

Didactics of Modern Physics

Grzegorz Karwasz

Katedra Dydaktyki Fizyki UMK

Part III: Physics is Fun

„On the Track of Modern Physics”

EU Science & Society, 2005

„Physics is Fun” EU S&S 020772

On the Track of Modern Physics

ENTER

Summary

Physics is Fun

Commission of the European Communities, Research Directorate-General,
Structuring the European Research Area Specific Support Action:
Science and Society Project No. 020772 PhysFun



Physics is Fun (2005-2006)



Physics is Fun: two thematic blocks

Summary

This CD-ROM contains the material prepared and obtained from external authors (as indicated) within the EU Science and Society Project No. 020772 "Physics is Fun". Part of this material was presented on exhibitions for teachers and students in Poland, Slovakia, Italy and France in 2005-06. Apart from that from external sources, this material is of free-use, on condition of acknowledgement.

1. In the first part of the project "Physics and Toys" (see a separate CD-ROM) we present in an easy way some basic concepts of Physics, like the energy conservation or laws of the geometrical optics.
2. In "Modern Physics" we show that Science of today is reaching far beyond the "scholastic laws" of the past. Still, the laws in question, new theories and great discoveries can be explained with the application of simple models (toys) and common ideas. Physical sciences should be understood, not only believed in.
3. In popular belief (and often in the media) Modern Physics tends to be associated with 'big' discoveries, like the discovery of new elementary particles, and with often expensive research work. Here we introduce other less popular branches of Physics, like Physics of new materials, and its new applications in biology, environment sciences and medicine.
4. Finally, it is a great pleasure for us to introduce a project in which Science is not a static structure. Lay people can play with its rules and concepts, as many great physicists used to do. We hope such an approach will help us attract new enthusiasts of Physics.

Authors

Introduction: Physics of XXth century

On the Track of Modern Physics



[Intro](#) | [Tracks](#) | [Posters](#) | [Multimedia](#) | [Foton](#) | [Guests](#) | [Nobel](#) | [Nature](#) | [Timeline](#) | [Linki \(pl\)](#) | [Europe](#) | [Overseas](#) | [Epilogue](#) | [Notes](#) | [Exhibitions](#) | [Credits](#)



[Jumping](#)



[Walking](#)

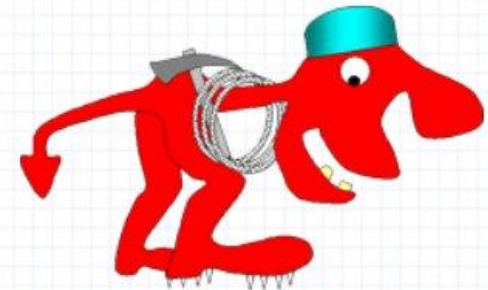


[Honey comb](#)



On the Track of Modern Physics

Officially, the date beginning the Modern Physics is Planck's lecture in Berlin in December 1900, in which "quants" of energy are nominated for the first time. Quants created new Physics areas, like quantum mechanics and electrodynamics and changed our view, not only on Physics but on the Philosophy of Knowledge, bringing also new revolutionary applications, like lasers.



However, giving any date is a simplification. Already in sixties of the XIX century electron beams ("cathodic rays") were produced while as a official date of the "discovery" of electron Thompson's article written in 1897 is taken. Beginning of the XX century established the idea of atom (also through Einstein's paper about Brown's motions and Perrin's works) but by the end of XIX century the indivisibility of atom was "mined" by Mrs and Mr Curie works.

Physics cataloguing is also an oversimplification, especially in Modern Physics. Mass spectrometry was used to measure atom masses and for the discovery of isotopes. Today, it is widely used in food quality validation. Quarks and gluons, neutron stars and black holes are all fascinating, but no less fascinating is biophysics and geophysics. And finally solid state physics, persistently digging under the main stream of the discoveries, but without which also this (virtual) exhibition would not be possible.

Navigating: Jumping

On the Track of Modern Physics

[Intro](#) | [Tracks](#) | [Posters](#) | [Multimedia](#) | [Foton](#) | [Guests](#) | [Nobel](#) | [Nature](#) | [Timeline](#) | [Linki.pl](#) | [Europe](#) | [Overseas](#) | [Epilogue](#) | [Notes](#) | [Exhibitions](#) | [Credits](#)

Jumping

- [A-tom, i.e. in-dividual](#)
- [A-tom, or Uni-form?](#)
- [XX Century = Einstein century](#)
- [E pur si muove!](#)
- [Industrious PhD student](#)
- [Spectroscopy, or ghost science](#)
- [See, to believe](#)
- [How are you, Miss Orchid?](#)
- [Salad dressing](#)
- [A mystery from the chimney](#)
- [Charm of Charmonium](#)
- [Super-multiplets](#)
- [Enigmatic quarks](#)
- [How to find a quark?](#)
- [Pauli and neutrINO](#)
- [Higgs wanted](#)

Rainbow in the sky



Carmen A. Busko



Carmen A. Busko

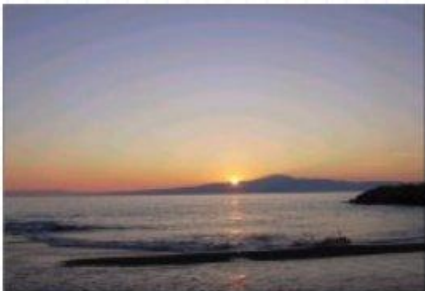


Carmen A. Busko



Look! how blue can be different!

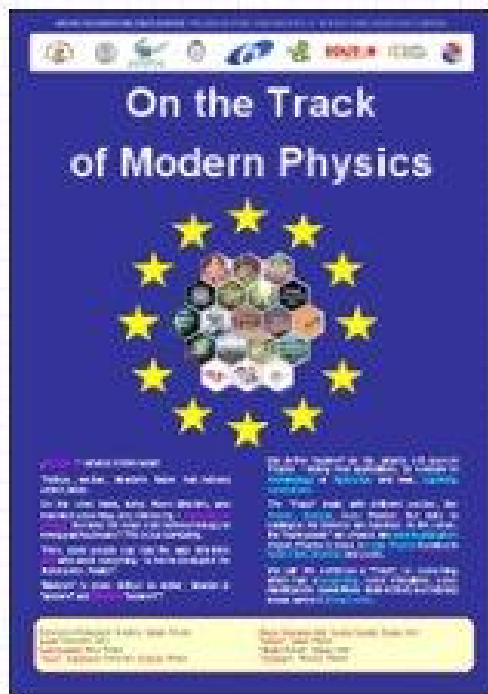
All difficult words come from Greek. All, but “spectrum”. First used by Cicerone, in Italian means *spettro* (=ghost), *simulacro* (= figure or sculpture). Spectroscopy deals with images:



Posters

Posters - On the track of Modern Physics

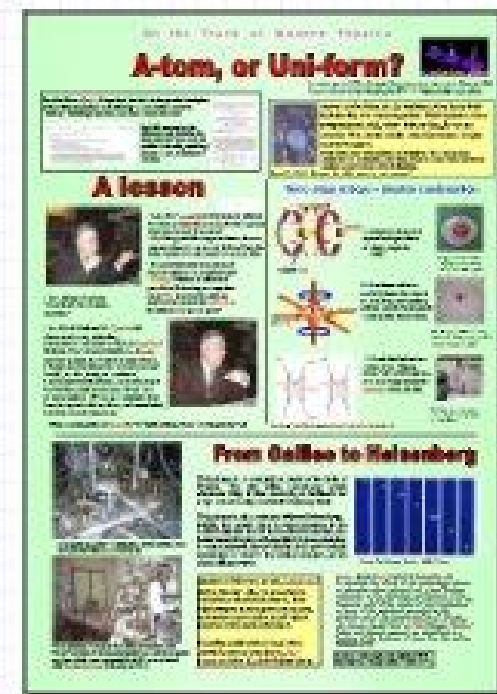
Title Poster



A-tom, i.e. in-dividual



A-tom, or Uni-form?



