



b quark

Piękny a niski

*Zrealizował
Przemysław Ryś*

→ Odkrycie

- Przewidziany przez **Makato Kobayashi** i **Toshihide Maskawe** w **1973 r.** (NN. 2008 r.), była to próba wyjaśnienia naruszenia symetrii **CP**
- Odkryty przez zespół Fermilab (Leon M. Lederman) na Tevatronie (E288) w **1977 r.**
- Odkrycie polegało na wykryciu zderzeń produkujących **bottomonium**
- Lederman chciał znaleźć bozony **W** i **Z**. W tamtym czasie wierzono, że mogą mieć masę zaledwie kilku GeV, dzięki czemu są dostępne w BNL (energia wiązki protonów 28 GeV)

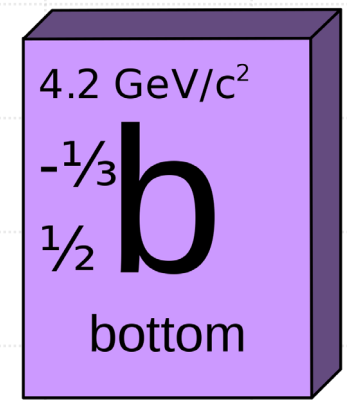
→ Własności

- Jego masa jest ~4 razy większa od masy protonu (kwarki stanowią 1%)
- Wyjątkowo niskie tempo przejścia do kwarków o niższej masie (prawie tylko **u** & **c**; **weak**)
- Produkt prawie wszystkich rozpadów kwarków górnych (**t**)
- Częsty produkt rozpadu **bozonu Higgsa**

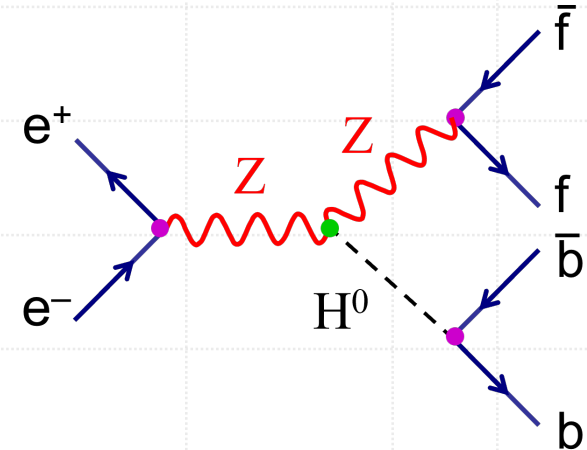
Bezpośrednie łamanie CP zaobserwowano jedynie w rozpadach mezonów K^0 oraz B^0 .

W **1970 r.** **Sheldon Lee Glashow** zaproponował nazwę **beauty** dla **b** z uwagi na bardziej przystępne nazwy dla osób spoza środowiska fizyki cząstek.

W **1975 r.** **Haim Harari** wprowadził inną nazwę z uwagi na symetrię w modelu, ponieważ są kwarki **up** i **down**, tak do kwarka **top** pasuje **bottom**.



Generacja	III
Spin	$\frac{1}{2}$
Ładunek	$-\frac{1}{3}e$
Masa	$4.18^{+0.04}_{-0.03} \frac{\text{GeV}}{c^2}$

