

# Egzotyczne rozpady jądrowe beta i ich wpływ na ewolucję Wszechświata

Fizyka jądrowa - dziś i jutro

Janusz Gluza

Bielsko-Biała, 12 kwietnia 2019



**Instytut Fizyki**  
im. Augusta Chełkowskiego



# Dawid i Goliat, Bernini



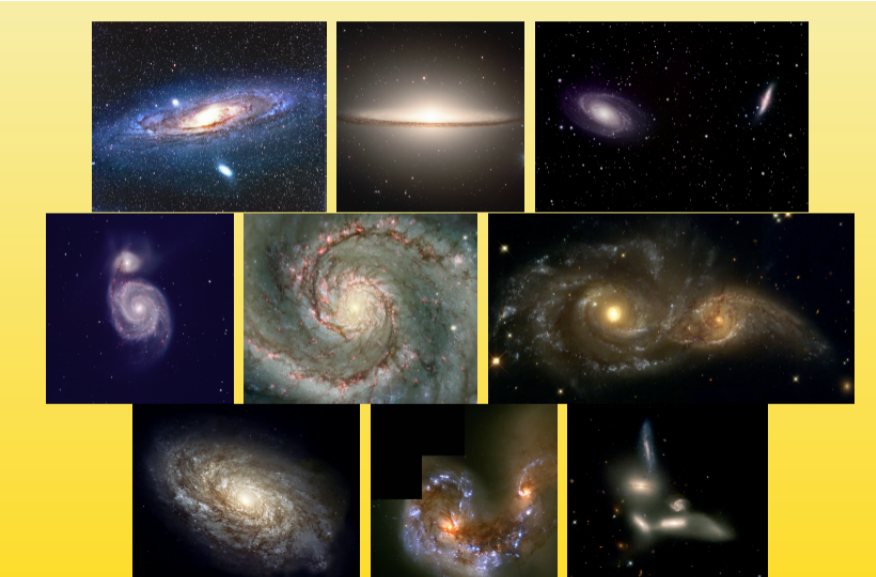
# Dawid i Goliat, Bernini



## Dawid i Goliat, Caravaggio

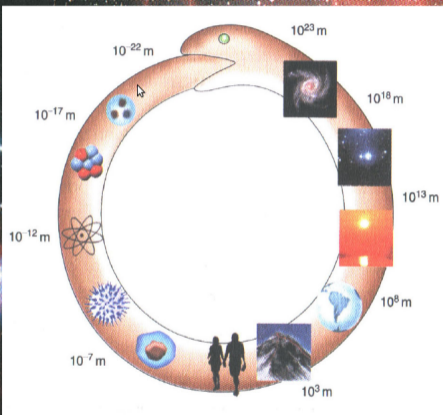


# Mikro-Makro



# NASA Hubble Telescope: The Pillars of Creation





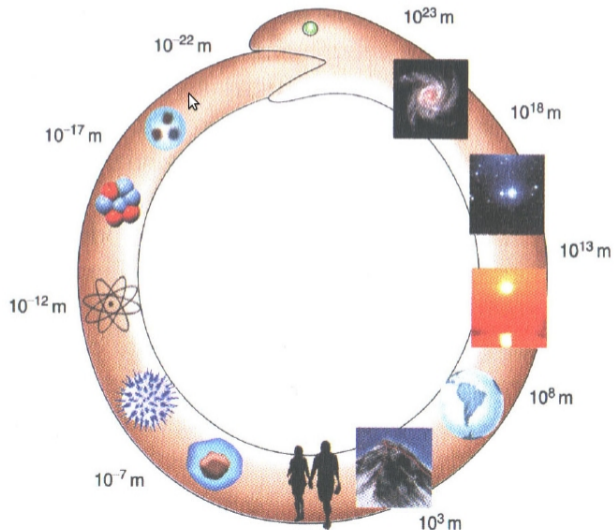
## Ouroboros -

ilustruje ścisły związek między „przestrzenią wewnętrzną” – mikroświatem a „przestrzenią zewnętrzną” - wszechświatem

W starożytnej Grecji i Egipcie symboliczny wąż połykający własny ogon, stale sam się pożera i odradza....reprezentuje jedność całego bytu, materialnego i duchowego, który nigdy nie znika, lecz stale zmienia się w odwiecznym cyklu zniszczenia i powtórnych narodzin.



# Mikro-Makro, czy jest związek?



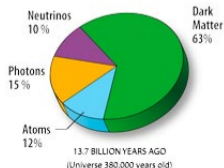
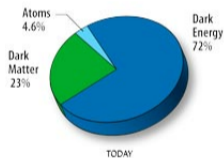
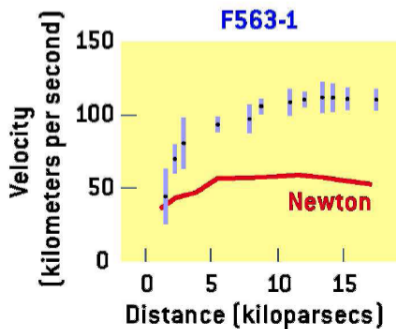


- ① *Ewolucja kosmosu zależy od gęstości, rodzaju materii*
- ② *Mierzalne masy dają dużo mniej niż 100% masy potrzebnej, aby ewolucja kosmosu była odpowiednia*
- ③ *Ciemna materia*

## Ciemna materia, ciemna energia, ...

Na każdy gram zwykłej materii przypadają cztery inne gramy "ciemnej" materii, Zwicky, 1933

Obserwacje: m.in. krzywe rotacji galaktyk, gorący gaz w klasterach, soczewkowanie grawitacyjne, promieniowanie reliktywne (CMB)



## Materia-antymateria (bariony)

- ❶ *Skąd się bierze asymetria materia-antymateria?*

$$\eta = \frac{n_B - n_{\bar{B}}}{n_\gamma} \simeq \frac{n_B}{n_\gamma} \simeq 10^{-10}$$

$n/p \simeq \text{const}$  (po zamrożeniu oddziaływań słabych)

- ❷ *Model Standardowy cząstek elementarnych nie tłumaczy tego faktu: łamanie symetrii CP (C-charge, P-parity) zbyt małe.*
- ❸ *Możliwy związek z fizyką jądrową: egzotyczne słabe rozpady beta oraz neutrina Majorany.*

# Plan

- 1 Rozpady jądrowe  $\alpha, \beta, \gamma$ 
  - Historia: Maria Skłodowska-Curie, Maria Geppert-Mayer, ...
  - Rozpady jądrowe: teoria
  - Liczby leptonowe i barionowa
  - Przykłady rozpadów nie zachowujących liczby leptonowej
- 2 Dynamika ewolucji Wszechświata
  - Pierwsze trzy minuty
  - Materia-antymateria
  - W poszukiwaniu nowej fizyki i egzotycznych procesów subatomowych/subjądrowych

## Alfa, beta, gamma

Jak odkrywano i badano promieniotwórczość naturalną

Tomasz Goworek

## Postępy Fizyki, TOM 68, ZESZYT 2 (2017)

**Streszczenie.** Artykuł przedstawia zarys historii badań nad promieniotwórczością naturalną, od pierwszych obserwacji Niepce de Saint Victora w r. 1851 do odkrycia jądra atomowego przez Rutherforda w r. 1911.

Pod koniec XIX wieku fizyka wydawała się nauką skończoną, kompletną. Według Alberta Michelsona „wszystkie najważniejsze fundamentalne prawa i fakty w fizyce zostały już odkryte, [...] przyszłych nowych prawd trzeba będzie szukać na szóstym miejscu po przecinku”. Jeśli chodzi o „fakty” czyli dane doświadczalne, to możliwości eksperymentu w dużym stopniu zależą od poziomu techniki i nawet drobne wynalazki i udoskonalenia techniczne, mogą otworzyć nowe pole badań.

Opanowanie techniki wtapiania metalowych elementów w szkło, wytwarzanie dość dobrej próżni<sup>1</sup>, uzyskiwanie wysokich napięć za pomocą cewki Ruhmkorffa, pozwoliły ok. roku 1860 na zajęcie się zjawiskiem wyładowań elektrycznych w gazie pod zmniejszonym ciśnieniem. Rurka szklana (tzw. rurka Plücker’a) o dwóch wtopionych na jej końcach elektrodach wypełniana była gazem, do elektrod przykladało się wysokie napięcie. Przy zmniejszonym ciśnieniu gazu zachodziło wyładowanie jarzeniowe. Gdy ciśnienie jest rzędu  $10^{-3}$  mm Hg nie widać świecenia gazu w rurze, natomiast fluoreskuje szkło naprzeciw katody. Niewidzialne „promienie katodowe” biegną w stronę anody i uderzając w szkło wzbudzają zielonkawą poświatę. Stwierdzono, że promienie te są cząstkami

materialnymi, biegną po liniach prostych, niosą ładunek ujemny i wiązki ich może być odchylana polem magnetycznym. Joseph J. Thomson w roku 1895 wyznaczył dla nich stosunek ładunku elektrycznego do masy  $q/m$ . Jeżeli założyć, że ładunek jest identyczny jak ładunek elementarny występujący w zjawiskach elektrolizy roztworów, to masa cząstek tworzących promienie katodowe jest ok. 1800 razy mniejsza od masy najmniejszego atomu – wodoru. Cząstki te Thomson nazwał elektronami. Elektrony mogą wywoływać świecenie szkła, ale dużo łatwiej obserwować je dzięki wywoływanej przez nie fluorescencji związków takich jak siarczki wapnia, kadmu, cynku, albo dający się łatwo rozprzecznić na dużej powierzchni platynocjanek baru.

