

# *Cząstki i siły*

*Krzysztof Kurek  
Narodowe centrum Badań Jądrowych  
Otwock-Świerk*



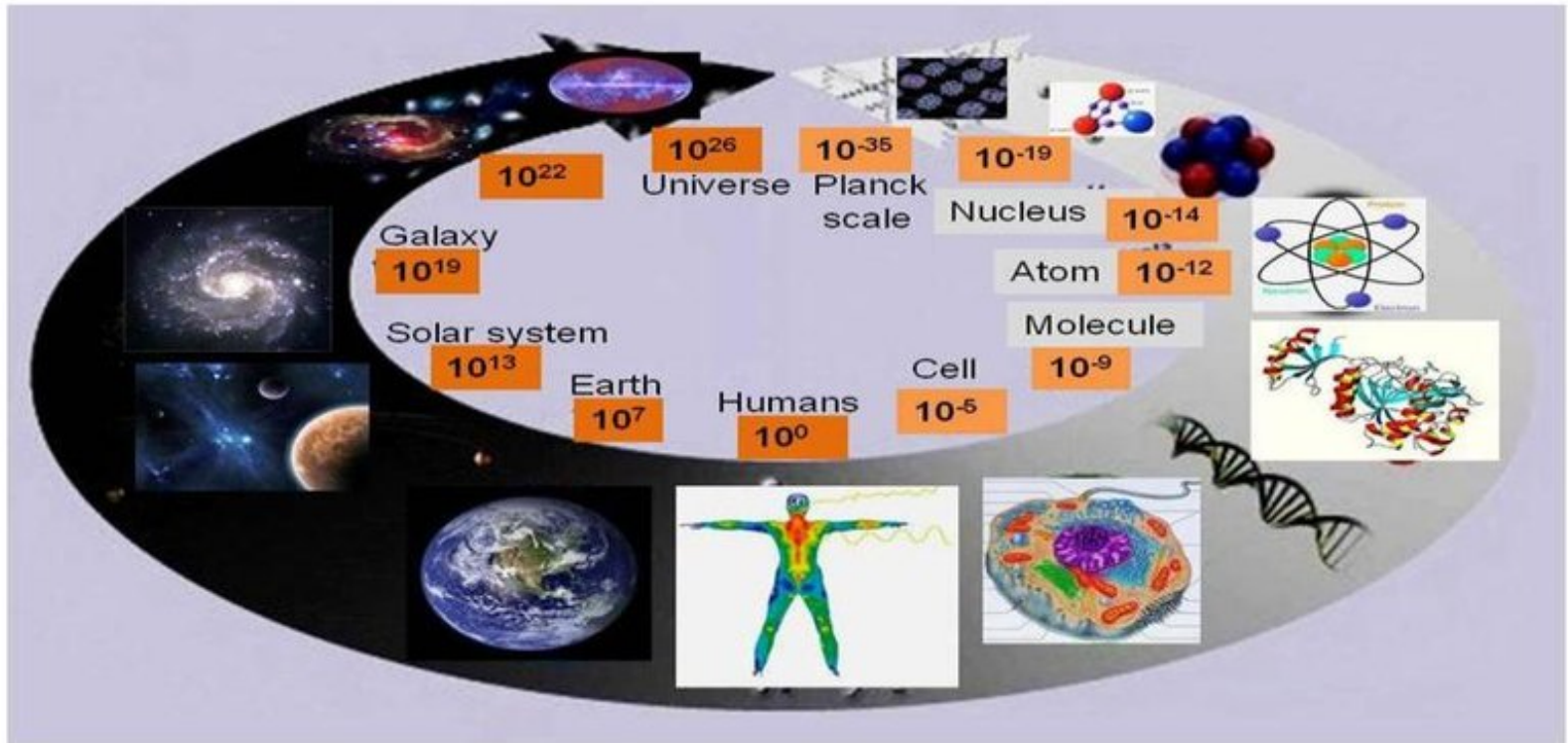
*Polish Teacher Programme 2023*



## Fundamentalne i fascynujące ludzkość od wieków pytania:

- Jakie są podstawowe “cegiełki” materii?
- Jakie są ich oddziaływania?
- Skąd się wzięliśmy?
- Dokąd zmierzamy?