Introduction

„**Physics**” - what a terrible word!

Trolleys, vectors, Newton's forces that nobody understands.

On the other hand, funny Albert Einstein, who invented something very interesting - **that mass is energy**. But does the mass exist without energy or energy without mass? This is just confusing.

Then, some people say that this was Einstein's **wife** who wrote everything - to her he dedicated the Nobel price. Really?

"Modern" is more difficult to define: Newton is "ancient" and **Einstein** "modern"?

We define "modern" as this, what is still open in Physics - finding new applications, for example in **Archaeology** or **Agriculture** and new, **surprising conclusions**.

The "Track" deals with different sectors, like **Atomic**, **Nuclear**, **Astro** Physics. But trials to catalogue the Science are hopeless. In this sense, the "honeycomb" we show is an **oversimplification**: Atomic Physics is close to **X-ray Physics** but also to **Solid-state**, **Nuclear** and so on.

We call this exhibition a "Track", i.e. something which has a **beginning**, some indications, some ramifications (sometimes dead-ended) but nobody knows where it **(if ever) ends**.

Pomeranian Pedagogical Academy, Ślupsk, Poland
Trento University, Italy
École Centrale Paris, France
"Foton", Jagiellonian University, Kraków, Poland

Museo Tridentino delle Scienze Naturali, Trento, Italy
"Soliton", Sopot, Poland
"Dudka Design", Milano, Italy
"Ambernet", Warsaw, Poland

Multimedia files

Multimedia files



photos

sounds



movies

simulations



http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Wystawy_archiwum/z_omegi/multi.html

Multimedia files: photos

Spectroscopy (2)

You can observe light splitting on sky:
in rainbow, at sunset and sunrise (in light scattering)



Cadine - Trento



Itea (Greece)

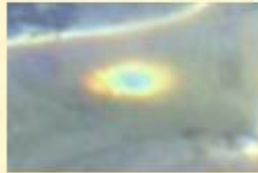


Monemvasia (GR)



Water with milk

but also on shallow water, on snow, in ice, on the beach



Sharm-el-Sheik



Folgaria



Folgaria



Isola d'Elba

in glass, zirconia, and (someone) in diamonds



Multimedia files: sounds

Electron travels on a circular orbit in a way that de Broglie wave is a standing one - position of arrows are constant.

Like the vibrating wine glass



or a "Chinese" bowl



The bowl can also vibrate making not 4 but 6 arrows on the circle -

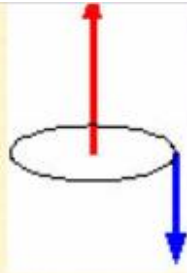


it "plays" not its first (fundamental) but higher harmonics



For the hydrogen atom this would be the third orbit.

Multimedia files: movies

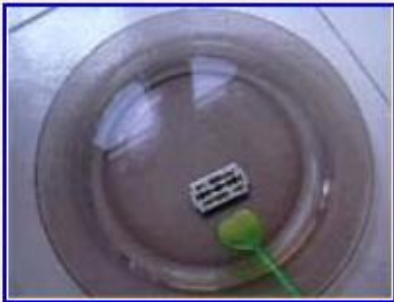


Atomic structure - Lamb's correction

Electrons in hydrogen atom are **attracted** by the nucleus but **less than they should be** .

It seems that **"empty" vacuum** is filled with something.

The plastic stick when electrically charged, attracts pieces of paper; it also attracts blade, unless the blade is not in vacuum.



continuation: „in this fortnight”

W tym dwu-tygodniu (ang. "[fortnight](#)") proponujemy:

Astrofizyka w pigułce: [Po co nam nowe planety?](#)
09/01/2017

Nie tylko dla pań: Manus x Machina (autor: prof. Helena Dodziuk)

- [Wystawa Haute Couture... \(wersja polska\)](#)
- [Exhibition of Haute Couture... \(in English\)](#)

17/08/2016

Nowe polskie sukcesy - kolejne uzupełnienie do artykułu p. prof. Heleny Dodziuk:

- [Wydrukowane w 3D modele serca płodów zdrowych i z wadami \(wersja polska\)](#)
- [3D Printed Models of Normal and Abnormal Fetal Hearts \(in English\)](#)

08/06/2016

Życie poza Ziemią: [Lot na Marsa](#)
11/02/2016

Oficjalnie, za datę początkującą współczesną fizykę uważa się wykład Plancka w Berlinie w 1900 roku, w którym po raz pierwszy pada pojęcie kwantów energii. Kwanty, zrodziły nowe działy fizyki, jak mechanikę i elektrodynamikę kwantową, zmieniły nasze zapatrywanie nie tylko na naukę, ale i na filozofię poznania, doprowadziły do nowych, rewolucyjnych zastosowań, jak choćby lasery. >>



Strona nadal w budowie... W szczególności, autorzy będą wdzięczni za **linki** do stron popularno-naukowych polskich laboratoriów (jak np. na stronie <http://www.science.unitn.it/%7Ekarwasz/galaxy-wind.html>)

Interdisciplinary connections (Latin)

Fortnight - (Br.E.) 2 weeks

Longman Dictionary of Contemporary English, Longman Group Limited, 1978

Nie mówiąc już o tym, że u Rzymian **trzeci „tydzień”** miał właśnie **15 dni**.
A w ogóle, to pierwszy miał 5, drugi 10 a trzeci 15*.

*) Tak naprawdę, to Rzymianie nie lubili liczb parzystych. Tak więc miesiąc, czyli „księżyc” miał nie 30 dni, ale raz 29 a raz 31 (marzec, maj, lipiec, październik). Czasem trzeci „tydzień” miał 13 dni, czasem 15.

- pierwszy dzień pierwszego „tygodnia”, np. **1 styczeń** nazywał się **calenda** (stąd kalendarz)
- pierwszy dzień drugiego tygodnia, czyli np. **5 styczeń** nazywał się **nona**
- pierwszy dzień trzeciego tygodnia, czyli np. **13 styczeń** ale 15 marzec nazywał się **idi****

Bierze się to z faz Księżyca: nów (czyli początek) i pełnia (czyli połowa). **Nona** wypadła gdzieś pośrodku, nieco po pierwszej kwadrze.

Było to dość skomplikowane, ale działało się to w czasach, kiedy światło Księżyca było jedynym światłem w nocy.

** A **idi** marcowe są słynne po zabójstwie Juliusza Cezara, który w ten dzień zginął, mimo proroctwa, jakie znał.

Kalendarz rzymski [edytuj]

„ad calendas graecas” = nigdy

Ten artykuł od 2012-10 wymaga **zweryfikowania** podanych informacji.
Należy podać wiarygodne źródła, najlepiej w formie **przypisów bibliograficznych**.

Updating, by adding new information

How many quarks is there in the proton?