Przeprowadzając eksperymenty z promieniami katodowymi Wilhelm Röntgen zauważył, że ekran pokryty substancją fluorescującą świeci również wtedy, gdy umieścić go w pobliżu rury, na zewnątrz. A więc w tym przypadku fluorescencję wzbudzają nie nalaowane cząstki promieni katodowych, a jakieś niewidzialne promieniowanie, które przenika przez szkła. Nazwał je „promieniami X”. Okazało się, że ich zdolność przenikania przez materiały silnie zależy od tego, jaki jest skład chemiczny materiału – przechodzą łatwo przez ośrodki zbudowane z pierwiastków lekkich (z początku układu okresowego), pochłaniane są przez pierwiastki ciężkie.

Promienie X wywołują też procesy fotochemiczne, zaczerniają (po wywołaniu) klisze fotograficzne. Röntgen umieścił między źródłem promieni X a kliszą fotograficzną np. pudełko drewniane z moneta wewnątrz. Drewno nie stanowiło większej przeszkody dla

1. Powinno się mówić nie o próżni, a gazie pod bardzo niskim ciśnieniem. W końcu XIX wieku były do dyspozycji pompy próżniowe (Töplera, rotacyjne) pozwalająca na osiągnięcie ciśnień gazu rzędu  $10^{-3}$  mm Hg. Niższe ciśnienia można było uzyskać umieszczając w odpompowanej objętości pochłaniacz (getter) w postaci węgla aktywnego. Ta technika była stosowana w wielu pracach opisanych poniżej.

# Zachęcam do wstąpienia do PTF, np. sesje nauczycielskie, zjazd 2019

www.ptf.us.edu.pl/wordpress/

## PTF oddział Katowicki

Strona Główna Aktualności Seminarya Celemkostwo O Towarzystwie Zarząd Kontakt Linki

### Strona Główna



Szanowni Państwo,

Już w 1920 roku Władysław Natanson na zjeździe założycielskim Towarzystwa Fizycznego jako jedno z jego najważniejszych zadań wymienił „gorliwie i wiernie służyć Narodowi naszemu... przyczynić się do postępu...spełniać nasz obowiązek względem przyszłych pokoleń!”

**Najbliższe konferencje:**

28.03.2019, dr hab. Karolina Adrijana-wicz „Kryształizacja i wtrzyfikacja – o dwóch stronach tego samego medalu”

21.02.2019, dr hab. Arkadiusz Drobek „Siła atomu – czyli energetyka jądrowa w pigułce”

**WYKŁAD: W roku akademickim 2018/2019 seminarium odbywać się będą w czwartki o godz. 16.00, sala Rady Wydziału Mat Fiz Chem, Bankowa 12, Katowice**

Osoby zainteresowane publikacją referatów artykułach naukowych lub spójniących interesujące wydarzenia związane z fizyką w naszym regionie proszone są o kontakt, ptf@us.edu.pl


**Inne nadchodzące wydarzenia:**

Wykład o Marianie Smoluchowskim:




www.fizyka.us.edu.pl

KLASZCZE KINETYCY PROGRAM MŁDZI SIEŁA MOWIŁKI SPRAWY KULISTAJA KONTAKT



**45. ZJAZD FIZYKÓW POLSKICH KRAKÓW 13-18 IX 2019**



<http://ptf.us.edu.pl>

## Logika (chronologia) odkryć, początki, 4 lata (!)

- 1 Promieniowanie katodowe (1895, elektron, Joseph J. Thomson)
- 2 Promieniowanie X (1895, Röntgen, **promieniowanie hamowania**)
- 3 Spontaniczne promieniowanie (1896, H. Becquerel)
- 4 Maria S-C (1898, rad  $\rightarrow$  **uran**, tor, **polon**) - pojęcie "radioactivité"  
"Maria nie prowadziła poszukiwań źródeł promieniowania w sposób przypadkowy, jak poprzednicy: żaden pieprz, cynamon, piżmo czy świetliki; postawiła pytanie jakie pierwiastki lub związki chemiczne są odpowiedzialne za ten typ promieniowania."
- 5 E. Rutherford (1899, uran, tor:  $\alpha$  - słabo przenikające,  $\beta$  - bardziej przenikliwe)  
Promieniowanie  $\beta$  jest tym samym co katodowe! **Pomiar  $q/m$ .**

Röntgen:

- Jak się ludzie o tym dowiedzą, powiedzą że Röntgen pewnie zwariował.

Reakcja pani Berthy Röntgen była trochę inna:

- Zobaczyłam własną śmierć...



Rys. 1. Zdjęcie ręki pani Berthy Röntgen prześwietlonej promieniami X



POLON:

P. Curie, M<sup>me</sup> S. Curie, CR Acad. Sci. 127 (1898) 175  
Comptes Rendus Acad. Sci., od 1966

oraz czasopismo fotograficzne "Światło"

MS-C: 8 t rudy uranowej  $\rightarrow$  0.1 g radu,  $Z=225 \pm 1$

Bunsen: 44 t wody mineralnej  $\rightarrow$  6 g rubidu i cezu.



MIESIĘCZNIK POŚWIĘCONY FOTOGRAFII \*  
№ 2. \* I WIADOMOŚCIOM Z NIĄ ZWIĄZANYM. № 2.

Warszawa w Listopadzie 1898 r.

### Poszukiwania nowego metalu w pechblendzie

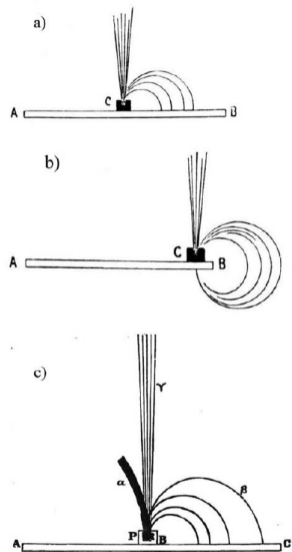
przez panią Maryę Skłodowską—Curie.

(nadesłane do Redakcyi, d. 18 Października 1898 roku.)

Wspólnie z p. Piotrem Curie wykazałam w niedawno ogłoszonej pracy, że pechblenda zawiera prawdopodobnie nowy, nieznaný dotychczas metal, który nazwaliśmy Polonem.

Punktem wyjścia tych poszukiwań była dawniejsza moja praca nad promieniami uranowymi, które odkrył p. Becquerel. Uczony ten przekonał się w roku 1896, że uran i jego połączenia wytwarzają obrazy fotograficzne na kliszach, zamkniętych całkowicie w czarnym papierze, zupełnie nieprzezroczystym dla światła. P. Becquerel przypuszczał początkowo, że sole uranowe fosforyzują po poddaniu ich działaniu światła i że promienie tej fosforescencji, chociaż nie działają na siatkówkę oka (są niewidzialne), mają jednak własność przenikania przez ciała nieprzezroczyste i wytwarzania obrazów na kliszach.

"Rysunek ten dziś stanowi coś w rodzaju godła nauki o promietwórczości"



Rys. 6. Doświadczenia Becquerela z cząstkami  $\beta$  w polu magnetycznym. a) klisza emulsją do góry, b) klisza emulsją do dołu (rysunki z referatu Skłodowskiej-Curie przedstawionego w Krakowie w r. 1900 [29]); c) rysunek z jej rozprawy doktorskiej z r. 1903 [30]

# Znane, nieznanne



# Znane, nieznanne

Emma Noether

"najważniejsza kobieta w historii matematyki"



French physicists Marie Curie ..

Cecilia Payne Gaposhkin




Maria Geppert-Mayer



# Komentarz (1)

https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/h2020-section/marie-skłodowska-curie-actions

Commission and its priorities Policies, information and services Log in

 Search

European Commission > Funding, Tenders > Funding opportunities > Funding programmes > Horizon 2020 >

## Horizon 2020



What is Horizon 2020?

Find Your area

How to Get funding?

News, Events & Publications

Projects

The next Framework Programme

Sections navigation

Excellent Science

Marie Skłodowska-Curie actions



What is Horizon 2020?

Find

## Marie Skłodowska-Curie actions

Article

Newsroom

Would you like to learn more about the revamped Marie Skłodowska-Curie actions? Searching for bottom-up research funding? Are you a research institution/company looking for partnership?



