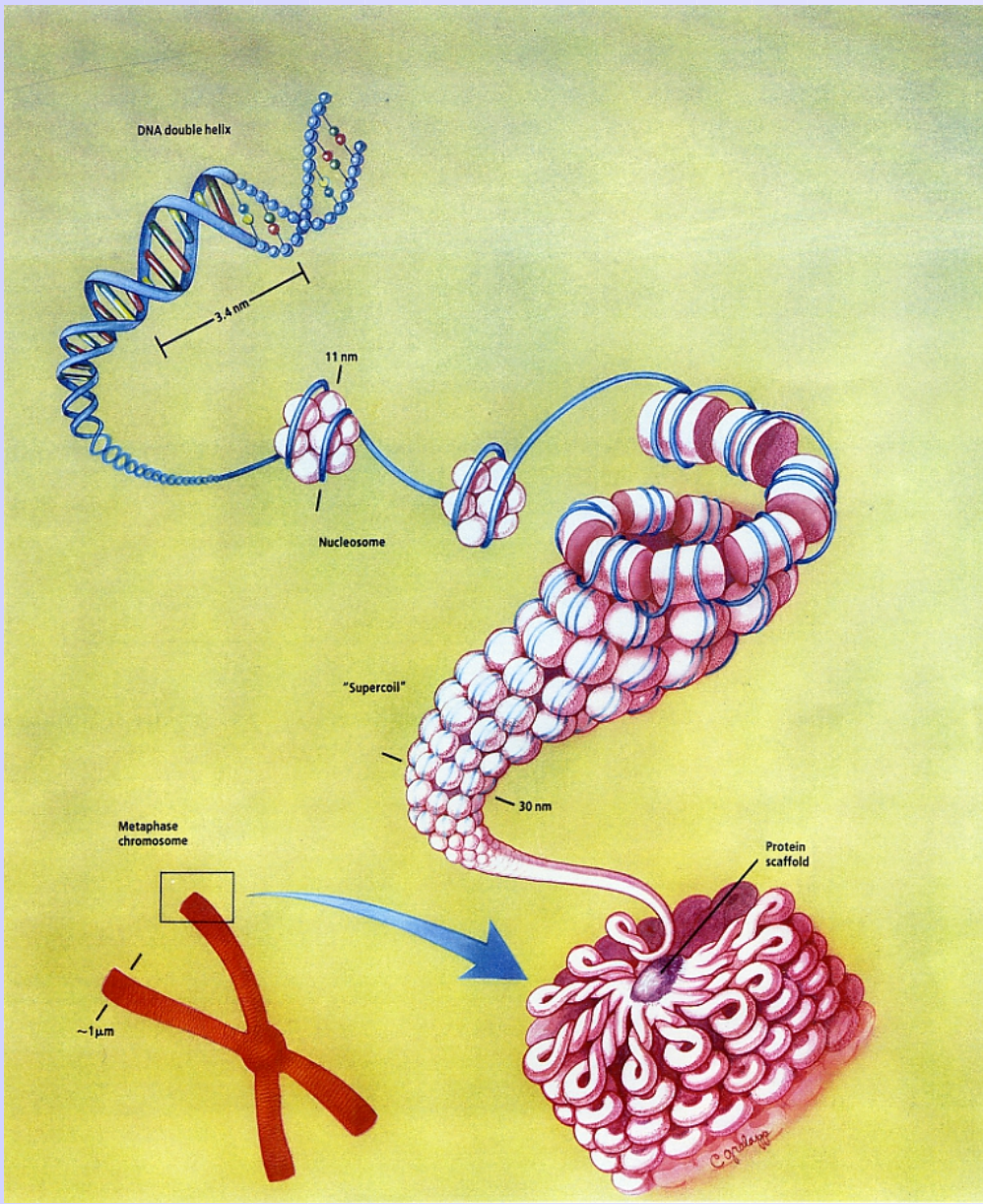


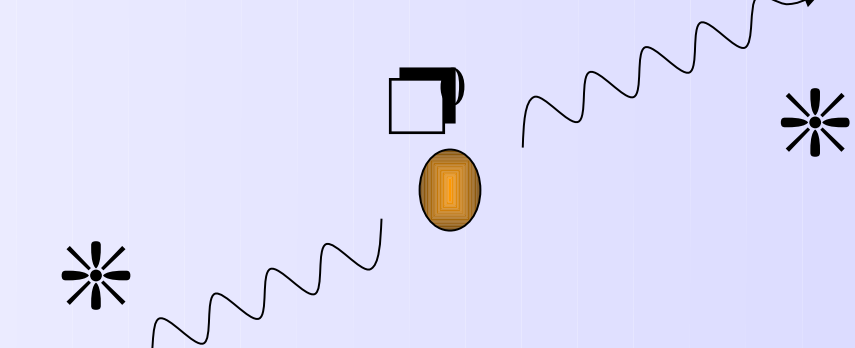
# Czy świat kręci się w prawo?



Dlaczego pnącza żywopłotu pną się wokół drzewa zawsze w jednym kierunku? Dlaczego ślimaki i łańcuch DNA są prawoskrętne a aminokwasy lewoskrętne?

W fizyce wszystkie procesy są symetryczne, niezależnie od tego czy patrzymy z prawej czy z lewej strony. Albo lepiej: **prawie** wszystkie procesy!