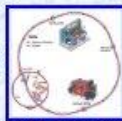
Ile kwarków jest w protonie?

Powinno być trzy. A ile jest? Tak na oko trzy, ale naprawdę dużo więcej tylko bardzo „rozcieńczonych”.

Kiedy mówimy o kwarkach, mówimy o obiektach kwantowych. Badania struktury protonów wskazują, że, co prawda, jest w nim około dwóch kwarków *up* (tzn. stanowią one $2/3 \sim 0.6$) protonu i około jeden (~ 0.3) kwarku *down*, ale oprócz tego jest całe *morze* kwarków wirtualnych. Skąd one? Z glonów, które muszą być w protonie, aby wiązać trzy kwarki *walencyjne*.

I tu się kłania mechanika kwantowa, a właściwie elektrodynamika kwantowa. Tak jak próżnia nie jest próżna a wypełniona wirtualnymi fotonami (stąd się bierze mała, ale istotna poprawka do poziomów energetycznych atomu wodoru i stąd stosunek giromagnetyczny dla elektronu nie wynosi 2.0 ale 2.00012), tak glony w protonie generują wirtualne kwarki.

Jak pokazują eksperymenty na akceleratorze [Hera](#)



w Hamburgu, wkład tych wirtualnych kwarków do masy (a właściwie *pędu*)

protonu jest nie taki duży, ale za to jest tych kwarków (i glonów) całe mnóstwo!

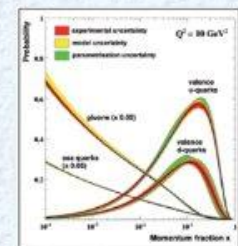
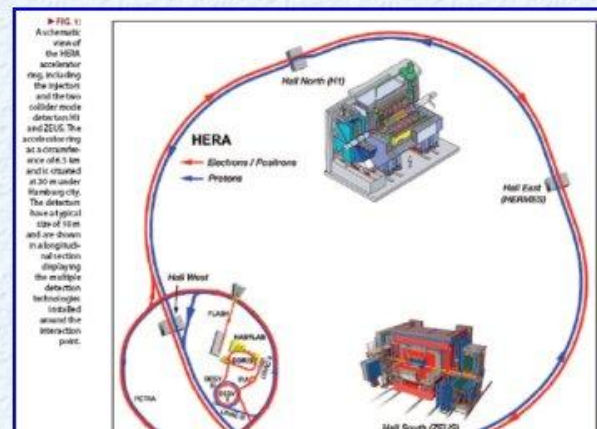
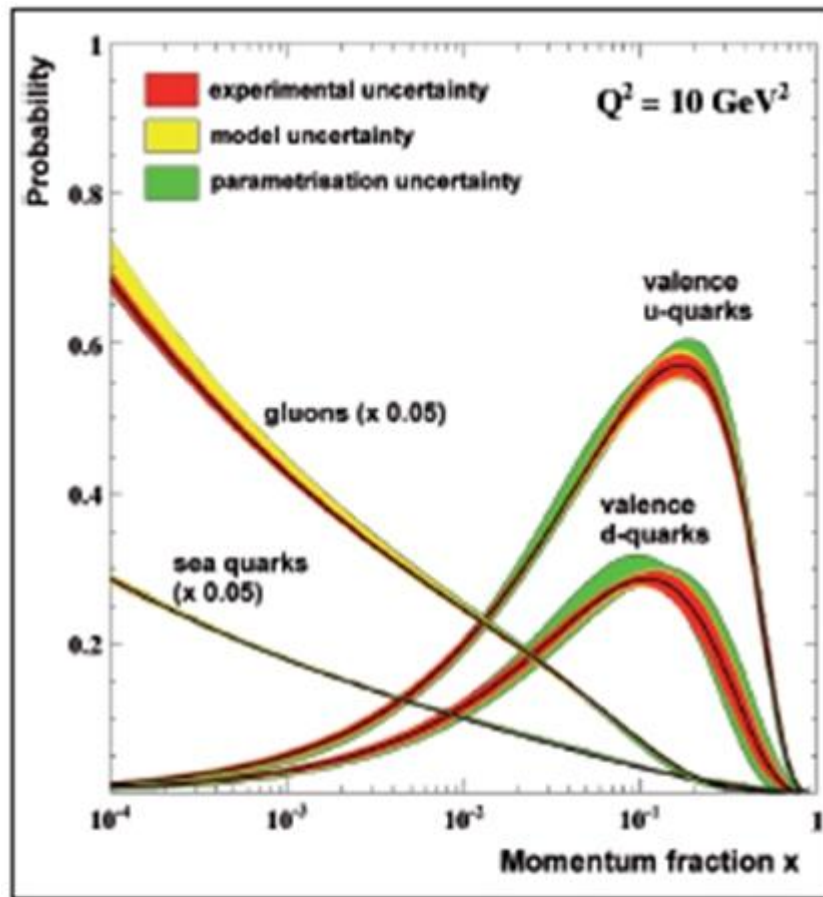


FIG. 4. Distribution of quarks and gluons in the proton as a function of the parton momentum fraction x . The “valence” quark distribution peaks around $x \approx 0.3$, as expected for the three constituent quarks building the proton. The distribution of the gluons as well as that of quarks originating from gluon fluctuations (“sea”) dominates the proton content at low x (these distributions are shown after division by a factor 20). The obtained precision is impressive, in particular at low x , below 10^{-1} , where no data were available before HERA.



Complex notions (rising difficulty)



▲ **FIG. 4:** Distribution of quarks and gluons in the proton as a function of the carried proton momentum fraction x . The “valence” quark distribution peak is around $x = 1/3$, as expected for the three constituents quarks building the proton. The distribution of the gluon as well as that of quarks occurring from gluon fluctuations (“sea”) dominate the proton content at low x (these distributions are shown after division by a factor 20). The obtained precision is impressive, in particular at low x , below ~ 0.01 , where no data was available before HERA.

„Valence” quarks
„Sea” of quarks
Gluons

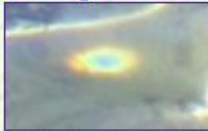
More stories to be found...

Niezabezpieczona | dydaktyka.fizyka.umk.pl/Wystawy_archiwum/z_omegi/morespectr-en.html

Sky spectroscopy



Red Sea spectroscopy



Sharm-el-Sheik, Sinai, 10.02.2004

Alpen snow spectroscopy



Folgaria, Trentino, 06.01.2003

Versailles spectroscopy



Versailles. 06.12.2003

See you on th next lecture

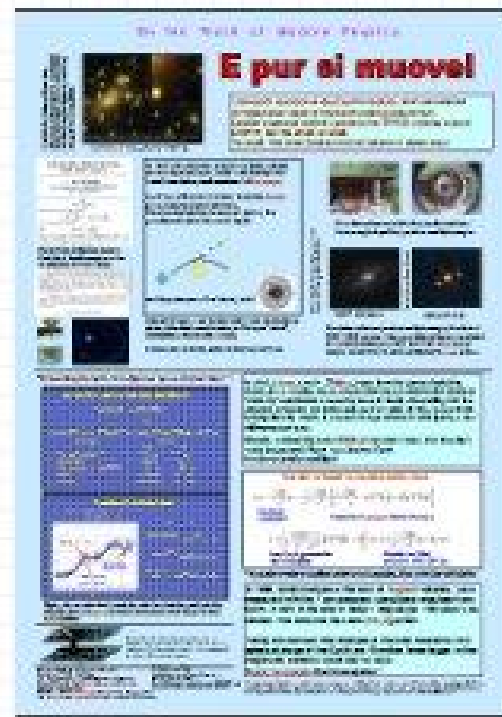
http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Wystawy_archiwum/z_omegi/morespectr-en.html

Posters

XX Century = Einstein century



E pur si muove!



