

# Kwarki i skwarki

czyli o cząstkach elementarnych i  
historii ich odkryć

Grzegorz Karwasz

<http://www.particleadventure.org>

<https://www.nobelprize.org/educational/physics/matter/>

L. Ledermann, *Boska cząstka*

Toruń, 22.04.2021

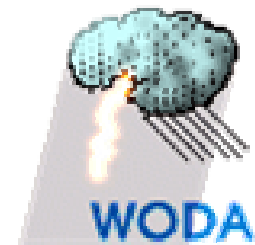
# Z czego (i jak) zbudowana jest materia?



**OGIEŃ**



**POWIETRZE**



**WODA**



**ZIEMIA**

Empedokles (i Arystoteles)

# Dziś nazywamy to stanami skupienia

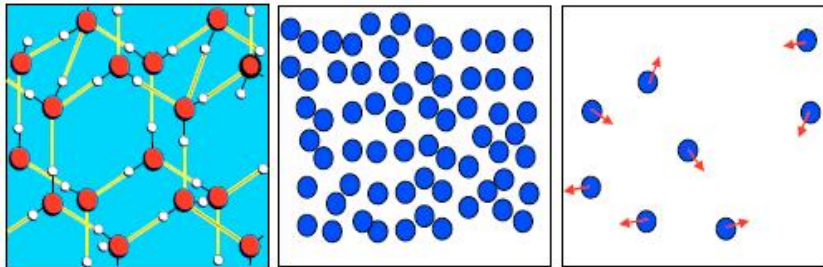
- Jest ich zasadniczo cztery:

- ciała stałe,

- ciecze

- gazy

- plazma



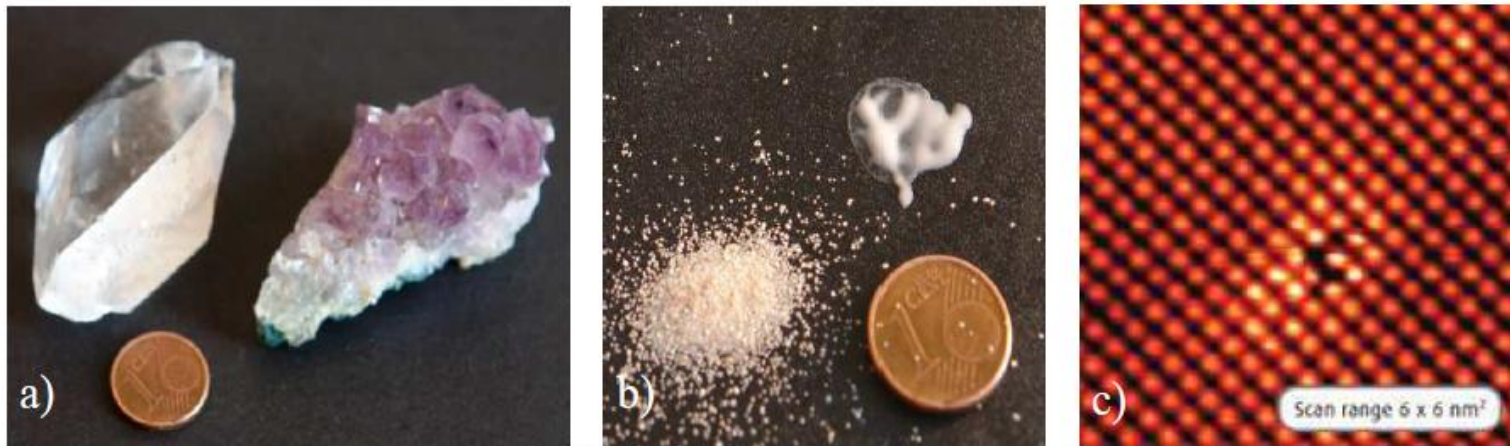
Fot. 1. 15 a) W kuli „plazmowej” część za atomów gazu traci ładunki elektrycznej – elektrony i jony umożliwiają przepływa prądu; b) płomień świecy to też przykład gazu zjonizowanego czyli plazmy – maszyna elektrostatyczna rozładowuje się natychmiastowo w obecności płomienia; c) powierzchnia Słońca to też przykład plazmy, ale o wysokiej ( $5500^{\circ}\text{C}$ ) temperaturze; d) zorza polarna to przykład zimnej i bardzo rozrzedzonej plazmy. Przyczyną jej świecenia są zderzenia elektronów z cząsteczkami tlenku azotu NO.

# Ale są jeszcze inne niby-stany skupienia



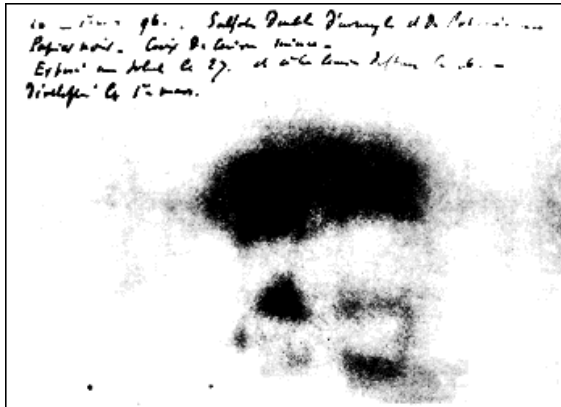
**Fot. 1.16** Nietypowe stany skupienia: a) szkło nie ma struktury krystalicznej, stąd jest czasem klasyfikowane jako ciecz „przechłodzona” (tu witraż średniowieczny z Hotel de Cluny) ; b) ciekłe kryształy, stosowany w niektórych wyświetlaczach telefonów i monitorach TV; c) „silly putty” – polimer silikonowy, plastyczny, sprężysty lub nawet kruchy, w zależności od szybkości deformacji; d) super lepka, samoprzelewająca się ciecz – raz rozpoczęte przelewanie będzie trwało tak długo, dopóki nie wyczerpie się zapas cieczy w górnej szklance; e) nitiol – stop niklu i tytanu wykazujący pamięć kształtu: zgięty, wyprostuje się w strumieniu ciepłego powietrza z suszarki do włosów.

# A-tomos, czyli niepodzielny



**Fot. 1.12.** Jak daleko można podzielić kryształ kwarcu? a) Duży kryształ kwarcu i mały ametystu z Brazylii; b) w płynie do szorowania kryształki kwarcu mają rozmiary tysięcznych części milimetra; c) mikroskopia siła atomowych (AFM) pozwala obserwować pojedyncze atomy na powierzchni kryształu soli kuchennej – w środku zdjęcia widoczny jest *defekt* w sieci krystalicznej. [http://www.omicron.de/index2.html?rom/qplus\\_atomi\\_resolution/index.html~Omicron](http://www.omicron.de/index2.html?rom/qplus_atomi_resolution/index.html~Omicron)

# „Rozpady” alfa, beta, gamma



**Foton** 120  
Wiosna 2013

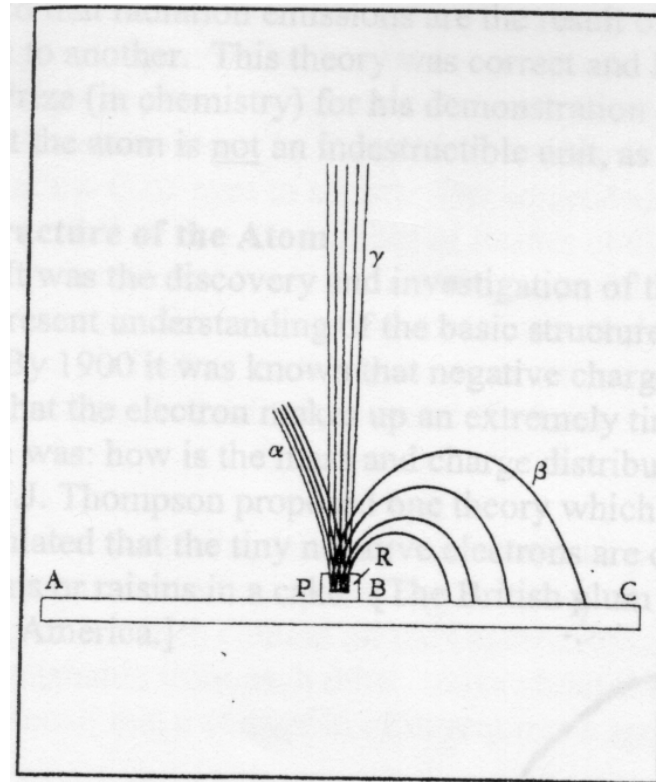
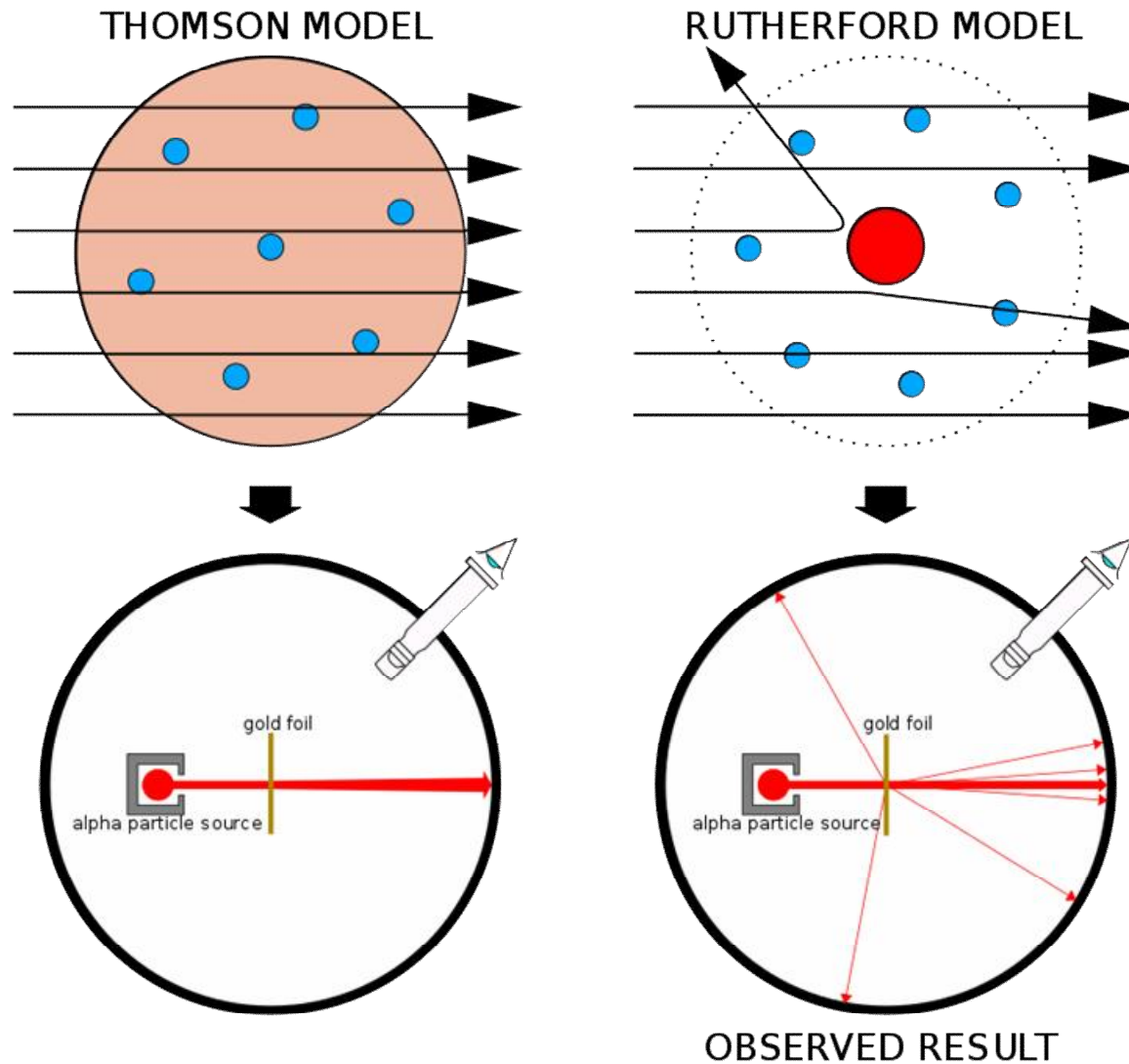


Figure 3.3 The three kinds of rays:  $\alpha$ ,  $\beta$ , and  $\gamma$ . They are distinguished by their trajectories in a magnetic field at right angles to the direction of motion. The  $\alpha$  rays (helium nuclei) are positively charged;  $\beta$  rays (electrons) are much lighter and negatively charged;  $\gamma$  rays, analogous to x-rays, are quanta of electromagnetic radiation (photons). As they are neutral, they are not deflected by the magnetic field. Rutherford was responsible for the nomenclature. [From Marie Curie, *Thesis* (Paris: Gauthier-Villars, 1904).]

<http://www.chemteam.info/Radioactivity/Disc-of-Radioactivity.html>

# Doświadczenie Rutherforda



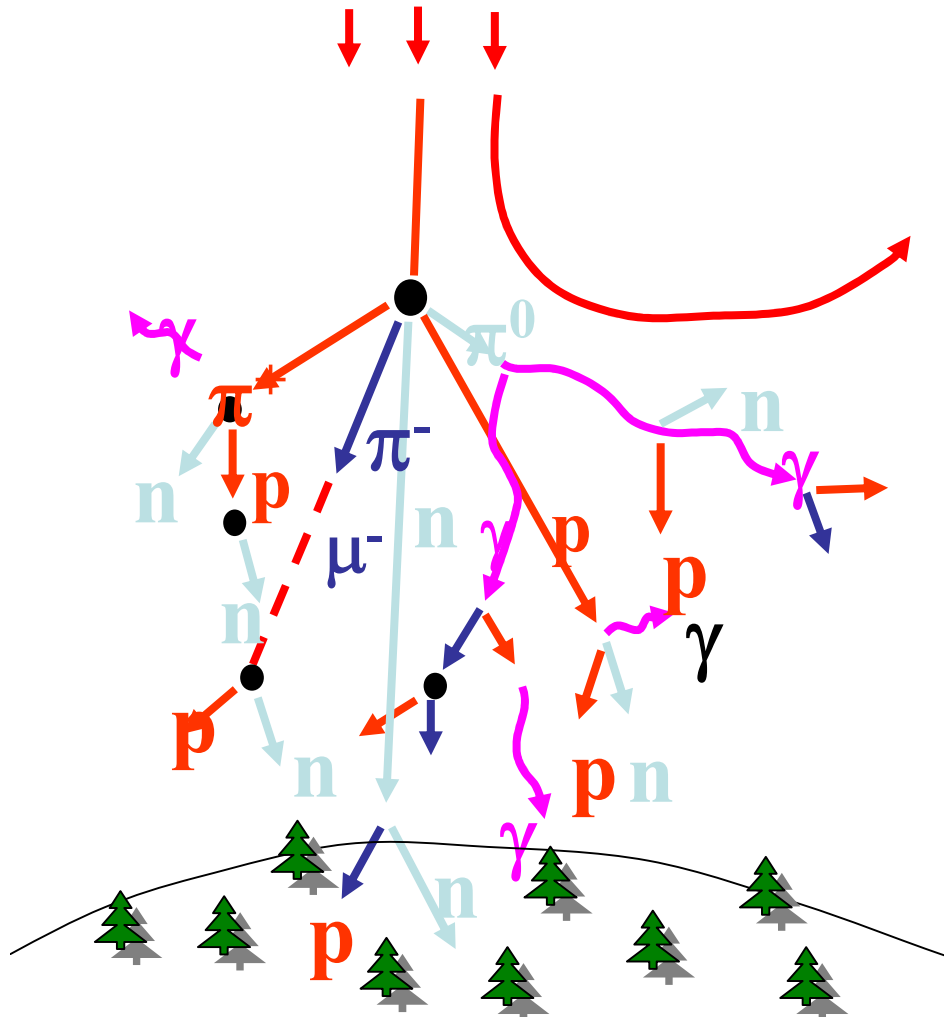
# Stabilność jąder?

- Protony się odpychają, rozmiary jąder (doświadczenie Rutherforda) ok.  $10^{-15}$  m
- Chadwick: neutrony – drugi składnik jąder, ale bez ładunku elektrycznego
- Yukawa: 1937 – wymiana „piłek ping-pongowych” między neutronami a protonami
- Masa poszukiwanego „mezonu” (czyli średniaka) około  $200 \text{ MeV}/c^2$
- Masa elektronu  $511 \text{ keV}/c^2$
- Masa protonu i neutronu  $\sim 930 \text{ MeV}/c^2$



# Dwa kanały poszukiwań

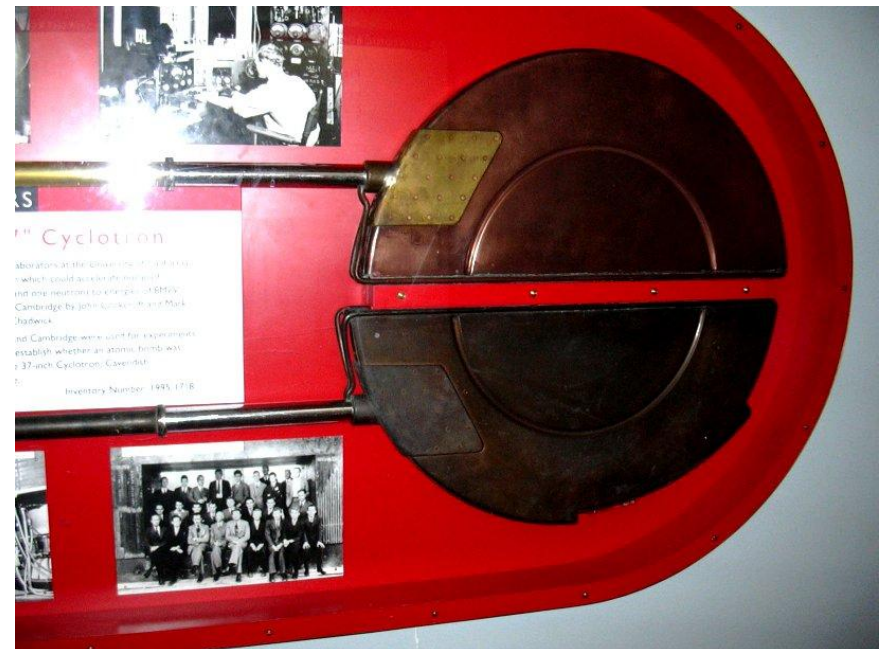
## Promienie kosmiczne



### Promienie kosmiczne

Promienie kosmiczne po raz pierwszy zostały odkryte przez Victora F. Hessa (1912). Zarejestrował je przy pomocy elektrometru wyniesionego w balonie na dużą wysokość. Za to osiągnięcie w 1936 roku otrzymał nagrodę Nobla. Promienie kosmiczne zostały tak nazwane w 1925 roku przez R. A. Millikana, który prowadził nad nimi szerokie badania. Złożone są głównie z wysokoenergetycznych protonów o energii równej około 1 GeV.

