

Nobel 2008



南部 陽一郎



小林 誠



益川 敏英

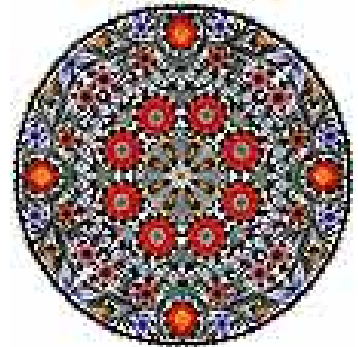
Yoichiro Nambu: „za odkrycie mechanizmu spontanicznego łamania symetrii w fizyce subatomowej„ (50%)

Makoto Kobayashi, Toshihide Maskawa:
„za odkrycie mechanizmu złamanej symetrii, przewidującego istnienie przynajmniej trzech rodzin kwarków w przyrodzie„ (50%)

Symetrie



FIZYKA



Złamana symetria

LUSTRO







Yoichiro Nambu

ur. 18.01.1921, Tokio

Tokio

Osaka, Princeton, Chicago (1958-)

US National Medal of Science (1982)

Dirac Medal (1986)

J.J. Sakurai Prize (1994)

Wolf Prize in Physics (1994/1995)

Nobel Prize in Physics (2008)



Makoto Kobayashi

ur. 7.04.1944, Nagoya

Nagoya

Kyoto, KEK

J.J.Sakurai Prize (1985)

Japan Academy Prize (1985)

Asahi Prize (1995)



Toshihide Maskawa

ur. 7.02.1940, Aichi

Nagoya

Kyoto

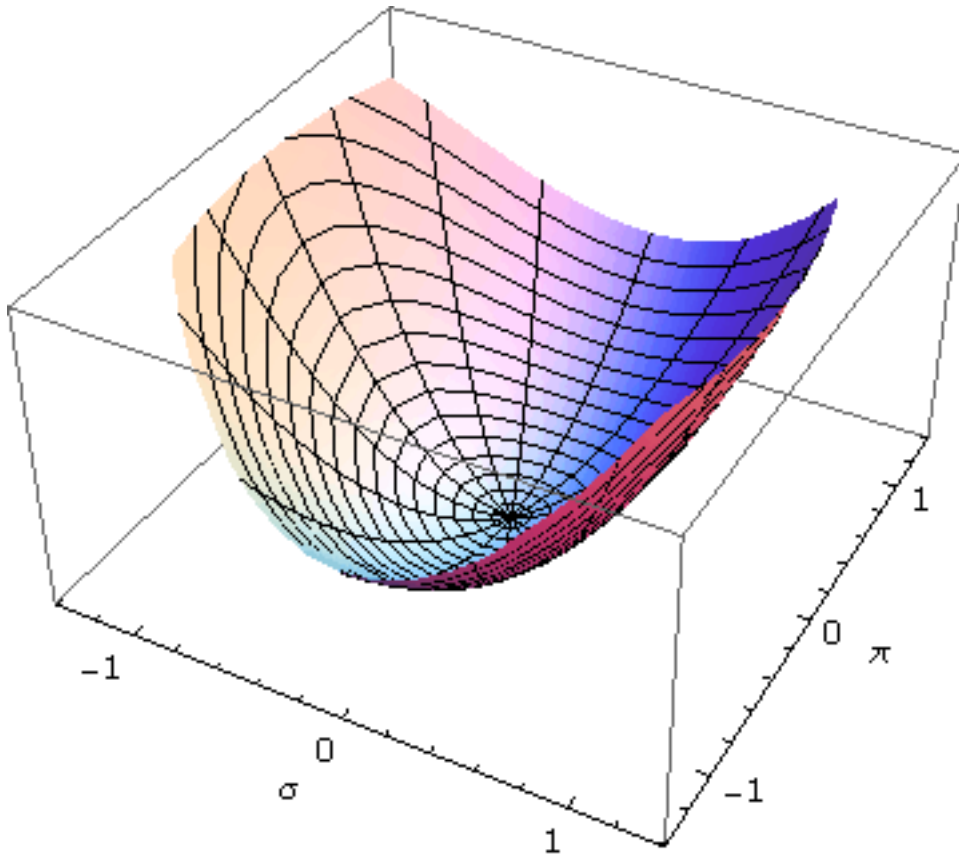
J.J.Sakurai Prize (1985)