To co jest asymetryczne, to najłabsze (poza grawitacją) oddziaływanie elementarne, odpowiedzialne za rozpady beta i mezonów K. Powód? Najłżejsze, posiadające znikomą masę cząsteczki zwane neutrino są zawsze lewoskrętne.

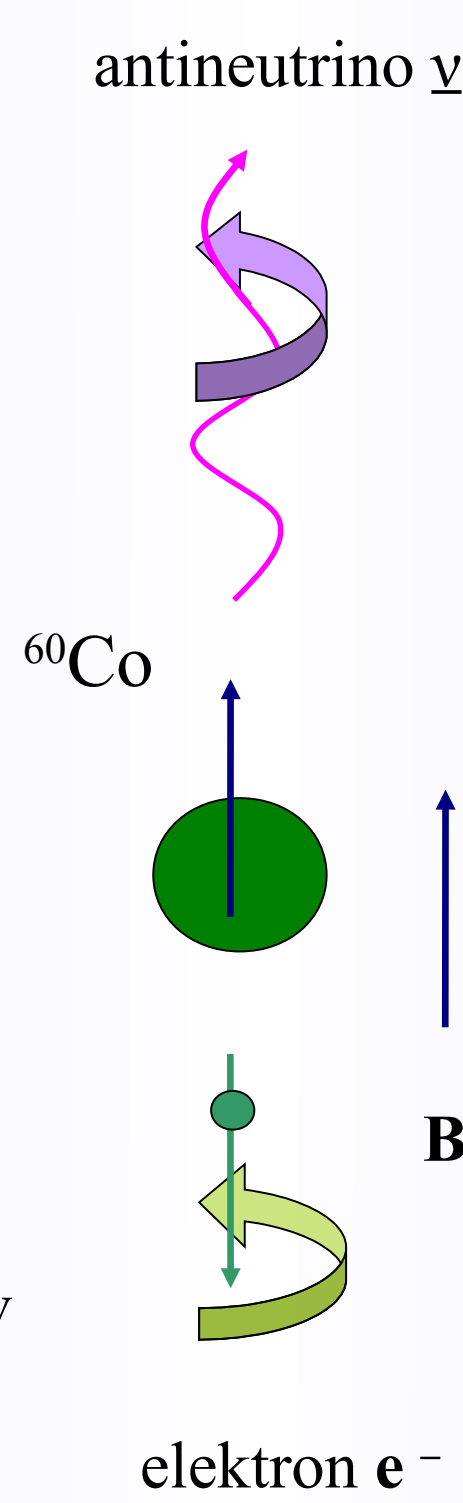


Oddziaływanie elektromagnetyczne jest symetryczne ze względu na znak ładunku. Mezony mogą rozpaść się tylko na dwa fotony (z parzystością -1 każdy), nigdy na trzy.



