

Mechanika kwantowa

9.IV.2008

Mieszanie

- Światło = cząstka
prawa ruchu jak dla fali
- Interferencja

Laser-

przesłona (przystłona, szczelina)- ekran

- Określony kolor \rightarrow energia $E=h \nu$
- Fotony opuszcza źródło pojedynczo dobiegają do ekranu zanim następny foton jest emitowany
- Dwa przypadki:



Pierwsza przesłona otwarta

- Pierwszy foton gdzieś trafi, drugi gdzieś trafi, itd.
- Utworzy się pewien rozmazany obraz z drobnymi efektami kolorowymi na brzegach (dyfrakcja)
- Intensywność światła – proporcjonalna do liczby fotonów
- Liczba fotonów w danym obszarze ekranu
Więcej na środku tzn na linii przesłony (jaśniej) – mniej po bokach (ciemniej) –
czyli prawdopodobieństwo większe w środku mniejsze po bokach
- Jedyne informacje jaką mamy –
prawdopodobieństwo uderzenia w ekran

Druga szczelina otwarta...

- Druga szczelina otwarta - jak poprzednio
- A co się dzieje gdy **obie szczeliny otwarte**?
Suma obu tych przypadków? Czyli najwięcej fotonów na wprost szczelin? NIE
- Obraz interferencyjny i najjaśniej za przeszkodą...
Ale przecież fotony docierały pojedynczo do ekranu – więc co z czym interferuje?
- Interferencja to własność samego fotonu, ale również elektronu i innych cząstek kwantowych

Film

- Działko z fotonami

- The double-slit experiment, and its variations, then became a classic *Gedankenexperiment* (thought experiment) for its clarity in expressing the central puzzles of quantum mechanics; although in this form the experiment was not actually performed with anything other than light until 1961, when C.Jönsson of the U. of Tübingen performed it with electrons, and not until 1974 in the form of "one electron at a time", in a laboratory at the University of Milan, by researchers led by P. Merli, of LAMEL-CNR Bologna.
- The results of the 1974 experiment were published and even made into a short film, but did not receive wide attention. The experiment was repeated in 1989 by Tonomura et al at Hitachi in Japan. Their equipment was better, reflecting 15 years of advances in electronics and a dedicated development effort by the Hitachi team. Their methodology was more precise and elegant, and their results agreed with Merli's team.
- In September 2002, the double-slit experiment of Claus Jönsson was voted "the most beautiful experiment" by readers of *Physics World*

Amplituda i prawdopodobieństwo

- Fale-

np. góry i doły na powierzchni wody..

Znak + gdy nadwyżka (max -> **amplituda**)

znak - gdy niedomiar

Gdy spotkają się dwie fale – mogą się wygaszać lub wzmacniać (interferencja)

- Prawdopodobieństwo – zawsze dodatnie
między 0 a 1

- Intensywność (natężenie) = (amplituda)²

Rysunek: 4 a nie 2

- Niech szczeliny b. blisko
- Badamy intensywność światła na ekranie czyli rozkład energii, a ponieważ każdy foton niesie określoną porcję energii odpowiada to rozkładowi fotonów

- Maksimum:

— $A_{I,II}$ = amplitudy dla otwartej I lub II szczeliny

$$(A_I + A_{II})^2 = |A_I|^2 + |A_{II}|^2 + 2A_I A_{II}$$

czy $|A_I|^2 + |A_{II}|^2$?