Industrious PhD student



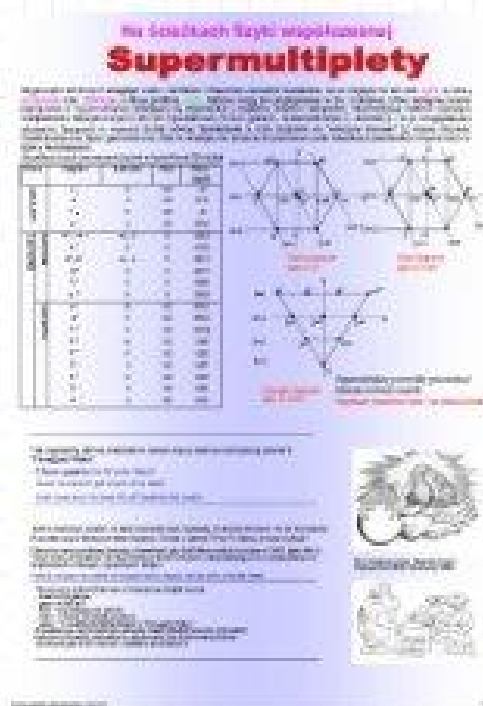
Didactical poster

Posters - On the track of Modern Physics

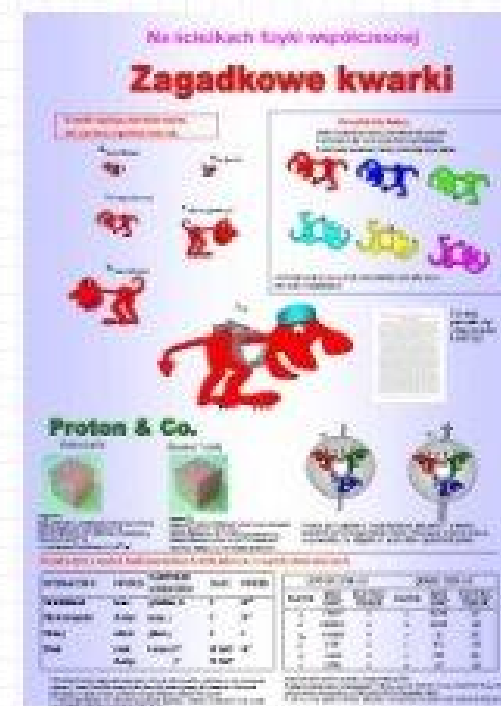
Czar Charmonium



Supermultiplety



Zagadkowe kwarki



Posters - Sur la Route de la Physique Moderne

Affiche De Titre



Tout tremble



Chaud ou froid?



Environment, energy, hydrogen

Posters - Samochód na wodę

Samochód na wodę



Czy to koniec tanich lotów?



Wodór nośnik energii o emisji zero



How should we read the posters?

On the Track of Modern Physics

How to find a quark?

You need a little luck and a huge accelerator – a ring of several kilometres diameter, consuming electricity like a medium-size city.

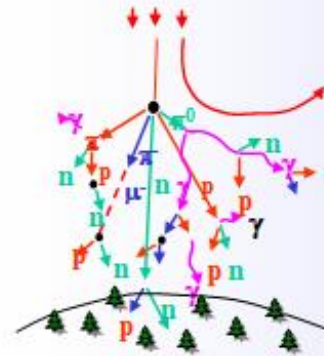
1, 2. The first pair – “up” and “down” are everywhere, being components of atomic nuclei



3. The lighter of the second pair, “strange” is a constituent of particles heavier than proton and neutron and observed in cosmic radiation in 40-ies. These strange particles can be captured atomic nuclei for a glimpse, before decaying. This picture shows a first noticed trace in the photographic emulsion of a decaying hypernucleus.

M. Gerasimovic and J. Radvanyi, J. Phys. Chem. 44 (1953), 348

Cosmic rays

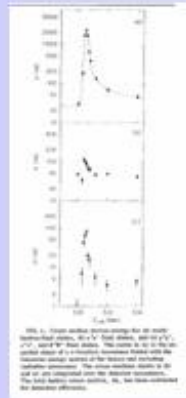


Cosmic rays

Cosmic rays were first found to be of extraterrestrial origin by Victor F. Hess (c.1912) when he recorded them with electrometers carried to high altitudes in balloons, an achievement for which he won the Nobel Prize in 1936. They were so named in 1925 by R. A. Millikan, who did extensive research on them.

Cosmic rays are mainly energetic protons, of 1 GeV energy, but not only.

How should we read the posters?



L.E. Augustin et al., Phys. Rev. Lett. 33, 1403-1406 (1974)

4. The “charm”, completing the second generation was subject to double hunting: in Brookhaven a narrow peak was observed at 3.1 GeV for electron- positron pairs production in $p+Be$ collisions, in Stanford vice-versa – a peak for hadron production in electron- positron annihilation; the papers were submitted with one day difference, the $c\bar{c}$ meson brings a double name J/ψ and the Noble prize was shared by both groups

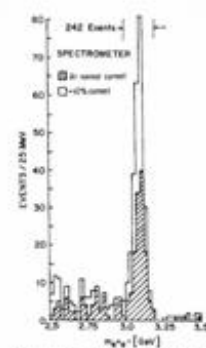


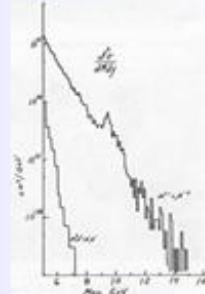
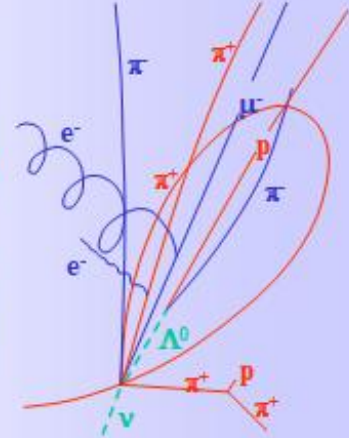
Fig. 2. Mass spectrum showing the existence of J/ψ . Results from two spectrometer settings are plotted showing that the peak is independent of spectrometer currents. The run at reduced current was taken two months later than the normal run.

J.J. Aubert et al. Phys. Rev. Lett. 33, 1404-1406 (1974)

Discovery of the Charmed Baryon

The photograph of the event in the Brookhaven 7-foot bubble chamber which led to the discovery of the charmed baryon (a three-quark particle) is shown. left. A neutrino enters the picture from below (dashed line) and collides with a proton in the chamber's liquid. The collision produces five charged particles—a negative muon, three positive pions, and a negative pion—and a neutral lambda. The lambda produces a characteristic 'V' when it decays into a proton and a pi-minus.