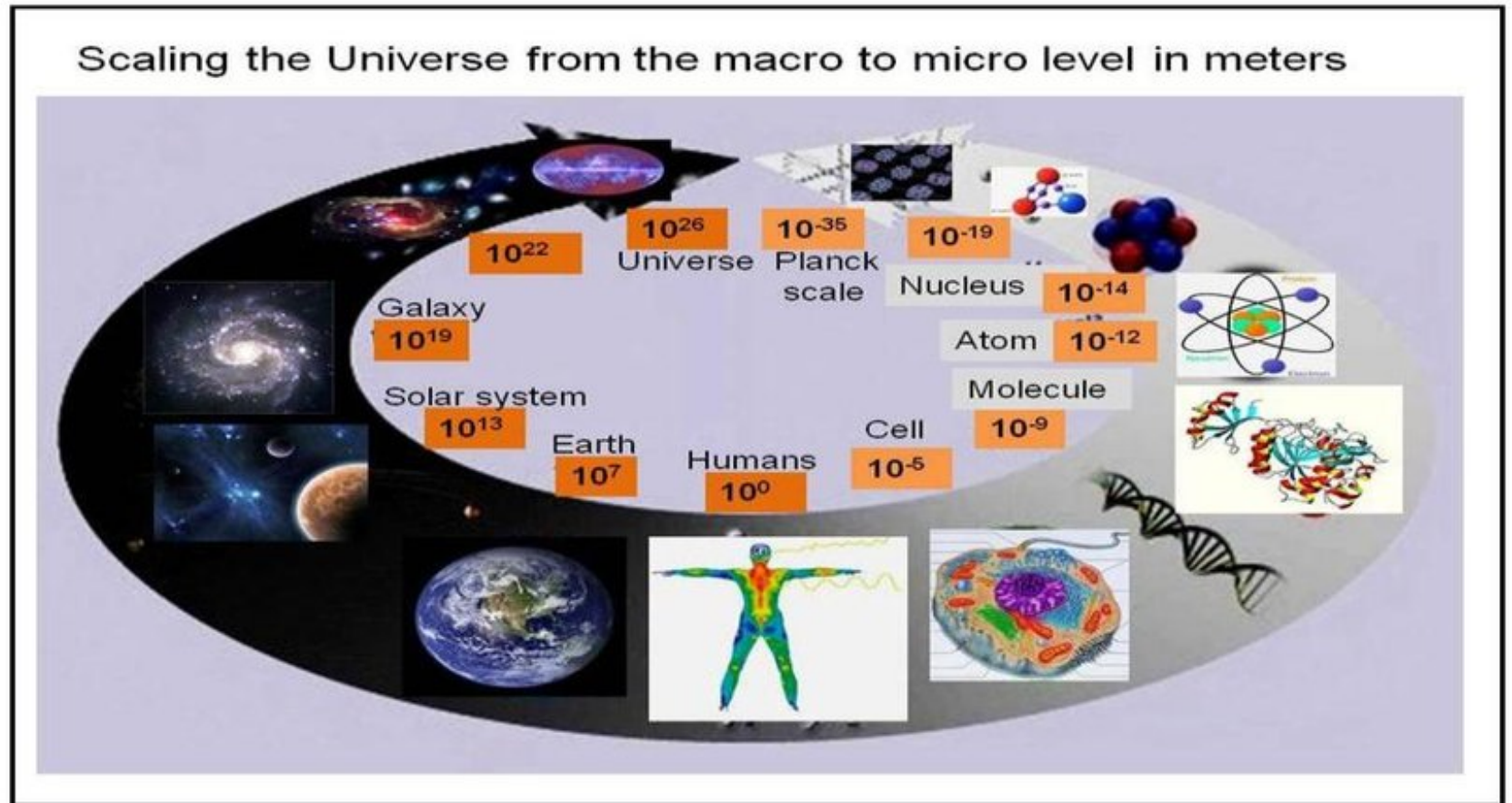
## Scaling the Universe from the macro to micro level in meters





Cel badań:

- Poznanie struktury materii na coraz mniejszych odległościach
- Poznanie wszechświata na coraz większych odległościach i odtworzenie jego historii





## Pod koniec XIX wieku sytuacja wyglądała następująco:

- Wszechświat: układ słoneczny + droga mleczna
- Jak słońce produkuje energię? - nie wiadomo?????!
- znane dwa rodzaje oddziaływań bezpośrednio dostępne zmysłom:
  1. grawitacyjne (prawo Newtona)
  2. elektromagnetyczne (równania Maxwella)
- Ogólne przekonanie, że wszystko da się wyjaśnić za pomocą praw mechaniki, termodynamiki i elektrodynamiki (już jest po Newtonie, mamy wiek pary)

## Pod koniec XIX wieku sytuacja wyglądała następująco:

- Wszechświat: układ słoneczny + droga mleczna
- Jak słońce produkuje energię? - nie wiadomo?????!
- znane dwa rodzaje oddziaływań bezpośrednio dostępne zmysłom:
  1. grawitacyjne (prawo Newtona)
  2. elektromagnetyczne (równania Maxwella)
- Ogólne przekonanie, że wszystko da się wyjaśnić za pomocą praw mechaniki, termodynamiki i elektrodynamiki (już jest po Newtonie, mamy wiek pary)

rok 1900, Lord Kelwin:

“do wyjaśnienia zostały niewielkie chmurki na horyzoncie nauki”:

- Widmo promieniowania ciała doskonale czarnego
- Doświadczenie Michelsona-Morleya

## Pod koniec XIX wieku sytuacja wyglądała następująco:

- Wszechświat: układ słoneczny + droga mleczna
- Jak słońce produkuje energię? - nie wiadomo?????!
- znane dwa rodzaje oddziaływań bezpośrednio dostępne zmysłom:
  1. grawitacyjne (prawo Newtona)
  2. elektromagnetyczne (równania Maxwella)
- Ogólne przekonanie, że wszystko da się wyjaśnić za pomocą praw mechaniki, termodynamiki i elektrodynamiki (już jest po Newtonie, mamy wiek pary)

rok 1900, Lord Kelwin:

“do wyjaśnienia zostały niewielkie chmurki na horyzoncie nauki”:

- Widmo promieniowania ciała doskonale czarnego
- Doświadczenie Michelsona-Morleya



