positron".



<http://www.youtube.com/watch?v=McNOqtdlXG8>

<http://www.hep.man.ac.uk/babarph/babarphysics/positron.html>



**první elektron-
pozitronový pár**

1932: Objev neutronu



The Existence of a Neutron.

By J. CHADWICK, F.R.S.

(Received May 10, 1932.)

It is possible to prove that the mass of the neutron is roughly equal to that of the proton, by combining the evidence from the hydrogen collisions with that from the nitrogen collisions. In the succeeding paper, Feather records experiments in which about 100 tracks of nitrogen recoil atoms have been photographed in the expansion chamber. The measurement of the tracks shows that the maximum range of the recoil atoms is 3.5 mm. in air at 15° C. and 760 mm. pressure, corresponding to a velocity of 4.7×10^8 cm. per second according to Blackett and Lees. If M , V be the mass and velocity of the neutron then the maximum velocity given to a hydrogen atom is

$$u_p = \frac{2M}{M + 1} \cdot V,$$

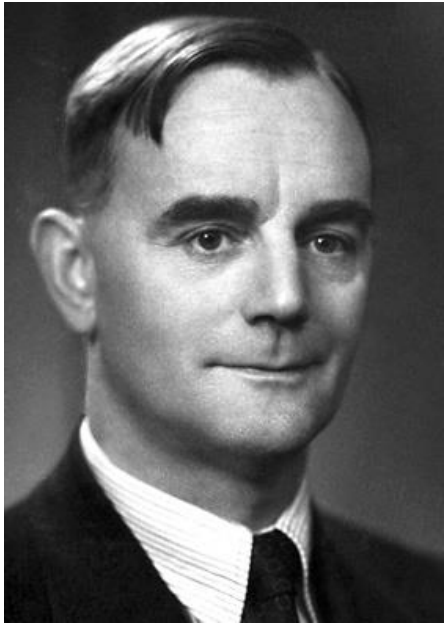
and the maximum velocity given to a nitrogen atom is

$$u_n = \frac{2M}{M + 14} \cdot V,$$

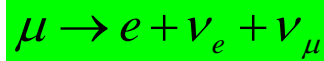
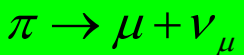
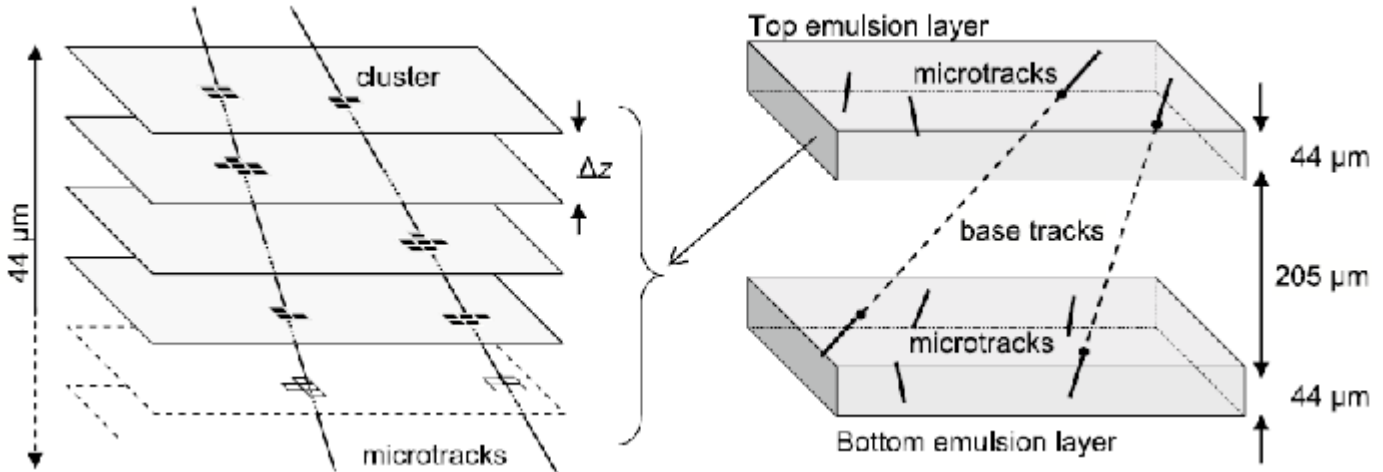
whence

$$\frac{M + 14}{M + 1} = \frac{u_p}{u_n} = \frac{3.3 \times 10^9}{4.7 \times 10^8}$$

1947: Objev pionu



NC za fyziku 1950: **Cecil Powell** „za vývoj fotografických metod zkoumání jaderných procesů a objevy týkající se mezonů učiněné s touto metodou“.



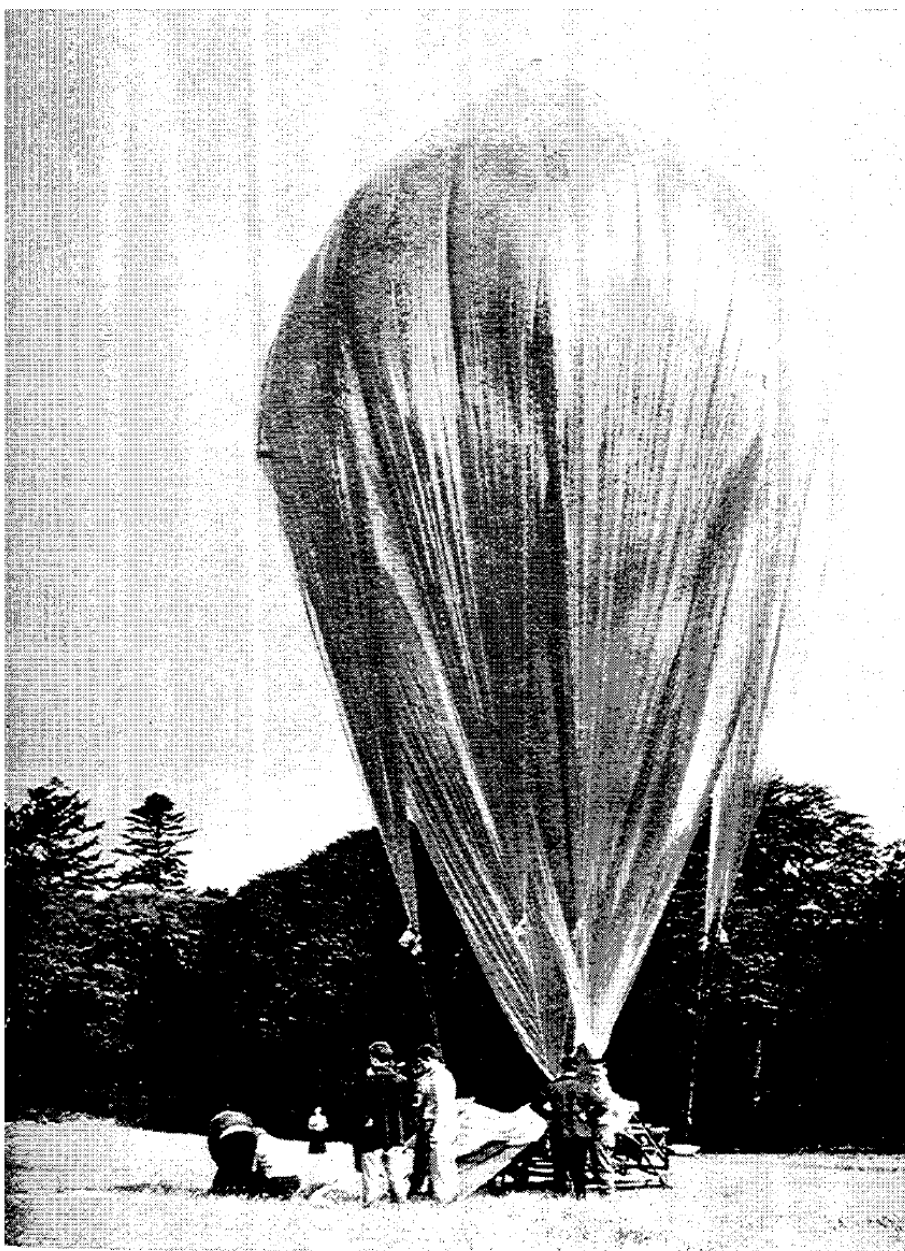


Fig. 1. Inflation of balloon of polyethylene just after dawn. The balloon has a total length of about 120 ft. and most of the fabric is on the ground. Such a balloon can in favourable conditions give level flight at about 90,000 ft. for many hours with a load of 40 kg.

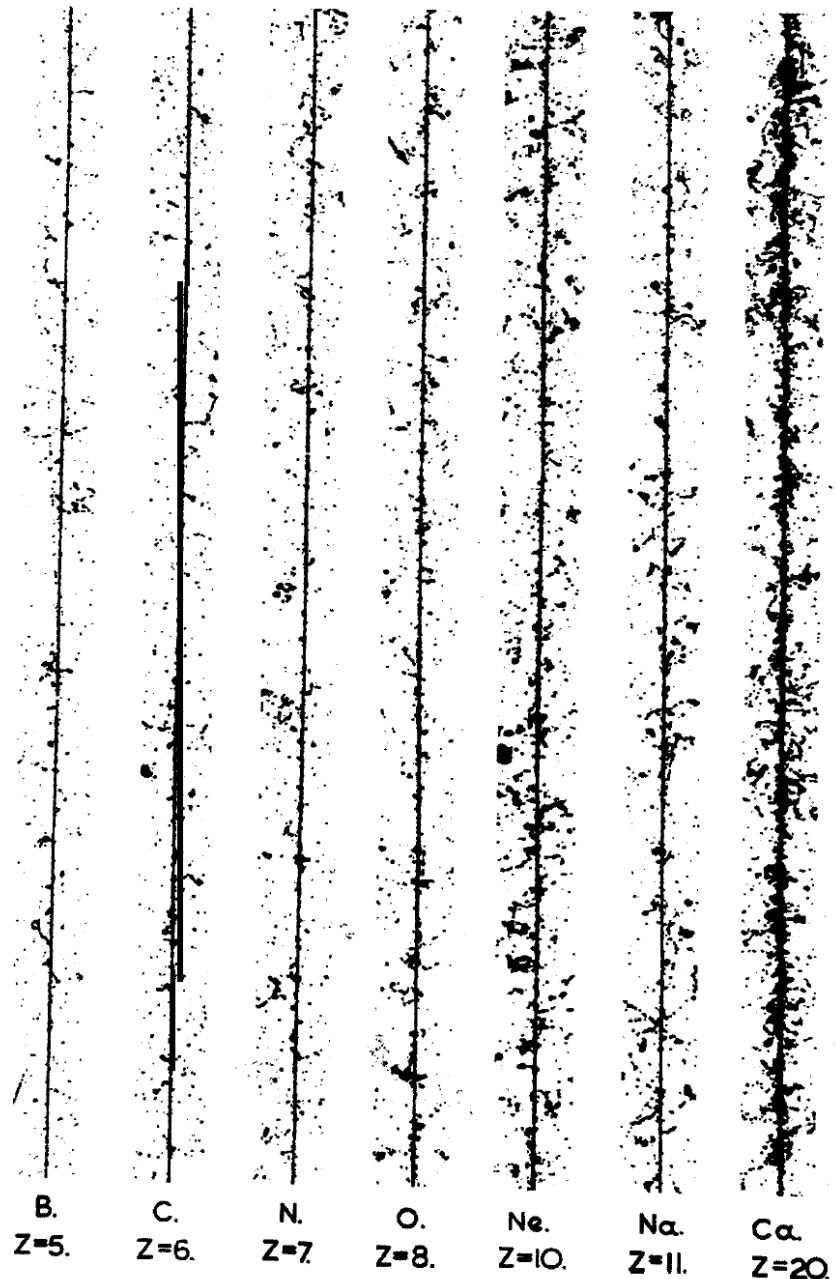


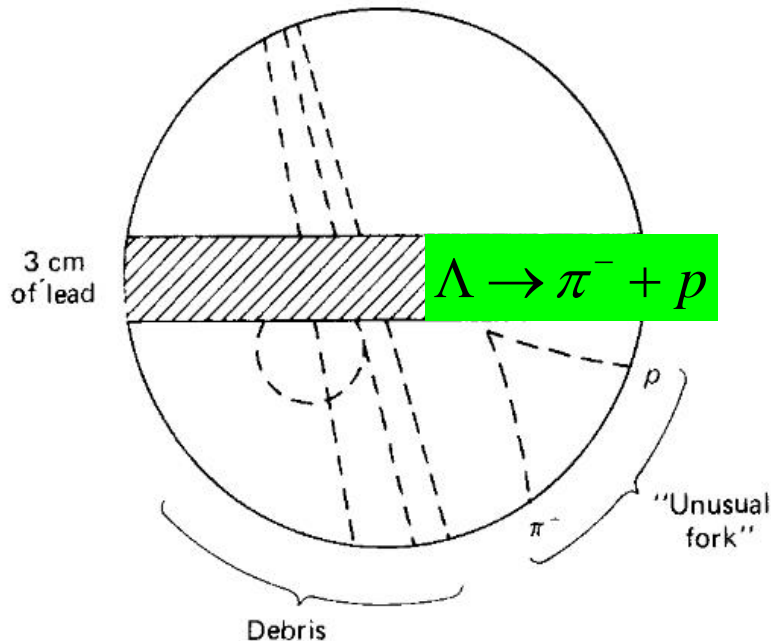
Fig. 2. Examples of the tracks in photographic emulsions of primary nuclei of the cosmic radiation moving at relativistic velocities.

1948: Objev „podivných“ částic

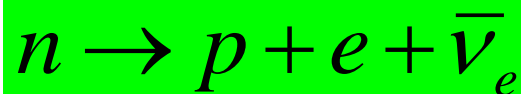


R. Butler a jeho mlžná komora

Incident cosmic ray shower



1914: **J. Chadwick**: spektrum energií elektronů v β -rozpadu



je spojité.

Bohr: v mlt
nezachová

Pauli: pro \

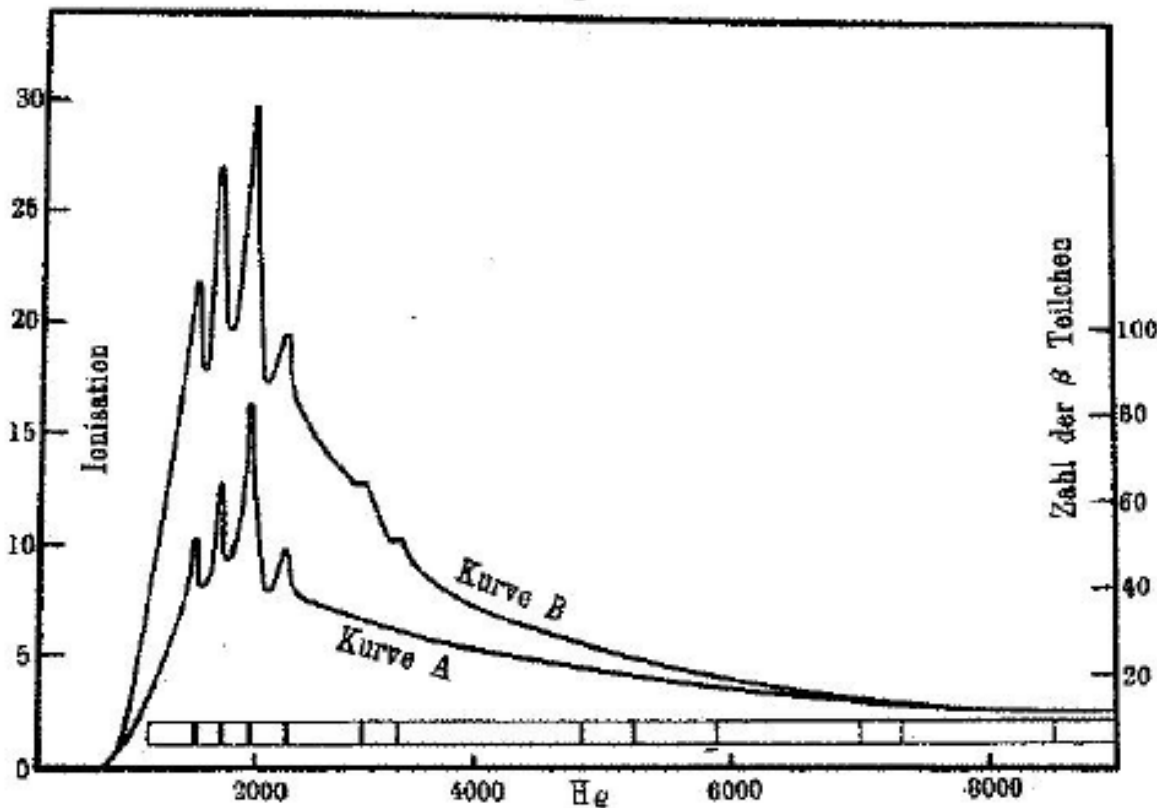
postuloval

Pauli svou
účastníkům
radioaktivi

Trvalo 25

na „neutrino“ konečně objevena.

A trvalo dalších 40 let než byl tento zásadní objev oceněn
Nobelovou cenou.



ech

u

tron“.

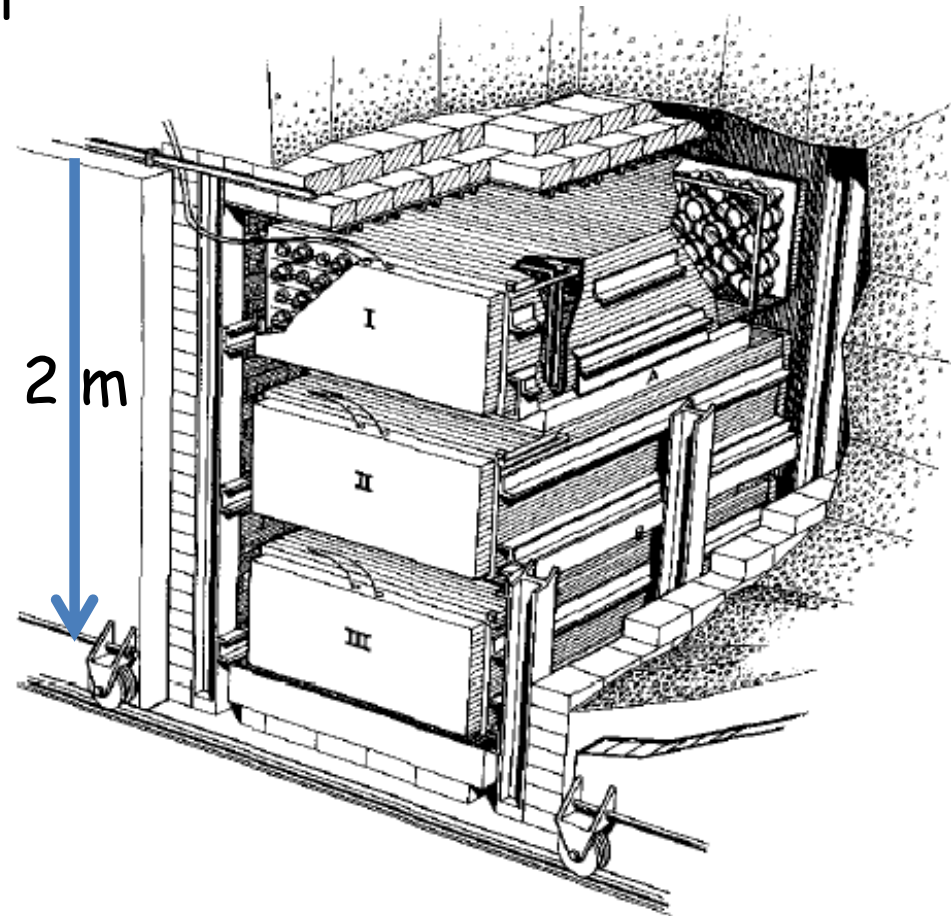
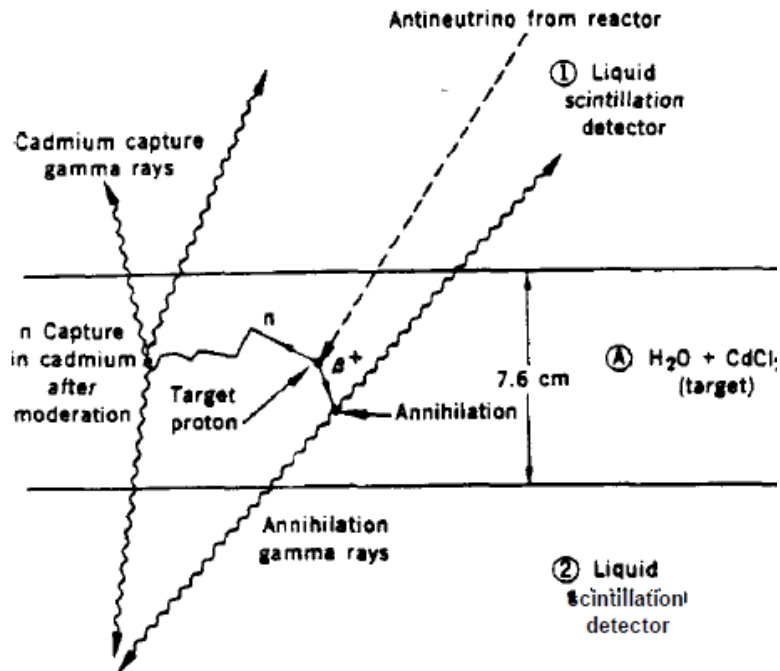
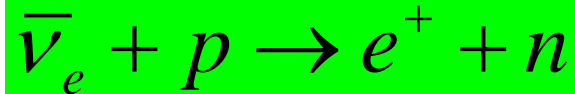
se

e

nenoval

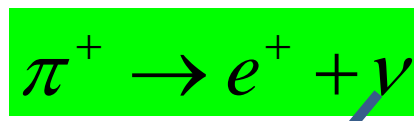
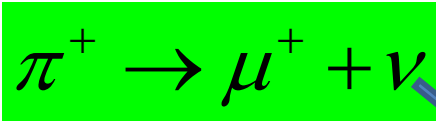
1956: objev elektronového neutrina

F. Reines a C. Cowan: antineutrino z reaktoru v Savannah River



1400 litrů kapalného scintilátoru pro detekci **zpožděné koincidence (cca 10 mikrosekund)** dvou signálu fotonů.

1962: objev mionového neutrina



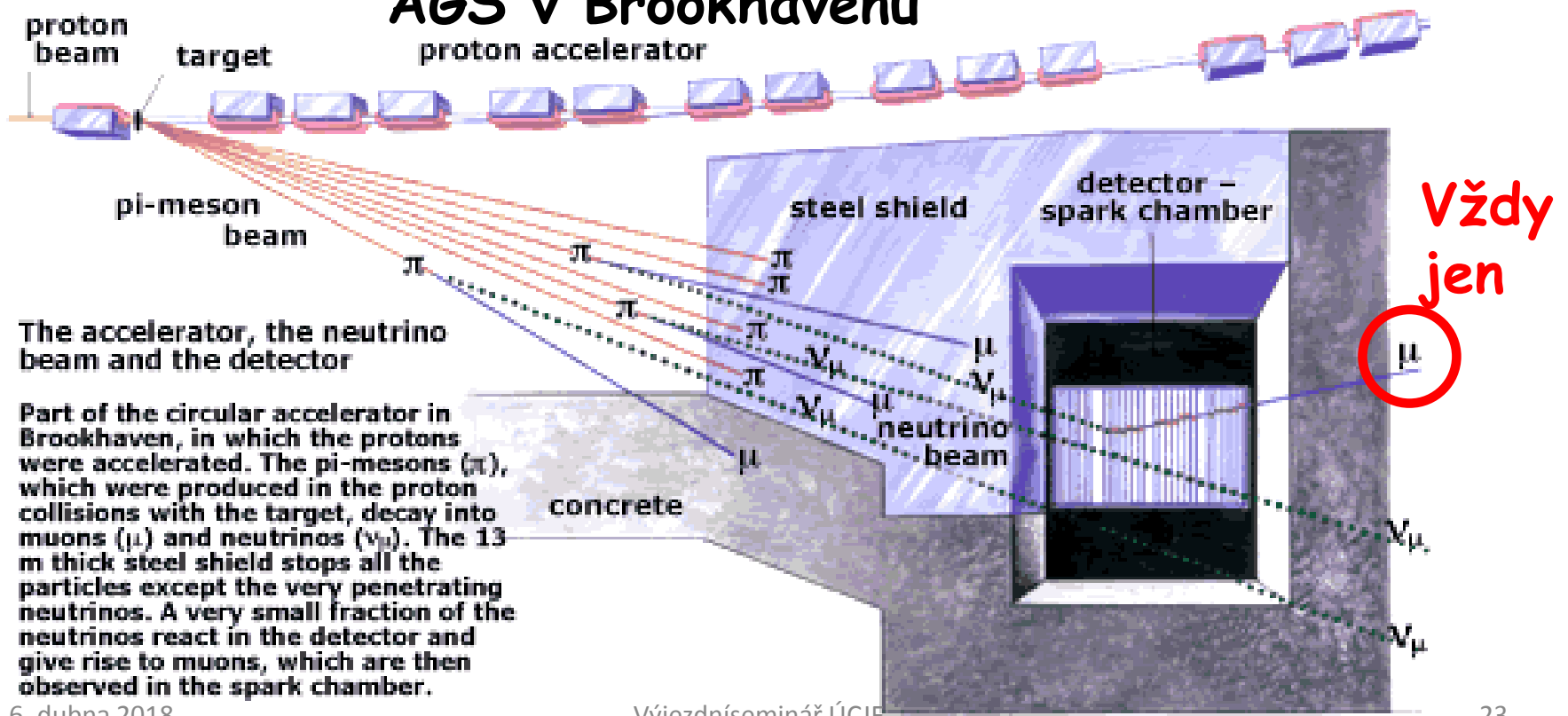
0,01 %
rozpadů

Stejná neutrina?

Pokud ano, pak očekáváme $N(\nu + n \rightarrow p + \mu^-) = N(\nu + n \rightarrow p + e^-)$

15 GeV

AGS v Brookhavenu



The accelerator, the neutrino beam and the detector

Part of the circular accelerator in Brookhaven, in which the protons were accelerated. The pi-mesons (π), which were produced in the proton collisions with the target, decay into muons (μ) and neutrinos (ν_μ). The 13 m thick steel shield stops all the particles except the very penetrating neutrinos. A very small fraction of the neutrinos react in the detector and give rise to muons, which are then observed in the spark chamber.

6. dubna 2018
Based on a drawing in Scientific American, March 1963.

Jiskrová komora

Komora naplněná neonem mezi hliníkovými deskami. Ve srážkách neutrin s jádry hliníku vznikají miony nebo elektrony, jež následně vyvolávají jiskry mezi deskami a ty se fotografují.



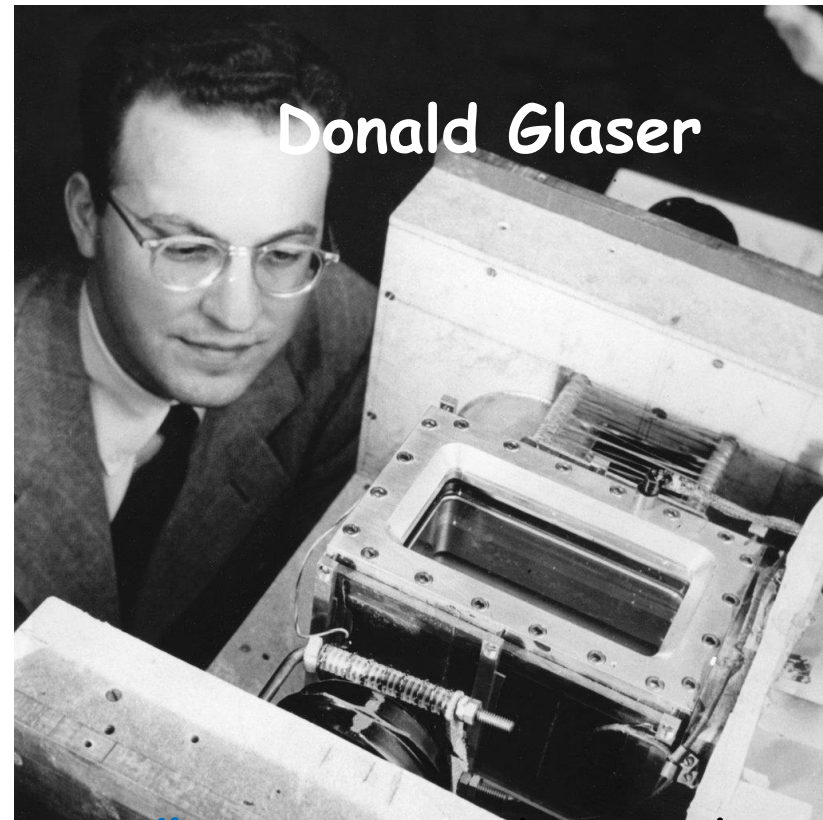
60. léta: objevy resonancí

V druhé polovině 50. let začaly být mlžné komory nahrazovány **bublin-
kovými komorami**, které vyvinul v roce 1952 Donald Glaser.

S nimi byla objevena řada částic příbuzných pionům, nukleonům a podivným částicím, objevených v mlžných komorách a jaderných emulzích ale daleko **kratší (typicky tisíc miliardkrát) dobou života**.

Tyto částice, jež se nazývají „**resonance**“, se rozpadnou tak rychle, že **nezanechají žádnou stopu** a o jejich existenci lze usuzovat jen z částic, na něž se rozpadají.