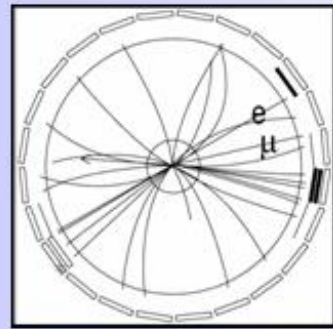
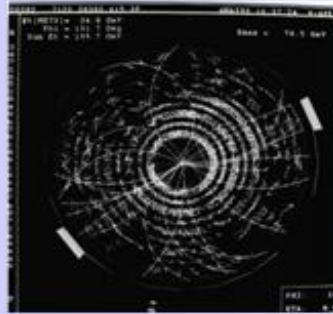
<http://www.bnl.gov/bnlweb/history/charmed.asp>



5. The third generation was first predicted theoretically by M. Kobayashi and T. Masakawa in 1974. The “bottom” quark called also “beauty” was observed in 1977 in Fermilab in production of muons from proton scattering on Cu or Pt, as a faint “bump” (Y - Upsilon meson $b\bar{b}$) at 9.5 GeV mass.

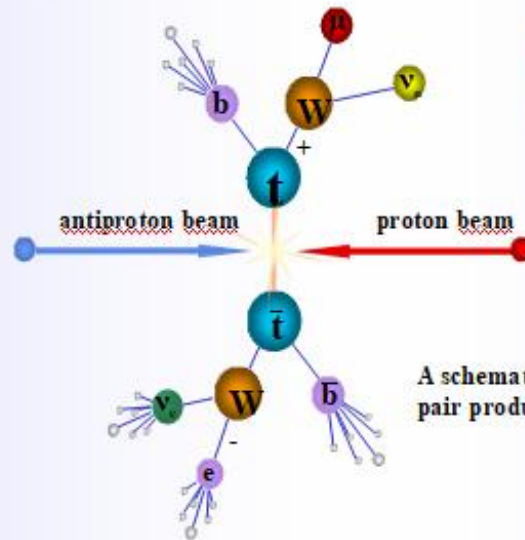


How should we read the posters?



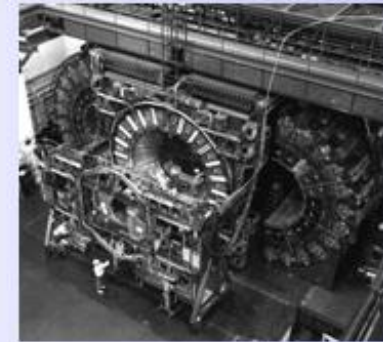
A computer simulation of a proton-antiproton collision. The tracks show the paths of different kinds of particles created in the collision.

Special credits to <http://www.fis.uniroma2.it/~fisica/disciplines/index.html>
- Marjorie Brodeur



A schematic of top-quark pair production

6. The last, "top" is so heavy (175 GeV) that becomes a father for generations of other particles – so called jets; its mass was predicted correctly by the theory and was measured with the best accuracy in the whole quark zoo.



Bigger and bigger machines are needed to find small quarks.

So if you have no money, or you do not believe in new quarks, you can find it always in the bakery shop in Trento, Italy.



Interdisciplinarity, history, culture

Tout tremble



J.-B.-J. Fourier (1768-1830).

La première, contenant un des décrets de Ptolémée V(196 D.C.) inscrit en hiéroglyphes, démotique et grec permit en 1822 à J.F. Champollion de déchiffrer l'écriture égyptienne.

Napoléon fit en Égypte deux précieuses découvertes: la tablette en basalt, dite "La Rosette" et le professeur d'analyse de l'École Polytechnique Jean-Baptiste-Joseph Fourier.



La Pierre de Rosette, British Museum

$$F(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) e^{-i\omega t} dt$$
$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} F(\omega) e^{i\omega t} d\omega$$

Transformé de Fourier et transformé inverse

L'analyse de Fourier permet de déchiffrer les composantes d'une fonction périodique quelconque.

Harmonie de verre

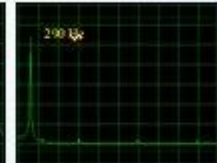
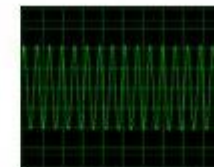
Ce n'est pas facile de obtenir un son simple càd monochromatique. Seulement un bon verre à vin peut le produire. Si on ajoute du vin, le chant change.



Verre à vin
(125cm³) $f=1290$ Hz



Cognac verre à cognac
(4000 cm³) $f=290$ Hz



$$\delta(t) = 0; t \neq 0$$
$$\delta(t) = \infty; t = 0$$
$$\int_{-\infty}^{+\infty} \delta(t) dt = 1$$

Un pique étroit et isolé est appelé delta de Dirac. Paul Adrien Maurice était anglais et doit son bel nom à la mère, qui était Suisse. Autre que son "delta", il formula une équation quantique, de laquelle en 1930 déduisit l'existence d'un électron positif. Le positron fut découvert dans les rayons cosmique en 1932.

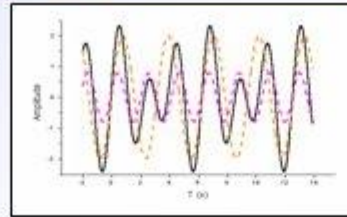
Example, explanation, formalism

La transformée de Fourier "cherche" si dans la fonction périodique (comme une vibration) se trouvent des fréquences spécifiques: la fonction périodique de période 2π est développée en série:

$$f(x) = \frac{1}{2}a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos nx + b_n \sin nx)$$

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \cos nx dx$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \sin nx dx$$



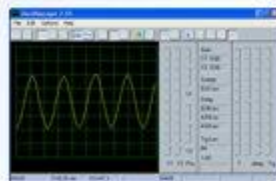
La courbe noire a deux composantes: $\sin 2x$ et $\sin(3x-0.2)$; elle se superpose avec la sinusoïde rose les deux périodes, avec la sinusoïde orange les trois périodes.

Une oscillation qui se propage dans l'espace (par ex. le long des x), devient "une onde".

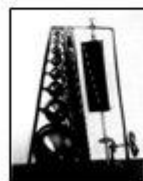
$\xi(x,t) = A \sin(\omega t - kx)$, où la période est $T = 2\pi/\omega$ et la longueur d'onde $\lambda = 2\pi/k$

Le son est un exemple simple d'onde. L'oreille humaine est capable de reconnaître le son d'un particulier instrument musical dans la symphonie de l'entière orchestre. Elle fait par cela une analyse de Fourier.

Il y a 100 ans l'analyse de Fourier se faisait par l'intermédiaire de dispositifs mécaniques compliqués: masses oscillant ou sphère vides, pour le son. Aujourd'hui on analyse le son avec un simple ordinateur et l'oscilloscope virtuel (<http://poly.phys.msu.su/~zeld/oscill.html>)



Oscilloscope virtuel



Analyseur de son de König
(Charles University, Prague)

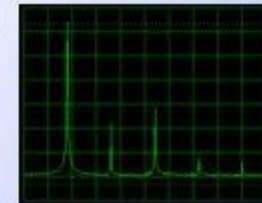


Analyseur harmonique
de Sir. W. Thomson

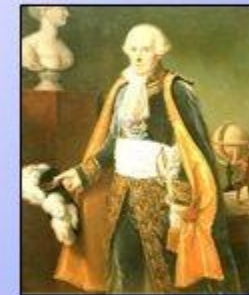
Ces petits animaux artisanaux africains font la même opération que le

Flûte magique

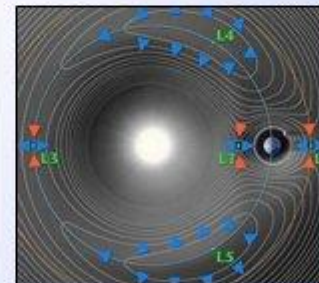
Une simple flûte produit un son très complexe, avec différentes composantes harmoniques, selon que la flûte reste fermée ou ouverte. Le son caractéristique s'appelle "timbre".