- ...
- 1933 Fermi, oddziaływania słabe
- 1935 Hideki **Yukawa**, siły jądrowe jako wymiana pionu (Nobel 1949)
- 1947 odkrycie naładowanych pionów
- 1947 Feynman, Schwinger, Sin-Itiro **Tomonaga**, metody kwantowej teorii pola (Nobel 1965)
- 1949 - K^+ , π^0 , ...
- 1952 Danysz, Pniewski, hiperjądra
- 1954 Yang, Mills, teoria cechowania
- 1956 Wu, łamanie parzystości w oddziaływaniach słabych
- 1960 **Nambu**, spontaniczne łamanie symetrii
- 1961 Goldstone, bozony Nambu-Goldstone'a
- 1961 Gell-Mann, Ne'eman, **Nishijima**, pośmna ścieżka, $SU(3)_F$
- 1963 Cabibbo, mieszanie prądów zapachowych
- 1964 Gell-Mann, Zweig, kwarki u, d, s
- 1964 Cronin, Fitch, łamanie CP w rozpadach K^0_L
- 1965 Greenberg, Han, **Nambu**, kolor
- 1967 Weinberg, Salam, oddziaływania elektroslabe
- 1968 partony
- 1970 GIM, czwarty kwark c
- 1970 **Nambu**, dualna teoria strun
- 1973 **Kobayashi, Maskawa**, CP wymaga 3 rodzin kwarków, macierz CKM
- 1973 Fritzsche, Gell-Mann, chromodynamika kwantowa
- 1973 Gross, Politzer, Wilczek, asymptotyczna swoboda
- 1974 odkrycie J/ψ – kwark c
- 1974 Model Standardowy
- ...
- 2001 BaBar (SLAC), **Belle (KEKB)**, łamanie CP w rozpadach mezonów B



Jawne łamanie symetrii (ciągłej)

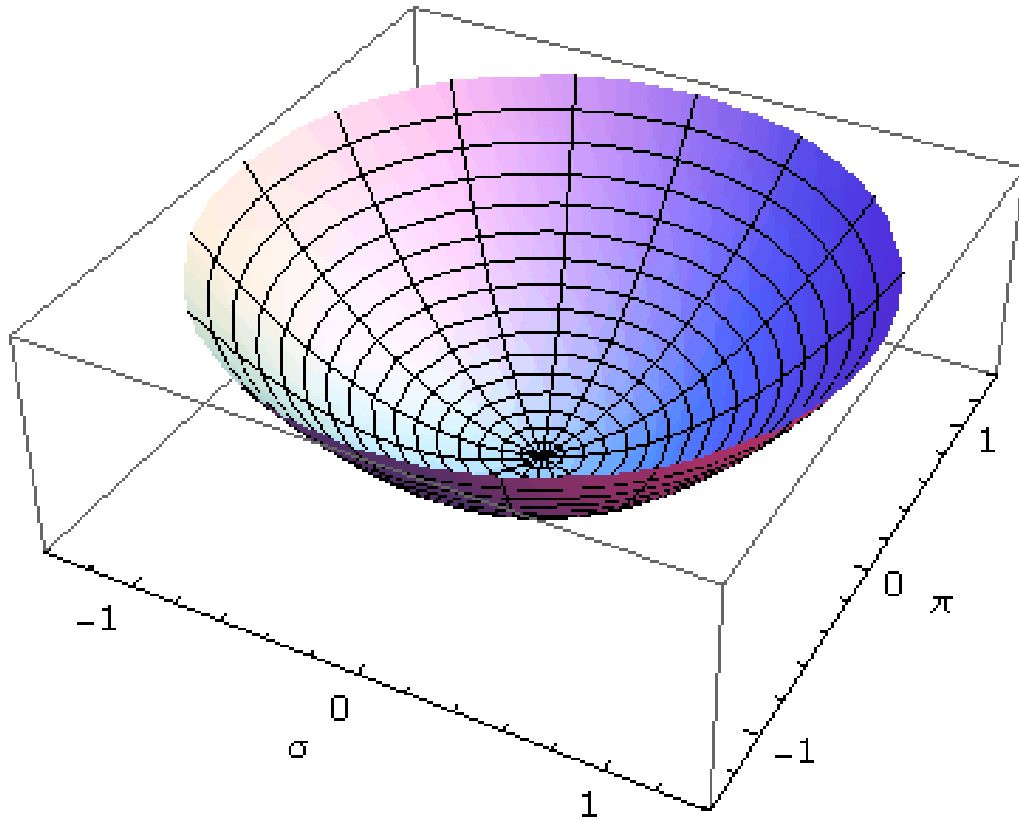
pola $\sigma(x)$, $\pi(x)$ w każdym punkcie przestrzeni