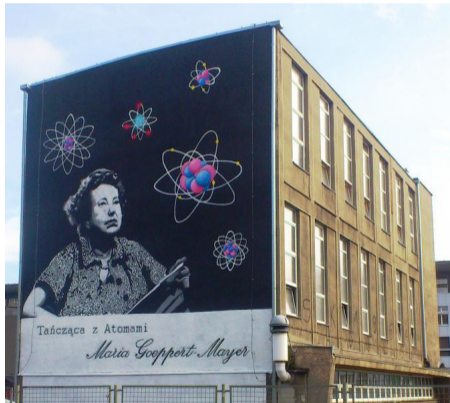
Related Horizon 2020 calls

Related Horizon 2020 projects

# Komentarz (II)



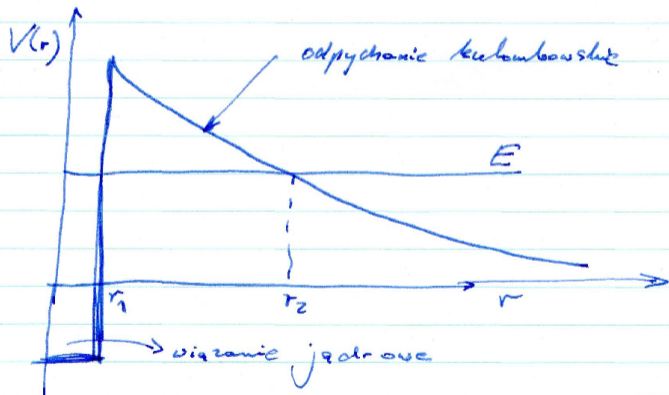
# Komentarz (II)



# Teoria rozpadu $\alpha$ Gamowa: ${}^4_2\text{He}$ - efekt kwantowy (tunelowanie)

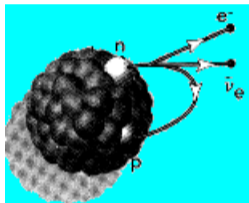
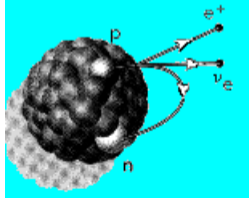




Teoria rozpadu  $\alpha$  Gamowa:  ${}^4_2\text{He}$  - efekt kwantowy (tunelowanie)Teoria Gamowa rozpadu  $\alpha$  (1928)

# Rozpady słabe

Słabe: jeśli neutrino uczestniczy w zdarzeniu - to na pewno oddziaływanie słabe

 $\beta^-$  $\beta^+$ 

## Dlaczego słabe?

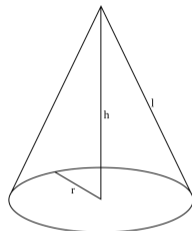
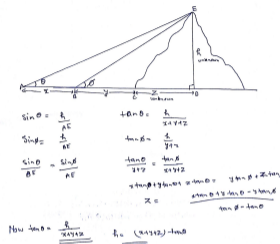
- Słońce emituje  $2 \cdot 10^{38}$  neutrin na sekundę!
- Na Ziemi w ciągu sekundy przez  $1 \text{ cm}^2$  przechodzi ok. 40 miliardów neutrin
- Detektor zawierający 1000 ton ciężkiej wody obserwuje 30 przypadków dziennie
- Aby schwytać pojedyncze neutrino ze 100% pewnością potrzeba by płyty ołowianej o grubości ok 5 lat świetlnych
- Zakładając masę człowieka 80 kg i gęstość  $\rho = 1 \text{ kg/dm}^3$  w ciągu życia człowiek "zarejestruje" jedno neutrino
- Ponieważ przekroje czynne b. małe ( $10^{-48} \text{ m}^2$ ): duże detektory
- Promieniowanie naturalne w Ziemi (niezbyt znane): 20.000 GW (około 20.000 reaktorów jądrowych!) co przekłada się na około 6 milionów neutrin na sekundę na  $\text{cm}^2$ .

Oddziaływania słabe przenoszą góry, przesuwiają kontynenty? Możliwe?

# Ile pracy trzeba wykonać aby podnieść Mount Everest?



## Słabe? 20 000 GW



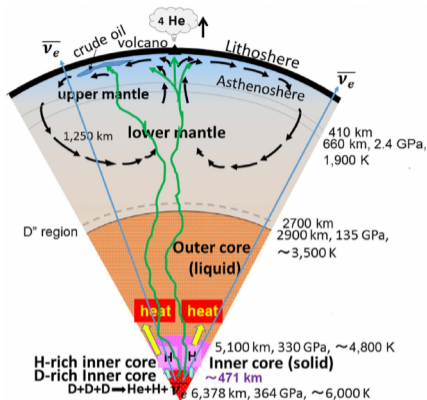
$$H = 8848 \text{ m}, R = 16093 \text{ m} \rightarrow V = 2398.5 \text{ km}^3,$$

$$\rho \sim 2600(\text{wapień}) \div 2900(\text{dolomit}) \text{ kg/m}^3$$

$$Q = mg = \rho V g = 10^{11} \text{ N}, 20000 \text{ GW} = 2 \cdot 10^{13} \text{ W}$$

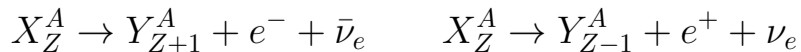
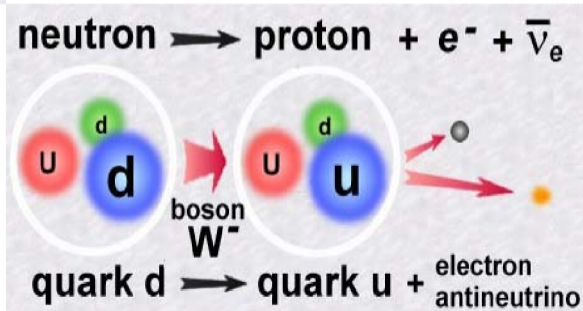
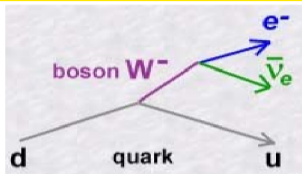
OK, moc odpowiednia do topienia skał i ruchów tektonicznych

$${}^2D + {}^2D \rightarrow 2{}^1H + {}^4He + e^- + \bar{\nu}_e + 21.63 \text{ MeV}$$

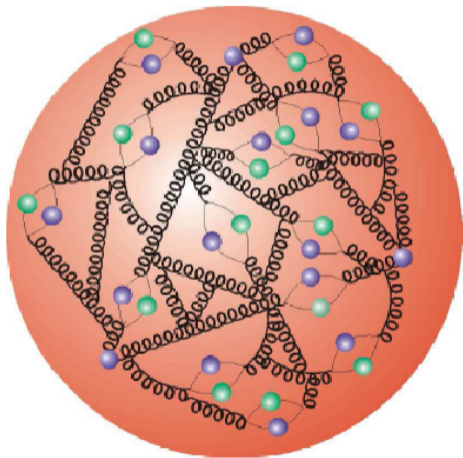


**Figure 2.** Earth's cross-section showing the crust, upper- and lower-mantle, and outer- and inner-cores. The inner core comprises an H-rich core and a D-rich core. A substantial amount of heat is generated by nuclear dynamic fusion of deuterons squeezed in highly compressed hexagonal close-packed (hcp) Fe-rich crystal lattice near the inner core centre. The H and He atoms and the anti-neutrino  $\bar{\nu}_e$  that are produced are incorporated as Fe-H based alloys in the H-rich inner core, are released from Earth's interior to the universe, and pass through Earth, respectively.

"Possible generation of heat from nuclear fusion in Earth's inner core"  
<https://www.nature.com/articles/srep37740>

Teoria rozpadów  $\beta$ , właściwie teoria oddziaływań, 3 poziomy

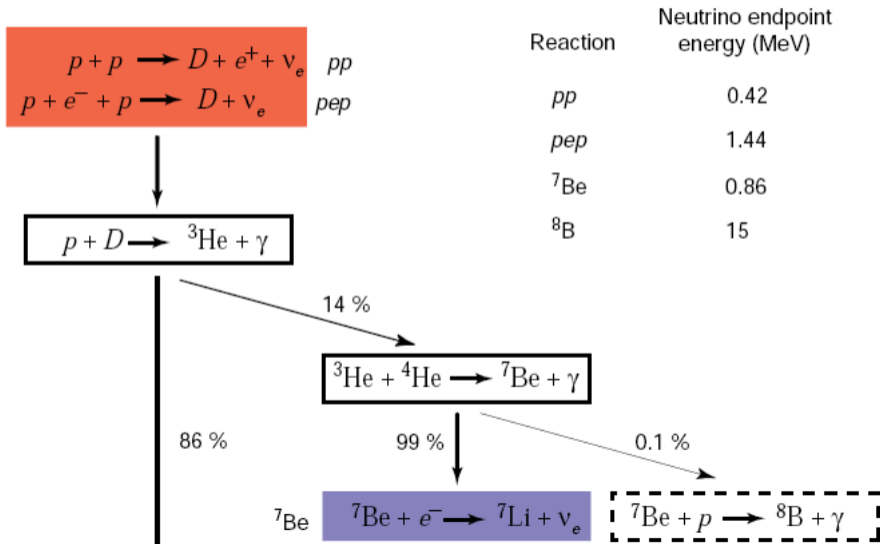
# Proton (neutron) - skomplikowany kondensat w próżni



Cząstki wirtualne, konsekwencje kosmologiczne:  $m_p < m_n$ .