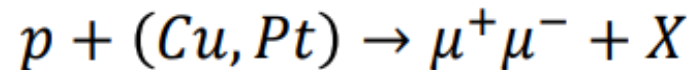


➔ Aparatura

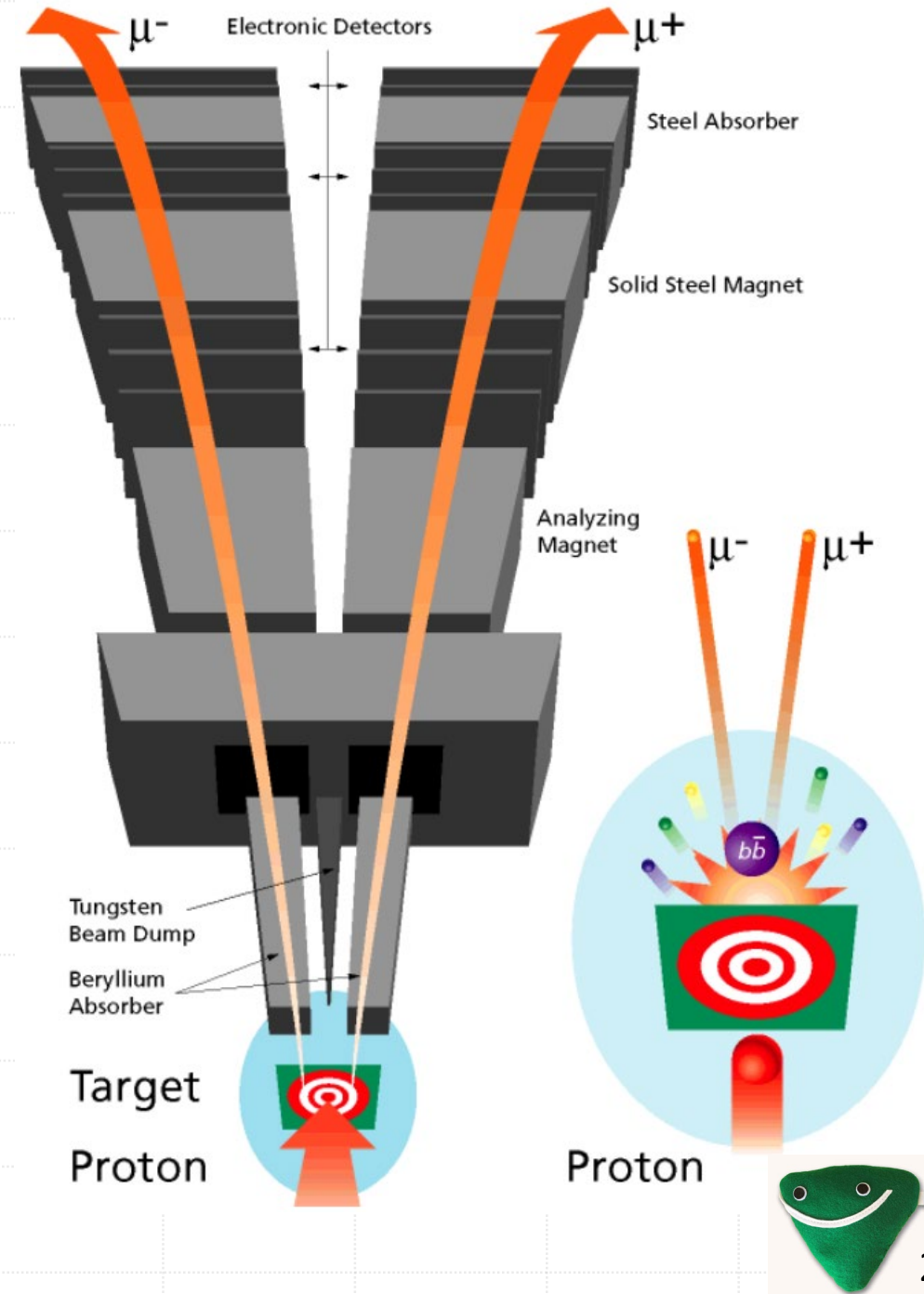
W celu przygotowania detektora do poszukiwania dimionów w interakcjach, zastosowano absorbery w celu wchłaniania resztek hadronowych, które były bardzo wrażliwe na tego typu zjawiska. Niestety, absorbery te stwarzały problemy i powodowały wielokrotne rozpraszanie.

Aby rozwiązać ten problem, umieszczono najgęstszy absorber w pobliżu punktu interakcji, a absorbery o mniejszej liczbie atomowej dalej wzdłuż trasy cząstek. To spowodowało rozmycie pomiaru kąta produkcji, ale nie wpłynęło znacząco na dokładność pomiaru pędu.

Dodatkowo, zmodernizowano skrzynkę docelową, która była absorberem z berylu, na możliwość jej wymiany dla absorberów z berylu, miedzi i wolframu.