$$V = \frac{1}{2} m_{\sigma}^2 \sigma^2 + \frac{1}{2} m_{\pi} \pi^2$$

$$m_{\sigma} > m_{\pi}$$

Symetria (globalna)



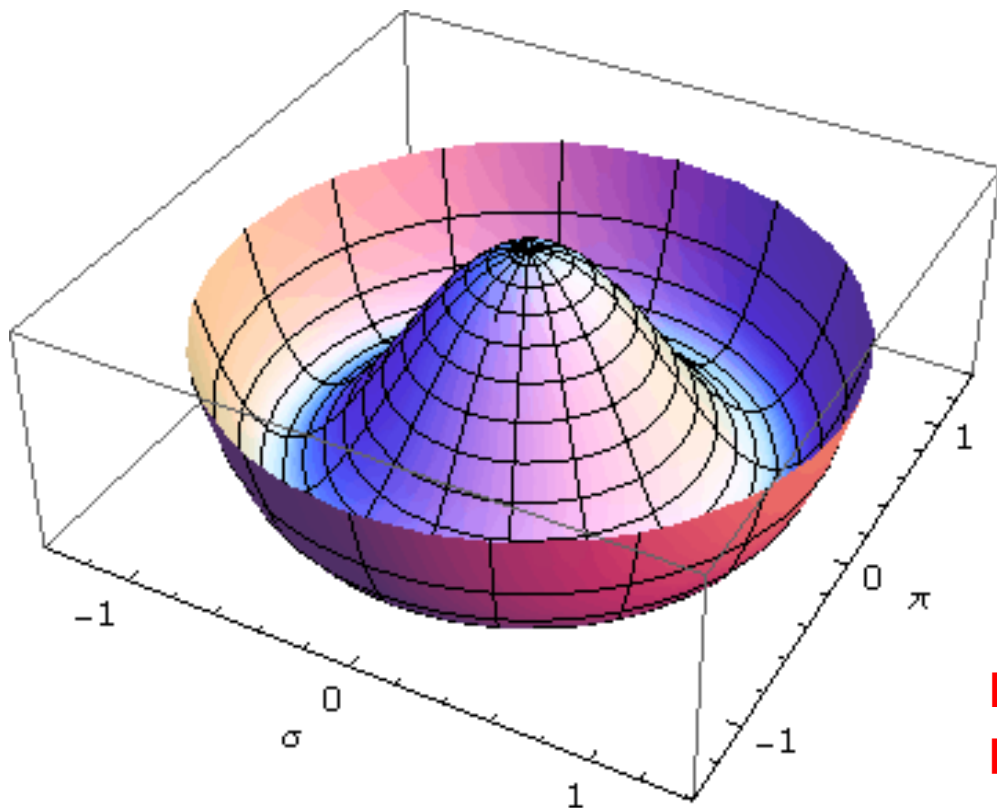
$$V = \frac{1}{2} m_{\sigma}^2 \sigma^2 + \frac{1}{2} m_{\pi} \pi^2$$