# Energia słoneczna - historia

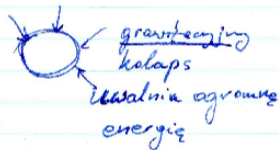


# Energia słoneczna - historia

Słońce : tune lowy efekt.

krótką historię :

1854 Helmholtz (Mayer) :



1859 (150 lat temu) Darwin : wiel. Ziemi wg erozji  
kanionu w Anglii ~ 300 mln lat

energii  $\rightarrow$  skąd ? tyle czasu Słońce  $\leftarrow$  wystarczy

Lord Kelvin : energia grawitacyjna  $\rightarrow$   
30 mln lat

dzisiaj  $\rightarrow$  Darwin miał rację,  
co więcej teraz (radioaktywność meteoroidów)

## Energia słoneczna - historia

1920 Aston

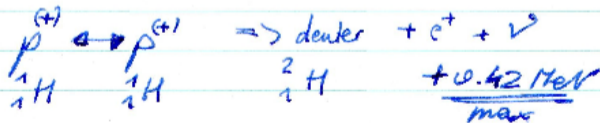
$$4m_p > m_{He}$$

Eddington

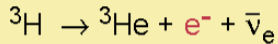
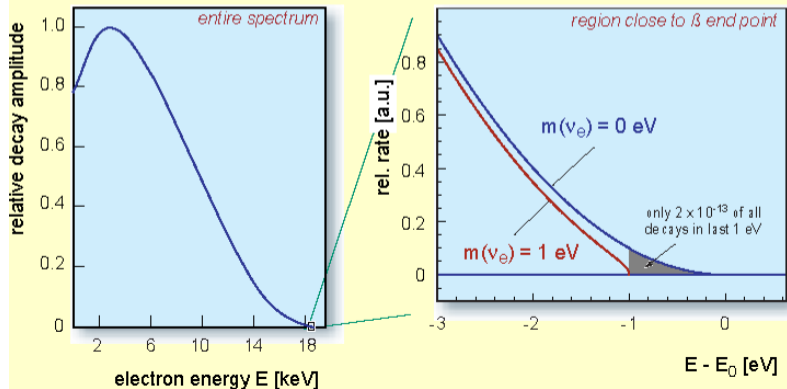
$$E = mc^2$$

teraz znamy cykle itp.

pp

Bethe

## Rozpad trytu

*tritium  $\beta$ -decay and the neutrino rest mass**superaligned*half life :  $t_{1/2} = 12.32 \text{ a}$  $\beta$  end point energy :  $E_0 = 18.57 \text{ keV}$ 

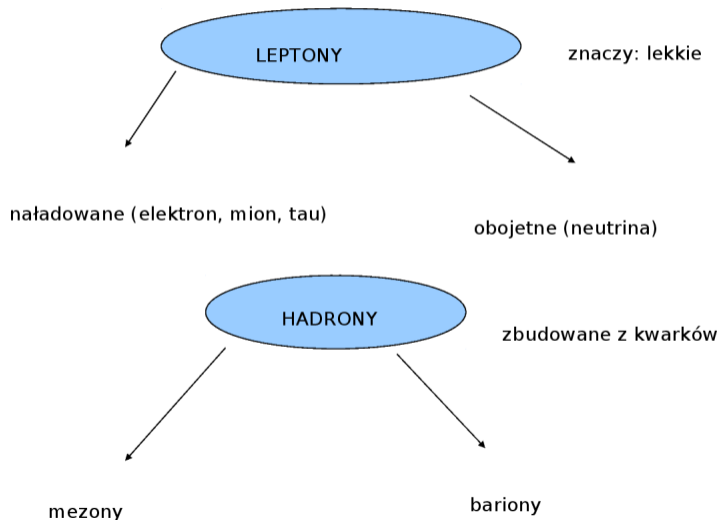
# Rozpad trytu



## Rozpad trytu



# Prawa zachowania i liczby leptonowe i barionowa: leptony i bariony



plus Higgs  $\sim 125$  GeV

**Three Generations of Matter (Fermions)**

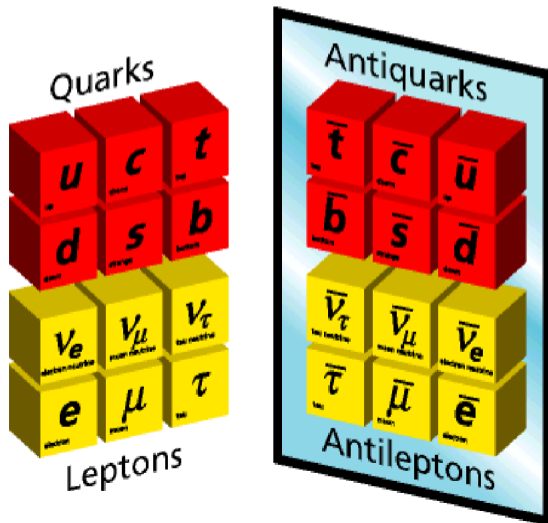
	I	II	III	
mass $\rightarrow$	2.4 MeV	1.27 GeV	171.2 GeV	0
charge $\rightarrow$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin $\rightarrow$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
name $\rightarrow$	<b>u</b> up	<b>c</b> charm	<b>t</b> top	<b><math>\gamma</math></b> photon
	4.8 MeV	104 MeV	4.2 GeV	0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
<b>Quarks</b>	<b>d</b> down	<b>s</b> strange	<b>b</b> bottom	<b>g</b> gluon
	$< 2.2$ eV	$< 0.17$ MeV	$< 15.5$ MeV	91.2 GeV
	0	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	<b><math>\nu_e</math></b> electron neutrino	<b><math>\nu_\mu</math></b> muon neutrino	<b><math>\nu_\tau</math></b> tau neutrino	<b>Z</b> weak force
	0.511 MeV	105.7 MeV	1.777 GeV	80.4 GeV
	-1	-1	-1	$\pm 1$
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
<b>Leptons</b>	<b>e</b> electron	<b><math>\mu</math></b> muon	<b><math>\tau</math></b> tau	<b>W<sup><math>\pm</math></sup></b> weak force

**Bosons (Forces)**



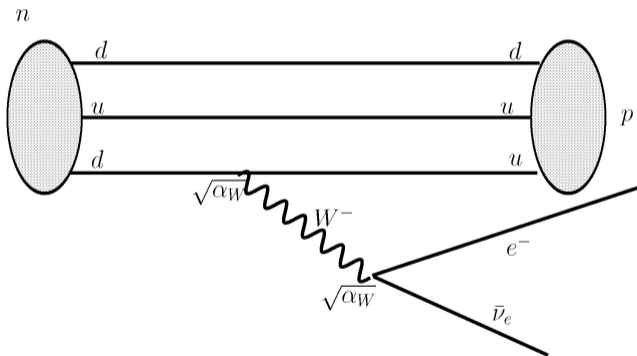
# Antymateria: Liczby leptonowe/barionowe przeciwne

No i nie zapomnijmy o antymaterii



Liczba leptonowa:  $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$ , lewa=0, prawa=0

$$L(n) = 0, L(p) = L(e) = +1, L(\nu_e) = -1$$



$$0 = 0 + 1 - 1 = 0$$

## Podsumowanie

Każda cząstka ma "swoją" liczbę kwantową  $L_j$

$$L_e=1$$

(dla antycząstek -1)

$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ e^- \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \mu^- \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \nu_\tau \\ \tau^- \end{pmatrix}$$

Zarówno górne jak i dolne:  
 $L_\tau=1$

$$I_3=+1/2$$

$$\begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} c \\ s \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} t \\ b \end{pmatrix}$$

górne:

$$L_c(c)=+1, L_c(t)=0$$

$$L_t(c)=0, L_t(t)=+1$$

$$I_3=-1/2$$

$$\sum_i L_j^i = \text{const}, \quad j = e, \mu, \tau$$

zabronione:

dolne:

$$L_s(s)=-1, L_s(b)=0$$

$$L_b(s)=0, L_b(b)=-1$$

1

$$\mu^- \rightarrow e^- + \gamma$$

$$\mu^- \rightarrow e^- + e^+ + e^- + \gamma$$

$$\mu^+ \rightarrow e^+ + \bar{\nu}_e + \nu_\mu$$

Dla antycząstek  
zmiana znaków liczb

# Podsumowanie

	$e^-$ elektron	$\nu_e$ neutrino elektronowe	$\mu^-$ mion	$\nu_\mu$ neutrino mionowe	$\tau^-$ taon	$\nu_\tau$ neutrino taonowe
ładunek [e]	-1	0	-1	0	-1	0
liczba barionowa	0	0	0	0	0	0
elektronowa liczba leptonowa	1	1	0	0	0	0
mionowa liczba leptonowa	0	0	1	1	0	0
taonowa liczba leptonowa	0	0	0	0	1	1
spin [ $\hbar$ ]	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2
masa [MeV/c <sup>2</sup> ]	0,511	0,000015	106	0,17	1777	18

	d dolny	u górnny	s dziwny	c powabny	b piękny	t prawdziwy
ładunek [e]	-1/3	+2/3	-1/3	+2/3	-1/3	+2/3
liczba barionowa	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3
liczba leptonowa	0	0	0	0	0	0
spin [ $\hbar$ ]	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2
izospin I	1/2	1/2	0	0	0	0
składowa I <sub>3</sub>	-1/2	+1/2	0	0	0	0

