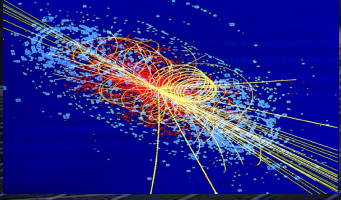


Wszechświat cząstek elementarnych



# WYKŁAD 4

11.III.2009

Liczby kwantowe  
i prawa zachowania

Spin

Rodziny

Neutrina

# Zasada zachowania energii

W każdej reakcji (zderzeniu, rozpadzie):

**energia końcowa = energia początkowa**

- Każda cząstka o masie  $m$  ma z nią związaną energię

$$E=mc^2$$

Więc rozpad możliwy na cząstki o mniejsze masie;  
bardziej masywne cząstki mają więcej szans na rozpad

- Zasada zachowania energii – ściśle przestrzegana przez Naturę

Przykład rozpadu neutronu: bilans masy  
( $939.5 - [938.3 + 0.5 + 0] = 0.70$ ) MeV/c<sup>2</sup>  
-> energia kinetyczna produktów rozpadu

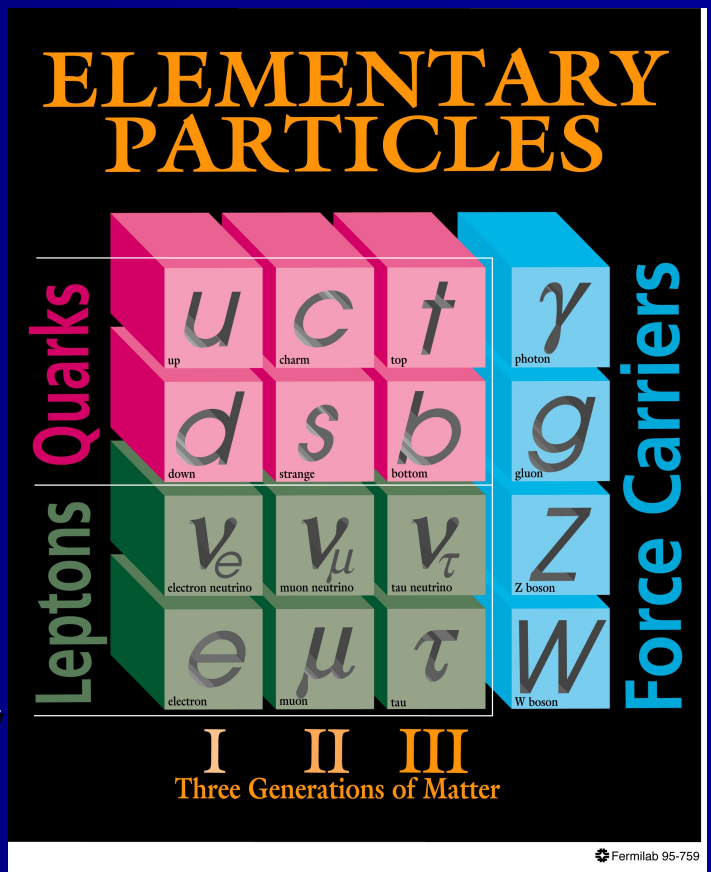
# Masy kwarków

■ Masy:

u	c	t
3 MeV	1.25 GeV	172 GeV
d	s	b
7 MeV	150 MeV *	4.5 GeV

$\nu_e$	$\nu_\mu$	$\nu_\tau$
$<5 \cdot 10^{-6}$ MeV	$<0.27$ MeV	$<31$ MeV
e (elektron)	$\mu$ (mion)	$\tau$ (taon)
0.511 MeV	105.7 MeV	1.78 GeV

i LEPTONÓW: (*lepton* - „lekki”)  
elektron, mion, taon i ich neutrina



# Różnica mas kwarku u i d

- Kwarki te tworzą proton (uud) i neutron (ddu)  
[ $m_p=938.3 \text{ MeV}/c^2$  ,  $m_n=939.5 \text{ MeV}/c^2$  ,  $\Delta m=1.2 \text{ MeV}/c^2$ ]
- Rozpad neutronu =  
rozpad kwarku d na kwark u (+...)  
Kwark d – ma większą masę i rozpada się na  
cząstkę o mniejszej masie
- Ale co by było jeśli byłoby odwrotnie:  $m_d < m_u$  ?

# Proton jest trwały a neutron – nie, i dlatego

- Słońce świeci – rozpad neutronu
- Woda istnieje (proton = jądro wodoru)

Rozpad neutronu to  $n \rightarrow p e \bar{\nu}_e$

Hipotetyczny rozpad protonu

$$p \rightarrow n e \bar{\nu}_e$$

Ale dlaczego proton się nie rozpada?