Ligus virgineus

- Do roku 1956 wierzyliśmy, że ze zmianą **ładunku elektrycznego**, cząsteczki elementarne nie zmieniają innych swych właściwości. Na przykład, w rozpadach beta elektrony lub pozytony powinny być emitowane we wszystkich kierunkach. Eksperyment z rozpadem  $^{60}\text{Co}$  pokazał, że tak nie jest: elektrony są emitowane w kierunku przeciwnym do pola magnetycznego zaś spin utworzonych anty-neutrino jest zorientowany równoległe do ich kierunku propagacji (tzn. **prawoskrętnie**). Zależność pomiędzy spinem a kierunkiem propagacji wydaje się być nieodłączną częścią wszystkich słabych oddziaływań, takich jak rozpad mionów. [Garwin, Ledermann i Weinrich, Phys. Rev. 105 (1957) 1415]



Jądro  $^{60}\text{Co}$  rozpada się na  $^{60}\text{Ni}$ , emitując przy tym elektron. Ponieważ spin tych jąder różni się o -1, całkowity spin antyneutrino i elektronu musi wynosić także -1. Antyneutrino jest zawsze prawoskrętne (spin równoległy do jego pędu). Wyemitowany elektron jest spolaryzowany, ze spinem antyrównoległym do jego pędu i zawsze przeciwnie do B.

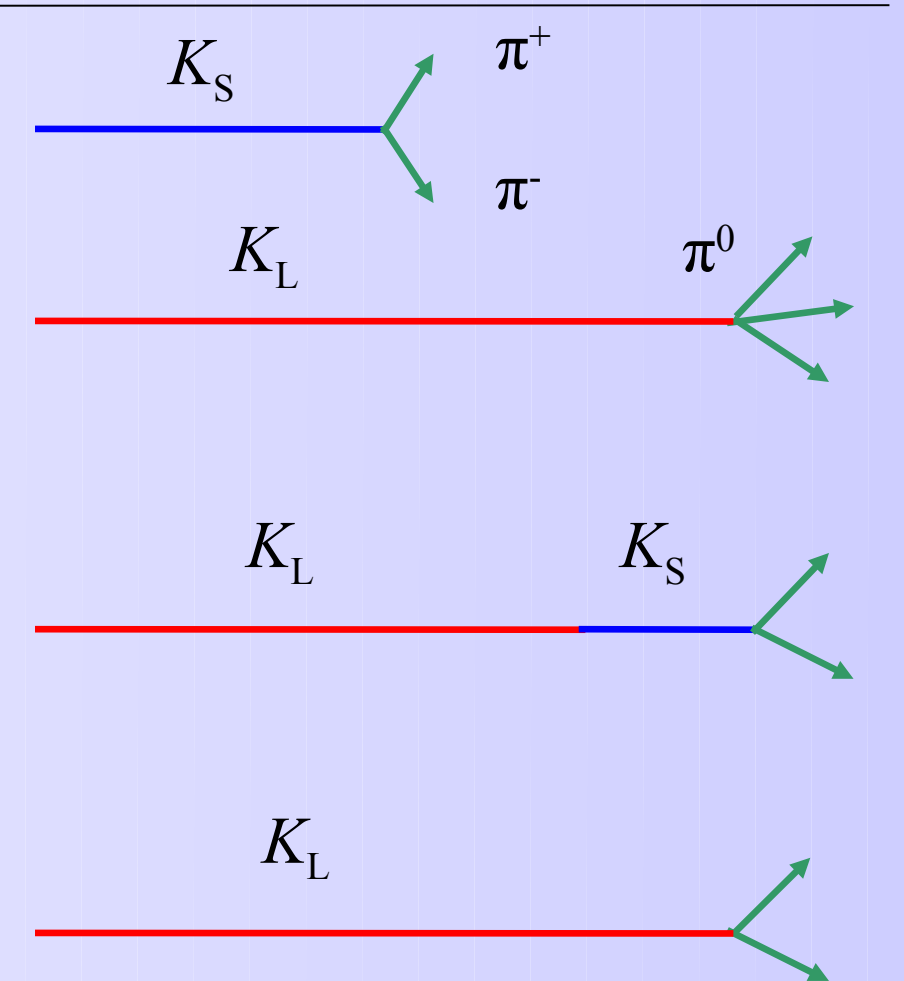
- 2. Potem wierzyliśmy, że zmiana **ładunku** i kierunku **rotacji** (t.j. parzystość) jest zachowana – tak zwana symetria CP.