Jeżeli $A_I = A_{II} = 1$

To dostaniemy 4 do 2

- Rozkład w rzeczywistości: **czynnik 4**

Całkowita energia zawarta w ekranie

- Interferencja wpływa na rozkład
- Zachowanie prawdopodobieństwa
Całkowite prawd. że cząstka gdzieś się znajdzie na ekranie = 1
- A jeśli cząstka się rozpadnie na inne cząstki ? Prawdopodobieństwo dla całego procesu

Mieszanie

- Stałe sprzężenia g

$u \rightarrow d W^+$

może mieć różne wartości,

np. oddz. e-m znaki różne

- Prawdopodobieństwo tego procesu

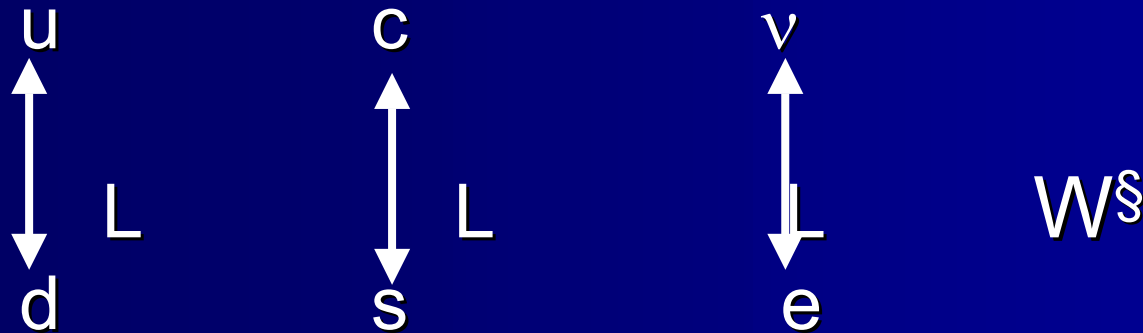
(przejścia) – transition probability

prop. do kwadratu g – zawsze dodatnie

Amplituda przejścia $L \sim g$

Prawdopodobieństwo przejścia:

$$g^2/4\pi$$



Ale jest **różnica** między przejściami dla kwarków a między elektronem i neutrino

Prob. $u \rightarrow d W^+$ + prob. $u \rightarrow s W^+$ =

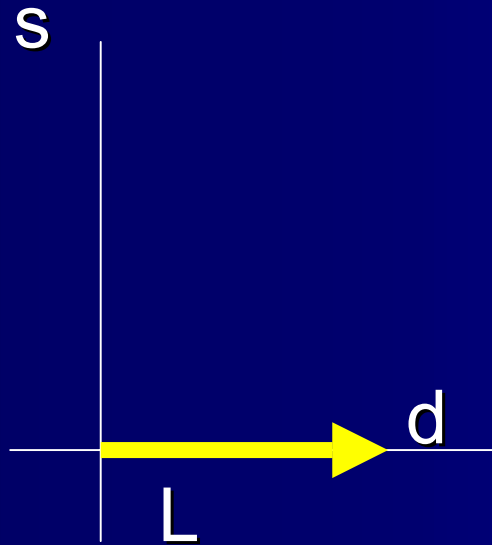
prob. $\nu \rightarrow e W^+$

W rzeczywistości możliwe rozpady:

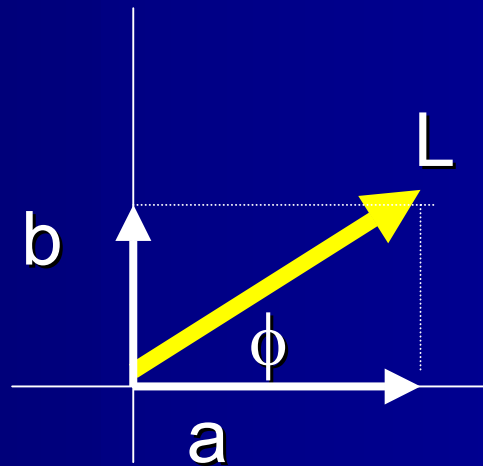
Prob: $W^- \rightarrow \bar{u} d$ $W^- \rightarrow \bar{c} s$ $W^- \rightarrow \bar{\nu} e$