## Łamanie liczb leptonowych, barionowej

Niezachowanie liczby  
leptonowej

$$\tau(^{76}\text{Ge} \rightarrow ^{76}\text{Se} + 0\nu + e^- + e^-) > 10^{26} \text{ lat}$$

$$\tau(p \rightarrow e^+ \pi^0) > 10^{33} \text{ lat}$$

Niezachowanie liczby  
barionowej

$\pi^0$  to mezon czyli stan kwark-antykwarok  $B(\pi^0) = 0$ .

$$(\beta\beta)_{0\nu}$$

**Table 1** A summary of the most sensitive  $0\nu\beta\beta$  decay search experiments. The target isotopes and the current half-life limits are shown

Experiment	Target isotope	Exposure (kg·y)	$T_{1/2}$ limit (y)
KamLAND-Zen [20]	$^{136}\text{Xe}$	504	$1.07 \times 10^{26}$
GERDA [21]	$^{76}\text{Ge}$	34.4	$5.3 \times 10^{25}$
MAJORANA [23]	$^{76}\text{Ge}$	26.0	$2.7 \times 10^{25}$
EXO-200 [24]	$^{136}\text{Xe}$	178	$1.8 \times 10^{25}$
CUORE [25]	$^{130}\text{Te}$	9.8	$4.0 \times 10^{24}$
CUPID-0 [26]	$^{82}\text{Se}$	1.83	$2.4 \times 10^{24}$
NEMO-3 [27]	$^{100}\text{Mo}$	34.3	$1.1 \times 10^{24}$

# Podwójny bezneutrinowy rozpad beta: obecnie

## Neutrinoless Double-Beta Decay

### Filter this page

(Note: The process can take some time.)

### Experiments

[COBRA \(<sup>70</sup>Zn, <sup>116</sup>Cd, <sup>128</sup>Te, <sup>130</sup>Te\)](#) (Home) [References](#)

[CUORE \(<sup>130</sup>Te\)](#) (Home) [References](#)

[CUORICINO \(<sup>130</sup>Te\)](#) (Home) [References](#)

[CUPID \(<sup>82</sup>Se\)](#) (Home) [References](#)

[ELEGANT \(<sup>48</sup>Ca, <sup>100</sup>Mo\)](#) [References](#)

[EXO \(<sup>136</sup>Xe\)](#) (Home) [References](#)

[GERDA \(<sup>76</sup>Ge\)](#) (Home) [References](#)

[Gotthard \(<sup>136</sup>Xe\)](#) (Home) [References](#)

[Heidelberg-Moscow \(<sup>76</sup>Ge\)](#) (Home) [References](#)

[IGEX \(<sup>76</sup>Ge\)](#) (INSPIRE) [References](#)

[KamLAND-Zen \(<sup>136</sup>Xe\)](#) (Home) [References](#)

[Majorana \(<sup>76</sup>Ge\)](#) (Home INSPIRE) [References](#)

[NEMO \(<sup>82</sup>Se, <sup>100</sup>Mo, <sup>150</sup>Nd\)](#) (Home INSPIRE) [References](#)

[NEXT \(<sup>136</sup>Xe\)](#) (Home) [References](#)

[Solotvina \(<sup>116</sup>Cd\)](#) [References](#)

[TGV \(<sup>48</sup>Ca, <sup>106</sup>Cd\)](#) [References](#)

[XMASS \(<sup>136</sup>Xe\)](#) [References](#)

# Podwójny bezneutrinowy rozpad beta: planowane

## Future Experiments

- AMoRE ( $^{100}\text{Mo}$ ) [References](#)
- CANDLES ( $^{48}\text{Ca}$ ) [References](#)
- DCBA ( $^{150}\text{Nd}$ ) [References](#)
- LUCIFER ( $^{82}\text{Se}$ ) (Home) [References](#)
- MOON ( $^{100}\text{Mo}$ ) (Home) [References](#)
- SNO+ ( $^{150}\text{Nd}$ ) (Home) [References](#)

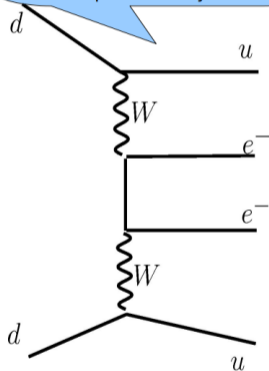
## Expired Projects

- GENIUS ( $^{76}\text{Ge}$ ) (Home, INSPIRE) [References](#)



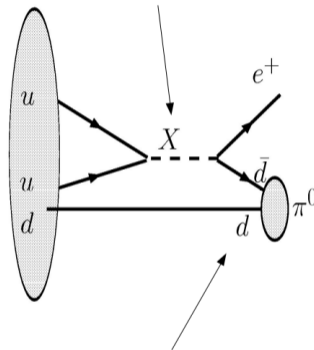
# Niestandardowe sygnały z $\Delta L = 2$ - neutrino Majorany i rozpad protonu

A to bezneutrinowy, podwójny rozpad beta, usilnie poszukiwany



Co mam na myśli?

Nowy bozon X i niestandardowe sprzężenia



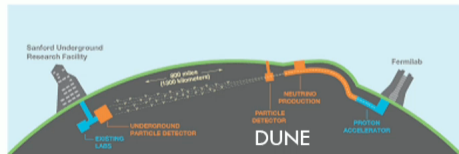
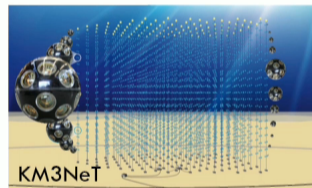
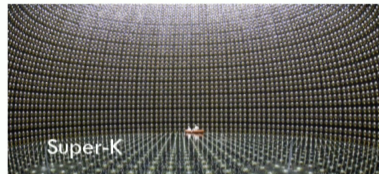
Tak może być gdy leptony z kwarkami występują w tych samych multipletach: teorie GUT

# EXPERIMENTS

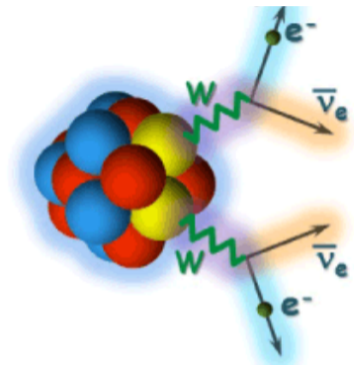
Many neutrino experiments currently exist or are under construction, just to name a few:

- Super-K & Hyper-K
- T2K, NOvA
- ANTARES/KM3NeT
- Juno
- Dune
- SNO+
- ...and many more

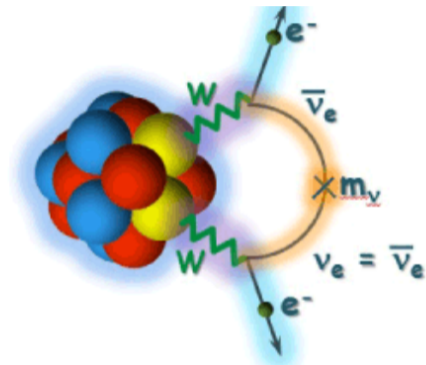
**What they all have in common is being really huge!**