## Pod koniec XIX wieku sytuacja wyglądała następująco:

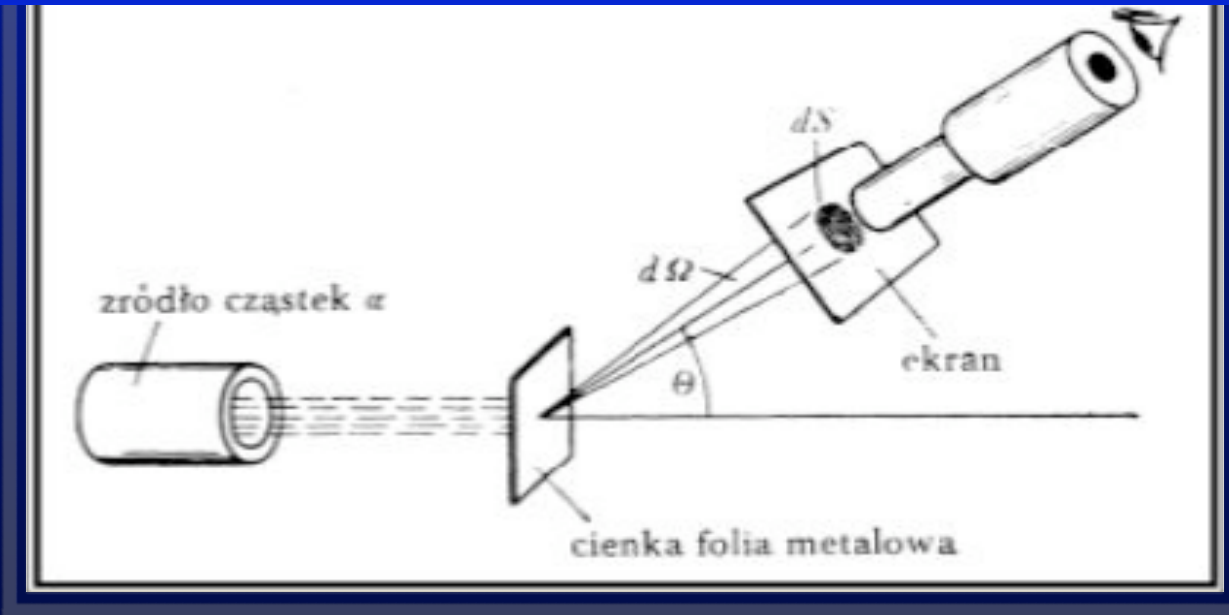
- Wszechświat: układ słoneczny + droga mleczna
- Jak słońce produkuje energię? - nie wiadomo?????!
- znane dwa rodzaje oddziaływań bezpośrednio dostępne zmysłom:
  1. grawitacyjne (prawo Newtona)
  2. elektromagnetyczne (równania Maxwella)
- Ogólne przekonanie, że wszystko da się wyjaśnić za pomocą praw mechaniki, termodynamiki i elektrodynamiki (już jest po Newtonie, mamy wiek pary)

rok 1900, Lord Kelwin:

“do wyjaśnienia zostały niewielkie chmurki na horyzoncie nauki”:

- Widmo promieniowania ciała doskonale czarnego
- Doświadczenie Michelsona-Morleya

- 1895 **Roentgen** - odkrywa promienie rentgenowskie
- 1896 **Thomson** - odkrywa elektron, wyznacza  $e/m$
- 1900 **Planck** - wyjaśnia widmo ciała doskonale czarnego  
nowa, fundamentalna stała natury - stała Plancka  $hc = 6.63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$
- 1903 **Skłodowska-Curie (Piere i Becquerel)** - zjawisko promieniotwórczości
- 1905 **Einstein** - wyjaśnia ruchy Browna: odkrycie atomu  
- wyjaśnia efekt fotoelektryczny: foton  $E = hv$   
- formułuje teorię względności  
nowa, fundamentalna stała natury:  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
- 1909 **Millikan** - zmierzył  $e$  i wyznaczył masę elektronu
- 1911 **Rutherford** - odkrywa jądro atomowe:  $R \sim 10^{-14} \text{ m}$
- 1913 **Bohr** - wyjaśnia widma emisyjne, kwantowanie atomu
- 1919 **Rutherford** - odkrywa proton
- 1923 **Compton** - stwierdza, że foton niesie pęd  $p = E/c = h/\lambda$
- 1924 **de Broglie** - cząstki mają naturę falową:  $\lambda = h/p$
- 1930 **Pauli** - wprowadza neutrino dla ratowania zasady zachowania  $E, p, J$
- 1931 **Chadwick** - odkrywa neutron
- 1932 **Anderson** - odkrywa pozyton - pierwsza antycząstka przewidziana przez Diraca

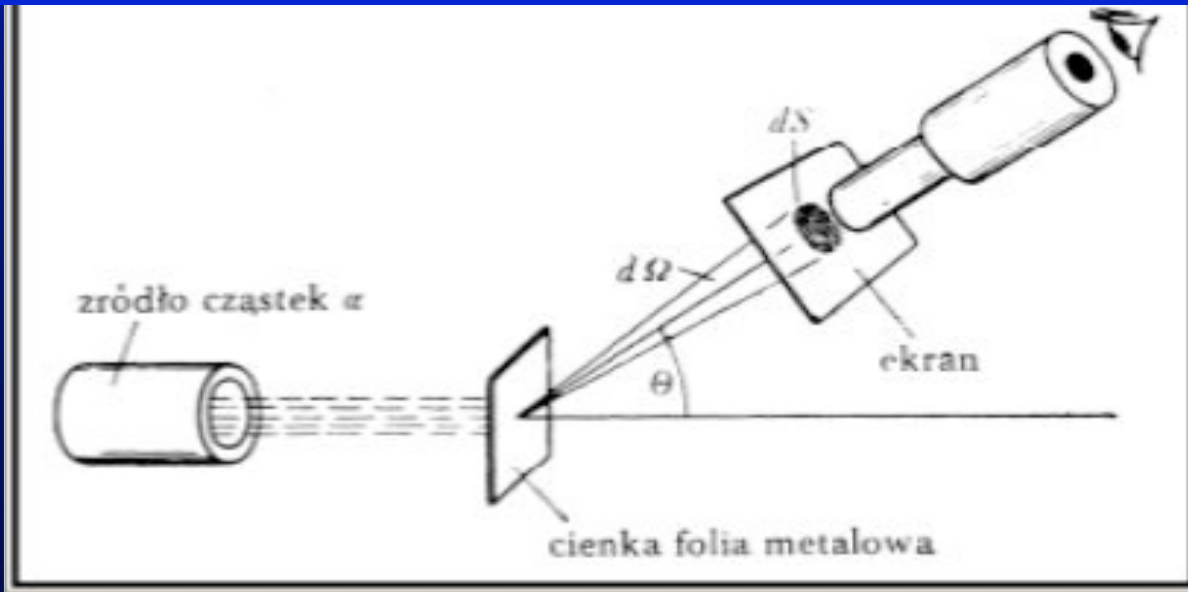


jedna na 8000 cząstek  $\alpha$  rozprasza się do tyłu -  $<90^\circ$

“To było jakbyście wystrzelili 15 calowy pocisk w kierunku kawałka bibułki a on odbił się i w was uderzył”