Dans la même période vécut Pierre-Simon de Laplace. Recommandé par D'Alembert devint en 1773 membre de l'Académie des Sciences, et en 1796 professeur de L'École Normale à Paris.



P.-S. de Laplace (1749-1827)



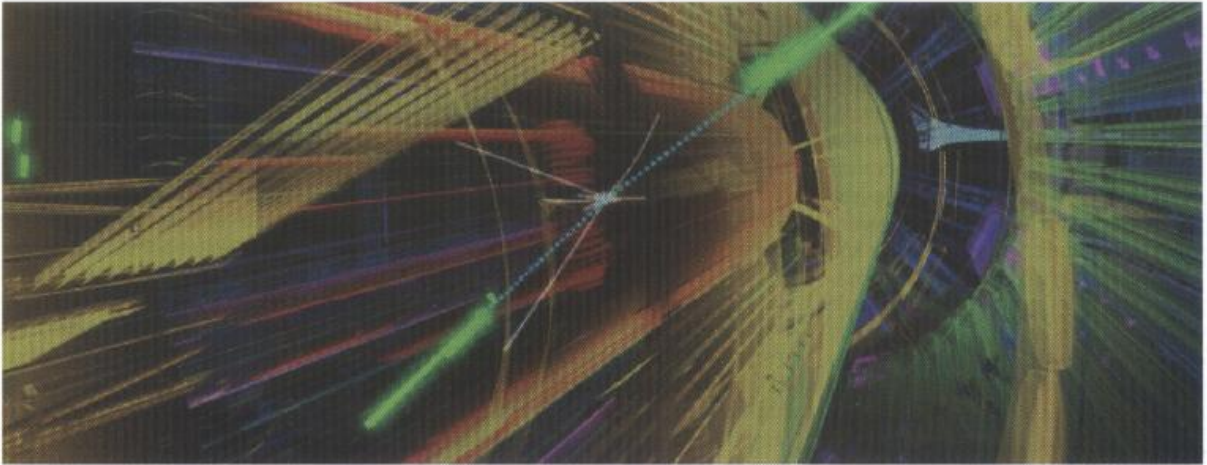
Premier il fit des hypothèses sur la formation du système Solaire à partir d'une nébuleuse. L'existence de particuliers points stables entre Jupiter et le Soleil a été confirmée du point de vue astronomique seulement récemment (1996).

La transformée de Laplace généralise l'approche de Fourier: chaque fonction, ne pas nécessairement périodique peut être substituée. Pour la transformée de Laplace se réjouissent les théoriciens de circuits

Systematic lecture for teachers



fizyka wczoraj, dziś, jutro



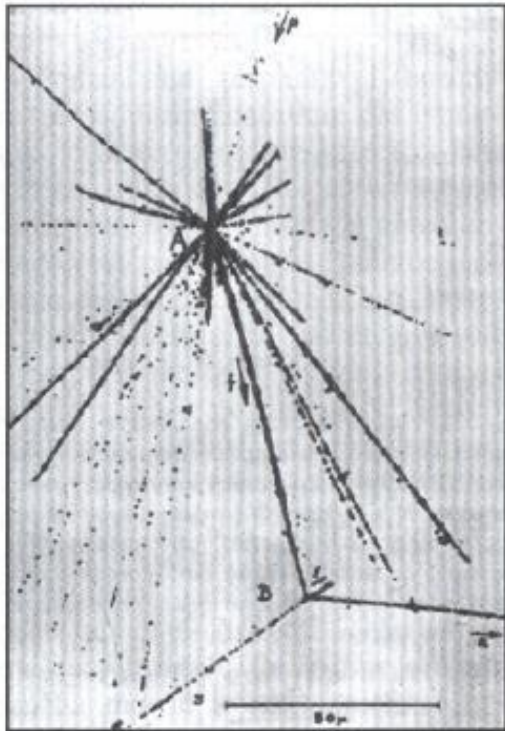
(Niezbyst krótka) historia o cząstkach elementarnych

Fizyka jądrowa i cząstek elementarnych jest częścią programu klasy I wszystkich szkół ponadgimnazjalnych.

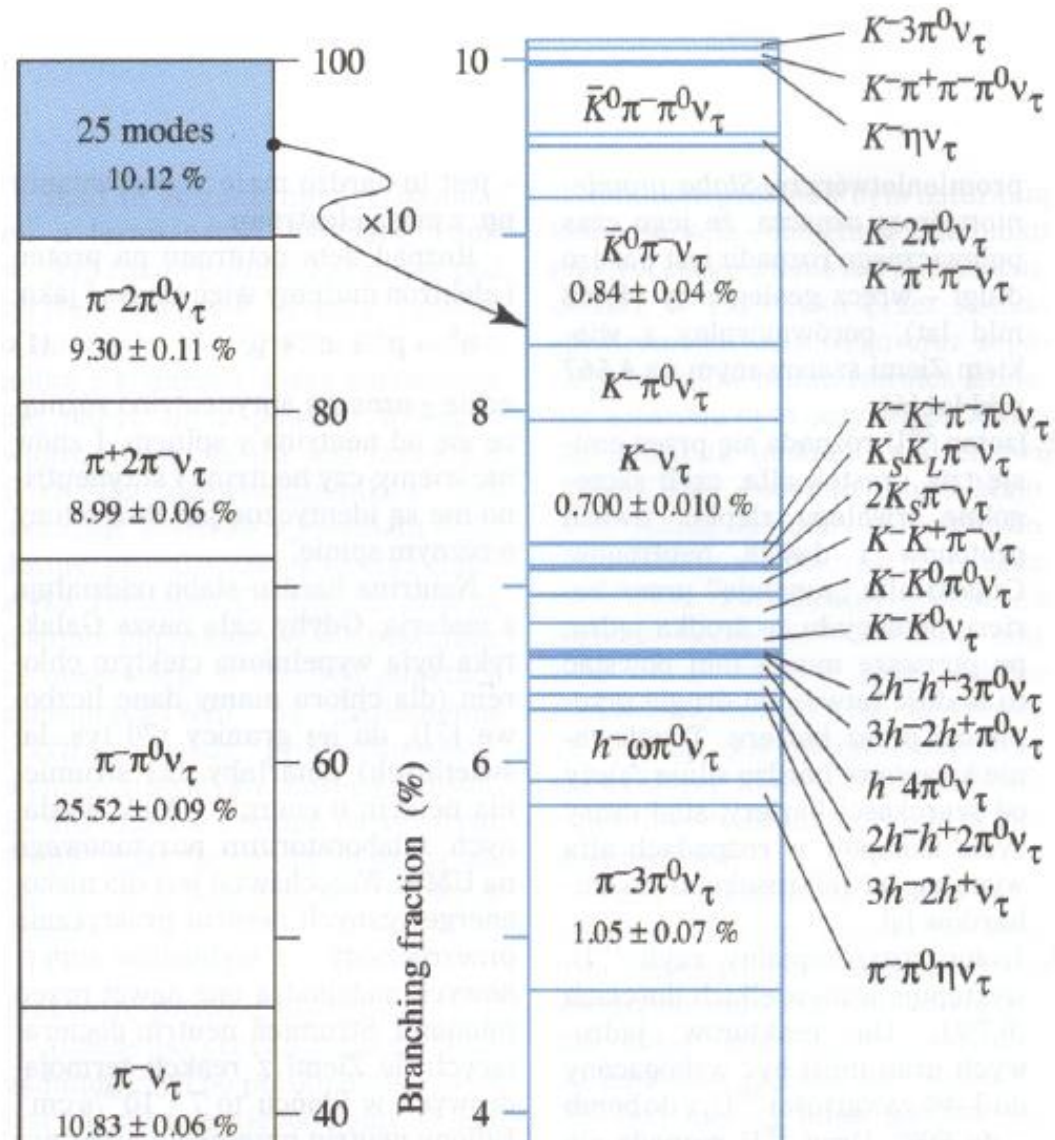
(Not so) short story about elementary particles

