

Proč Higgsův boson nemusel existovat a proč jsme rádi, že existuje

Jiří Chýla

Fyzikální ústav AV ČR

- ✚ Povaha zákonů mikrosvěta
- ✚ Co víme o mikrosvětě
- ✚ Jakou roli v něm hraje Higgsův boson
- ✚ Jak se Higgsův boson hledá
- ✚ Jak byl Higgsův boson objeven
- ✚ Mysterium Cosmographicum
- ✚ Higgsův boson a hmotnosti částic
- ✚ Hmotnost bez hmotnosti: Einsteinův první zákon

http://www-hep2.fzu.cz/~chyla/physics/Higgs/texty/seminar_VM.ppt

Interaktivní výstava 60 let CERN v Praze

Interaktivní výstava 60 let CERN Vám nabízí možnost nahlédnout do světa elementárních částic a historie i současnost Evropské organizace pro jaderný výzkum - CERN. V unikátním multimediálním prostoru budete moci na vlastní kůži prožít srážky protonů, v mlžné komoře si v reálném čase prohlédnete kosmické záření a další exponáty. Vám ukáží některé z unikátních zařízení vyvinutých pro urychlovače. Dozvíte se také, jak se na objevech podíleli čeští vědci a technici nebo jak se můžete zapojit i Vy. **Přijďte do budovy Akademie věd, Národní 3, Praha 1 od úterý 2. 9. do čtvrtka 25. 9. 2014 mezi 9:00 a 18:00 hodin.** Vstup je zdarma.

Školám a organizovaným skupinám nabízíme po předchozí rezervaci odborný výklad, rezervace provádějte na adrese krzyzankova@ssc.cas.cz.



Výbor pro spolupráci ČR s CERN
spolu s Akademií věd České republiky,
Českým vysokým učením technickým v Praze
a Univerzitou Karlovou v Praze
pořádají seminář
k 60. výročí založení mezinárodní laboratoře pro částicovou fyziku.

CERN, 60 let

Karolinum, pondělí 8. září 2014

Dopolední program (*Modrá posluchárna, Celetná 20, Praha 1, 2. patro*)

je určen pro studenty, učitele a další zainteresované osoby. Přinese základní orientaci v otázce, čím se zabývá fyzika elementárních částic, jaké nástroje používá, k jakému obrazu mikrosvěta dospěla, jaké jsou její další perspektivy a jakou roli v tom všem hraje CERN.

Kapacita Modré posluchárny je 220 míst. Zájemce prosíme o rezervaci míst na adrese jiri.dolejsi@mff.cuni.cz, uveďte, prosím, předmět „CERN 60“.

9.00 - 9.45

Jak částicová fyzika získává poznatky

RNDr. Vladimír Wagner, CSc., ÚJF AV ČR

Přestávka

10.00 - 10.45

Standardní model elementárních částic a jejich interakcí

RNDr. Jiří Rameš, CSc., FZÚ AV ČR

Přestávka

11.00 – 12:00

Česká republika v CERN, částice pro skoro každého

RNDr. Jiří Dolejší, CSc., MFF UK + další přednášející

Odpolední program *(Modrá posluchárna, Celetná 20, Praha 1, 2. patro)*

je určen pro širší odbornou veřejnost, studenty a další zainteresované osoby. Přinese základní informace o strategii částicové fyziky, roli a budoucnosti CERN a významu CERN při výchově studentů, přenosu technologií a spolupráci s průmyslem.

Vstup je volný až do vyčerpání kapacity sálu (asi 220 míst).

14:00 – 14:30	Evropská strategie fyziky částic a budoucnost CERN Prof. Jiří Chýla, CSc., FZÚ AV ČR
14:30 – 15:00	Spolupráce ČVUT s CERN - nové perspektivy ve výzkumu, technologické podpoře, technologickém transferu a vzdělávání studentů Doc. RNDr. Vojtěch Petráček, CSc., ČVUT
15:00 – 15:30	Účast českých vědeckých a průmyslových institucí na instrumentaci experimentu ATLAS a praktické aplikace vyvíjených technologií Václav Vrba, CSc., FZÚ AV ČR
15:30 – 16:00	Progresivní detekční technologie ve fyzice mikrosvěta a makrosvěta Ing. Stanislav Pospíšil, DrSc., ÚTEF ČVUT



Výbor pro spolupráci ČR s CERN
spolu s Akademií věd České republiky,
Českým vysokým učením technickým v Praze
a Univerzitou Karlovou v Praze
zvou na přednášku

Rolf-Dieter Heuer

generální ředitel CERN

CERN

60 Years of Science for Peace

8. září 2014 od 17 hodin

Právnická fakulta UK, nám. Curieových 7, Praha 1,
místnost č. 100 - Collegium Maximum.

20. 8. 2014

Peter Higgs v Praze

Na pozvání organizátorů konference



The conference sessions were adjusted with respect to the raised interest in the 11th ECNDT Conference and number of contributions we received to different topics.

The European Research Day will include the presentation of **the Nobel Prize holder, prof. P. Higgs.**

Povaha zákonů mikrosvěta

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 hrají rozhodující roli ve velkém třesku**.

Jak popisujeme částice v mikrosvětě

Mikrosvět se řídí zákony kvantové teorie.

Ty se liší od zákonů klasické fyziky v řadě důležitých aspektů:

- částice **nejsou popsány polohou a rychlostí**, ale **vlnovými funkcemi**, které nesou informaci, s jakou pravděpodobností při jejich interakci s klasickým měřicím přístrojem bude naměřena konkrétní hodnota určité veličiny.
- Částice se proto **nepohybují po drahách záviselých na čase**.
- Výroky o výsledcích měření i teoretické předpovědi mají **pravděpodobnostní charakter** typu

pravděpodobnost, že při srážce částice A s částicí B vzniknou částice C a D (a případně další) které detektory zaregistrují pod úhly α_A , resp. α_B je **$P(A,B,C,D, \alpha_A, \alpha_B)$** .

Co víme o mikrosvětě

Základní jednotky:

1 fm = 10^{-15} m = poloměr protonu

1 GeV = $1.8 \cdot 10^{-27}$ kg = klidová hmotnost protonu

;

hmotnosti v jednotkách odpovídající energie podle **$E=mc^2$**

Základní dnešní znalosti zákonů mikrosvěta jsou shrnuty v
nesmírně úspěšném **standardním modelu**

Podle něj jsou základními stavebními kameny hmoty

tři generace základních fermionů

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

kvarky a leptony

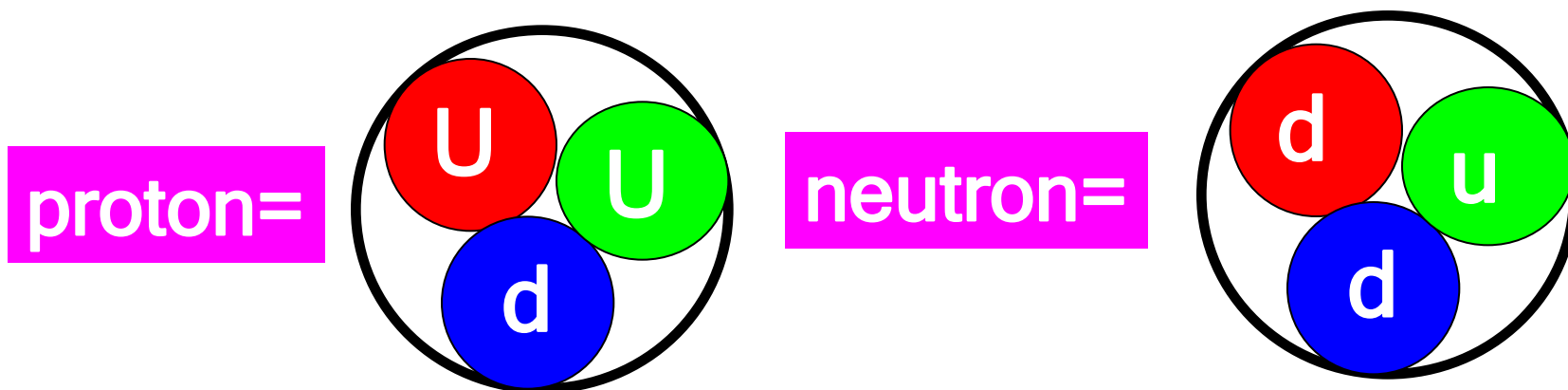
$Q = \frac{2}{3}$	u u u (0.3 MeV)	c c c (1.5 GeV)	t t t (175 GeV)
$Q = -\frac{1}{3}$	d d d (0.3 MeV)	s s s (0.5 GeV)	b b b (4.5 GeV)
$Q = 0$	ν_e (3 eV)	ν_μ (0.2 MeV)	ν_τ (0.2 GeV)
$Q = -1$	e^- (0.5 MeV)	μ^- (0.1 GeV)	τ^- (1.8 GeV)

elektrický náboj v jednotkách náboje elektronu

hmotnost

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.

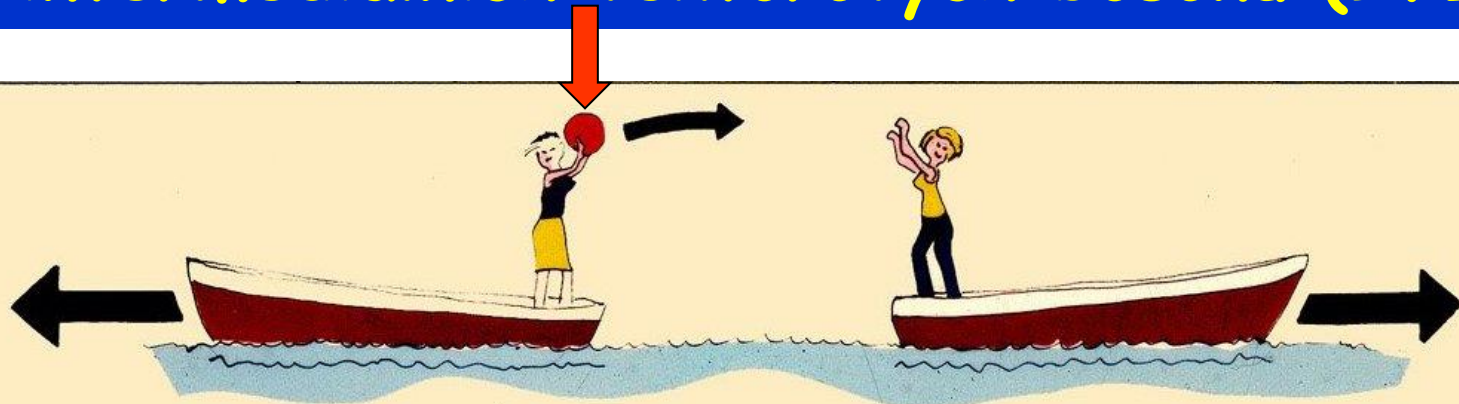
Patří do jedné třídy tzv.

kalibračních 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**“, odborně

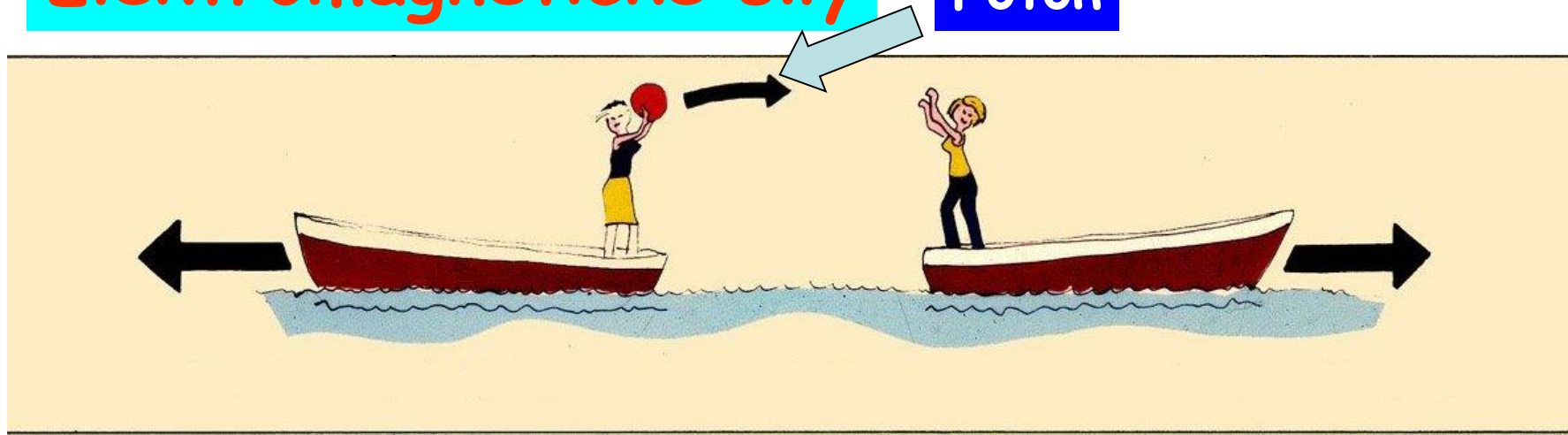
intermediálních vektorových bosonů (IVB)



Dosah sil je nepřímo úměrný hmotnosti příslušného IVB

Elektromagnetické síly

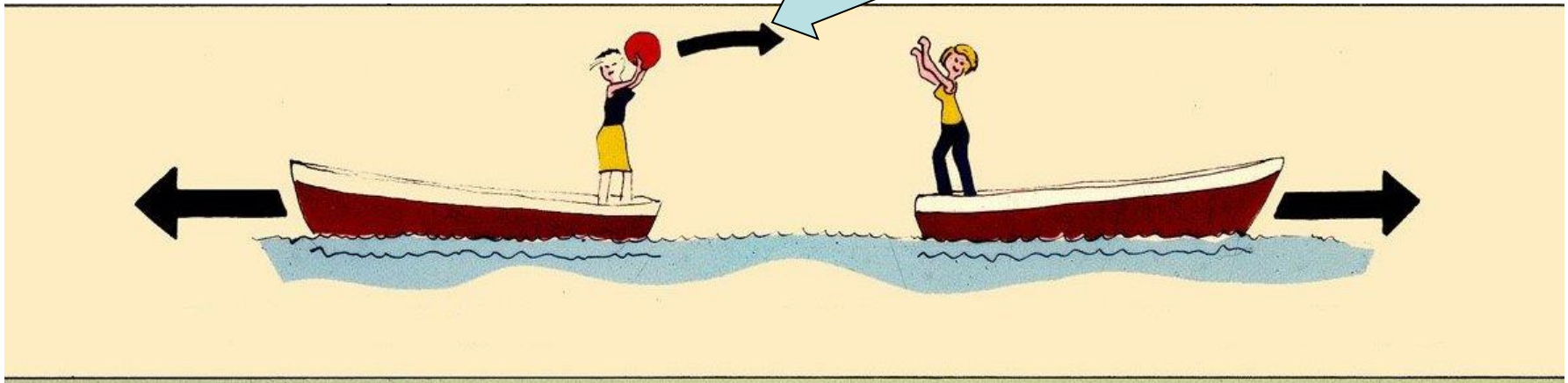
Foton



- působí jen na **elektricky nabité částice**
- jsou **invariantní** vůči záměnám
 - vpravo \leftrightarrow vlevo a
 - částice \leftrightarrow antičástice
- mají **nekonečný dosah**,
- **foton má nulovou hmotnost**
- jsou dobře popsány **kvantovou elektrodynamikou (QED)**