Rutherford

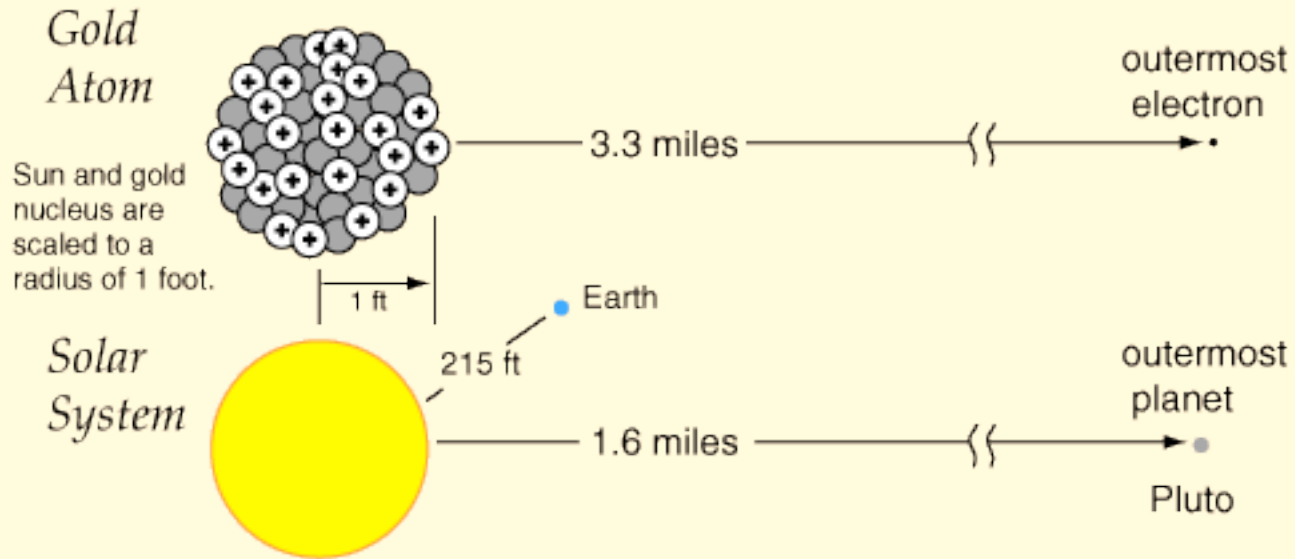
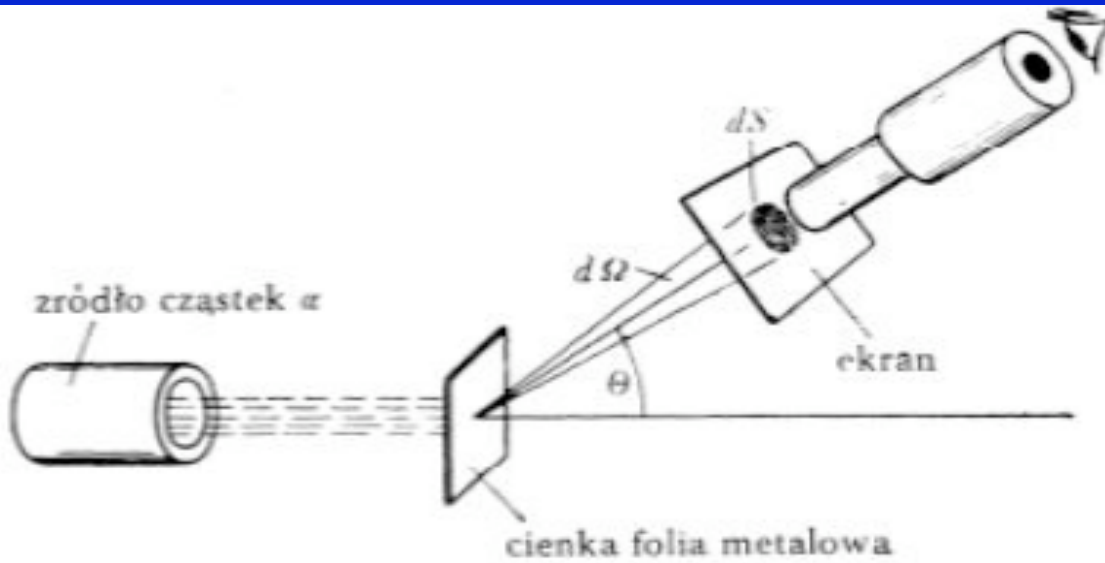