Czy to naruszałoby jakąś zasadę?

# Zachowanie ładunku elektrycznego

- Zasada zachowania ładunku elektrycznego
  - ściśle przestrzegana w przyrodzie
- dlatego np. proton nie mógłby się rozpaść na elektron plus antyneutrino (el. neutralne)
- Ładunek **cząstek elementarnych** – tylko w określonych porcjach → **skwantowanie ładunku**
  - Niech ładunek el. elektronu =  $-1$ ,
  - wtedy ładunek el. protonu  $+1$ ,
  - ale kwarku  $u$  wynosi  $2/3$ ! - **ułamkowy!**
- **Obserwowane** cząstki elem. mają ładunek elektr. będący wielokrotnością ładunku elektr. elektronu – czyli  $n=0,1,2,\dots$  lub  $-1,-2,\dots$ 
  - ( $n=0$  – cząstka neutralna lub obojętna)

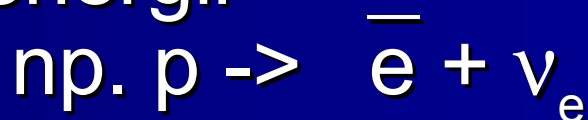
# Liczba ładunkowa

- Zasada zachowania ładunku w mikroświecie → zachowanie liczby ładunkowej  
końcowa l. ład. = początkowa l. ład.  
(-> suma l. ładunkowych cząstek)
- Kwantowa liczba ładunkowa  
(charge quantum number)
  - pierwszy przykład liczby kwantowej



# Liczba barionowa B

- Rozpad protonu nie jest zabroniony przez zasadę zachowania ładunku elektr. ani zasadę zachowania energii



Więc co zabrania?

- Stückelberg (1938) – nowy pomysł:  
inna liczba kwantowa (i jej zachowanie)
- Doświadczalne potwierdzenie tej hipotezy-  
różne testy , np

dlaczego neutron nie rozpada się na:  $e + \bar{e}$ ?

- **Nowa liczba kwantowa: liczba barionowa**  
proton=+1, neutron=+1; antycząstki  $\bar{p}$ ,  $\bar{n} = -1$   
**zachowana w Naturze** (*baryon, z greckiego-ciężki*)



# Liczby kwantowe kwarków

- Liczba barionowa  $B$  dla  $p$  i  $n = +1$   
Stąd kwarki mają liczbę barionową  $= 1/3$
- Ładunek elektryczny  
kwarków  $q = 2/3$  lub  $-1/3$   
antykwarłów  $\bar{q} = -2/3$  lub  $1/3$   
 $u = 2/3, d = -1/3 \rightarrow$  ład. el.  $p = +1, n = 0$
- Liczby kwantowe **zapachowe** (np.  $S$ )

# Hadrony – stany związane kwarków

Hadrony

Bariony ( $B \neq 0$ )

3 kwarki

Mezony ( $B = 0$ )

kwark-antykwar

*Hadron- gruby, mocny*

*mezon - pośredni*

# Liczby leptonowe: elektronowa

- Często elektronowi towarzyszy neutrino (lub anty-neutrino np. w rozpadzie n)
- **Liczba elektronowa:** dla elektronu  $e=+1$ ,  
dla neutrina elektronowego  $\nu_e=+1$   
dla ich antycząstek = -1 (dla innych =0)

Więc jeśli l. elektronowa ma być zachowana, to rozpad neutronu musi być taki:  $n \rightarrow p e \bar{\nu}_e$

- **Proces „skrzyżowany (crossing)”** :  $\bar{\nu}_e n \rightarrow p e$   
też istnieje oraz proces  $\bar{\nu}_e p \rightarrow n e$  -  
odkrycie  $\nu$  Cowan, Reines' 1956 (Nobel 1995)
- przedtem neutrino - tylko hipoteza 1930 Pauli  
(zachowanie energii w rozpadzie n)

- Podobnie  $\rightarrow$  **liczba mionowa i taonowa**

# Liczba leptonowa L

Liczba leptonowa = suma  
indywidualnych liczb leptonowych

$$L = L_e + L_\mu + L_\tau$$

# Spin

- Własność zwana spinem – własny moment pędu związany z obrotem (kręt)
  - spinning tennis ball
- Te obroty mogą być tylko pewnego typu -są **skwantowane**. Każda cząstka ma określony spin, kierunek osi obrotu może się zmienić, ale nie spin.
- Przyjmując pewną jednostkę spinu - spiny cząstek mogą przyjmować jedynie wartości będące krotnością  $\frac{1}{2}$  (0, 1, 3/2..)
- Dodawania spinów – jak wektorów