$$m_{\sigma} = m_{\pi}$$

faza Wignera

Spontaniczne łamanie symetrii

model σ



$$V = \frac{m_\sigma^2}{4f^2} (\sigma^2 + \pi^2 - f^2)^2 =$$

$$= \frac{1}{2} m_\sigma^2 \sigma'^2 + 0 \cdot \pi^2 + \dots$$

$$\sigma' = -f + \sigma$$

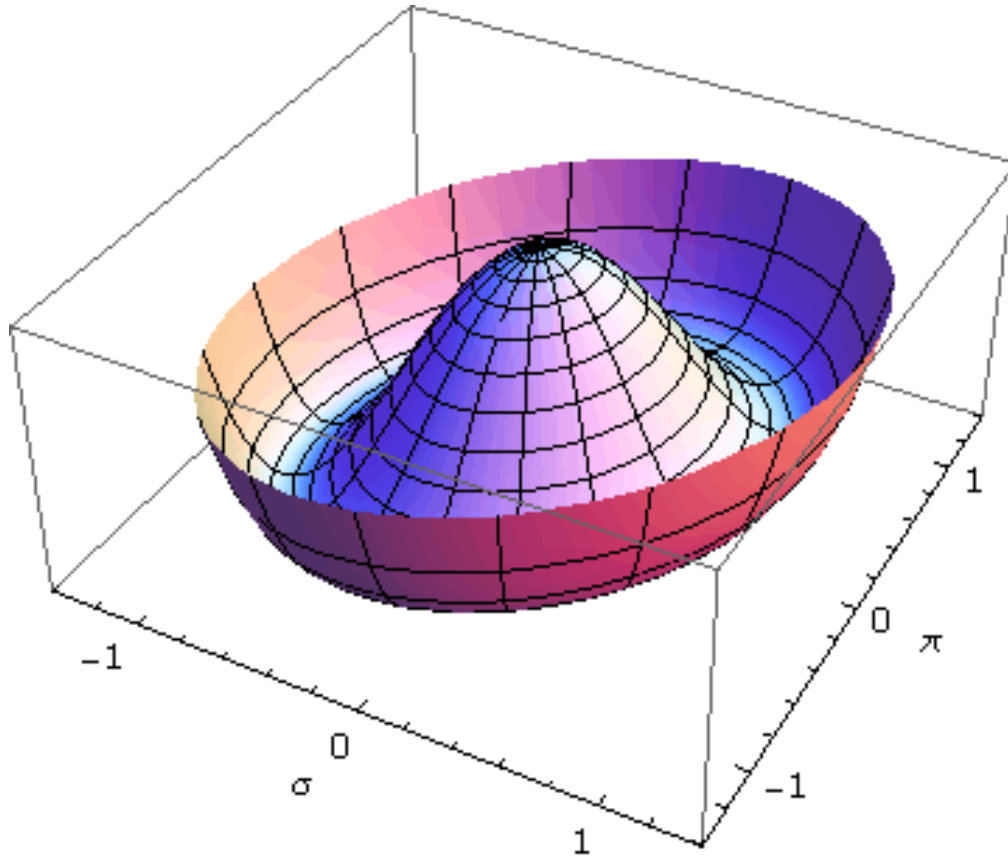
$$m_\pi = 0$$

Hamiltonian posiada symetrię, stan podstawowy (próżnia) - nie

Tw. Goldstone'a: Każdemu złamanemu generatorowi globalnej symetrii Hamiltonianu odpowiada bezmasowa cząstka

bozon Nambu-Goldstone'a,
faza Nambu-Goldstone'a

Spontaniczne + niewielkie jawne łamanie symetrii



$$m_{\sigma} \gg m_{\pi}$$

miękki mod: pseudo-bozon Nambu-Goldstone'a
(analogia z ferromagnetyzmem, nadprzewodnictwem)

Symetria chiralna

Oddziaływania silne (QCD) posiadają globalną spontanicznie złamaną dwuzapachową symetrię chiralną, złamaną jawnie w małym stopniu poprzez masy kwarków u i d (kilka MeV).

$$\psi \rightarrow e^{-i\vec{a}\cdot\vec{\tau}} \psi, \quad \psi \rightarrow e^{-i\vec{a}\cdot\vec{\tau} \gamma_5} \psi, \quad U_R = e^{-i\vec{a}\cdot\vec{\tau} (1+\gamma_5)}, \quad U_L = e^{-i\vec{a}\cdot\vec{\tau} (1-\gamma_5)}$$