# Neutrino Majorany - samosprężona cząstka

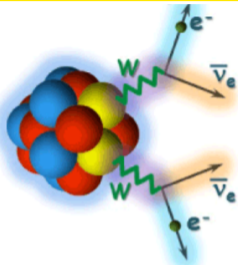


Double beta decay  
which emits anti-neutrinos

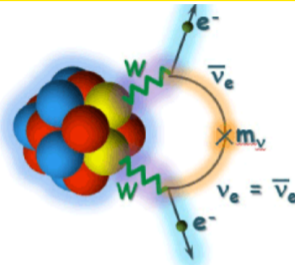


Neutrinoless  
double beta decay

# Neutrino Majorany - samosprężona cząstka



Double beta decay  
which emits anti-neutrinos



Neutrinoless  
double beta decay

PHYSICAL REVIEW D

VOLUME 45, NUMBER 5

1 MARCH 1992

## Feynman rules for Majorana-neutrino interactions

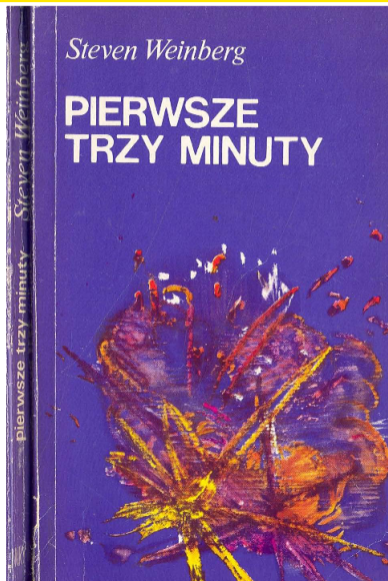
J. Gluza and M. Zrałek\*

*Department of Field Theory and Particle Physics, Institute of Physics, University of Silesia,  
40-007 Katowice, ul. Uniwersytecka 4, Poland*

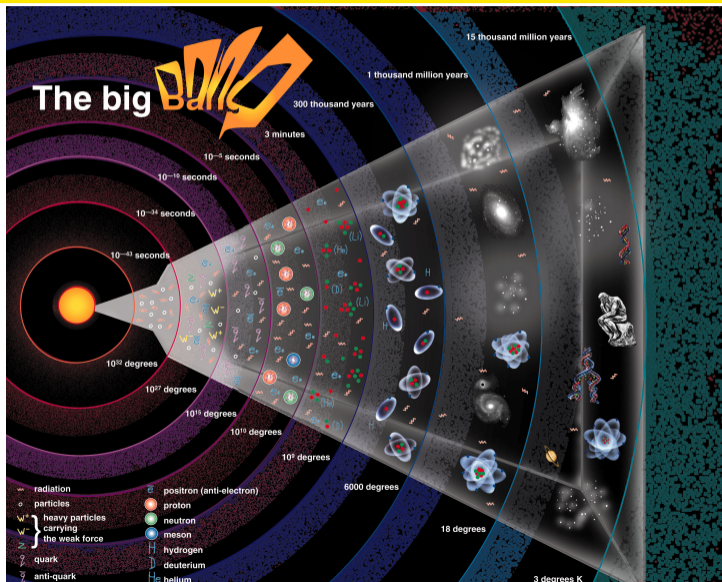
(Received 25 July 1991)

Simple Feynman rules for Majorana neutrinos and Dirac fermions interacting with spin-1 or spin-0 bosons are presented. Several examples using these rules are given.

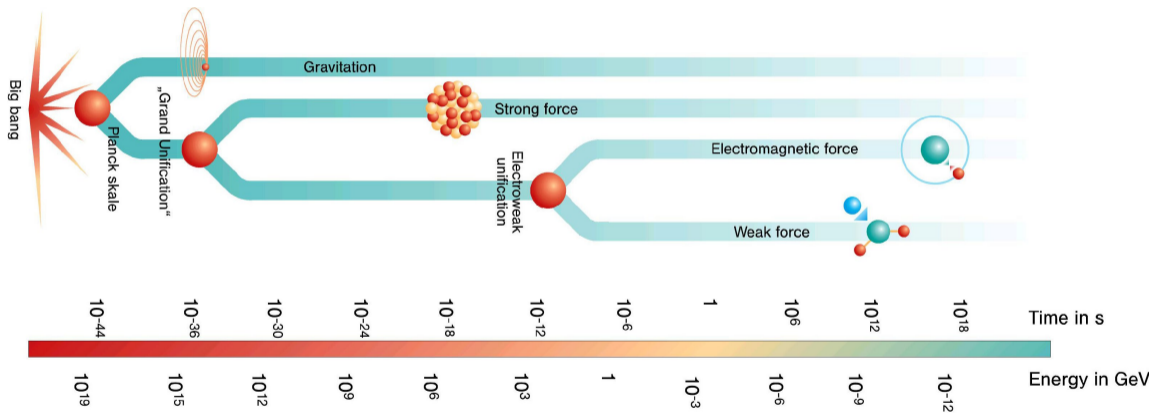
# Pierwsze 3 minuty



## Podsumowanie I

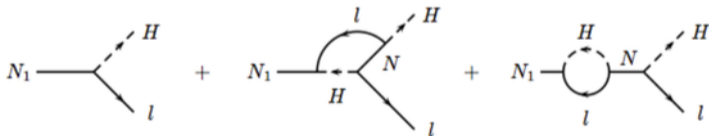


## Podsumowanie II



# Warunki Sakharova do stworzenia asymetrii materia-antymateria

- 1 łamanie liczby barionowej,
- 2 łamanie symetrii C i CP,
- 3 wyjście ze stanu termicznej równowagi



Nukleosynteza i neutrino Majorany może stworzyć zarówno  $e^-$  jak i  $e^+$ , a to przenosi się na łamanie liczby B.



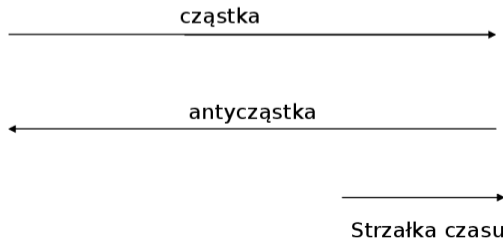
# Symetria CPT

C - charge

P - parity

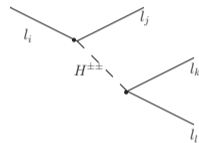
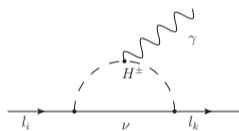
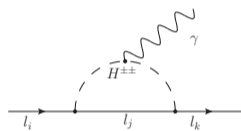
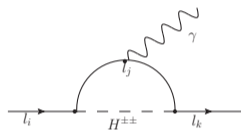
T - time

$$e^{iEt} = e^{i(-E)(-t)}$$



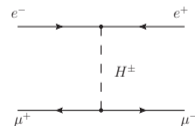
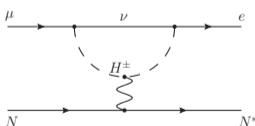
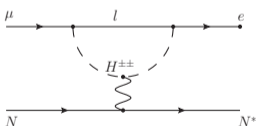
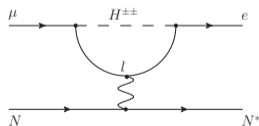
# LFV - łamanie liczby leptonowej, niskie energie

M. Kordiaczyńska, np.  $\mu^- \rightarrow e^- \gamma$



a)

b)



c)

d)

# Poszukiwanie neutrin Majorany w LHC i przyszłych akceleratorach

GLUZA, JELIŃSKI, and SZAFRON

In the next and main section we track the whole discussion and above-mentioned issues in the context of the  $pp \rightarrow lljj$  process. This process (coined the “golden” or “smoking-gun” process) is a good probe for NP due to its sensitivity to right-handed currents. They are not suppressed if heavy neutrinos exist. We will consider such heavy *Majorana* neutrinos and observe how composed Majorana neutrinos mimic Dirac states, and how they affect LNV. As will be shown,  $pp \rightarrow lljj$  connects three different high- and low-energy experiments and is a perfect workhorse for a general discussion of LNV effects and mutual constraints imposed on NP model parameters. We conclude in Sec. III with a summary and outlook. The paper includes four appendices. In Appendix A we discuss some further details relevant for the Majorana neutrino processes at high energies, focusing on  $pp \rightarrow lljj$  and  $e^-e^- \rightarrow W_2^-W_2^-$ . In Appendix B, current and planned limits in searches for CLFV low-energy processes are given, with specific focus on  $\tau \rightarrow e\gamma$  which must be considered in the context of the neutrino mixing parametrization considered in the main text. Appendix C includes the analytic parametrization of

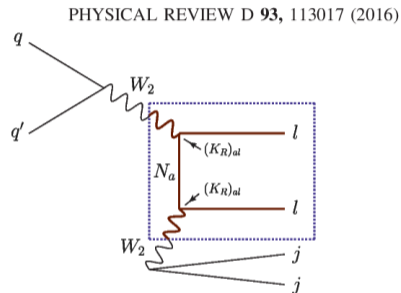


FIG. 1. Feynman diagram responsible for the “golden”  $pp \rightarrow lljj$  signal. For Majorana neutrinos two signals are possible with same-sign leptons  $pp \rightarrow W_2^\pm \rightarrow l_i^\pm N_a \rightarrow l_i^\pm l_j^\pm jj$  and opposite-sign leptons  $pp \rightarrow W_2^\pm \rightarrow l_i^\pm N_a \rightarrow l_i^\pm l_j^\mp jj$ . In the internal frame two related LNV processes can be identified:  $ll \rightarrow W_2 W_2$  (possible at the future lepton colliders) and  $W_2^- W_2^- \rightarrow e^- e^-$  [a part of the low-energy neutrinoless nuclear double beta decay  $(\beta\beta)_{0\nu}$ ].