# W przyrodzie jedynie dwa typy cząstek elementarnych

- cząstki o spinie połówkowym
  - **fermiony** (statystyka Fermiego)  
nie mogą zajmować tego samego stanu kwantowego
- cząstki o spinie całkowitym
  - **bozony** (statystyka Bosego)  
lubią zajmować ten sam stan kwantowy

Kwarki i leptony  
to fermiony o spinie  $\frac{1}{2}$



# Model Standardowy 11.03.09

## Cząstki materii

Podsumowanie – cząstki  
fund. o spinie  $1/2$   $h/(2\pi)$ ,  
 $\pi=3.14..$

( $h$  – stała Plancka)

Kwarki (wszystkie) :

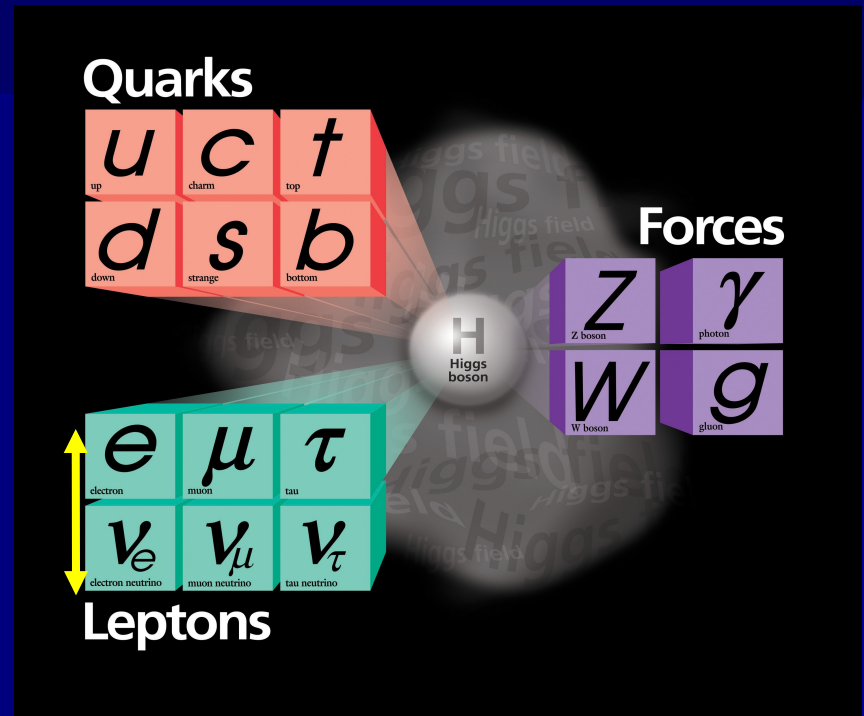
I. barionowa  $B=1/3$

Leptony (wszystkie) :

I. leptonowa  $L = 1$

Antykwarki  $B= -1/3$

antyleptony  $L= - 1$



Leptony: indywidualne liczby kw.–  
elektronowa, muonowa i taonowa

Kwarki: indywidualne zapachy

# Pierwsza rodzina

- Kwarki o ład. elektr  $2/3$  u (3 kolory)  
 $-1/3$  d (3 kolory)
- Leptony  $0$   $\nu_e$   
 $-1$  e

Siły elektromagnetyczne e-m – nośnikiem foton.

Silniejsze dla większego ładunku (co do wartości bezwzględnej) czyli oddz. e-m silniejsze dla kwarku u niż d, z neutrinem nie ma oddz. e-m.

Np.. Oczywiście istnieje też pierwsza antyrodzina

Ale co definiuje rodzinę ?

Oddziaływanie słabe, odpowiedzialne za rozpad beta

# Oddziaływanie słabe

- Cząstki  $u$  i  $d$ , antyneutrino elektronowe i elektron występują w parach np. w rozpadzie neutronu, za co są odpowiedzialne siły zwane słabymi
- Bozony oddz. słabych – odpowiedniki fotonu dla oddz. e-m

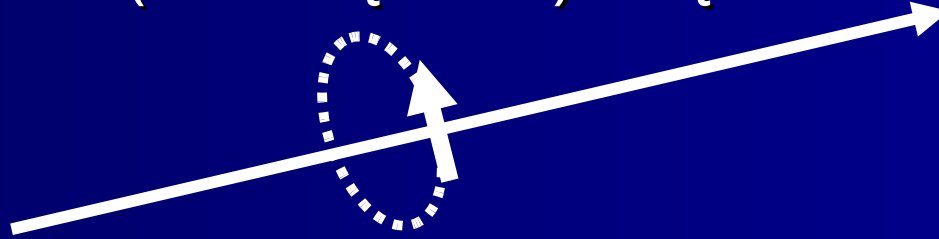
*więcej na następnym wykładzie*

# Rodziny i cząstki przenoszące oddziaływania

- Kwarki i leptony – spin  $\frac{1}{2}$   
pierwsza rodzina: kwarki u, d i leptony e,  $\nu_e$ ,  
druga rodzina: kwarki c, s i leptony  $\mu$ ,  $\nu_\mu$   
trzecia rodzina: kwarki t, b i leptony  $\tau$ ,  $\nu_\tau$
- Cząstki oddziaływań – foton, gluony, bozony  
oddziaływań słabych- spin 1
- Spin 0?? – cząstka Higgsa?