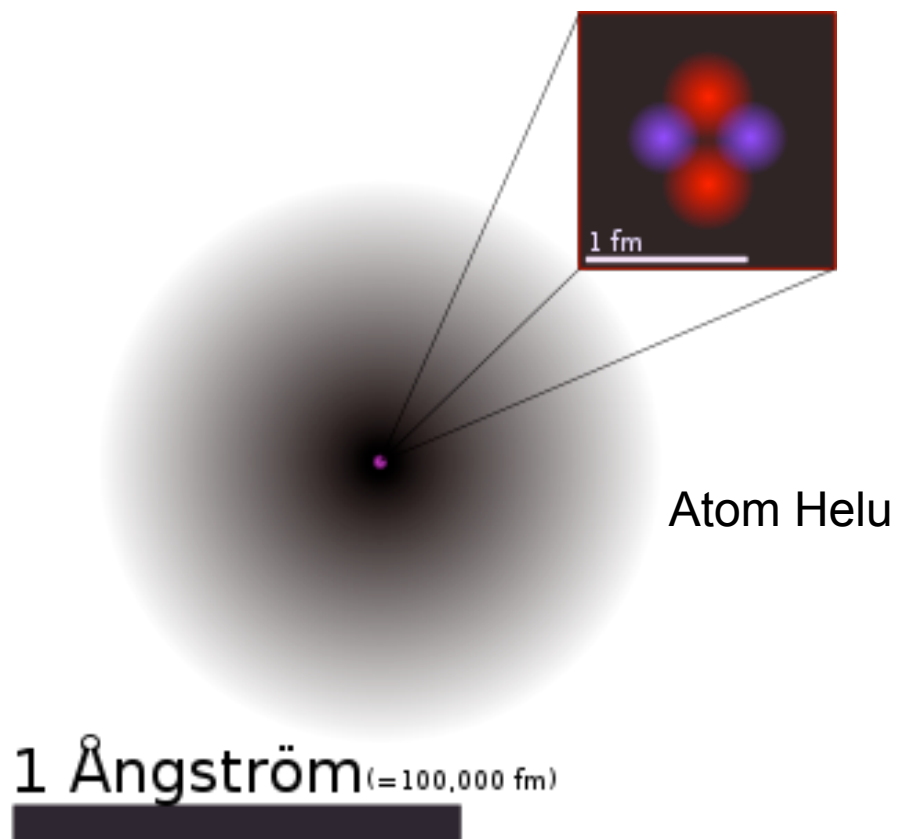


masa atomu jest skupiona w jądrze  
~10000 razy mniejszym niż rozmiary atomu

dla porównania - promień słońca jest 1000 razy mniejszy od rozmiarów układu słonecznego

# Doświadczenie Ruthforda

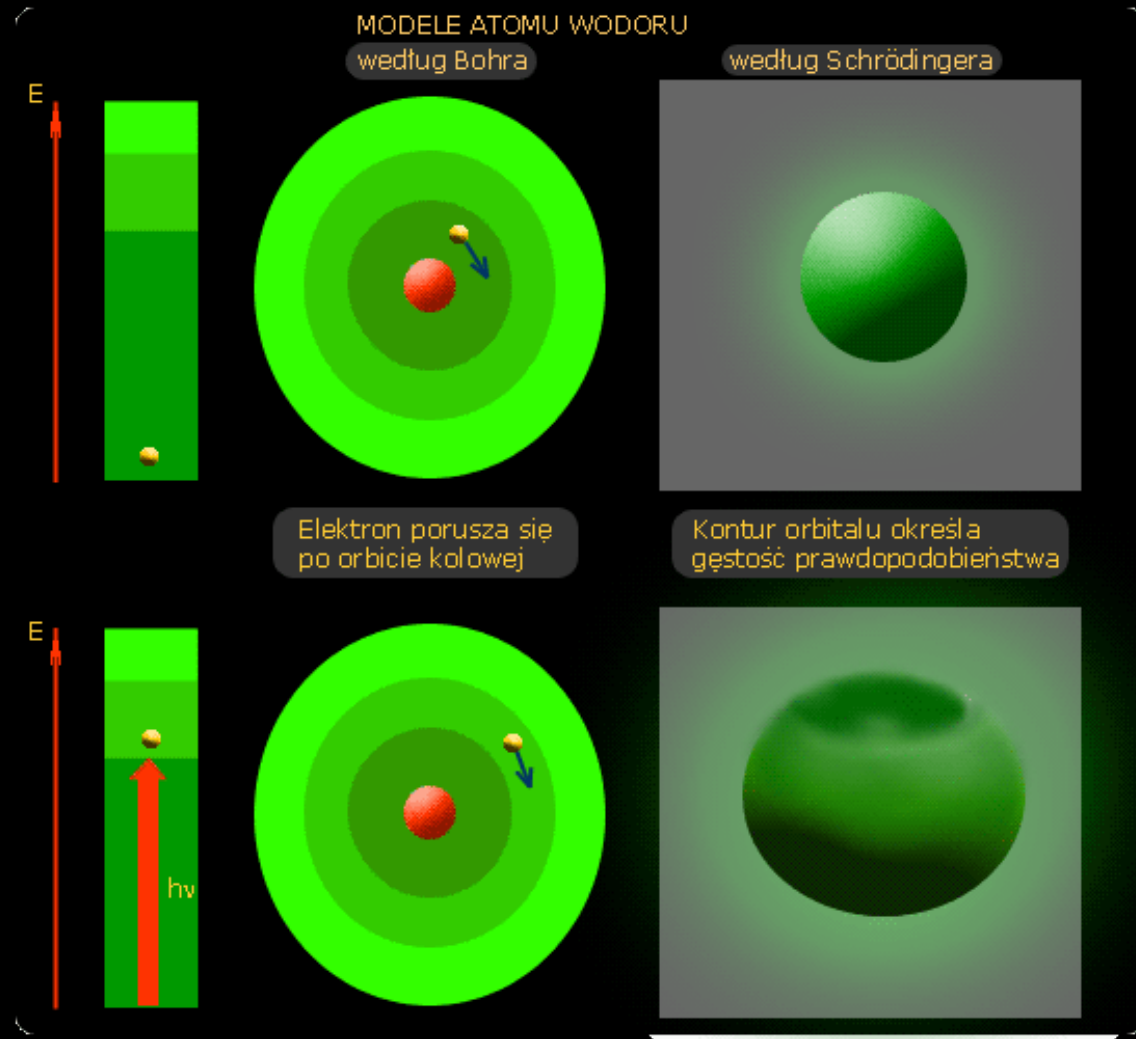




Atom Helu



# Budowa atomu w pigułce



prawo zachowania	$\Leftrightarrow$	symetria względem
pędu	$\Leftrightarrow$	przesunięć w przestrzeni
energii	$\Leftrightarrow$	przesunięć w czasie
moment pędu	$\Leftrightarrow$	obrotów przestrzennych