Silné síly

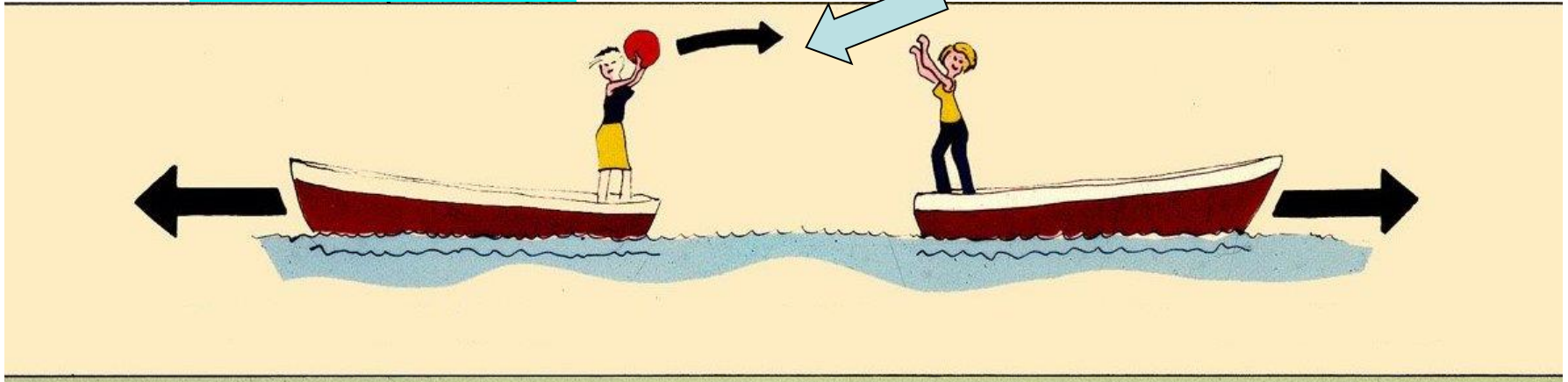
osm barevných gluonů



- působí jen na **barevné částice** tj. kvarky i gluony
- jsou **invariantní** vůči záměnám
 - vpravo \leftrightarrow vlevo a
 - částice \leftrightarrow antičástice
- **gluony jsou nehmotné** a interagují sami se sebou
- mají velmi neobvyklé chování na velkých vzdálenostech
- jsou popsány **kvantovou chromodynamikou (QCD)**

Slabé síly

bosony W^+, W^-, Z



- působí na všechny kvarky a leptony
- nejsou invariantní vůči záměnám
 - vpravo \leftrightarrow vlevo a
 - částice \leftrightarrow antičástice, ani kombinaci
 - vpravo \leftrightarrow vlevo & částice \leftrightarrow antičástice
- mají **konečný dosah** cca **tisícinu poloměru protonu**
- **W^{+-} a Z mají velkou hmotnost** **v tom problém**
- jsou popsány teorií **Glashowa, Weinberga a Salama**

Jakou roli hraje Higgsův boson ve standardním modelu

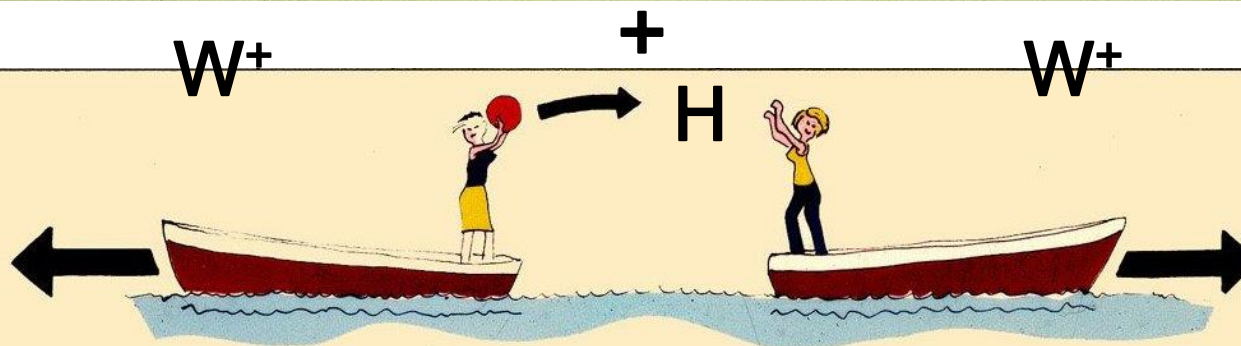
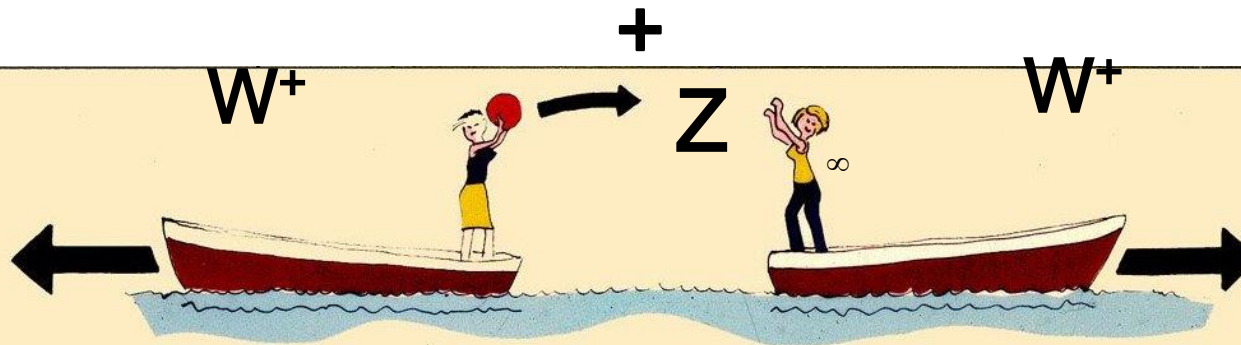
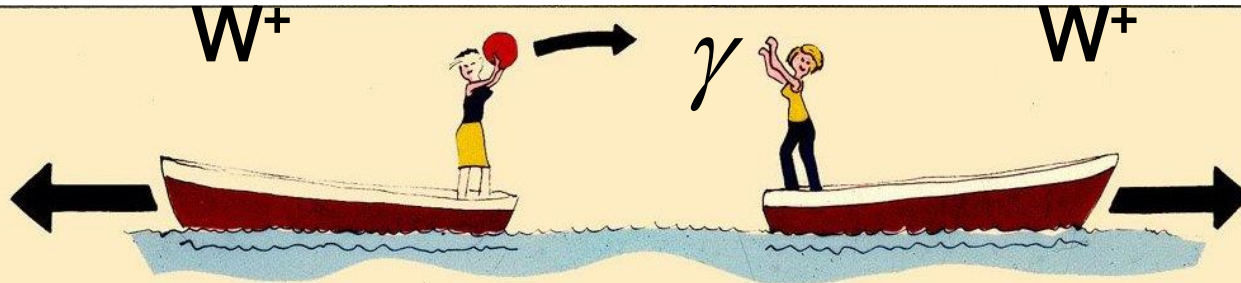
Kolem **Higgsova pole a Higgsova bosonu** a jejich rolí v dnešní teorii mikrosvěta panuje **spousta mýtů, které zakrývají skutečný význam této částice** a příčinu problému, který Higgsův boson léčí a jímž je

nenulová hmotnost nosičů slabých sil.

Nenulová hmotnost těchto nosičů způsobuje, že předpovědi standardního modelu bez Higgsova bosonu jsou **za určitých okolností nefyzikální**, zhruba řečeno **pravděpodobnosti některých procesů jsou větší než jedna.**

Jak Higgsův boson zachraňuje standardní model

Rozptyl dvou nabitých nosičů slabých sil: loďkami jsou sami nosiče W^+ :

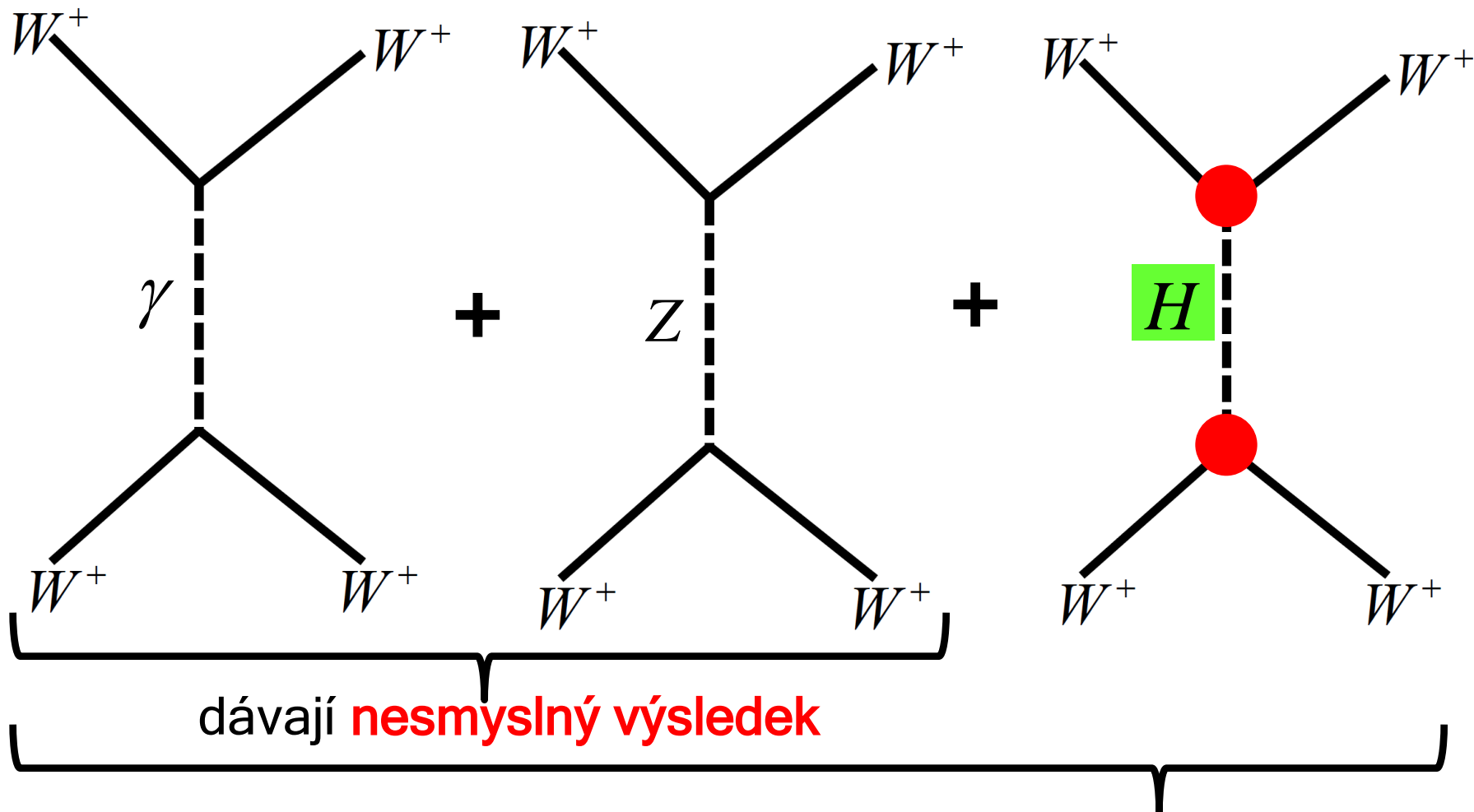


Nefyzikální
předpověď

OK

To samé v jazyce Feynmanových diagramů

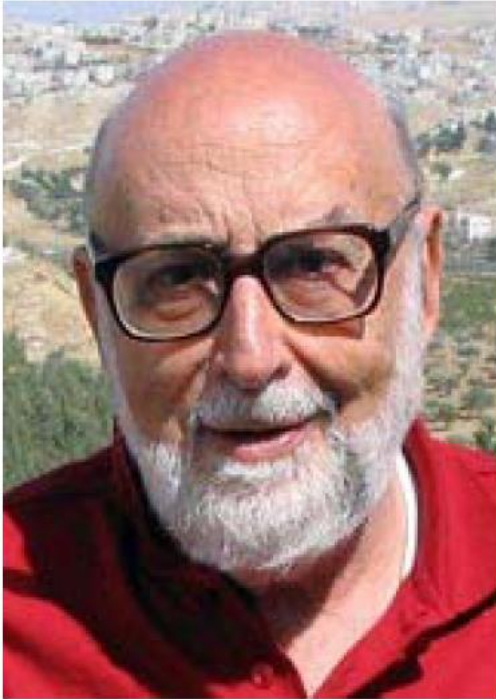
Každému elementu těchto diagramů (čára, vrchol, spojnice vrcholů) je přiřazen konkrétní matematický výraz



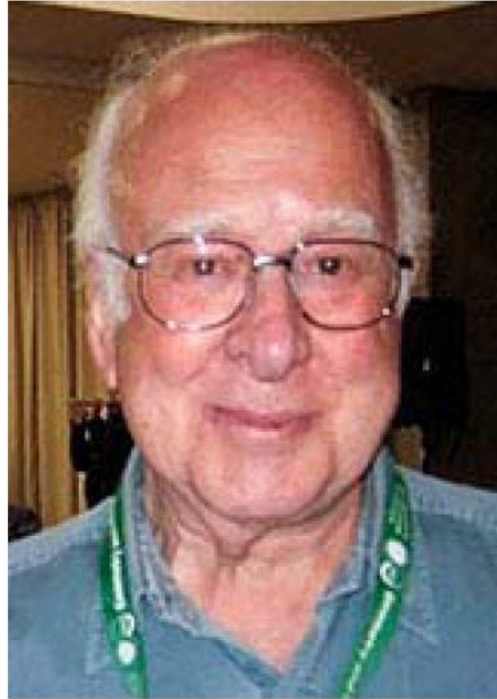
The Nobel Prize in Physics 2013

François Englert, Peter Higgs

The Nobel Prize in Physics 2013



François Englert



Peter W. Higgs

Velmi nepřesné tvrzení, protože **hmotnosti protonů a neutronů**, které představují 99,97% hmotnosti atomů, **s Higgsovým bosonem nesouvisejí**.

S Higgsovým bosonem jsou obvykle spojovány **tři skupiny autorů**, kteří se v roce 1964 zabývali podobnými problémy:

- + **Robert Brout, Francoise Englert**: **jasná fyzikální motivace**, snaha pochopit hlubší důvod pro empirický fakt absolutní **stability protonu**, časově první
- + **Peter Higgs**: jak se vyhnout tzv. **Goldstoneovu bosonu**
- + **Gerald Guralnik, Richard Hagen, Tom Kibble** : dtto, ale **později**

Klikatá cestu, kterou k němu letošní laureáti Nobelovy ceny dospěli, je krásnou ukázkou, jak lze **po cestě slepou uličkou objevit důležitou věc**, která se později bude hodit někomu jinému k vyřešení jiného problému.

Baryony: proton (P), neutron (N) a další podobné částice

Baryonový náboj (B): $B(P)=B(N)=1$,
 $B(\text{anti}P)=B(\text{anti}N)=-1$
 $B(\text{nebaryony})=0$

Zákon zachování baryonového náboje **dovoluje rozpad neutronu**

neutron \rightarrow proton + elektron + elektronové antineutrino

ale **zakazuje rozpad protonu**, který je nejlehčím baryonem, např.

proton \rightarrow pozitron + neutrální pion

Brout & Englert ukázali, jak zavést do teorie **hmotné nosiče** tak, aby **byla naděje, že je plně konzistentní.**

Dnes víme, že to **byla slepá ulička**, protože baryonový náboj se - velmi pravděpodobně - **nezachovává.**

BROKEN SYMMETRIES, MASSLESS PARTICLES AND GAUGE FIELDS

P. W. HIGGS

Tait Institute of Mathematical Physics, University of Edinburgh, Scotland

Received 27 July 1964

Recently a number of people have discussed the Goldstone theorem ^{1,2}): that any solution of a Lorentz-invariant theory which violates an internal symmetry operation of that theory must contain a massless scalar particle. Klein and Lee ³) showed that this theorem does not necessarily apply in non-relativistic theories and implied that their considerations would apply equally well to Lorentz-invariant field theories. Gilbert ⁴), how-

ever, gave a proof that the failure of the Goldstone theorem in the nonrelativistic case is of a type which cannot exist when Lorentz invariance is imposed on a theory. The purpose of this note is to show that Gilbert's argument fails for an important class of field theories, that in which the conserved currents are coupled to gauge fields.

Following the procedure used by Gilbert ⁴), let us consider a theory of two hermitian scalar fields

BROKEN SYMMETRIES AND THE MASSES OF GAUGE BOSONS

Peter W. Higgs

Tait Institute of Mathematical Physics, University of Edinburgh, Edinburgh, Scotland

(Received 31 August 1964)

Proč je - někdy - dobré být odmítnut

Th. 16 July

Phys. Rev. Letters (22 June), containing
Gibbert's paper reaches Edinburgh.

F. 24 July

Broken Symmetries, Massless Particles
and Gauge Fields (P.W.H.) sent to
Physics Letters editor at CERN.

ACCEPTED

F. 31 July

Broken Symmetries and the Masses
of Gauge Bosons (P.W.H.) sent to
Physics Letters editor at CERN.