# Lewe i prawe cząstki o spinie 1/2

- Lewa (lewo-ręczna) cząstka



(left-handed)

Ale to jest może być względne- bo jak minę taką cząstkę to będzie ona prawą (prawo-ręczną) cząstką.

- Więc jak jest lewa to i prawa cząstka musi istnieć – chyba, że masa cząstki jest zero!

# Neutrino – masa zero (?)

W Modelu Standardowym – masa  $\nu = 0$

- Neutrino – cząstka lewa
  - Antyneutrino – cząstka prawa
  
  - Ale ostatnie doświadczenia wskazują, że neutrina mają niezerową masę
    - Model Standardowy wymaga modyfikacji
- więcej o tym później*

# 3 generacje (rodziny) - uwagi

- Czy są dalsze rodziny?  
Doświadczenie: raczej nie, o ile neutrina lekkie.  
Teoria: ?
- To tablica cząstek fundamentalnych generacje uporządkowane ze względu na masy  
I- najmniejsze masy, III- największe,  
ale bez głębszej zasady – inaczej niż dla tablicy Mendelejewa
- Skąd te masy?  
Nie wiemy – mechanizm Higgsa?



Life, <sup>much</sup> of the Universe, <sup>but</sup> not everything

## Stable (ordinary) matter

- up-quark (charge  $+2/3$ )
- down-quark (charge  $-1/3$ )
- electron (charge  $-1$ )
- neutrino (no charge and  $\approx$  zero mass)



proton



neutron

what is the neutrino needed for ??

# The Ghostly Neutrino

- goes through almost everything
- "impossible" to stop/detect
- the "smallest" of the particles

- the first fossil in the Universe
- Messenger from the earliest processes in the Universe
- determines the Expansion Rate of the Universe: Abundance of the first (light) Elements

- essential in cooking the Heavy Elements needed for Life
- Neutrino astronomy looks "inside" the Sun and Supernovae