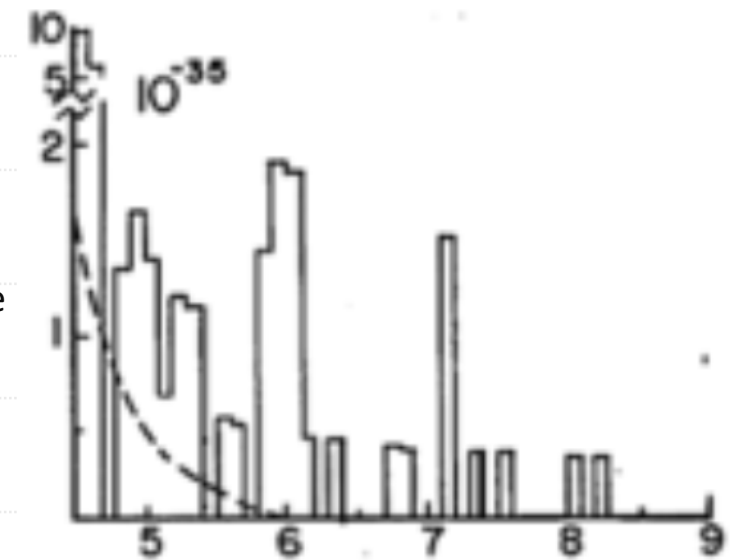


W dniu 20 maja o godzinie 15:00, co spowodowało niebezpieczny pożar. Powstały dym, zawierający chlorek i fluor, wypełnił wnętrze eksperymentu, pokrywając elektronikę resztkami. Na szczęście profesor Lederman znał holenderskiego eksperta od ratownictwa, który wcześniej naprawił podobny problem w CERN. Niestety, ekspert ten miał trudności z uzyskaniem wizy. Jednak dzięki staraniom profesora Ledermana, wysokiemu urzędnikowi w lokalnej ambasadzie, który był absolwentem Columbii, udało się przekonać do udzielenia pomocy. Elektronika została wyczyszczona, a eksperyment został uratowany.



→ „Oops-Leon”