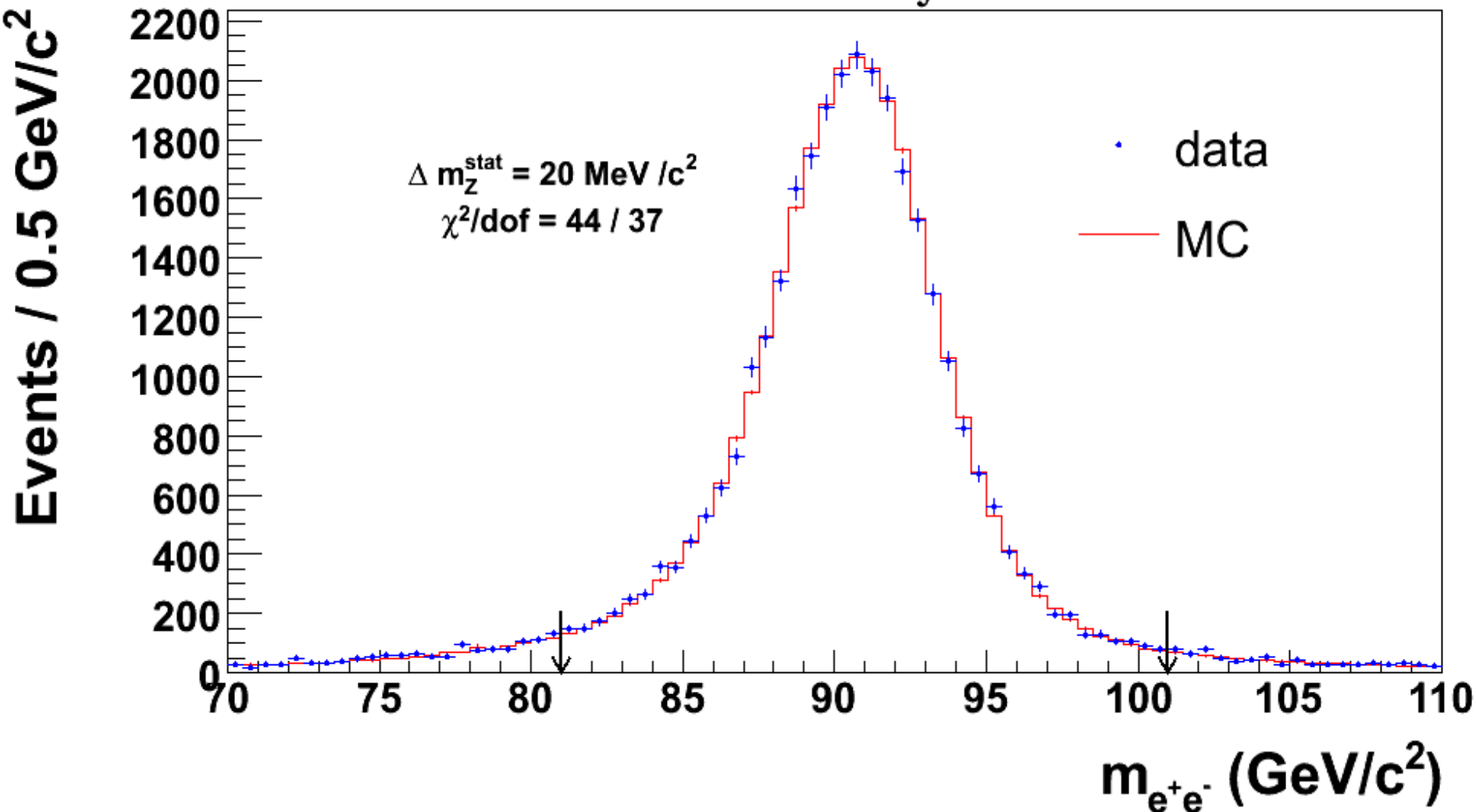
Vlastnosti známých částic vedla **Gell-Manna a Zweiga** počátkem 1964 k **hypotéze kvarků jako základních cihel hmoty**.



Pro způsob detekce částic s velmi krátkou dobou života je

CDF II preliminary

$$\int L dt \approx 2.4 \text{ fb}^{-1}$$



Změřené hodnoty m_H se vynesou do histogramu

Srážky záporně nabitých kaonů s protony ve vodíkových bublinkových komorách

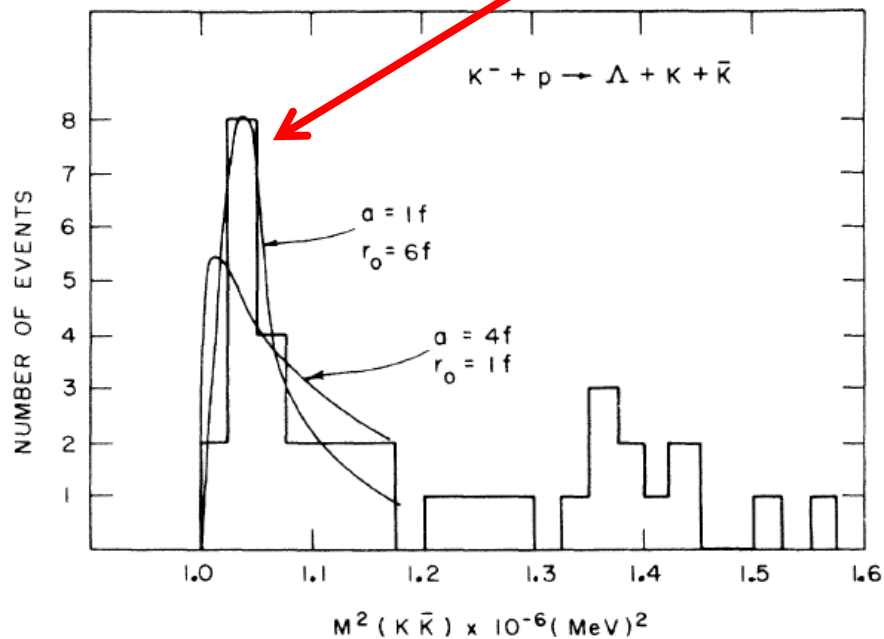
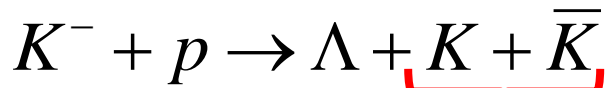


FIG. 5. The (effective mass)² distribution for $K\bar{K}$ from the channel $\Lambda K\bar{K}$. The solid curves show the

Φ mezon

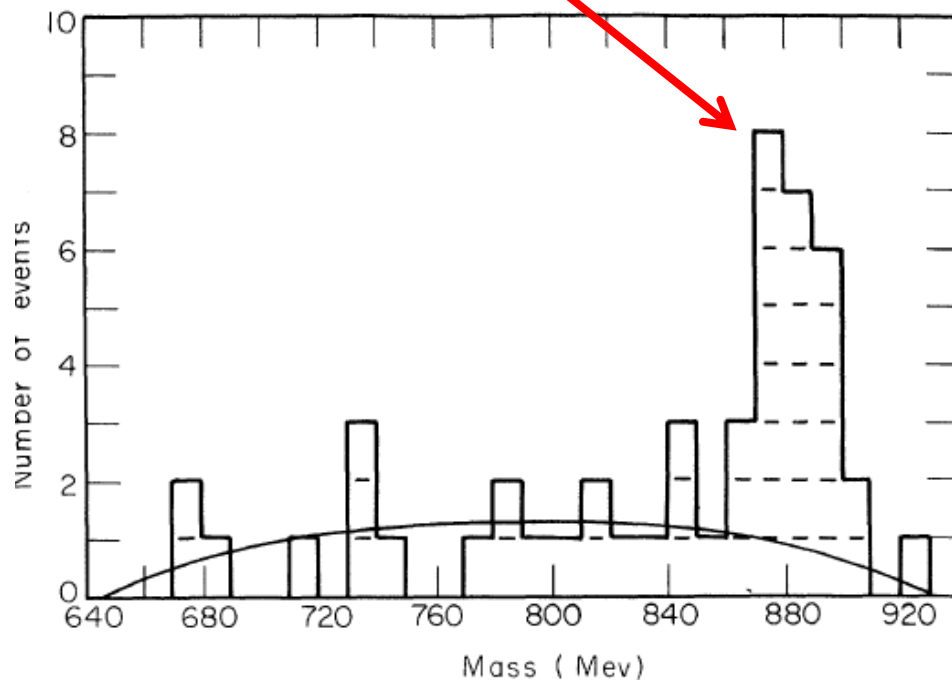
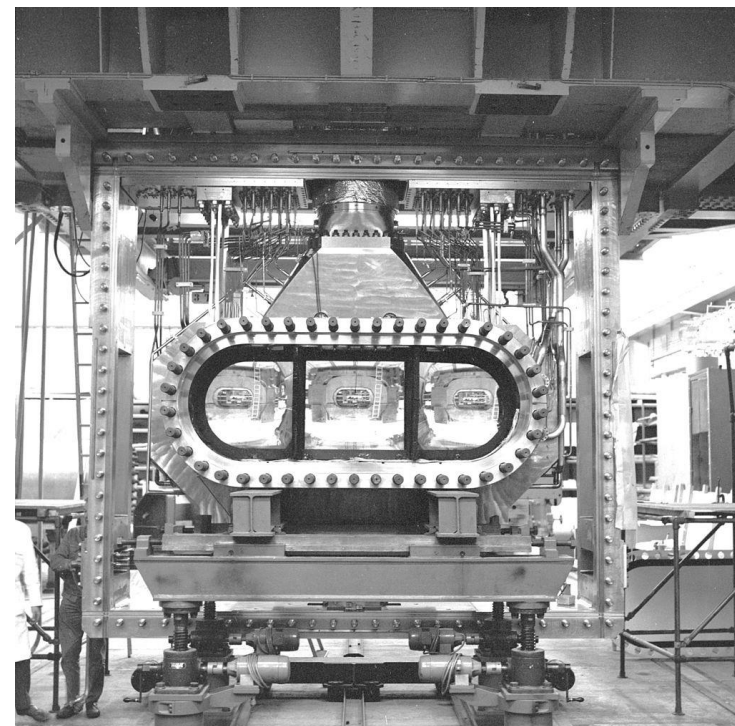
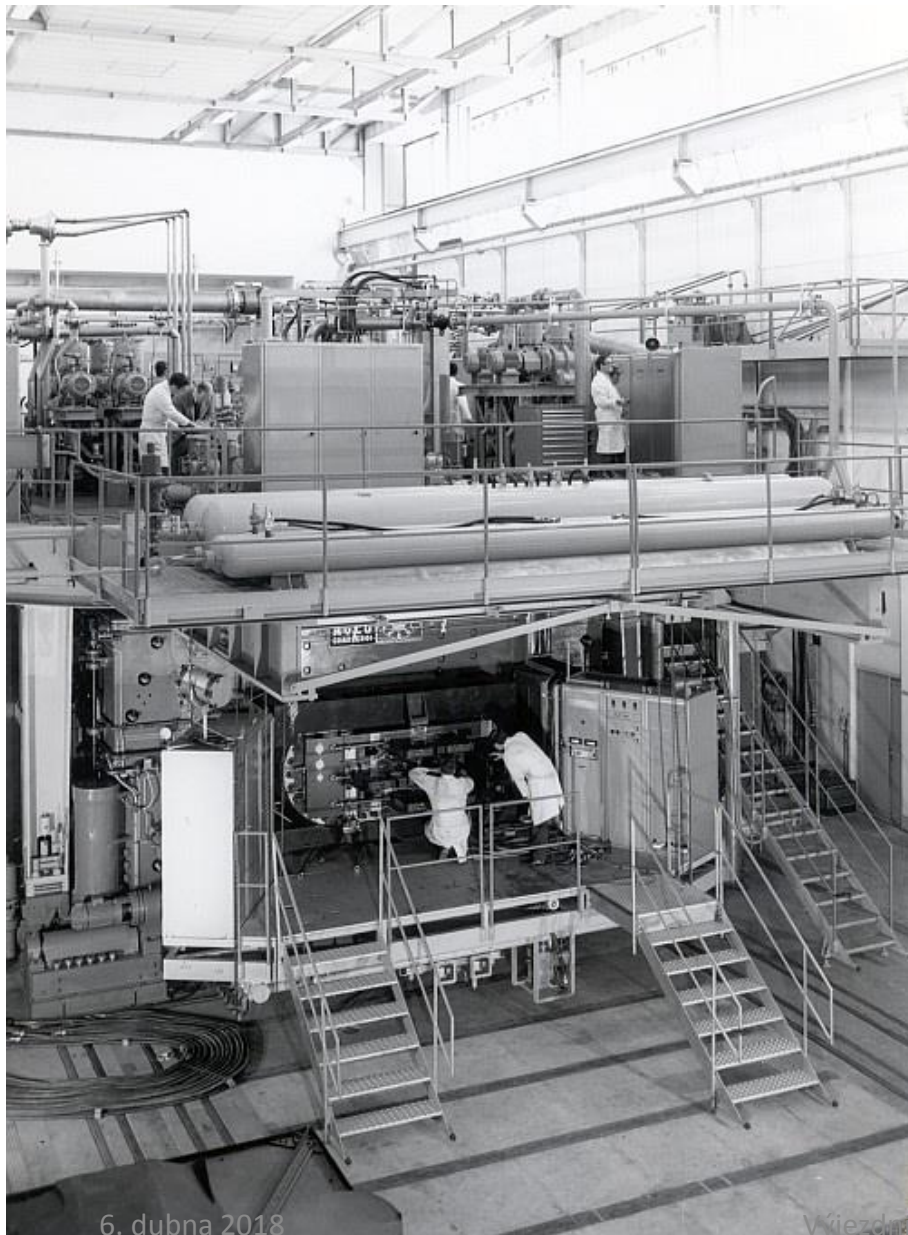


FIG. 2. Mass spectrum of the $\bar{K}^0 - \pi^-$ system. The

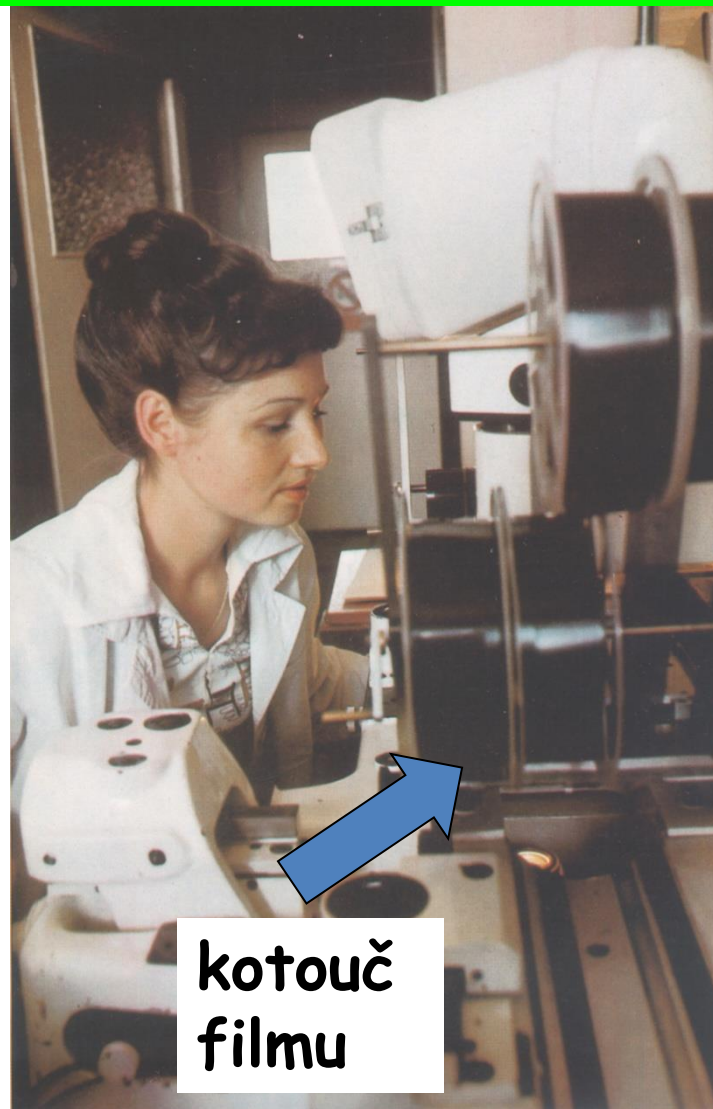
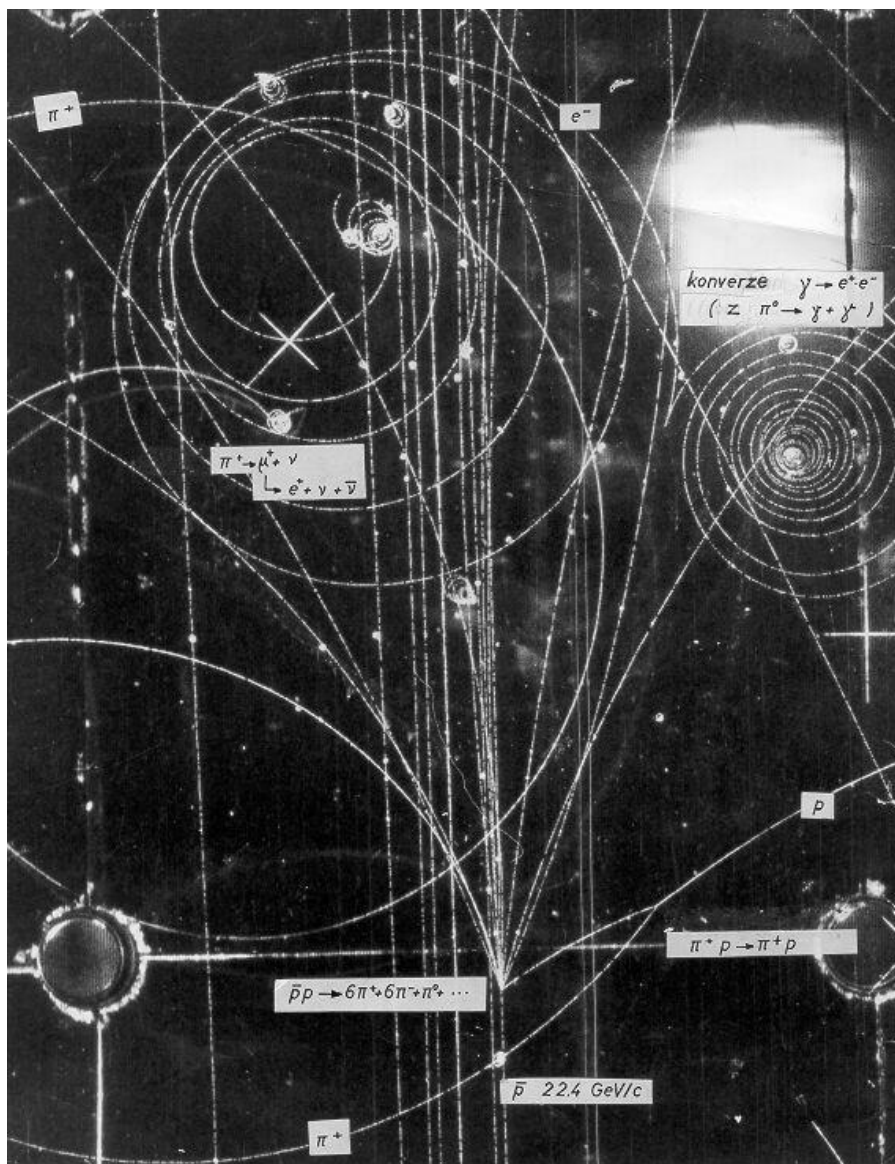
K^{0*} mezon

Dvoumetrová vodíková bublinová komora v CERN

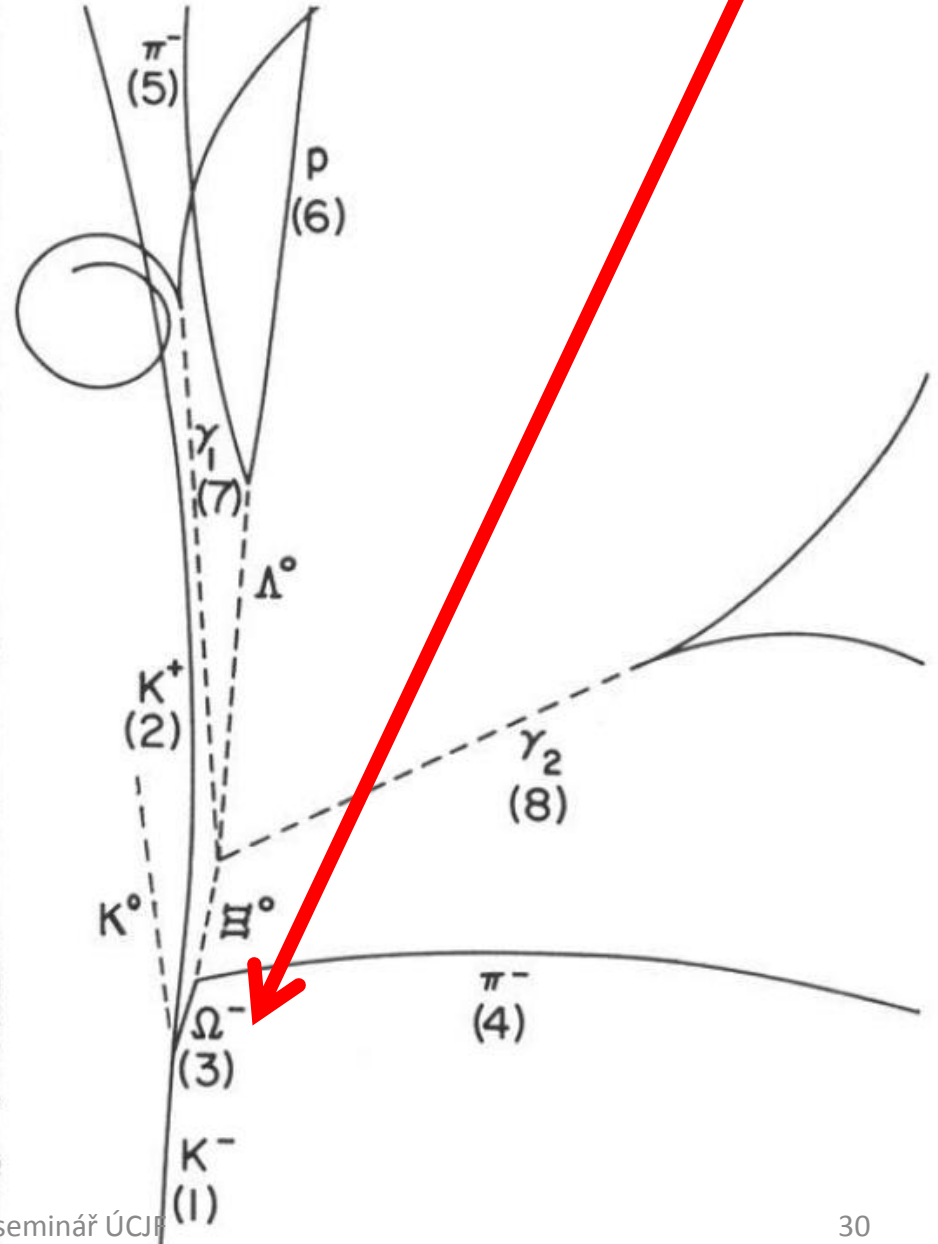
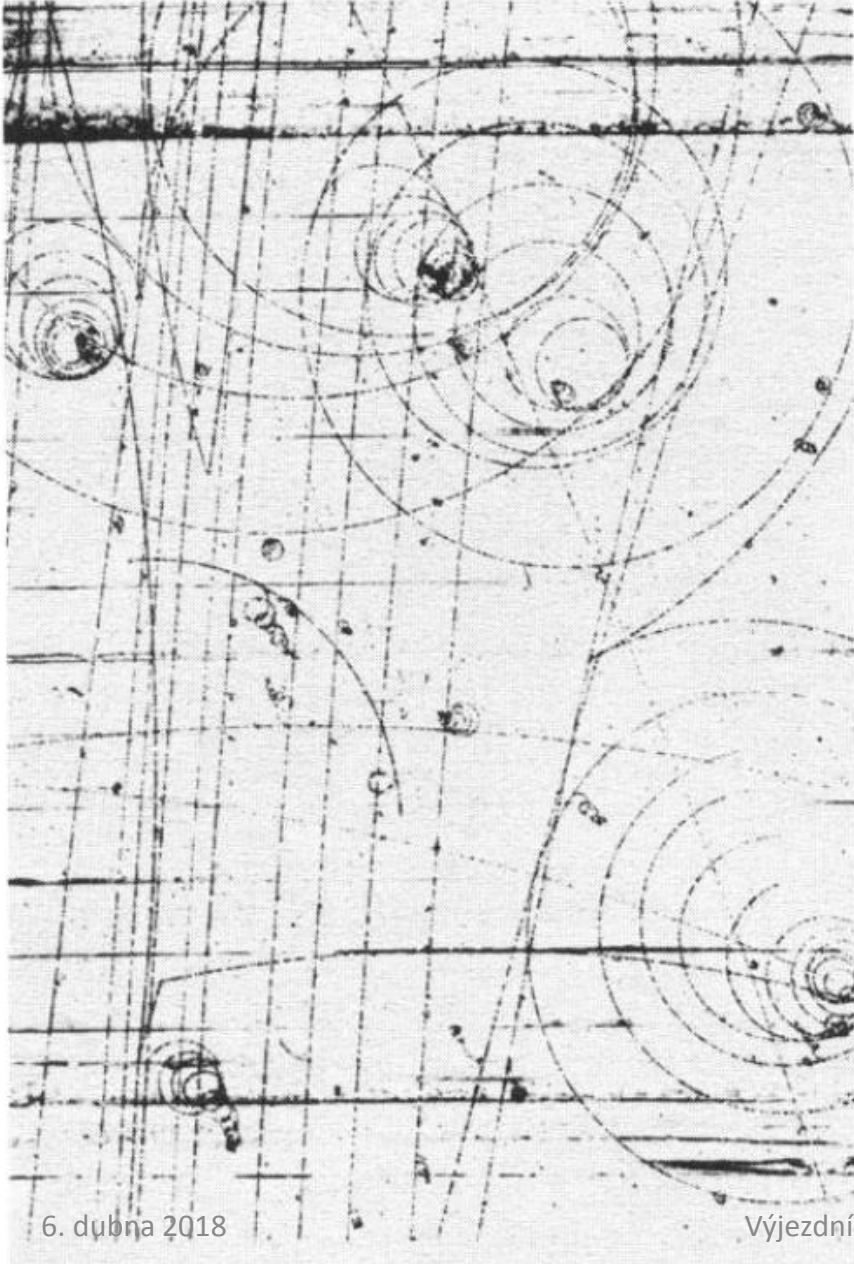


- + v provozu 1962-1975.
- + řada experimentů, v jednom z nich i pražská skupina
- + začátek spolupráce českých fyziků s CERN

Měření snímků z dvoumetrové vodíkové bublinkové komory v CERN ve FZÚ počátkem 70. let



Vrcholný okamžik bublinkových komor: objev Omega minus



Struktura protonu a neutronu

Až do poloviny 50. let neexistovalo žádné přímé svědectví o tom **zda je proton bodová částice, jako elektron, či zda má nějakou vnitřní strukturu**. Pro zodpovězení této otázky je nejvhodnější zkoumat pružný **rozptyl elektronů na protonech**. Šlo vlastně o pokračování Rutherfordova pokusu, jen místo alfa částic byly použity elektrony.

Během druhé poloviny 50. let byly ve SLAC provedeny experimenty jež vyústily v

Nobelovu cenu za fyziku 1961

Robert Hofstadter

Za jeho pionýrské studie rozptylu elektronů na atomových jádrech a tím způsobem dosažené objevy týkající se struktury nukleonů. the structure of the nucleons



Experimenty ukázaly, že proton je, velmi zhruba řečeno, **kulička o poloměru 1 fm, tj. miliontina miliardtiny metru.**

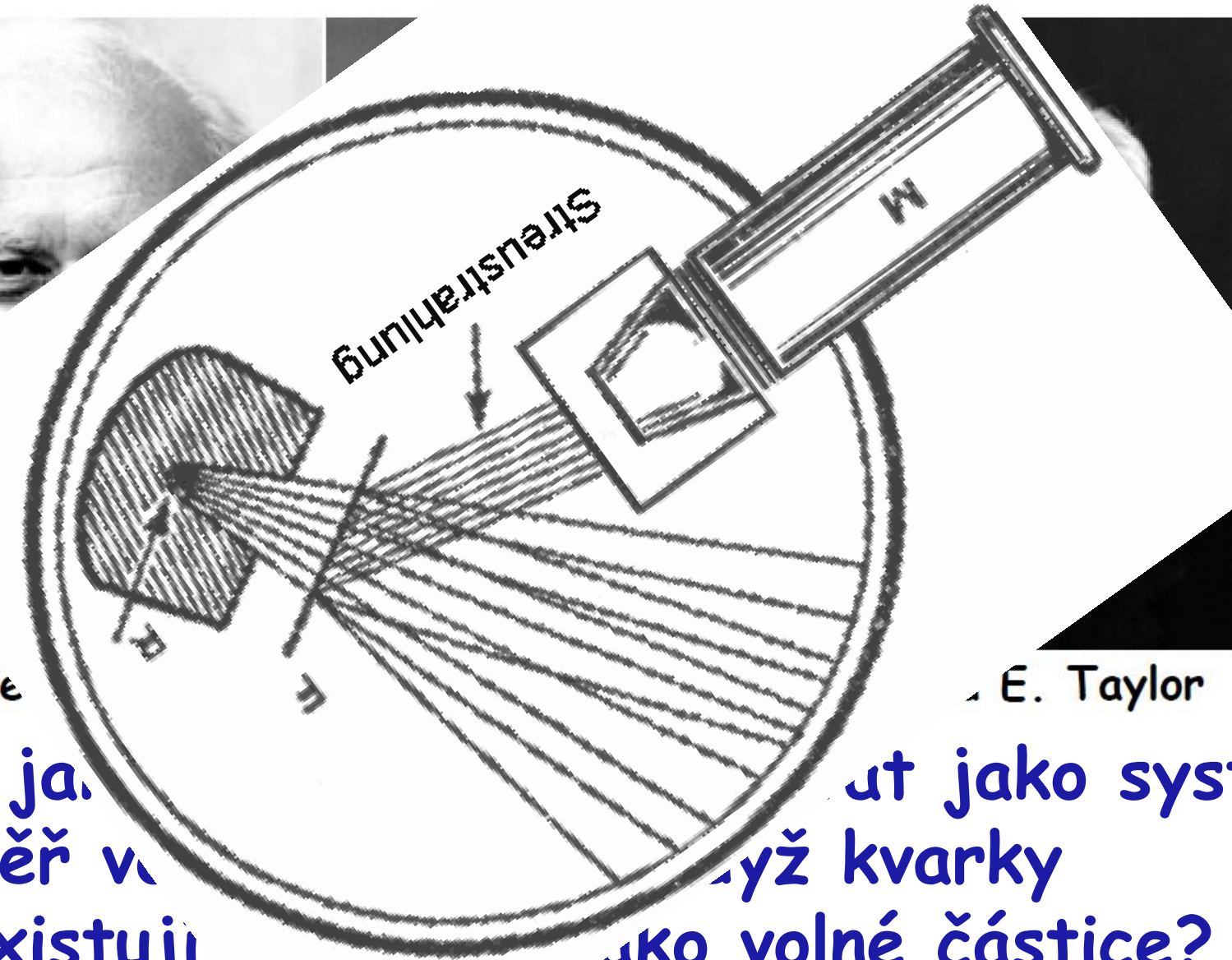
The Nobel Prize

1990



Jerome

Ale ja
téměř v
neexistují

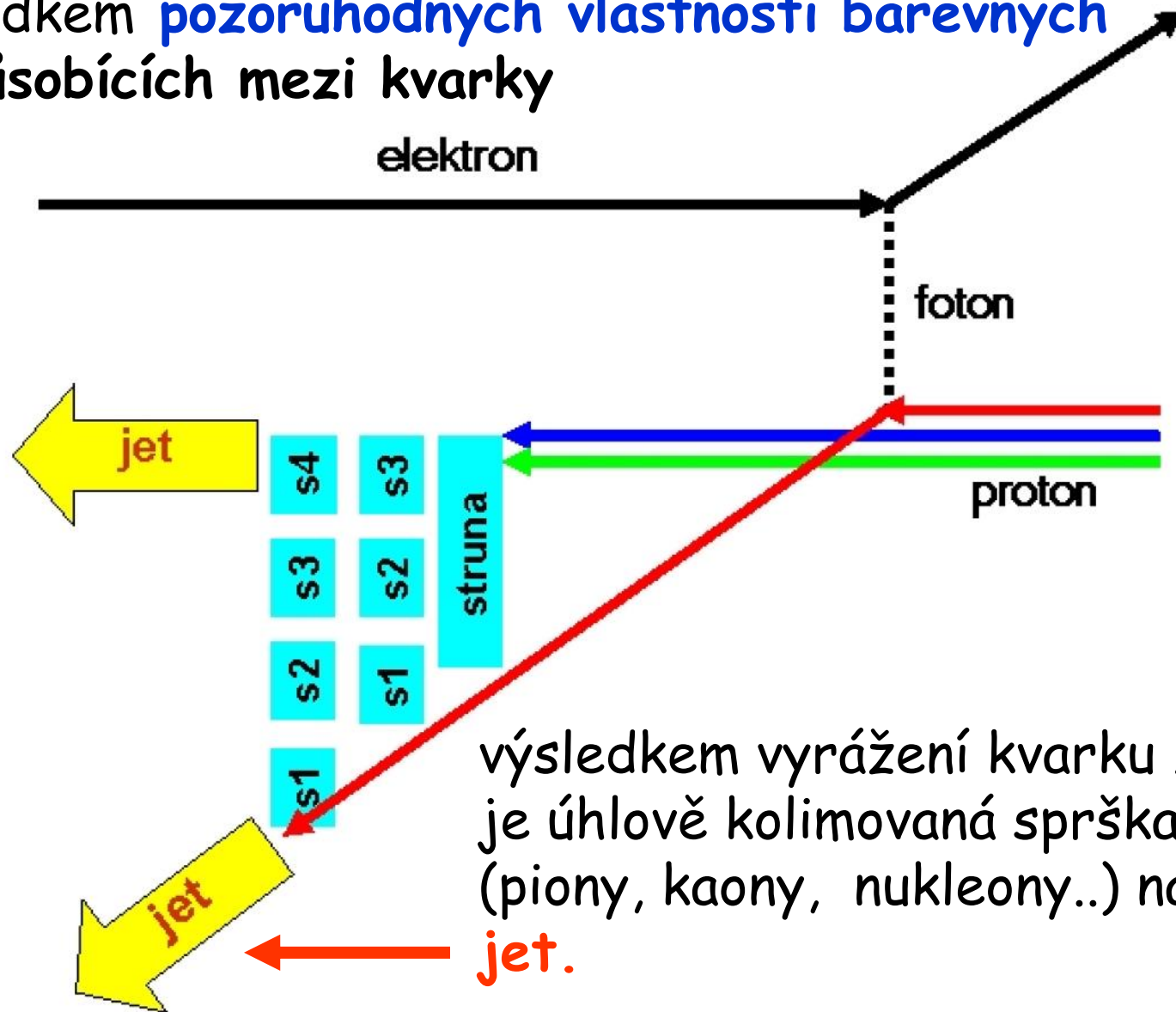


E. Taylor

ut jako systém
yž kvarky
jako volné částice?