Systematic lecture for teachers

fizyka wczoraj, dziś, jutro



Rys. 4. Odkrycie pierwszego hiperjadra, zawierającego hiperon Λ , tj. barion (uds), za które można by otrzymać Nagrodę Nobla [9]. Proton promieniowania kosmicznego uderza w jądro atomu (Br lub Ag) w emulsji fotograficznej, powodując jego rozbite (górną gwiazdę). Jeden z fragmentów (jądro Li) zawiera powstały w zderzeniu hiperon Λ i rozpada się w reakcji ${}^7_4\text{Li} \rightarrow \alpha + {}^3_2\text{He} + \pi^-$ (dolne rozgałęzienie) [9]



Cabbibo - Kobayashi – Maskawa Matrix

egzotycznej serii to odkrycie Polaków [9]: Jerzego Pniewskiego i Mariana Danysza (rys. 4). Niestety, w latach 50. nikt dla nich Nobla nie przegłosował.

Odkrycie pozostałych trzech kwarków były kwestią tylko odpo-



Rys. 5. Profesor W. Góral w „Meandrach fizyki” (1988) w ten sposób ironizował na temat pozornej prostoty modelu standardowego. Redaktor „Scientific American” napisał, że woli model czterech żywiołów Greków niż świat składający się z sześciu kwarków w trzech kolorach, plus antykwarki, leptony i bozony. W rzeczywistości cięższe kwarki i leptony to sposób na „upakowanie” większej masy (i energii) przy tym samym spinie, istotne w pierwszych momentach po powstaniu (stworzeniu?) Wszechświata

wiednio dużych akceleratorów. Nawiasem mówiąc, największe emocje wzbudził kwark nr 4, tzw. czarujący (c). Odkrycie mezonu $c\bar{c}$ (zapisujemy antykwark z podkreśleniem) wywołało spore kontrowersje w dwóch laboratoriach amerykańskich: na wschodnim i zachodnim wybrzeżu. Jedną z grup przez wiele miesięcy badała kilka procesów świadczących o obecności tego mezonu, drugie laboratorium podobno w ciągu jednej nocy nastroiło aparaturę na właściwą energię... Kopie oryginalnych artykułów znajdują się na plakacie Czar czarmonium i innych zamieszczonych na stronie ZDF UMK [1].

Książki i popularne tabelki pokazują trzy rodziny kwarków i leptonów. Nazywamy to modelem standardowym, ale teoretycy niechętnie zdradzają korzenie tego modelu. U jego podstaw leży praca tysięcy fizyków przy wielkich akceleratorach,

badających szczegółowo możliwe kanały rozpadu nietrwałych cząstek powstających w zderzeniach. Macierz Cabibby-Kobayashiego-Maskawy opisuje prawdopodobieństwo zamiany jednego kwarku w drugi.

Wygląd części schematu możliwych kanałów rozpadu najcięższego leptonu, a więc tau, pokazuje rys. 7. Głównym kanałem rozpadu są mezony π , czyli zlepki kwarku u z antykwarkiem $\bar{d}$ lub odwrotnie. Zawsze powstaje też neutrino tau.

Kobayashi i Maskawa, którzy rozszerzyli macierz o trzecią generację kwarków, otrzymali w 2008 roku Nagrodę Nobla. Autorem tego oryginalnego pomysłu z lat 60. był Nicola Cabibbo, który nagrody nie dostał – w czasach pontyfikatu Jana Pawła II był przewodniczącym Papieskiej Akademii Nauk.

Zapytałem wybitnego teoretyka, autora podręczników o zasięgu świa-

$$\begin{bmatrix} |V_{ud}| & |V_{us}| & |V_{ub}| \\ |V_{cd}| & |V_{cs}| & |V_{cb}| \\ |V_{td}| & |V_{ts}| & |V_{tb}| \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.97427 \pm 0.00015 & 0.22534 \pm 0.00065 & 0.00351^{+0.00015}_{-0.00014} \\ 0.22520 \pm 0.00065 & 0.97344 \pm 0.00016 & 0.0412^{+0.0011}_{-0.0005} \\ 0.00867^{+0.00029}_{-0.00031} & 0.0404^{+0.0011}_{-0.0005} & 0.999146^{+0.000021}_{-0.000046} \end{bmatrix}.$$

Rys. 6. Macierz Cabibby-Kobayashiego-Maskawy (CKM) przejść między kwarkami (dane doświadczalne)

Development: diplomas

Badanie rozpadów $Z \rightarrow \tau \tau$
w danych zebranych przez
eksperyment ATLAS

Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej UMK

Joanna Słota
27.04.2015 r.

Development: diplomas

Wielki Zderzacz Hadronów

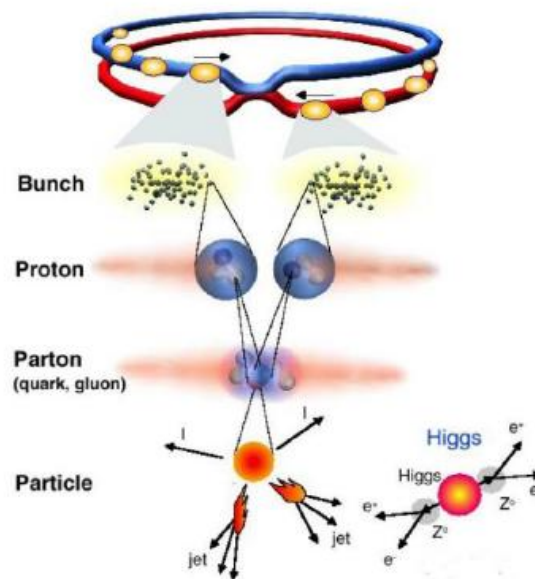


Development: diplomas

Wielki Zderzacz Hadronów



Wielki Zderzacz Hadronów – parametry



Proton-Proton	2835 pęczków/wiązkę
Protony/pęczek	10^{11}
Energia wiązki	7 TeV (7×10^{12} eV)
Światłość	$10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
Częstość zderzeń paczek	40 MHz
Kolizje	$10^7 - 10^9$ Hz

Energia wiązek protonów:	2011 - 3.5 TeV
	2012 - 4 TeV
	2015 - 6.5 TeV
	docelowa 7 TeV

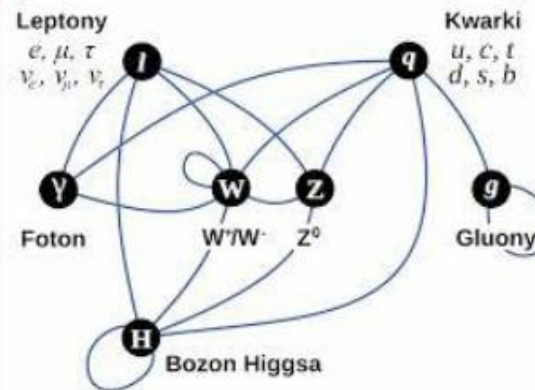
1 pozycja w
10,000,000,000,000

Definicja elektronowolta pochodzi z prostego stwierdzenia, że pojedynczy elektron przyspieszony przez różnicę potencjałów 1 wolta ma dyskretną wartość energii $E=qV$ dżuli, gdzie q jest ładunkiem elektronu w kulombach, a V jest różnicą potencjałów w woltach. Stąd: $1 \text{ eV} = (1,602 \times 10^{-19} \text{ C}) \times (1 \text{ V}) = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$.