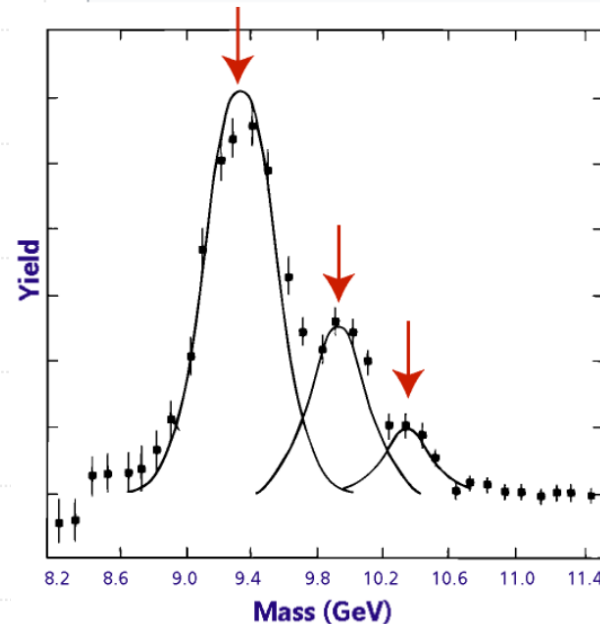
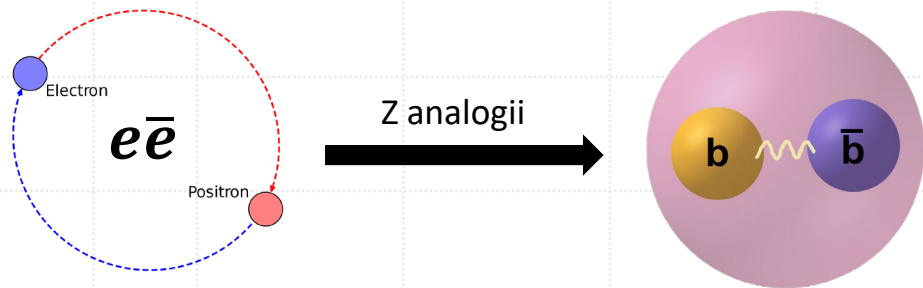
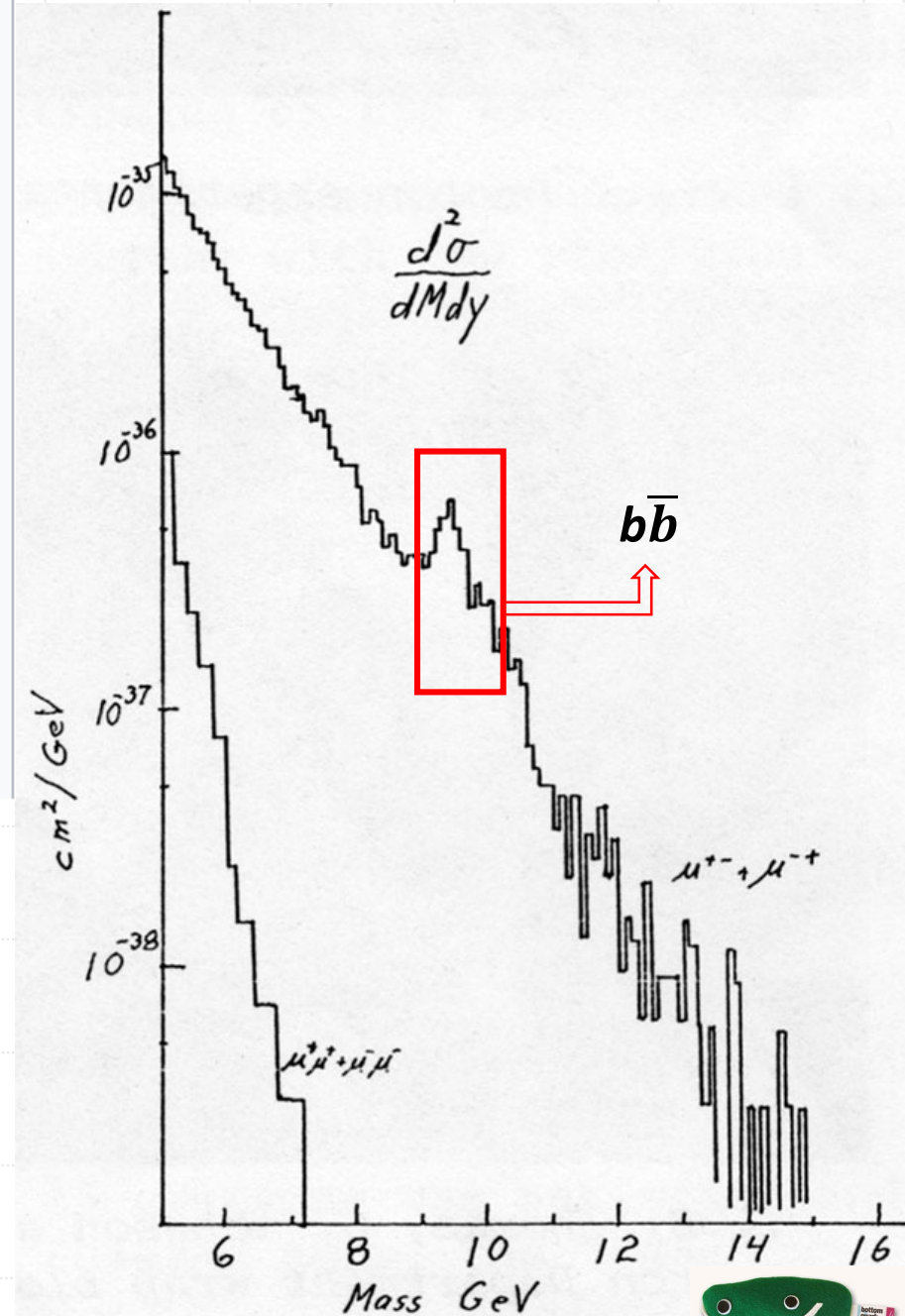
- W styczniu 1976 r. ten sam zespół eksperymentu E288 doniósł o odkryciu nowej cząstki o masie około $6 \frac{\text{GeV}}{c^2}$, z analizy masy inwariantnej par elektron-pozyton produkowanych ze zderzeń protonów z tarczą berylową.
- Na wykresie zaobserwowano skupienie przypadków w okolicach 6 GeV, co wydawało się potencjalnym odkryciem nowej cząstki. Prawdopodobieństwo, że takie skupienie jest wynikiem przypadku, oszacowano na poniżej 2%. Zespół postanowił więc opublikować doniesienie o potencjalnym odkryciu.
- Jednak po zebraniu dalszych danych przez kolejne miesiące okazało się, że skupienie było wynikiem mało prawdopodobnego przypadku. Zespół musiał więc cofnąć swoje doniesienie. Fikcyjna „cząstka” została żartobliwie nazwana „Oops-Leon”, co było grą słów z imieniem lidera zespołu i brzmiało podobnie do „Upsilon”.
- Ta historia prawdopodobnie przyczyniła się do opóźnienia ogłoszenia rzeczywistego odkrycia cząstki Υ . Już w listopadzie 1976 roku zespół zauważył skupienie przypadków wokół 9,5 GeV, które miało większe znaczenie statystyczne niż „Oops-Leon”. Jednak zespół postanowił poczekać na wyniki planowanych pomiarów w pierwszej połowie 1977 roku przy większej intensywności wiązki cząstek. Dopiero gdy te pomiary potwierdziły istnienie cząstki, zespół zdecydował się na publikację odkrycia.