REJECTED

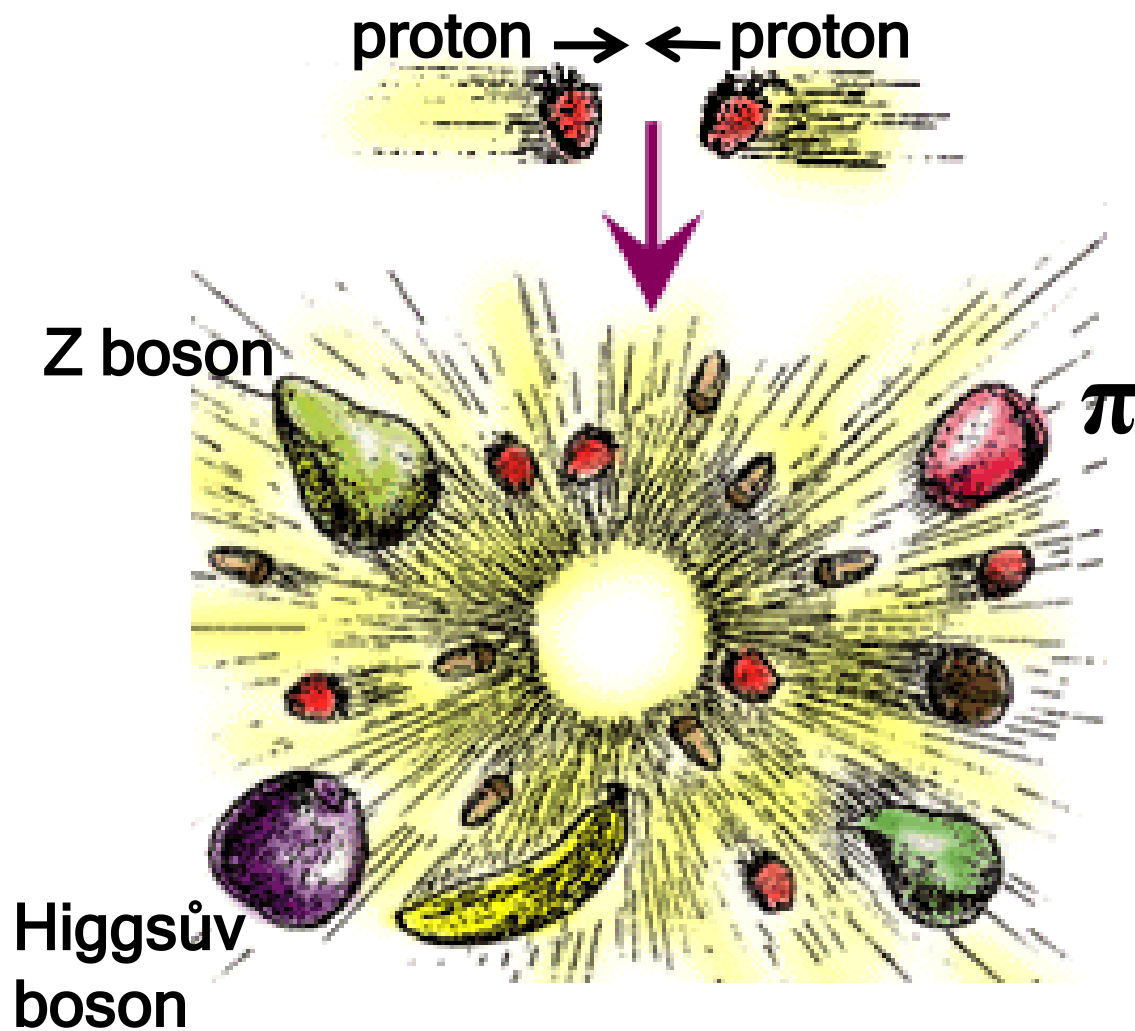
August

Paper revised by adding (inter alia)
"It is worth noting that an
essential feature of this

It is worth noting that an essential feature of the type of theory which has been described in this note is the prediction of incomplete multiplets of scalar and vector bosons.⁸ It is to be

Jak se Higgsův boson hledá

V principu takhle



Základní informace o LHC

Ženevské
jezero



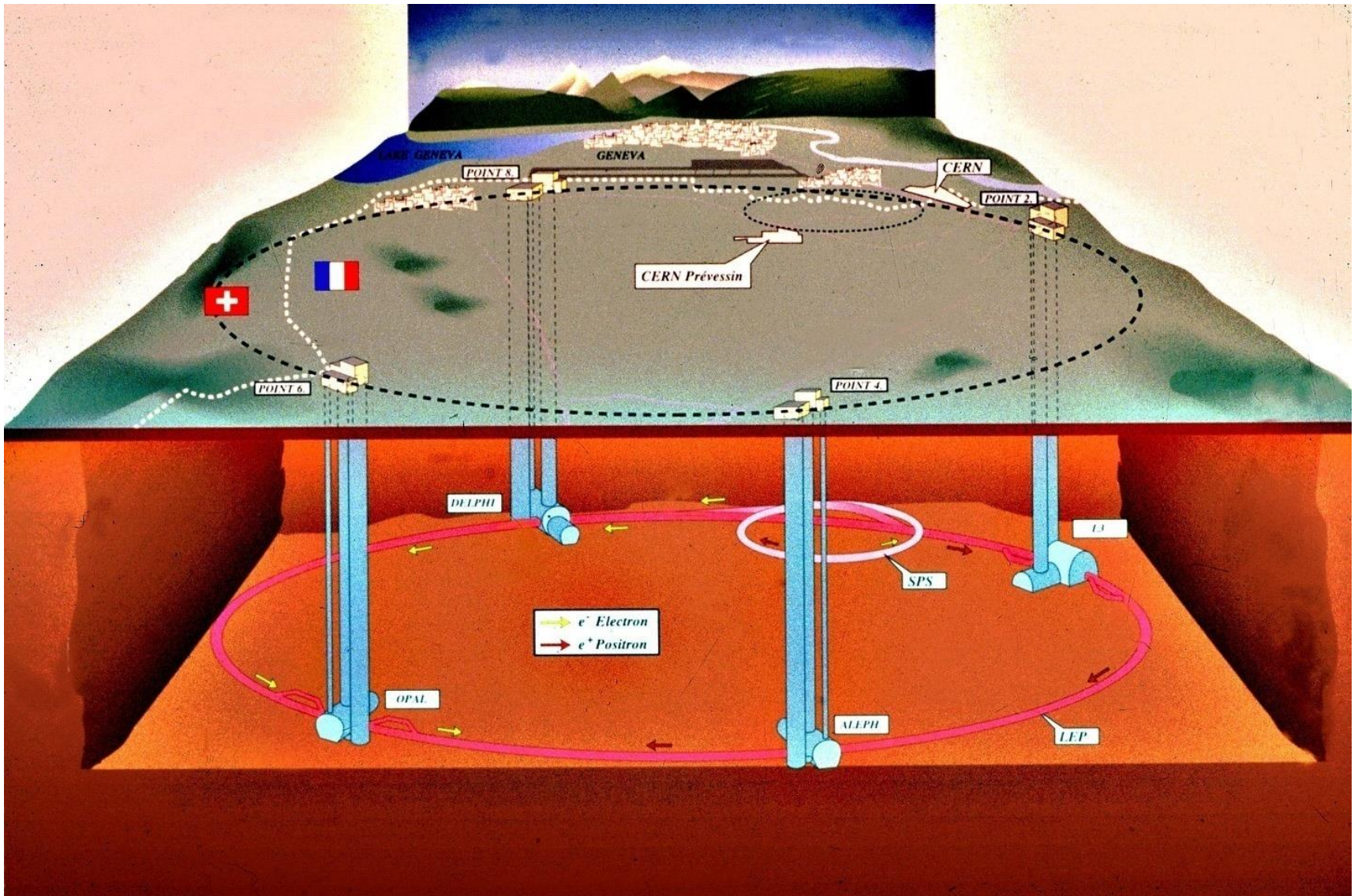
LEP/LHC

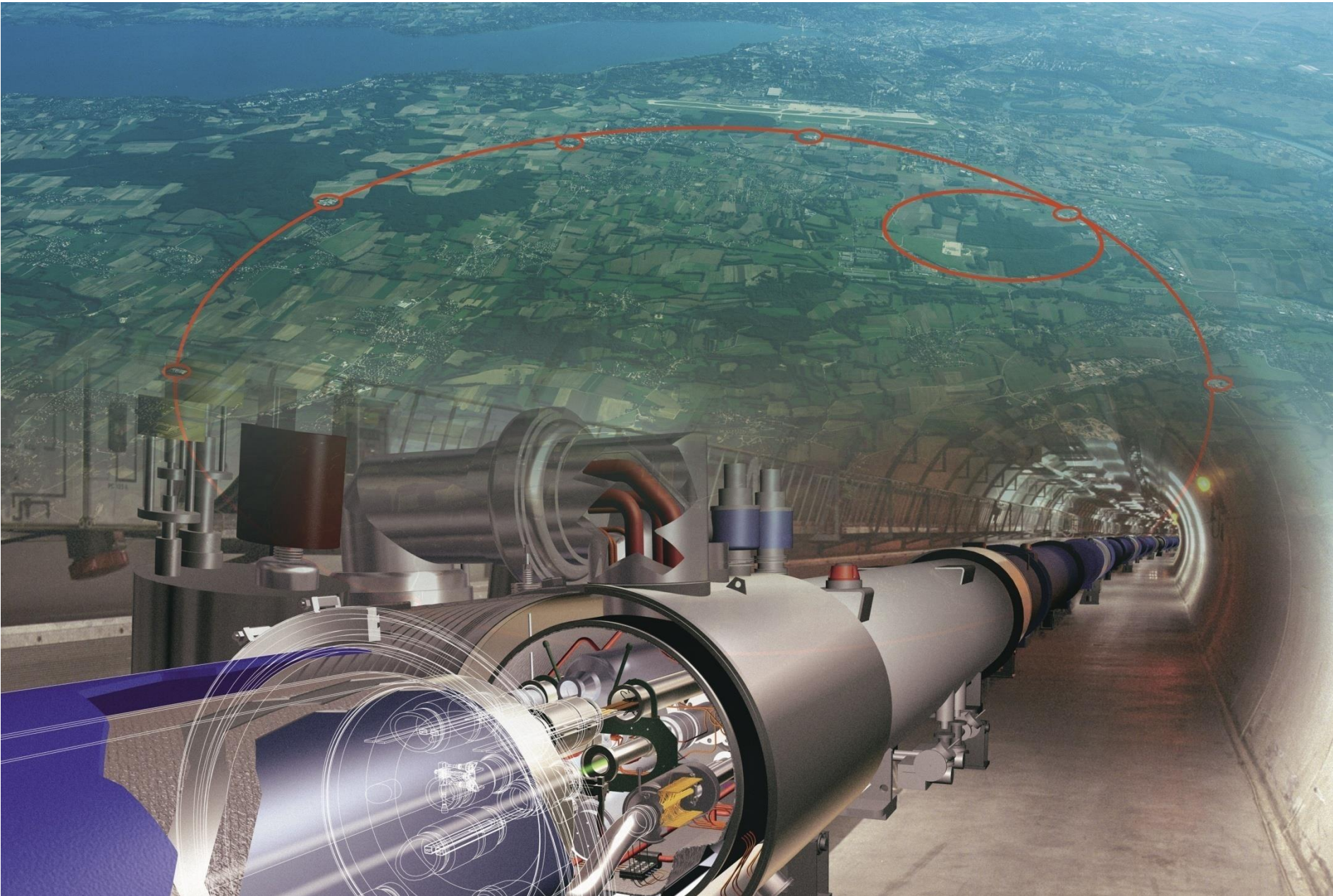
SPS

Protonový
synchrotron



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



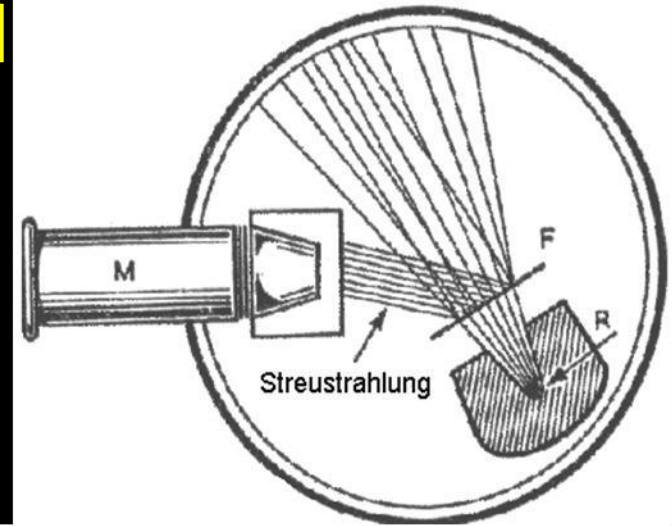


Quantity	Základní parametry LHC	number
Circumference		26 659 m
Dipole operating temperature		1.9 K (-271.3°C)
Number of magnets		9593
Number of main dipoles		1232
Number of main quadrupoles		392
Number of RF cavities		8 per beam
Nominal energy, protons		7 TeV
Nominal energy, ions		2.76 TeV/u (*)
Peak magnetic dipole field		8.33 T
Min. distance between bunches		~7 m
Design luminosity		$10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
No. of bunches per proton beam		2808
No. of protons per bunch (at start)		1.1×10^{11}
Number of turns per second		11 245
Number of collisions per second		600 million

Tak vypadal experiment před sto lety: rozptyl alfa-částic na fólii ze zlata

Hans Geiger

Ernest Rutherford



Obr. 3: Vlevo: Rutherford s Marsdenem u svého zařízení, jehož schéma je znázor- něno nahoře. Částic alfa vycházejících ze zdroje R se rozptýlily na zlaté fólii F a do- padaly na vrstvu ZnS na předním okénku kukátka M které se otáčelo kolem osy kolmé na rovinu obrázku a do nějž se dívaly střídavě Geiger s Marsdenem.