# Poszukiwanie neutrin Majorany w LHC i przyszłych akceleratorach



## Future Circular Collider – A key to new physics



The Future Circular Collider (FCC) study is an international collaboration aimed at designing the particle accelerator that will replace the LHC once it has completed its operational lifetime. The FCC will expand the current energy and luminosity frontiers in order to help answer the most fundamental questions in science: What is dark matter? Are there extra dimensions in the universe? Are there other forces in nature?

The FCC collaboration, hosted by CERN, is open to universities, research institutes and high-tech companies. A conceptual design will be delivered before the end of 2018, in time for the next update of the European Strategy for Particle Physics.

The FCC study explores three different scenarios: a hadron-hadron collider (FCC-hh), an electron-positron collider (FCC-ee), and a hadron-lepton (FCC-he) collider. The hadron-hadron collider defines the overall infrastructure for the FCC. With a target center-of-mass energy of 100 TeV, and 16-Tesla bending magnets, such a machine will have a circumference of 100 km.

### Main parameters and geometrical aspects

	LHC	FCC
Circumference [km]	26.7	100
Dipole field [T]	8.33	16
Straight sections	8 × 528 m	6 × 1400 m + 2 × 4200 m
Number of IPs	2 × 2	2 × 2
Injection energy [TeV]	0.45	3.3

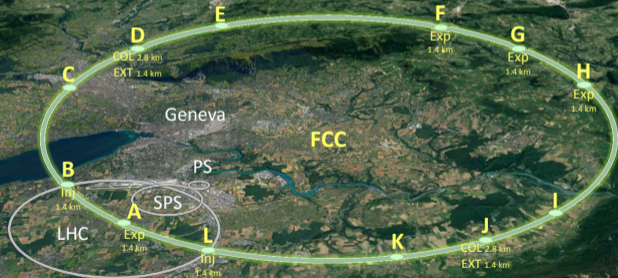
### FCC-hh compared with LHC and High-Luminosity LHC

	LHC	HL-LHC	FCC-hh baseline	FCC-hh ultimate
Energy at center of mass [TeV]	14	14	100	100
Bunch spacing [ns]	25	25	25	5
Number of bunches	2808	2808	10600	53000
Transverse emittance [mm]	3.75	2.5	2.2	0.44
Beam current [A]	0.584	1.12	0.5	0.5
Peak luminosity [ $10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ]	1.0	5.0	5.0	< 30.0

### FCC-ee compared with the Large Electron-Positron collider (LEP2)

The main center-of-mass operating points with strong physics interest for FCC-ee are 91 GeV (Z pole), 160 GeV (W pair production threshold), 240 GeV (Higgs resonance) and 350 GeV ( $t\bar{t}$  threshold).

	LEP2	FCC-ee			
		Z	W	H	$t\bar{t}$
Energy at center of mass [GeV]	208	91	160	240	350
Bunch spacing [ns]	247 / 494	7.5	2.5	50	400
Number of bunches	4	30180	91500	5260	780
Emittance (horizontal) [nm]	22	0.2	0.09	0.26	0.61
Emittance (vertical) [pm]	250	1	1	1.2	2.5
Beam current [mA]	3.04	1450	152	30	6.6
Peak luminosity [ $10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ]	0.003	707	80	10.1	1.3



### FCC-hh – A discovery machine

The 100 TeV proton-proton collider (FCC-hh) will have an energy seven times higher than the LHC. Such a collider will give access to the smallest scales

### FCC-ee – A machine for precision

The second scenario of the FCC design study (FCC-ee) is a high-luminosity, high-precision electron-positron collider with center-of-mass collision

### FCC-he – New opportunities

With the huge energy provided by the 50 TeV proton beam and the potential availability of an electron beam with energies of the order of 60 GeV,

Dziękuję za uwagę



## Dodatkowe slajdy

## Pierwsze 3 minuty: $10^{-43}$ s - naturalny początek, czas Plancka

Inflacja "wygładziła" Wszechświat; materia, antymateria w równowadze, wszystkie oddziaływania równoważne,  $\gamma \rightleftharpoons q\bar{q}, e^-e^+$

**$10^{-43}$  seconds**



**$10^{32}$  degrees**



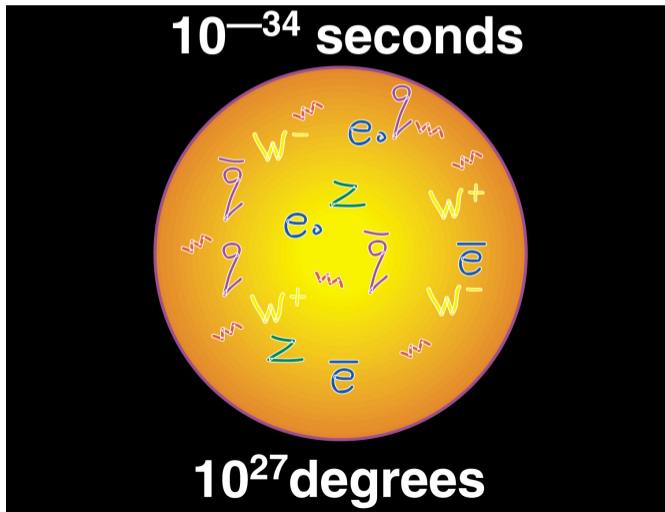


## Uwaga 2: Czas, temperatura, energia, rozmiar, Okun, physics/0110060, arxiv.gov

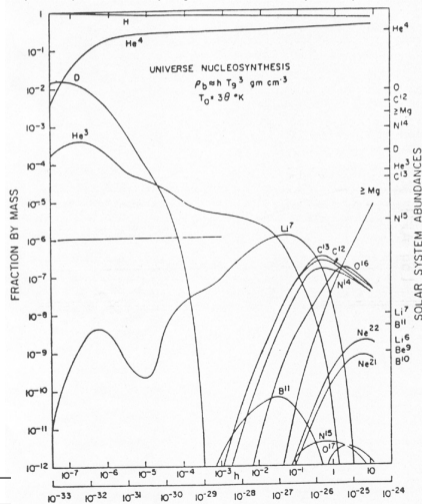
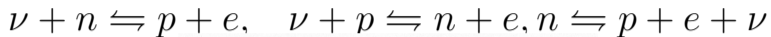
Name	Quantity	Expressions	Approximate SI equivalent	Other equivalent
<b>Planck length</b>	Length (L)	$l_P = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}}$	$1.61624 \times 10^{-35}$ m	
<b>Planck mass</b>	Mass (M)	$m_P = \sqrt{\frac{\hbar c}{G}}$	$2.17645 \times 10^{-8}$ kg	$1.311 \times 10^{19}$ u
<b>Planck time</b>	Time (T)	$t_P = \frac{l_P}{c} = \frac{\hbar}{m_P c^2} = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^5}}$	$5.39121 \times 10^{-44}$ s	
<b>Planck charge</b>	Electric charge (Q)	$q_P = \sqrt{\hbar c 4\pi\epsilon_0}$	$1.8755459 \times 10^{-18}$ C	11.70624 e
<b>Planck temperature</b>	Temperature ( $\Theta$ )	$T_P = \frac{m_P c^2}{k} = \sqrt{\frac{\hbar c^5}{G k^2}}$	$1.41679 \times 10^{32}$ K	

Pierwsze 3 minuty:  $10^{-34}$ s - zamrożenie QCD, "znikają" gluony

Spadek temperatury przy rozszerzaniu, oddziaływania silne oddzielają się od słabych



$T > 1 \text{ MeV}$ , stan równowagi słabej,  $\rho_{kryt} \simeq 10^{-29} \text{ g/cm}^3$

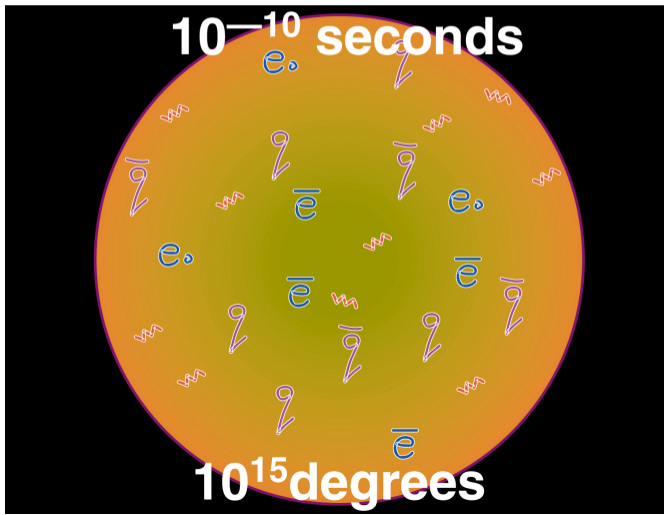


czas [h]

gęstość [ $\text{g/cm}^3$ ]