→ Wynik

- Początkowe dane wskazywały *bump* dla energii około 9.46 GeV, który to reprezentował pierwszy odkryty stan kwarkonium wektorowego bezzapachowego mezonu Υ (*ypsilon lub epsilon*).
- Wykres bez tła zawiera natomiast aż trzy wypukłości, stanowiące rodzinę dla cząstek zbudowanych z $b\bar{b}$.
- Botonium nazywane jest też botomonium oraz kwarkonium pięknym (niskim).

Composition	$b\bar{b}$
Statistics	Bosonic
Family	Mesons
Interactions	Strong, weak, Electromagnetic, Gravity
Symbol	Υ
Antiparticle	Self
Discovered	E288 experiment (1977)
Types	1
Mass	9.460 30(26) GeV/c ²
Mean lifetime	1.21×10^{-20} s
Electric charge	0 e
Spin	1
Isospin	0
Hypercharge	0
Parity	-1
C parity	-1



Znany jest jeden orbitalnie wzbudzony stan mezonu Υ ($J^P = 2^-$), nazywany $\Upsilon(1D)$.
 W 2008 roku, eksperyment BaBar przeprowadzony na akceleratorze SLAC potwierdził istnienie $\Upsilon(1D)$ poprzez analizę rozpadów mezonów bottomonium.

Wykorzystanie

- Ciężkie kwarkonia, a więc w szczególności i cząstka Υ , stanowią doskonałe laboratorium do sprawdzania przewidywań chromodynamiki kwantowej. Obliczone przez QCD energie stanów wzbudzonych są porównywane ze zmierzonymi, a wyniki wykorzystywane są do ulepszania metod obliczeniowych i wyznaczania parametrów teorii.
- Stan $\Upsilon(4S)$ jest szczególnie interesujący z eksperymentalnego punktu widzenia, ponieważ jego masa jest minimalnie wyższa od podwojonej masy mezonu B . Dzięki temu $\Upsilon(4S)$ rozpada się niemal w 100% na pary mezonów B .
- Rozpady $\Upsilon(4S)$ stanowią bardzo „czyste” źródło mezonów B , umożliwiające precyzyjne badanie ich własności. Tak zwane „fabryki B ” – akceleratory zbudowane specjalnie do badań nad tymi mezonami, pracują przy energii w układzie środka masy zderzających się cząstek równej masie tego stanu.