# Pierwsze akceleratorzy



# W międzyczasie...

- W międzyczasie Enrico Fermi zbudował bombę jądrową (na boisku Uniwersytetu w Chicago) – program Manhattan
- Kosztowała ona 2 mld \$ (a cała II wojna światowa 13 mld \$)
- Zrzuciono ją nieco dla „próby”
- Ale w czasie badań nad jej stworzeniem dużo się dowiedziano o fizyce jądrowej

# W Polsce...

- W Polsce, która w międzyczasie (1918) odzyskała niepodległość
- Marie Curie założyła Instytut Radowy
- i przekazała zasoby radu, które dzięki różnym fundacjom zgromadziła (prawie 1 gram)
- To pozwoliło na powstanie fizyki jądrowej w Polsce
- I udział polskich naukowców w światowych badaniach, mimo żelaznej kurtyny

# Józef Rotblat: Polak, fizyk, noblista

- GK: „Pan przyczynił się do konstrukcji bomby atomowej?”
- JR: „Przyczynił? Ja ją zbudowałem!”
- Chadwick: „Oczywiście nie z młodym moim doktorantem, Józefem Rotblatem”
- ...
- JR: „I tak czekam na nią do dziś”

Spisał: GK, dla „Głosu Koszalińskiego”

SOBOTA, NIEDZIELA, 14-15.10.2009 r. NAUKA i TECHNIKA

Jak zbudowałem bombę atomową - specjalnie dla Czytelników „Głosu” z Józefem Rotblatem, zapomnianym polskim laureatem Nagrody Nobla, rozmawia Grzegorz Karwasz, profesor Uniwersytetu w Trydencji, Włochy

## Ja, niestety, ją wymyśliłem...

Rotblat (1918 r.), inżynier i wykładowca w Politechnice w Krakowie, w 1942 r. wyjechał do Stanów Zjednoczonych. Pracował w Laboratorium Fizyki w Chicago. W 1945 r. otrzymał Nagrodę Nobla. W 1948 r. wyjechał do Związku Radzieckiego i pracował w Instytucie Fizyki w Moskwie. W 1955 r. otrzymał Nagrodę Nobla.

...ostatnich 100 lat. Ale jednocześnie różnie między bogactwami i biedą, między ciemnością i światłością, między ciemnością i światłością. To nie my! My tylko obserwujemy tendencje naturalne, a za biedy wojny odpowiedzialni są, niestety, politycy. Stawiają bardzo konkretny cel.

Zaczynając od powstania. Stany Zjednoczone wydały na konstrukcję bomby atomowej 2 miliardy ówczesnych dolarów. Z powodów wydawało się, że Niemcy zbudują bombę atomową jako pierwsze. Na jej wywołanie na wojnę w Anglii. Jak to się skończyło?

Miał współodpowiedzialność za to, że atomowa bomba została użyta w Nagasaki. Ja to bomba, niestety, wymyśliłem jako pierwszy! Jesienią 1939 r. przeobraziła się w bombę atomową. W tym czasie w ramach projektu amerykańskiego naukowca na atomową. Niemcy powiedzieli, że nie mają szans na wybudowanie bomby atomowej.

...dwóch ostatnich fizyków, pracujących pod rozkazem Austrii (przez Hitlera w Charydopolu). Ludzie. Nie 1.44 atomowa. Ota Frisch. Jakiś uran pod wpływem neutronów. W trakcie reakcji wydostała się energia. O, taka sama energia, która została zamieniona, że jest takich miniproduktów, gdzie woda w kotlek dawała, jak obrotowe w jednej milionowej sekundzie to będzie tej energii dwa, cztery, sześć, dziesięć. Więcej niż wyjechał. Jakakolwiek bomba. Ona właśnie się była, po prostu zarysował do Chadwicka. Ten natomiast powołał do Chadwicka. Wskazywał na niego, że on w tym czasie w Warszawie. Dla atomowej nie było czasu.

...Czyli budził przegroby w Anglii. Z których ludzie wyjechał, że nie wszystkie składniki uranu nadają się do konstrukcji, jak również, że dla przeprowadzenia reakcji w kontrolowany sposób niezbędny jest opóźnienie neutronów powstających w reakcji łańcuchowej, na przykład w postaci ciekłej wody. Do separacji neutronów uranu była jednak potrzebna ogromna ilość energii, z której nie było w tym czasie. W Chinach, w atomowej była praca co prace między innymi. Energia bomba praca w kocioł w USA.

...Astronomia i na Japonię. Pan w pierwszym momencie wyznaczył ją? ...”TA, w 1944 r., natychmiast jak tylko dostaliśmy się, że Niemcy przegrywali i daliśmy przegranej. Mógł być koniec wojny. On Hitler w ostatniej chwili przystąpił do negocjacji. Wskazywał na niego, że atomowa bomba. Jak tylko miało się zgodzić, wyjechał się z dala od przegranej.

...Pan budował naukową nie podziwiał w pana dół? ...”No, jestem fizykiem. Właśnie natomiast i moich kolegów wypracowało przewidywania bomby na Japonię. Leo Szilard, fizyk jądrowy, wrócił z pracy do prezydenta, w której miał. Na terenie amerykańskim i odwołaniu Japonii przed moim przybyciem do Japonii. Właśnie natomiast i moich kolegów wypracowało przewidywania bomby na Japonię. Leo Szilard, fizyk jądrowy, wrócił z pracy do prezydenta, w której miał. Na terenie amerykańskim i odwołaniu Japonii przed moim przybyciem do Japonii.

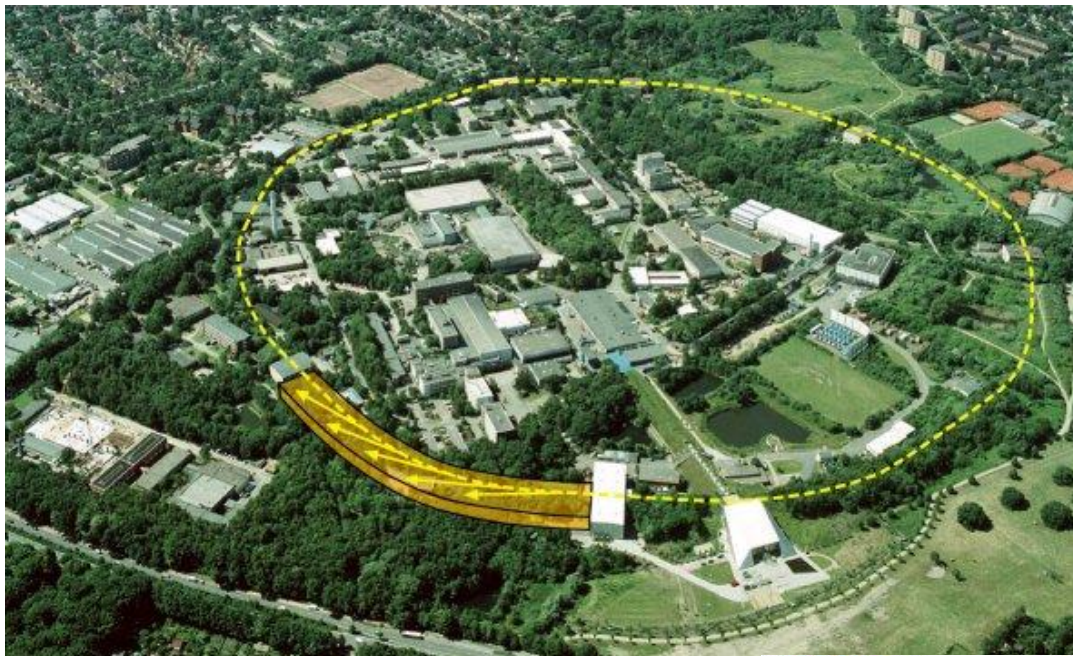
...W 1945 r. otrzymał Nagrodę Nobla. W 1948 r. wyjechał do Związku Radzieckiego i pracował w Instytucie Fizyki w Moskwie. W 1955 r. otrzymał Nagrodę Nobla.

...W 1945 r. otrzymał Nagrodę Nobla. W 1948 r. wyjechał do Związku Radzieckiego i pracował w Instytucie Fizyki w Moskwie. W 1955 r. otrzymał Nagrodę Nobla.

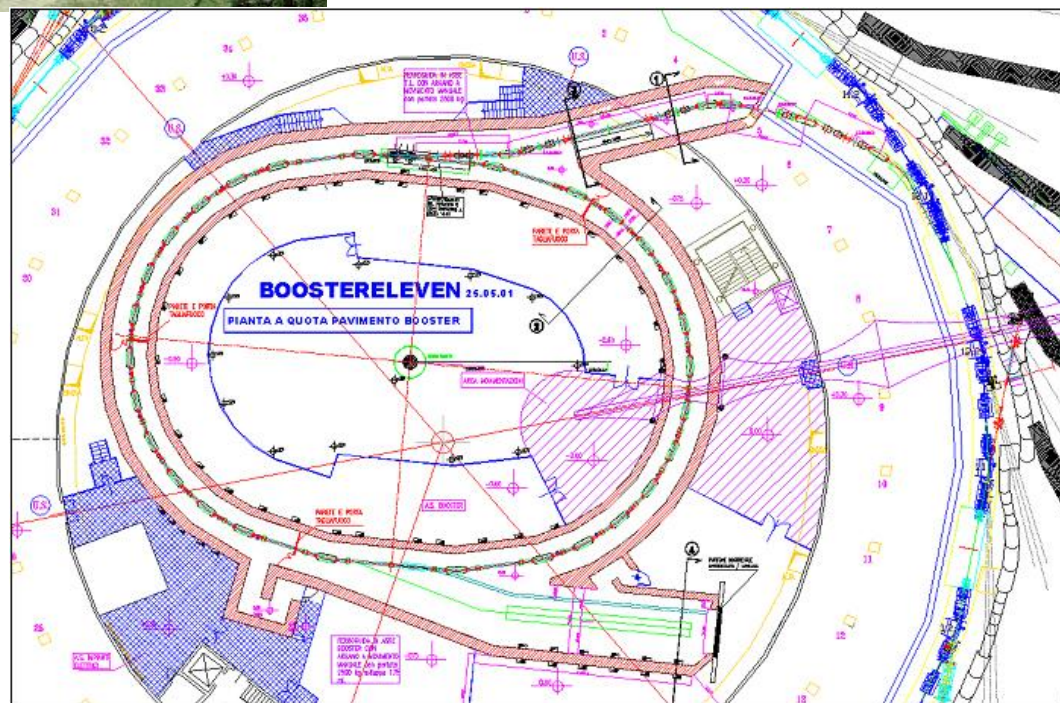
...W 1945 r. otrzymał Nagrodę Nobla. W 1948 r. wyjechał do Związku Radzieckiego i pracował w Instytucie Fizyki w Moskwie. W 1955 r. otrzymał Nagrodę Nobla.

# Mezon, i to nawet więcej niż jeden

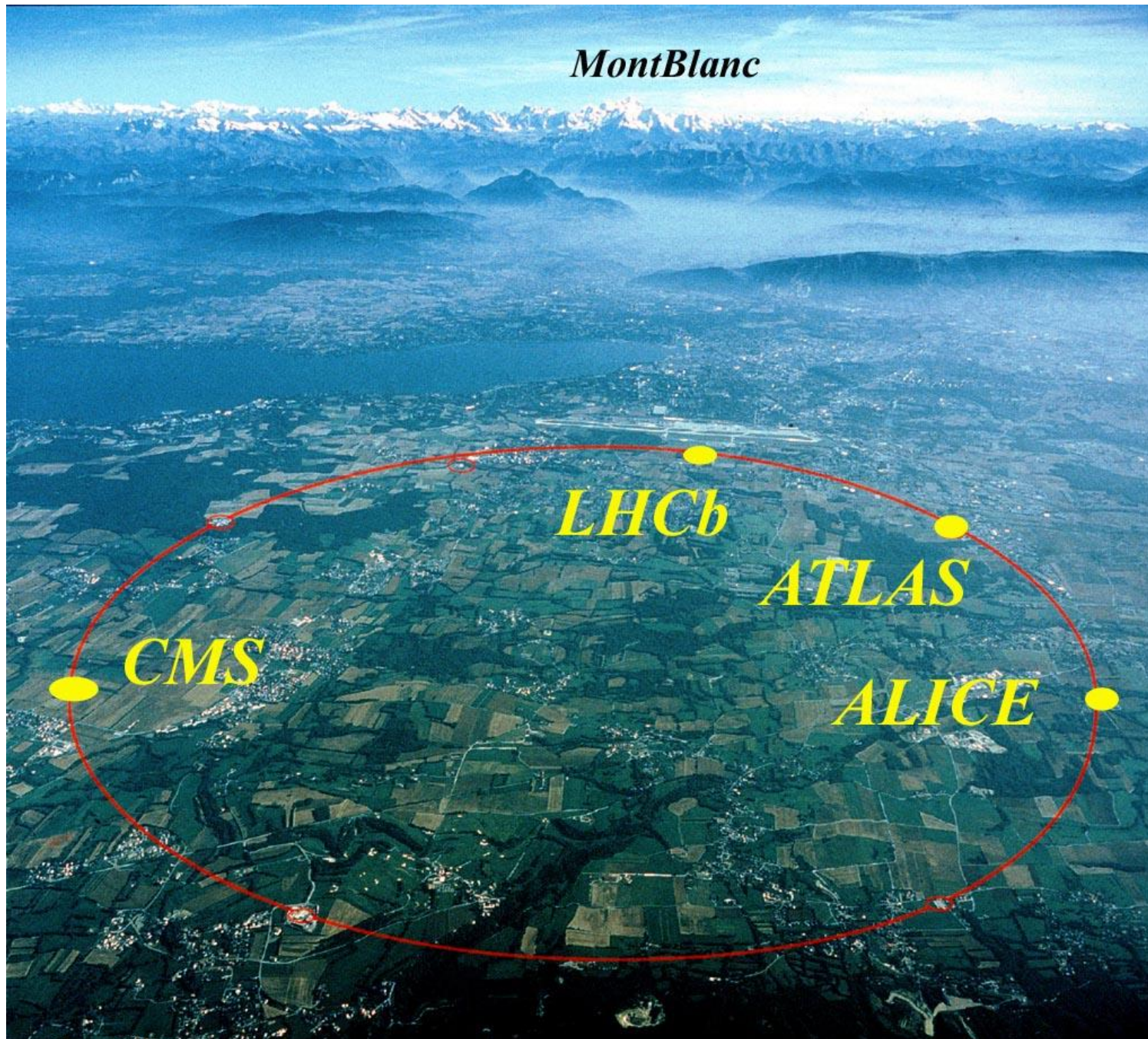
- Mezon o masie  $208 \text{ GeV}/c^2$  odkryty w promieniowaniu kosmicznym (około 1940: żyje znacznie dłużej niż powinien, a jest to „wina” Einsteina (dylatacja czasu))
- Mezon „Yukawy” nieco cięższy, a co więcej, są nawet trzy, o różnych ładunkach (+, -, 0)