Jety

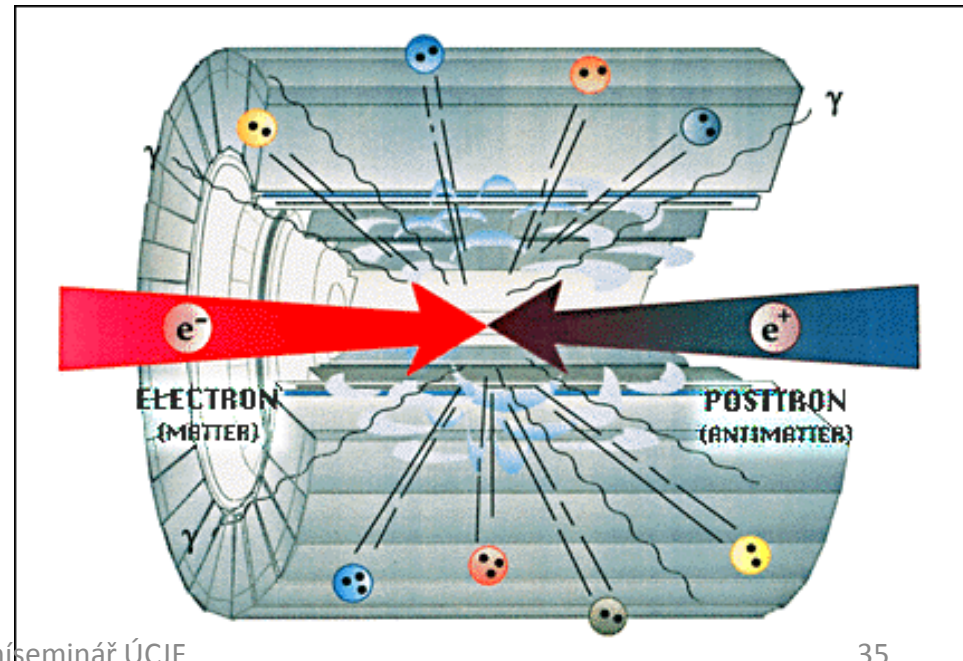
Důvod, proč nelze proton „ionizovat“ jako atom vodíku je důsledkem **pozoruhodných vlastností barevných sil** působících mezi kvarky



Těžké kvarky

První polovina 70. let přinesla zásadní pokrok v chápání struktury hmoty a sil působících v mikrosvětě a to díky

- ✚ formulaci **kvantová chromodynamiky**, teorie sil mezi kvarky
- ✚ spuštění **elektron-pozitronového srážče SPEAR ve SLAC**



The Nobel Prize in Physics 1976

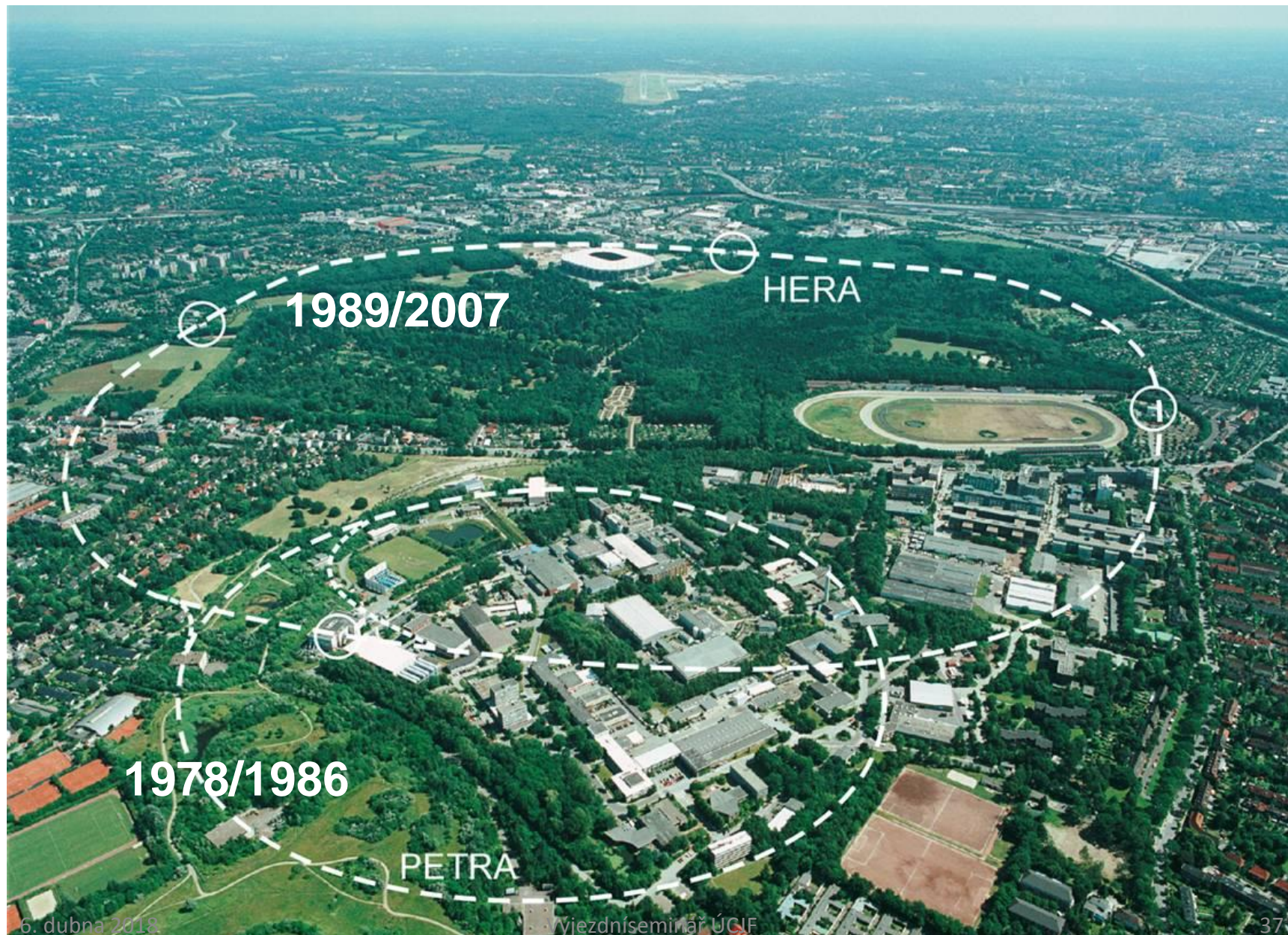


Burton Richter

Samuel Chao Chung Ting

za jejich pionýrskou práci na objevu těžké elementární částice nového typu.

Deutsches Elektronen-Synchrotron (DESY) v Hamburku

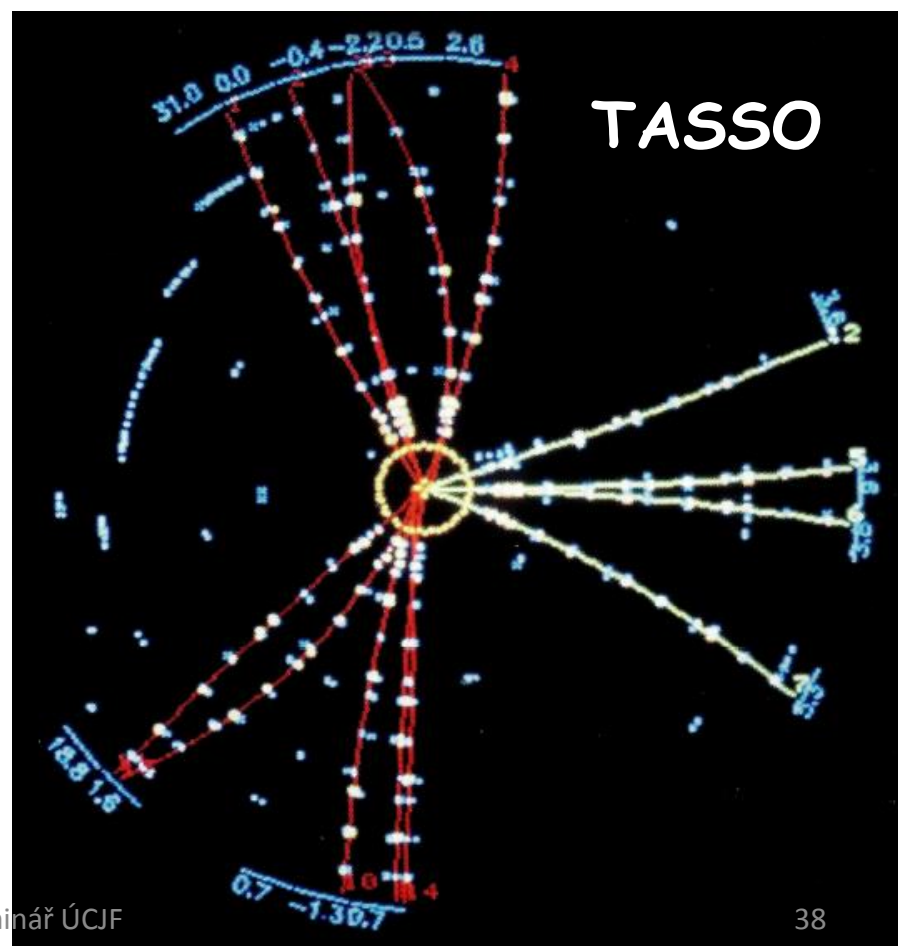
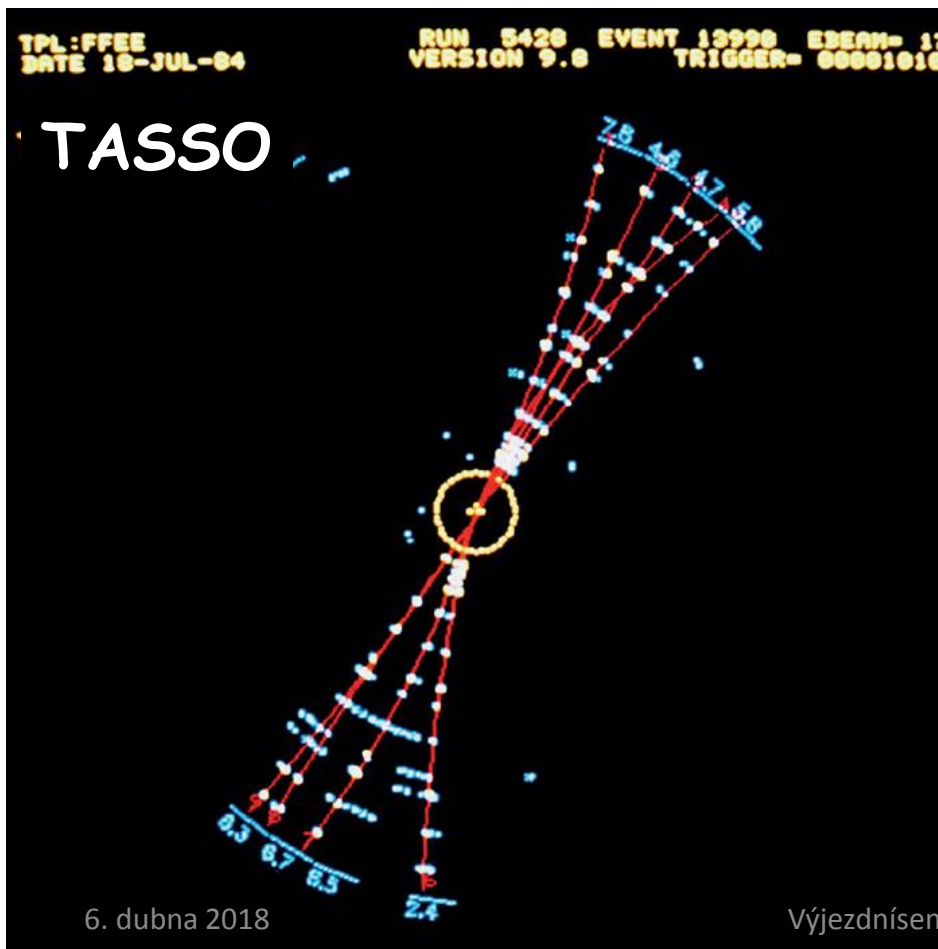


Gluony

PETRA: vstříčné svazky elektron-pozitron s 6krát větší energií než ve SLAC. **Čtyři detektory, které „objevili gluon“**

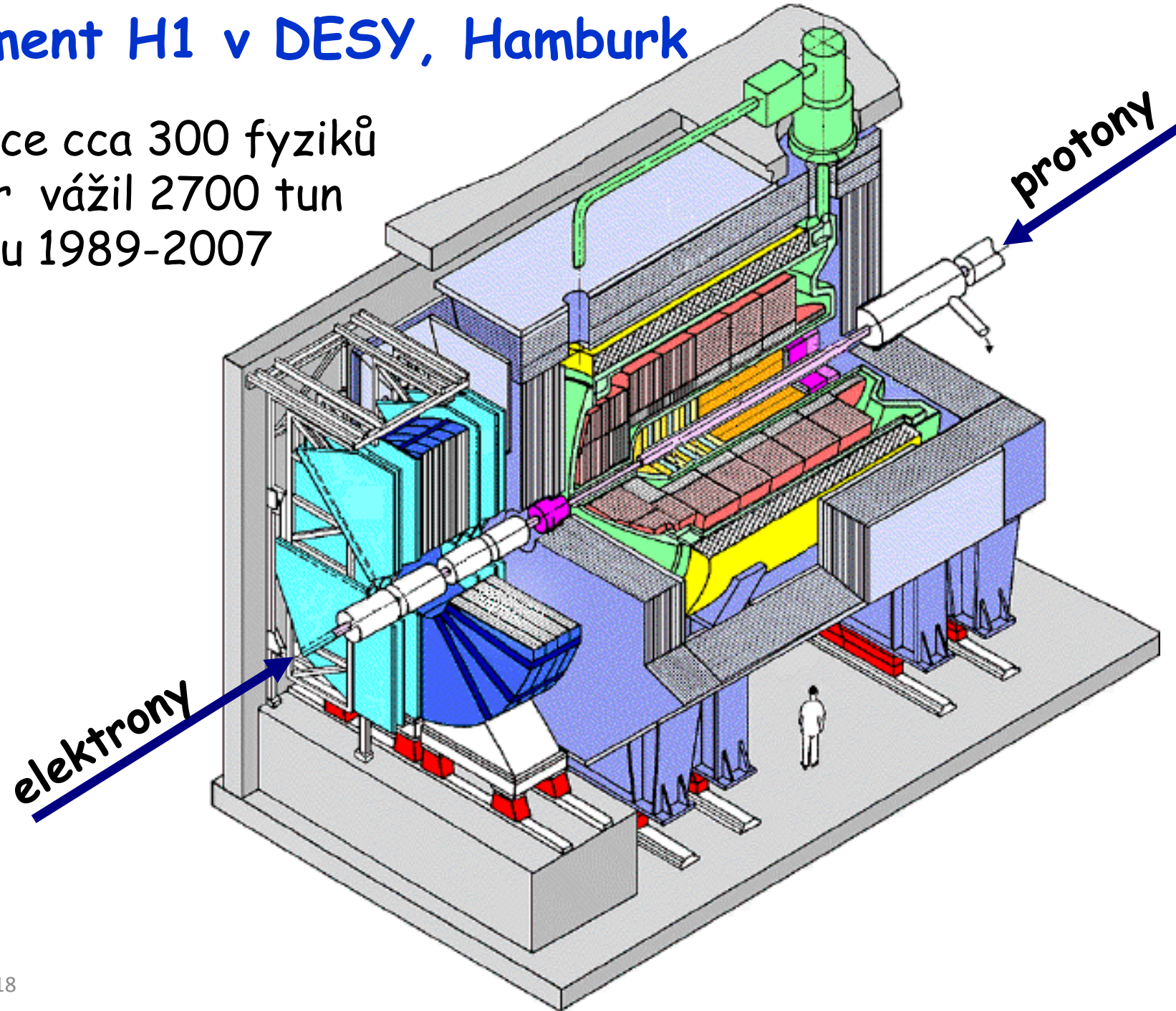
Typický „dvoujetový“ případ

První „tříjetový“ případ



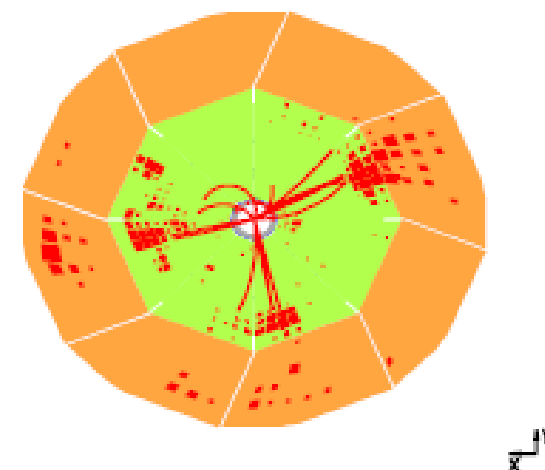
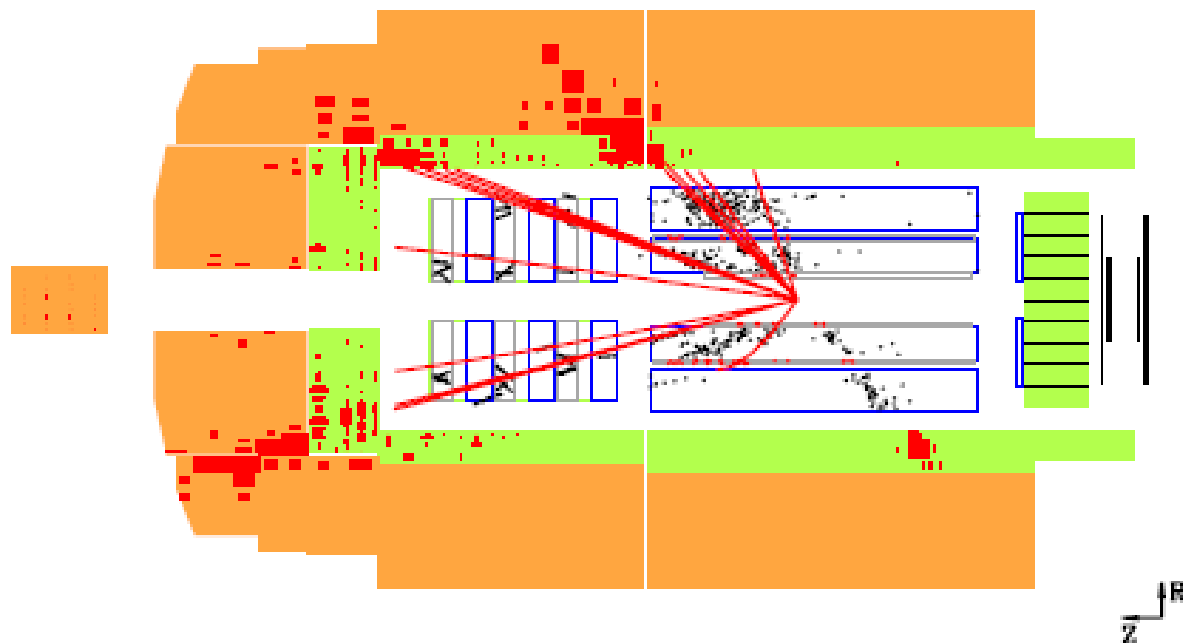
Experiment H1 v DESY, Hamburk

Kolaborace cca 300 fyziků
Detektor vážil 2700 tun
V provozu 1989-2007

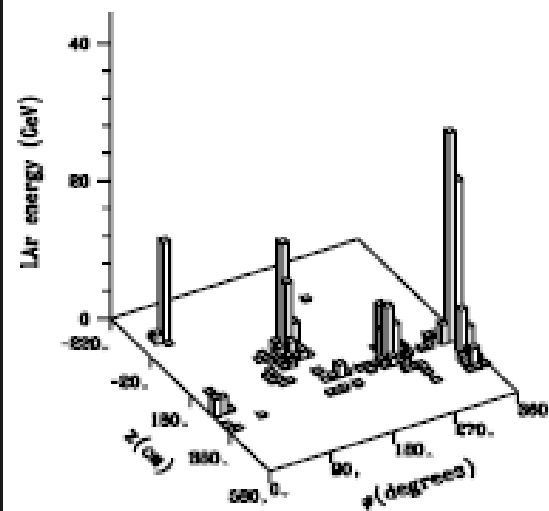




NC DIS Event with 3+0 Jets



e⁻ and 3 Jets !!



Jak „existují“ kvarky a gluony

Existence spektra harmonií a jetů je přesvědčivým argumentem, **proč o kvarcích a gluonech říkáme, že „existují“**, i když je nemůžeme pozorovat jako volné objekty.

Při popisu tvrdých srážek leptonů a nukleonů zacházíme s kvarky a gluony stejně jako s elektrony a fotony a **skutečnost, že po srážce pozorujeme zase jen leptony a hadrony popíšeme mechanismem jak z kvarků a gluonů vzniká jejich „stopa“ - jet.**

Teorie, která to umí se nazývá **kvantová chromodynamika.**

Jety nahradily částice jako hlavní nástroj zkoumání struktur a sil v mikrosvětě.

Objev nosičů slabých sil W^+ , W^- , Z

Základní komponenty urychlovacího komplexu v CERN

Ženevské jezero

LEP/LHC

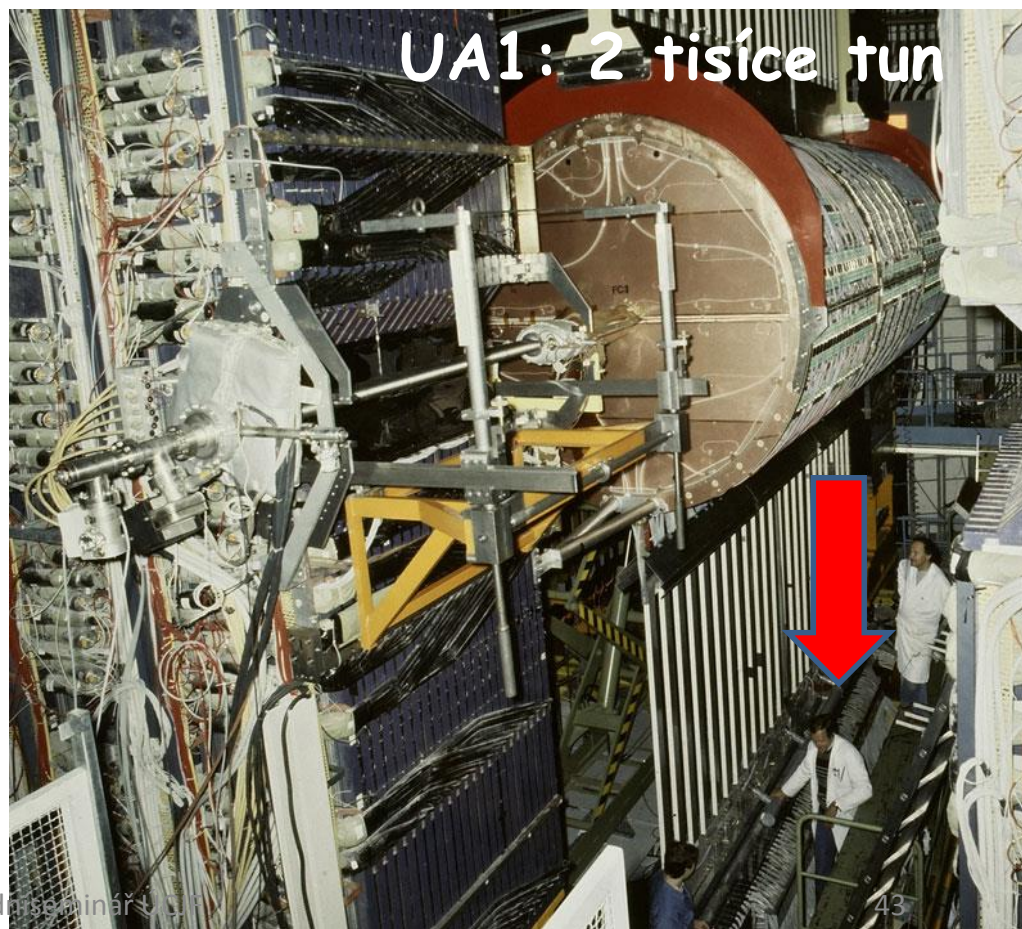
SPS

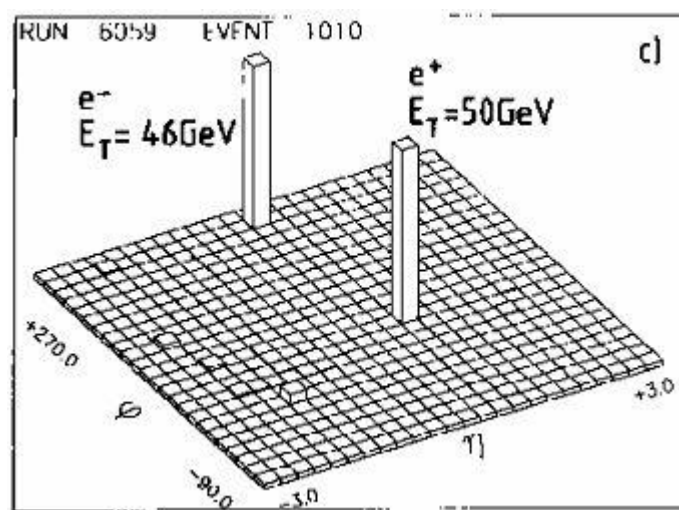
Protonový
synchrotron

Srážec antiprotonů a protonů

V tunelu Super Proton Synchrotronu, přebudovaném na srážecí protonů s antiprotony s cílem **objevit nosiče slabých sil W, Z** jejichž hmotnost měla být **80, resp. 90 GeV** a doba života **okolo miliontiny miliardtiny miliardtiny vteřiny**.