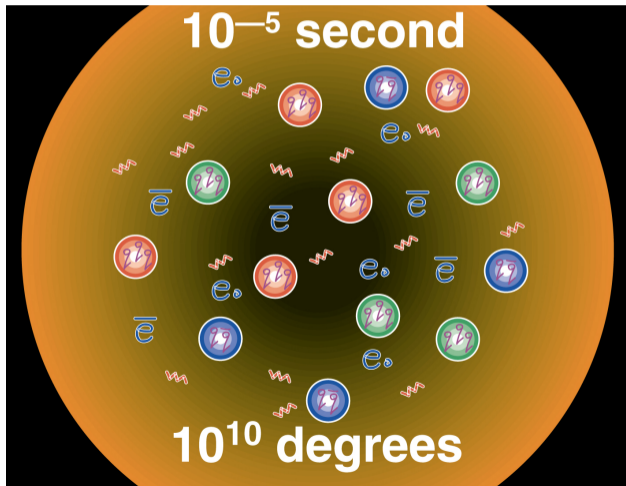
Pierwsze 3 minuty:  $10^{-10}$ s - zamrożenie oddz. słabych ("znikają"  $W^\pm, Z^0$ )

Oddzielają się oddziaływania słabe (foton staje się już tym czym jest dzisiaj)



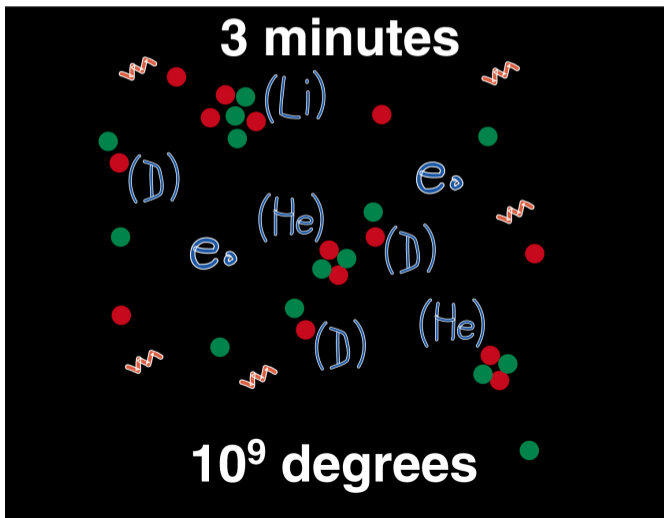
## Pierwsze 3 minuty: $10^{-5}$ s - zamrożenie QED ("znikają" fotony)

Zanik antymaterii (nie jest odtwarzana z promieniowania  $\gamma \rightarrow q\bar{q}, e^+e^-$ ), formują się nukleony



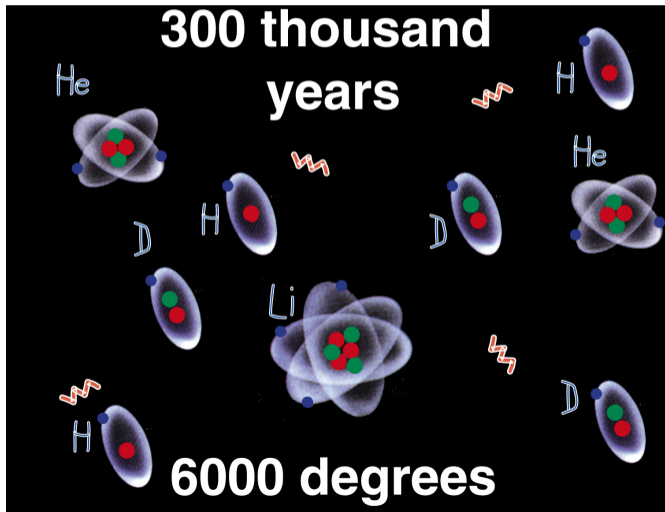
## 3 min. - nukleosynteza

Tworzenie lekkich pierwiastków



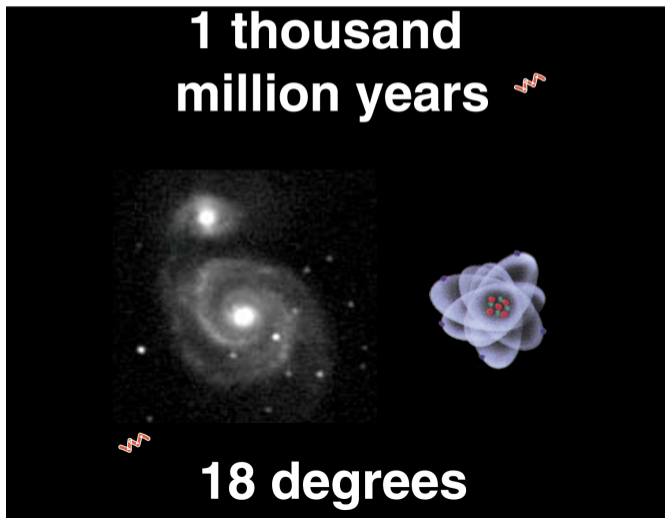
# Atomy

Elektrony "łapanie" w atomy, fotony nie oddziałują już mocno z resztą materii i są swobodne



# Gwiazdy, galaktyki, ...

Formują się galaktyki, gwiazdy produkują ciężkie pierwiastki





## Materia-antymateria-grawitacja

# Antymateria/antygravitacja

<http://cerncourier.com/cws/article/cern/71088>

## CERN COURIER

Feb 16, 2018

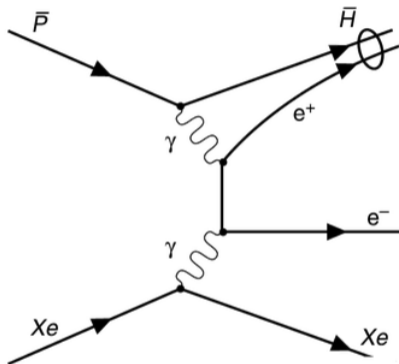
### Illuminating antimatter

Following 30 years of effort by the low-energy antimatter community at CERN, the ALPHA collaboration has made seminal measurements of antihydrogen's spectral structure in a bid to test nature's fundamental symmetries.



Antiproton Decelerator - proton accelerator

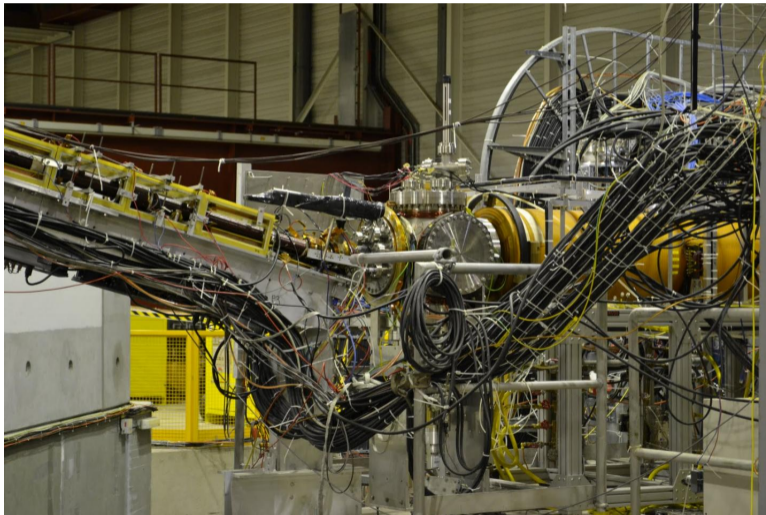
# Materia-antymateria-grawitacja



$10^5$  antyprotonów + 2 miliony pozytronów = 50000 atomów antywodoru (trwałe około 1000 sekund)

# Materia-antymateria-grawitacja

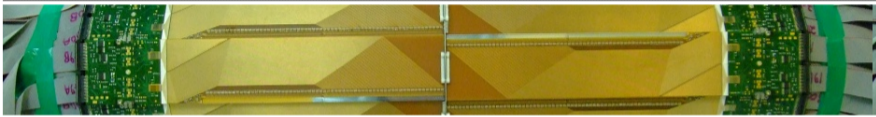
Pułapkowanie antymaterii skomplikowane, szczególnie neutralnej



# Materia-antymateria-grawitacja



home news collaboration people how alpha works publications image gallery contact links



## ALPHA Probes Antimatter Gravity

Physicists have long wondered if the gravitational interaction between antimatter and matter might be different than that between matter and itself. Do atoms made of antimatter, like antihydrogen, fall at a different rate to those made of matter, or might they even fall up -- antigravity? There are many arguments that make the case that the interaction must be the same, but no-one has ever observed what an anti-atom does in a gravitational field - until now.

Today, the ALPHA Collaboration has published results in [Nature Communications](#) placing the first experimental limits on the ratio of the gravitational and inertial masses of antihydrogen (the ratio is very close to one for hydrogen). We observed the times and positions at which 434 trapped antihydrogen atoms escaped our magnetic trap, and searched for the influence of a gravitational force. Based on our data, we can exclude the possibility that the gravitational mass of antihydrogen is more than 110 times its inertial mass, or that it falls upwards with a gravitational mass more than 65 times its inertial mass.