## Nowsze akceleratory



*MontBlanc*



*CMS*

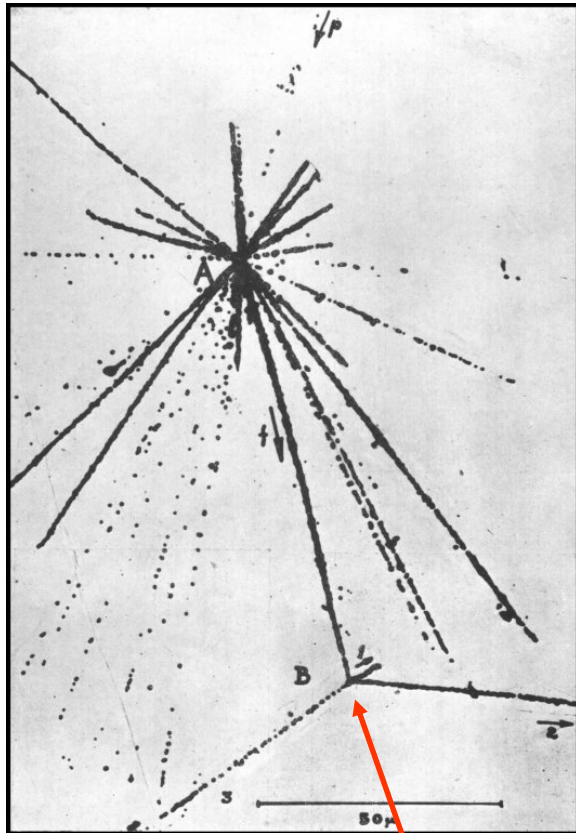
*LHCb*

*ATLAS*

*ALICE*



# Dziwny rozpad jądra



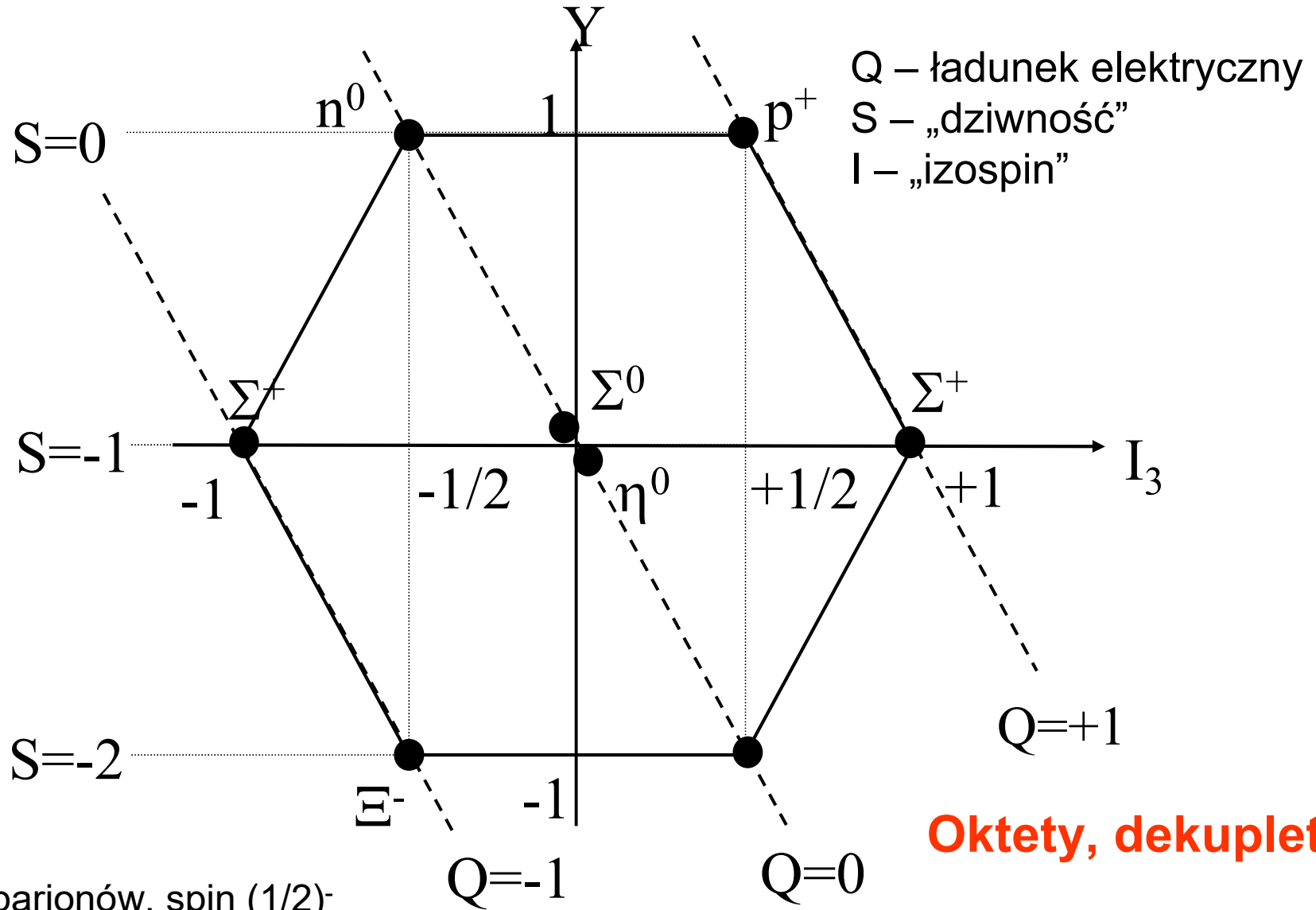
Lżejszy z drugiej pary kwarków „**strange (dziwny)**” jest składnikiem cząstek cięższych od protonu i neutronu. Zaobserwowano go w promieniowaniu kosmicznym w latach 40-tych ubiegłego stulecia. Te dziwne cząstki mogą być schwytane przez jądra atomowe na ułamek sekundy zanim się rozpadną. Rysunek pokazuje pierwszy zaobserwowany ślad rozpadu hyperjądra na emulsji fotograficznej.

M. Danysz and J. Pniewski,  
*J. Phil. Mag.* **44** (1953), 348

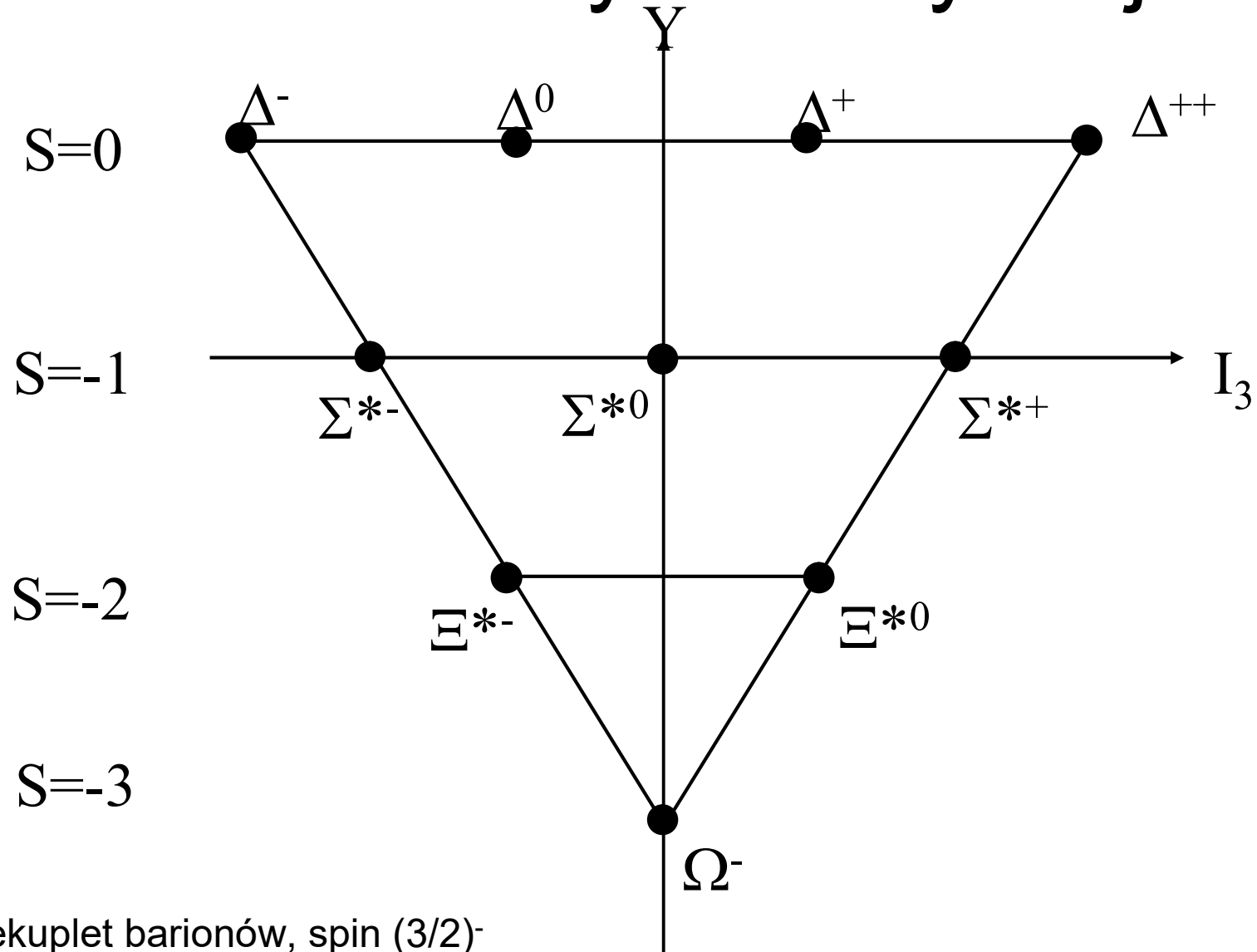
# Jeszcze więcej dziwnych cząstek

Class	Particle	Charge	Spin	Mass [MeV]	
LEPTONS	$\nu_e$	0	1/2	~0	
	$e^-$	-1	1/2	0.51	
	$\nu_\mu$	0	1/2	~0	
	$\mu^-$	-1	1/2	105.6	
HADRONS	MESONS	$\pi^+, \pi^-$	+1, -1	0	139.5
		$\pi^0$	0	0	135.0
		$K^+, K^-$	+1, -1	0	493.7
		$K^0$	0	0	497.7
		$\eta^0$	0	0	549.0
		$\eta'^0$	0	0	550.0
	BARIONS	$p^+$	+1	1/2	938.2
		$n^0$	0	1/2	939.5
		$\Lambda^0$	0	1/2	1115.6
		$\Sigma^+$	+1	1/2	1189
		$\Sigma^0$	0	1/2	1192
		$\Sigma^-$	-1	1/2	1197
		$\Xi^0$	0	1/2	1315
		$\Xi^-$	-1	1/2	1321
$\Omega^-$	-1	3/2	1672		

# Próba systematyzacji (~1960)



# Próba systematyzacji



Dekuplet barionów, spin  $(3/2)^-$

# „Trzy kwarki, dla Mistrza Marka”

In fact it is not clear what James Joyce had in mind writing in "Finnegans Wake":

- **Three quarks** for Muster Mark!

Sure he hasn't got much of a bark

And sure any he has it's all beside the mark.

If that was "quarts", then Mark had to drink beer, a quite big amount, that's six pints!

Anyway the rest of the text is also unclear. Is it a tree? A dog somewhere? A scar or a lesson?

Now, a similar situation is with the quarks: there were only three when they were named by Gell-Mann in 1964. Now they are six quarks, but in three colors, and, additionally some negative ones, in pink, cyan and yellow.

And no one ever caught them in hand, like those of Muster Mark.

# quart, bark, mark, quark

**Explanations:** (Oxford Dictionary of Contemporary English and GK)

- **quart** = 1/4 gallon

- **gallon** = 3,785 dm<sup>3</sup>

- **bark** - 1) sound emitted by a dog; 2) hard, external covering of the tree

- **mark** - 1) sign on face; 2) letter or digit to valuation

- **quark** - 1) assignment for Mark Muster in "Finnegan's Wake", 2) basic, beside the leptons, elements of matter: components of mesons (=2 quarks) and baryons (=3 quarks), unable to be isolated, but observable during in high energy collisions of elementary particles.

# „Kwarki” – idea Gell-Manna i Ne'emana

In the beginning of '60 of last century, Gell-Mann and Ne'emana independently noticed, that due to the same *spin*, *parity* and *strangeness*, and due to *similar masses*, hadrons can be grouped into so called **multiplets**, which than are grouped into **supermultiplets** consisting of singlets, octets and decuplets. Introducing values describing the multiplicity – like **isospin**

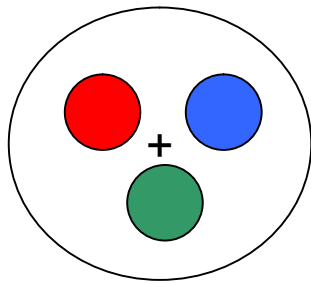
$I=(N-1)/2$  and **hypercharge** ( $Y=B+S$ , where B – baryon number, S – strangeness) – and after plotting the dependencies of these values (to be exact hypercharge vs. isospin's projection on "selected direction"  $I_3$ ) characteristic geometrical figures can be obtained. That situation was similar to the first trials of classification of chemical elements into Mendeleev's table.

Supermultiplets allowed to predict existence of new particles.

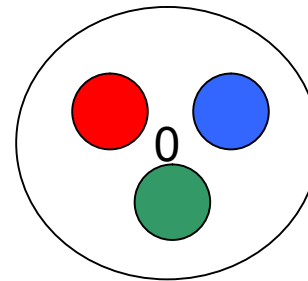
**Quark hypothesis was "on the way".**

# Proton, neutron

- Proton =  $(+2/3) (+2/3) (-1/3) = +1$
- Neutron =  $(+2/3) (-1/3) (-1/3) = 0$



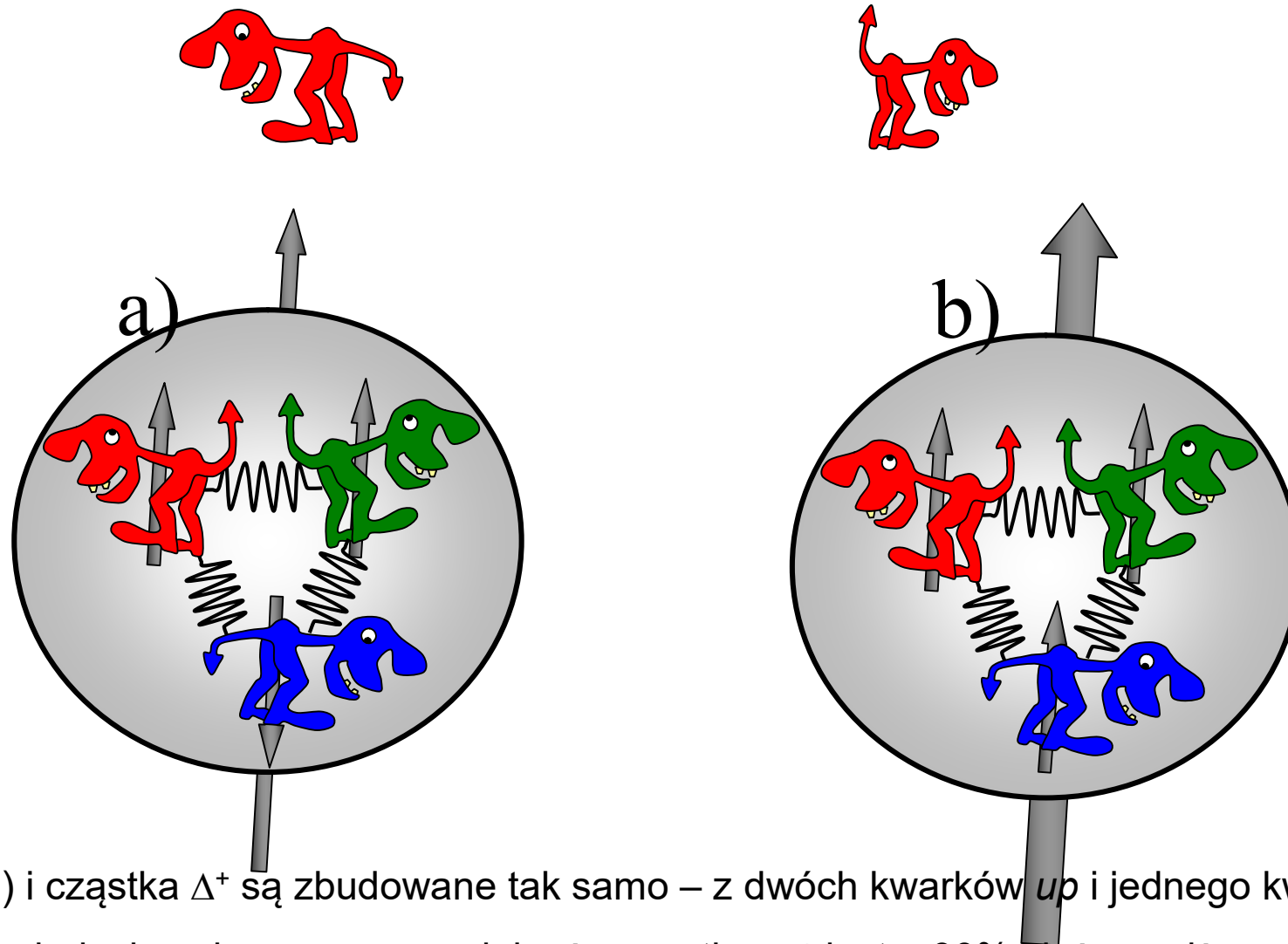
proton



neutron



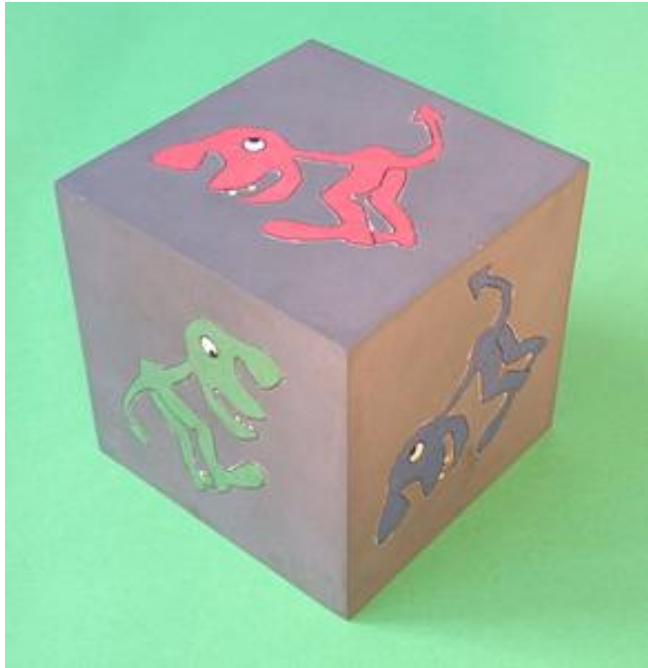
# Proton i neutron, według GK i TW



Proton (a) i cząstka  $\Delta^+$  są zbudowane tak samo – z dwóch kwarków *up* i jednego kwarku *down*. Różnią się jedynie spinem, co powoduje, że cząstka  $\Delta^+$  jest o 30% cięższa niż proton.