$$\Upsilon(4S) \rightarrow B^+ B^- \left(B^0 \bar{B}^0 \right)$$

Term symbol n^2S+1L_J	J^{PC}	Particle	mass (MeV/c ²) ^[5]
1^1S_0	$0^+(0^-)$	$\eta_b(1S)$	$9\,390.9 \pm 2.8$
1^3S_1	$0^-(1^{--})$	$\Upsilon(1S)$	$9\,460.30 \pm 0.26$
1^1P_1	$0^-(1^{+-})$	$h_b(1P)$	$9\,899.3 \pm 0.8$
1^3P_0	$0^+(0^{++})$	$\chi_{b0}(1P)$	$9\,859.44 \pm 0.52$
1^3P_1	$0^+(1^{++})$	$\chi_{b1}(1P)$	$9\,892.76 \pm 0.40$
1^3P_2	$0^+(2^{++})$	$\chi_{b2}(1P)$	$9\,912.21 \pm 0.40$
2^1S_0	$0^+(0^-)$	$\eta_b(2S)$	
2^3S_1	$0^-(1^{--})$	$\Upsilon(2S)$	$10\,023.26 \pm 0.31$
1^1D_2	$0^+(2^{+-})$	$\eta_{b2}(1D)$	
1^3D_1	$0^-(1^{--})$	$\Upsilon(1D)$	
1^3D_2	$0^-(2^{--})$	$\Upsilon_2(1D)$	$10\,161.1 \pm 1.7$
1^3D_3	$0^-(3^{--})$	$\Upsilon_3(1D)$	
2^1P_1	$0^-(1^{+-})$	$h_b(2P)$	$10\,259.8 \pm 1.2$
2^3P_0	$0^+(0^{++})$	$\chi_{b0}(2P)$	$10\,232.5 \pm 0.6$
2^3P_1	$0^+(1^{++})$	$\chi_{b1}(2P)$	$10\,255.46 \pm 0.55$
2^3P_2	$0^+(2^{++})$	$\chi_{b2}(2P)$	$10\,268.65 \pm 0.55$
3^3S_1	$0^-(1^{--})$	$\Upsilon(3S)$	$10\,355.2 \pm 0.5$
3^3P_1	$0^+(1^{++})$	$\chi_{b1}(3P)$	$10\,513.42 \pm 0.41$ (stat.) ± 0.53 (syst.) ^[6]
3^3P_2	$0^+(2^{++})$	$\chi_{b2}(3P)$	$10\,524.02 \pm 0.57$ (stat.) ± 0.53 (syst.) ^[6]
4^3S_1	$0^-(1^{--})$	$\Upsilon(4S)$ or $\Upsilon(10580)$	$10\,579.4 \pm 1.2$
5^3S_1	$0^-(1^{--})$	$\Upsilon(5S)$ or $\Upsilon(10860)$	$10\,865 \pm 8$
6^3S_1	$0^-(1^{--})$	$\Upsilon(11020)$	$11\,019 \pm 8$