Jednak eksperymenty przeprowadzone na mezonach K w 1964 roku temu zaprzeczyły: długo żyjące mezony **nie powinny rozpaść się** na dwa piony, a jednak rozpadały się. Statystycznie jeden na 500 takich mezonów  $K_0$  "zmieniał w locie" swoją parzystość na CP=1 i umierał szybciej. Symetria CP nie jest zachowana!

Z zachowaniem symetrii CP, krótko żyjący kaon  $K_S$  rozpada się na dwa przeciwnie naładowane piony, a długo żyjący kaon  $K_L$  na trzy neutralne piony.

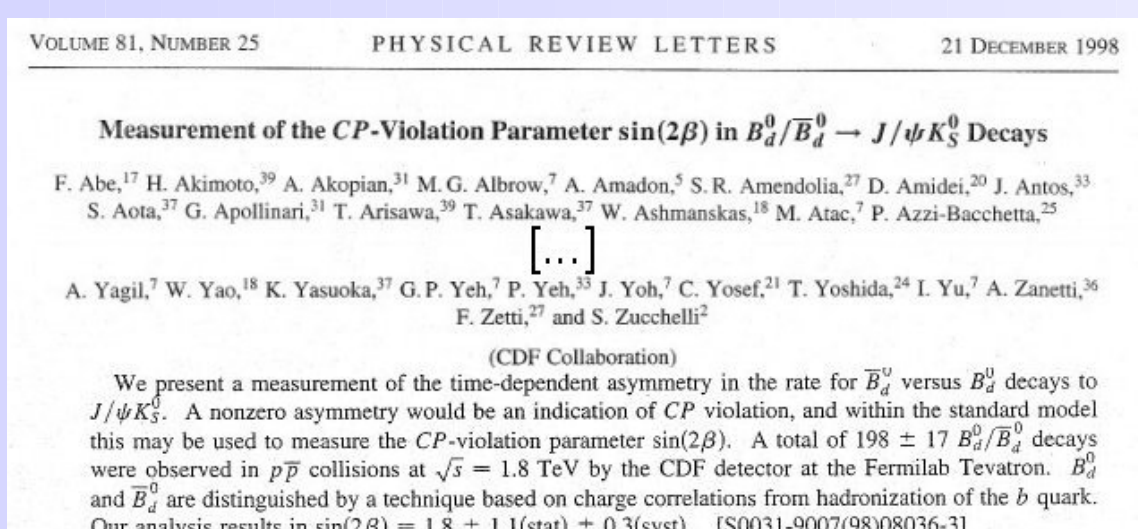
Rozpad kaonu  $K_L$  na dwa piony może wskazywać na naruszenie symetrii CP, ale nie bezpośrednio – kaon  $K_L$  mógł zamienić się na kaon typu  $K_S$  krótko przed rozpadem. Prawdopodobieństwo zajścia tego procesu, zaobserwowanego w 1964 roku, wynosi  $2 \times 10^{-3}$ .

Jeżeli jesteśmy pewni, że jest to kaon  $K_L$ , który rozpada się na dwa piony, to mamy wtedy bezpośredni dowód na złamanie symetrii CP. Prawdopodobieństwo na bezpośrednie naruszenie symetrii CP w rozpadzie kaonu  $K_L$  na trzy piony również wynosi  $2 \times 10^{-3}$ .



- 3. Nadal wierzymy, że odwracając jednocześnie ładunek, parzystość i **strzałkę czasu** zachowujemy ogólną symetrię CPT. Symetria **ładunek - parzystość - czas** wydaje się być potwierdzona również przez wszystkie eksperymenty przeprowadzone w ostatnim czasie. Co więcej, jako że CP jest złamana, również symetria czasu powinna być złamana. Wyraźnie to widać w jednym z eksperymentów rozpadu kaonu wykonanym w CERN-ie. Rozpad cięższego kwarka bottom, narusza symetrię CP w znacznie większym stopniu niż rozpad dziwnego kaonu.