# Proton, neutron, według GK

proton



Izospin=1/2  
Masa  $m=938.27231 \pm 0.00028$  MeV (=1836 masy elektronu)  
Moment dipolowy  $D= (-3,7 \pm 6,3) \times 10^{-23}$  e cm  
Moment magnetyczny  $m= 2,792847386 \pm 0,000000066 \mu_B$   
Czas życia  $t=1,6 \times 10^{25}$  lat  
( $\gg$  niż czas życia Wszechświata =  $14,5 \times 10^9$  lat)

neutron



Izospin=1/2  
Masa  $m=939.56563 \pm 0.00028$  MeV (trochę więcej niż proton))  
Moment dipolowy  $D < 12 \times 10^{-26}$  e cm  
Moment magnetyczny  $m= -1,91304275 \pm 0,000000456 \mu_B$   
Ładunek elektryczny  $q= (-0,4 \pm 1,1) \times 10^{-21}$  e (czytaj zero!)  
Czas życia  $t=888,65 \pm 3,5$  s (= kwadrans akademicki!)

# Księżniczka na ziarnku grochu, czyli, czy „widać” kwarki w protonie



Jerome I. Friedman, Henry W. Kendall, Richard E. Taylor

Share this: 4

## The Nobel Prize in Physics 1990



Jerome I. Friedman  
Prize share: 1/3



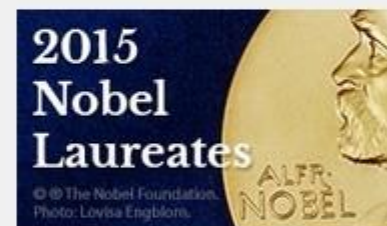
Henry W. Kendall  
Prize share: 1/3



Photo: T. Nakashima  
Richard E. Taylor  
Prize share: 1/3

The Nobel Prize in Physics 1990 was awarded jointly to Jerome I. Friedman, Henry W. Kendall and Richard E. Taylor *“for their pioneering investigations concerning deep inelastic scattering of electrons on protons and bound neutrons, which have been of essential importance for the development of the quark model in particle physics”*.

Photos: Copyright © The Nobel Foundation



Discover features and trivia about the Nobel Prize

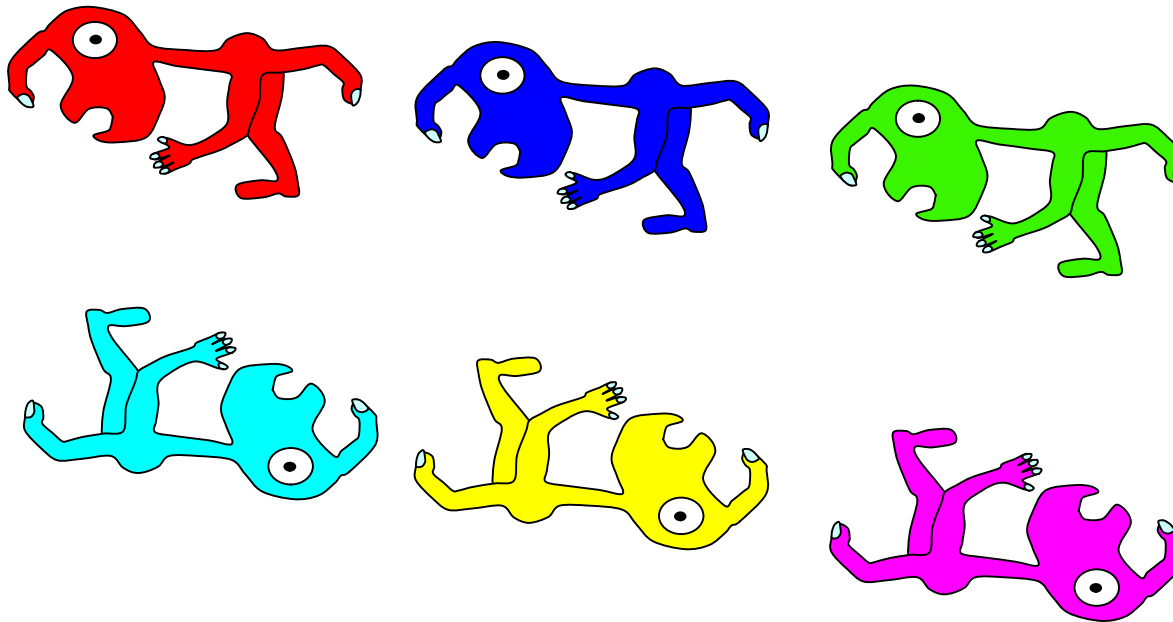
# Mezony, wg GK

Kwarki występują w trzech, podstawowych kolorach.

Anty-kwarki mają kolory przeciwne (dopełniające).

Poniżej dwie kwarkowe rodziny zbieżają na spotkanie.

## Kwarki i ich kolory



Jeśli kwark połączy się ze swoim anty-kwarkiem powstaje mezon  
(nie mylić z mezaliansem)

# Nie ma trzech, bez czterech

- Jeżeli są trzy kwarki:
- 1) jeden dodatni  $Q=+2/3$ , w protonie i neutronie
- 2) jeden ujemny  $Q=-1/3$
- 3) jeden dodatni, dziwny, w mezonach K, w hyperonach  $\Lambda$
- To musi być jeszcze czwarty, jeszcze cięższy (i krócej żyjący)

# I tu rozgorzała wojna secesyjna (Wschodu USA z Zachodem USA)

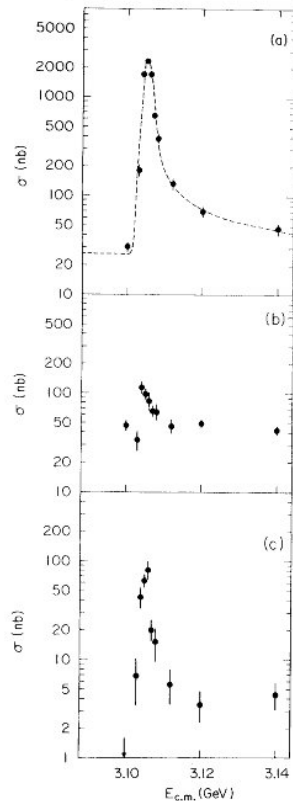


FIG. 1. Cross section versus energy for (a) multi-hadron final states, (b)  $e^+e^-$  final states, and (c)  $\mu^+\mu^-$ ,  $\pi^+\pi^-$ , and  $K^+\bar{K}^0$  final states. The curve in (a) is the expected shape of a  $\delta$ -function resonance folded with the Gaussian energy spread of the beams and including radiative processes. The cross sections shown in (b) and (c) are integrated over the detector acceptance. The total hadron cross section, (a), has been corrected for detection efficiency.

4. Kwark powabny (**charm**), uzupełniający drugą generację był obiektem podwójnego polowania: w Brookhaven wąski pik zaobserwowano dla energii 3.1 GeV dla pary elektron-pozyton podczas zderzenia:  $p+Be$ , w Stanford odwrotnie – zaobserwowano pik produkcji hadronu podczas anihilacji pary elektron-pozyton. Prace zostały przyjęte prawie jednocześnie - dzielił je zaledwie jeden dzień różnicy. Mezon  $c\bar{c}$  nosi więc podwójną nazwę  $J/\Psi$  i przyniósł nagrodę Nobla obu grupom.

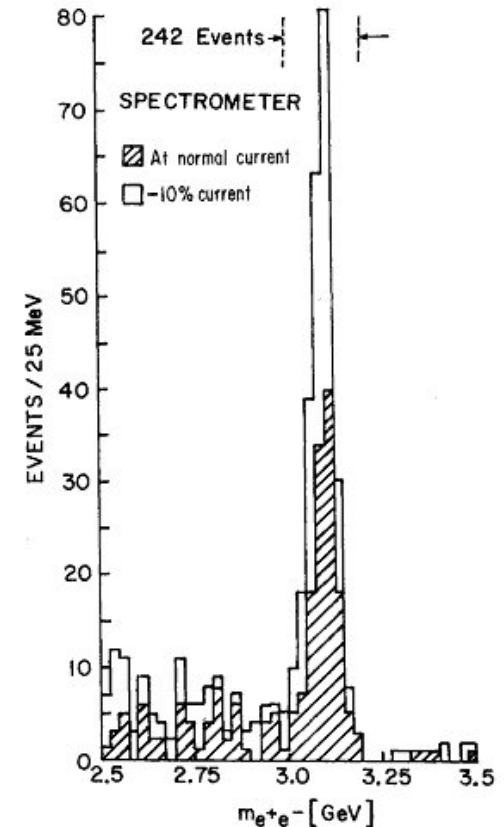


FIG. 2. Mass spectrum showing the existence of  $J$ . Results from two spectrometer settings are plotted showing that the peak is independent of spectrometer currents. The run at reduced current was taken two months later than the normal run.

# Jak już, to trzy „generacje”



The Nobel Prize in Physics 2008

Yoichiro Nambu, Makoto Kobayashi, Toshihide Maskawa

Share this: [f](#) [G+](#) [t](#) [+](#) [e](#) 9

## The Nobel Prize in Physics 2008



Photo: University of Chicago

Yoichiro Nambu

Prize share: 1/2



© The Nobel Foundation  
Photo: U. Montan

Makoto Kobayashi

Prize share: 1/4

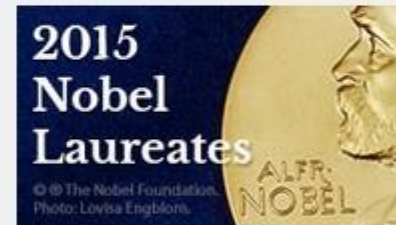


© The Nobel Foundation  
Photo: U. Montan

Toshihide Maskawa

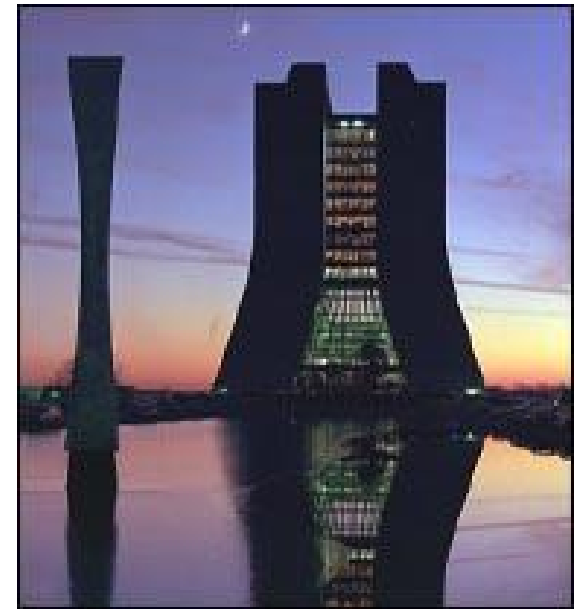
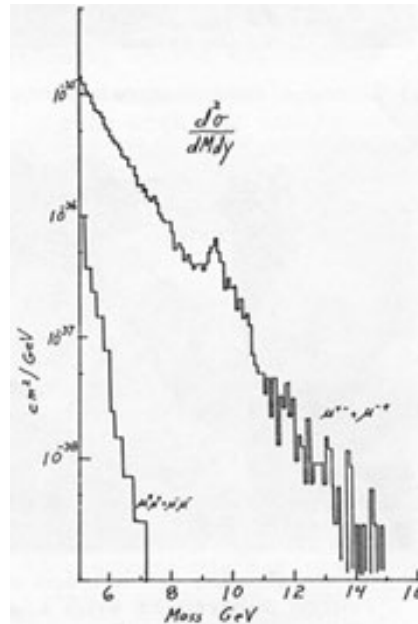
Prize share: 1/4

The Nobel Prize in Physics 2008 was divided, one half awarded to Yoichiro Nambu *“for the discovery of the mechanism of spontaneous broken symmetry in subatomic physics”*, the other half jointly to Makoto Kobayashi and Toshihide Maskawa *“for the discovery of the origin of the broken symmetry which predicts the existence of at least three families of quarks in nature”*.



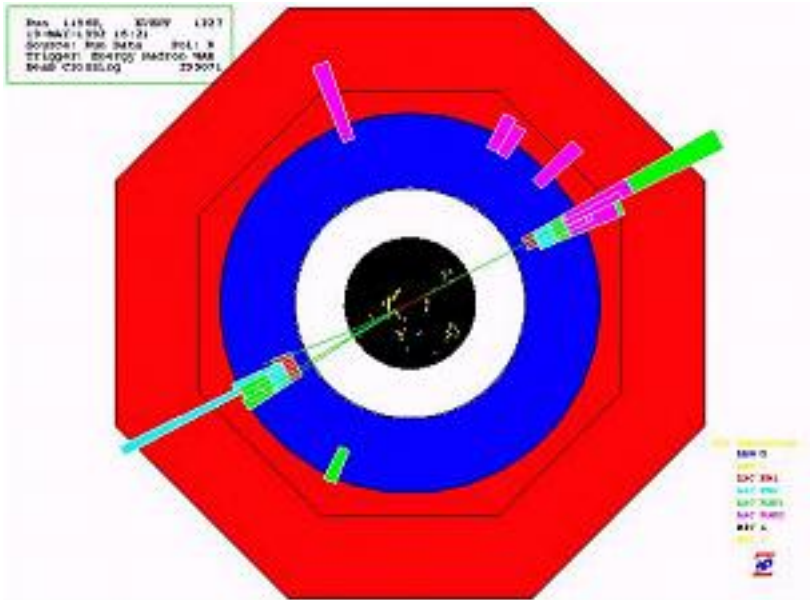
Discover features and trivia about the

# W tym wyścigu uczestniczyli już tylko Amerykanie

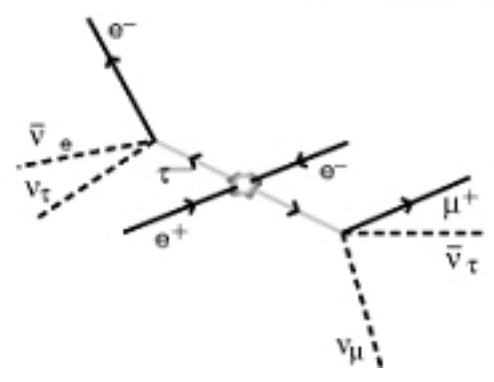
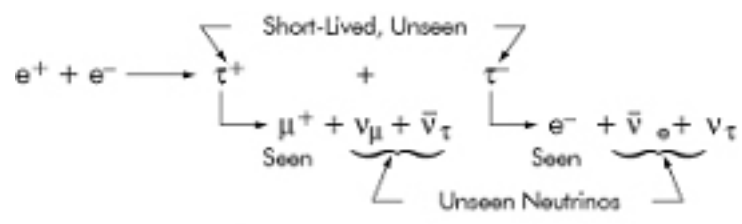
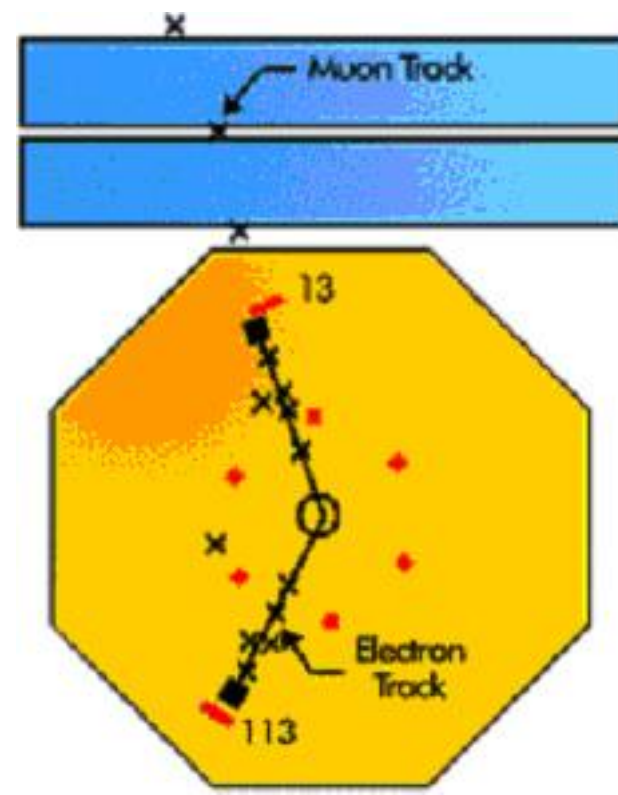


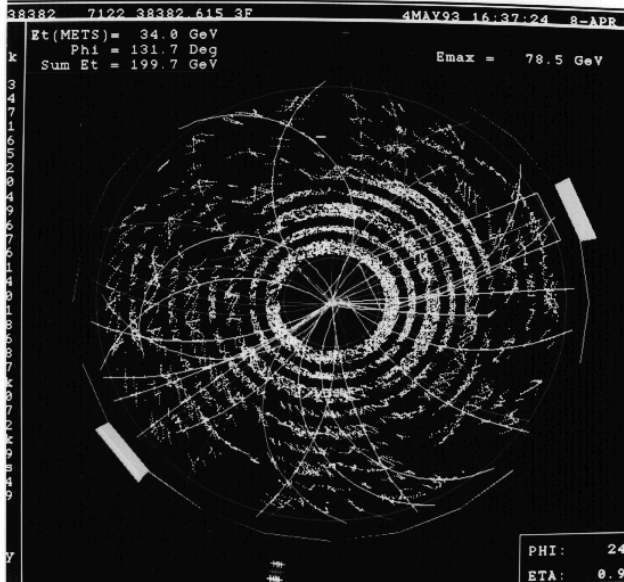
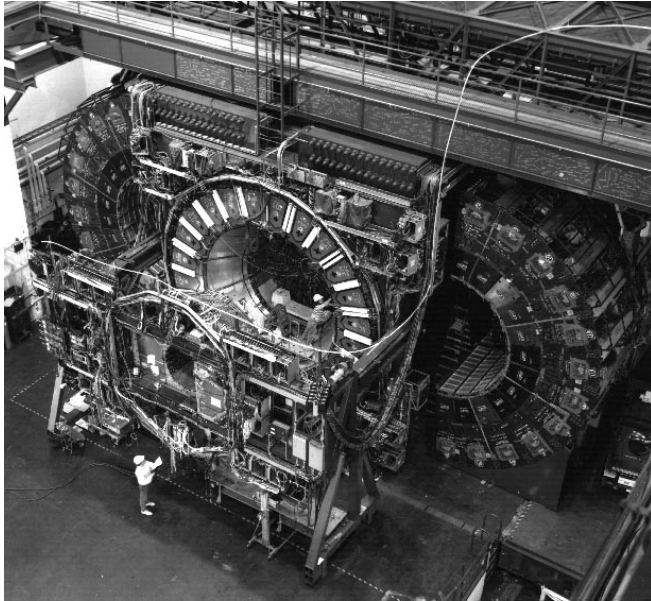
5. Trzecia generacja kwarków została po raz pierwszy przewidziana teoretycznie przez M. Kobayashiego i T. Masakawę w 1974 roku. Kwark “bottom” zwany także “beauty” zaobserwowano w 1977 roku w FermiLab badając powstawanie mionów z w procesie rozpraszania protonów na atomach Cu i Pt, jako ledwie widoczne maksimum, świadczące o powstaniu mezonu  $b\bar{b}$  (Y-Upsilon) dla energii 9.5 GeV