Kąt Cabibbo ϕ

Sprzężenie kwarku u do s i d



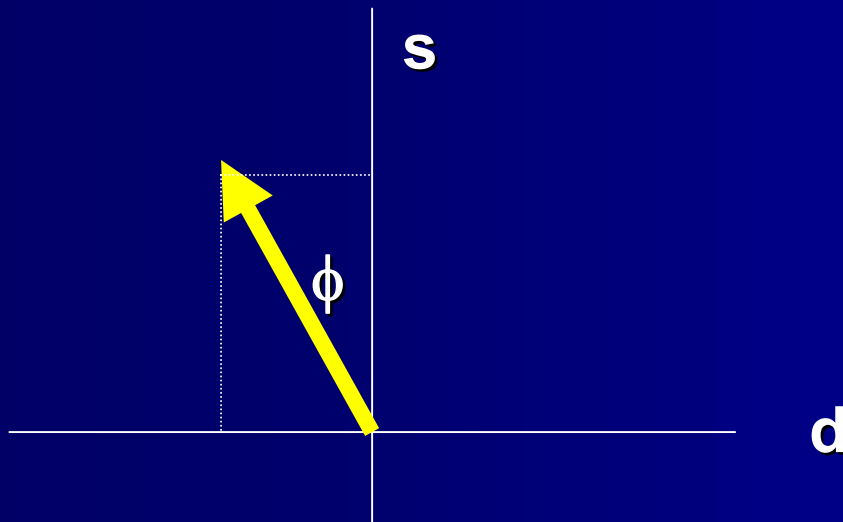
$$a^2 + b^2 = L^2$$



Eksperyment: $\phi = 12.7^\circ$

Podobnie dla $c \rightarrow d$ i $c \rightarrow s$

Sprzężenie kwarku c do d i s



Dane dla rozpadu neutronu ($d \rightarrow u e \bar{\nu}_e$) - w 1963

sprzężenie mniejsze niż dla rozpadu mionu ($\mu \rightarrow \nu_\mu e \bar{\nu}_e$)

Kąt Cabibbo – mieszanie między 1 i 2 generacją kwarków

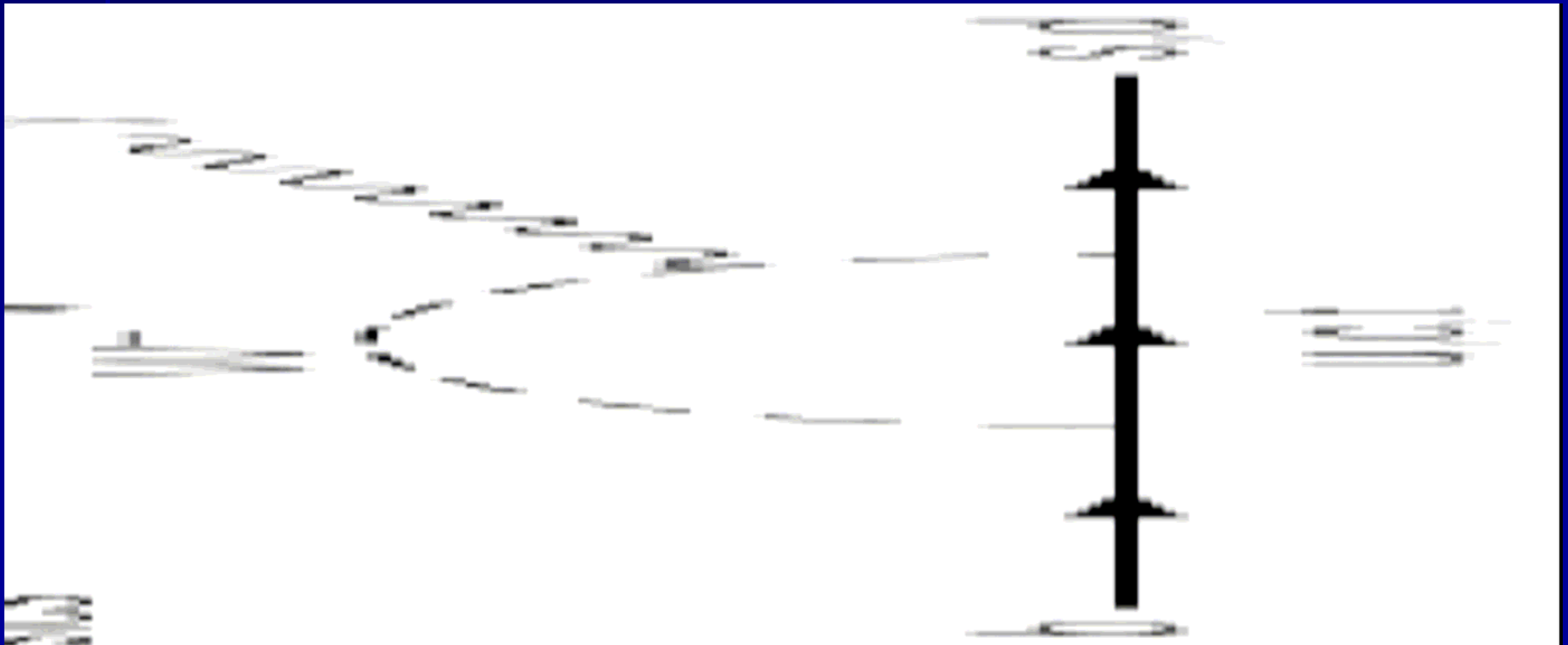
- potrzebny do opisu danych – ale dlaczego taki? skąd mieszanie? Częstka Higgsa? Nie wiemy...
- Sytuacja jest nawet bardziej skomplikowana mieszanie między trzema generacjami kwarków