*skamieniałość*

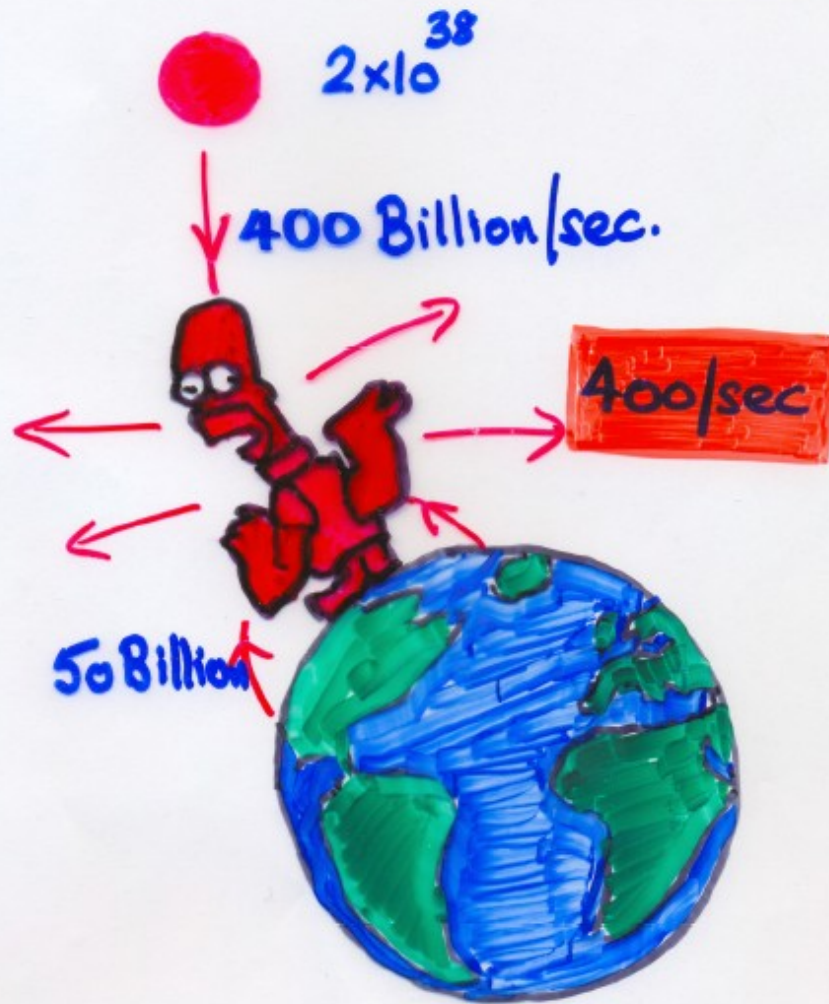
# SOME NEUTRINO STATISTICS

each second



# SOME NEUTRINO STATISTICS

each second:



1 hr. x this audience  $\Rightarrow$  100 million neutrinos





8 minutes

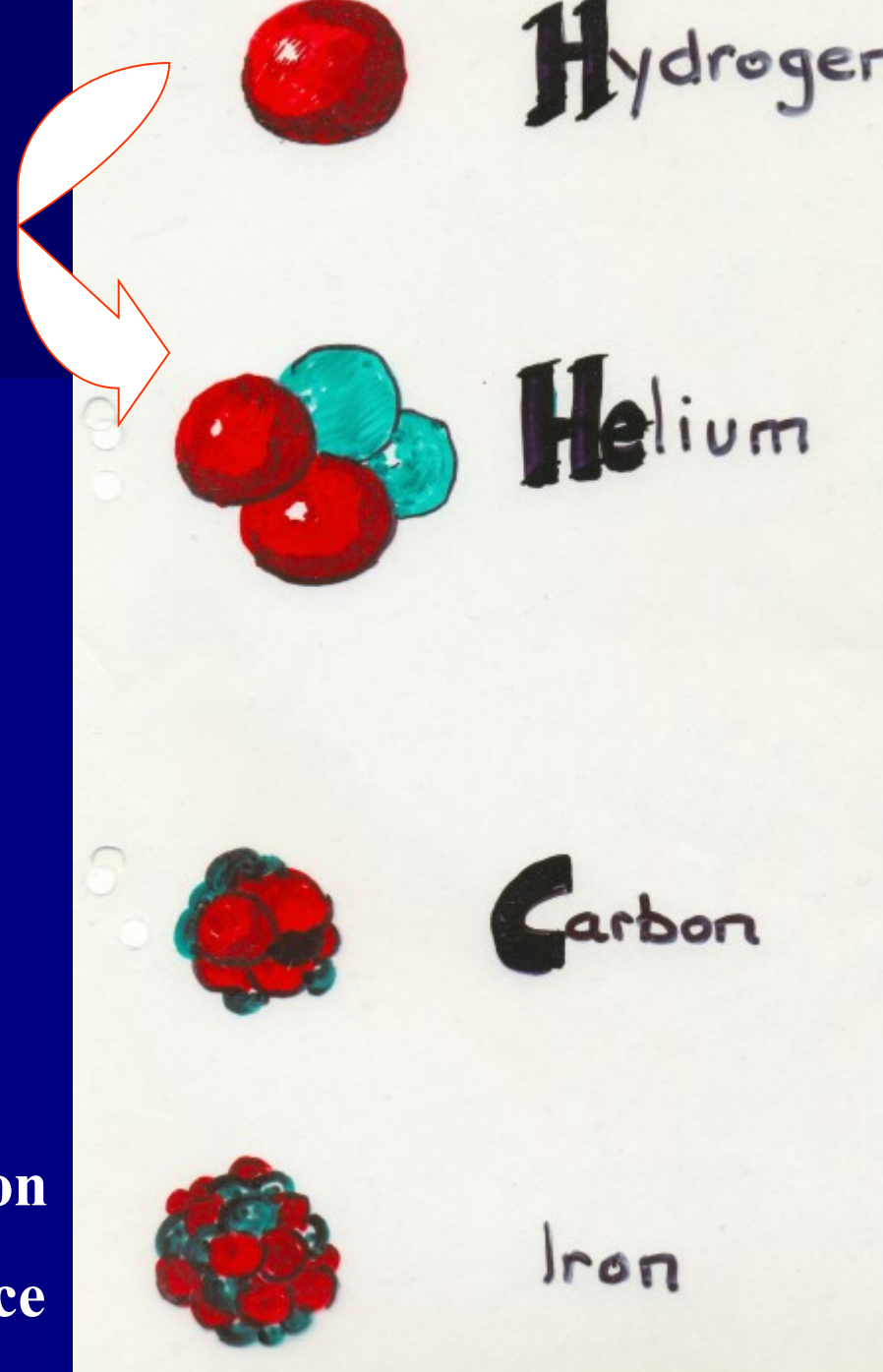
Light  
8 minutes

100 thousand yr.