Ruch elektronu wokół jądra atomowego = moment pędu  $J$   
 $J$  i ładunek  $e$  = moment magnetyczny

Stern i Gerlach (1921) stwierdzili, że sam elektron też ma moment magnetyczny - idea spinu  
elektron ma dwa „ustawienia” spinu:  $+ 1/2$  lub  $-1/2$   
albo  
mamy dwa różne elektrony?

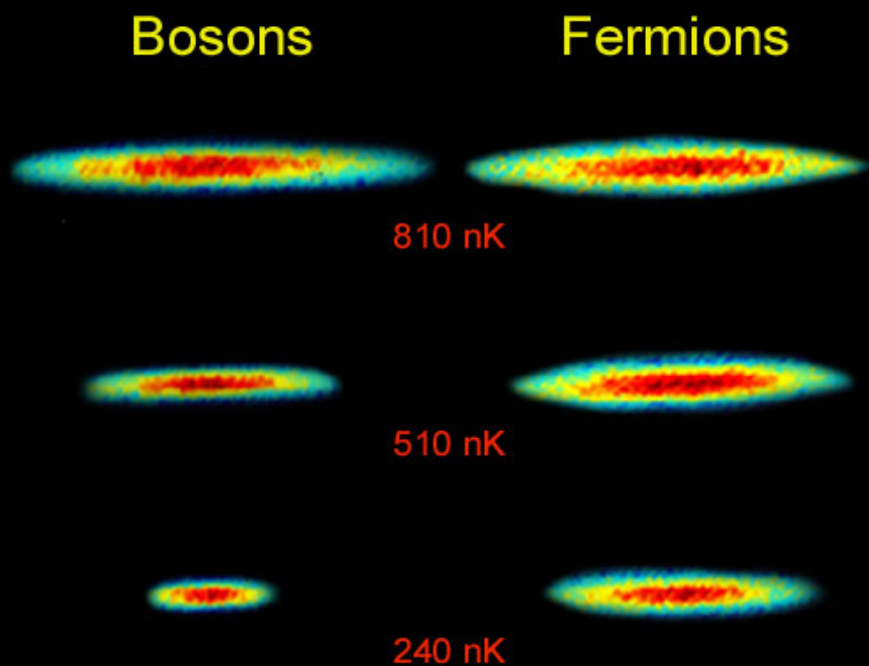
Zakaz Pauliego - dotyczy cząstek o spinie połówkowym np.  $1/2$   
Dwa fermiony nie mogą występować w tym samym stanie kwantowym

Anty-socjalne zachowanie fermionów :-)

Eksperyment w Rice University  
Ultra zimne atomy Litu.  
Dwa izotopy: Lit-7 - bozon, Lit-6 fermion.

Widać, jak zakaz Pauliego przeciwdziała “zapadaniu” się chmury gazu Litu dla fermionowej składowej.

Zakaz Pauliego



“Magiczne” liczby w chemii opisujące powłoki atomowe (liczby odsadzeń elektronami) to konsekwencje zakazu Pauliego

Istniejemy - nie zapadamy się - dzięki zakazowi Pauliego

Zakaz Pauliego - dotyczy cząstek o spinie półowym np.  $1/2$

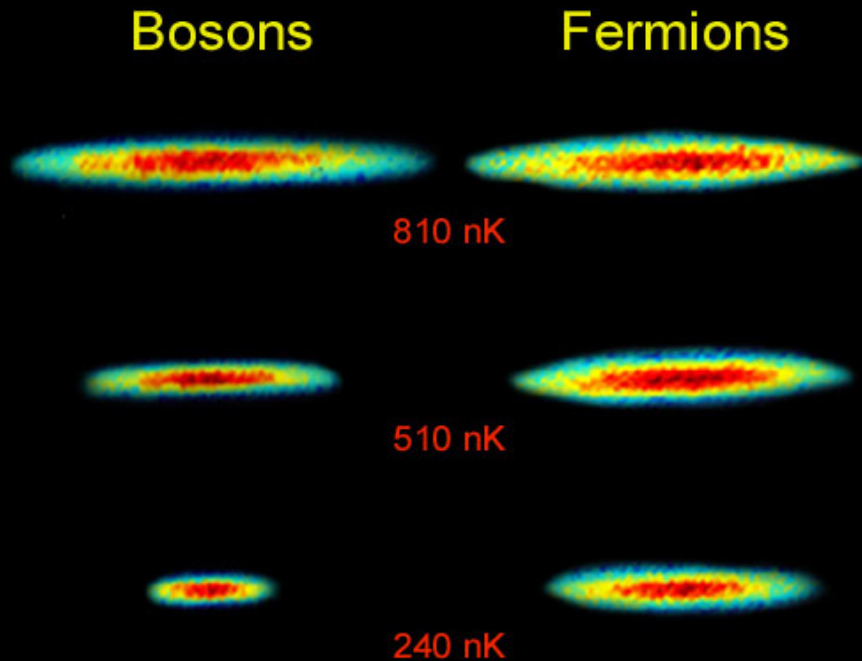
Dwa fermiony nie mogą występować w tym samym stanie kwantowym