Tak vypadal experiment před 50 lety: objev částice Ω^-



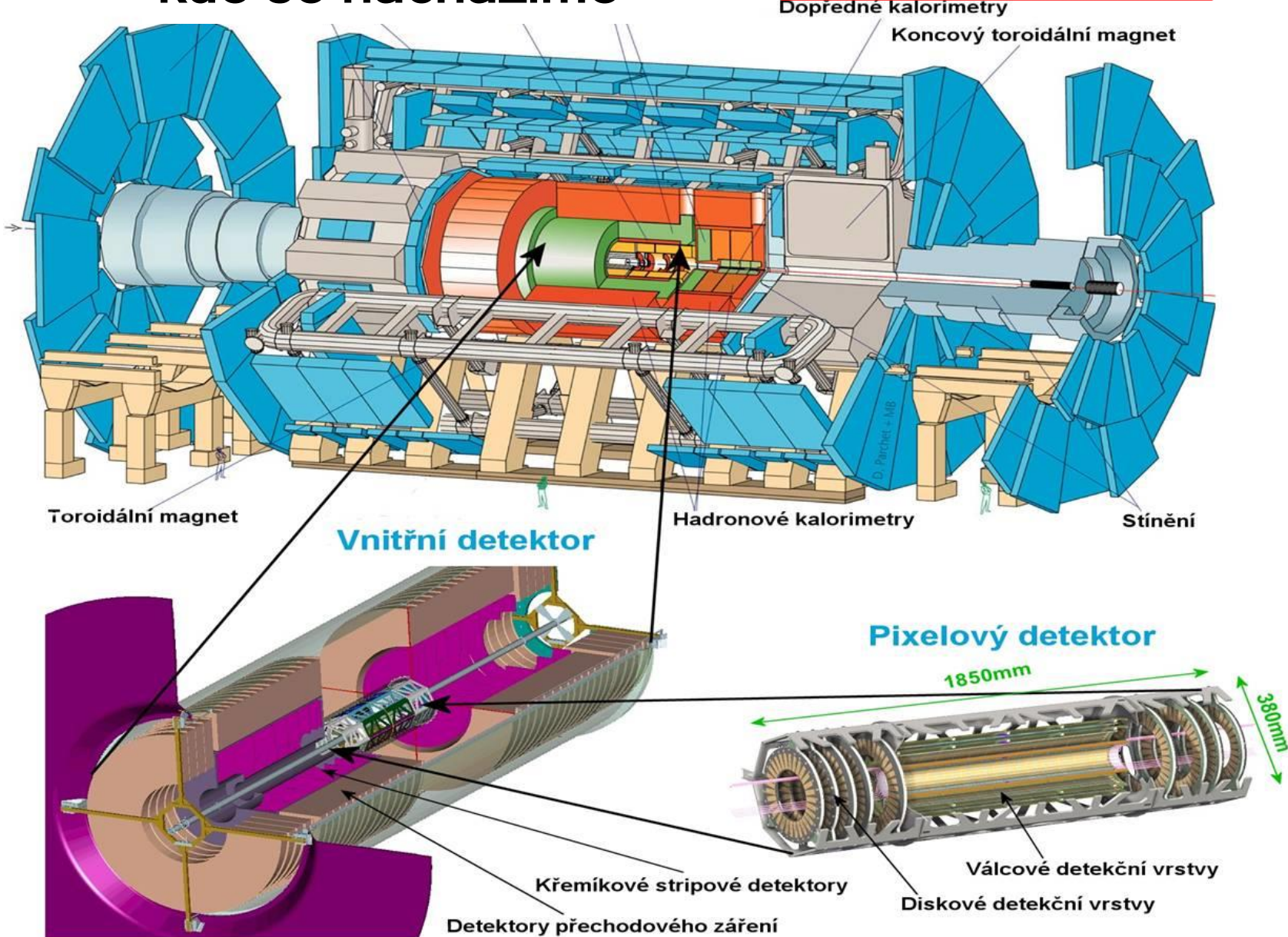
20

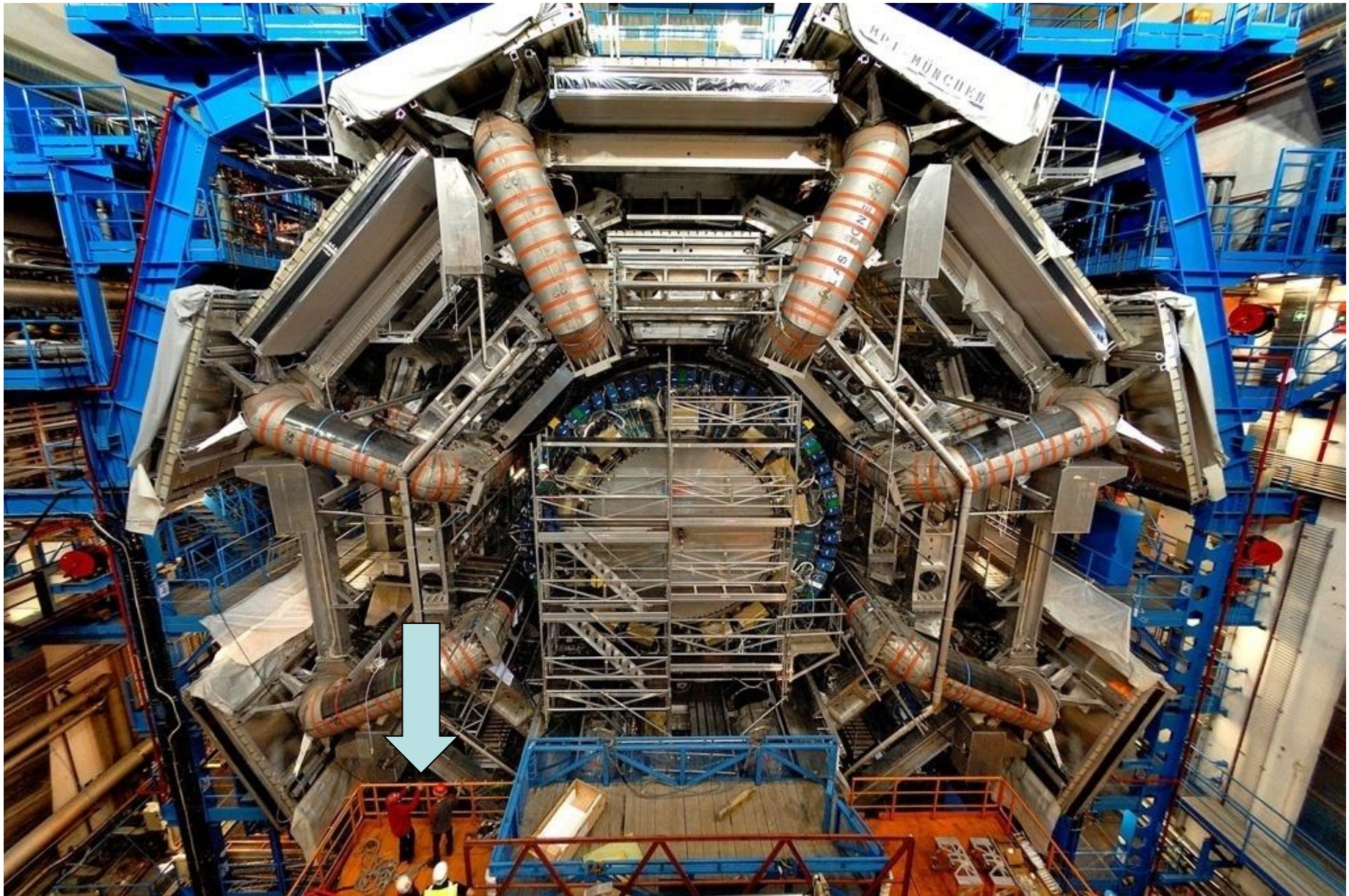
FIG. 2. Photograph and line diagram of event showing decay of Ω^- .

**Tak vypadá
detektor ATLAS**

Zhruba jako budova, kde se nacházíme

ATLAS		Charakteristiky detektoru	
		Délka:	44m
		Průměr:	22m
		Hmotnost:	7000t
CERN AC - ATLAS V1997			

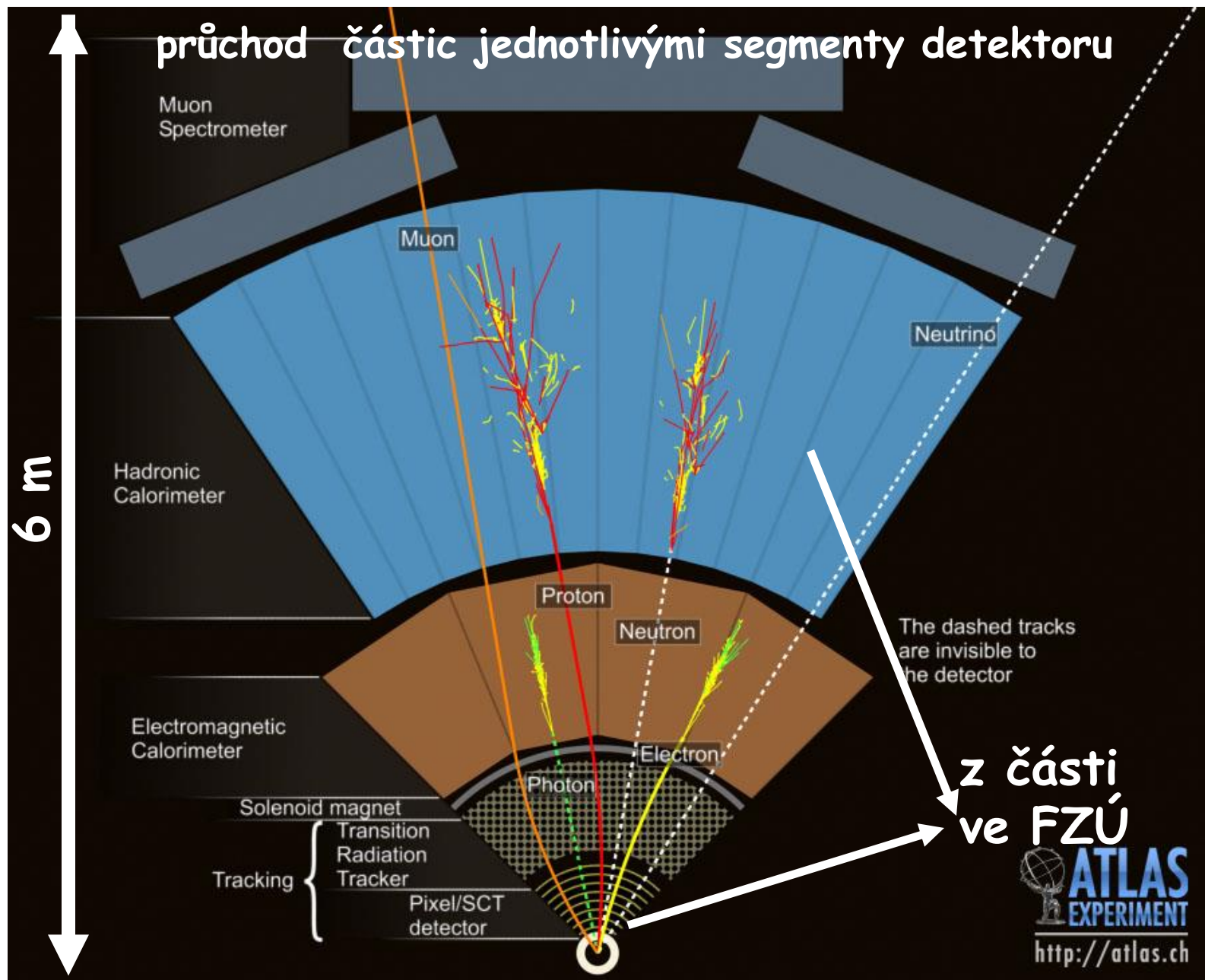




20. 8. 2014

Seminář Velké Meziříčí

36



Způsob detekce Higgsova bosonu

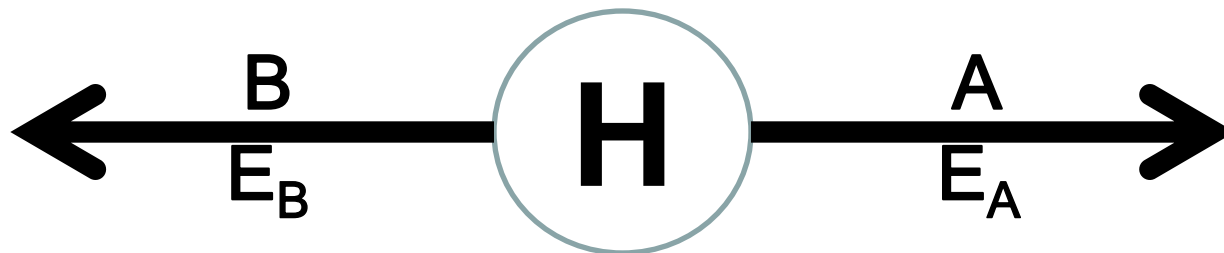
Higgsův boson je **elektricky neutrální nestabilní částice**, která se rozpadá za dobu zhruba **tisíciny miliardy miliardy vteřiny**. Jeho existenci a vlastnosti lze proto prokázat jedině studiem vlastností částic, na něž se rozpadá, např.

- na **dva fotony**,

- na **pár** neutrálních nosičů slabých sil **ZZ**

Svědectví o existenci bosonu s hmotností 126 GeV pochází primárně **z rozpadu na dva fotony**, v menší **míře i z rozpadu na ZZ**, v němž se oba bosony Z dále rozpadají **na páry elektron-pozitron nebo kladně a záporně nabitý mion**.

Uvažujme rozpad Higgsova bosonu H na dvě částice A, B v jeho klidovém systému



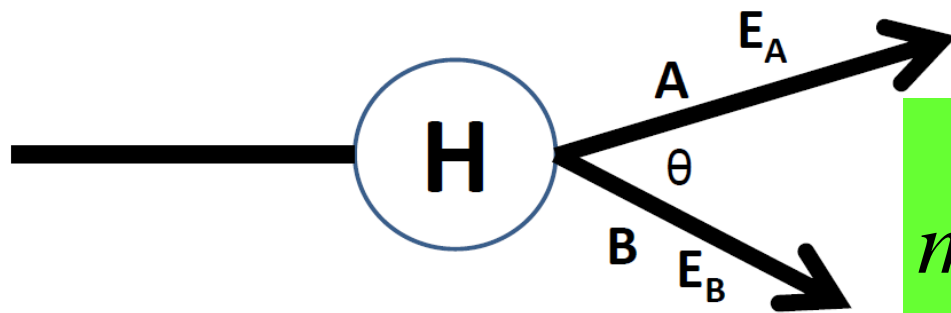
$$E^2 = m_H^2 c^4 + \vec{p}^2 c^2 = m_H^2 c^4$$