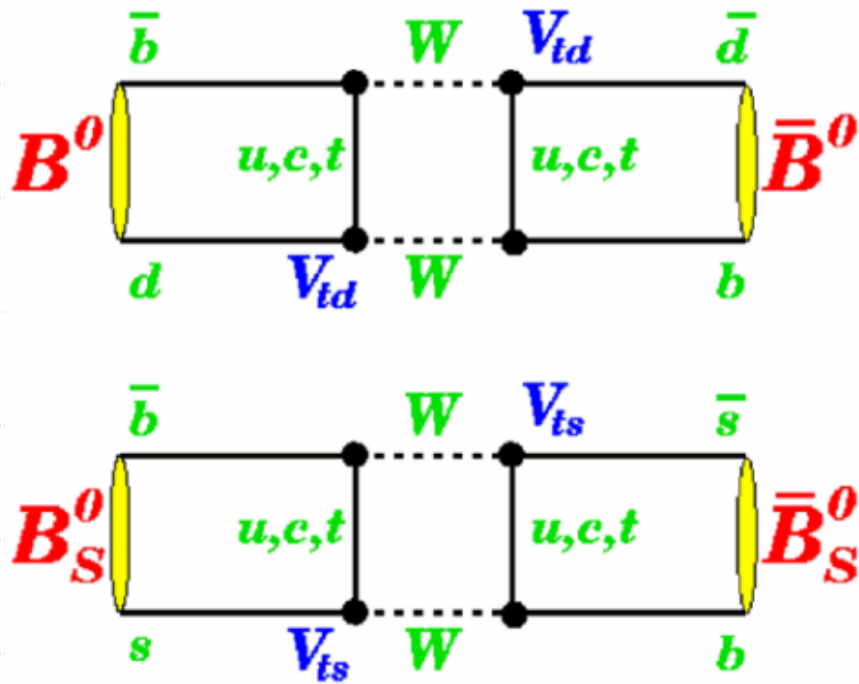


→ Oscylacje zapachu

Mezony neutralne B spontanicznie przekształcają się w swoje antycząstki i z powrotem. To zjawisko nazywa się oscylacjami zapachu. Istnienie oscylacji mezonów neutralnych B jest fundamentalnym przewidywaniem modelu standardowego.

- Dla $B^0 - \bar{B}^0$ zmierzono je na poziomie około 0,496/ps
- Dla $B_s^0 - \bar{B}_s^0$ na poziomie $\Delta m_s = 17.77 \pm 0.10$ (stat) ± 0.07 (syst)/ps

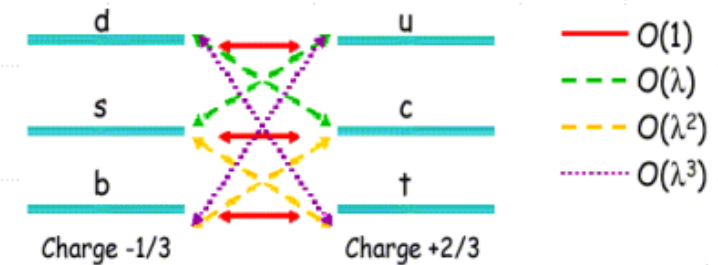
Zmierzone przez eksperyment CDF w Fermilabie. Eksperyment DØ, również w Fermilabie oszacował dolne i górne ograniczenia dla $B_s^0 - \bar{B}_s^0$.



Mieszanie kwarka b z innymi kwarkami ma ważne konsekwencje fizyczne. Przede wszystkim wpływa na rozpady mezonów B, których głównym składnikiem jest kwark b. Poprzez analizę rozpadów mezonów B i pomiar wartości elementów CKM(bi), możemy badać łamanie symetrii CP oraz poszukiwać wskazówek dotyczących nowej fizyki poza Modelem Standardowym.

$$\begin{bmatrix} |V_{ud}| & |V_{us}| & |V_{ub}| \\ |V_{cd}| & |V_{cs}| & |V_{cb}| \\ |V_{td}| & |V_{ts}| & |V_{tb}| \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,97401 \pm 0,00011 & 0,22650 \pm 0,00048 & 0,00361^{+0,00011}_{-0,00009} \\ 0,22636 \pm 0,00048 & 0,97320 \pm 0,00011 & 0,04053^{+0,00083}_{-0,00061} \\ 0,00854^{+0,00023}_{-0,00016} & 0,03978^{+0,00082}_{-0,00060} & 0,999172^{+0,000024}_{-0,000035} \end{bmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} d' \\ s' \\ b' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} d \\ s \\ b \end{pmatrix}$$



KONIEC

Źródła:

<https://lss.fnal.gov/archive/1977/pub/Pub-77-058-E.pdf>

<https://ed.fnal.gov/projects/exhibits/searching/>

https://indico.cern.ch/event/448629/attachments/1159168/1668061/Journal_Club_Sept23.pdf

https://en.wikipedia.org/wiki/Bottom_quark

<https://pl.wikipedia.org/wiki/Bottomonium>

https://agnieszkamucha.github.io/ParticlePhysics/Files/wyklad_8_CB.pdf

https://agnieszkamucha.github.io/ParticlePhysics/Files/Flavour_oscillations.pdf

<https://www.particlezoo.net/collections/quarks/bottom-quark>