Anty-socjalne zachowanie fermionów :-)

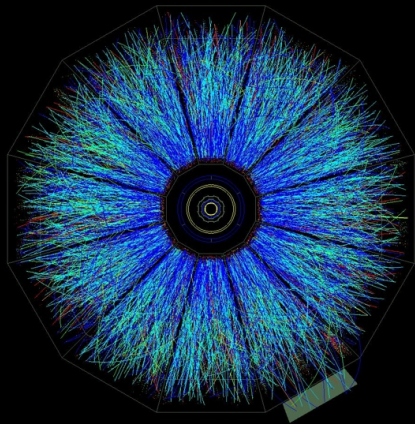
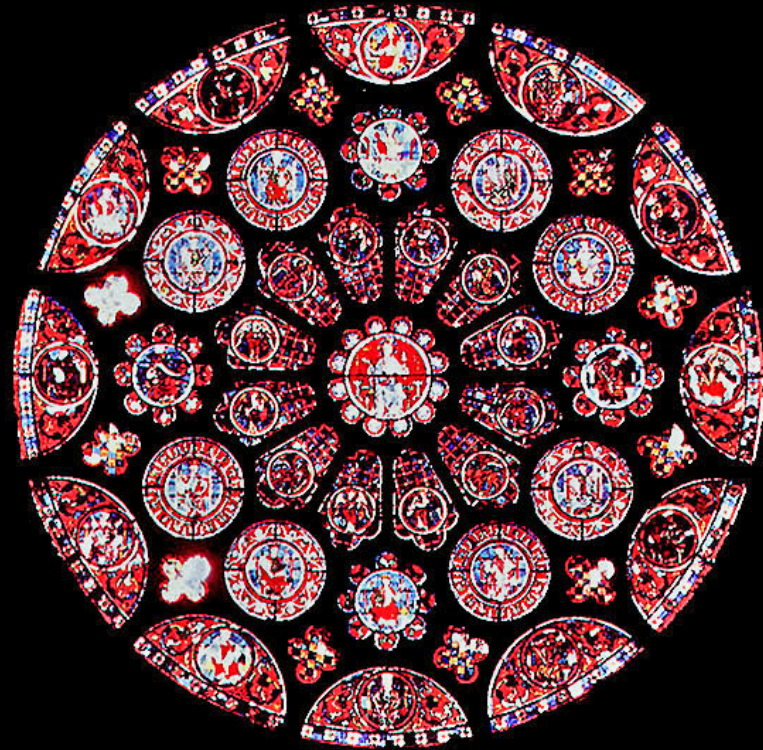
Eksperyment w Rice University  
Ultra zimne atomy Lit.  
Dwa izotopy: Lit-7 - bozon, Lit-6 fermion.

Widać, jak zakaz Pauliego  
przeciwdziała “zapadaniu” się  
chmury gazu Lit dla fermionowej  
składowej.

Zakaz Pauliego



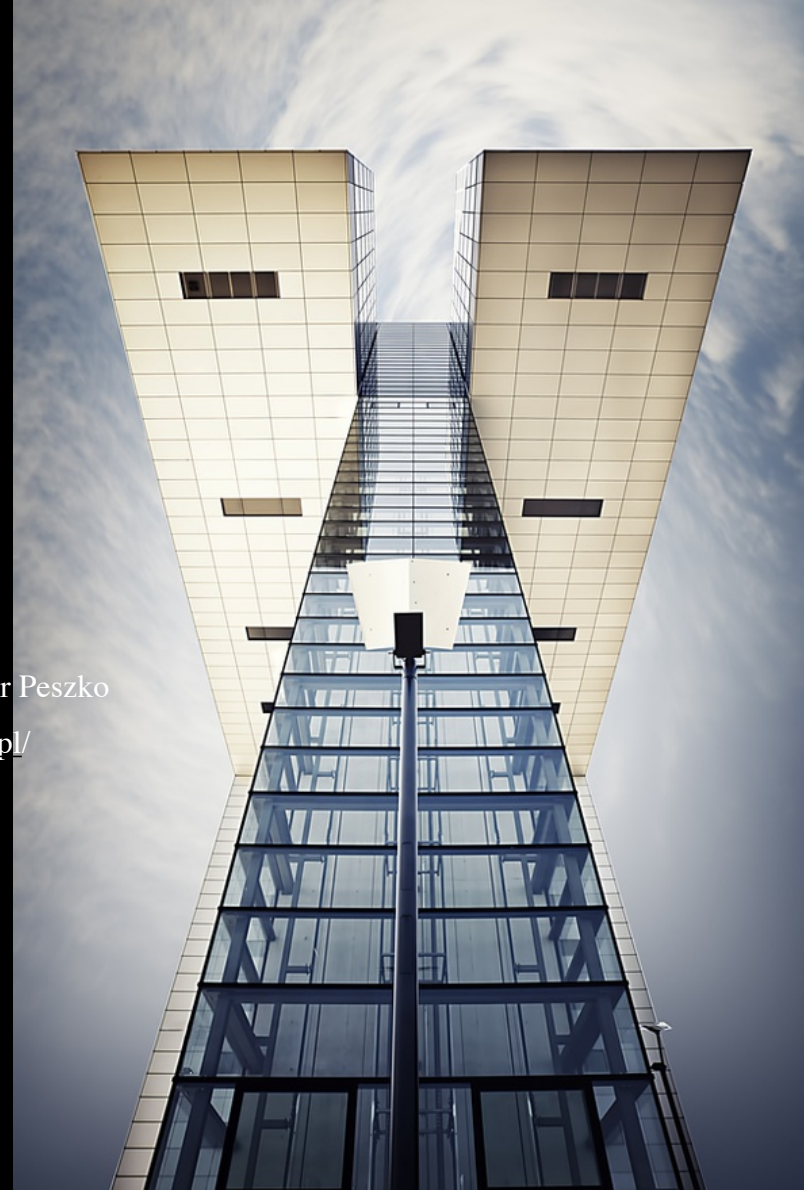
“Magiczne” liczby w chemii  
opisujące powłoki atomowe  
(liczby odsadzeń elektronami)  
to konsekwencje zakazu Pauliego