Druhý Einsteinův zákon

$$m_H = \frac{E}{c^2} = \frac{(E_A + E_B)}{c^2}$$

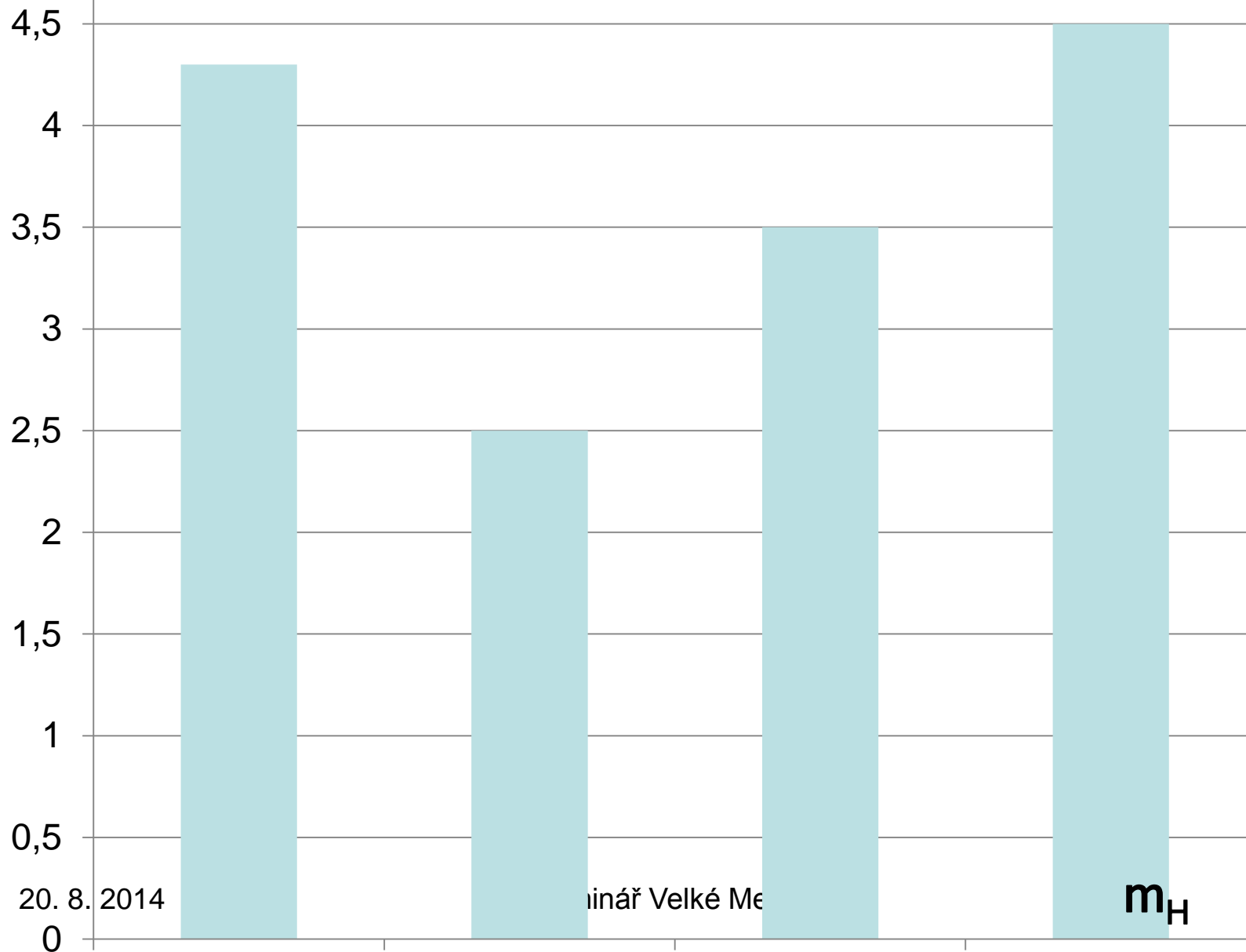
První Einsteinův zákon

Pokud se Higgsův boson pohybuje, platí pro jeho hmotnost v rozpadu na dva fotony

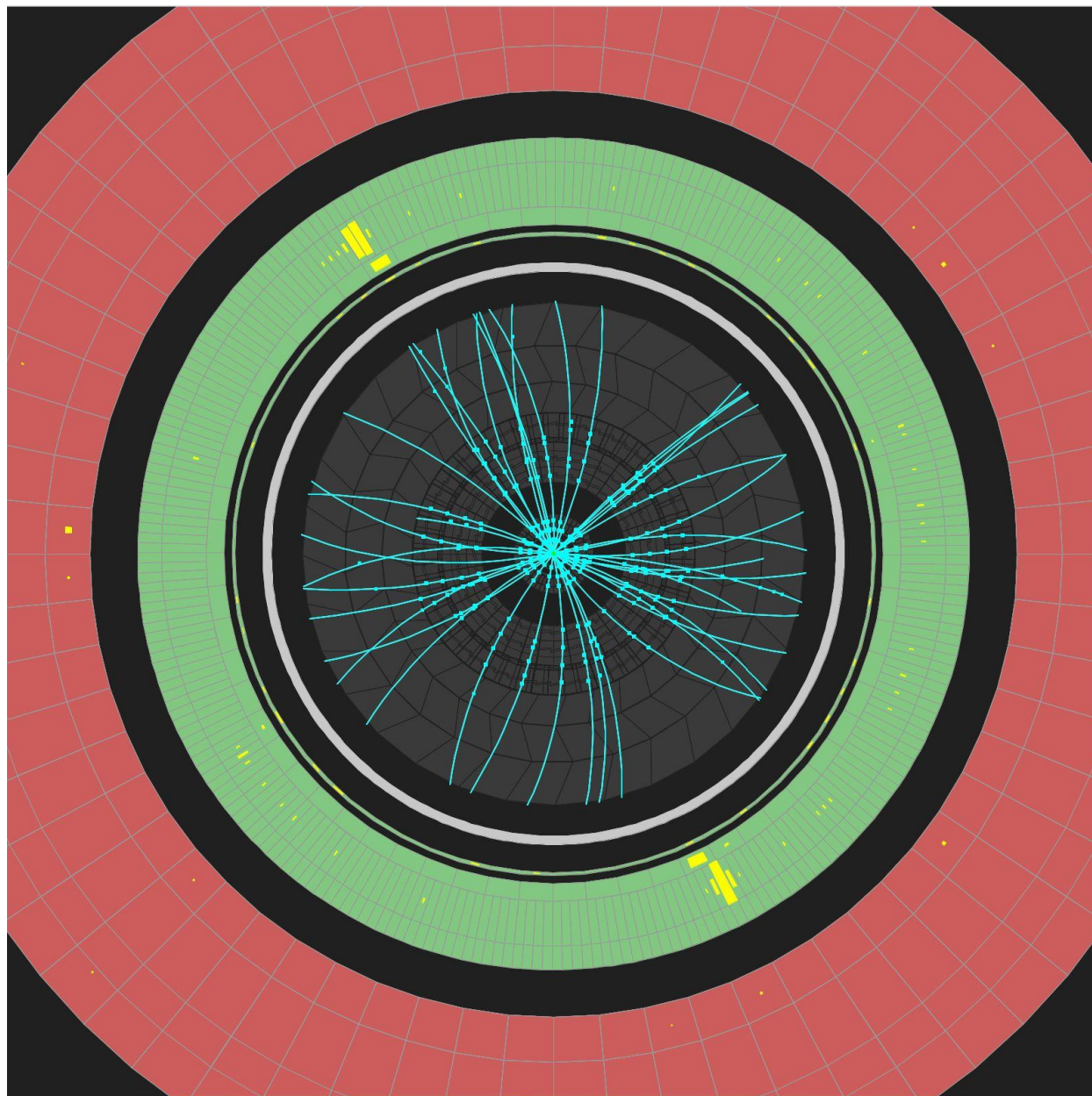


$$m_H = \frac{\sqrt{4E_A E_B (1 - \cos \theta)}}{c^2}$$

5 Změřené hodnoty m_H se vynesou do histogramu



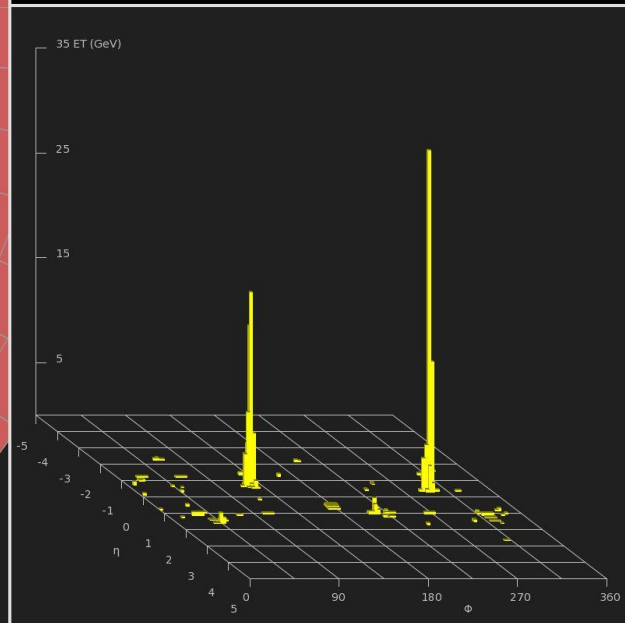
Jak byl Higgsův boson objeven



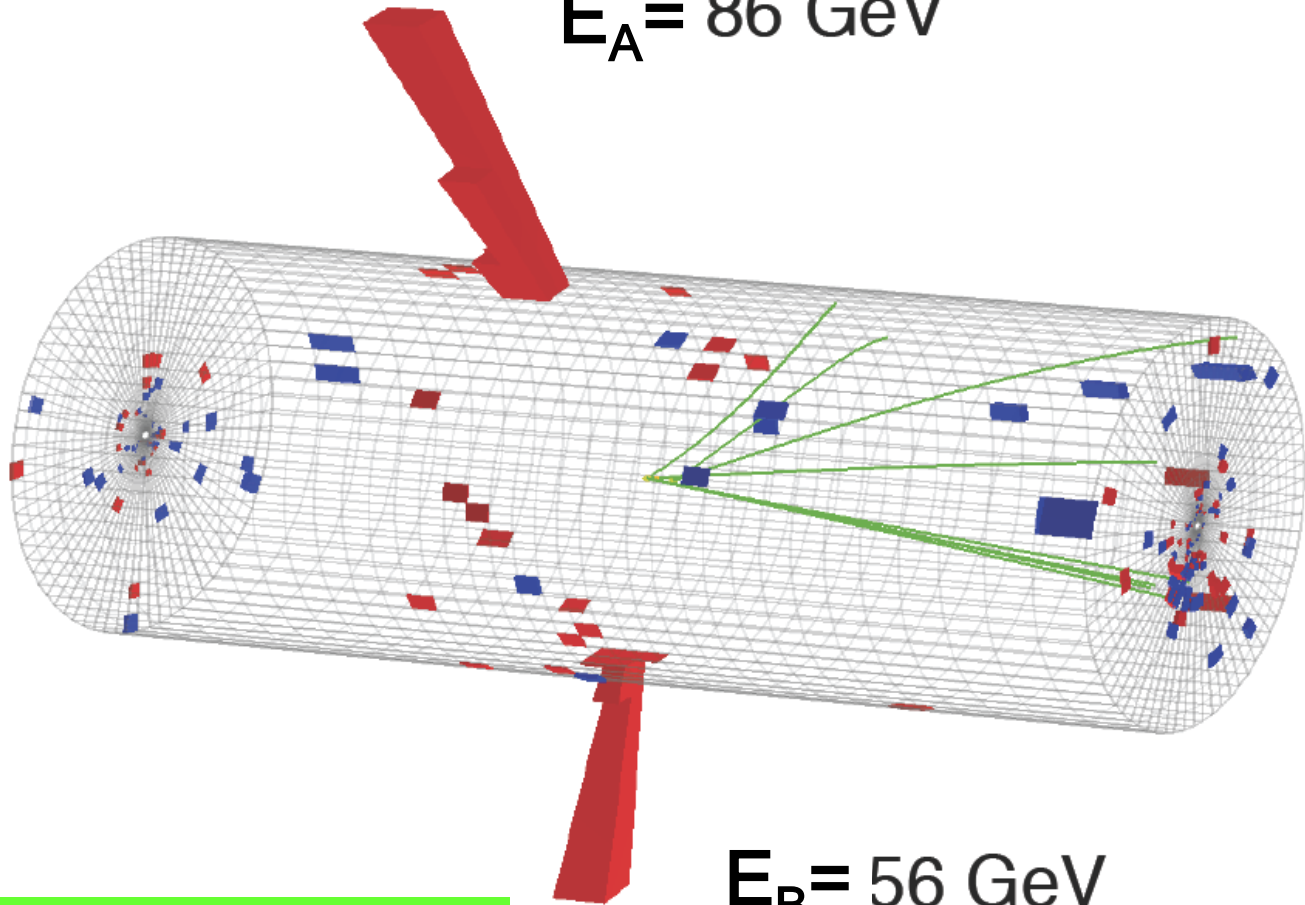
ATLAS EXPERIMENT

Run Number: 191426, Event Number: 86694500

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



$E_A = 86 \text{ GeV}$



$E_B = 56 \text{ GeV}$

$$m_H = \frac{\sqrt{4E_A E_B (1 - \cos \theta)}}{c^2}$$



ELSEVIER

Observation
with the

ATLAS Collaboration

This paper is a contribution

ARTICLE

Article history:

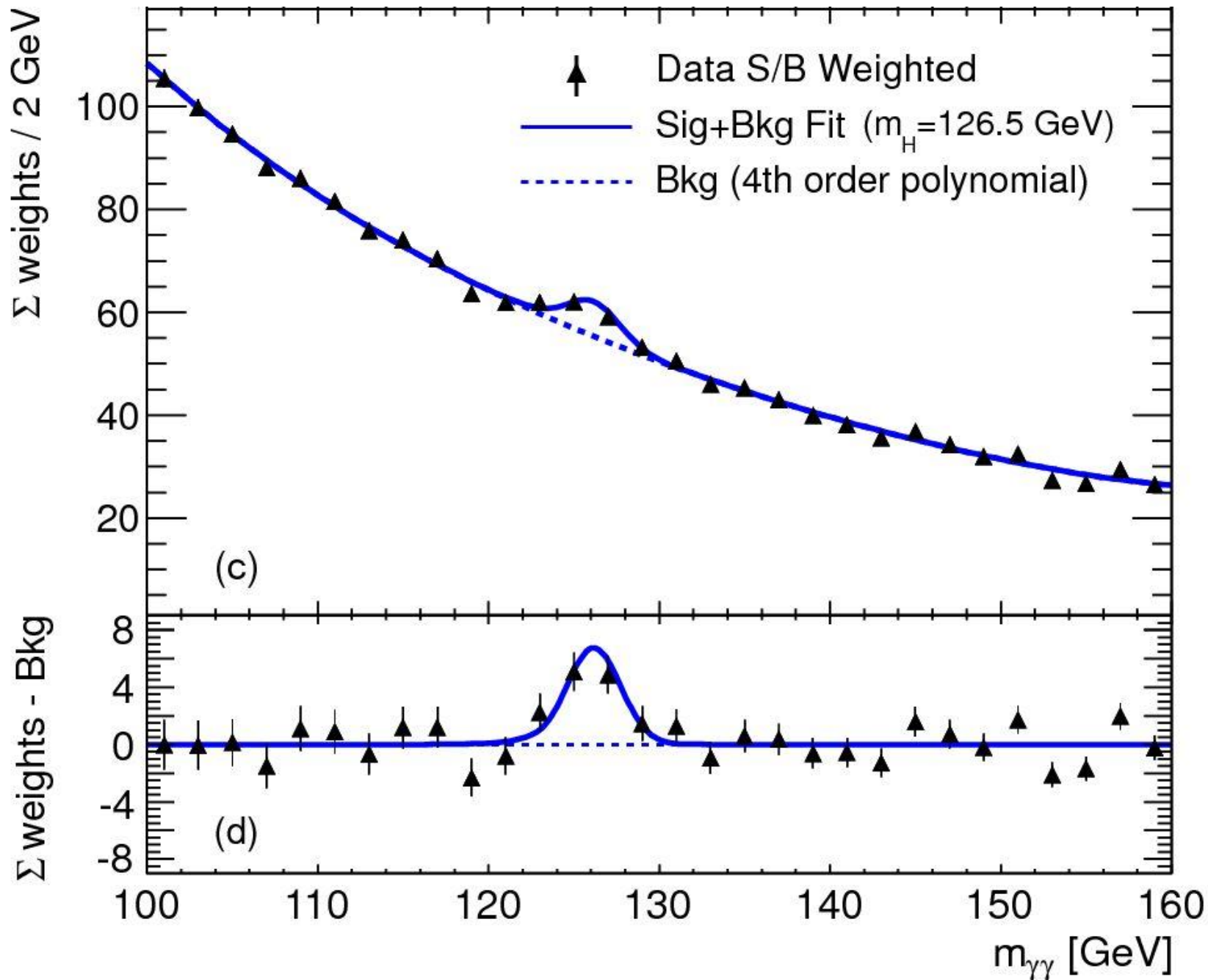
Received 31 Jul

Received in revised

Accepted 11 Aug

Available online

Editor: W.-D. S





Observation of a the LHC ☆

CMS Collaboration ☆

CERN, Switzerland

This paper is dedicated to the
contributions to the achievement

ARTICLE INFO

Article history:
Received 31 July 2012

Received in revised form 9 August

Accepted 11 August 2012

Available online 18 August 2012

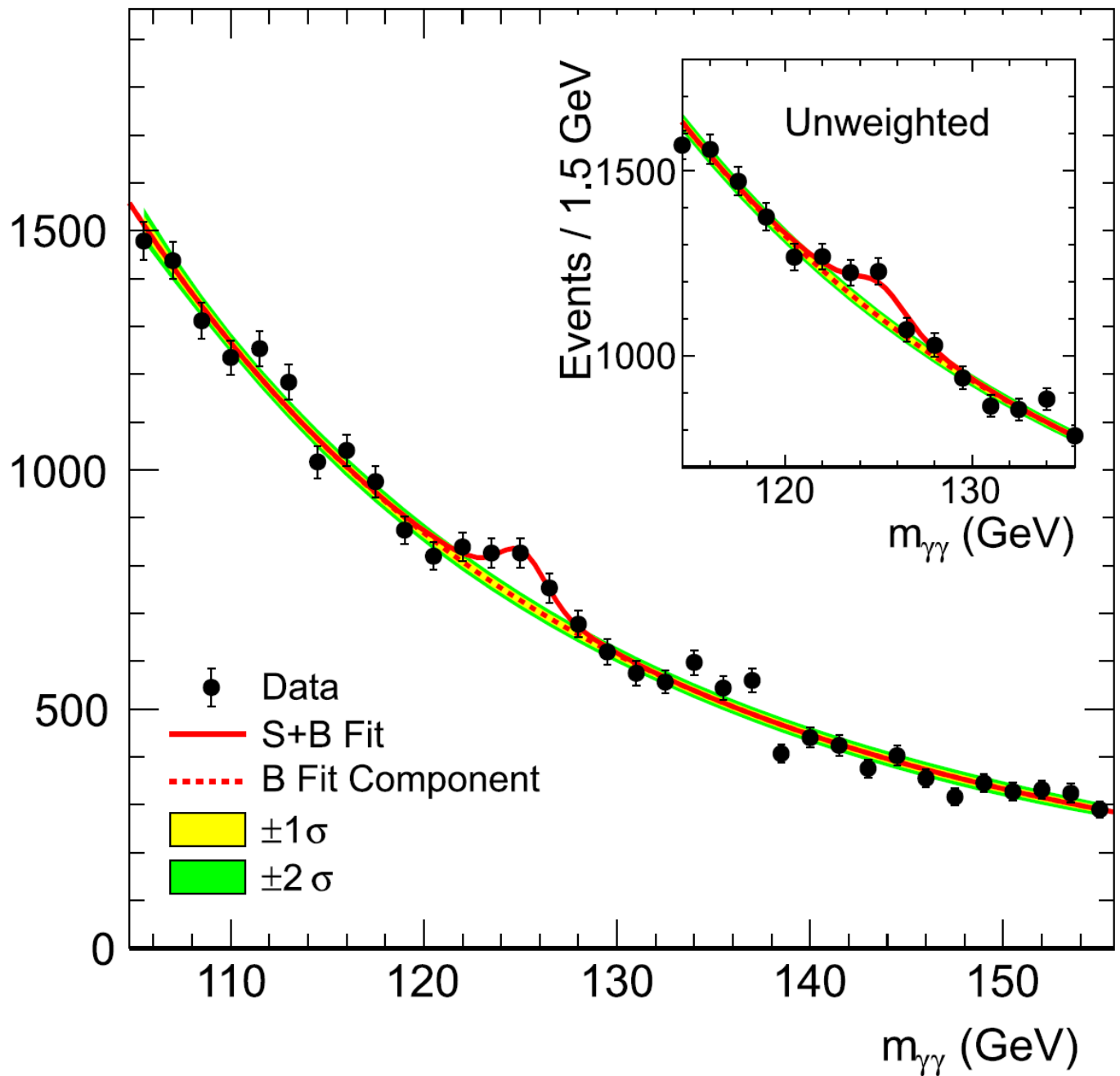
Editor: W.-D. Schlatter

Keywords:

CMS

Physics

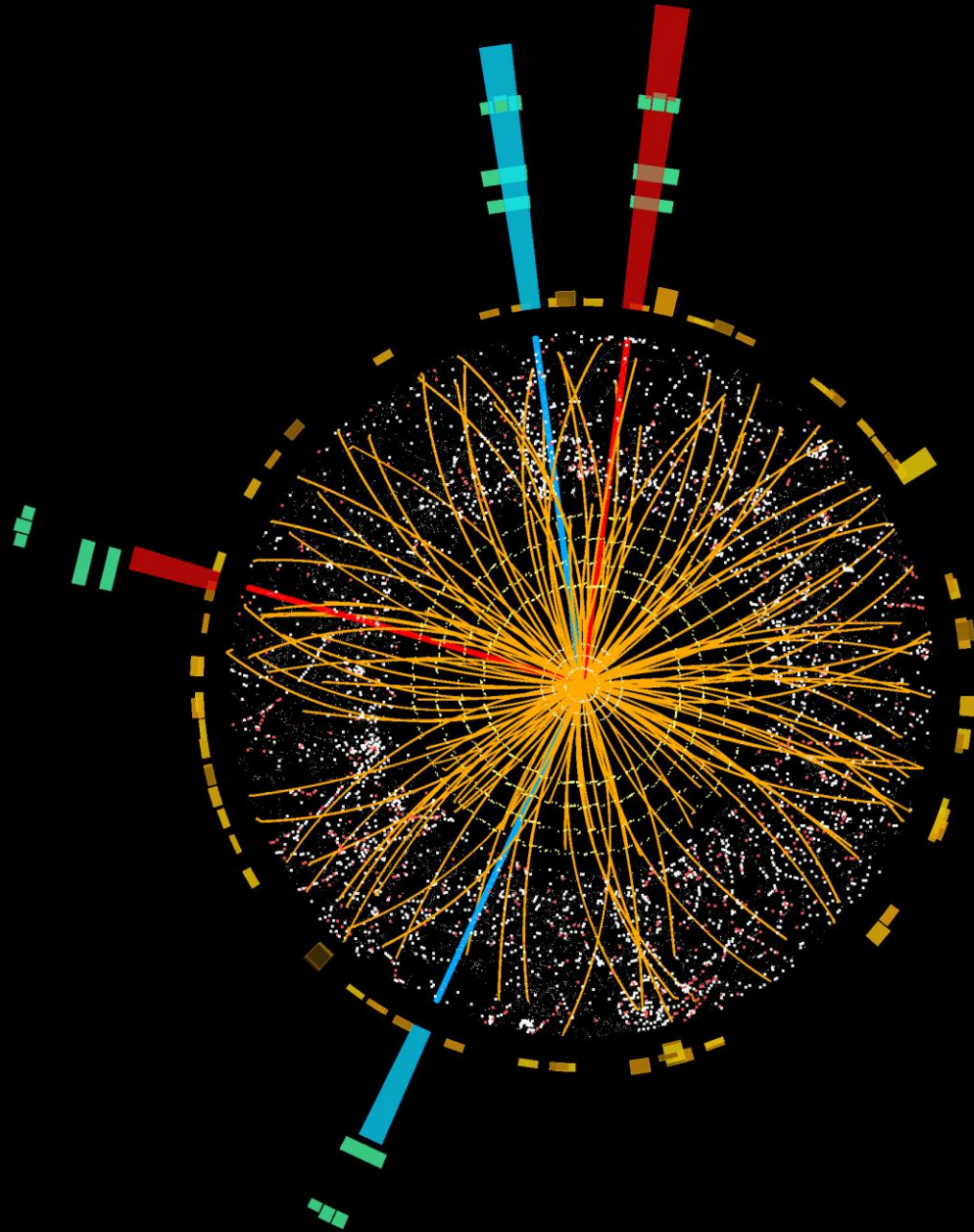
$S/(S+B)$ Weighted Events / 1.5 GeV



Higgs \rightarrow 4 leptony

2 elektrony,
2 pozytrony

ATLAS
EXPERIMENT
<http://atlas.ch>
Run: 203602
Event: 82614360
Date: 2012-05-18
Time: 20:28:11 CEST

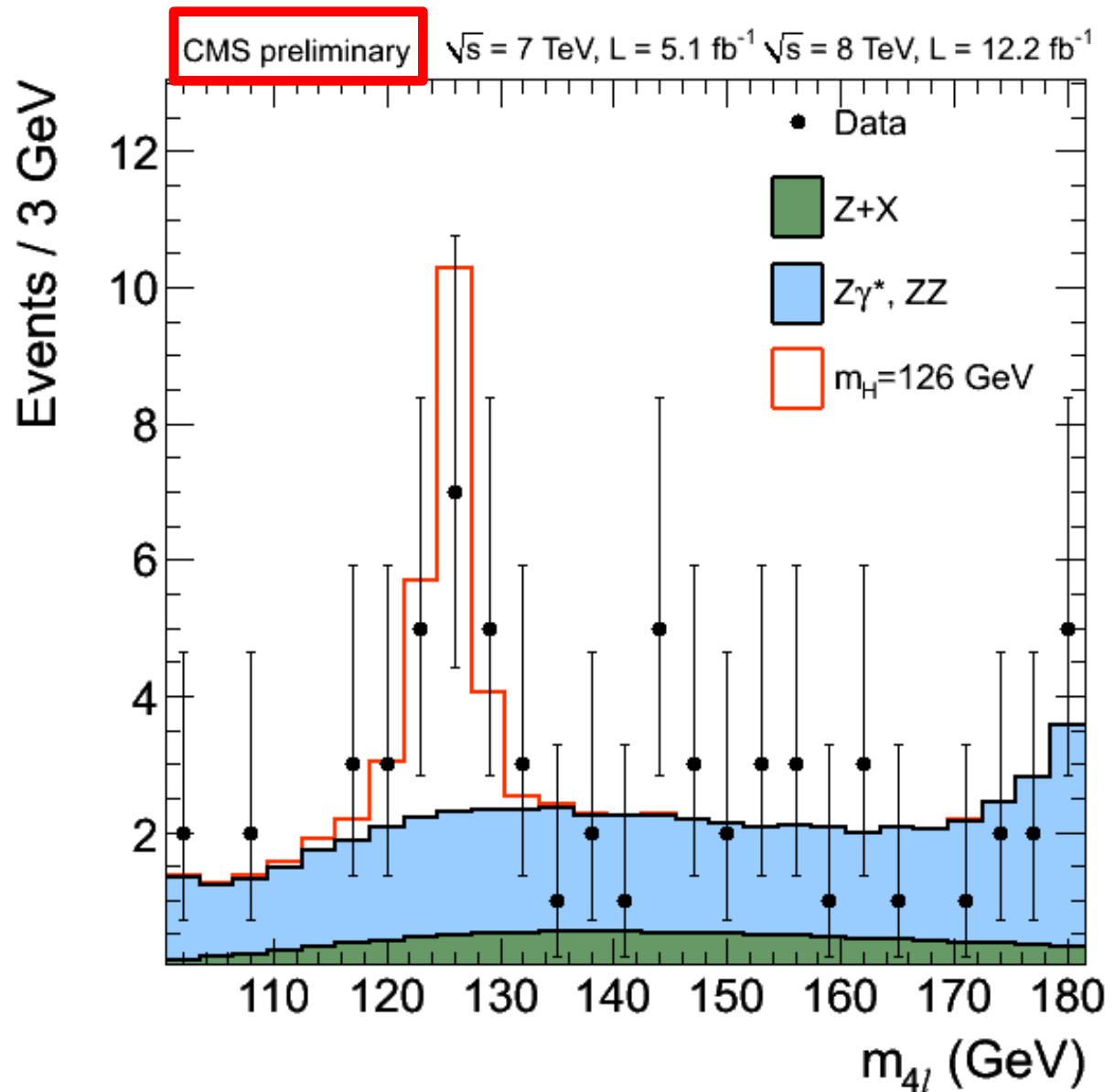


20. 8. 2014

Rozpad Higgse na 4 leptyny:

$$(e^-e^+, e^-e^+), (e^-e^+, \mu^-\mu^+), (\mu^-\mu^+, \mu^-\mu^+)$$

listopad
2012



Co jsme to našli?



14 Nov 2012

Alexey Drozdetskiy

Viedstudio

Co nového od 4. července 2012: „**Higgsův boson**“ se opravdu **chová jako Higgsův boson**, tj má správný **spin $S=0$** i **paritu $P=+1$** .

Spin charakterizuje „vnitřní“ moment hybnosti a **nemá pro elementární částice dobrý klasický analog**. Přesto není zcela nesmyslná analogie spinu s dětskou káčkou. **Například elektron je takovou „kvantovou“ káčkou**, která má ovšem velmi podivné vlastnosti: nelze jí zpomalit ani zrychlit, „točí“ se pořád stejně.

Částice, které se „netočí“ mají spin nula. K těm patří piony a kaony **a také Higgsův boson**.

Parita.: popisuje vztah vlnové funkce v bodě (x,y,z) s hodnotou v bodě $(-x,-y,-z)$:

$$\psi(-x, -y, -z) = k \psi(x, y, z)$$



Higgsův boson má kladnou paritu

$k=+1$: kladná parita,
 $k=-1$: záporná parita

Mysterium Cosmographicum

Standardní model obsahuje cca **25 volných parametrů**:

- + **hmotnosti** kvarků, leptonů a nosičů sil
- + jejich „**náboje**“ elektrické a jiné
- + **další** parametry

Tato skutečnost je považována většinou fyziků za **nedostatek**, který by měl být odstraněn v „**teorii všeho**“, v níž by hodnoty těchto parametrů byly **spočítatelné**.

Je to realistické očekávání, lze hodnoty všech, nebo aspoň některých parametrů spočítat?

Odpověď nabízí srovnání se **situací na konci 16 století**, kdy vyšla kniha **Mysterium Cosmographicum**

7/10.

Prodromus
DISSERTATIONVM COSMOGRAPHICARVM,
continens
MYSTERIVM
COSMOGRAPHICVM
DE ADMIRABILI PROPORTIONE OR-
bium cœlestium: deque causis cœlorum numeri, magni-
tudinis, motuumque periodicorum ge-
nuinis & propriis,

Demonstratum per quinque regularia corpora Geometrica.
Libellus primum Tübingæ in lucem datus Anno Christi

M. IOAN

Jan Kepler

TEMPO-

Nunc vero post annos 25. ab eodem autore recognitus, & Notis notabilissimis partim emendatus, partim explicatus, partim confirmatus: deniq; omnibus suis membris collatus ad alia cognati argumenti opera, quæ Author ex illo tempore sub duorum Imp. Rudolphi & Marthiæ auspiciis; etiamq; in Illustr. Ord. Austriæ Supr. Anisanz clientela diuersis locis edidit.

Potissimum ad illustrandas occasiones Operis, Harmonice Mundi, dicti, eius-
que progressum in materia & methodo.

Addita est erudita NARRATIO M. GEORGII IOACHIMI RHETICI, de Libris Revolutionum, atque admirandis de numero, ordine, & distantis Sphærarum Mundi hypothefibus, excellentissimi Mathematici, totiusque Astronomiæ Restauratoris D. NICOLAI COPERNICI.

ITEM,

Idem IOANNIS KEPLERI pro suo Opere Harmonice Mundi APOLOGIA aduersus Demonstrationem Analyticam Cl. V. D. Roberti de Fluctibus, Medici Oxoniensis.

Cum Privilegio Cæsareo ad annos XV.

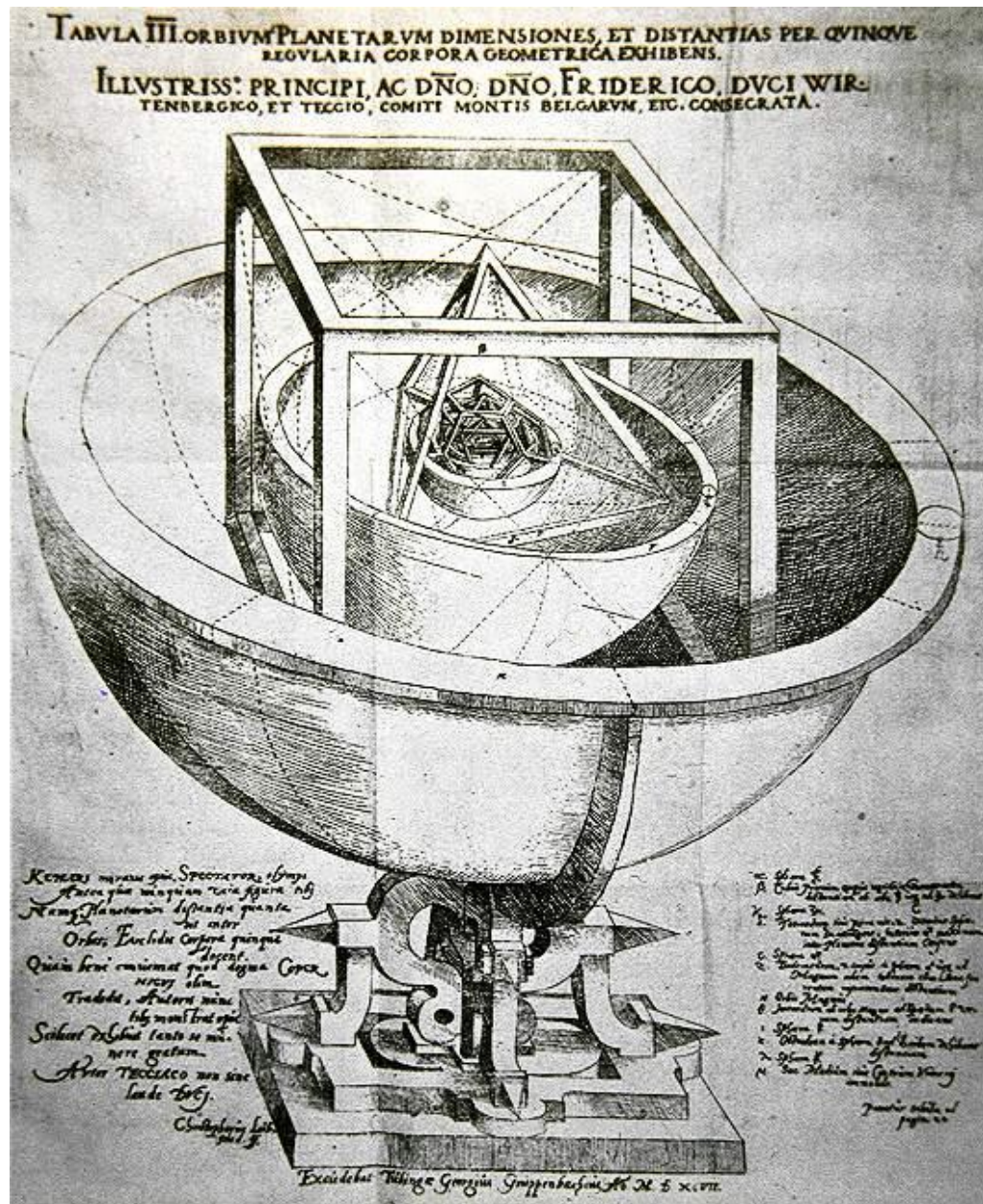


FRANCOFVRTI,
Recusus Typis ERASMI KEMPFERI, sumptibus
GODEFRIDI TAMPACHII.