- ✚ Projekt schválen **1978**, detektory: **UA1, UA2**
- ✚ První srážky **koncem 1981**
- ✚ **Jaro 1983** **nosiče W a Z** objeveny s předpovězenou hmotností.
- ✚ **Říjen 1984**: **NC za fyziku** pro **Carla Rubbia** a **Simona van der Meera**

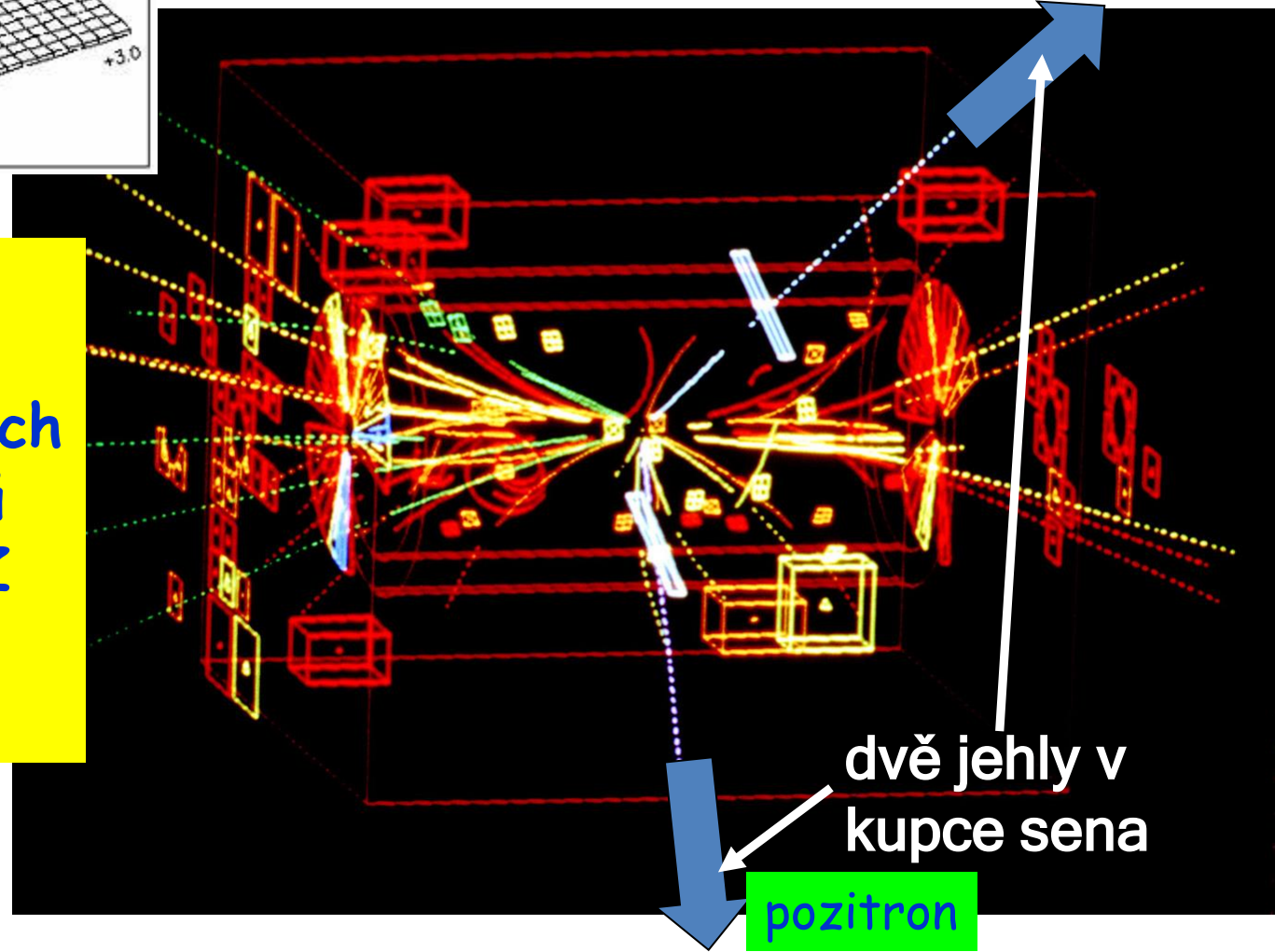




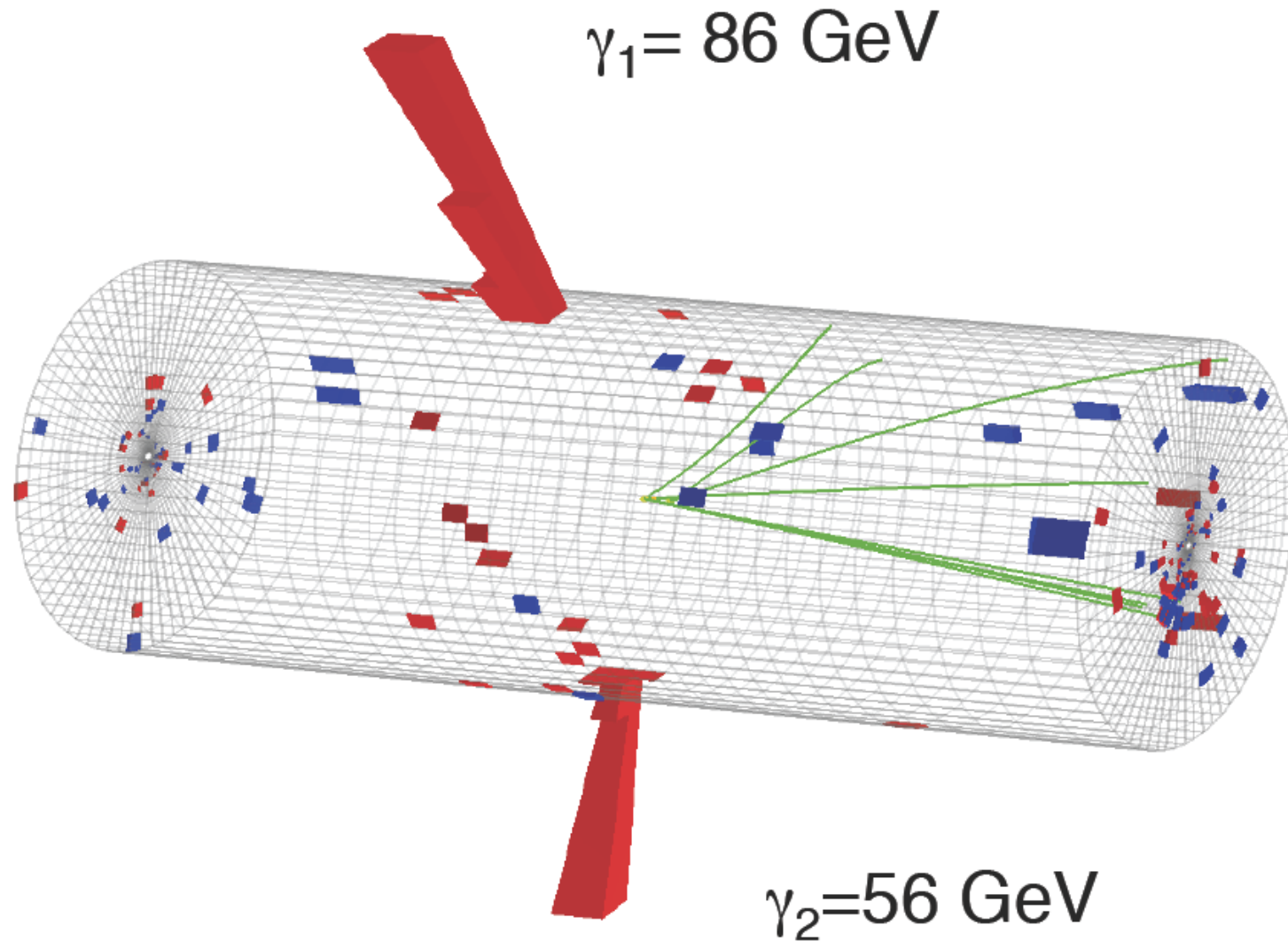
Typickým příznakem vzniku **bosonu Z** je produkce elektronu a pozitronu s velkými energiemi

elektron

Počítačová rekonstrukce jednoho z prvních jasných případů vzniku bosonu Z detegovaného v aparatuře UA1

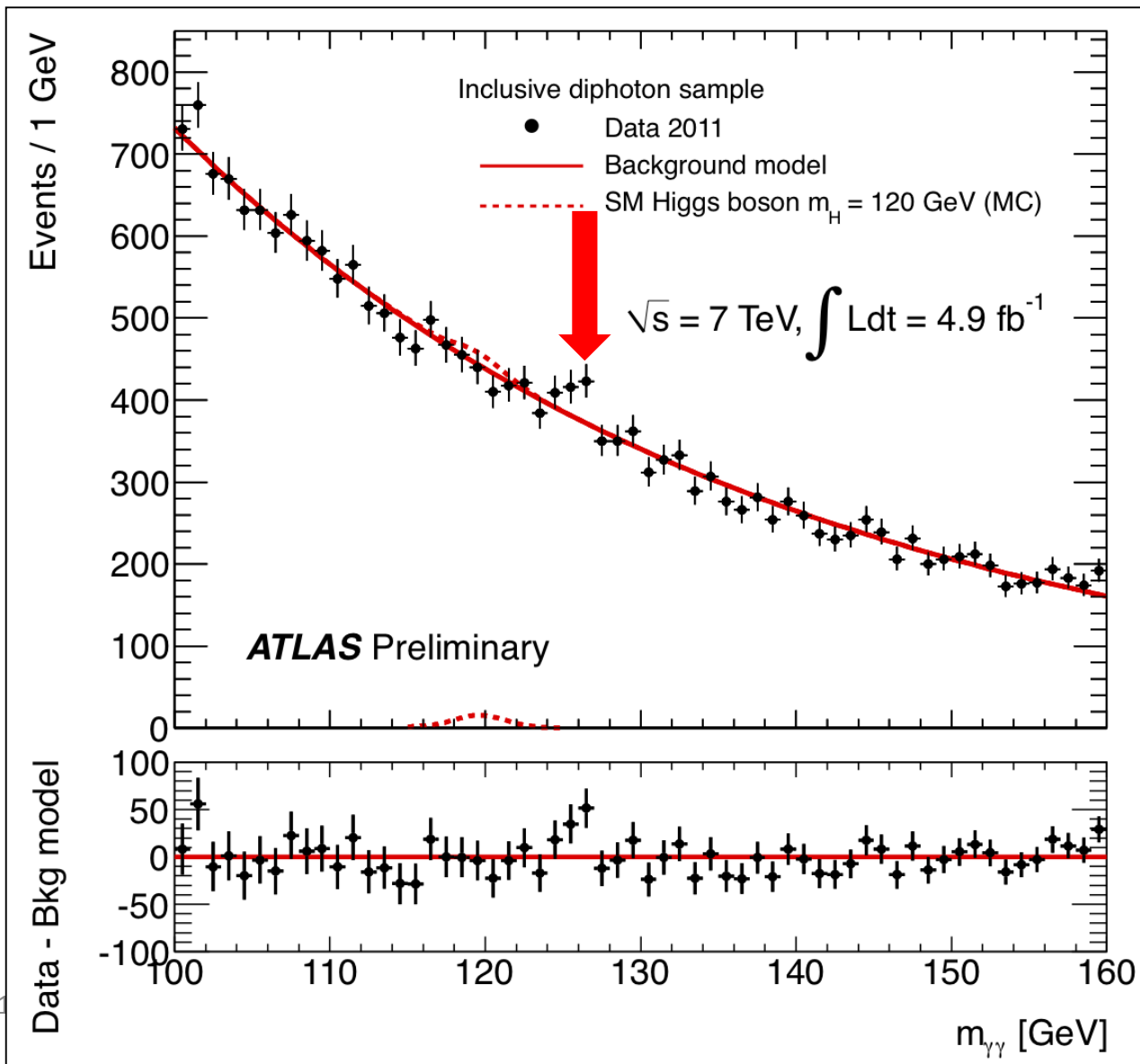


Objev Higgsova bosonu



Jak se rodil objev Higgse

- ICHEP 2011, červenec 2011: může být jenom v intervalu 120-140 GeV
- Seminář v CERN, prosinec 2011: náznak mezi 115-130 GeV





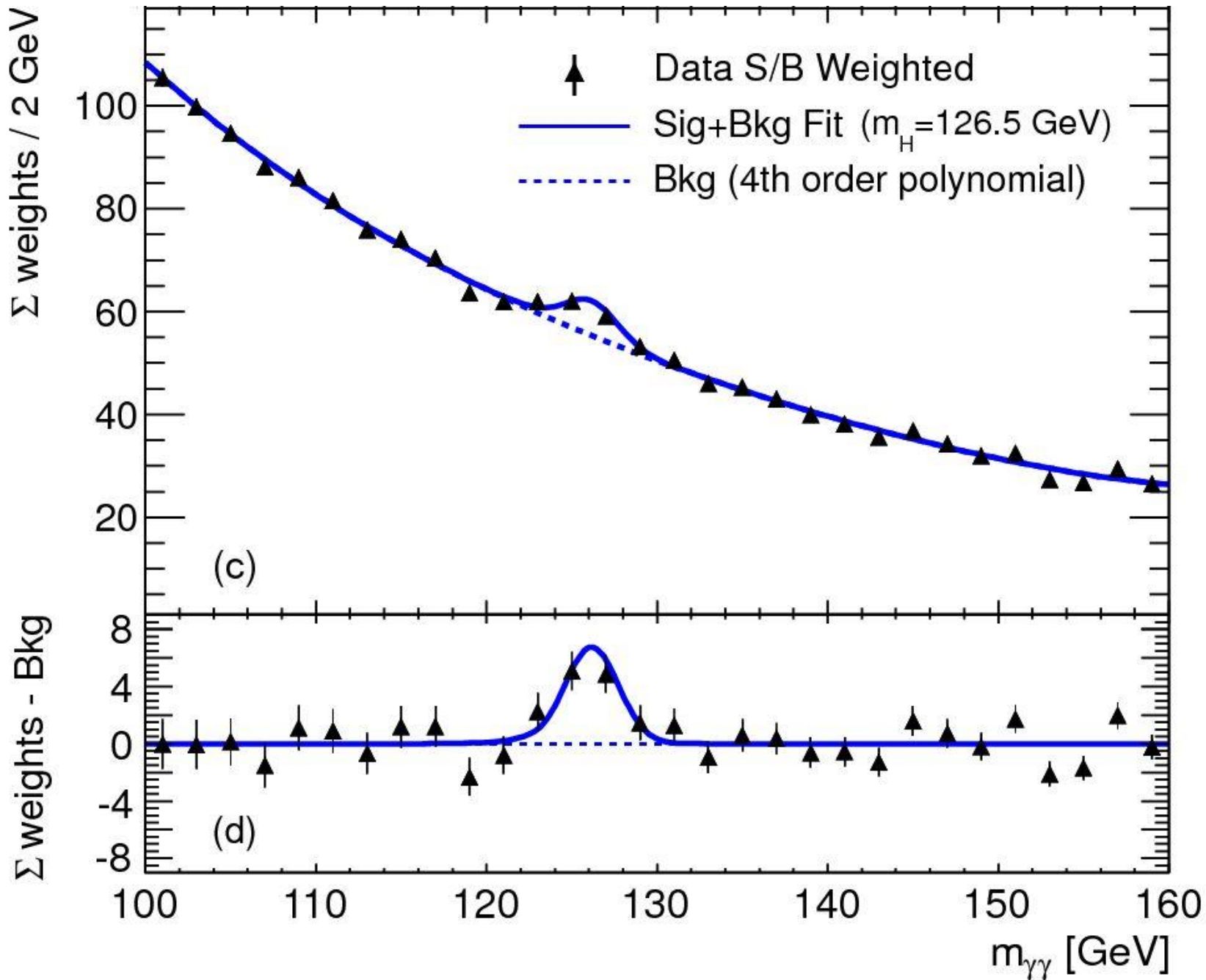
ELSEVIER

Observations
with the

ATLAS Collaboration
This paper is a
contribution to

ARTICLE

Article history:
Received 31 July 2011
Received in revised form 11 August 2011
Accepted 11 August 2011
Available online 11 August 2011
Editor: W.-D. S



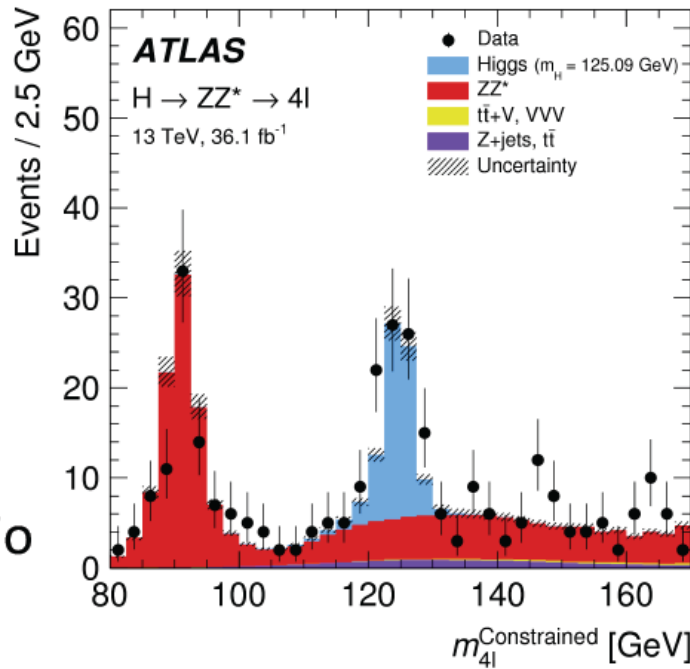
Současný stav: Recent ATLAS Higgs boson measurements

Higgs stále žije! using di-boson decays

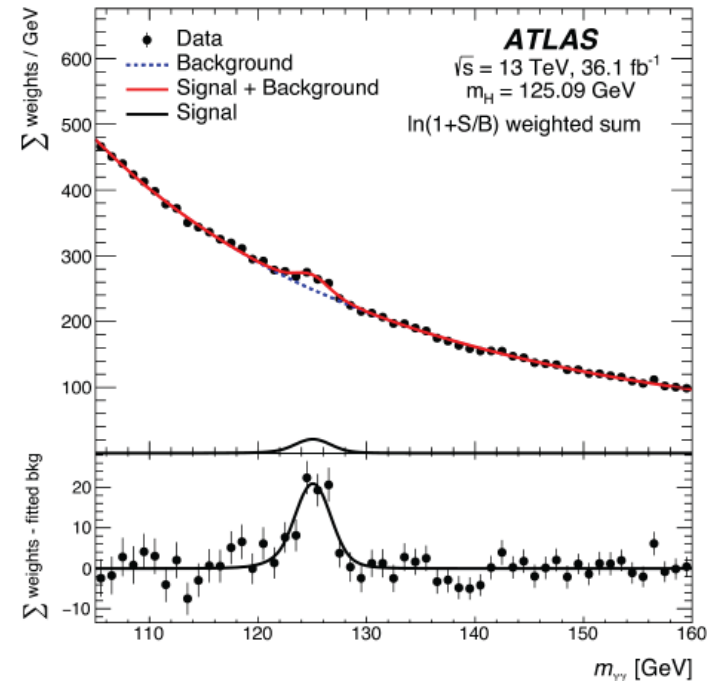
Kathrin Becker (Freiburg) on behalf of the ATLAS collaboration

CERN-LHC Seminar, March 20, 2018

$H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4l$ and $H \rightarrow \gamma\gamma$ combination



Best S/B ratio



- Cross sections are extracted by fitting invariant masses m_{4l} and $m_{\gamma\gamma}$
 - Signal strength, $H \rightarrow \gamma\gamma$: $\mu = 0.99 \pm 0.14 \rightarrow 14\%$
 - Signal strength, $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4l$: $\mu = 1.28^{+0.21}_{-0.19} \rightarrow 15\%$

Jasný signálu existence dvou **neexistujících** mezonů

VOLUME 9, NUMBER 3

PHYSICAL REVIEW LETTERS

AUGUST 1, 1962

EVIDENCE FOR $\pi^+ \pi^-$ RESONANCES AT 395- AND 520-MeV EFFECTIVE MASS*

N. P. Samios

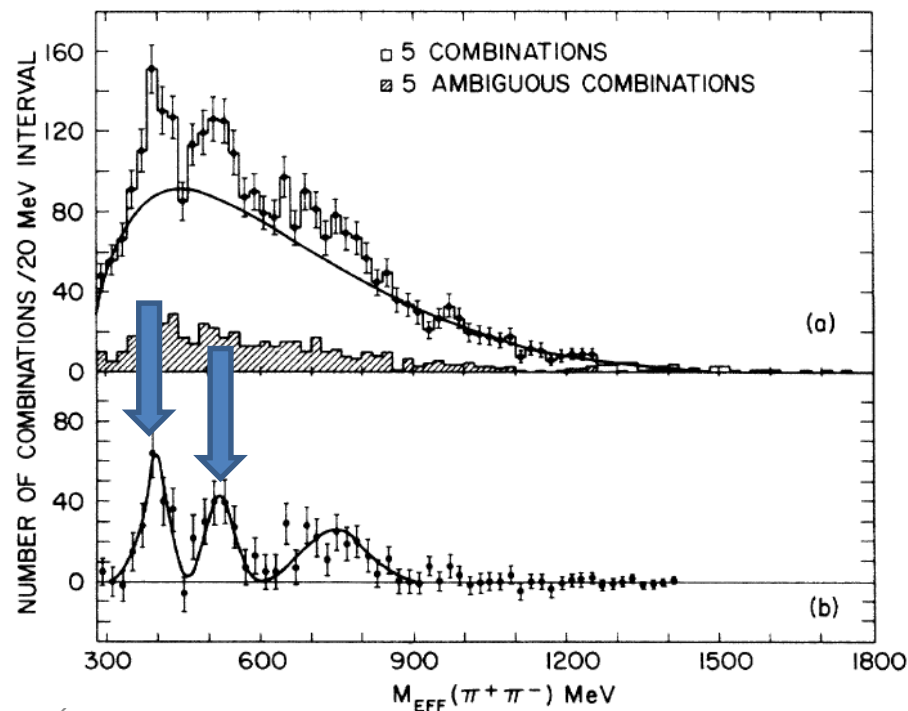
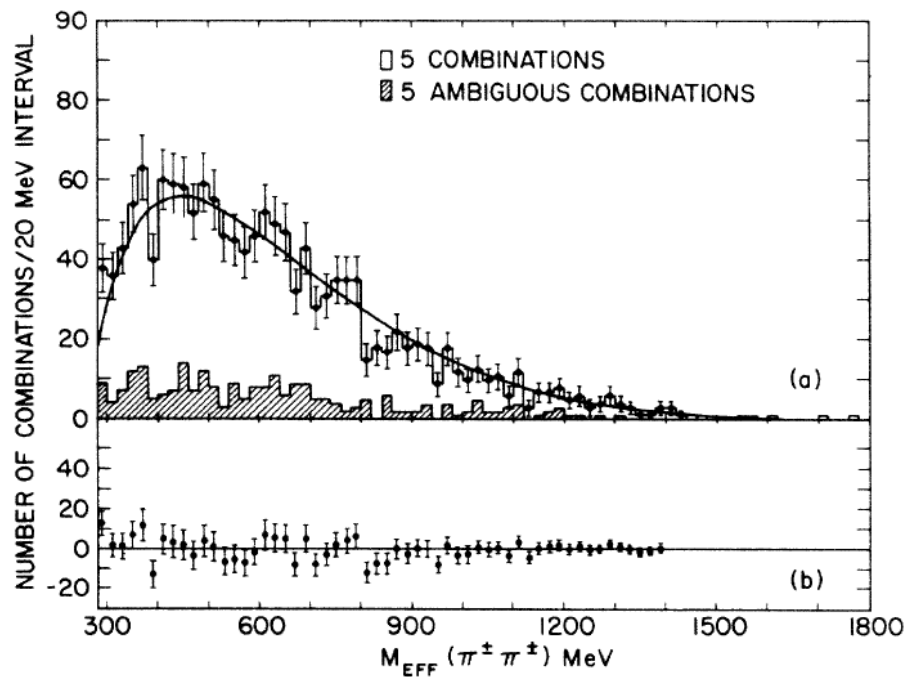
Objevitel Ω^-

Brookhaven National Laboratory, Upton, New York

and

A. H. Bachman and R. M. Lea

The City College of New York, New York, New York



vzestup a pád pentakvarků

Pentaquarks

Marek Karliner

(marek@proton.tau.ac.il)

Cavendish Laboratory, Cambridge University, United Kingdom

and

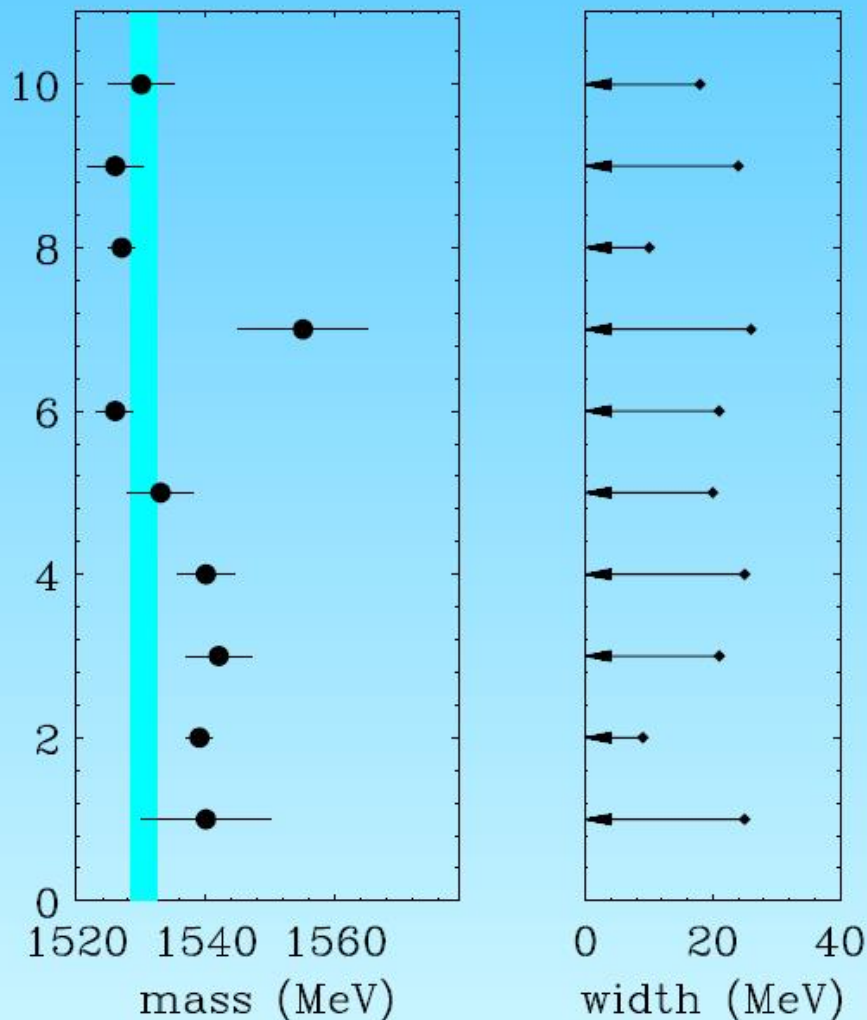
School of Physics and Astronomy, Tel Aviv University, Israel

with Harry J. Lipkin^a, John Ellis^b and Michał Praszalowicz^b

^ahep-ph/0307243, hep-ph/0307343, hep-ph/0401072 and hep-ph/0402008

^bhep-ph/0401127

mass and width measurements of $\Theta^+(uudds_{\text{bar}})$



COSY: $pp \rightarrow \Sigma^+ K_{sp}$	$5 \pm 1\sigma$
SVD-2: pA	5.6σ
ZEUS: $\gamma^* p$	5.0σ
CLAS 2: γp	$7.8 \pm 1.0\sigma$
HERMES: $\gamma^* D$	$7.5 \pm 2.4\sigma$
ITEP: $\nu A, \bar{\nu} A$	6.7σ
SAPHIR: γp	4.8σ
CLAS: γD	$5.3 \pm 0.5\sigma$
DIANA: $K^+ Xe$	4.4σ
LEPS: $\gamma^{12}C$	4.6σ

World average: $m = 1530.5 \pm 2.0$ MeV

Pentakvarky o dva roky později

PRL 96, 042001 (2006)

PHYSICAL REVIEW LETTERS

week ending
3 FEBRUARY 2006

Search for $\Theta^+(1540)$ Pentaquark in High-Statistics Measurement of $\gamma p \rightarrow \bar{K}^0 K^+ n$ at CLAS

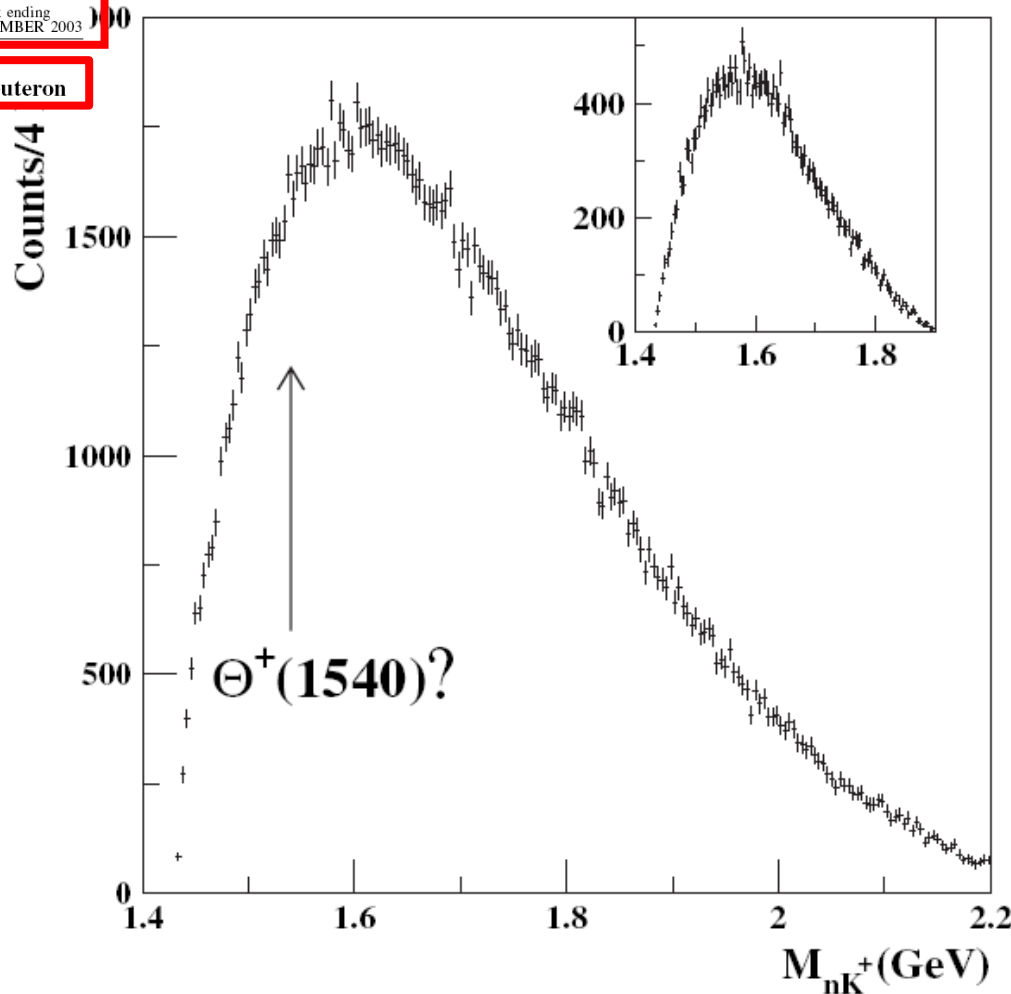
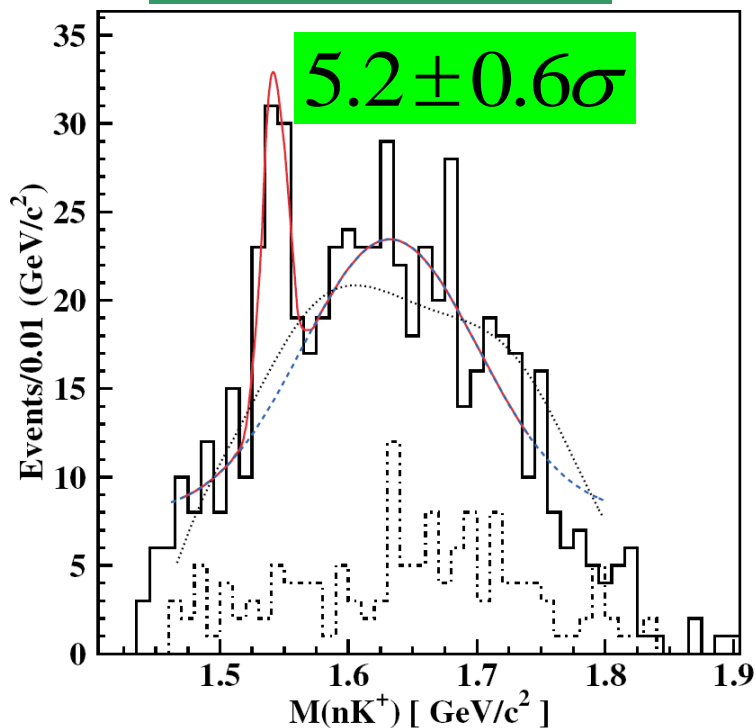
VOLUME 91, NUMBER 25

PHYSICAL REVIEW LETTERS

week ending
19 DECEMBER 2003

Observation of an Exotic $S = +1$ Baryon in Exclusive Photoproduction from the Deuteron