Fenomenologia:

masa pionu (140MeV) znacznie mniejsza, niż inne skale hadronowe

brak dubletów parzystości, typowych dla fazy Wignera

związek Goldbergera-Treimana $g_A m_n = g_{\pi NN} f_\pi$

długości niskoenergetycznego rozpraszania π -N i π - π

reguła sum Adlera-Weisbergera

Tw. niskoenergetyczne, algebra prądów, związki między amplitudami, chiralny rachunek zaburzeń ...

$$\sigma \leftrightarrow \text{kondensat chiralny } \langle \bar{\psi}\psi \rangle \simeq \sim (250 \text{ MeV})^3$$

- Kondensat chiralny jest **parametrem porządku** (jeśli masy kwarków=0)
- W wysokich temperaturach symetria chiralna jest odtworzona (faza Wignera) - RHIC, LHC
- Nambu-Jona-Lasinio: **dynamiczne** łamanie symetrii (same pola fermionowe)
- Dla symetrii lokalnej (cechowania) analogiem mechanizmu Nambu-Goldstone'a jest mechanizm **Higgsa**, gdzie bezmasowe bozony są „zjedzone” przez powstające stopnie swobody bozonów pośredniczących, które stają się masywne
- Nambu: ..., kolor, struny, r. Bethego-Salpetera, mechanizm Higgsa, ...

Łamanie parzystości kombinowanej CP (symetria dyskretna)

- P - parzystość, $x \longleftrightarrow -x$
- C - sprzężenie ładunkowe, cząstka \longleftrightarrow antycząstka
- CP niemal dobrą symetrią!
- Rozpady $K_L \Rightarrow \pi\pi$ (BR $\sim 10^{-3}$), Cronin, Fitch (1964)
- Ponieważ CPT jest zachowana, łamanie CP oznacza łamanie odbicia czasowego T
- Łamanie CP jest jednym z warunków Sacharowa asymetrii barionowej w naszym Wszechświecie

Mieszanie kwarków

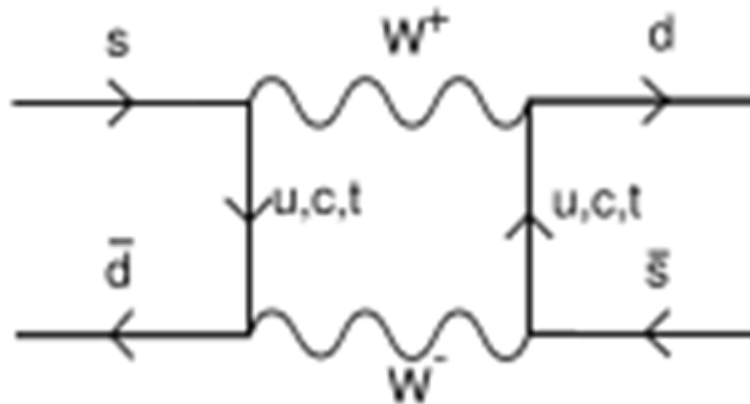
Kobayashi, Maskawa (1973): jak uzyskać łamanie CP w modelu kwarków? – Nie da się dla dwóch rodzin, potrzeba co najmniej trzech rodzin (6 kwarków)

Three Generations of Matter (Fermions)

	I	II	III	
mass	3 MeV	1.24 GeV	172.5 GeV	0
charge	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
name	u up	c charm	t top	γ photon
	6 MeV	95 MeV	4.2 GeV	0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
Quarks	d down	s strange	b bottom	g gluon
	<2 eV	<0.19 MeV	<18.2 MeV	90.2 GeV
	0	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	Z weak force
	0.511 MeV	106 MeV	1.78 GeV	80.4 GeV
	-1	-1	-1	± 1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
Leptons	e electron	μ muon	τ tau	W^\pm weak force
				Bosons (Forces)

mieszanie kwarków
przykład: mieszanie

$$K^0 - \bar{K}^0$$



(teoria **Cabibbo** dla dwóch rodzin, mechanizm GIM)

Macierz CKM

Macierz CKM



Macierz CKM

Progress of Theoretical Physics, Vol. 49, No. 2, February 1973

***CP*-Violation in the Renormalizable Theory of Weak Interaction**

Makoto KOBAYASHI and Toshihide MASKAWA

Department of Physics, Kyoto University, Kyoto

(Received September 1, 1972)

In a framework of the renormalizable theory of weak interaction, problems of *CP*-violation are studied. It is concluded that no realistic models of *CP*-violation exist in the quartet scheme without introducing any other new fields. Some possible models of *CP*-violation are also discussed.