# Lepton $\tau$





# Kwark „top”

VOLUME 90, NUMBER 25

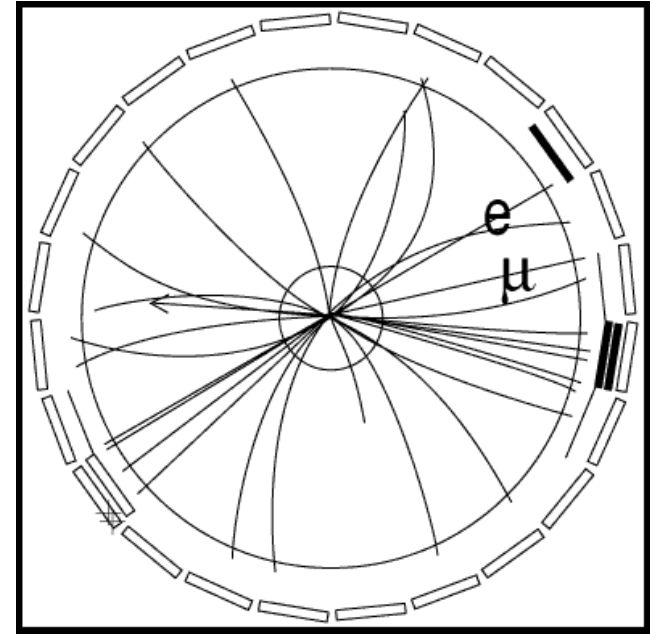
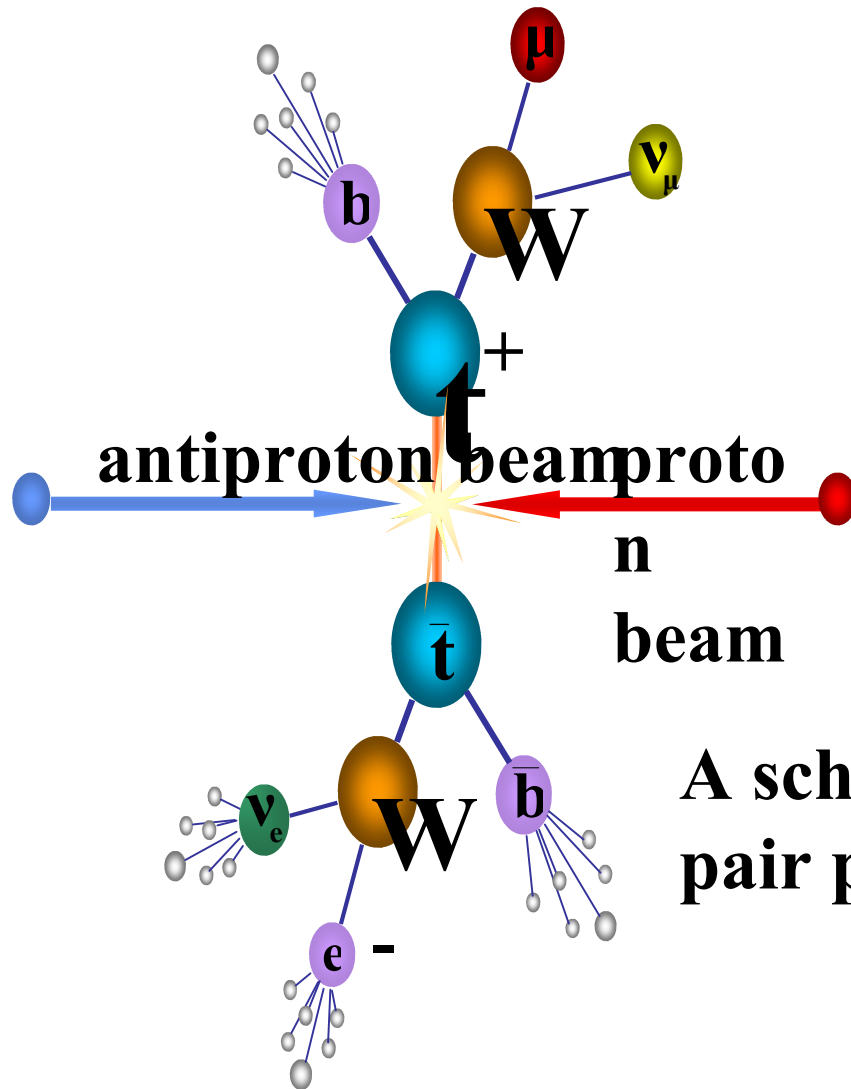
PHYSICAL REVIEW LETTERS

week ending  
27 JUNE 2003

## Search for the Supersymmetric Partner of the Top Quark in Dilepton Events from $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV

D. Acosta,<sup>14</sup> T. Affolder,<sup>25</sup> H. Akimoto,<sup>51</sup> M. G. Albrow,<sup>13</sup> D. Ambrose,<sup>37</sup> D. Amidei,<sup>28</sup> K. Anikeev,<sup>27</sup> J. Antos,<sup>1</sup>  
 G. Apollinari,<sup>11</sup> T. Arisawa,<sup>51</sup> A. Artukov,<sup>11</sup> T. Asakawa,<sup>49</sup> W. Ashmanskas,<sup>2</sup> F. Azfar,<sup>35</sup> P. Azzi-Bacchetta,<sup>26</sup>  
 N. Bacchetta,<sup>36</sup> H. Bachacou,<sup>25</sup> W. Badgett,<sup>13</sup> S. Bailey,<sup>18</sup> P. de Barbaro,<sup>41</sup> A. Barbaro-Galtieri,<sup>25</sup> V. E. Barnes,<sup>40</sup>  
 B. A. Barnett,<sup>21</sup> S. Baroiat,<sup>5</sup> M. Barone,<sup>15</sup> G. Bauer,<sup>27</sup> F. Bedeschi,<sup>38</sup> S. Behari,<sup>21</sup> S. Belforte,<sup>48</sup> W. H. Bell,<sup>17</sup>  
 G. Bellutini,<sup>38</sup> J. Bellinger,<sup>22</sup> D. Benjamin,<sup>12</sup> J. Bensinger,<sup>4</sup> A. Beretvas,<sup>13</sup> J. Berryhill,<sup>10</sup> A. Bhatti,<sup>42</sup> M. Binkley,<sup>13</sup>  
 D. Bisello,<sup>36</sup> M. Bishai,<sup>13</sup> R. E. Blair,<sup>2</sup> C. Blocker,<sup>4</sup> K. Bloom,<sup>28</sup> B. Blumenfeld,<sup>21</sup> S. R. Blusk,<sup>41</sup> A. Bocci,<sup>42</sup> A. Bodek,<sup>41</sup>  
 G. Boll,<sup>40</sup> A. Bolshov,<sup>27</sup> Y. Bonushkin,<sup>6</sup> D. Bortoletto,<sup>40</sup> J. Boudreau,<sup>39</sup> A. Brandl,<sup>31</sup> C. Bromberg,<sup>29</sup> M. Brozovic,<sup>12</sup>  
 E. Brubaker,<sup>25</sup> N. Brumer,<sup>31</sup> J. Budagov,<sup>11</sup> H. S. Budd,<sup>41</sup> K. Burkett,<sup>18</sup> G. Busetto,<sup>36</sup> K. L. Byrum,<sup>2</sup> S. Cabrera,<sup>12</sup>  
 P. Calafura,<sup>25</sup> M. Campbell,<sup>28</sup> W. Carithers,<sup>25</sup> J. Carlson,<sup>28</sup> D. Carlsmith,<sup>52</sup> W. Caskey,<sup>2</sup> A. Castro,<sup>3</sup> D. Cauz,<sup>48</sup>  
 A. Cerri,<sup>38</sup> L. Cerrito,<sup>20</sup> A. W. Chan,<sup>1</sup> P. S. Chang,<sup>1</sup> P. T. Chang,<sup>1</sup> J. Chapman,<sup>28</sup> C. Chen,<sup>37</sup> Y. C. Chen,<sup>13</sup> M.-T. Cheng,<sup>1</sup>  
 M. Chertok,<sup>3</sup> G. Chiarelli,<sup>29</sup> I. Chirikov-Zorin,<sup>11</sup> G. Chlachidze,<sup>11</sup> F. Chlebana,<sup>13</sup> L. Christoffel,<sup>20</sup> M. L. Chu,<sup>1</sup>  
 J. Y. Chung,<sup>33</sup> W.-H. Chung,<sup>32</sup> Y. S. Chung,<sup>41</sup> C. I. Cioabari,<sup>33</sup> A. G. Clark,<sup>16</sup> M. Coca,<sup>41</sup> A. P. Colijn,<sup>13</sup> A. Connolly,<sup>25</sup>  
 M. Convery,<sup>22</sup> J. Conway,<sup>44</sup> M. Cordelli,<sup>15</sup> J. Cranshaw,<sup>46</sup> R. Culbertson,<sup>13</sup> D. Dagenhart,<sup>3</sup> S. D'Auria,<sup>17</sup> S. De Cecco,<sup>43</sup>  
 F. DeJongh,<sup>13</sup> S. Dell'Agnello,<sup>15</sup> M. Dell'Orso,<sup>38</sup> S. Demers,<sup>41</sup> L. Demortier,<sup>42</sup> M. Deninno,<sup>3</sup> D. De Pedis,<sup>43</sup>  
 P. F. Derwent,<sup>13</sup> T. Devlin,<sup>44</sup> C. Dionisi,<sup>43</sup> J. R. Dittmann,<sup>13</sup> A. Dominguez,<sup>25</sup> S. Donati,<sup>38</sup> M. D'Onofrio,<sup>28</sup> T. Dorigo,<sup>36</sup>  
 N. Eddy,<sup>20</sup> K. Einsweiler,<sup>23</sup> E. Engels, Jr.,<sup>39</sup> R. Erbacher,<sup>13</sup> D. Errede,<sup>20</sup> S. Errede,<sup>20</sup> R. Eusebi,<sup>41</sup> Q. Fan,<sup>41</sup>  
 S. Farrington,<sup>17</sup> R. G. Feild,<sup>33</sup> J. P. Fernandez,<sup>49</sup> C. Ferretti,<sup>28</sup> R. D. Field,<sup>14</sup> I. Fiori,<sup>3</sup> B. Flugher,<sup>13</sup>  
 L. R. Flores-Castillo,<sup>39</sup> G. W. Foster,<sup>13</sup> M. Franklin,<sup>18</sup> J. Freeman,<sup>13</sup> J. Friedman,<sup>27</sup> Y. Fukui,<sup>23</sup> I. Furie,<sup>37</sup> S. Galeotti,<sup>38</sup>  
 A. Gallas,<sup>32</sup> M. Gallinaro,<sup>42</sup> T. Gao,<sup>37</sup> M. Garcia-Seiveres,<sup>25</sup> A. F. Garfinkel,<sup>40</sup> P. Gatti,<sup>36</sup> C. Gay,<sup>53</sup> D. W. Gerdes,<sup>28</sup>  
 E. Gerstein,<sup>9</sup> S. Giagu,<sup>43</sup> P. Giannetti,<sup>38</sup> K. Giolo,<sup>40</sup> M. Giordani,<sup>3</sup> P. Giromini,<sup>15</sup> V. Glagolev,<sup>11</sup> D. Glenzinski,<sup>13</sup>  
 M. Gold,<sup>31</sup> N. Goldschmidt,<sup>29</sup> J. Goldstein,<sup>13</sup> G. Gomez,<sup>8</sup> M. Goncharov,<sup>45</sup> I. Gorelov,<sup>31</sup> A. T. Goshaw,<sup>12</sup> Y. Gotra,<sup>42</sup>  
 K. Goulianos,<sup>12</sup> C. Green,<sup>40</sup> A. Greife,<sup>2</sup> G. Grim,<sup>7</sup> C. Grosso-Pilcher,<sup>10</sup> M. Guenther,<sup>40</sup> G. Guillian,<sup>28</sup>  
 J. Guimaraes da Costa,<sup>18</sup> R. M. Haas,<sup>14</sup> C. Haber,<sup>25</sup> S. R. Hahn,<sup>13</sup> E. Halkiadakis,<sup>41</sup> C. Hall,<sup>18</sup> T. Handa,<sup>19</sup> R. Handler,<sup>52</sup>  
 F. Happacher,<sup>15</sup> K. Hara,<sup>49</sup> A. D. Hardman,<sup>40</sup> R. M. Harris,<sup>13</sup> F. Hartmann,<sup>22</sup> K. Hatakeyama,<sup>42</sup> J. Hauser,<sup>6</sup> J. Heinrich,<sup>37</sup>  
 A. Heiss,<sup>22</sup> M. Hennecke,<sup>22</sup> M. Herndon,<sup>21</sup> C. Hill,<sup>7</sup> A. Hocker,<sup>41</sup> K. D. Hoffman,<sup>10</sup> R. Hollebeek,<sup>37</sup> L. Holloway,<sup>29</sup>  
 S. Hou,<sup>1</sup> B. T. Huffman,<sup>38</sup> R. Hughes,<sup>33</sup> J. Huston,<sup>29</sup> J. Huth,<sup>18</sup> H. Ikeda,<sup>49</sup> C. Issever,<sup>7</sup> J. Incandela,<sup>4</sup> G. Introzzi,<sup>38</sup>  
 M. Iori,<sup>43</sup> A. Ivanov,<sup>41</sup> J. Iwai,<sup>51</sup> Y. Iwata,<sup>19</sup> B. Iyutin,<sup>27</sup> E. James,<sup>28</sup> M. Jones,<sup>27</sup> U. Joshi,<sup>13</sup> H. Kambara,<sup>16</sup> T. Kamon,<sup>45</sup>  
 T. Kaneko,<sup>49</sup> J. Kang,<sup>28</sup> M. Karagöz-Unel,<sup>32</sup> K. Karr,<sup>30</sup> S. Kartal,<sup>13</sup> H. Kasha,<sup>53</sup> Y. Kato,<sup>34</sup> T. A. Keafer,<sup>40</sup> K. Kelley,<sup>27</sup>  
 M. Kelly,<sup>28</sup> R. D. Kennedy,<sup>13</sup> R. Kephart,<sup>13</sup> D. Khazins,<sup>12</sup> T. Kikuchi,<sup>49</sup> B. Kilminster,<sup>41</sup> B. J. Kim,<sup>24</sup> D. H. Kim,<sup>24</sup>  
 H. S. Kim,<sup>20</sup> M. J. Kim,<sup>9</sup> S. B. Kim,<sup>24</sup> S. H. Kim,<sup>49</sup> T. H. Kim,<sup>27</sup> Y. K. Kim,<sup>20</sup> M. Kirby,<sup>12</sup> M. Kirk,<sup>4</sup> L. Kirsch,<sup>4</sup>  
 S. Klimenko,<sup>14</sup> P. Koehn,<sup>33</sup> K. Kondo,<sup>51</sup> J. Konigsberg,<sup>14</sup> A. Korn,<sup>27</sup> A. Korytov,<sup>14</sup> K. Kotelnikov,<sup>30</sup> E. Kovacs,<sup>2</sup>  
 J. Krofl,<sup>3</sup> M. Kruse,<sup>12</sup> V. Krutlyov,<sup>45</sup> S. E. Kuhlmann,<sup>2</sup> K. Kurino,<sup>19</sup> T. Kuwabara,<sup>49</sup> N. Kuznetsova,<sup>13</sup>  
 A. T. Laasanen,<sup>40</sup> N. Lai,<sup>10</sup> S. Lami,<sup>42</sup> S. Lammel,<sup>12</sup> J. Lancaster,<sup>12</sup> K. Lannon,<sup>20</sup> M. Lancaster,<sup>26</sup> R. Lander,<sup>5</sup> A. Lath,<sup>44</sup>  
 G. Latino,<sup>31</sup> T. LeCompte,<sup>2</sup> Y. Le,<sup>21</sup> J. Lee,<sup>41</sup> S. W. Lee,<sup>45</sup> N. Leonardo,<sup>27</sup> S. Leone,<sup>38</sup> J. D. Lewis,<sup>13</sup> K. Li,<sup>33</sup> C. S. Lin,<sup>13</sup>  
 M. Lindgren,<sup>6</sup> T. M. Liss,<sup>20</sup> J. B. Liu,<sup>41</sup> T. Liu,<sup>13</sup> Y. C. Liu,<sup>1</sup> D. O. Litvinsev,<sup>13</sup> O. Lobban,<sup>46</sup> N. S. Lockyer,<sup>37</sup>  
 A. Logunov,<sup>30</sup> J. Loken,<sup>25</sup> M. Loretto,<sup>36</sup> D. Lucchesi,<sup>36</sup> P. Lukens,<sup>13</sup> S. Lusin,<sup>52</sup> L. Lyons,<sup>35</sup> J. Lys,<sup>25</sup> R. Madrak,<sup>18</sup>  
 K. Maeshima,<sup>13</sup> P. Maksimovic,<sup>21</sup> L. Malferari,<sup>3</sup> M. Mangano,<sup>38</sup> G. Manca,<sup>35</sup> M. Mariotti,<sup>36</sup> G. Martignon,<sup>36</sup>  
 M. Martin,<sup>21</sup> A. Martin,<sup>33</sup> V. Martin,<sup>42</sup> M. Martínez,<sup>13</sup> J. A. J. Matthews,<sup>31</sup> P. Mazzanti,<sup>3</sup> K. S. McFarland,<sup>41</sup>  
 P. McIntyre,<sup>45</sup> M. Menguzzato,<sup>36</sup> A. Menzione,<sup>38</sup> P. Merkel,<sup>13</sup> C. Mesropian,<sup>42</sup> A. Meyer,<sup>13</sup> T. Miao,<sup>13</sup> R. Miller,<sup>29</sup>  
 J. S. Miller,<sup>28</sup> H. Minato,<sup>49</sup> S. Miscetti,<sup>15</sup> M. Mishina,<sup>23</sup> G. Mitselmakher,<sup>14</sup> Y. Miyazaki,<sup>14</sup> N. Moggi,<sup>1</sup> E. Moore,<sup>31</sup>  
 R. Moore,<sup>28</sup> Y. Morita,<sup>23</sup> T. Moulk,<sup>40</sup> M. Mulhearn,<sup>27</sup> A. Mukherjee,<sup>13</sup> T. Müller,<sup>22</sup> A. Munar,<sup>39</sup> P. Murat,<sup>13</sup> S. Murgia,<sup>29</sup>  
 J. Nachtman,<sup>2</sup> V. Nagaslaev,<sup>46</sup> S. Nahn,<sup>53</sup> H. Nakada,<sup>49</sup> L. Nakano,<sup>19</sup> R. Napora,<sup>21</sup> F. Nieli,<sup>28</sup> C. Nelson,<sup>13</sup> T. Nelson,<sup>13</sup>  
 C. Neu,<sup>33</sup> M. S. Neubauer,<sup>27</sup> D. Neuberger,<sup>22</sup> C. Newman-Holmes,<sup>13</sup> C.-Y. P. Ngan,<sup>27</sup> T. Nigmanov,<sup>39</sup> H. Niu,<sup>4</sup>  
 L. Nodulman,<sup>2</sup> A. Nomerotski,<sup>14</sup> S. H. Oh,<sup>12</sup> Y. D. Oh,<sup>24</sup> T. Ohmoto,<sup>19</sup> T. Ohsugi,<sup>19</sup> R. Oishi,<sup>49</sup> T. Okusawa,<sup>34</sup> J. Olsen,<sup>52</sup>  
 W. Orejudos,<sup>25</sup> C. Pagliarone,<sup>38</sup> R. Palmonari,<sup>38</sup> R. Paoletti,<sup>38</sup> V. Papadimitriou,<sup>46</sup> D. Partos,<sup>7</sup> J. Patrick,<sup>13</sup> G. Pauletta,<sup>48</sup>  
 M. Paulini,<sup>9</sup> T. Pauly,<sup>35</sup> C. Paus,<sup>27</sup> D. Pellett,<sup>5</sup> A. Penzo,<sup>48</sup> L. Pescara,<sup>36</sup> T. J. Phillips,<sup>12</sup> G. Piacentini,<sup>38</sup> J. Piedra,<sup>8</sup>  
 K. T. Pitts,<sup>20</sup> A. Pompoš,<sup>40</sup> L. Pondrom,<sup>52</sup> G. Pope,<sup>39</sup> T. Pratt,<sup>33</sup> F. Prokoshin,<sup>11</sup> J. Proudfoot,<sup>2</sup> F. Ptochos,<sup>15</sup> O. Pukhov,<sup>11</sup>