CLAS at JLAB



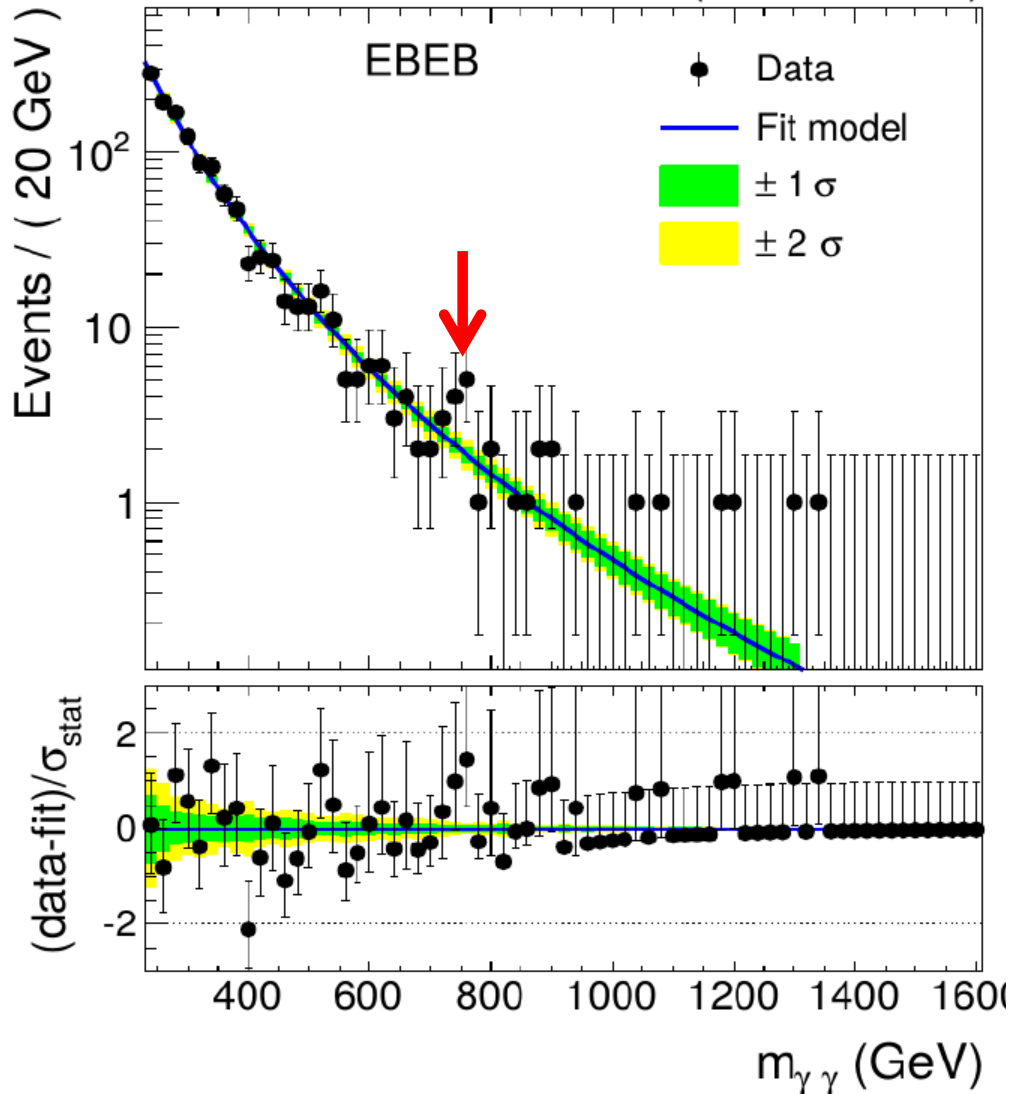
12. 4. 2018

$\gamma p \rightarrow nK^+ K^-$

A jak se nenarodil těžký Higgs

Livia Soffi, CERN EP Seminář, 29.3.2016

CMS Preliminary 2.7 fb^{-1} (13 TeV, 3.8T)



Největší přebytek pro

$m = 760 \text{ GeV}$

Lokální signifikance: **2.8σ**

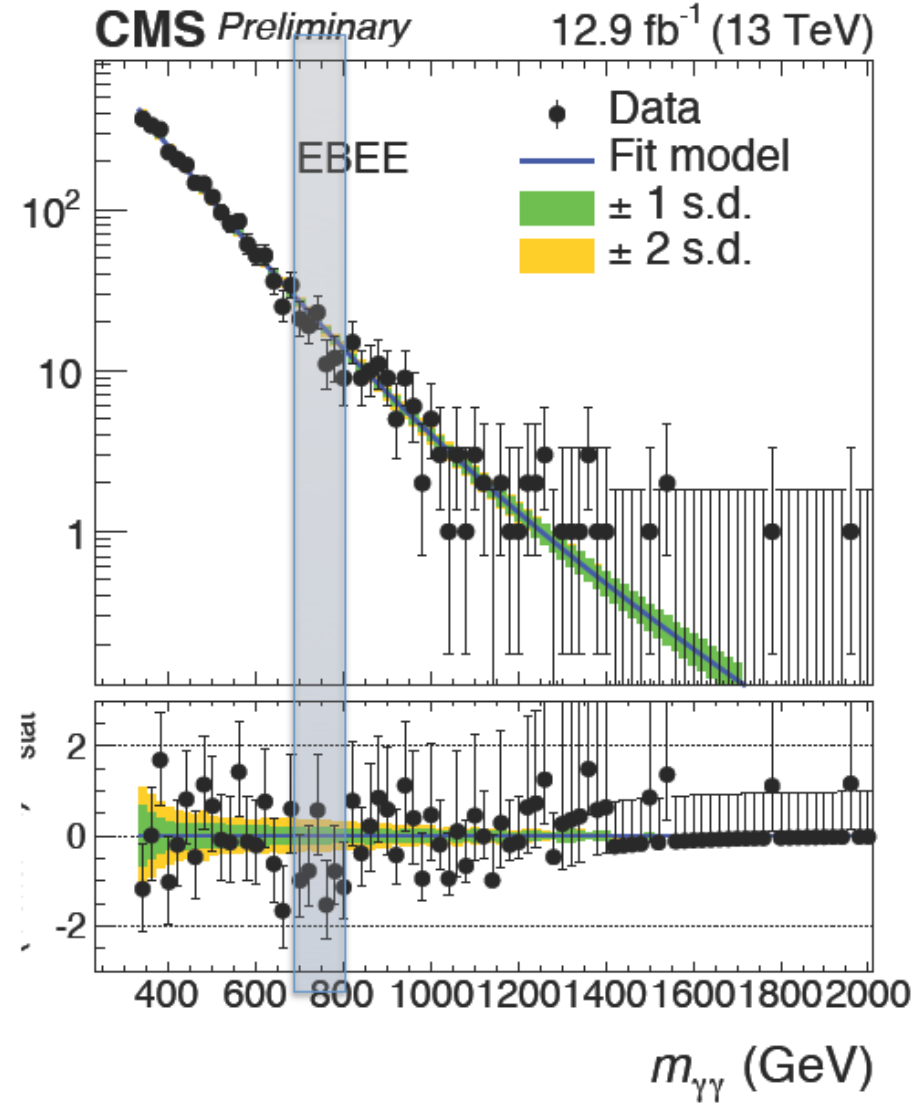
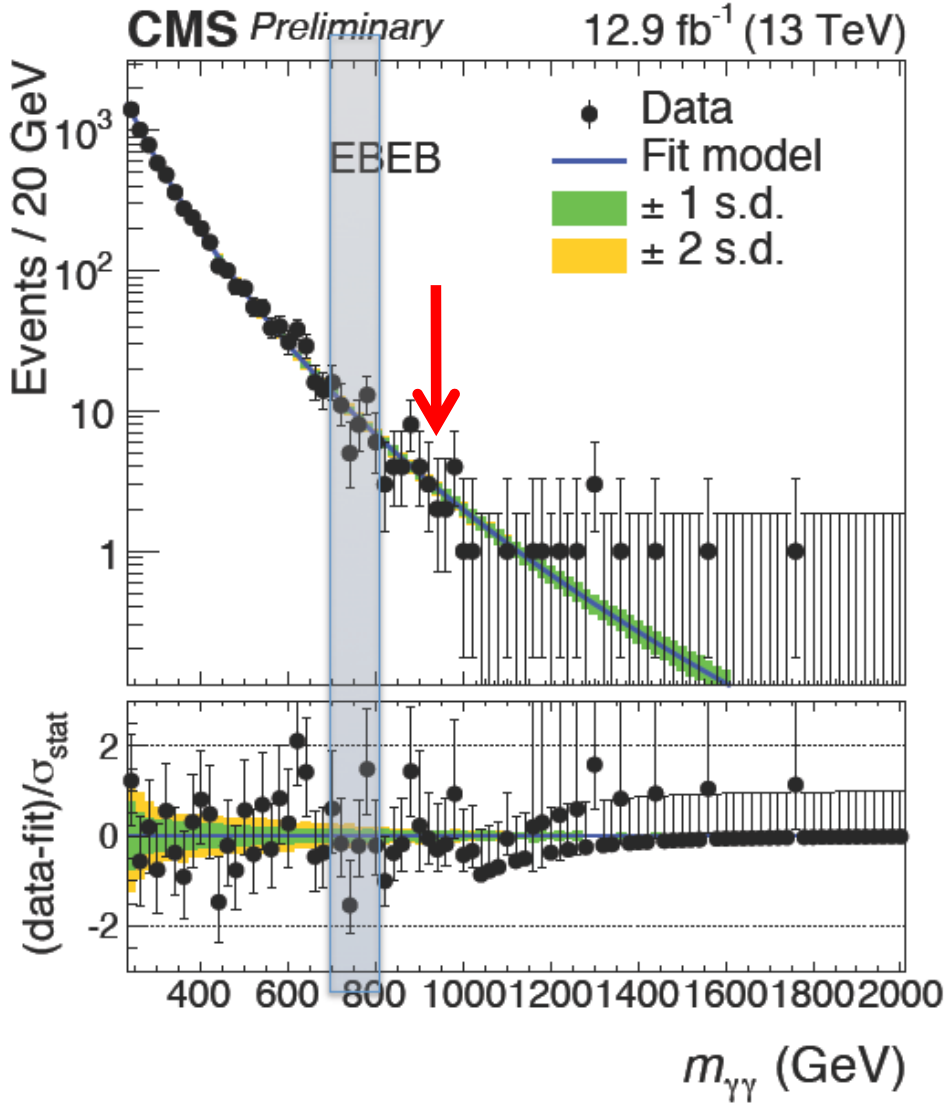
Global signifikance $< 1\sigma$

ATLAS je opatrný: **Modest excesses** begging for more data

CMS také: **Low significance**

excesses seen in diphoton channel

ale podobně to vypadalo před objevem Higgse.



Data consistent with Standard Model expectations

A co dál?

Kvarky a leptony nejsou zásadně odlišné

ale představují jen **různé stavy jednoho fermionu**. Tato hypotéza implikuje, že **proton není stabilní**. Pátrání po rozpadu protonu bylo zatím neúspěšně.

Ke každé částici standardního modelu existuje partner

jenž se od svého protějšku liší **hodnotou spinu**. Žádná dosud **nebyla objevena**. Jedna z nich je kandidátem na podstatu tzv. „**temné hmoty**“ ve vesmíru.

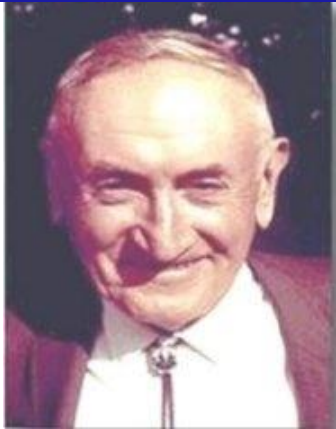
Základními objekty mikrosvěta nejsou částice, ale struny

Původní naděje, že povede k „**teorii všeho**“, v jejímž rámci bude možné **spočítat i hodnoty zmíněných cca 20 volných parametrů** standardního modelu, však byla již opuštěna.

Fyzikální zákony „žijí“ ve více prostorových rozměrech

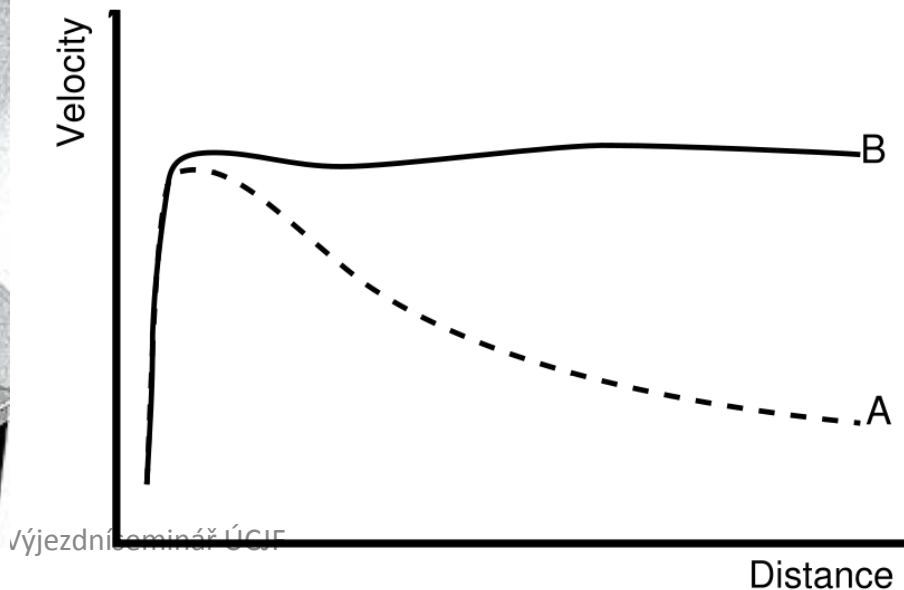
Tato myšlenka se ve fyzice objevila již počátkem minulého století a je nezbytnou součástí **teorií strun**, ale dosud nebyl aexperimentálně potvrzena.

Ustřední problém současné astrofyziky: temná hmota



1933 Fritz Zwicky: rychlosti galaxií na okraji klastru Coma neodpovídaly viditelné hmotnosti. pro vysvětlení pohybu galaxií bylo **třeba cca 400 krát více hmotnosti.**

1975: Vera Rubin: rotační křivky spirálních galaxií **jsou ploché až na samý okraj.**



Spirální galaxie Messier 101



Hledání podstaty temné hmoty je jeden ze dvou ústředních problémů současné kosmologie, na něž nemáme uspokojující odpověď. **Jediné co víme je, že by to měly být elektricky neutrální částice.**



Nejžhavějším kandidátem na temnou hmotu je **nejlehčí supersymetrická částice**, nazývaná **neutralino**, která je elektricky neutrální a velmi těžká (nejméně 1000krát těžší než proton).

Mezi částicemi produkoványi při srážkách protonů na LHC

$$p + p \rightarrow \chi + \chi + \text{mnoho známých částic}$$



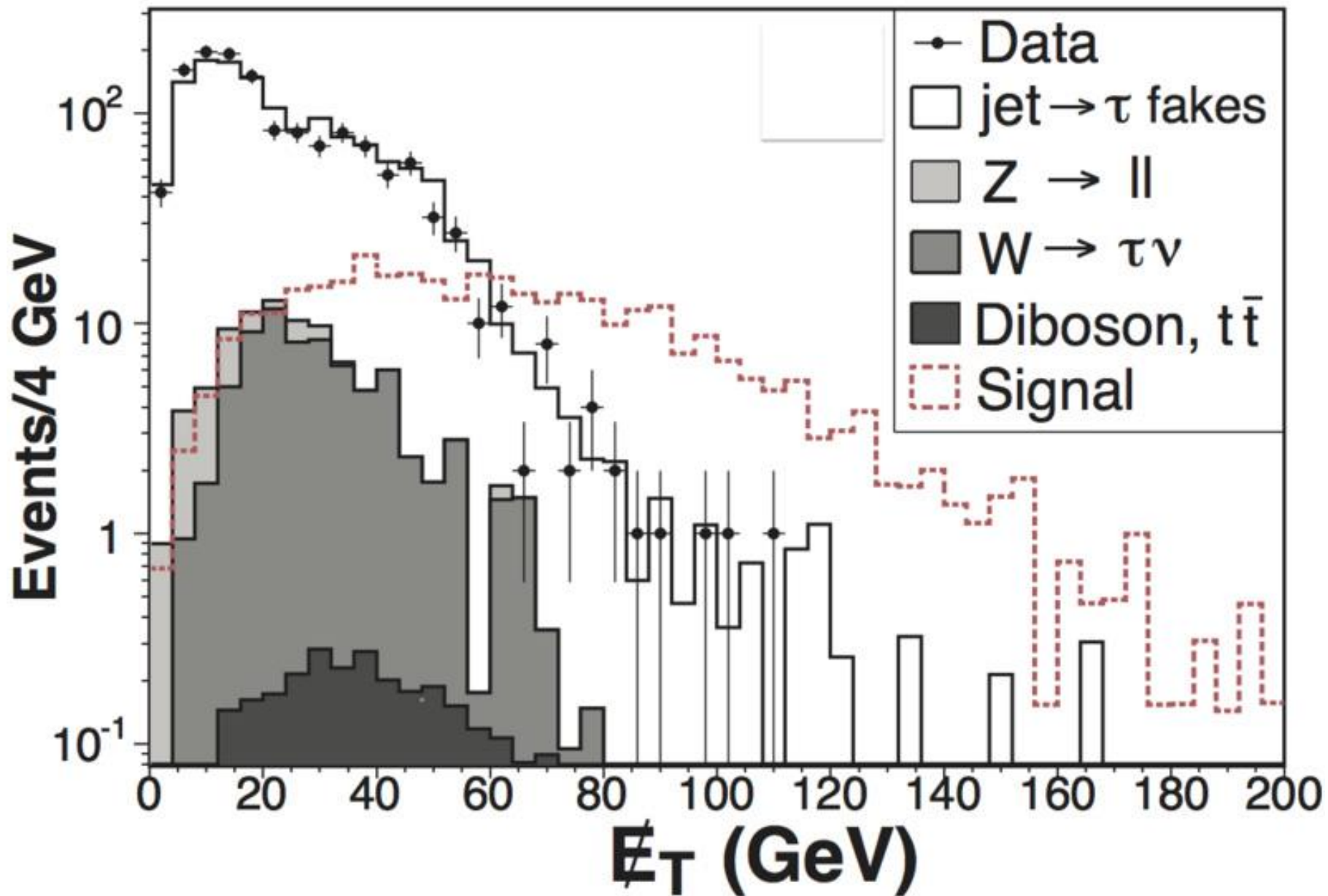
Nejlehčí supersymetrická částice

Prostřednictvím „normálních“ částic vznikajících při srážkách dvou částic temné hmoty ve vesmíru nebo ve hvězdách.

$$\chi + \chi \rightarrow \text{mnoho známých částic}$$

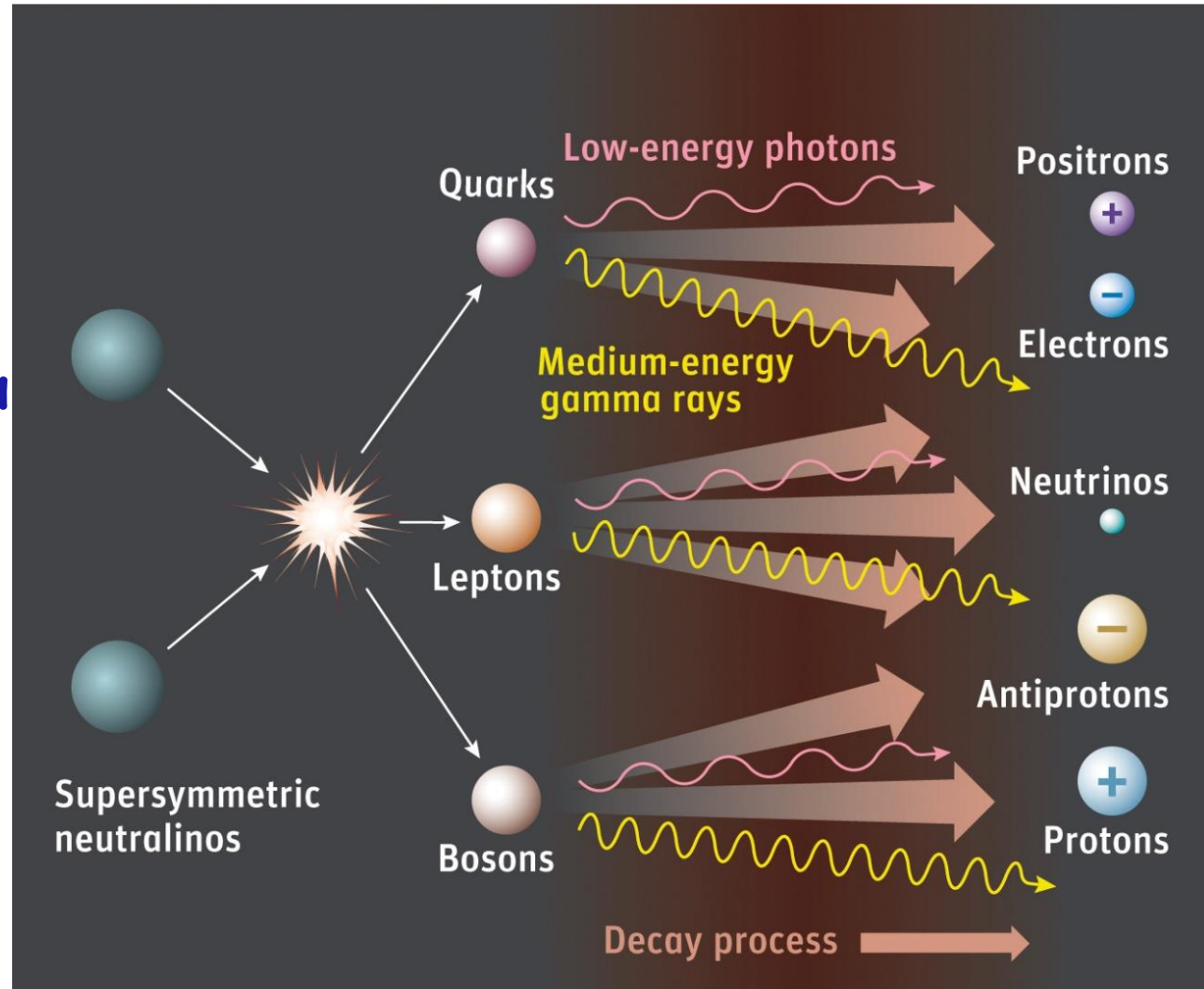
Prostřednictvím jejich srážek se známými částicemi, podobně jako bylo objeveno neutrino

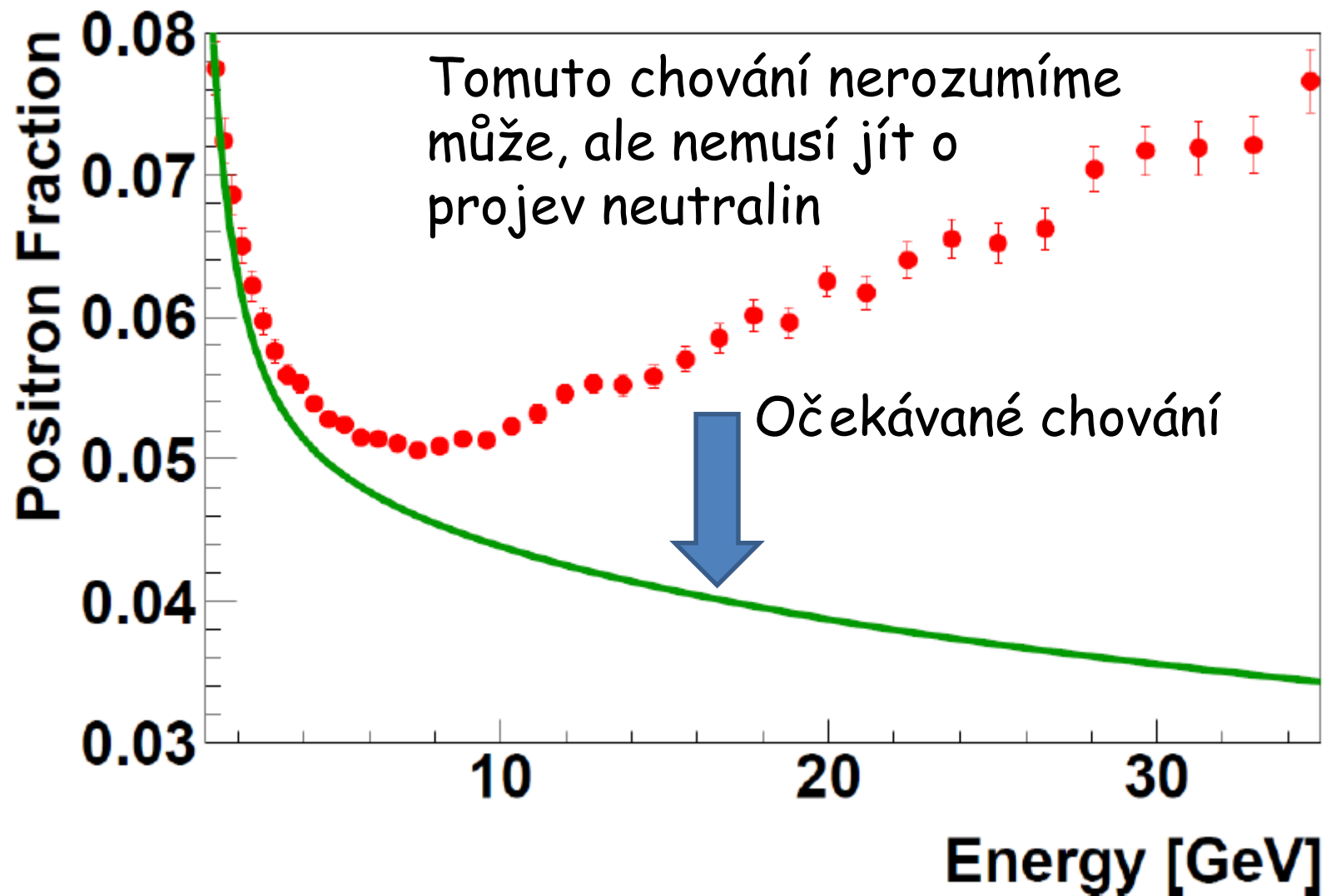
$$\chi + p \rightarrow \chi + p$$



Ve srážce dvou supersymetrických částic, které vznikly při Velké třesku, vznikají „normální“ částice a antičástice, **které mají velké energie**, jež jsou v případě antičástic v kosmickém záření **velmi neobvyklé**.

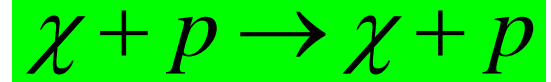
Ke srážkám supersymetrických částic může dojít **v kosmickém prostoru nebo ve hvězdách**, kde by měly být gravitačně naakumulovány.





May 19: AMS installed on ISS 5:15 CDT, start taking data 9:35 CDT

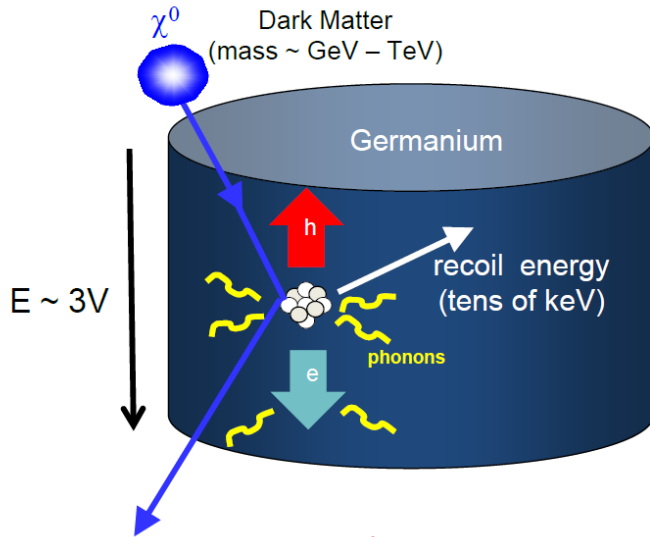
Přímá detekce temné hmoty:



Několik variant citlivého prostředí

✚ **Tekuté vzácné plyny** (argon, xenon, krypton): XENONIT, LUX, PANDA

✚ **Kryogenní detektory** (krystaly Ge, (NaI(Tl))): DAMA, CoGeNT, CRESST, CDMS



Germániové krystaly o váze 600 gramů fungují jako velmi citlivý teploměr: detegují nepatrné zvýšení teploty v důsledku vibrací krystalové mříže vyvolané nárazem částice temné hmoty do jader.

Neexistují spolehlivé předpovědi o interakci temné hmoty s normální, tj. protony a neutrony.

Zatím žádný jasný signál.

Všechny způsoby jak „objevit“ částice, které by mohly být kandidáty na temnou hmotu se opírají **pouze o to, že něco „nevidíme“**, ale nikoliv, jako v případě objevu neutrin, že „něco“ nevidíme, resp. „něco“ nám chybí a to „něco“ se projeví interakcí s normální hmotou.

Význam slova „objevit“ tak nabývá další, ještě méně intuitivní obsah.

KONEC

Mlžná komora Gymnázia Opatov



6. dubna 2018

Výjezdníseminář ÚČJF

66

Generální ředitel CERN Rolf Heuer na výstavě 60 let CERN



6. dubna 2018

Výjezdníseminář ÚCJF

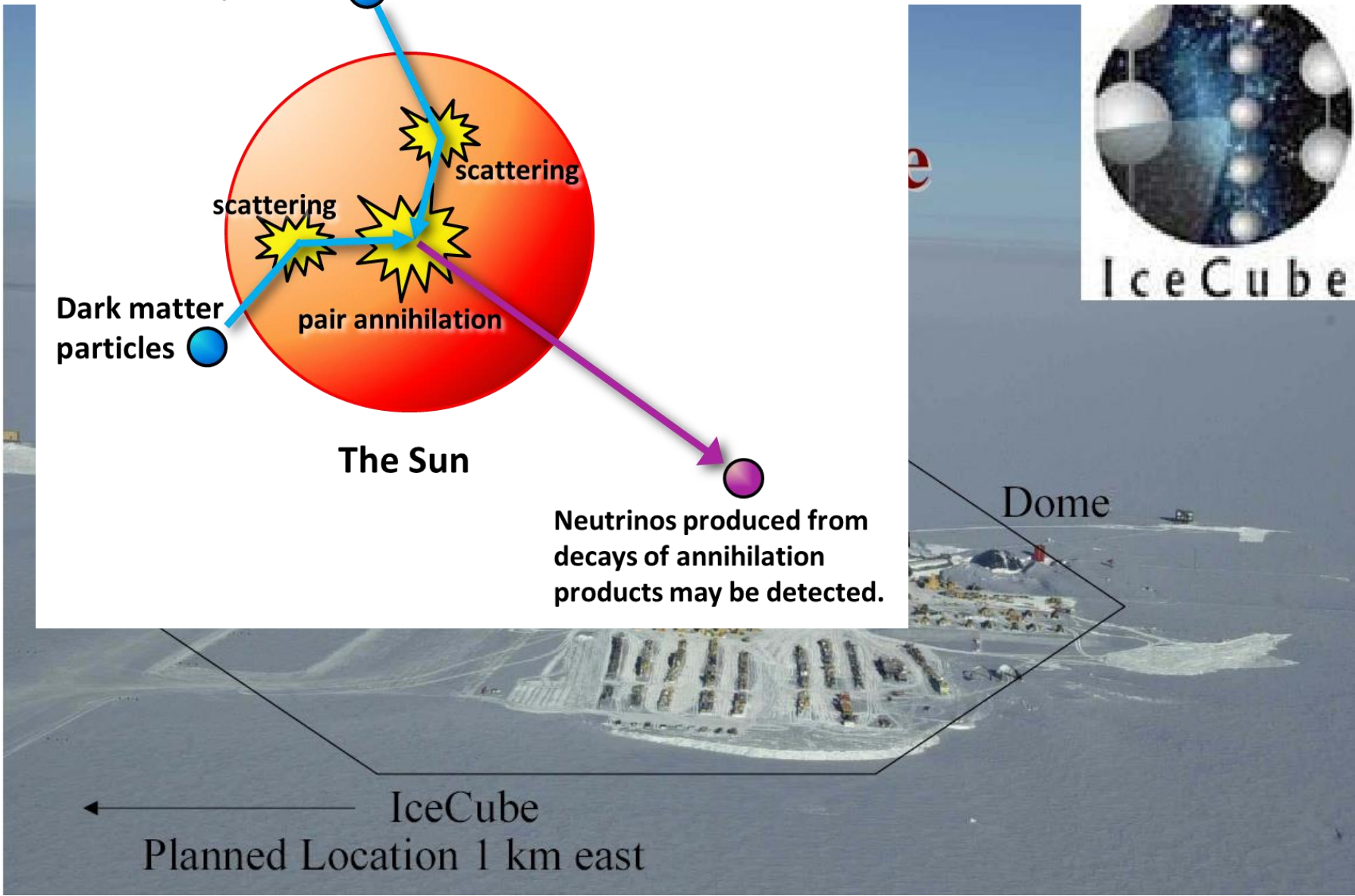
67

Moderní fyzika se opírá o dvě teorie, jež zásadním způsobem změnily naše představy o prostoru, čase a zákonech, jež v mikrosvětě působí: teorii relativity a kvantovou teorii.