3. najczęściej cytowana praca!

unitarna macierz mieszania:

$$\mathbf{U} = \mathbf{D}_1 \mathbf{V} \mathbf{D}_2$$

V: $n^2 - n - n + 1 = (n-1)^2$ parametrów

4 parametry dla $n=3$ (19 wszystkich)

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

$$V = \begin{pmatrix} c_1 & -s_1 c_3 & -s_1 s_3 \\ s_1 c_2 & c_1 c_2 c_3 - s_2 s_3 e^{i\delta} & c_1 c_2 s_3 + s_2 c_3 e^{i\delta} \\ s_1 s_2 & c_1 s_2 c_3 + c_2 s_3 e^{i\delta} & c_1 s_2 s_3 - c_2 c_3 e^{i\delta} \end{pmatrix}.$$

**czynniki zespolony
- łamanie CP**

$$V = \begin{bmatrix} c_{12}c_{13} & s_{12}c_{13} & s_{13}e^{-i\delta_{13}} \\ -s_{12}c_{23} - c_{12}s_{23}s_{13}e^{i\delta_{13}} & c_{12}c_{23} - s_{12}s_{23}s_{13}e^{i\delta_{13}} & s_{23}c_{13} \\ s_{12}s_{23} - c_{12}c_{23}s_{13}e^{i\delta_{13}} & -c_{12}s_{23} - s_{12}c_{23}s_{13}e^{i\delta_{13}} & c_{23}c_{13} \end{bmatrix}.$$

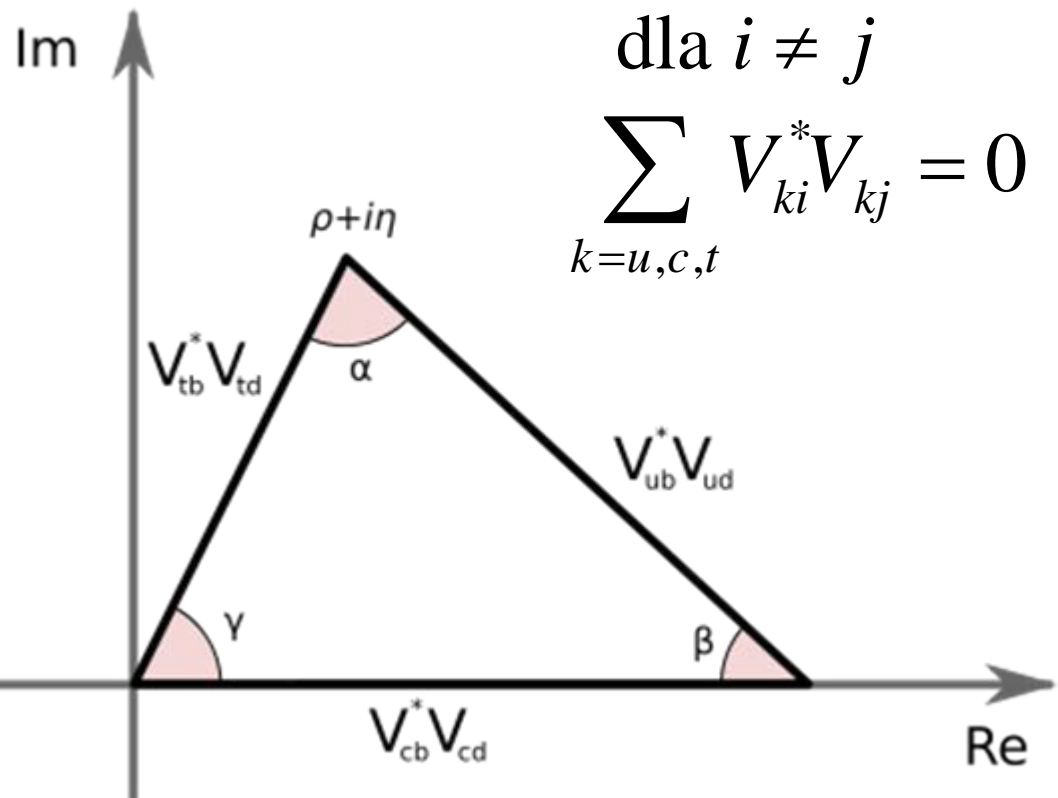
θ_{12}	0.229	
θ_{23}	0.042	
θ_{13}	0.004	
δ_{13}	0.995	łamanie CP!