# Quark „top”



A schematic of top-quark pair production

# Ale, (tym razem uczciwie), nie wiemy dlaczego

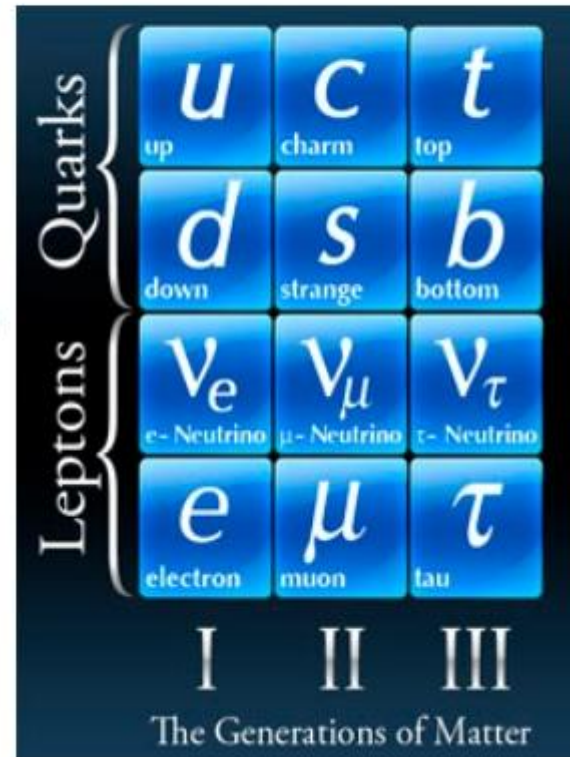
## Unsolved Mysteries - Three generations

### Three generations

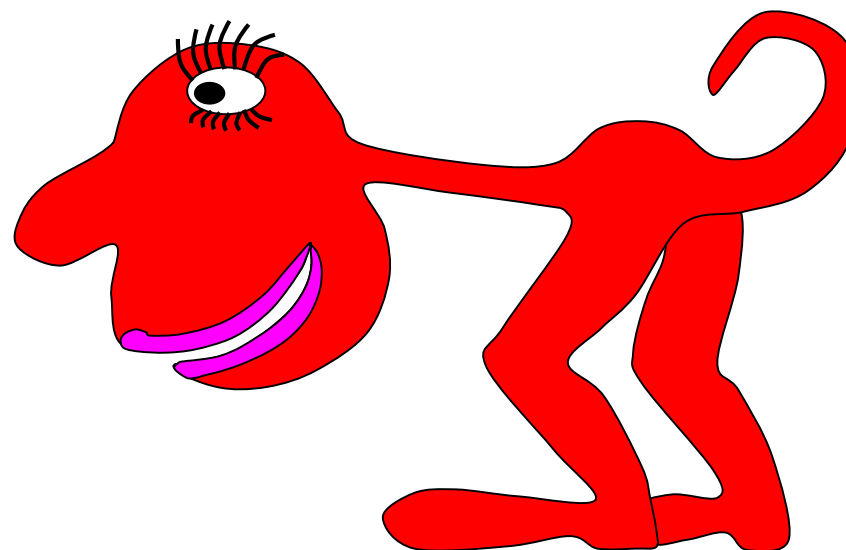
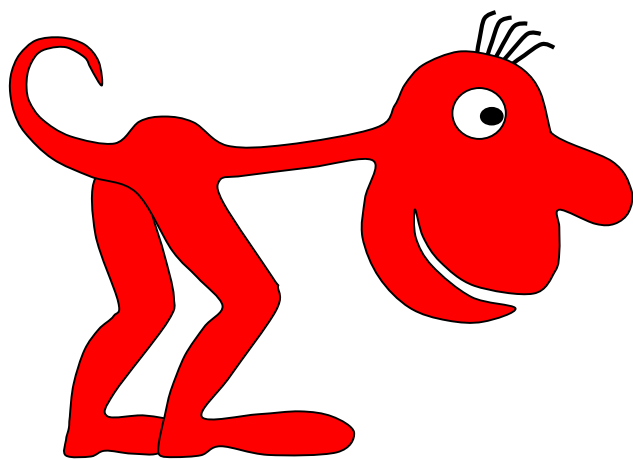
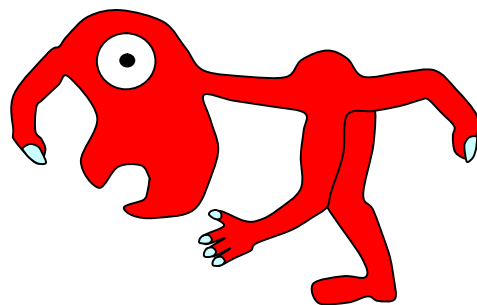
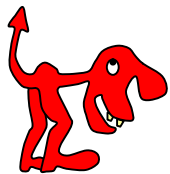
There are three "sets" of quark pairs and lepton pairs. Each "set" of these particles is called a generation, or family. The up/down quarks are first generation quarks, while the electron/electron neutrino leptons are first generation leptons.

**Why are there exactly three generations of matter?**

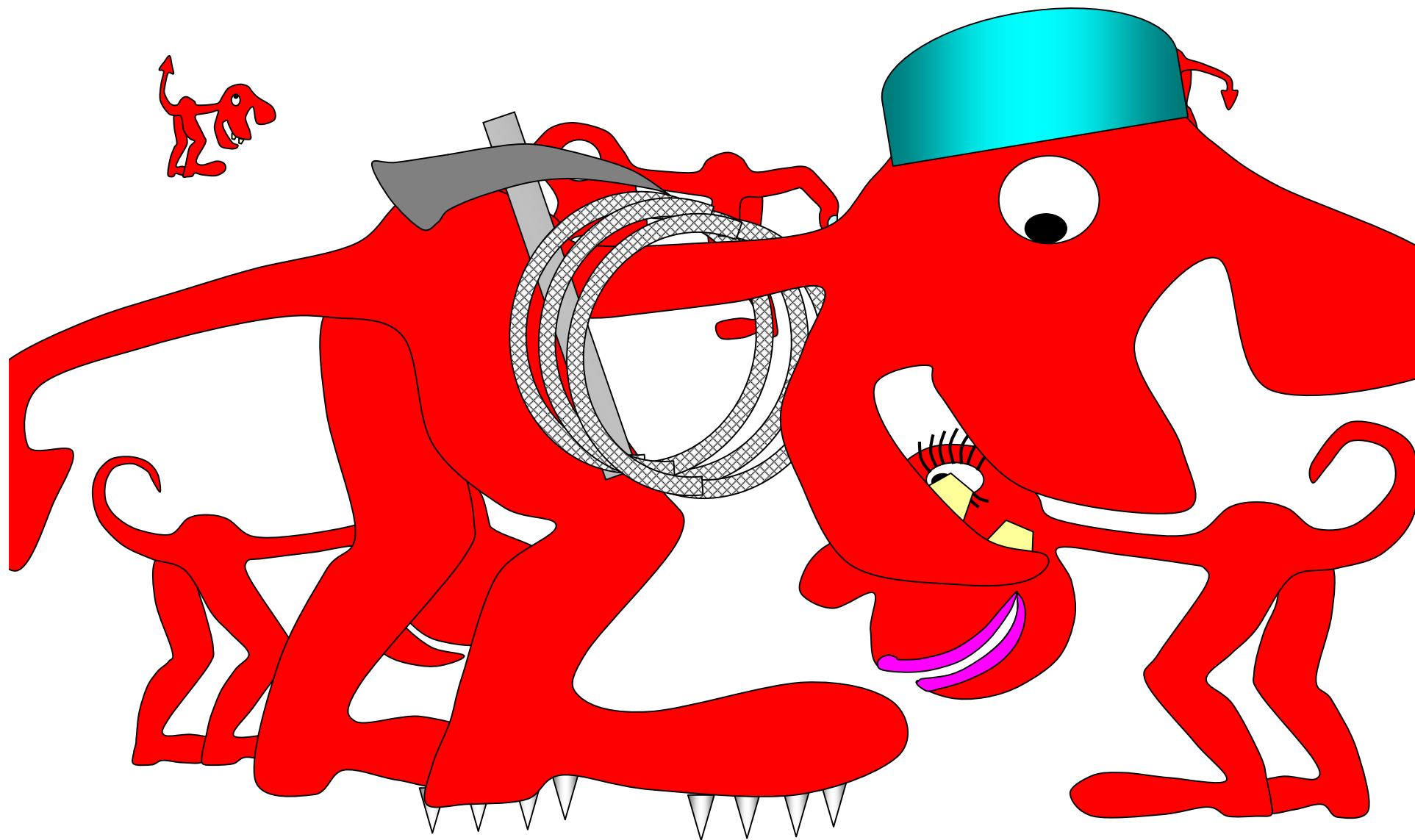
The generations increase in mass and higher generation particles tend to decay into lower generation particles. In the every-day world we observe only the first-generation particles (electrons and up/down quarks). We do not know why the natural world "needs" the two other generations, and we do not know why there are exactly **three** generations in total.



# Kwarki



# Kwarki



# Standard Model of FUNDAMENTAL PARTICLES AND INTERACTIONS

The Standard Model summarizes the current knowledge in Particle Physics. It is the quantum theory that includes the theory of strong interactions (quantum chromodynamics or QCD) and the unified theory of weak and electromagnetic interactions (electroweak). Gravity is included on this chart because it is one of the fundamental interactions even though not part of the "Standard Model."

## FERMIONS

matter constituents  
spin = 1/2, 3/2, 5/2, ...

Leptons spin = 1/2			Quarks spin = 1/2		
Flavor	Mass GeV/c <sup>2</sup>	Electric charge	Flavor	Approx. Mass GeV/c <sup>2</sup>	Electric charge
$\nu_e$ electron neutrino	$<1 \times 10^{-6}$	0	<b>u</b> up	0.003	2/3
$e^-$ electron	0.000511	-1	<b>d</b> down	0.006	-1/3
$\nu_\mu$ muon neutrino	$<0.0002$	0	<b>c</b> charm	1.3	2/3
$\mu^-$ muon	0.106	-1	<b>s</b> strange	0.1	-1/3
$\nu_\tau$ tau neutrino	$<0.02$	0	<b>t</b> top	175	2/3
$\tau^-$ tau	1.7771	-1	<b>b</b> bottom	4.3	-1/3

Spin is the intrinsic angular momentum of particles. Spin is given in units of  $\hbar$ , which is the quantum unit of angular momentum, where  $\hbar = h/2\pi = 6.58 \times 10^{-25} \text{ GeV} \cdot \text{s} = 1.05 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ .

Electric charges are given in units of the proton's charge. In SI units the electric charge of the proton is  $1.60 \times 10^{-19}$  coulombs.

The energy unit of particle physics is the electronvolt (eV), the energy gained by one electron in crossing a potential difference of one volt. Masses are given in GeV/c<sup>2</sup> (remember  $E = mc^2$ ), where  $1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV} = 1.60 \times 10^{-10} \text{ joule}$ . The mass of the proton is  $0.938 \text{ GeV}/c^2 = 1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$ .

## BOSONS

force carriers  
spin = 0, 1, 2, ...

Unified Electroweak spin = 1			Strong (color) spin = 1		
Name	Mass GeV/c <sup>2</sup>	Electric charge	Name	Mass GeV/c <sup>2</sup>	Electric charge
$\gamma$ photon	0	0	<b>g</b> gluon	0	0
$W^-$	80.4	-1			
$W^+$	80.4	+1			
$Z^0$	91.187	0			

### Color Charge

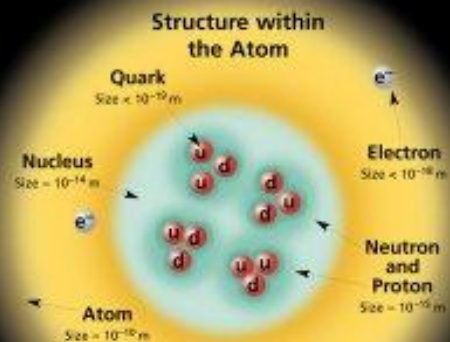
Each quark carries one of three types of "strong charge," also called "color charge." These charges have nothing to do with the colors of visible light. There are eight possible types of color charge for gluons, just as electric charges are carried by photons. In strong interactions color-charged particles interact by exchanging gluons. Leptons, photons, and  $W$  and  $Z$  bosons have no strong interactions and hence no color charge.

### Quarks Confined in Mesons and Baryons

One cannot isolate quarks and gluons; they are confined in color-neutral particles called hadrons. The confinement (binding) results from multiple exchanges of gluons among the color-charged constituents. As color-charged particles (quarks and gluons) move apart, the energy in the color-force field between them increases. The energy eventually is converted into additional quark-antiquark pairs (see figure below). The quarks and antiquarks then combine into hadrons; these are the particles seen to emerge. Two types of hadrons have been observed in nature: mesons  $qq$  and baryons  $qqq$ .

### Residual Strong Interaction

The strong binding of color-neutral protons and neutrons to form nuclei is due to residual strong interactions between their color-charged constituents. It is similar to the residual electrical interaction that binds electrically neutral atoms to form molecules. It can also be viewed as the exchange of mesons between the hadrons.



If the protons and neutrons in this picture were 10 cm across, then the quarks and electrons would be less than 0.1 mm in size and the entire atom would be about 10 km across.