Vesmír, tak jak ho známe, by nemohl vzniknout, kdyby v něm platily zákony klasické fyziky.

Kdyby se protony, neutrony a elektrony řídily zákony klasické fyziky, **nebyly by atomy stabilní**, neboť elektrony by podle nich při oběhu kolem jádra vyzařovaly energii a během krátké doby by se na něj zřítily.

Energie z jádra a paprsky ze Slunce jsou podmíněny skutečností, že **klidová hmotnost částic se může přeměnit na kinetickou energii jiných částic a obráceně**. Díky tomu mohou při srážkách částic vznikat částice jiné, což jsou **procesy, které hrály rozhodující roli ve velkém třesku**.





IceCube Laboratory
Data is collected here and sent by satellite to the warehouse at UW-Madison.



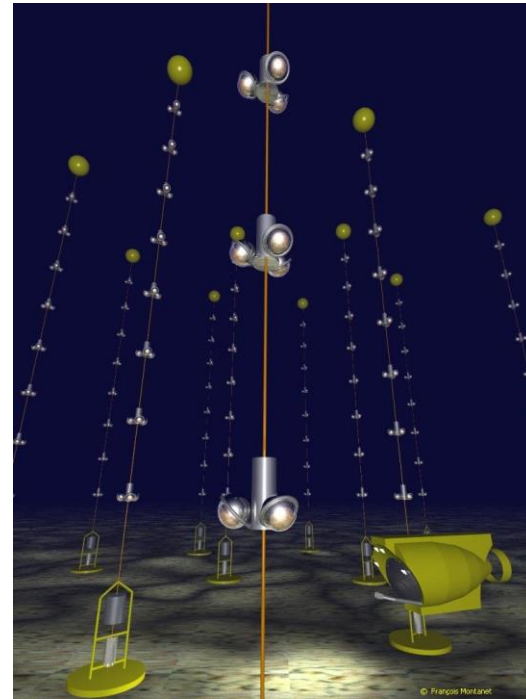
Digital Optical Module (DOM)
5,160 DOMs deployed in the ice



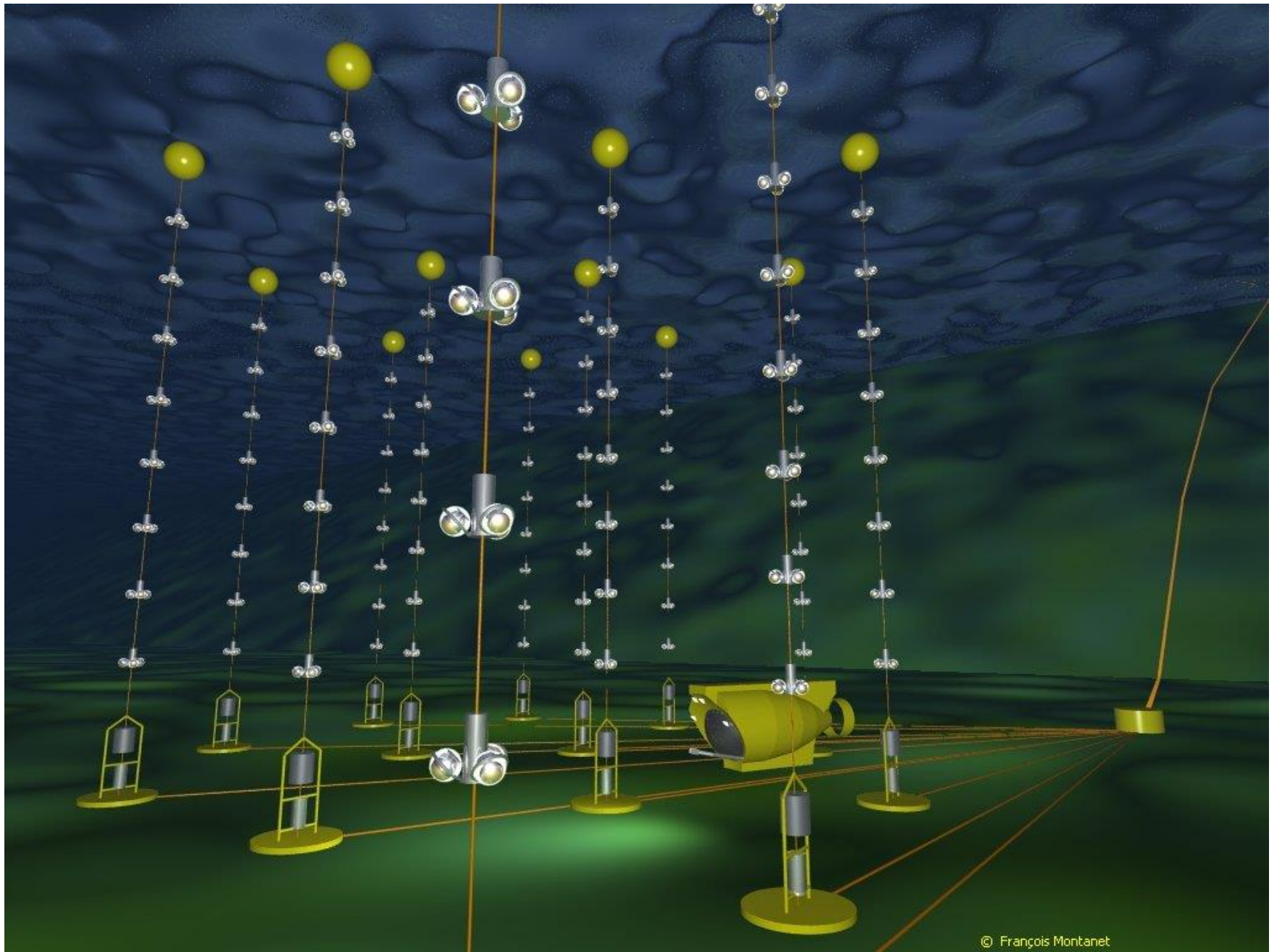
**Hledání neutralin jako kandidáta na
temnou hmotu je cílem i experimentu**

Antares

**na dně Středoziemního moře u pobřeží nedaleko
Tulounu v hloubce cca 2400 metrů.**



Podobná koncepce i cíle jako u Amandy.



Struny

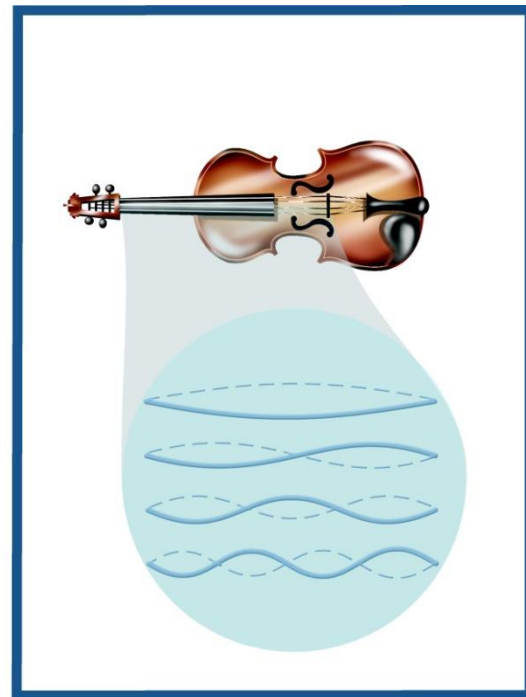
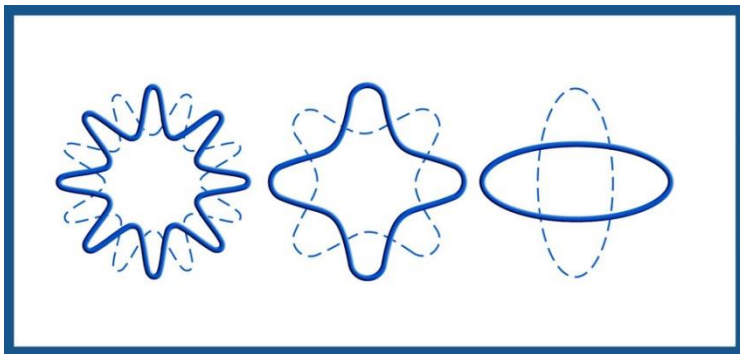
Hypotéza: základními objekty mikrosvěta nejsou bodové částice, ale struny.

Koncem 60. let se zdálo, že některé vlastnosti protonů, neutronů a mezonů lze vysvětlit, předpokládáme-li, že se chovají jako struny ve třírozměrném prostoru o délce řádově femtometr. Brzy se ovšem ukázalo, že takto protony chápat nelze a strunový model byl opuštěn.

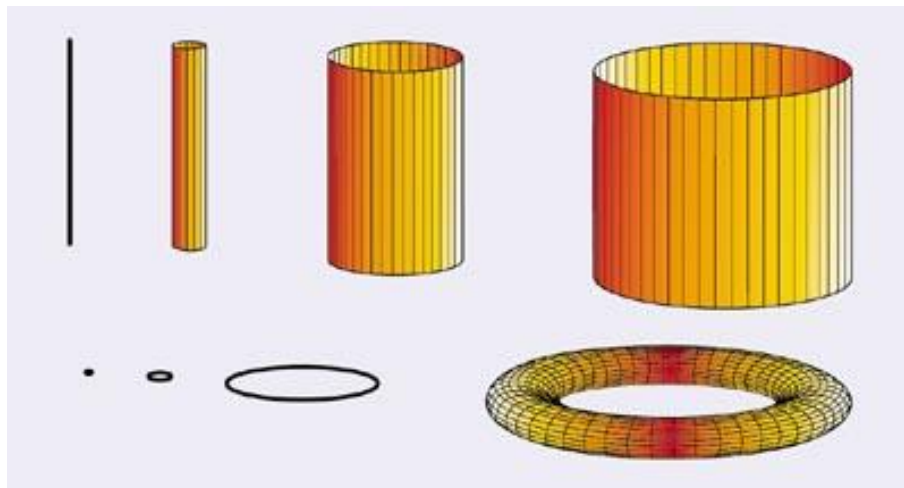
Struny se do fyziky vrátili počátkem 80. let ale v jiném hávu: jako součást snah sjednotit elektromagnetické, slabé a silné síly s gravitací.

Tyto struny se však „pohybovaly“ ve vícerozměrném (obvykle 10ti) prostoročase a měli délku řádově 10^{-33} cm, tj. o 20 řádů menší než je rozměr protonu.

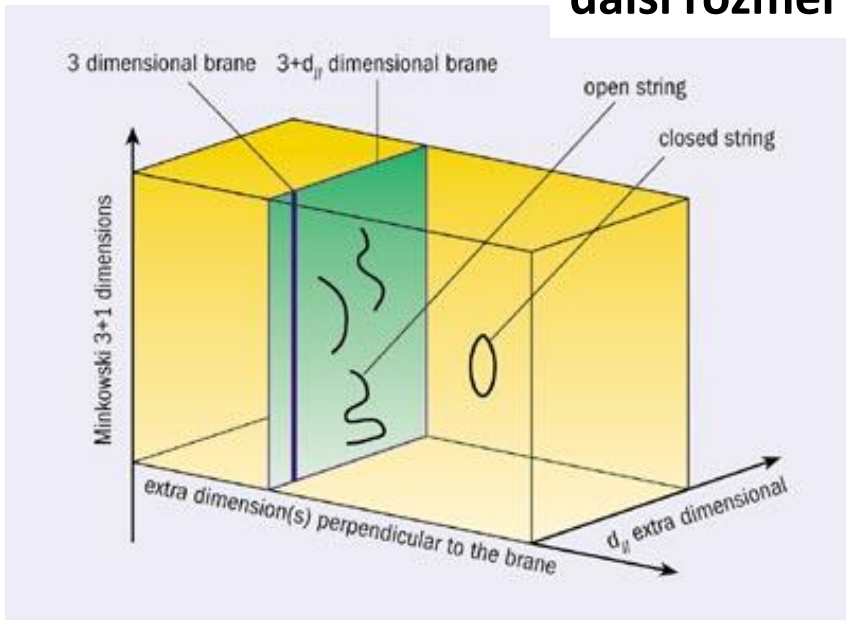
Podobně jako mají **různé tóny** (tj. vibrační stavy) klasické struny **různou energii**, mají různou energii i vibrační stavy strun těchto teorií.



Struny mohou být otevřené i uzavřené a pokud se na ně díváme s malou „rozlišovací schopností“, **jeví se nám jako body**. Různá energie vibračních stavů struny odpovídají různým hmotnostem.



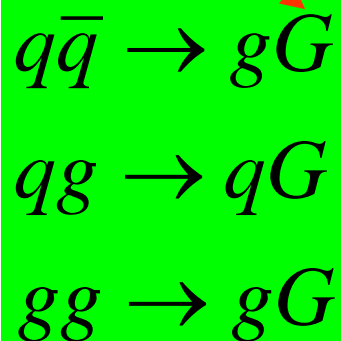
Extra dimenze



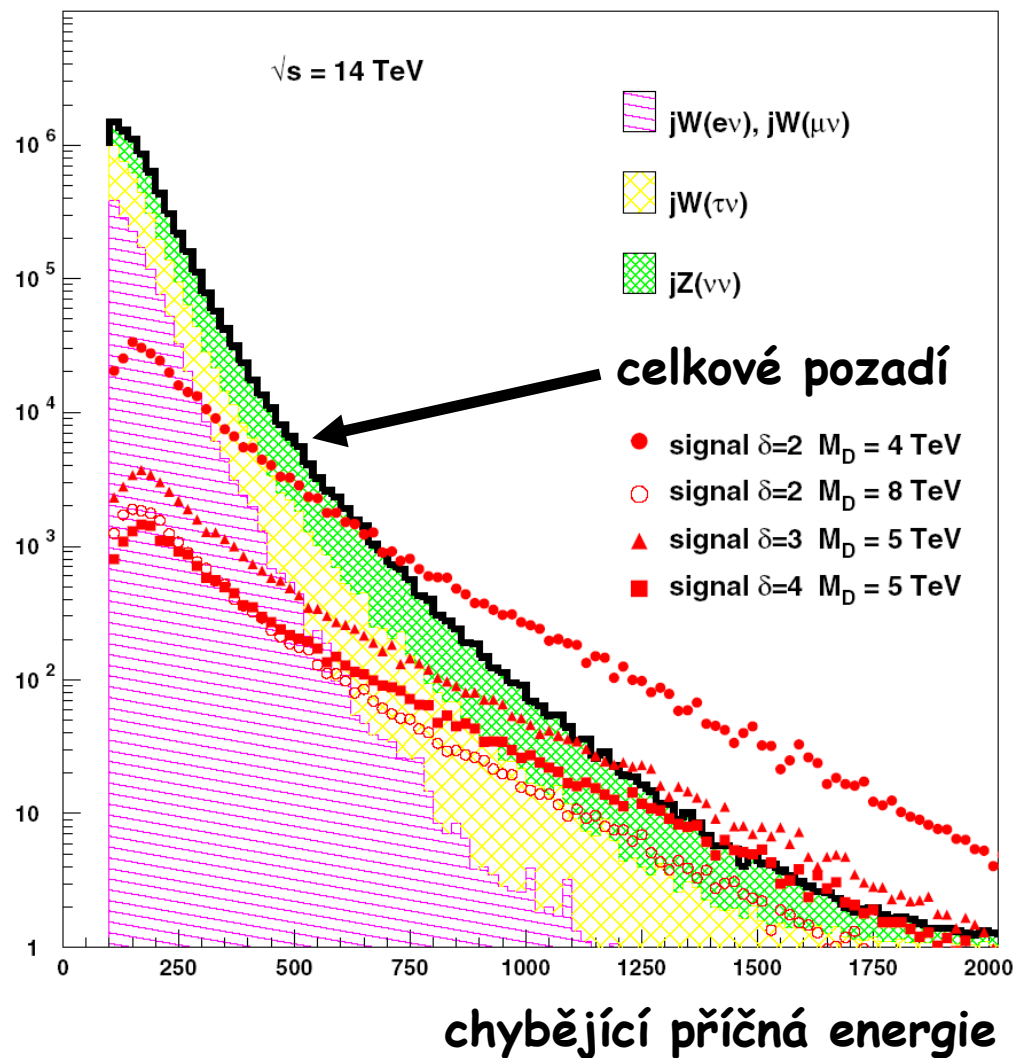
V „extra“ dimenzích prostoru se šíří **jen gravitační síly**, ostatní tam „nemohou“. Proto jsou gravitační síly ve $3+1$ rozměrech vůči ostatním slabé.

Podobně se budou hledat projevy extra dimenzí na LHC

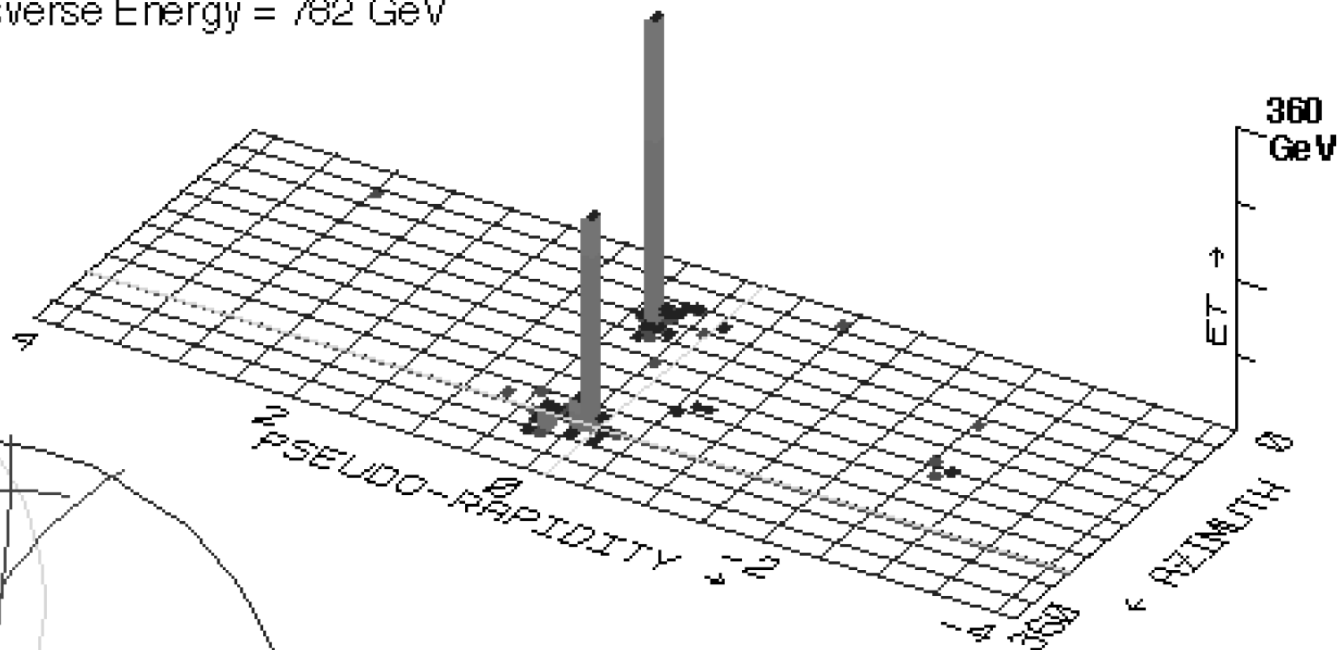
Projevy přímé **produkce gravitonu** v procesech



v nichž graviton odnese část hybnosti do extra dimenzí

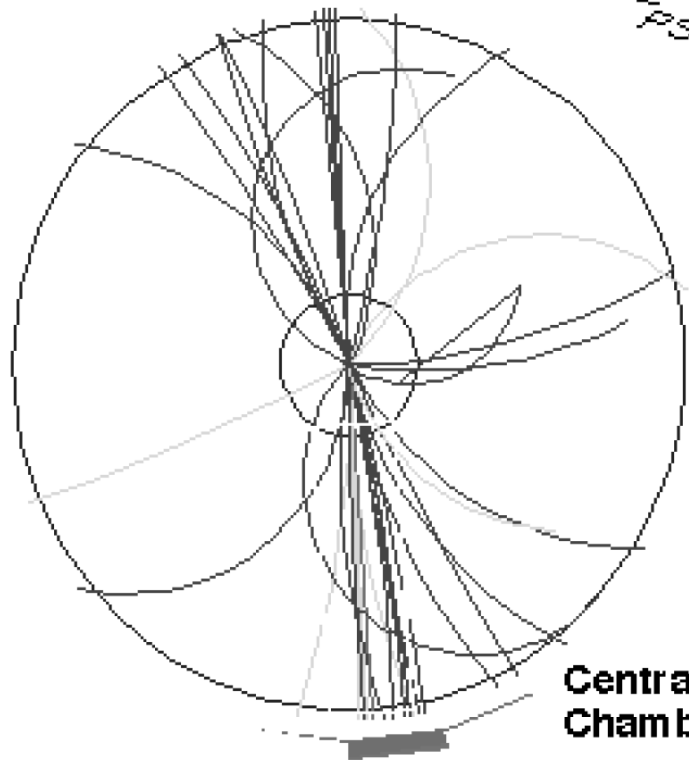


Sum of Transverse Energy = 782 GeV



Calorimeter lego plot
Two Jets, 424 GeV and 371 GeV

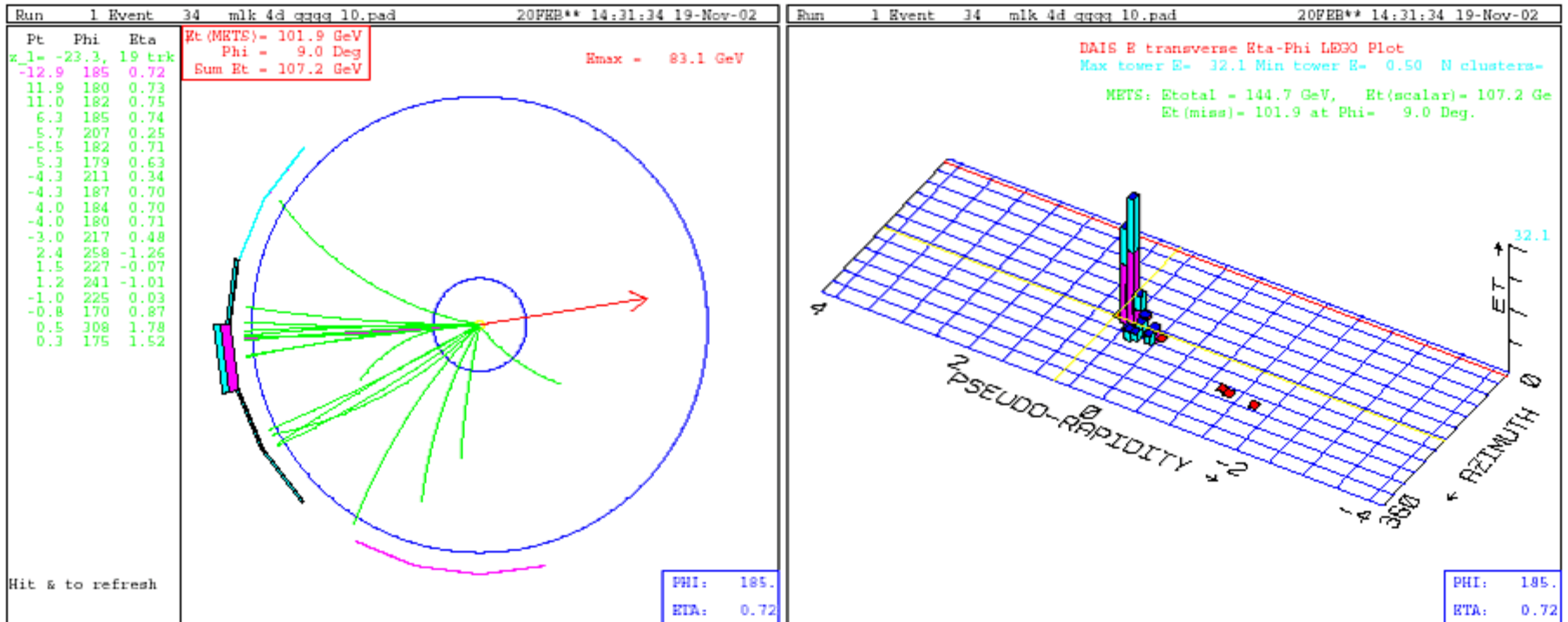
„Normální“ srážka v níž vzniknou dva jety **s opačnými hybnostmi.**



Central Tracking Chamber View

Jak lze pozorovat extra dimenze?

Např. při srážkách protonů s antiprotony na urychlovači Tevatron ve Fermilab tím, že pátráme po **neobvyklých jevech**, které se vymykají našemu chápání.



Objevy, které nebyly

Evidence for the Existence of Fractional Charge on Matter*

George S. LaRue, William M. Fairbank,[†] and Arthur F. Hebard[‡]
Department of Physics, Stanford University, Stanford, California 94305
(Received 8 April 1977)

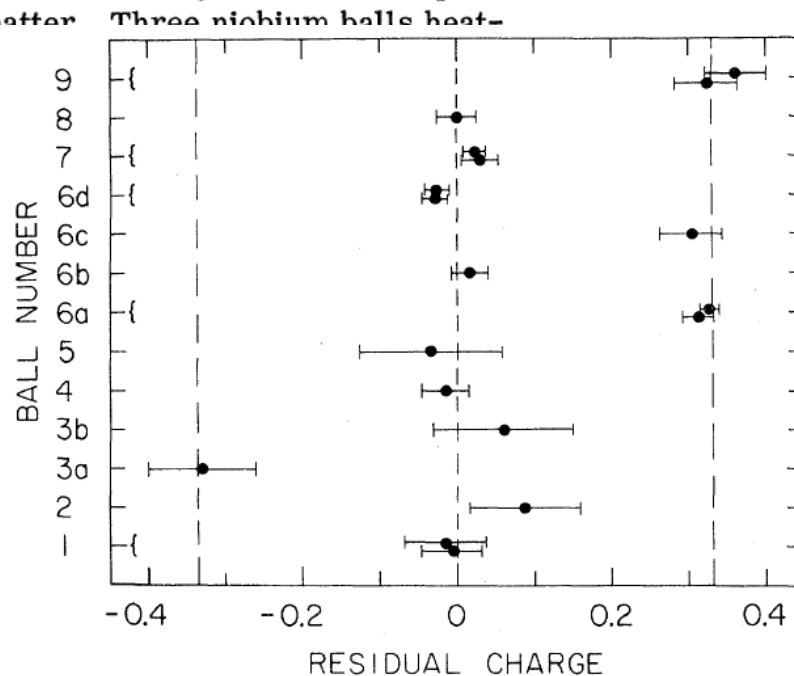
Accepted without review at the request of Walter E. Meyerhof under policy announced 26 April 1976

We present results of a superconducting magnetic levitation experiment which provide evidence for the existence of fractional charge on matter. Three niobium balls heat-treated on a tungsten substrate were found to have $(-0.001 \pm 0.025)e$, and $(-0.331 \pm 0.070)e$. All five substrate had residual charges near zero.

Further Evidence for Fractional

George S. LaRue, William M. Fairbank
Physics Department, Stanford University
(Received 29 September 1977)

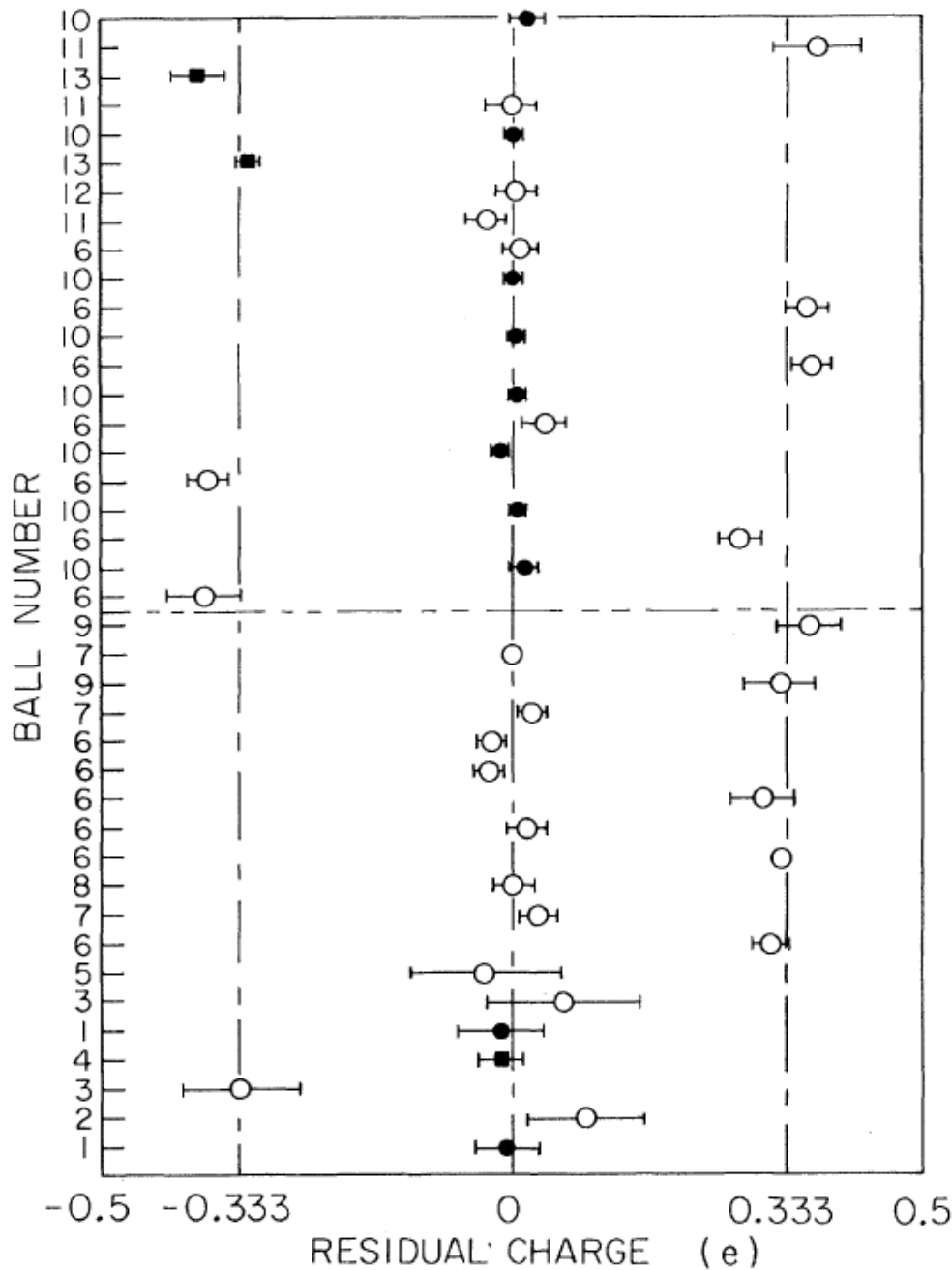
We report further evidence for fractional charge of a modified apparatus in which we can determine all of the measured fractional charges of $(0.304 \pm 0.040)e$ and $(0.345 \pm 0.040)e$.



of $(1/3)e$ on Matter

id William M. Fairbank
 ilifornia 94035
 1980)

ubiguously the existence of fractional
 particular spheres when they con-
 ew measurements, four charges of
 tensive measurements and critical
 are either negligible or have been



A co bylo dále?