**Wniosek z zachowania CPT i złamania CP? Nasz lewoskrętny antymaterialny bliźniak z każdym dniem staje się coraz młodszy!**



Eksperyment wykonany w FermiLabie wykazał **niezerową** wartość dla łamania symetrii CP w rozpadzie kwarka **spodniego** na kwarka **powabnego** (poprzez badanie odpowiedniego rozpadu mezonów).

W następnym artykule [PRL 87 012802 (2001)] podano, że parametr ten wynosił:  $\sin(2\phi) = 0.99 \pm 0.14 \pm 0.06$ .

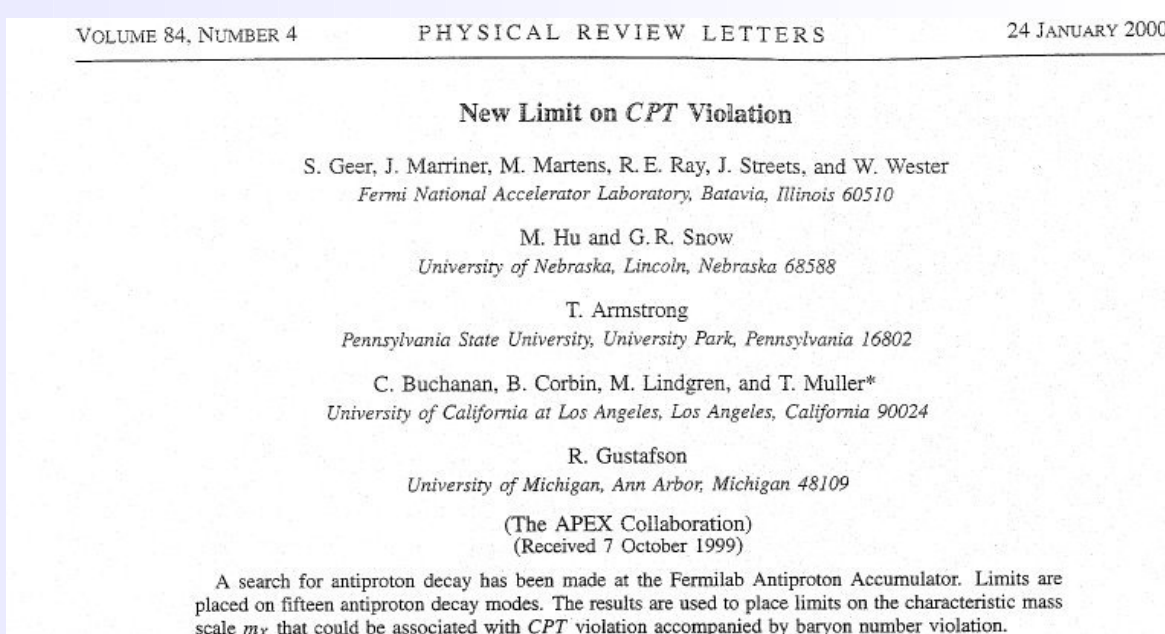
Również weneckie gondole są nieco (około 15 cm) asymetryczne - to pozwala "gondolierowi" wiosłować tylko po jednej stronie.