## PROPERTIES OF THE INTERACTIONS

Baryons $qqq$ and Antibaryons $\bar{q}\bar{q}\bar{q}$				
Baryons are fermionic hadrons. There are about 100 types of baryons.				
Symbol	Name	Quark content	Electric charge	Mass GeV/c <sup>2</sup>
$p$	proton	$uud$	1	0.938
$\bar{p}$	anti-proton	$\bar{u}\bar{u}\bar{d}$	-1	0.938
$n$	neutron	$udd$	0	0.940
$\Lambda$	lambda	$uds$	0	1.116
$\Omega^-$	omega	$sss$	-1	1.672

Property	Interaction	Gravitational	Weak	Electromagnetic	Strong	
		Mass - Energy	Flavor	Electric Charge	Fundamental	Residual
Acts on:		All	Quarks, Leptons	Electrically charged	Color Charge	See Residual Strong Interaction Note
Particles experiencing:		All	$W^+ W^- Z^0$	$\gamma$	Quarks, Gluons	Hadrons
Particles mediating:		Graviton (not yet observed)	$W^+ W^- Z^0$	$\gamma$	Gluons	Mesons
Strength relative to electricity for two u quarks at:		$10^{-41}$	0.8	1	25	Not applicable to quarks
	$10^{-18} \text{ m}$	$10^{-41}$	$10^{-4}$	1	60	
	$1 \times 10^{-17} \text{ m}$	$10^{-36}$	$10^{-7}$	1	Not applicable to hadrons	20

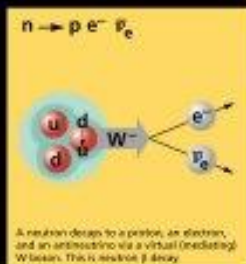
Mesons $q\bar{q}$					
Mesons are bosonic hadrons. There are about 100 types of mesons.					
Symbol	Name	Quark content	Electric charge	Mass GeV/c <sup>2</sup>	Spin
$\pi^+$	pion	$u\bar{d}$	+1	0.140	0
$K^-$	kaon	$s\bar{u}$	-1	0.494	0
$\rho^+$	rho	$u\bar{d}$	+1	0.770	1
$B^0$	B-meson	$d\bar{b}$	0	5.279	0
$\eta_c$	eta-c	$c\bar{c}$	0	2.380	0

### Matter and Antimatter

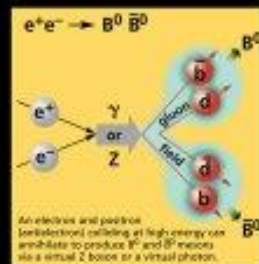
For every particle type there is a corresponding antiparticle type, denoted by a bar over the particle symbol (unless + or - charge is shown). Particle and antiparticle have identical mass and spin but opposite charges. Some electrically neutral bosons (e.g.,  $Z^0$ ,  $\gamma$ , and  $\eta_c = c\bar{c}$ ), but not  $K^0 = d\bar{s}$ ) are their own antiparticles.

### Figures

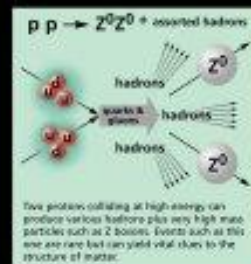
These diagrams are an artist's conception of physical processes. They are not exact and have no meaningful scale. Green shaded areas represent the cloud of gluons or the gluon field, and red lines the quark paths.



A neutron decays to a proton, an electron, and an antineutrino via a virtual (mediating)  $W$  boson. This is known as beta decay.



An electron and positron (antielectron) colliding at high energy can annihilate to produce  $\gamma$  and  $Z^0$  mesons via a virtual  $Z$  boson or a virtual photon.



Two protons colliding at high energy can produce various hadrons plus very high mass particles such as  $Z$  bosons. Events such as this one are rare but can yield vital clues to the structure of matter.

### The Particle Adventure

Visit the award-winning web feature The Particle Adventure at <http://ParticleAdventure.org>

This chart has been made possible by the generous support of:

U.S. Department of Energy  
U.S. National Science Foundation  
Lawrence Berkeley National Laboratory  
Stanford Linear Accelerator Center  
American Physical Society, Division of Particles and Fields  
**DUFLIE** INDUSTRIES, INC.

©2008 Contemporary Physics Education Project. CPEP is a non-profit organization of teachers, physicists, and educators. Send mail to: CPEP, MS 95-306, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA, 94720. For information on charts, text materials, hands-on classroom activities, and workshops, see:

<http://CPEPweb.org>

# Masy kwarków?

INTERACTION	SOURCE	PARTICLES MEDIATING	MASS	POWER
Gravitational	mass	graviton G	0	$10^{-39}$
Electromagnetic	charge	foton $\gamma$	0	$10^{-2}$
Strong	colour	gluon $g$	0	1
Weak	weak	bosons $W^\pm$	80 GeV	$10^{-7}$
	charge	$Z^0$	91 GeV	

LEPTONS SPIN = 1/2			QUARKS SPIN = 1/2		
FLAVOR	MASS GeV/c <sup>2</sup>	ELECTRIC CHARGE	FLAVOR	MASS GeV/c <sup>2</sup>	ELECTRIC CHARGE
$\nu_e$	$< 7 \times 10^{-8}$	0	u	$\approx 0.003$	2/3
$e^-$	0.000511	-1	d	$\approx 0.006$	-1/3
$\nu_\mu$	$< 0.0003$	0	c	1.5	2/3
$\mu^-$	0.106	-1	s	$\approx 0.1$	-1/3
$\nu_\tau$	$< 0.03$	0	t	170	2/3
$\tau^-$	1.7771	-1	b	4.7	-1/3

Masses of light quarks are known with almost 50% error bar (2004).

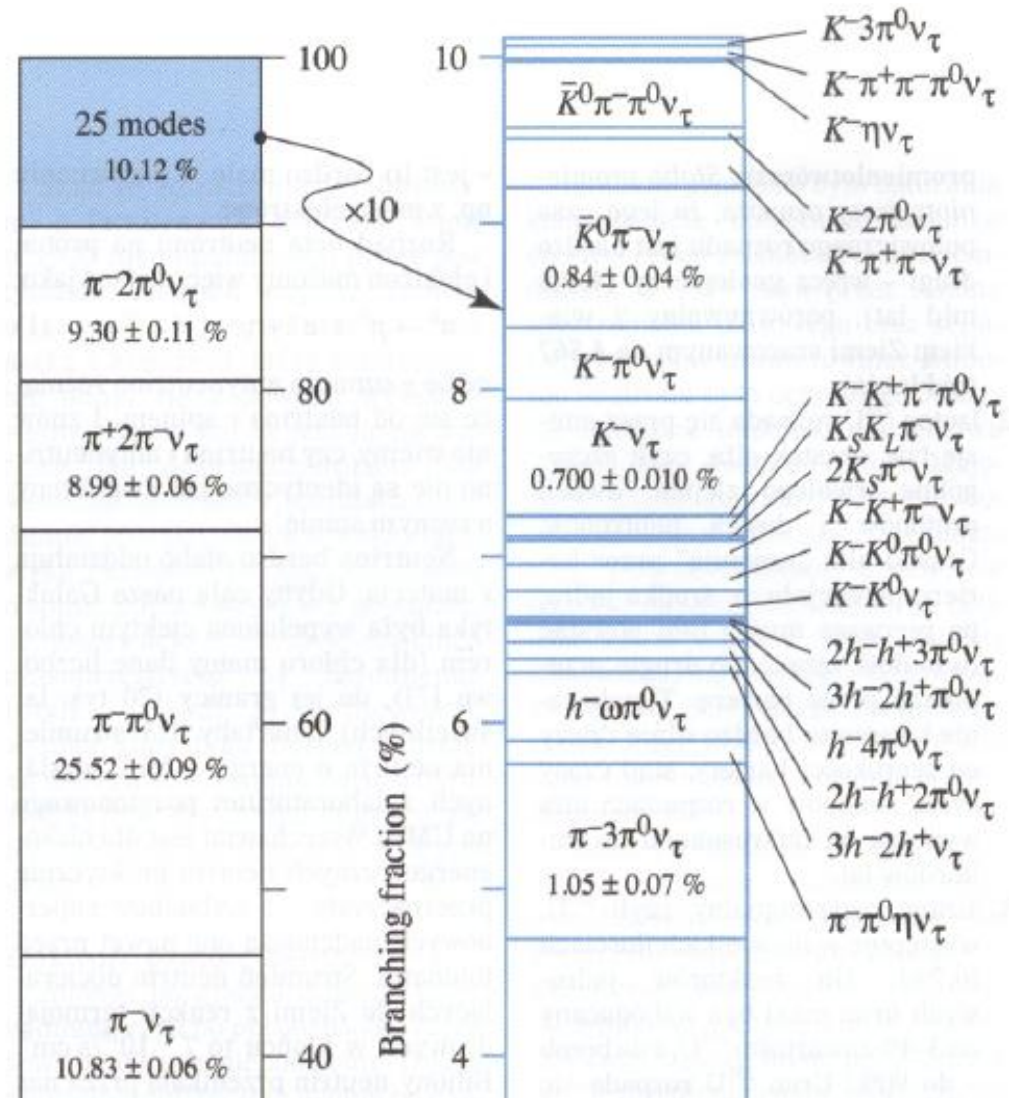
These best data are following :  $1/2(m_u+m_d)=4.2 \text{ MeV}/c^2$ ;  $1.5 < m_u < 5 \text{ MeV}$ ;  $5 < m_d < 9 \text{ MeV}/c^2$  and for *strange* quark  $m_s=0.105 \pm 0.033 \text{ GeV}/c^2$  [Manohor 2002]

Quarks are, after all, quite light particles: the *u* quark is only six times heavier than electron. © GK



# Pokrewieństwa?

- czyli kanały rozpadów
- i prawdopodobieństwa (macierz Cabbibo, Kobayashiego, Maskawy)

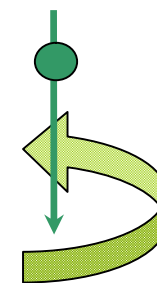
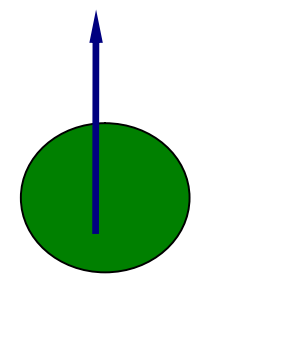
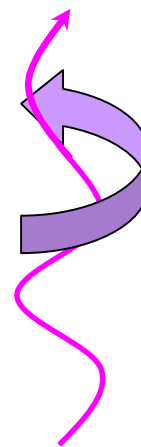


$$\begin{bmatrix} |V_{ud}| & |V_{us}| & |V_{ub}| \\ |V_{cd}| & |V_{cs}| & |V_{cb}| \\ |V_{td}| & |V_{ts}| & |V_{tb}| \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.97427 \pm 0.00015 & 0.22534 \pm 0.00065 & 0.00351^{+0.00015}_{-0.00014} \\ 0.22520 \pm 0.00065 & 0.97344 \pm 0.00016 & 0.0412^{+0.0011}_{-0.0005} \\ 0.00867^{+0.00029}_{-0.00031}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

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

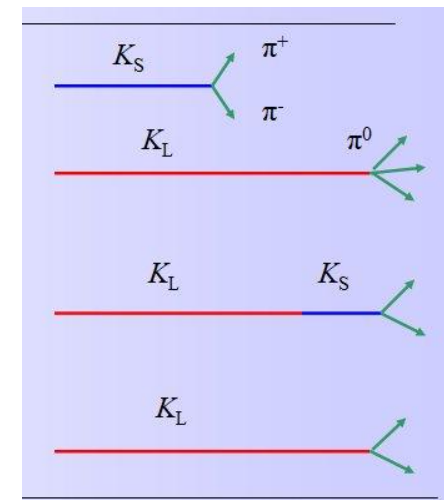
# Zagadkowa historia rozpadów promieniotwórczych $^{60}\text{Co}$

- Rozpady te charakteryzuje asymetria:
  - Jeżeli ustawimy jądra w jednym kierunku (np. za pomocą silnego pola magnetycznego w schłodzonej próbce)
  - - to elektrony powstające w rozpadach wysyłane są w jednym kierunku (a neutrina w drugim)
  - Innymi słowy: łamana jest symetria między zamianą ładunku i kierunkiem obrotu:
  - Wniosek (GK): **Świat się kręci (nieco bardziej) w prawo**
- = nie jest zachowana symetria **C** i **P**  
(ale może uchowa się symetria **CP** – tzn. świat Alicji w lustrze składa się dodatnich elektronów i ujemnych protonów)

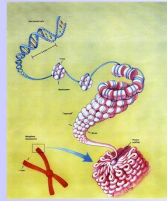


# Niestety, nie: CP też nie jest zachowana

- Pokazały to rozpadły mezonów dziwnych,  $K^0$
- Mezon krótkożyciowy czasem zamienia się w długożyciowy
- To tzw. łamanie symetrii jest rzędu  $2 \times 10^{-3}$



# Does the World spin right?



Why a hedge binds around the tree always in one direction? Why mollusks and DNA chain are right-handed but aminoacids left-handed?

In Physics, all processes are symmetric, if we look from right or left. Or better: **almost** all processes!

What is asymmetric is the weakest (apart from the gravity) elementary interaction, that of beta and mesons  $K$  decay. The reason? The lightest, but probably no mass-less particle, always left handed, called neutrino.



Electromagnetic interaction is symmetric over charge sign.  $\pi$  meson can decay only into two photons (with *parity*-1 each), never into three photons.



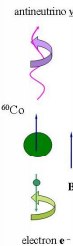
Ligula virgatus

1. We believed, until 1956, that, with the change of the the electric charge, elementary particles behave in the same way. For example, in beta decays, electrons or positrons should be emitted in all directions.

The experiment with  $^{60}\text{Co}$  decay showed that it is not true: electrons are emitted in the direction opposite to the magnetic field and the spin of the created anti-neutrino is oriented parallel to its propagation direction (it is *right-handed*).

This conjugation between spin and propagation direction proved to be an intrinsic part of all weak interactions, like the muon decay. [Garwin, Lederman and Weinrich, Phys. Rev. 105 (1957) 1415]

The  $^{60}\text{Co}$  nucleus decays into  $^{60}\text{Ni}$ , emitting an electron. As the spin of the two nuclei differs by  $-1$ , the total spin of the anti-neutrino and the electron must be  $-1$ . Antineutrino is always right handed (the spin parallel to its momentum). The electron emitted is polarized, with the spin antiparallel to its momentum and always downwards the B.

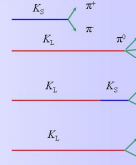


2. Then, we believed that changing the charge and the direction of rotation (i.e. parity) this combined CP symmetry is preserved. The experiment on  $K$  mesons in 1964 showed that it was not true: long lived mesons should **not decay** into two pions but they do, about one out of 500 long-lived mesons  $K_L$  "change in flight" its parity to  $CP=1$  and dies quicker. CP parity is not conserved!

With the CP symmetry conserved, the short lived state  $K_S$  decays into two charged pions, and the long-lived  $K_L$  into three neutral pions.

The decay of  $K_L$  into two pions can indicate the CP violation, but not directly - the  $K_L$  kaon could have converted itself into the  $K_S$  type just before the decay. The probability for this process, observed in 1964, is  $2 \times 10^{-3}$ .

If we are sure that this is the  $K_L$  kaon which decays into two pions, we get a direct proof for the CP-symmetry violation. The share of the direct CP violation in all three-pion decays of  $K_L$  is also  $2 \times 10^{-3}$ .



3. We still believe, that inverting together the charge, the parity and *time arrow* we preserves the total, CPT symmetry. The charge-parity-time symmetry seems to be proved also by all recent experiments. Moreover, as CP is broken, also time symmetry should be broken. It was shown explicitly in a recent CERN experiment on kaon decay. Decay of heavier, bottom quarks, violates the CP symmetry even more than the decay of strange kaons. **A conclusion on CPT conserved and CP broken? Our left-handed antimatter twin gets younger every day!**



This experiment from FermiLab shows the non-zero value for the violation of the CP symmetry in decay of bottom quarks into charmed quarks (through the study of appropriate mesons decays). In a next paper [PRL 87 012802 (2001)]  $\sin(2\alpha) = 0.99 \pm 0.14 \pm 0.06$  was given.



Another paper from FermiLab shows the zero-within-the-error-bar value for the violation of the CPT. Existing data on antiproton decays were analyzed, concluding that it is stable, like the proton.



This is an experimental paper from CERN on  $K$  mesons decay showing a zero result for the CPT violation parameter.



And this experiment on  $K^0 \rightarrow K^0$  and vice versa transformations shows explicitly the time-arrow violation. The asymmetry in the kaon decay is about 0.5%.

Also Venetian gondolas are slightly (by 15 cm) asymmetric - this allows to the "gondolieri" rowing on one side.



So, all the experimental evidence shows that the matter "prefers" only one direction of chirality (and probably antimatter the other one).

And if the CPT symmetry is valid but CP broken so this is the *time arrow* which is asymmetric.

So, the right question should be:

Celtic stone rotates only in one direction



R.A. Eades and D.R. Eades: "Chirality of the Universe", Scientific American, 217:230 (March 1987). Credit to Sasha Dabke for the DNA picture and Emilio Ferra Pavesi for the Ligula virgatus photo. For CP violation see also: http://atlas.cern.ch

# Does the time fly forward?

# Czy świat się kręci w prawo?



17 December 1998

PHYSICS LETTERS B

Physics Letters B 444 (1998) 43–51

## First direct observation of time-reversal non-invariance in the neutral-kaon system

CPLEAR Collaboration

We report on the first observation of time-reversal symmetry violation through a comparison of the probabilities of  $\bar{K}^0$  transforming into  $K^0$  and  $K^0$  into  $\bar{K}^0$  as a function of the neutral-kaon eigentime  $t$ . The comparison is based on the analysis of the neutral-kaon semileptonic decays recorded in the CPLEAR experiment. There, the strangeness of the neutral kaon at time  $t = 0$  was tagged by the kaon charge in the reaction  $p\bar{p} \rightarrow K^\pm \pi^\mp K^0(\bar{K}^0)$  at rest, whereas the strangeness of the kaon at the decay time  $t = \tau$  was tagged by the lepton charge in the final state. An average decay-rate asymmetry

$$\left\langle \frac{R(\bar{K}^0_{t=0} \rightarrow e^+ \pi^- \nu_{e\tau}) - R(K^0_{t=0} \rightarrow e^- \pi^+ \bar{\nu}_{e\tau})}{R(\bar{K}^0_{t=0} \rightarrow e^+ \pi^- \nu_{e\tau}) + R(K^0_{t=0} \rightarrow e^- \pi^+ \bar{\nu}_{e\tau})} \right\rangle = (6.6 \pm 1.3_{\text{stat}} \pm 1.0_{\text{sys}}) \times 10^{-3}$$

was measured over the interval  $1\tau_S < \tau < 20\tau_S$ , thus leading to evidence for time-reversal non-invariance. © 1998 Elsevier Science B.V. All rights reserved.