Nic!

Příklad jasného signálu existence dvou mezonů

VOLUME 9, NUMBER 3

PHYSICAL REVIEW LETTERS

AUGUST 1, 1962

EVIDENCE FOR $\pi^+\pi^-$ RESONANCES AT 395- AND 520-MeV EFFECTIVE MASS*

N. P. Samios

Objevitel Ω^-

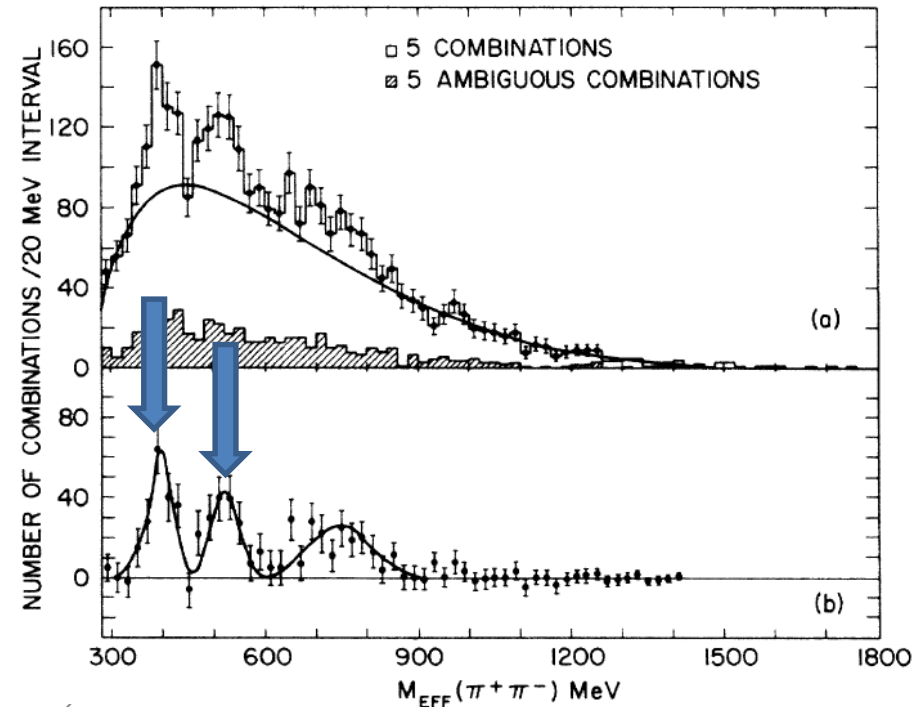
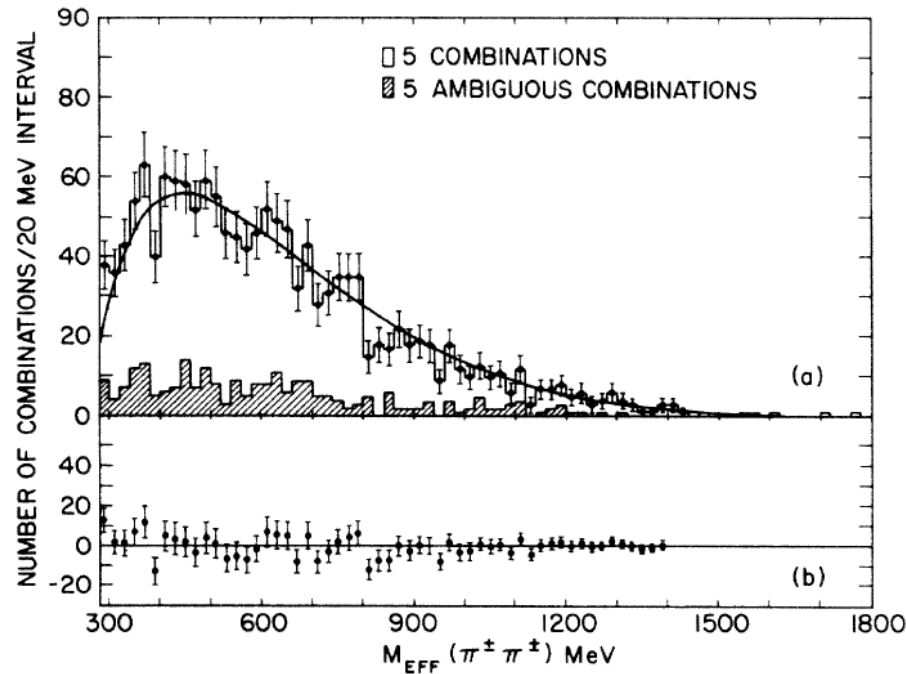
Brookhaven National Laboratory, Upton, New York

and

A. H. Bachman and R. M. Lea

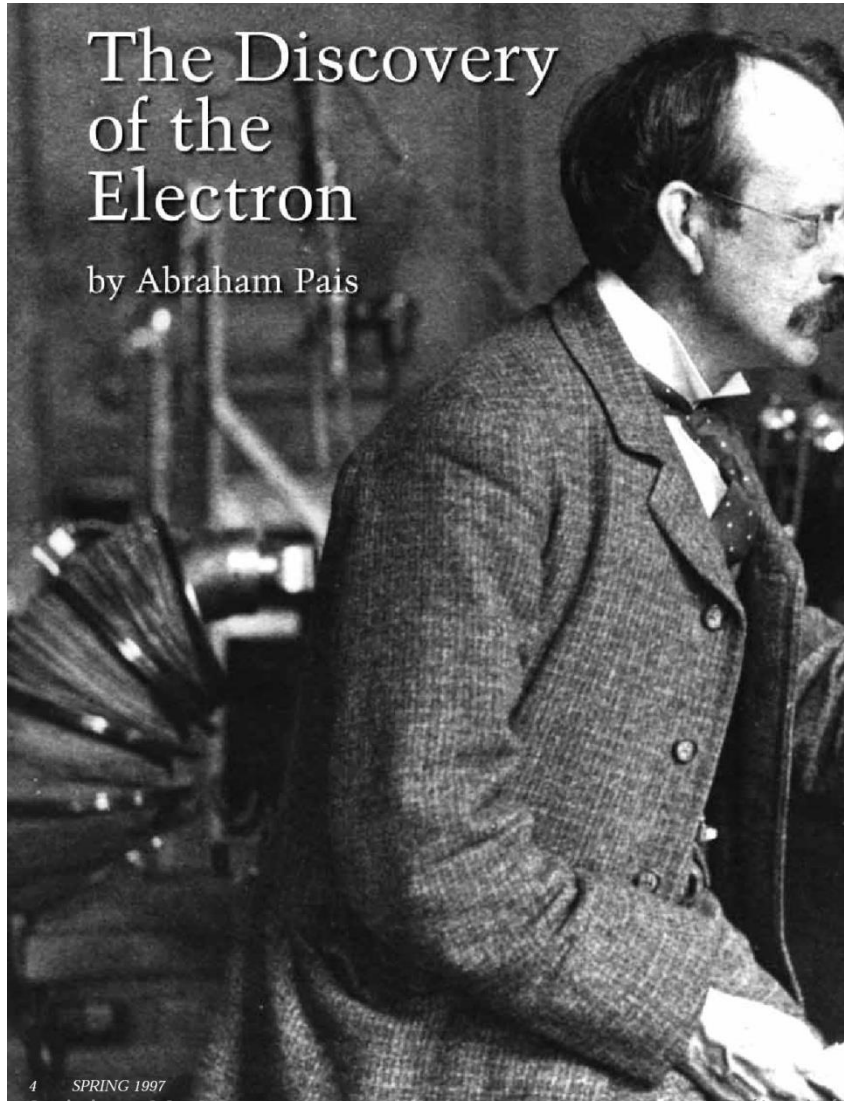
The City College of New York, New York, New York

and



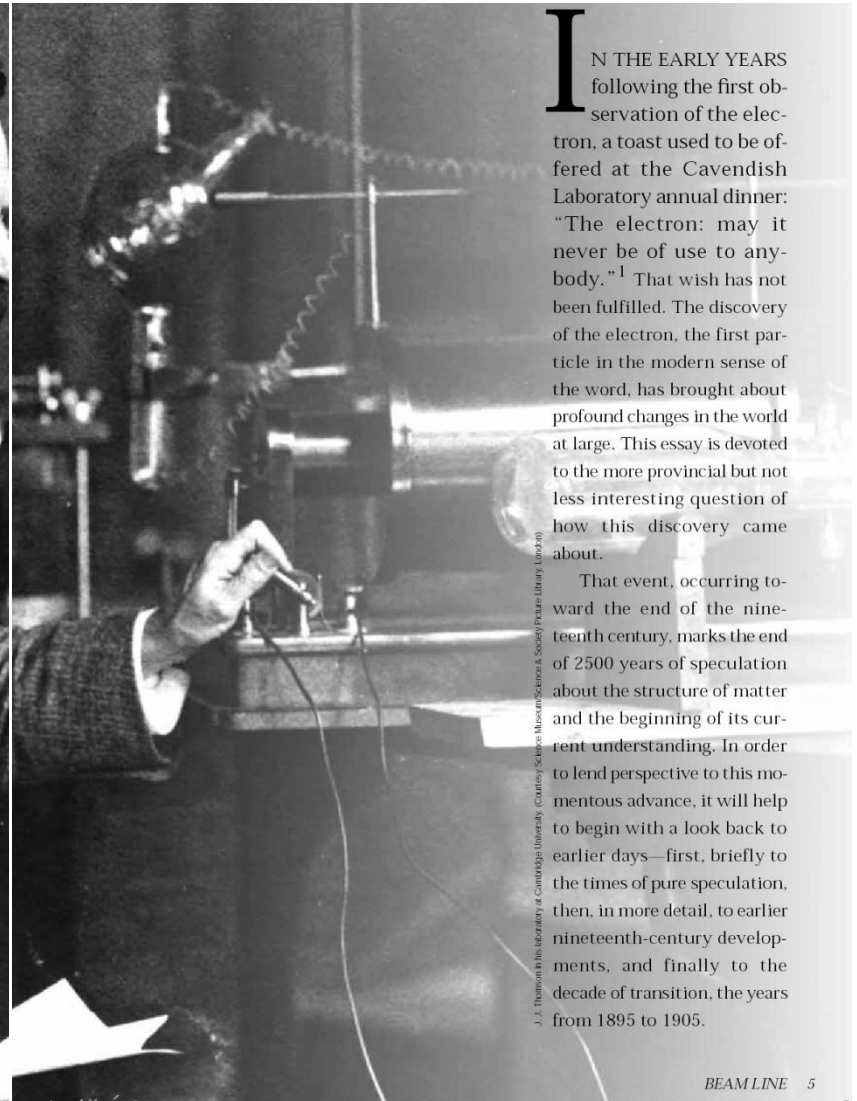
Objev elektronu

J.J. Thomson (a další) v letech 1897-1899



The Discovery
of the
Electron

by Abraham Pais



IN THE EARLY YEARS following the first observation of the electron, a toast used to be offered at the Cavendish Laboratory annual dinner: "The electron: may it never be of use to anybody."¹ That wish has not been fulfilled. The discovery of the electron, the first particle in the modern sense of the word, has brought about profound changes in the world at large. This essay is devoted to the more provincial but not less interesting question of how this discovery came about.

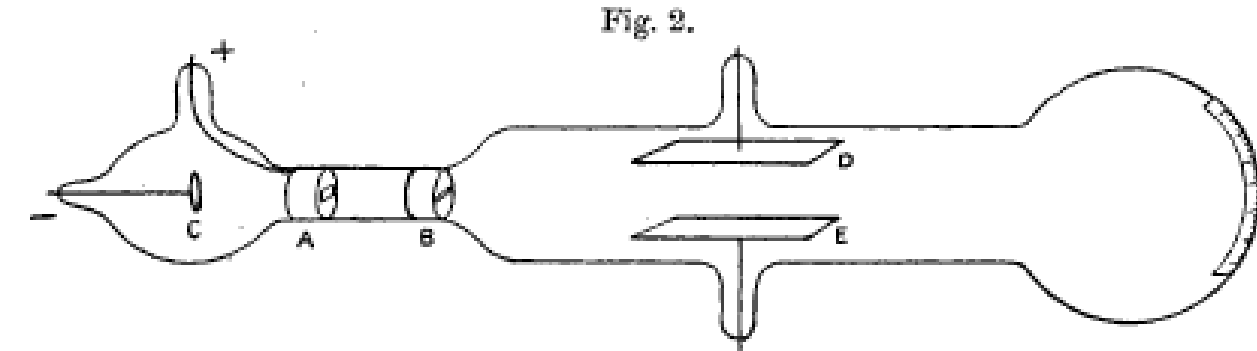
That event, occurring toward the end of the nineteenth century, marks the end of 2500 years of speculation about the structure of matter and the beginning of its current understanding. In order to lend perspective to this momentous advance, it will help to begin with a look back to earlier days—first, briefly to the times of pure speculation, then, in more detail, to earlier nineteenth-century developments, and finally to the decade of transition, the years from 1895 to 1905.

J.J. Thomson in his laboratory at Cambridge University. (Courtesy: Science Museum/Science & Society Picture Library, London)

Průkopnické Faradayovy výzkumy elektromagnetických jevů interpretoval v roce 1881 Herman von Helmholtz slovy

Jestliže přijmeme hypotézu, že elementární látky jsou složeny z atomů, nemůžeme se vyhnout závěru, že také elektrina, kladná i záporná, je rozdělena na elementární porce, které se chovají jako atomy elektriny.

Pro tyto „porce elektriny“ navrhl v roce 1874 irský fyzik Stoney název „elektron“.



The rays from the cathode C pass through a slit in the anode A, which is a metal plug fitting tightly into the tube and connected with the earth; after passing through a second slit in another earth-connected metal plug B, they travel between two parallel aluminium plates about 5 cm. long by 2 broad and at a distance of 1.5 cm. apart; they then fall on the end of the tube and produce a narrow well-defined phosphorescent patch. A scale pasted on the outside of the tube serves to measure the deflexion of this patch.

Thomson: z katody vyletují záporně nabitě částice 770 krát lehčí než atom vodíku vodíku

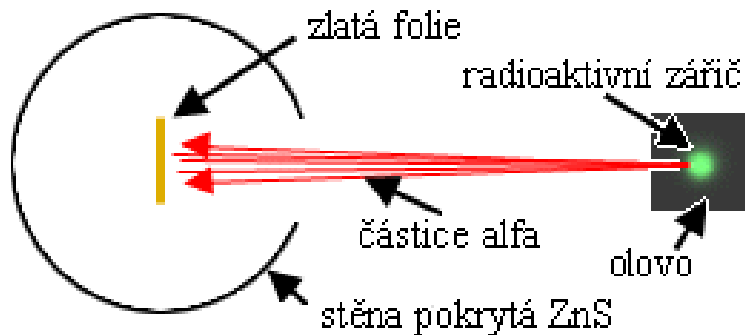


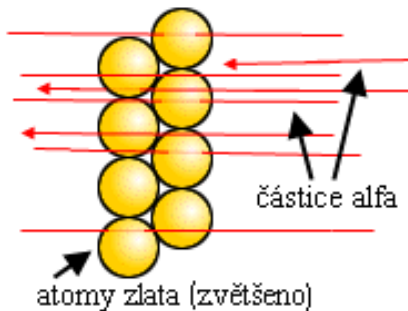
Schéma uspořádání Rutherfordova experimentu

Rutherfordovy experimenty ale ukázaly něco jiného

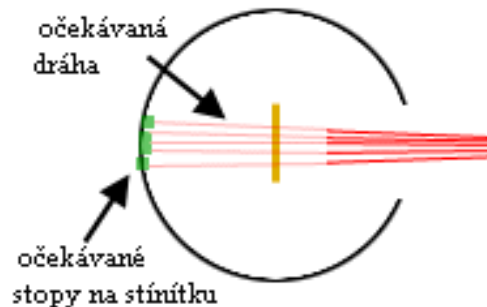
Thomsonův model atomu

vedl na toto předpokládané úhlové rozdělení

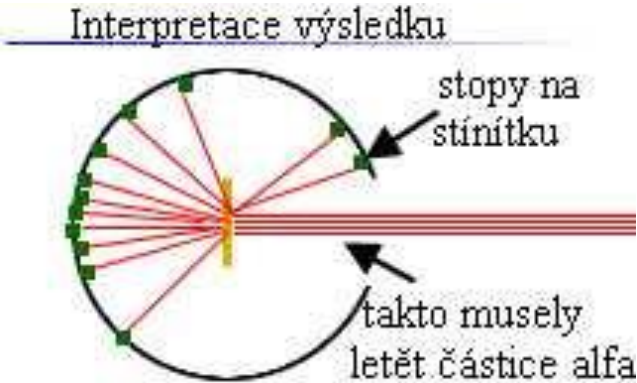
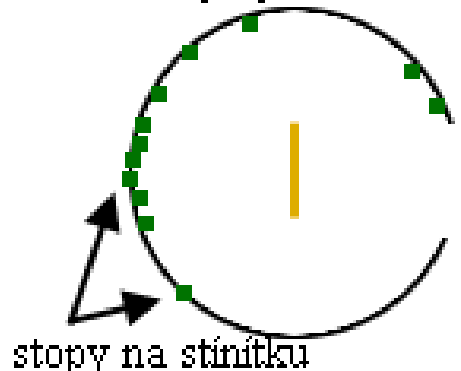
Detail průletu folií podle starého modelu atomu



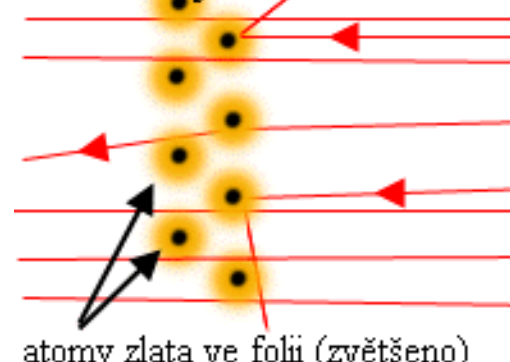
Předpokládaný výsledek



Skutečný výsledek



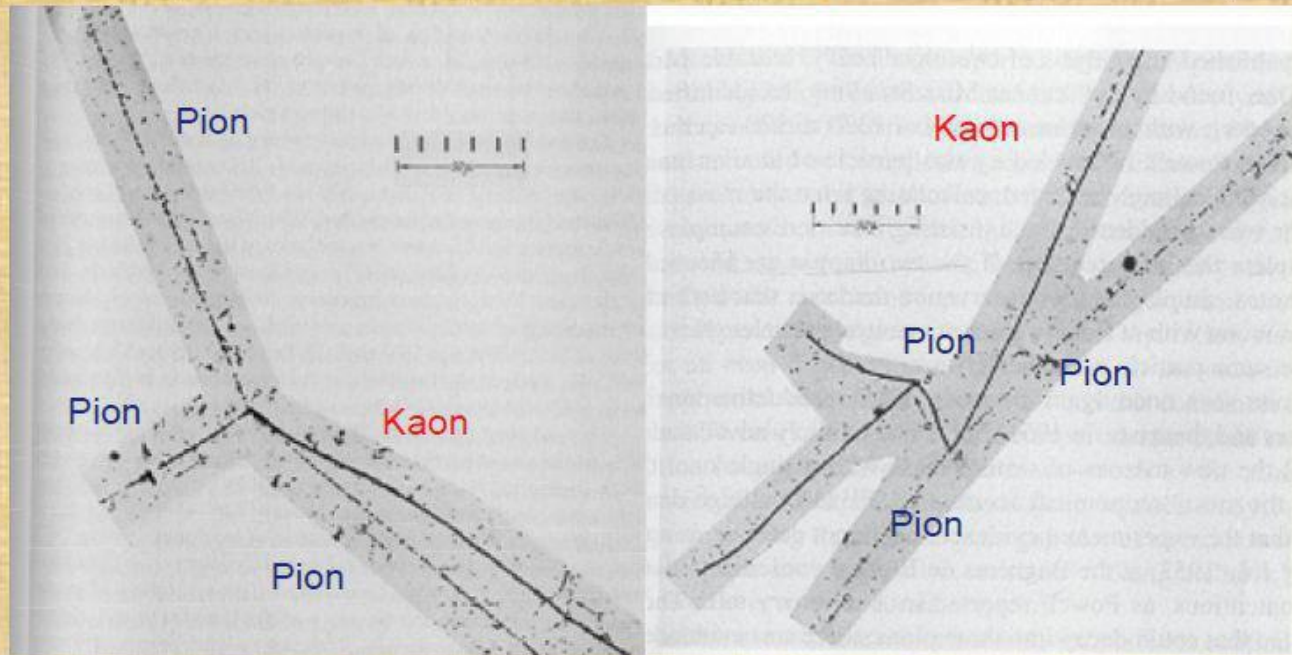
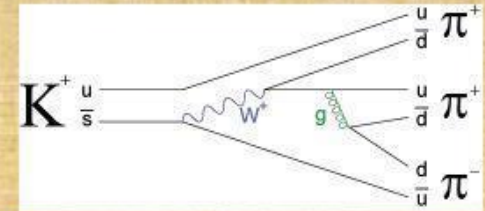
Teorie o těžkých kladných jádrech vysvětluje chování odražených částic alfa



Podivné částice v jaderných emulzích

The Discovery of Kaons

- ✦ First evidence of the decay of the Kaon into 3 Pions was found in 1949 in Nuclear emulsion (by G. Rochester at Manchester)



První část Pauliho dopisu

V Curychu dne 2. 12. 1930

Vážené radioaktivní dámy, vážení radioaktivní pánové,
věnujte prosím laskavou pozornost doručiteli tohoto dopisu. Poví vám, jak jsem s ohledem na „špatnou“ statistiku jader dusíku a lithia a na existenci spojitého spektra beta rozpadů přišel na zoufalou myšlenku, jak zachránit teorém o statistice i zákon zachování energie. Její podstatou je předpoklad, že v jádrech existuje elektricky neutrální částice se spinem $\frac{1}{2}$, která splňuje vylučovací princip a která se liší od fotonu také tím, že se nepohybuje rychlostí světla. Tato částice, kterou budu nazývat „neutron“, by měla mít hmotnost stejného řádu jako elektron a v žádném případě ne více než 0.01 hmotnosti protonu. Spojité spektrum beta rozpadů by pak bylo vysvětleno tím, že v těchto rozpadech je s elektronem vyzářen vždy i neutron a to tak, že součet energií neutronu a elektronu je konstantní.

Závěr dopisu

Připouštím, že moje vysvětlení se může zdát absurdní, neboť pokud neutrony existují, **měly být už dávno pozorovány. Ale jen ten, kdo si troufá, může vyhrát.** Obtížnou situaci se spojitým spektrem beta rozpadů ilustruje poznámka mého váženého předchůdce, pana Debye, jenž mi nedávno v Bruselu řekl: **„Je to jako s novými daněmi, je nejlepší na to nemyslet.“** Proto by měla být každé možné řešení posouzeno. A tak, moji milí radioaktivní přátelé, posuzujte a sud'te. Já bohužel do Tübingen nepřijedu, neboť **moje přítomnost je nepostradatelná zde v Curychu na plese v noci z 6. na 7. prosince.**

Váš oddaný služebník
W. Pauli.

Originál první části Pauliho dopisu

Original - Pauli's original of Dec. 1930

Abchrift/15.12.56 FN

Öffener Brief an die Gruppe der Radioaktiven bei der
Gesellschafts-Tagung zu Tübingen.

Abchrift

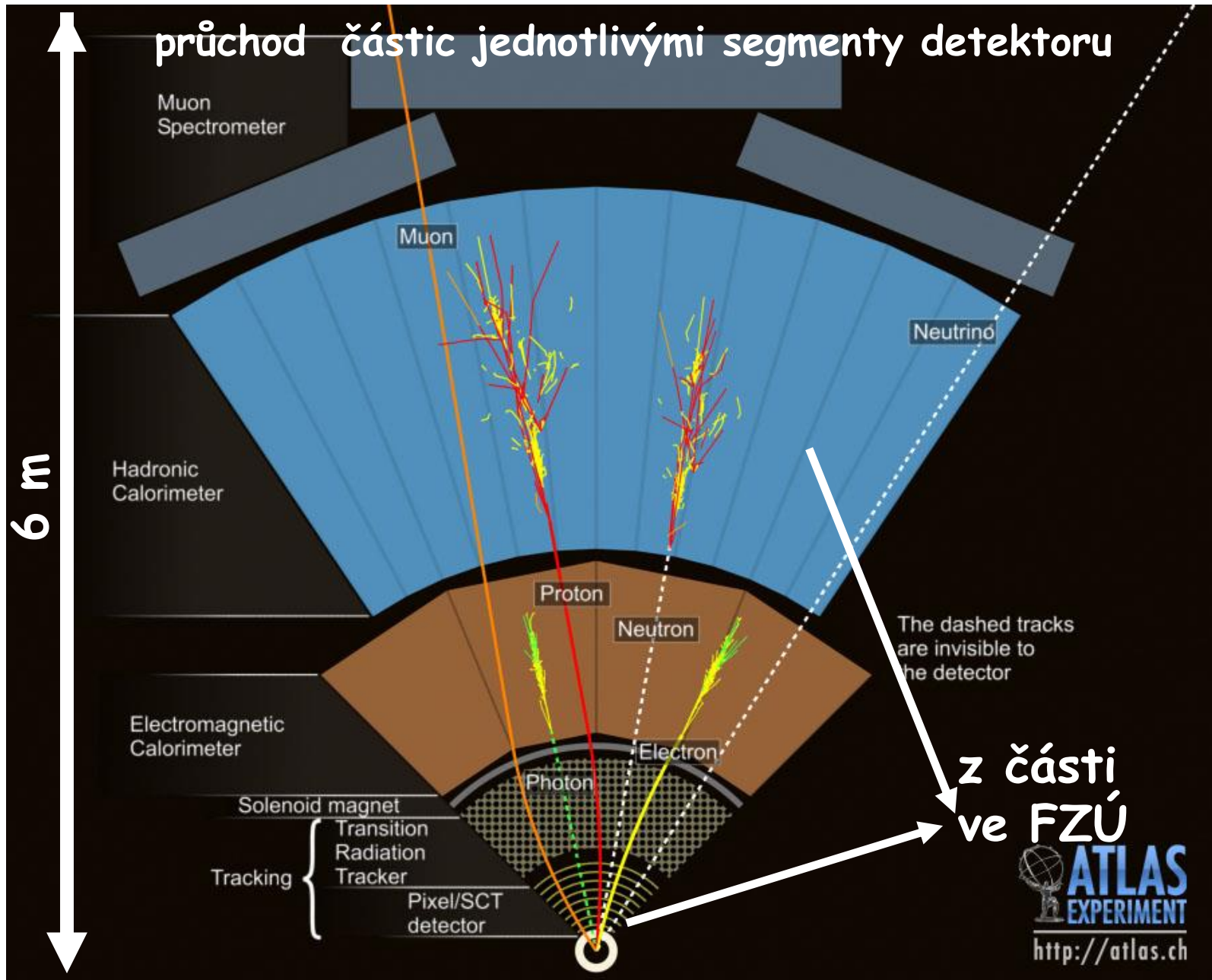
Physikalisches Institut
der Eidg. Technischen Hochschule
Zürich

Zürich, 4. Dez. 1930
Gloriastrasse

Liebe Radioaktive Damen und Herren,

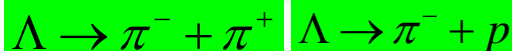
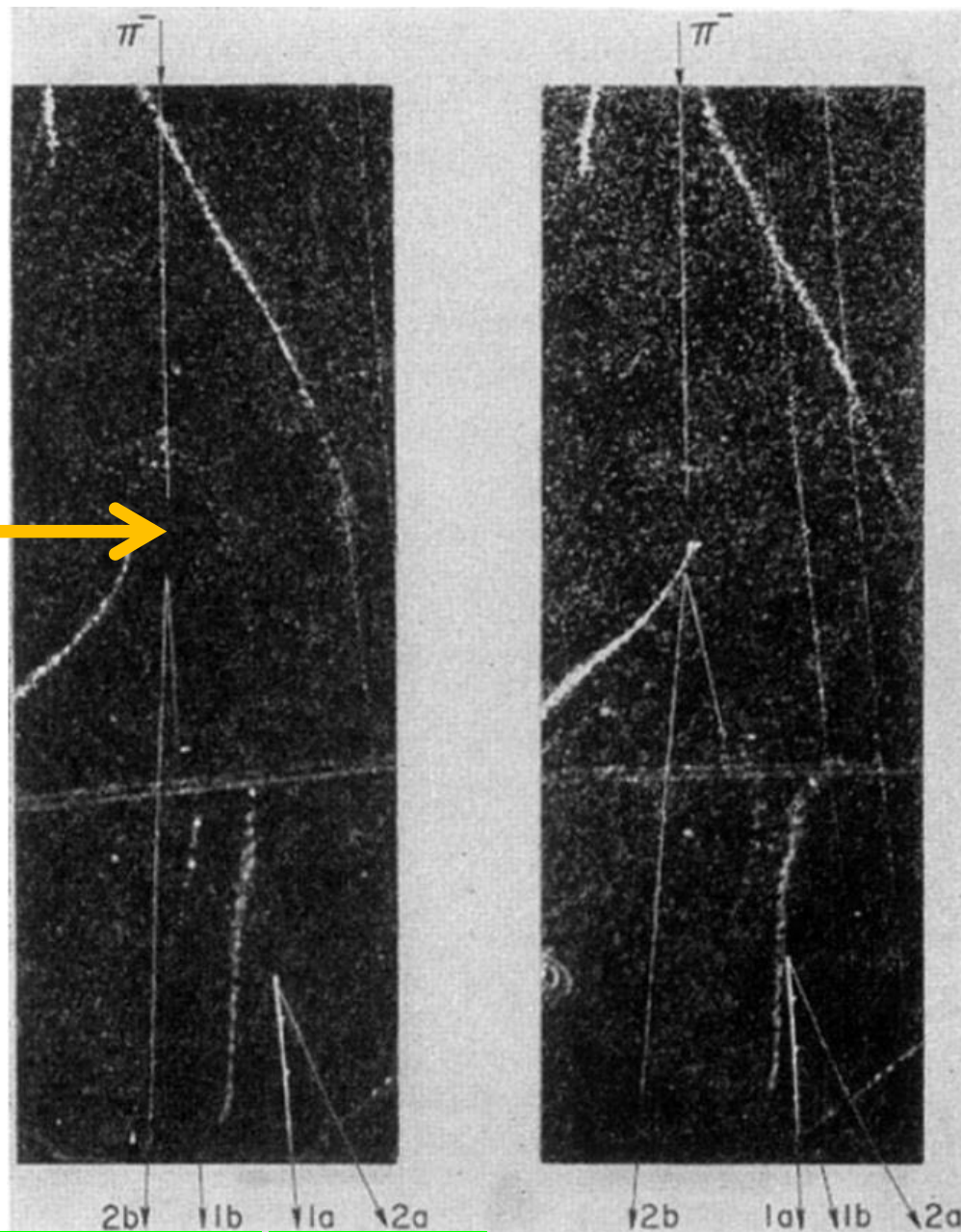
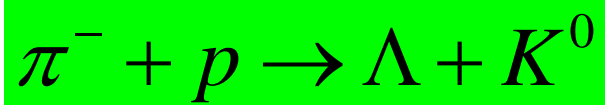
Wie der Ueberbringer dieser Zeilen, den ich halbvollst
anzuhören bitte, Ihnen das näheren auseinandersetzen wird, bin ich
angesichts der "falschen" Statistik der N- und Li-6 Kerne, sowie
des kontinuierlichen beta-Spektrums auf einen verzweifelten Ausweg
verfallen um den "Wechselatz" (1) der Statistik und den Energienatz
zu retten. Nämlich die Möglichkeit, es könnten elektrisch neutrale
Teilchen, die ich Neutronen nennen will, in den Kernen existieren,
welche dem Spin $1/2$ haben und das Ausschliessungsprinzip befolgen und
sich von Lichtquanten ausserdem noch dadurch unterscheiden, dass sie
nicht mit Lichtgeschwindigkeit laufen. Die Masse der Neutronen
müsste von derselben Grössenordnung wie die Elektronenmasse sein und
jedenfalls nicht grösser als 0,01 Protonenmasse.- Das kontinuierliche
beta-Spektrum wäre dann verständlich unter der Annahme, dass beim
beta-Zerfall mit dem Elektron jeweils noch ein Neutron emittiert
wird, derart, dass die Summe der Energien von Neutron und Elektron
konstant ist.