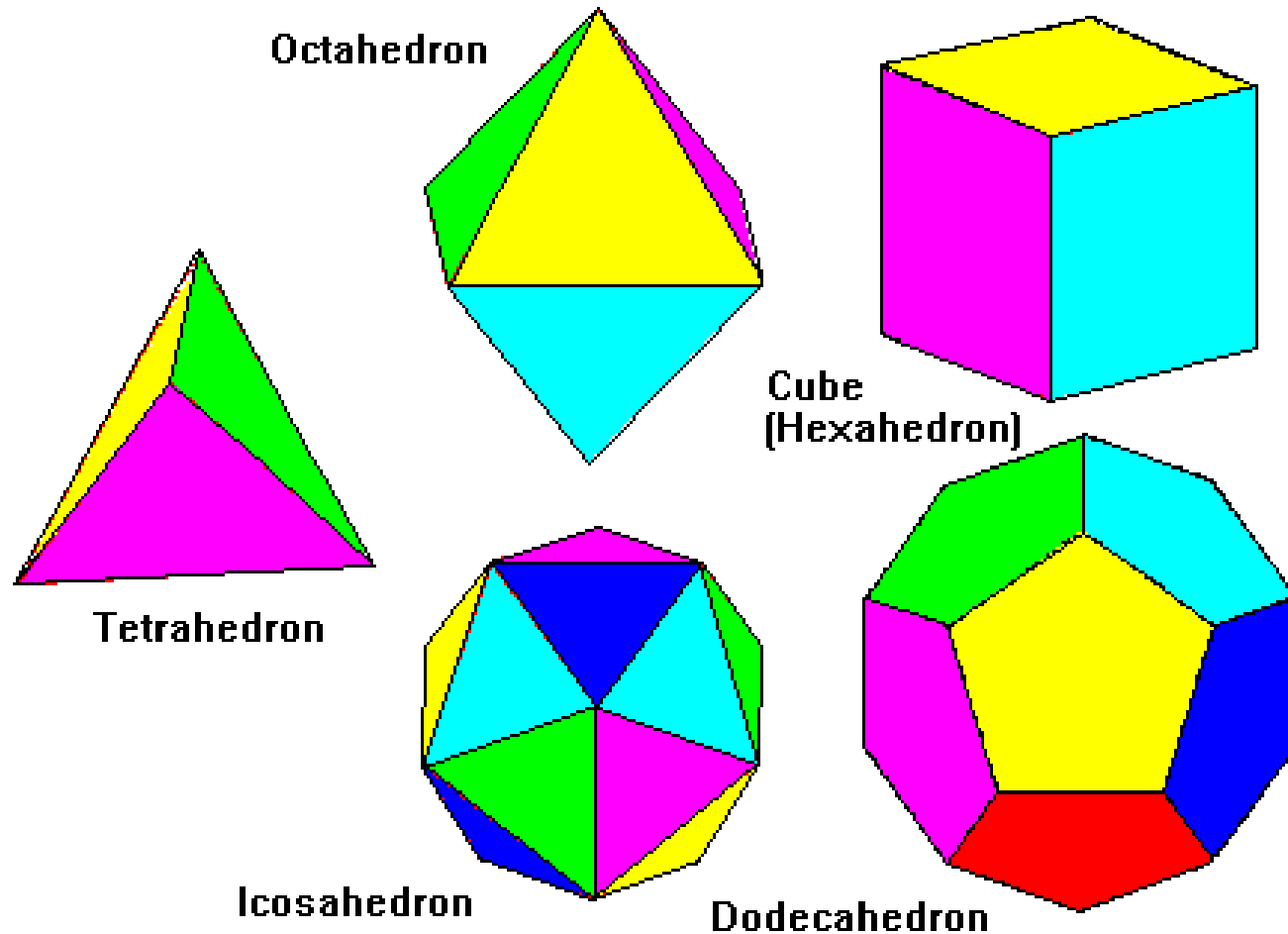
Anno M. DC. XXI. Samuel Kroon.

UPPSALA UNIVERSITETS
ASTRONOMISKA OBSERVATORIUM

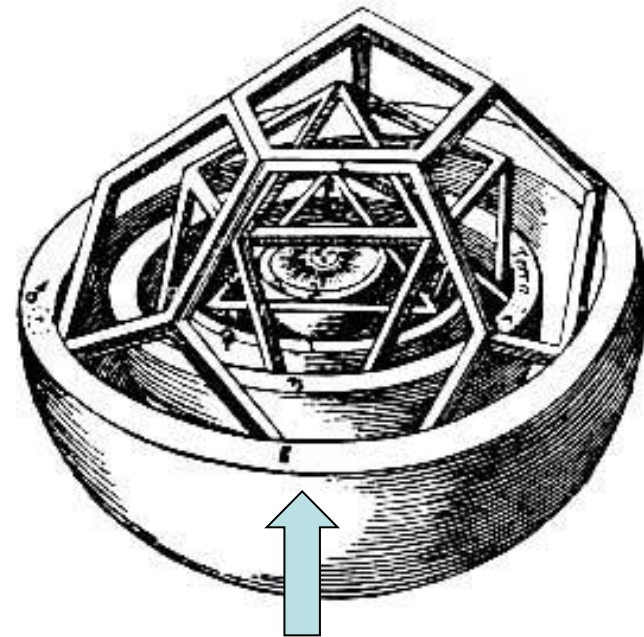
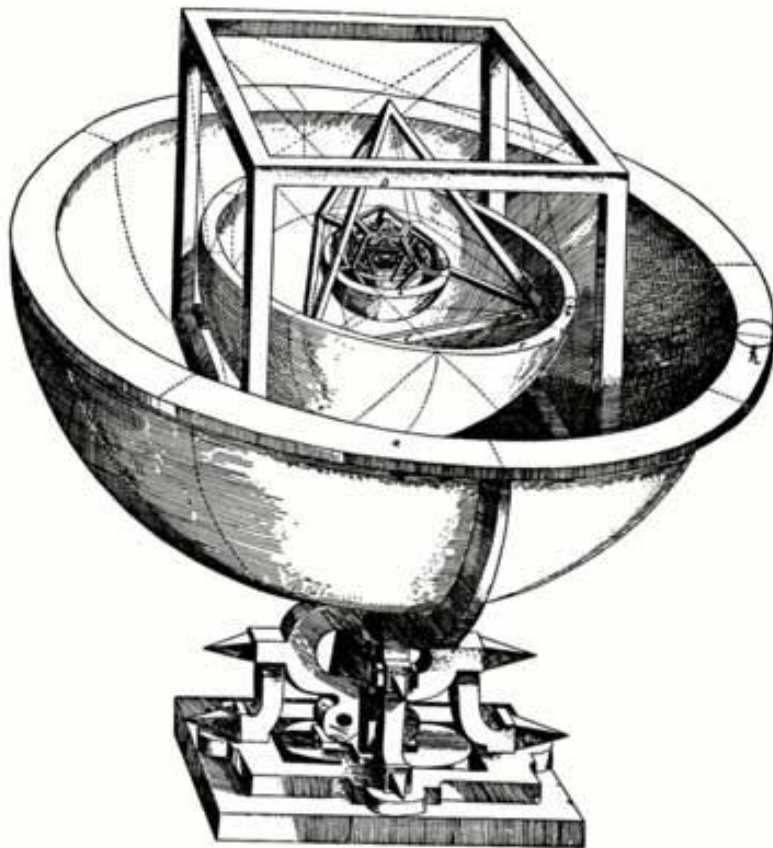
E. Schuman.
1773.



Starověcí Řekové vnímali vesmír v geometrických pojmech. **Platonovy pravidelné mnohastěny** přitom hrály důležitou roli.



V té době bylo známo **šest planet**, jejichž oběžné dráhy ležely podle Keplera na sférických slupkách **mezi pěti Platonovými pravidelnými mnohastěny**. V té době byly poloměry oběžných drah považovány za fundamentální fyzikální parametry, **jejichž hodnoty bylo možné z tohoto modelu spočítat.**



Detail čtyř vnitřních planet:
Merkur, Venuše, Země, Mars.

Poté, co se seznámil s pozorováním **Tychona Brahe** Kepler svůj model zavrhl a formuloval **zákony, které určovali dynamiku pohybu planet** kolem Slunce, ale nikoliv konkrétní parametry oběžných drah. **Ty mohly nabývat v podstatě libovolných hodnot.**

Analogie se standardním modelem:

Keplerův model	= Teorie všeho
Poloměry oběžných drah	= Hmotnosti, náboje a ostatní parametry standardního modelu

Higgsův boson a původ hmotností částic

Příčina a následek: vztah hmotností částic a Higgsova bosonu ve standardním modelu:

Z odůvodnění udělení letošní Nobelovy ceny:

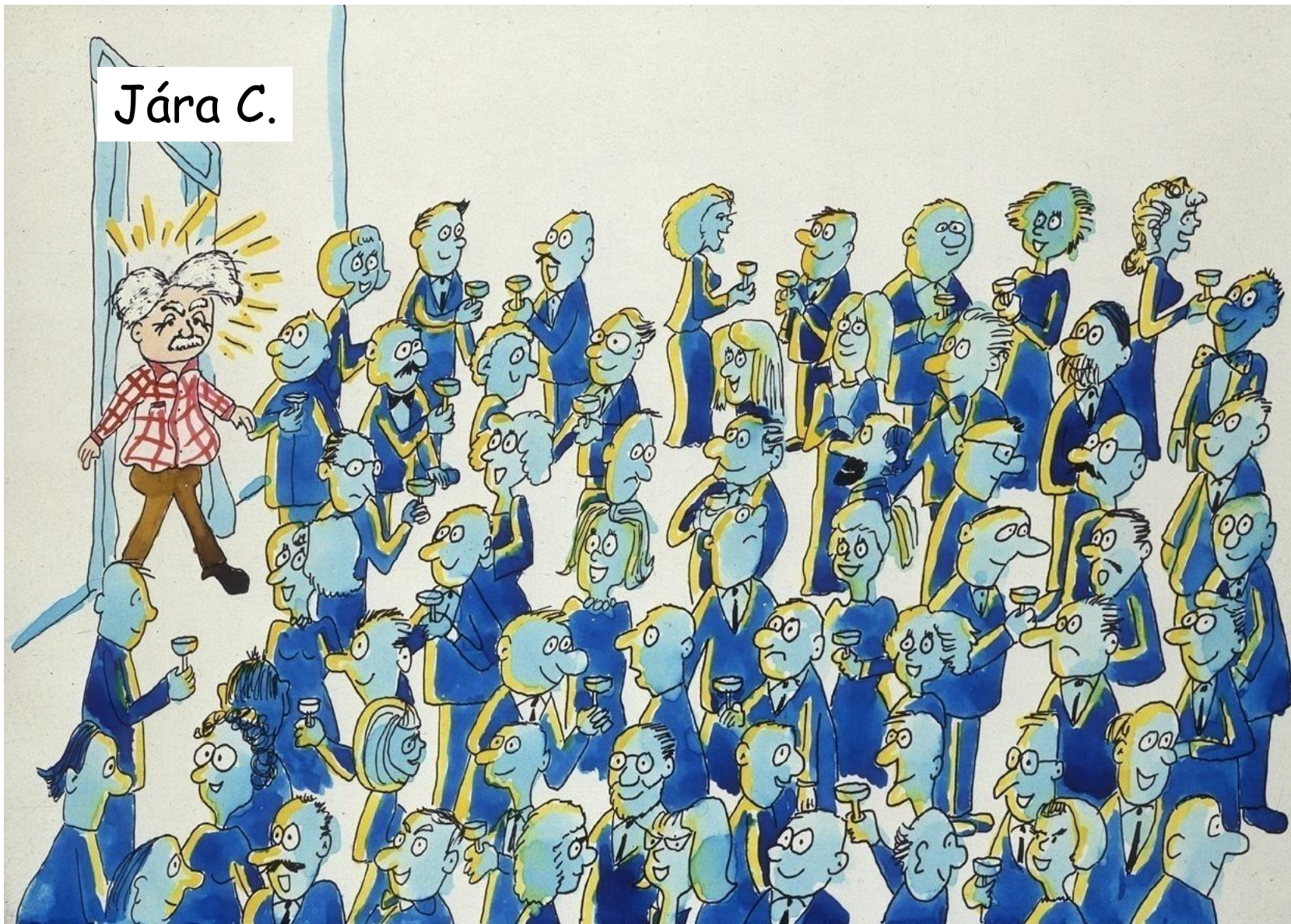
Standardní model spočívá na existenci speciální částice: **Higgsova bosonu**. Tato částice pochází z **neviditelného pole, které naplňuje celý prostor**. I když se vesmír zdá prázdný, toto pole v něm je přítomno. **Bez něj bychom neexistovali, protože částice nabývají hmotnost při kontaktu s tímto polem.**

Druhá a třetí věta jsou matoucí, poslední je **nesprávná**: **Higgsův boson nemusel existovat** a jeho experimentální objev byl **skutečně objev** ne potvrzení něčeho, co existovat muselo.

Standardní způsob „vysvětlení“ původu hmotností částic standardního modelu



Jára C.



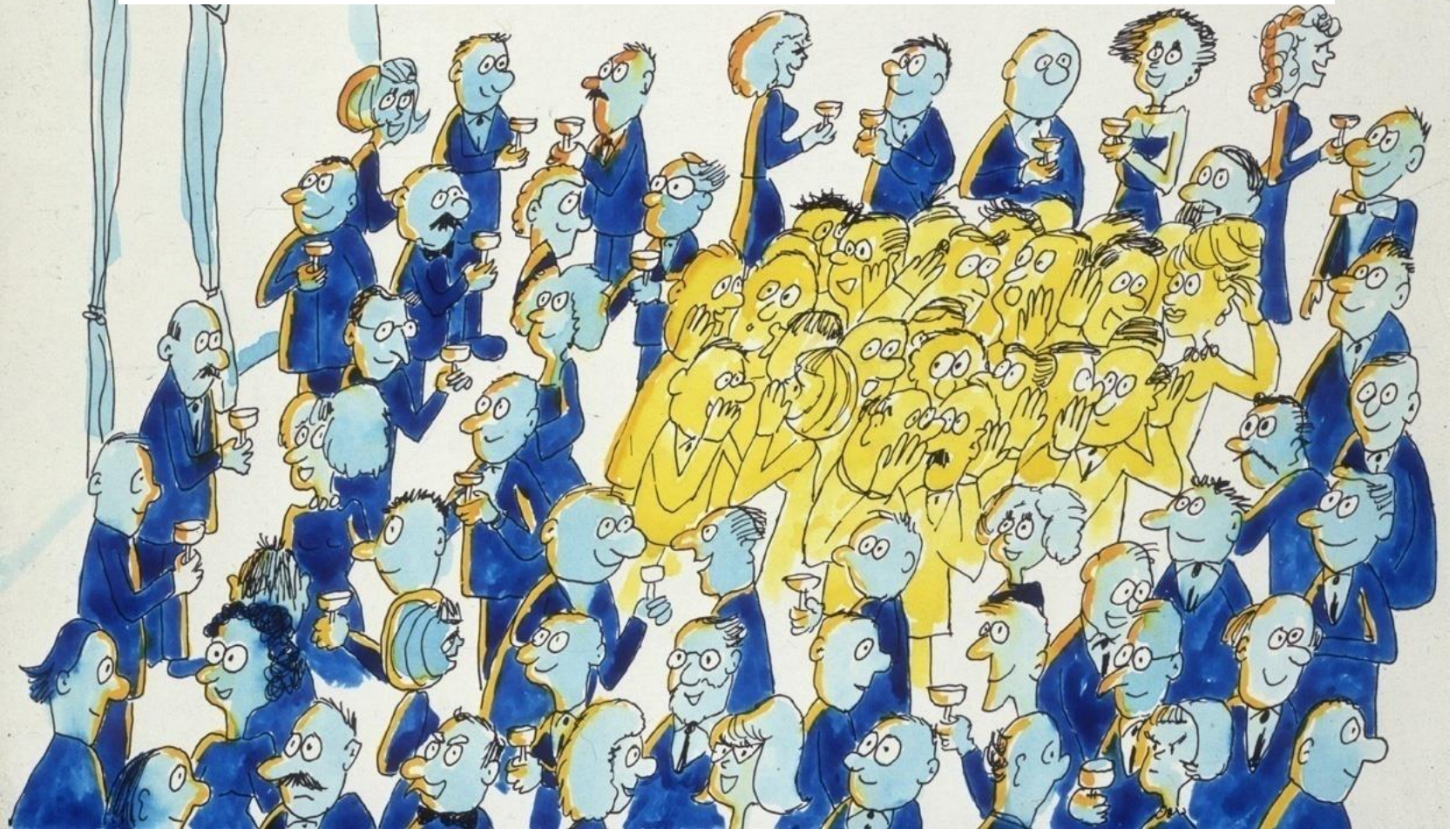
se obtížně prodírá Higgsovým polem a získává tím svou „hmotnost“.