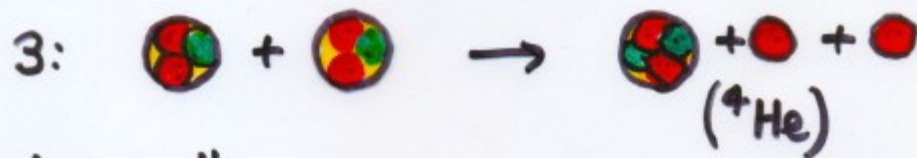
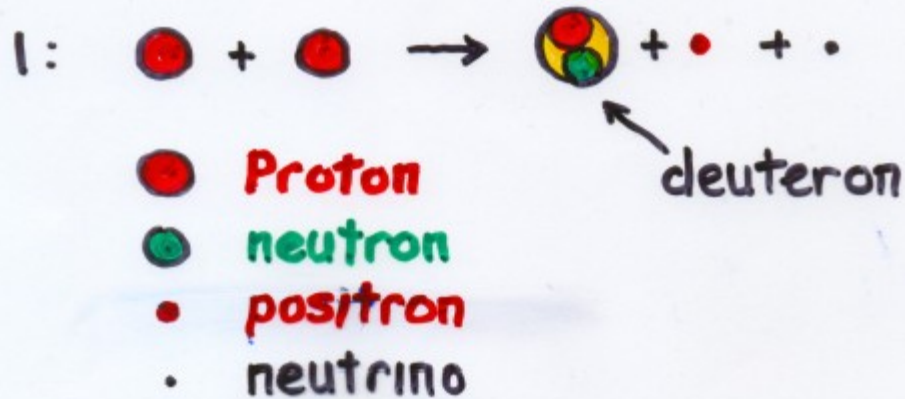
Stars cook the elements

Heavy elements cooked  
in stars and ejected into  
cosmos in supernova explosion

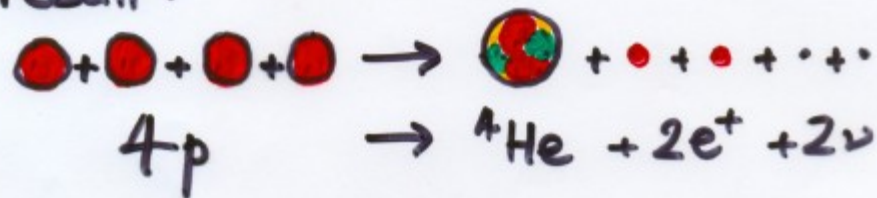
Many protons; electrical disruption  
Stabilised by **STRONG** force



# At the heart of the Sun:

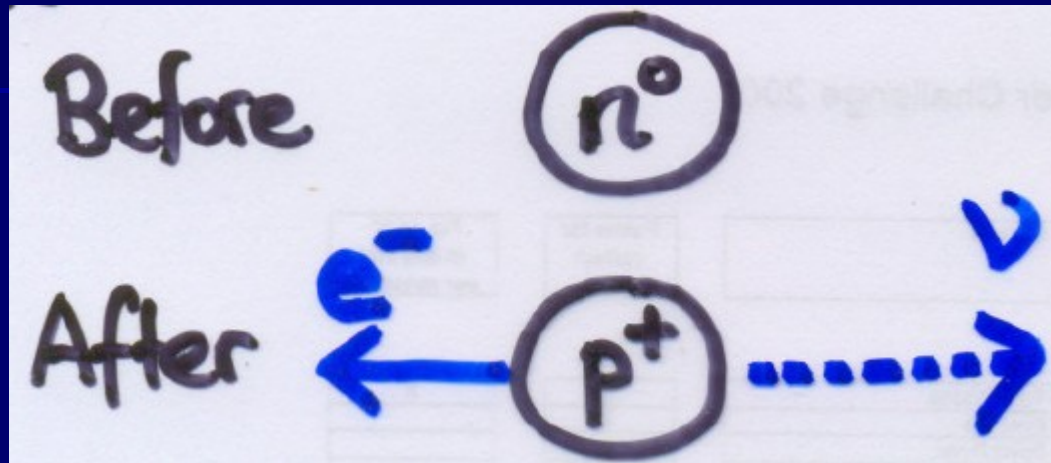


Net result:



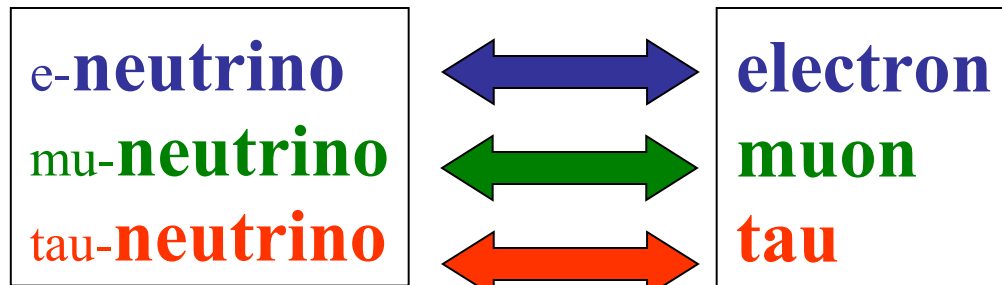


# Rozpad neutronu



Skąd wiemy, że neutrino powstało?

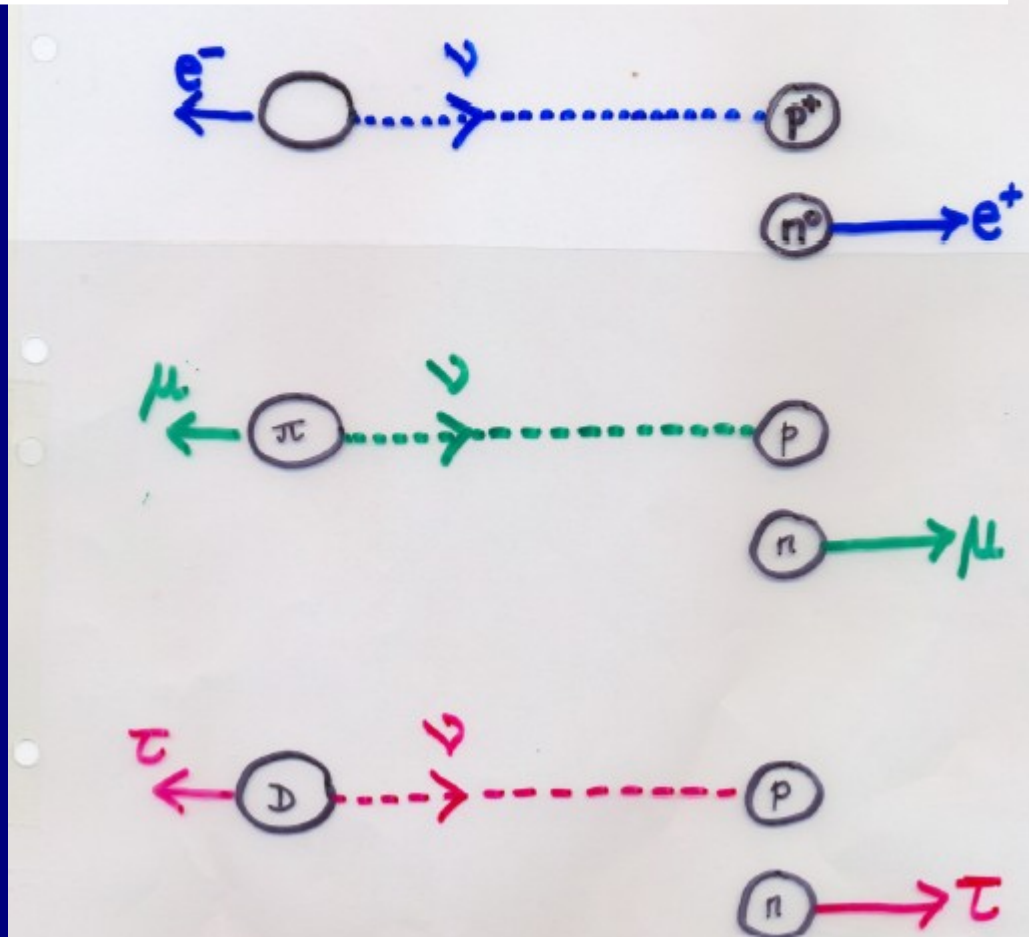
Neutrino (dokładnie antyneutrino) uderza nukleony po drodze i przekształca się w naładowany lepton, który jest rejestrowany