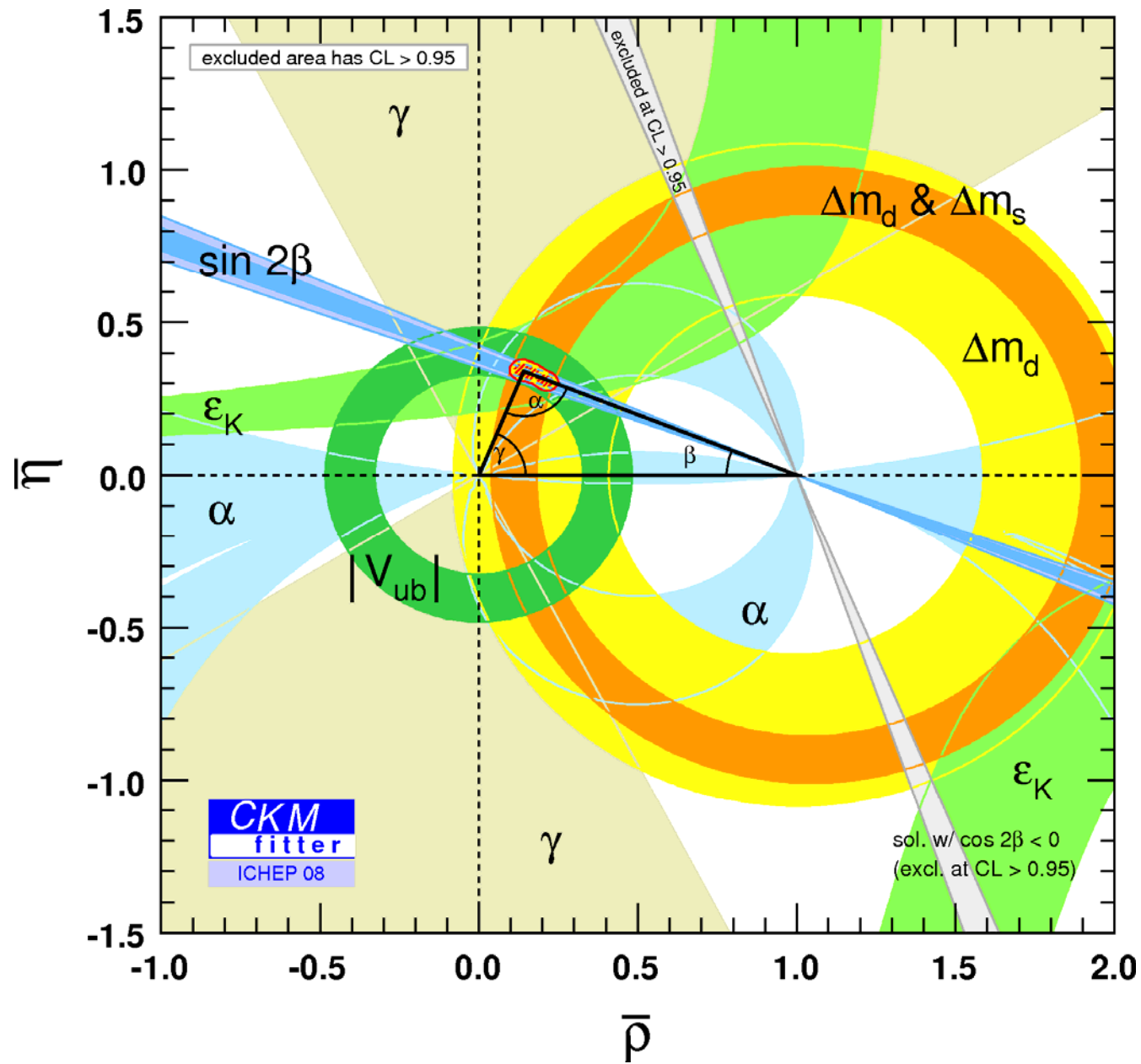
dla $i \neq j$

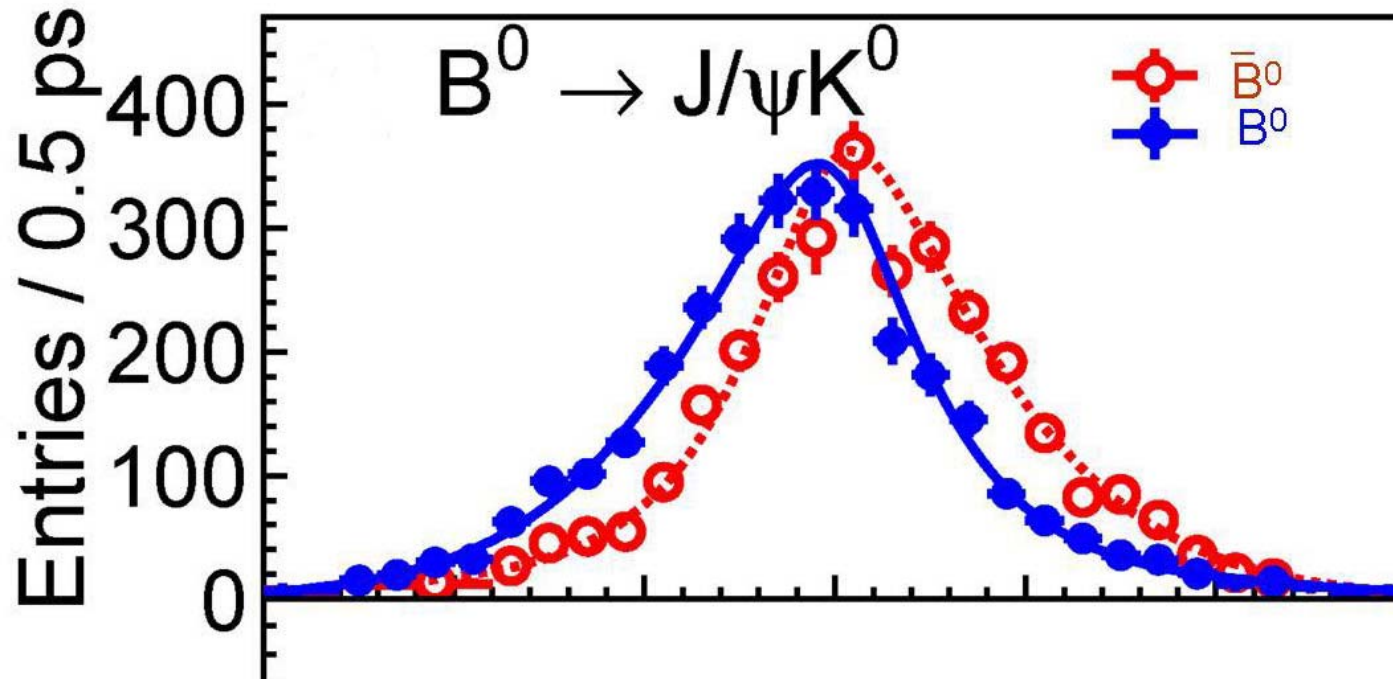
$$\sum_{k=u,c,t} V_{ki}^* V_{kj} = 0$$

trójkąt unitarności

powierzchnia - inwariant
Jarlskog, łamanie CP







(Belle @ KEK)

Praktyczne zastosowanie?

Praktyczne zastosowanie?

Natura dawno zastosowała złamane symetrie!

ありがとうございます。

ありがとうございます。

Arigatou gozaimasu.