Macierz Cabibbo-Kobayashi – Maskawa

- takie mieszanie założono zanim odkryto trzecią generację! (bo istniejące dane tego wymagały – stała sprzężenia zespolona)
lepton tau – 1975 Perl, kwark t -1995
- Macierz C-K-M : 3 kąty (jeden kąt Cabibbo)+faza

Prawdopodobieństwo rozpadu

$b \rightarrow s \gamma$ plus $b \rightarrow d \gamma$



Czy dla sprzężenia z Z też mieszanie? NIE

Przejścia bez zmiany ład. elektrycznego

- $d \rightarrow d Z$
- a mieszanie: czyli czy istnieje przejście:
 $d \rightarrow s Z$? NIE

Dlaczego? nie wiemy (Higgs?)

- **CZY JEST MIESZANIE LEPTONÓW**
miedzy generacjami? Nie? Jeśli neutrina nie
maja masy to nie ma... a jeśli mają to jest

Słońce świeci neutrinami



- $e \rightarrow \nu_e W^-$ i również $\nu_e \rightarrow W^+ e$ możliwe
- Doświadczenia z neutrinami słonecznymi
- Jeśli nie ma mieszania – zawsze ν_e
- Mieszanie – zamiana na neutrino muonowe i taonowe, i są na to pewne dowody bo obserwuje się mniej ν_e niż emituje Słońce
- Jeżeli masy różne to inny czas docierania na Ziemię i docierająca mieszanka jest inna
(Gdy masy takie same- mimo mieszania – nie dowiemy się o tym)

Mieszanie - posumowanie

- Efekt kwantowy
- Być może cząstka Higgsa jest za to odpowiedzialna (CKM)
- Mieszanie \rightarrow bozon Z i foton
(produkty końcowe mieszania)
kąt Weinberga (oddz.elektrosłabych)
 Z sprzęga się do neutrin, foton nie
tu też efekt cząstki Higgsa
- Pomiar kąta Cabibbo: $u \rightarrow d W^+$ i $\nu_e \rightarrow e W^+$
- Pomiar kąta Weinberga: $u \rightarrow d W^+$ i $u \rightarrow u Z$