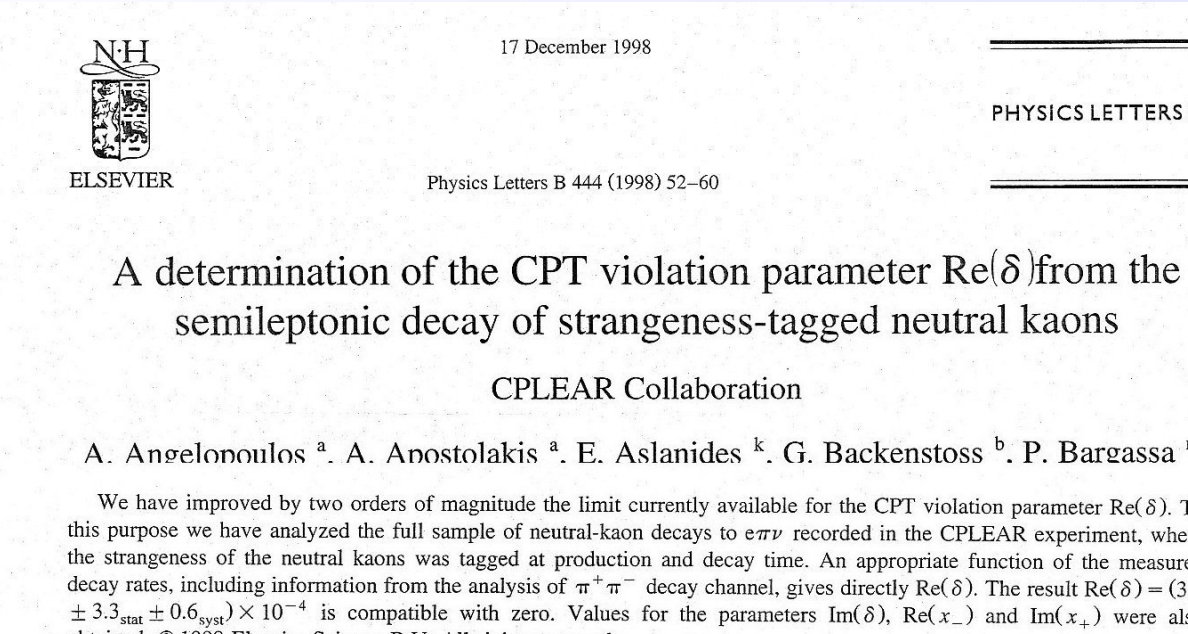
Zatem wszystkie eksperymentalne dowody wskazują na to, że materia "preferuje" skrętność tylko w jednym kierunku (zaś antymateria prawdopodobnie w drugim).

I jeśli symetria CPT jest prawdziwa a symetria CP rzeczywiście złamana, to właśnie nasza **strzałka czasu** jest asymetryczna.

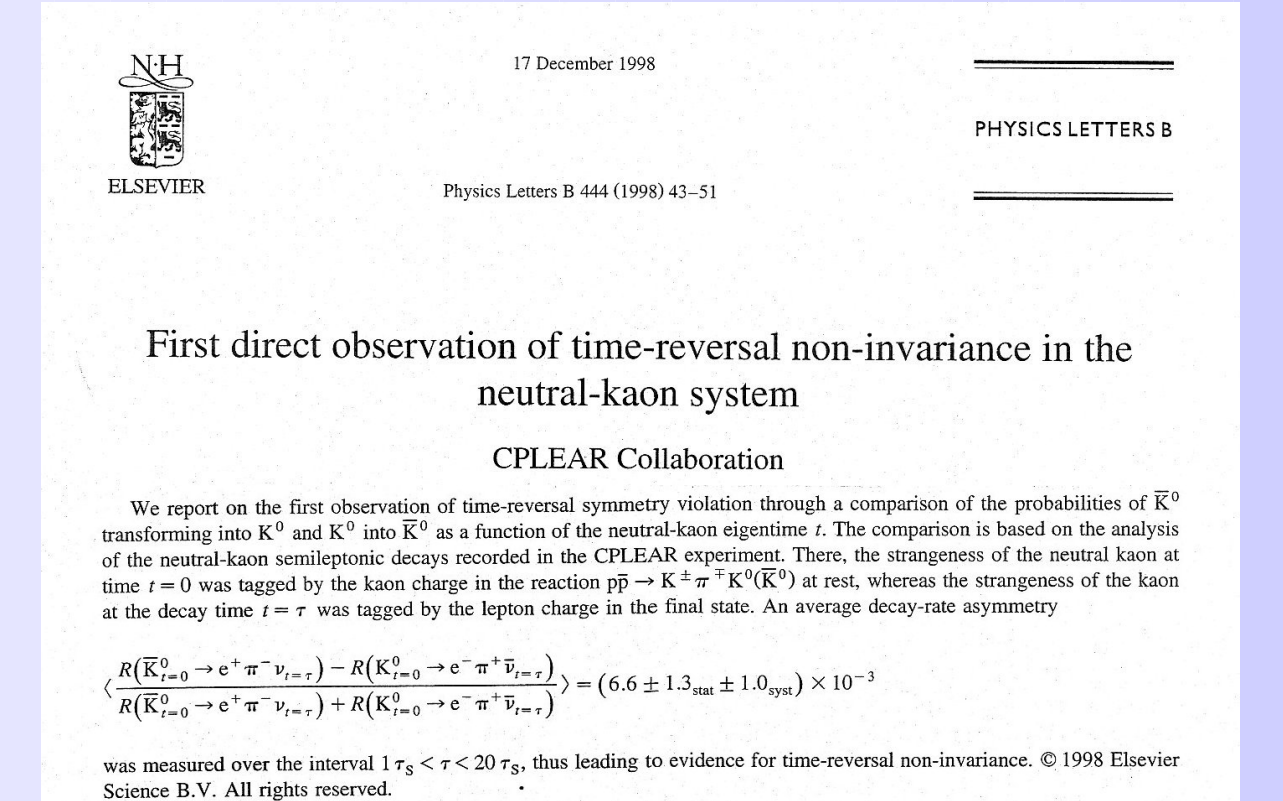
Tak więc, właściwe pytanie powinno brzmieć:



Inny artykuł z FermiLabu przedstawia **zerową** (w granicach błędów) wartość łamania CPT. Analiza danych pochodzących z rozpadów antyprotonu wykazała, że jest on stabilny, tak jak proton.

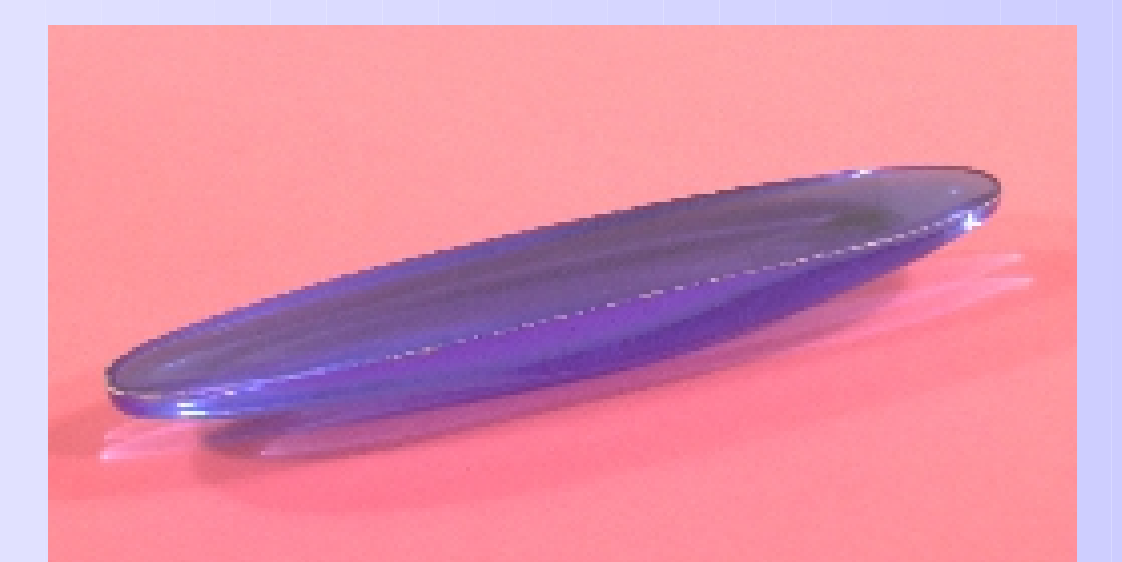


Powyższy artykuł z przeprowadzonego w CERNie eksperymentu rozpadów mezonów K przedstawia **zerowe** wyniki dla parametru łamania CPT.



A ten eksperyment, bazujący na przejściu  $K^0 \rightarrow \bar{K}^0$  i na odwrót, wskazuje wyraźnie na naruszenie **strzałki czasu**. Asymetria w rozpadach kaonów wynosi około 0.5%.

Celtycki kamień, „prawie symetryczny”, kręci się tylko w jedną stronę



R.A. Hedstrom i D.K. Kondepudi "Chirality of the Universe", Scientific American, N. 259, March 1990. Podziękowania dla Sachy Golke za zdjęcie DNA oraz dla Emilio Jorge Powera za zdjęcie Ligus Virgineus. Więcej informacji o łamaniu CP w doświadczeniach na kwarkach bottom można uzyskać na: <http://belle.kek.jp>

# Dlaczego czas płynie naprzód?