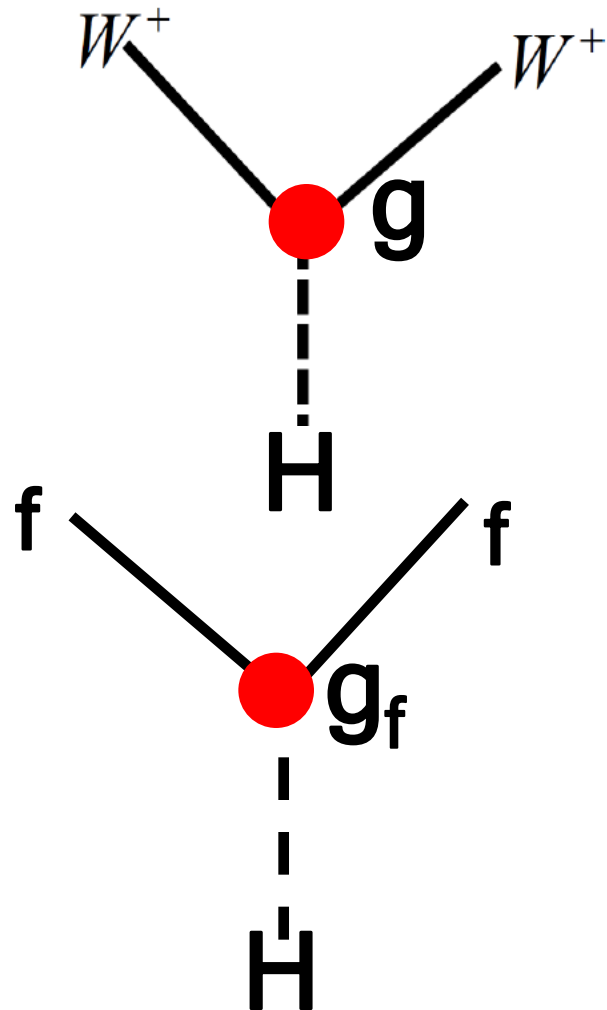
fáma, že jde Jára



se sama „šíří“ Higgsovým polem a představuje analogii Higgsova bosonu



Tyto obrázky odrážejí skutečnost, že **hmotnosti částic jsou úměrné vazbovým konstantám**, které určují sílu vazby Higgsova bosonu a dané částice :



$$m_W = g v$$

$$m_f = g_f v$$

Nesprávně
interpretováno
jako hustota
Higgsova pole
ve vakuu

Přílišná snaha „vysvětlit“ roli Higgsova bosonu a hlavně Higgsova pole, však vede

- ✚ k **nesprávnému tvrzení**, že i v prázdném prostoru je **přítomno Higgsovo pole**

- ✚ a **ignorování skutečné role Higgsova bosonu** v dnešní teorii

Správná interpretace této úměrnosti:

Částice standardního modelu mají nenulové hmotnosti a proto v něm existuje Higgsův boson, **který zajišťuje jeho konzistenci tím, že se všemi částicemi interaguje.**

A co by se stalo, kdyby Higgsův boson neexistoval?

Nám nic, my bychom určitě existovali i tak, jen by to znamenalo, že v našich znalostech základních kamenů hmoty a sil mezi nimi působících je mezera, kterou by bylo potřeba zaplnit **něčím jiným než Higgsovým bosonem**.

Ale to by nebyla žádná tragédie, spíš by nás to nutilo vymýšlet jiné léky.

Tím, že Higgsův boson objeven byl a že se zdá, že má ty vlastnosti, které mít má, **máme dobrou teorii**, která je plně matematicky i fyzikálně konzistentní a **můžeme ji proto používat ve snaze pochopit fyzikální procesy na Zemi i ve vesmíru**.

Hmotnost bez hmotnosti

Hmotnosti nukleonů vznikají mechanismem, který je **důsledkem**

- pozoruhodné **vlastnosti silných sil** působících mezi kvarky **na velkých vzdálenostech** a

- prvního** Einsteinova zákona
$$m=E/c^2$$

- jenž nemá s Higgsovým bosonem **nic společného**.

Výchozím bodem je Einsteinova práce z roku 1905

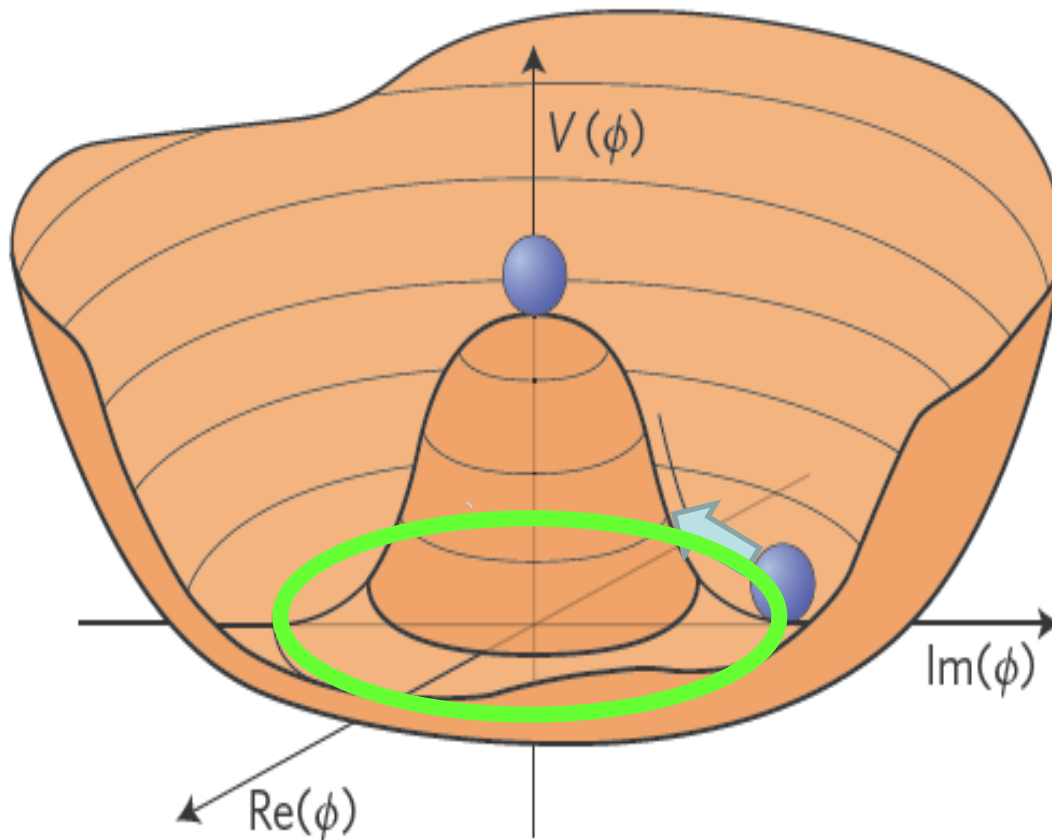
Závisí setrvačnost tělesa na energii, kterou obsahuje?
jež obsahuje výše uvedený vztah. Pro moderní fyziku je **energie primárnějším pojmem než hmotnost**.

Doporučuji knihu **Franka Wilczeka**, laureáta NC za fyziku v roce 2004 v níž je tento mechanismus popsán.



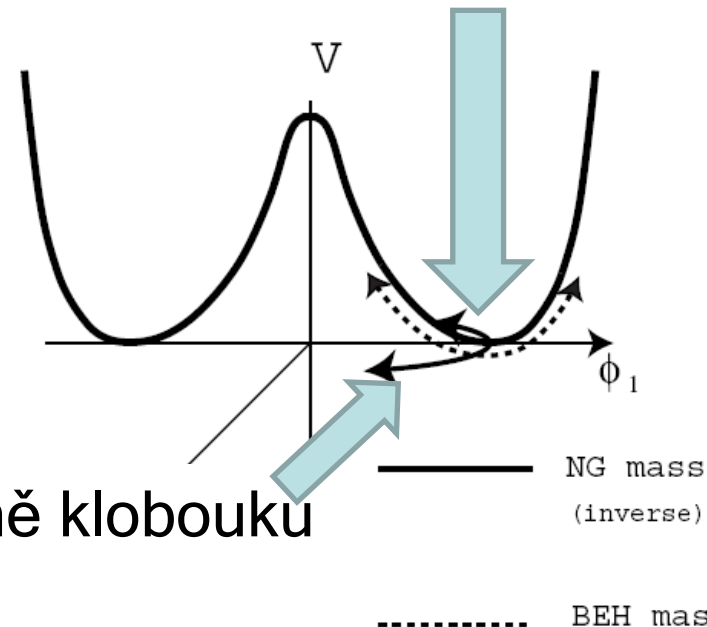
Konec

Příklad: Potenciál $V(\Phi)$ je invariantní vůči rotaci v rovině komplexní proměnné Φ , ale jeho minimum je zjevně **degenerované**:



Higgsův boson:

kmity kolem minima odpovídají částici s hmotností přímo úměrnou lokální křivosti v minimu.



Nambu-Goldstoneův boson: pohyb po dně klobouku odpovídá částici s nulovou hmotností.

Konkrétní příklad: samoiteragující komplexní skalární pole

$$\mathcal{L} = \partial_\mu \varphi \partial^\mu \varphi^* - V(\varphi) \quad \text{kde} \quad V(\varphi) = -\mu^2 \varphi \varphi^* + \lambda (\varphi \varphi^*)^2$$

Změňme souřadnice: $\varphi(x) = \rho(x) \exp\left(i \frac{\pi(x)}{v}\right) \quad v = \frac{\mu}{\sqrt{\lambda}}$

$$\mathcal{L} = \partial_\mu \rho \partial^\mu \rho + \frac{1}{v^2} \rho^2 \partial_\mu \pi \partial^\mu \pi - \lambda \left(\rho^2 - \frac{v^2}{2}\right)^2 + \frac{1}{4} v^4$$

Posuňme radiální souřadnici: $\rho = \frac{1}{\sqrt{2}}(\sigma + v)$

$$\mathcal{L} = \frac{1}{2} \partial_\mu \sigma \partial^\mu \sigma + \frac{1}{2} \partial_\mu \pi \partial^\mu \pi - \frac{1}{4} \lambda (\sigma^2 + 2v\sigma)^2 \rightarrow V(\sigma)$$

$$+ \frac{1}{2v^2} \sigma^2 \partial_\mu \pi \partial^\mu \pi + \frac{1}{v} \sigma \partial_\mu \pi \partial^\mu \pi$$

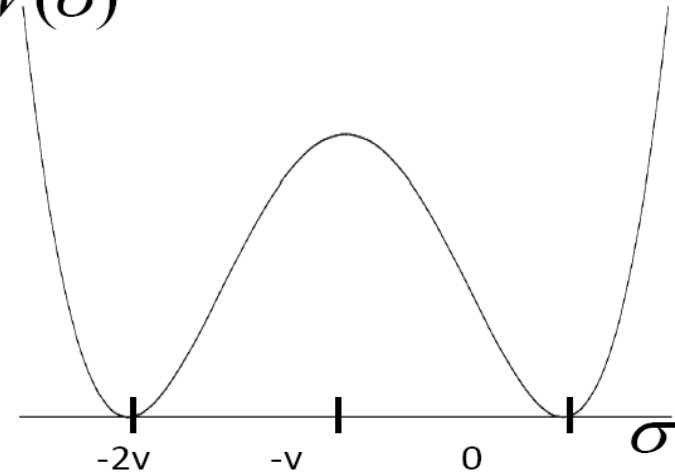
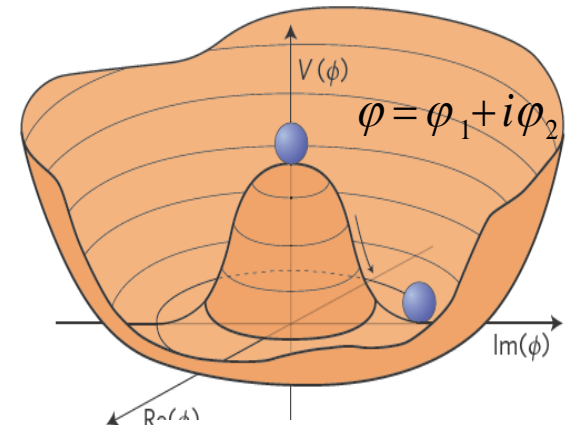
a rozdělme členy na dvě skupiny

$$\mathcal{L} = \frac{1}{2} \partial_\mu \sigma \partial^\mu \sigma + \frac{1}{2} \partial_\mu \pi \partial^\mu \pi - \lambda v^2 \sigma^2 + \text{interactions}$$

„Higgsův boson“

Goldstoneův boson“

$$m_\sigma = \mu\sqrt{2} \quad , \quad m_\pi = 0$$



Abelovský Higgsův mechanismus v moderním podání

$$\mathcal{L}_{Higgs} = \frac{1}{2} (\partial_\mu \varphi)(\partial^\mu \varphi)^* - \lambda (\varphi \varphi^* - \frac{v^2}{2})^2$$

je invariantní vůči transformacím (viz „odvození“ QED)

$$\begin{aligned}\varphi'(x) &= e^{i\omega(x)} \varphi(x) \\ \varphi^{*'}(x) &= e^{-i\omega(x)} \varphi^*(x) \\ A'_\mu(x) &= A_\mu(x) + \frac{1}{g} \partial_\mu \omega(x)\end{aligned}$$

Volnost ve volbě $\omega(x)$ nám dává možnost vzít „šikovně“

$$\omega(x) \equiv -\frac{\pi(x)}{v}$$



$$\begin{aligned}\varphi(x) &= \rho(x) \exp\left(i\frac{\pi(x)}{v}\right) \\ \rho'(x) &= \rho(x) \\ \pi'(x) &= \pi(x) + v\omega(x) \\ A'_\mu(x) &= A_\mu(x) + \frac{1}{g} \partial_\mu \omega(x)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho'(x) &= \rho(x) \\ \pi'(x) &= 0 \\ A'_\mu(x) &= A_\mu(x) - \frac{1}{gv} \partial_\mu \pi(x)\end{aligned}$$

posuňme radiální pole o vzdálenost od minima
a zavedme pole, které bude charakterizovat
oscilace kolem tohoto minima

$$\rho = \frac{1}{\sqrt{2}}(\sigma + v)$$

označme $B_\mu(x) \equiv A'_\mu(x) = A_\mu(x) - \frac{1}{gv} \partial_\mu \pi(x)$

NG boson
absorbován
do kalibrač-
ního pole B

Po dosazení do výchozího lagrangiánu dostaneme

Po uvedeném fixování kalibrace **z teorie zcela
zmizí Nambu-Goldstoneův boson**, jeho jediná stopa
je v definici vektorového pole B.

a po jednoduché úpravě

$$\begin{aligned} \mathcal{L}_{Higgs}^{(U)} = & \frac{1}{2} \partial_\mu \sigma \partial^\mu \sigma - \lambda v^2 \sigma^2 - \frac{1}{4} G_{\mu\nu} G^{\mu\nu} + \frac{1}{2} g^2 v^2 B_\mu B^\mu \\ & + g^2 v \sigma B_\mu B^\mu + \frac{1}{2} g^2 \sigma^2 B_\mu B^\mu - \lambda v \sigma^3 - \frac{1}{4} \lambda \sigma^4 \end{aligned}$$

Lagranžian lze alternativně vyjádřit pomocí kalibrační vazbové konstanty g a hmotností m_σ a m_B

hmotové členy: $\frac{1}{2}m_\sigma^2\sigma^2$

$\frac{1}{2}m_B^2B_\mu B^\mu$

$$\mathcal{L}_{Higgs}^{(U)} = \frac{1}{2}\partial_\mu\sigma\partial^\mu\sigma - \lambda v^2\sigma^2 - \frac{1}{4}G_{\mu\nu}G^{\mu\nu} + \frac{1}{2}g^2v^2B_\mu B^\mu + g^2v\sigma B_\mu B^\mu + \frac{1}{2}g^2\sigma^2B_\mu B^\mu - \lambda v\sigma^3 - \frac{1}{4}\lambda\sigma^4$$

interakce: $+gm_B\sigma B_\mu B^\mu + \frac{1}{2}g^2\sigma^2B_\mu B^\mu - \frac{g}{2}\frac{m_\sigma^2}{m_B}\sigma^3 - \frac{g^2}{8}\frac{m_\sigma^2}{m_B^2}\sigma^4$

standardní vazba polí σ a B_μ

tj. hmotnosti určují interakce!

Tyto dodatečné členy lze odvodit z požadavku, aby teorie byla smysluplná aniž vyjdeme z kalibračního principu.

Elementární částice získávají hmotnost interakcí s Higgsovým bosonem

Standardní, ale chybné, vysvětlení role Higgsova bosonu

<http://home.web.cern.ch/about/updates/2013/08/fermilabs-don-lincoln-explains-higgs-field>

Mýty šíří i CERN

<http://home.web.cern.ch/about/physics/search-higgs-boson>

Elementary particles may have gained their mass from an elusive particle - the Higgs boson.

What we now call the **Brout-Englert-Higgs mechanism** gives a mass to the W and Z **when they interact with an invisible field, now called the “Higgs field”, which pervades the universe.**



Není pravda