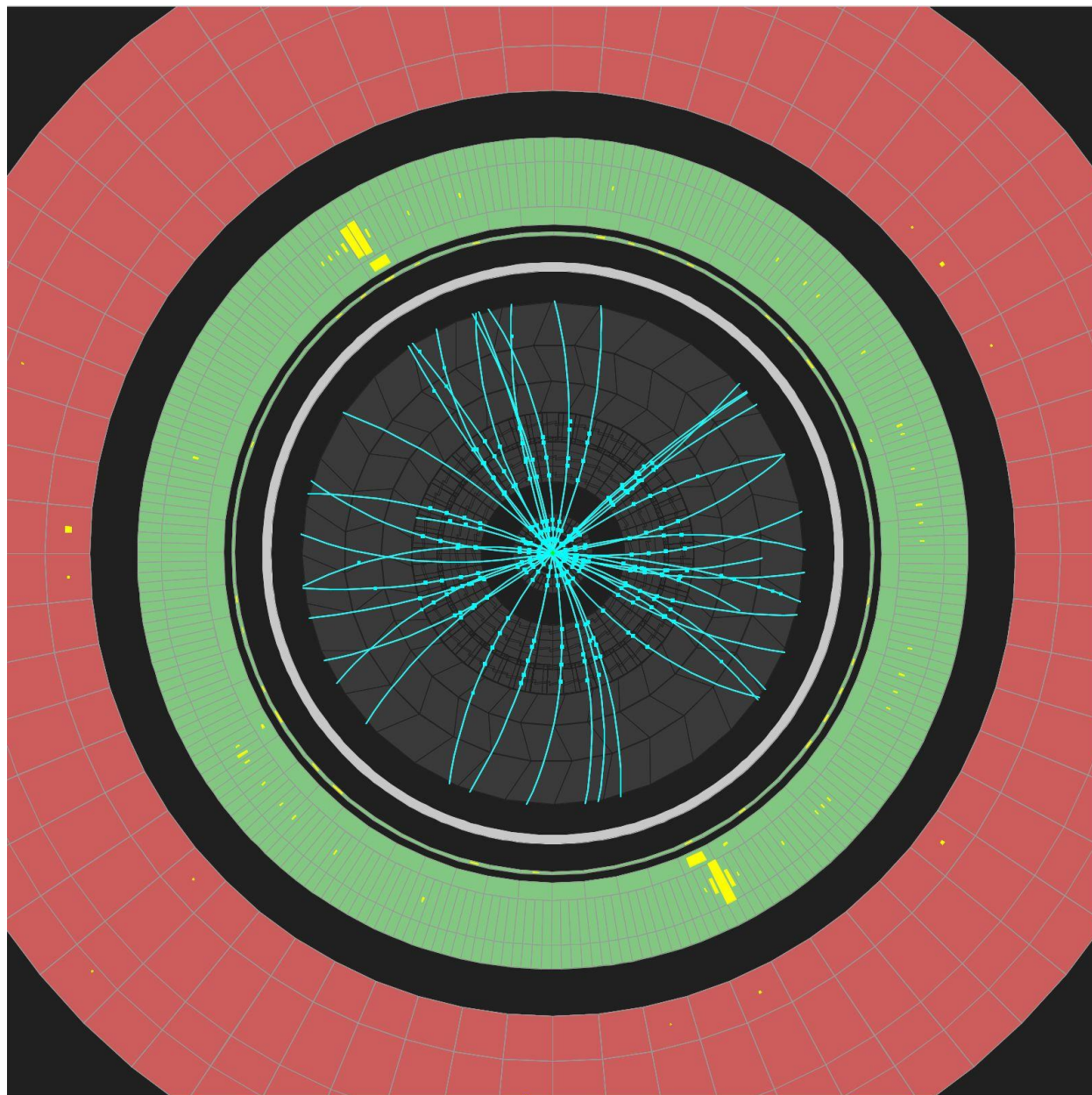
průchod částic jednotlivými segmenty detektoru





Asociovaná produkce podivných částic

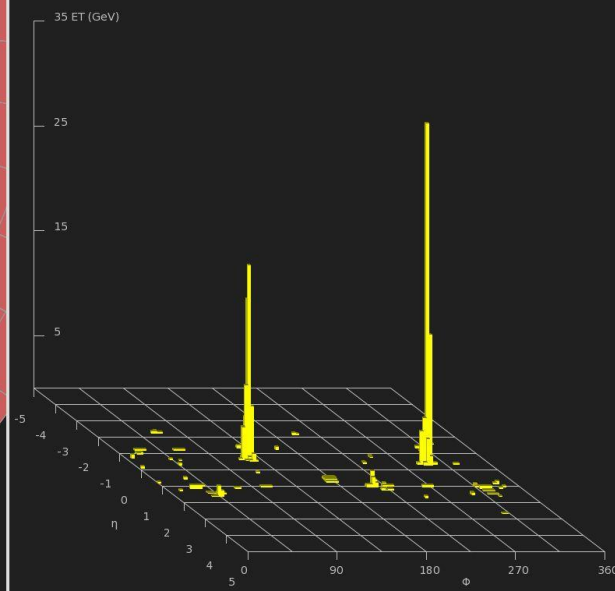




ATLAS EXPERIMENT

Run Number: 191426, Event Number: 86694500

Date: 2011-10-22 15:30:29 UTC



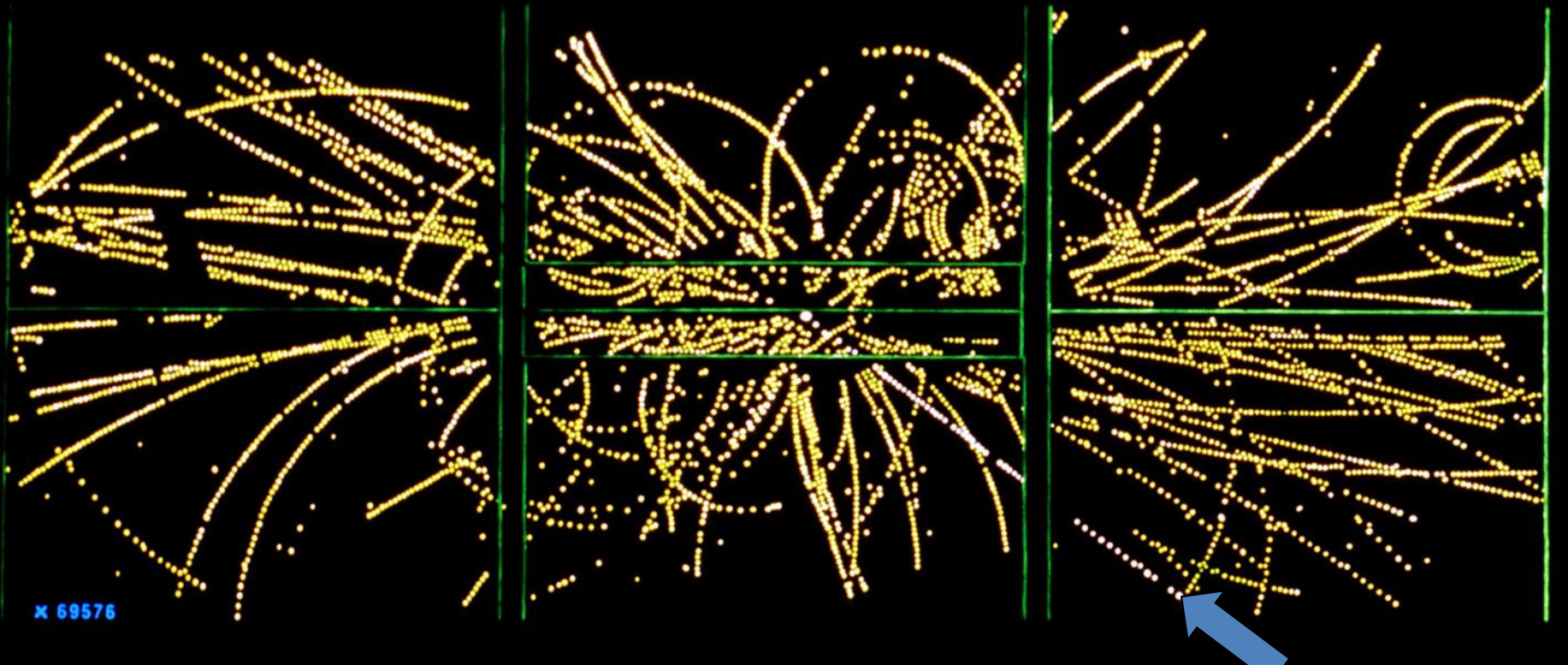
6. dubna 2018

Výjezdníseminář ÚCJF

93

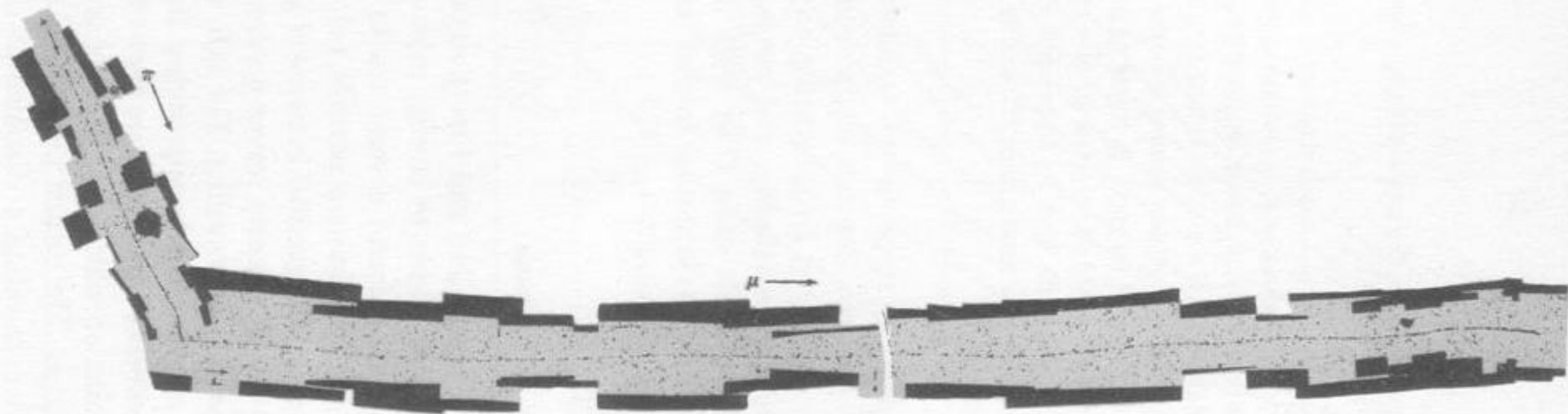
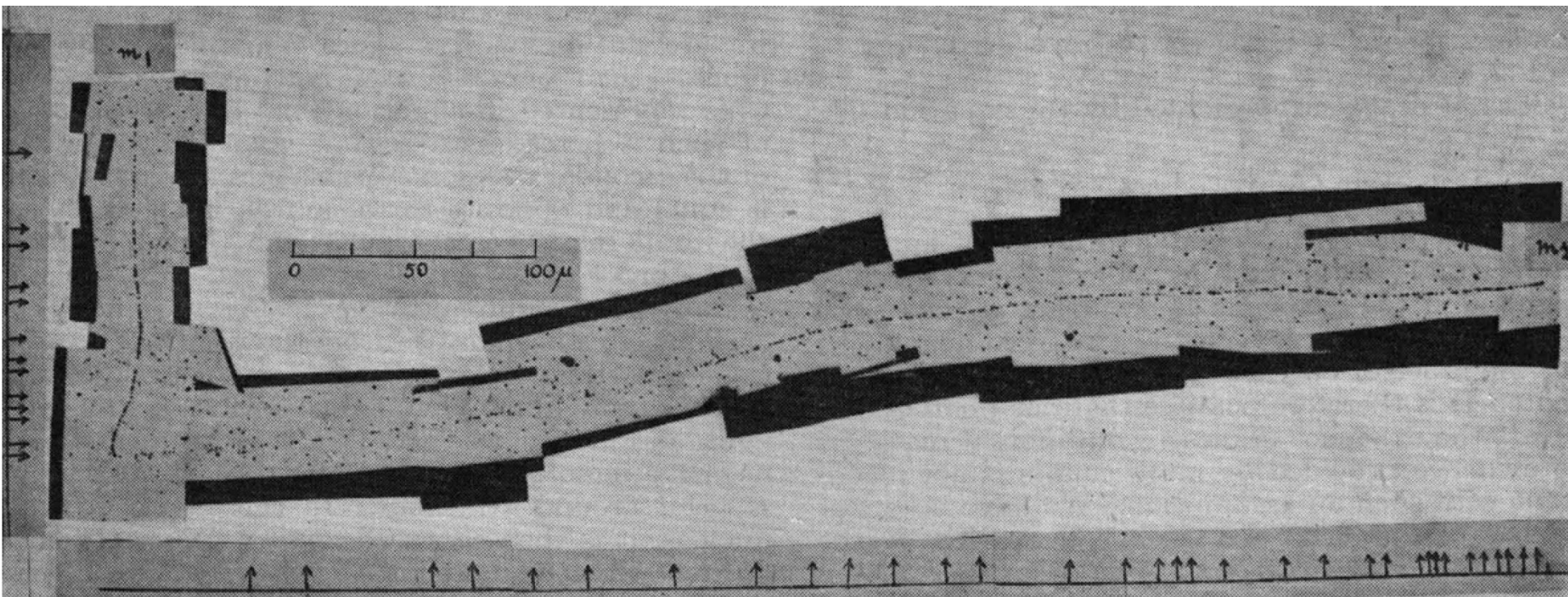


Objev nabitého bosonu W



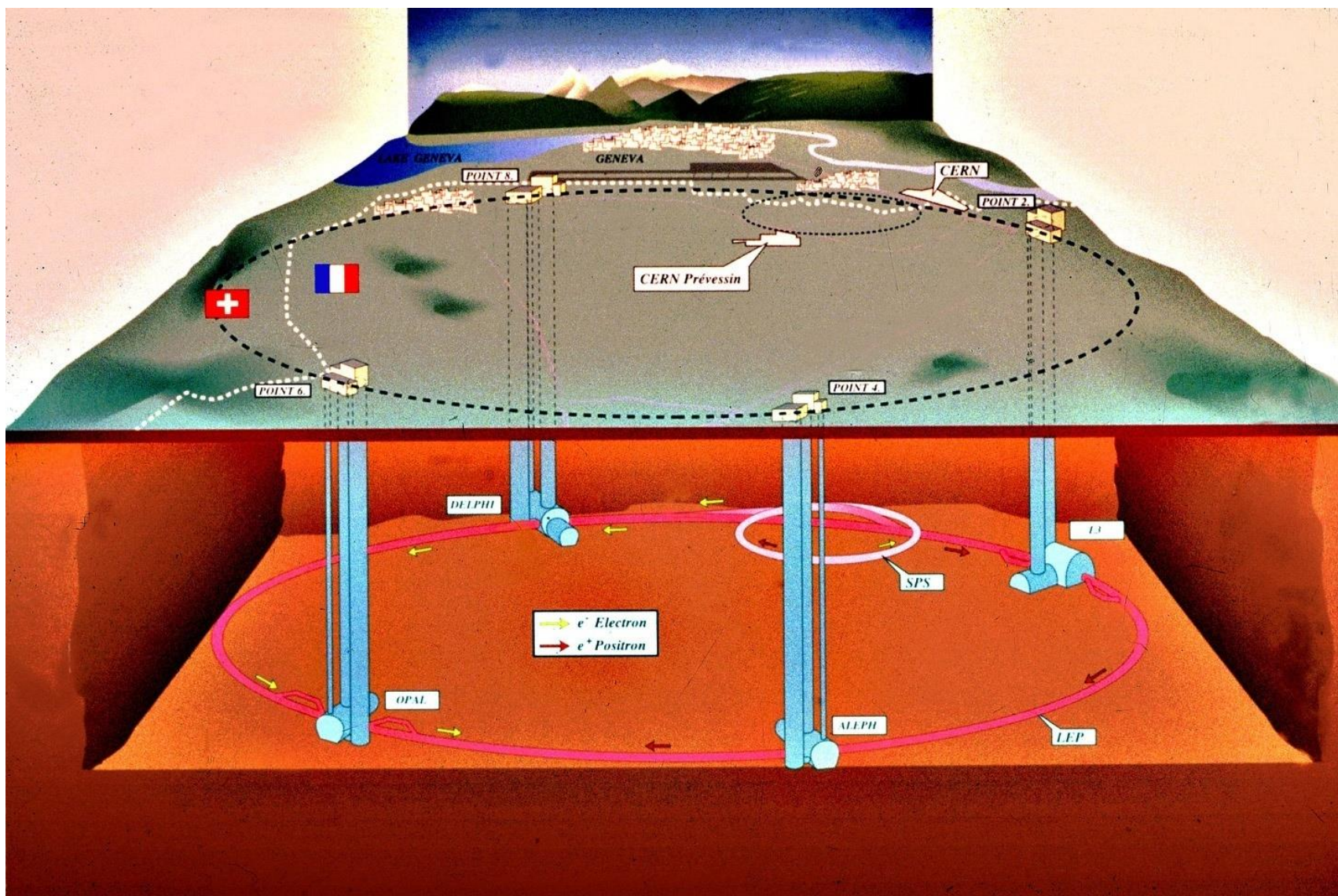
jedna jehla v kupce sena: vysokoenergetický pozitron

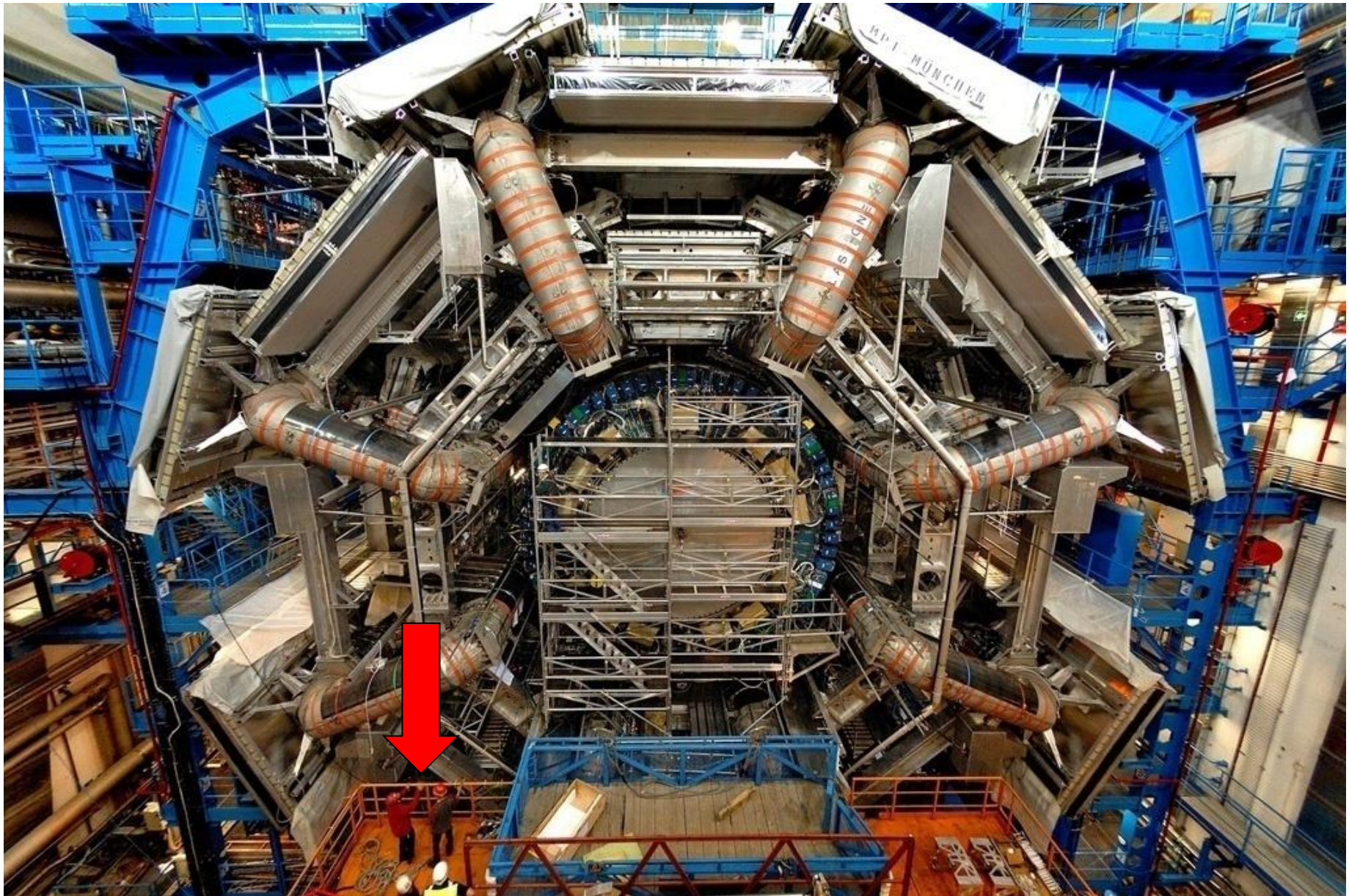
z rozpadu $W^+ \rightarrow e^+ + \nu_e$



Photomicrograph showing a π meson (π) coming to rest in a nuclear emulsion and a μ meson (μ) arising from the end of the π -meson track. (From C. M. G. Lattes, H. Muirhead, G. Occhialini, and C. F. Powell, *Nature*, vol. 160, p. 453, 1947.)

Tunel LHC je 27 km dlouhý a cca 100 metrů pod zemí



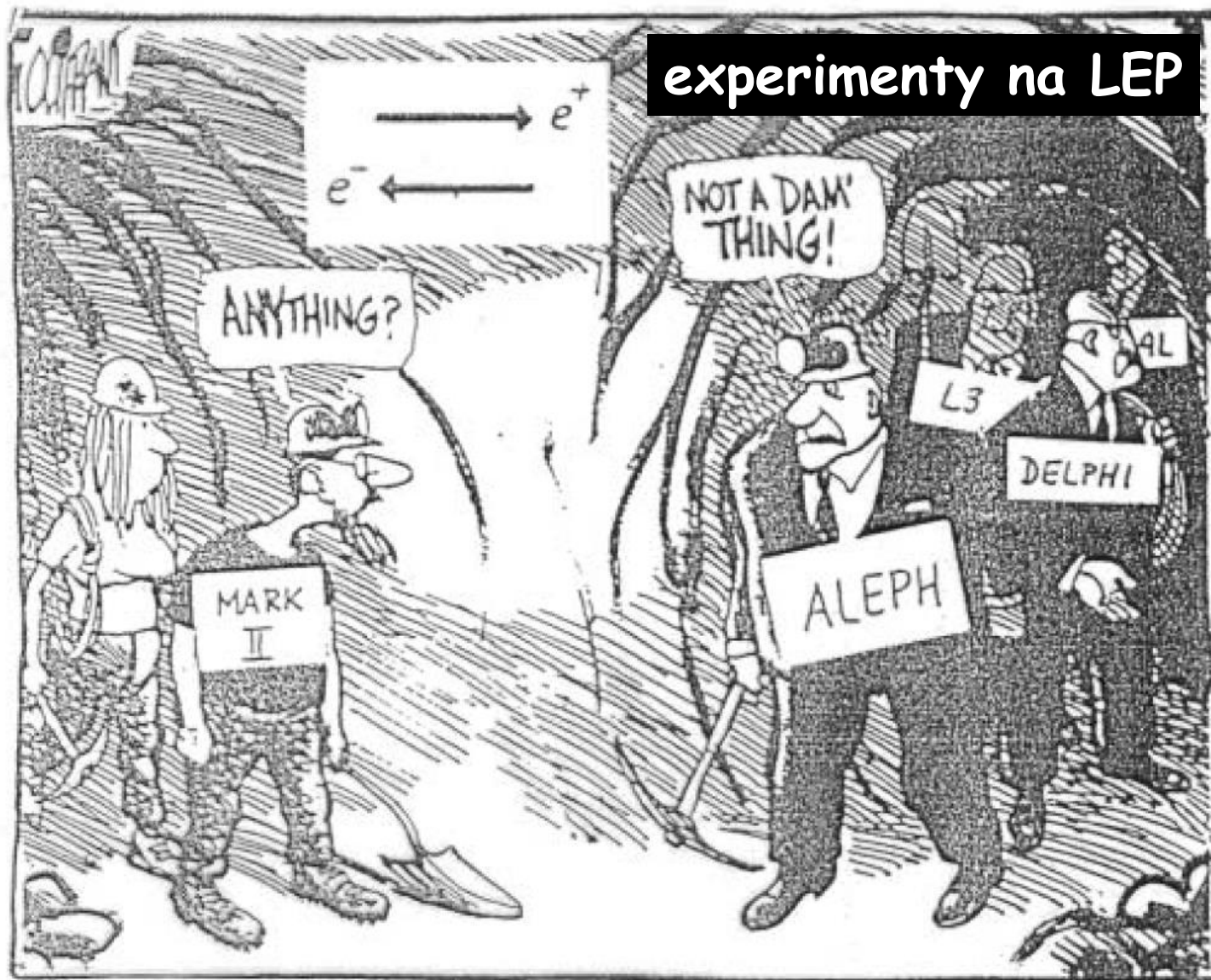


6. dubna 2018

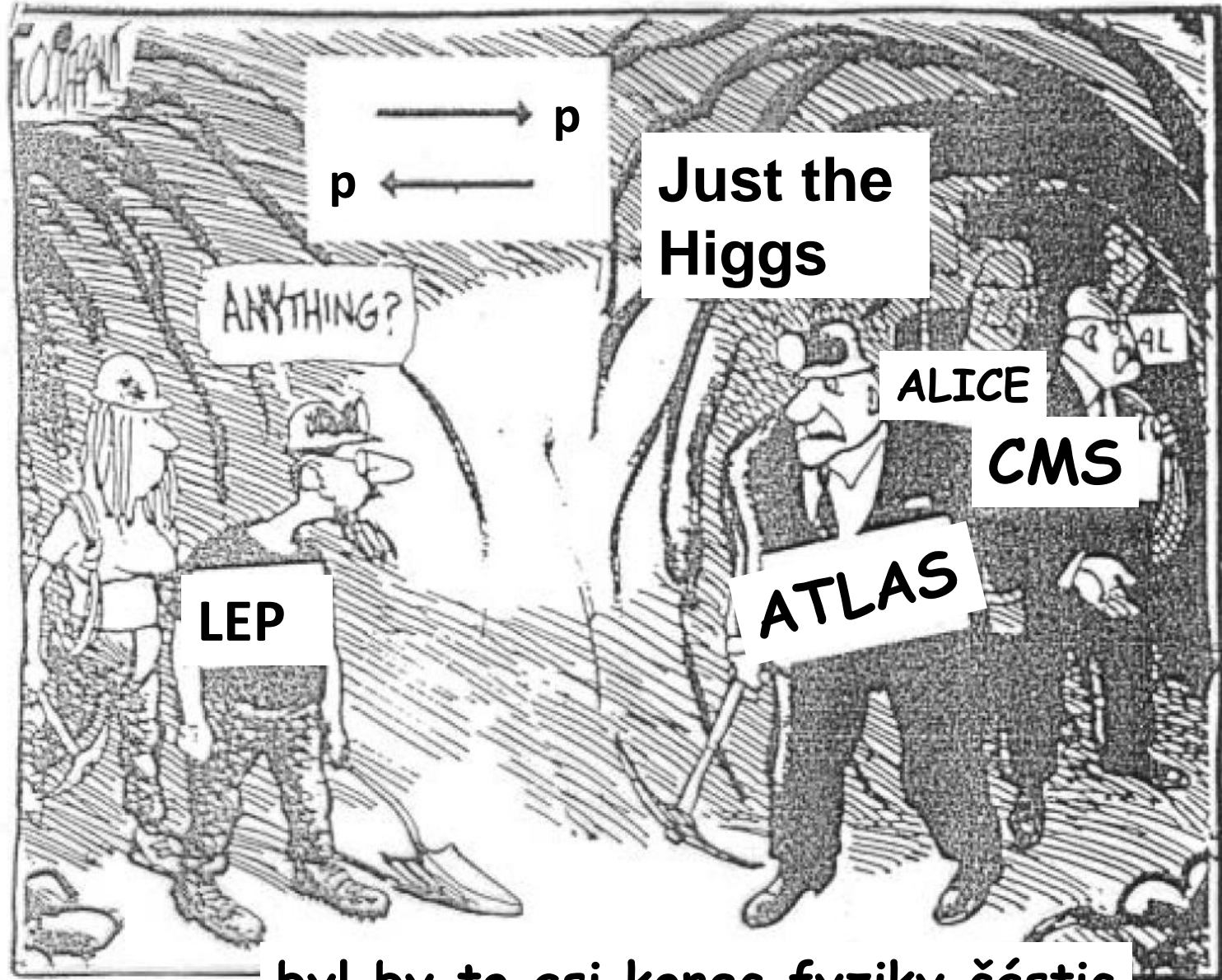
Výjezdníseminář ÚCJF

98

(“taken by Dydak from a Singapore newspaper and slightly adapted”)



Kdyby se tohle opakovalo na LHC



byl by to asi konec fyziky částic

Detekční aparatura ATLAS



Charakteristiky detektoru	
Délka:	44m
Průměr:	22m
Hmotnost:	7000t

CERN AC - ATLAS V1997