## Nie! To czas biegnie do przodu

# Standard Model of Elementary Particles

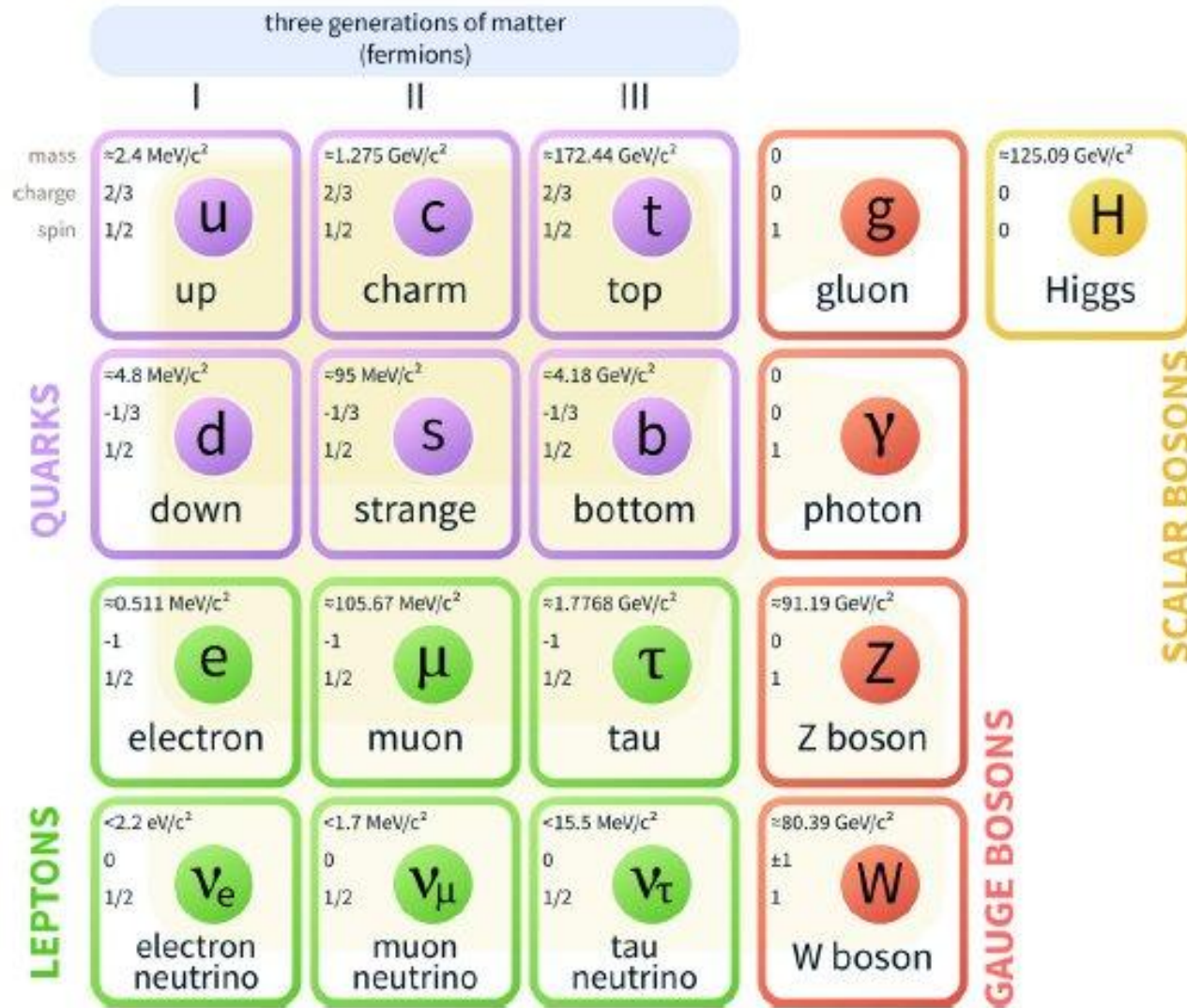


Figure 1. The particles of the Standard Model of particles physics. (Image Credit: MissMJ.)

Martin White, *What's Next for Particle Physics?*, IOP, 2017

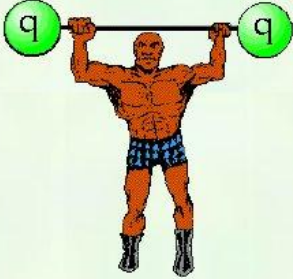
# Jeszcze o oddziaływaniach

Elektromagnetyczne  
Grawitacyjne  
„Silne”  
„Słabe”

← → ↻ Niezabezpieczona | fizyka.net.pl/struktura/struktura\_od.html ☆

Testy z fizyki  
Spis treści i wyszukiwarka

można traktować jako porcję energii. Energia fotonu zależy od częstotliwości **fal elektromagnetycznej**. Im większa częstotliwość tym większa jest energia fotonu, a ponieważ częstotliwość jest odwrotnie proporcjonalna do długości fali to kwanty o dłuższej fali mają mniejszą energię.




### Oddziaływanie silne

Jest około 100 razy silniejsze od oddziaływania elektromagnetycznego stąd jego nazwa. Działa tylko na niewielkie odległości rzędu  $10^{-15}$  m działa między **kwarkami**. Cząstki przenoszące oddziaływanie silne nazywamy **gluonami** (ang. glue - klej). Gluony nie posiadają ładunku elektrycznego.

Kwarki i gluony posiadają za to **ładunek kolorowy** zwany krótko **kolorem**. Są trzy rodzaje koloru: czerwony, zielony i niebieski oraz odpowiednie antykolorowe ładunki. dwa lub więcej kwarków umieszczonych blisko siebie wymienia gluony tworząc bardzo silne "pole kolorowe" łączące kwarki. Kwarki ciągle zmieniają swój kolor podczas wymiany gluonów z innymi kwarkami. Każdy kwark ma jeden z trzech kolorowych ładunków i każdy antykwark ma jeden z trzech antykolorowych ładunków. Gluony przenoszą pary ładunków kolor/antykolor (niekoniecznie tego samego rodzaju). Mamy 9 kombinacji par kolor/antykolor, ale jedna z nich jest wyeliminowana ze względu na symetrię. Istnieje więc osiem rodzajów gluonów. Gluony są bezmasowe, czyli ich masa spoczynkowa jest równa zero. Zasięg działania tych cząstek wynosi zaledwie  $10^{-16}$  m.

Pozostaje pytanie, co trzyma nukleony razem jeśli silne oddziaływanie łączy jedynie kwarki? **Protony i neutrony jak wszystkie hadrony**, są obiektami kolorowo obojętnymi. Należy jednak pamiętać, że hadrony, składają się z kolorowo naładowanych kwarków i antykwarków. Kwarki jednego protonu mogą się "sklejać" z kwarkami innego protonu, nawet gdy proton pozostaje kolorowo obojętny. Nazywamy to szczątkowym oddziaływaniem silnym lub w języku potocznym siłami jądrowymi. Resztkowe oddziaływanie silne, czyli **siły jądrowe** odpowiedzialne są więc za siłę działającą między nukleonami, która powoduje ogromną trwałość jądra atomowego.




Oddziaływanie silne opisuje **kwantowa chromodynamika** QCD (Quantum Chromodynamics), będąca kwantową teorią pola. Próby rozwiązania równań chromodynamiki kwantowej napotykają wciąż na piętrzące się trudności.

### Oddziaływanie słabe

Są one około  $10^{10}$  słabsze od oddziaływania elektromagnetycznego i działają na bardzo małe odległości rzędu  $10^{-18}$  m. W oddziaływaniach słabych uczestniczą wszystkie cząstki z wyjątkiem fotonu (i ewentualnie jeśli istnieje grawitonu). Kiedy **kwark** lub **lepton** zmienia rodzaj (przemienia się w inny) mówimy o zmianie zapachu. Wszystkie zmiany zapachu powodują oddziaływania słabe. Oddziaływanie słabe występuje więc między leptonami i odpowiedzialne jest za rozpad hadronów. Oddziaływanie to jest zbyt słabe, by połączyć

ELEMENTARNE NOSNIKI ODDZIAŁYWAŃ (BOZONY)		
oddziaływanie elektromagnetyczne	γ	Odpowiada za większość zjawisk codziennego życia (światło, elektronika, chemia)
oddziaływanie słabe	W <sup>+</sup> W <sup>-</sup> Z <sup>0</sup>	umożliwiają rozpady promieniotwórcze (Z <sup>0</sup> to ciężki brat fotonu)
oddziaływanie silne	g	Jest ich osiem. Sklejają kwarki a także zapewniają wiązanie protonów i neutronów w

Hosted by: 

„W kręgu fizyki” – LO Turek

# A tak naprawdę...

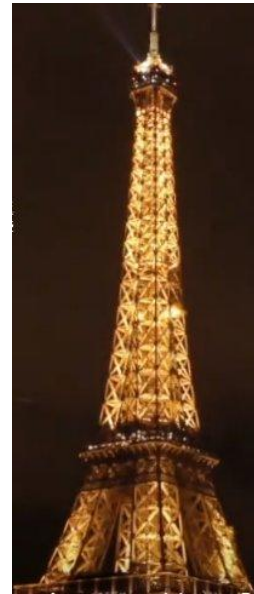
Grawitacyjne trzymają razem  
Układ Słoneczny i galaktyki

Elektromagnetyczne trzymają  
razem atomy i kryształy

„Silne” oznaczają siły jądrowe:

- w jądrze protony i neutrony wymieniają piony (*up* i *down*) czyli swoje kawałki
- w protonie kwarki są związane przez gluony (czyli „klejowce”)

„Słabe” mają niewielki zasięg (rozmiar kwarka): pojawiają się trakcie rozpadów *beta*, jako masywne *bozony*

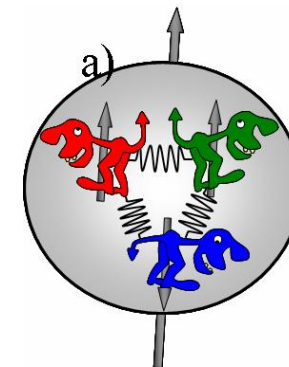
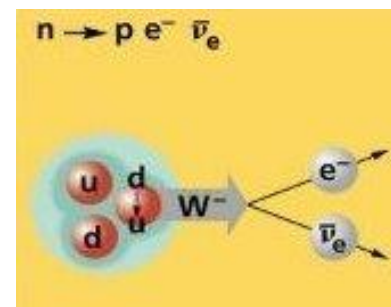
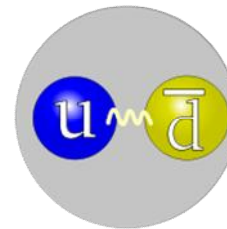


<https://astrofotografia.eu/the-sculptor-galaxy-ngc253/>

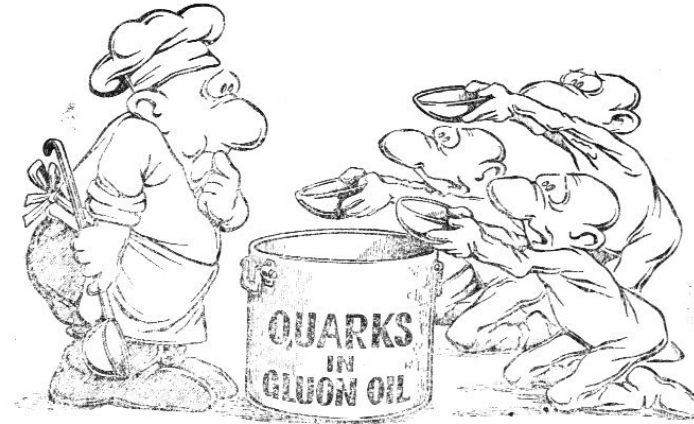
<https://www.tou Eiffel.paris/fr>

Standard Model: CERN

Pion: wikipedia



# Kwarkowy zawrót głowy



Prof. Arkadiusz Góral, „Meandry Fizyki”,  
Wydawnictwo MON, Warszawa (1988)

„Jeśli pomyślę, że są trzy rodziny po dwa kwarki, każdy w trzech kolorach  
i do tego ich antykwarki  
i trzy leptony (i antyleptony)  
i foton  
i jeszcze 8 kolorowych gluonów sklejących kwarki w protonie i neutronie  
i jeszcze trzy bozony:  $Z^0$ ,  $W^+$ ,  $W^-$  (tj. spin = 1) pośredniczące w rozpadach beta  
i jeszcze neutrino  
i być może bozon Higgsa [albo i więcej, jak mówi L. Lederman w „Boskiej cząstce”]  
-To wolę Greków z ich czterema żywiołami”

[Chris Craig, edytor „Scientific American] – cytowanie z pamięci [GK]



# Literatura

On the Track of Modern Physics

## Enigmatic quarks

Quarks seem to be the same, but they smell different!

Quarks and colors  
Quarks are in three interesting colors. Anti-quarks, are in anti-colors. Here below two parts of one quark family are waiting for a meeting.

If a quark joins his anti-quark – a meson is born (don't mix with misalliance)

So many people wanted to discover one (top) quark...

## Proton & Co.

Proton (udd)  
Neutron (udd)

Proton (p) and  $\Delta^+$  particle are built in the same way – with two "up" quarks and one "down" quark. The only difference is in spin, what causes that the  $\Delta^+$  particle is 30% heavier than proton.

Standard Model of fundamental interactions and particles

INTERACTION	SOURCE	PARTICLES MEDIATING	MASS	POWER	LEPTONS SPIN = 1/2			QUARKS SPIN = 1/2					
					FLAVOR	MASS GeV <sup>c</sup>	ELECTRIC CHARGE	FLAVOR	MASS GeV <sup>c</sup>	ELECTRIC CHARGE			
Gravitational	mass	graviton G	0	10 <sup>16</sup>									
Electromagnetic	charge	photon $\gamma$	0	10 <sup>7</sup>	$e$	< 7.110 <sup>-28</sup>	0	$\mu$	~0.106	-1/2	$u$	~0.0023	2/3
Strong	colour	gluon g	0	1	$e$	< 0.00011	-1	$d$	~0.0048	-1/3	$c$	~1.5	2/3
					$\mu$	~0.106	-1	$s$	~0.1	-1/3	$b$	~4.2	-1/3
Weak	charge	W <sup>+</sup>	80 GeV	10 <sup>7</sup>	$\nu_e$	< 0.03	0	$t$	~170	2/3	$\tau$	~1.777	-1
		Z <sup>0</sup>	91 GeV		$\nu_\mu$	~0.106	0	$b$	~4.2	-1/3			

Footnote: (\*) The size of the quark corresponds here to its mass. The only necessary tick here was to use four dimensions – the mass scale is the fourth power of the size. Note that the tail indicates the charge – positive or negative. (\*\*) If lepton is a check, lepton (1 cent coin, 2.3g, that neutron is 8 cm-side steel cube).

fizyka wczoraj, dziś, jutro

## (Nie)zbyt krótka historia o cząstkach elementarnych

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

Grzegorz Kamiński

Przeoglądając strony internetowe, nawet renomowanych instytucji, i składając studentów po kursie II, czyli Jądrowej, odnosi się wrażenie, że więcej jest w wykładaniu kwarków i bosonów „mischunga rykoma” – mekorykańskich kapełnaczy i tłokających się gódek bufetowych lub ha granżanów ze spontanicznie słamałą symetrią – niż zrozumięcia fizyki, a raczej pojęcia naszych ograniczeń w rozumieniu tej fizyki. Temu jest poświęcona ta (nie)zbyt krótka nota. Artykuł, dla uzyskania dydaktycznej jasności, zawiera liczne naukowe uproszczenia. Wersja multimedialna [1], z animacjami, znajduje się na stronie Zakładu Dydaktyki Fizyki (Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu: <http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/elementarne>).

### Fermiony i bosony

Zanim podejmiemy dyskusję o zaso cząstek elementarnych, w tym o bosonie Higgsa, przypomnijmy podstawowe rozróżnienie w mikroświadcie: Cząstki dzielą się na fermiony o spinie „półokrywym”, takich spin. Dlatego w anihilacji powstają dwa fotony umozacze spin +1 i -1, jeśli spin pary elektron-pozyton wynosi 0, lub trzy fotony – gdy całkowity spin pary wynosi 1 lub -1. W procesie anihilacji z elektronami w ciele stałym całkowity pęd pary elektron-pozyton jest znikomy, więc i całkowity pęd dwóch fotonów musi wynosić 0: obrotu one prawie dokładnie pod wzajemnym kątem 180°. Z uwagi na prawo zachowania energii każdy z nich musi nosić energię 511 keV, która jest równa masie spoczynkowej elektronu.

Fig. 1. Anihilacja elektron-pozytonu w układzie zerowego spinu całkowitego (dwa antyfonony) i przy zerowym pędzie sumarycznym: powstają dwa fotony z zerowym momentem pędu i zerową energią, umozacze energię 511 keV każdy. Anihilacja zachowuje spin pędu, ale nie moment pędu w półokrywym cząstce [2].

Bosonowy charakter fotonów ujawnia się w procesie anihilacji pozytonów. Kiedy ujemny elektron spotyka się ze swoim antycząstką – dodatnim pozytonem, całkowity spin tej pary może wynosić 0 lub 1. Anihilacja jest procesem „zamiary” masy na energię zgodnie z równaniem  $E = mc^2$ , ale musi być w nim zachowany także spin. Dlatego w anihilacji powstają dwa fotony umozacze spin +1 i -1, jeśli spin pary elektron-pozyton

## What's next for particle physics?

Martin White reviews our current knowledge of particle physics and surveys the hot topics at the research frontier.

physicsworld Discovery

Institute of Physics, 2017  
978-0-7503-1620-0.pdf

# Reasumując,

- Z czego składa się świat?

z elektronów, protonów i neutronów

Należy do tego dodać fotony (i może grawitony)

Nie do wydzielenia są kwarki i gluony,  
składniki protonów i neutronów

Bywają też cięższe kwarki (i leptony) ale  
żyją bardzo krótko.

Przygoda z cząstkami elementarnymi trwa...