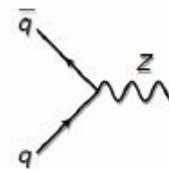
Development: diplomas

Bozon Z – właściwości

Bosons Z^0	
Propriétés générales	
Classification	Boson
Composition	Élémentaire
Groupe	Boson de jauge
Propriétés physiques	
Masse	91,187 6(21) $\text{GeV} \cdot c^{-2}$
Charge électrique	0 ¹
Spin	1
Durée de vie	3×10^{-25} s
Historique	
Prédiction	Glashow, Salam et Weinberg (1968)
Découverte	Expériences UA1 et UA2 (1983)
modifier 	



Na LHC produkcja Z głównie przez proces drell-yan:
 $q \text{ anti-}q \rightarrow Z$



Development: diplomas

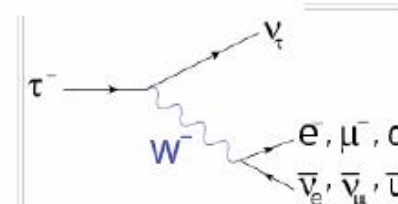
Bozo

Właściwości leptonu Tau

Tau

Composition	Elementary particle
Statistics	Fermionic
Generation	Third
Interactions	Gravity, Electromagnetic, Weak
Symbol	τ^-
Antiparticle	Antitau (τ^+)
Discovered	Martin Lewis Perl <i>et al.</i> (1975) ^{[1][2]}
Mass	$1.776.82 \pm 0.16 \text{ MeV}/c^2$ ^[3]
Mean lifetime	$2.906(10) \times 10^{-13} \text{ s}$ ^[3]
Electric charge	-1 e ^[3]
Color charge	None
Spin	$\frac{1}{2}$ ^[3]

	Fermiony			Bozony	
Kwarki	$2.3 \text{ MeV}/c^2$ $\frac{2}{3}$ u główny	$1.23 \text{ GeV}/c^2$ $\frac{2}{3}$ c pośrodkowy	$1.73.5 \text{ GeV}/c^2$ $\frac{2}{3}$ t szczytowy	0 0 1 Y foton	$91.2 \text{ GeV}/c^2$ 0 1 Z ⁰ bozon Z
	$4.8 \text{ MeV}/c^2$ $-\frac{1}{3}$ d dolny	$95 \text{ MeV}/c^2$ $-\frac{1}{3}$ s dziwny	$4.2 \text{ GeV}/c^2$ $-\frac{1}{3}$ b spadły	0 0 1 g gluon	$80.4 \text{ GeV}/c^2$ ± 1 1 W [±] bozon W
Leptony	$0.511 \text{ MeV}/c^2$ -1 $\frac{1}{2}$ e elektron	$105.7 \text{ MeV}/c^2$ -1 $\frac{1}{2}$ μ mion	$1.777 \text{ GeV}/c^2$ -1 $\frac{1}{2}$ τ taon	$126 \text{ GeV}/c^2$ 0 0 H ⁰ bozon Higgsa	
	$< 2.7 \text{ eV}/c^2$ 0 $\frac{1}{2}$ ν _e neutrino elektroniczne	$< 1.0 \text{ eV}/c^2$ 0 $\frac{1}{2}$ ν _μ neutrino mionowe	$< 15.5 \text{ MeV}/c^2$ 0 $\frac{1}{2}$ ν _τ neutrino taonowe		
	I	II	III		



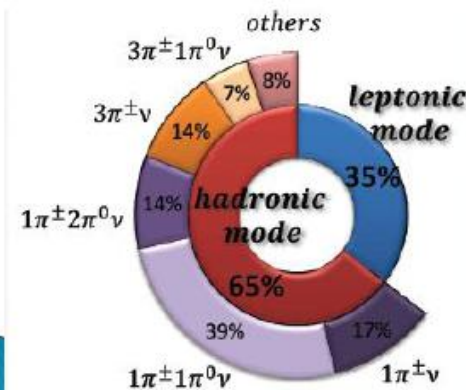
Development: diplomas

Bozo

Właściwości leptonu Tau

Lepton Tau – rozpady

- ▶ **Leptonowe:**
 - $\tau^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\tau$
 - $\tau^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu + \nu_\tau$
- ▶ **Hadronowe:**
 - $\tau^- \rightarrow \text{hadrony} + \nu_\tau$
 - ▶ Rozpady na jeden pion naładowany $+>=0$ pionów neutralnych nazywamy „1-prong”
 - ▶ Rozpady na trzy piony naładowane $+>=0$ pionów neutralnych nazywamy „3-prong”



Rozpady $\tau^\pm$	BR (%)
$\tau^\pm \rightarrow e^\pm + \nu_e + \nu_\tau$	17,82
$\tau^\pm \rightarrow \mu^\pm + \nu_\mu + \nu_\tau$	17,38
$\tau^\pm \rightarrow h^\pm + \nu_\tau$	49,5
$\tau^\pm \rightarrow \pi^\pm + \nu_\tau$	11,10
$\tau^\pm \rightarrow \pi^\pm + \pi^0 + \nu_\tau$	25,40
$\tau^\pm \rightarrow \pi^\pm + \pi^0 + \pi^0 + \nu_\tau$	9,19
$\tau^\pm \rightarrow \pi^\pm + \pi^0 + \pi^0 + \pi^0 + \nu_\tau$	1,08
$\tau^\pm \rightarrow K^\pm + \nu_\tau$	1,56
$\tau^\pm \rightarrow h^\pm + h^\pm + h^\pm + \nu_\tau$	14,57
$\tau^\pm \rightarrow \pi^\pm + \pi^\pm + \pi^\pm + \nu_\tau$	8,98
$\tau^\pm \rightarrow \pi^\pm + \pi^\pm + \pi^\pm + \pi^0 + \nu_\tau$	4,30
$\tau^\pm \rightarrow \pi^\pm + \pi^\pm + \pi^\pm + \pi^0 + \pi^0 + \nu_\tau$	0,50
$\tau^\pm \rightarrow \pi^\pm + \pi^\pm + \pi^\pm + \pi^0 + \pi^0 + \pi^0 + \nu_\tau$	0,11
Pozostałe	2,33

Physics is Fun!



On the Track
of Modern Physics

ENTER

Summary

Physics is Fun

Commission of the European Communities, Research Directorate-General,
Structuring the European Research Area Specific Support Action:
Science and Society Project No. 020772 PhysFun



Thank you for your attention