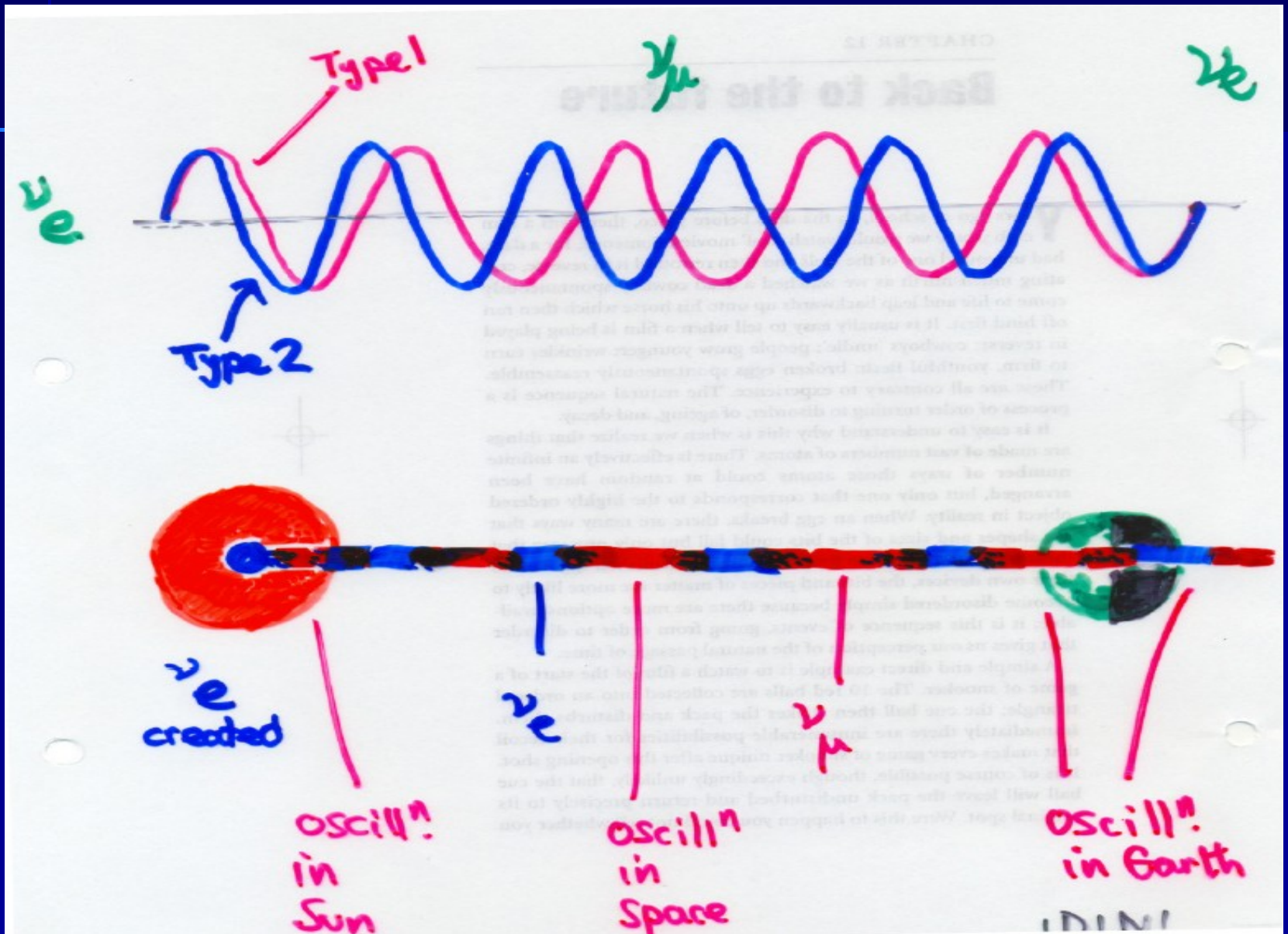
Neutrino i ich  
naładowani partnerzy są  
zawsze połączeni

jeśli

neutrino są bezmasowe



# Ale jeśli neutrina masywne , to mogą oscylować



BUT! If  $\nu$  have mass

$\nu_e \leftrightarrow \nu_\mu$  can oscillate back + forth

$$\text{"wavelength"} L \sim \frac{\text{Energy of } \nu}{m_1^2 - m_2^2} \equiv \frac{E}{\Delta m^2}$$

Probability  $a \rightarrow b$

$$\sim \sin^2 \left( 1.27 \frac{\Delta m^2 (\text{eV})^2 L (\text{km})}{E (\text{GeV})} \right)$$

Probability  $a \rightarrow a = 1 - \epsilon \sin^2(\dots)$

$a$  disappears       $b$  appears

$$\Delta m^2 \lesssim 10^{-N}$$

$\therefore$  Need large  $L$  at high  $E$

e.g. CERN to Gran Sasso Italy

# Oscylacje neutrin

- Wiązki neutrin powstałych w reakcjach jądrowych w różnych laboratoriach (CERN, Fermilab, KEK)
- Pomiar intensywności w pobliżu laboratorium i setki km dalej
- Ewidencja znikania neutrin pewnego typu z wiązki

*Więcej na następnych wykładach*