Copyright © 2014 Piotr Peszko  
<http://blog.2edu.pl/>





$$\Delta U(\vec{r}) = \vec{F} \Delta \vec{r}$$

$$\Delta U(\vec{r}) = 0 \quad \Rightarrow \quad \vec{F} = 0$$

$$\vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} \quad \Rightarrow \quad \vec{F} = 0 \quad \Rightarrow \quad \vec{p} = \text{const}$$

translacje w przestrzeni

Translacje w czasie implikują zachowanie energii

$$\frac{\Delta \vec{J}}{\Delta t} = \vec{r} \times \vec{F}$$

$$\vec{F} \sim \vec{r} \quad \Rightarrow \quad \vec{r} \times \vec{F} \sim \vec{r} \times \vec{r} = 0$$

$$\vec{J} = \text{const}$$

symetria obrotów

$$\Delta U(\vec{r}) = \vec{F} \Delta \vec{r}$$

$$\Delta U(\vec{r}) = 0 \quad \Rightarrow \quad \vec{F} = 0$$

Translacje w czasie implikują zachowanie energii

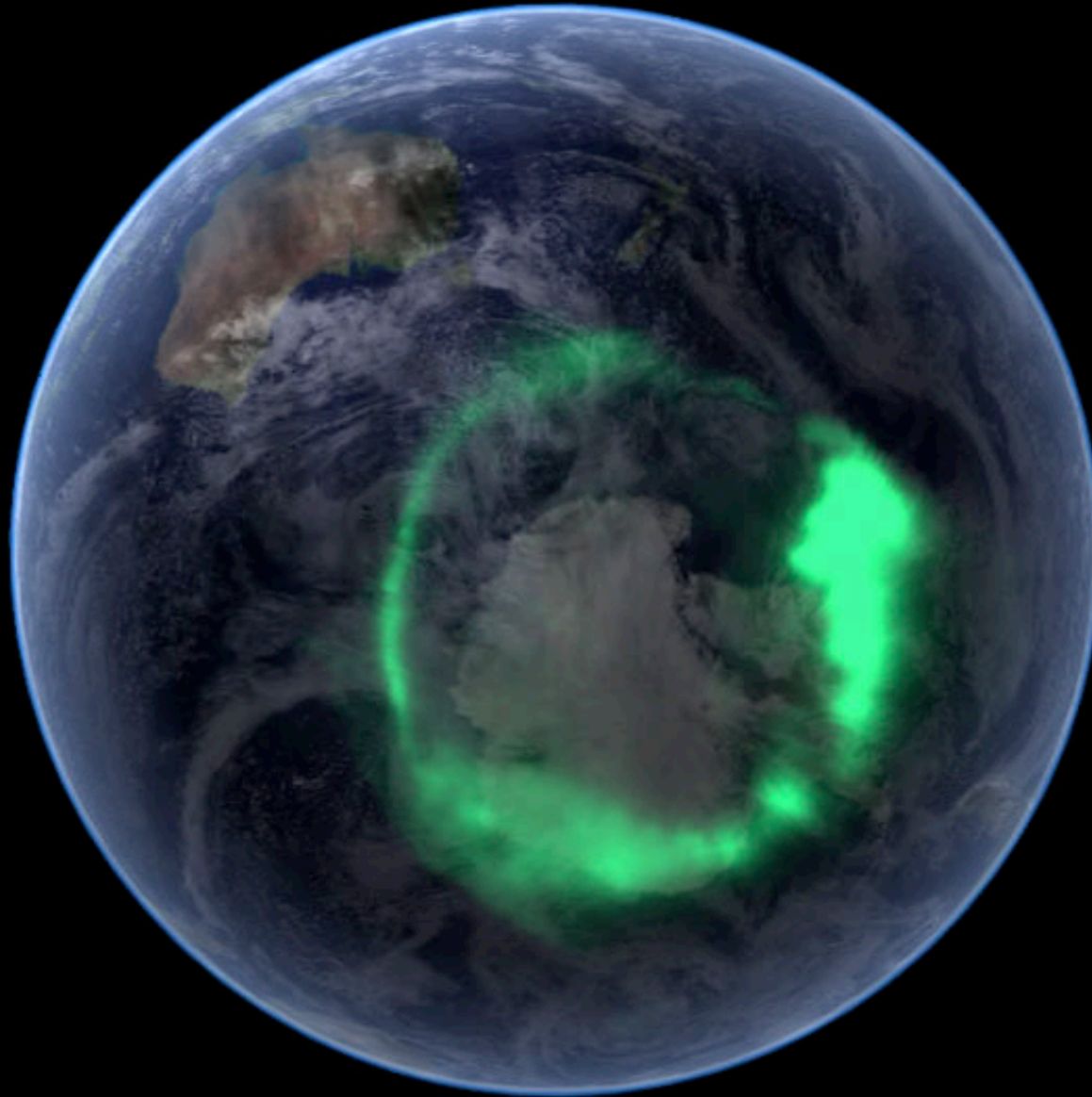
Lekcja nr 1:  
z zachowaniem symetrii związane jest prawo zachowania

$$\frac{\Delta \vec{J}}{\Delta t} = \vec{r} \times \vec{F}$$

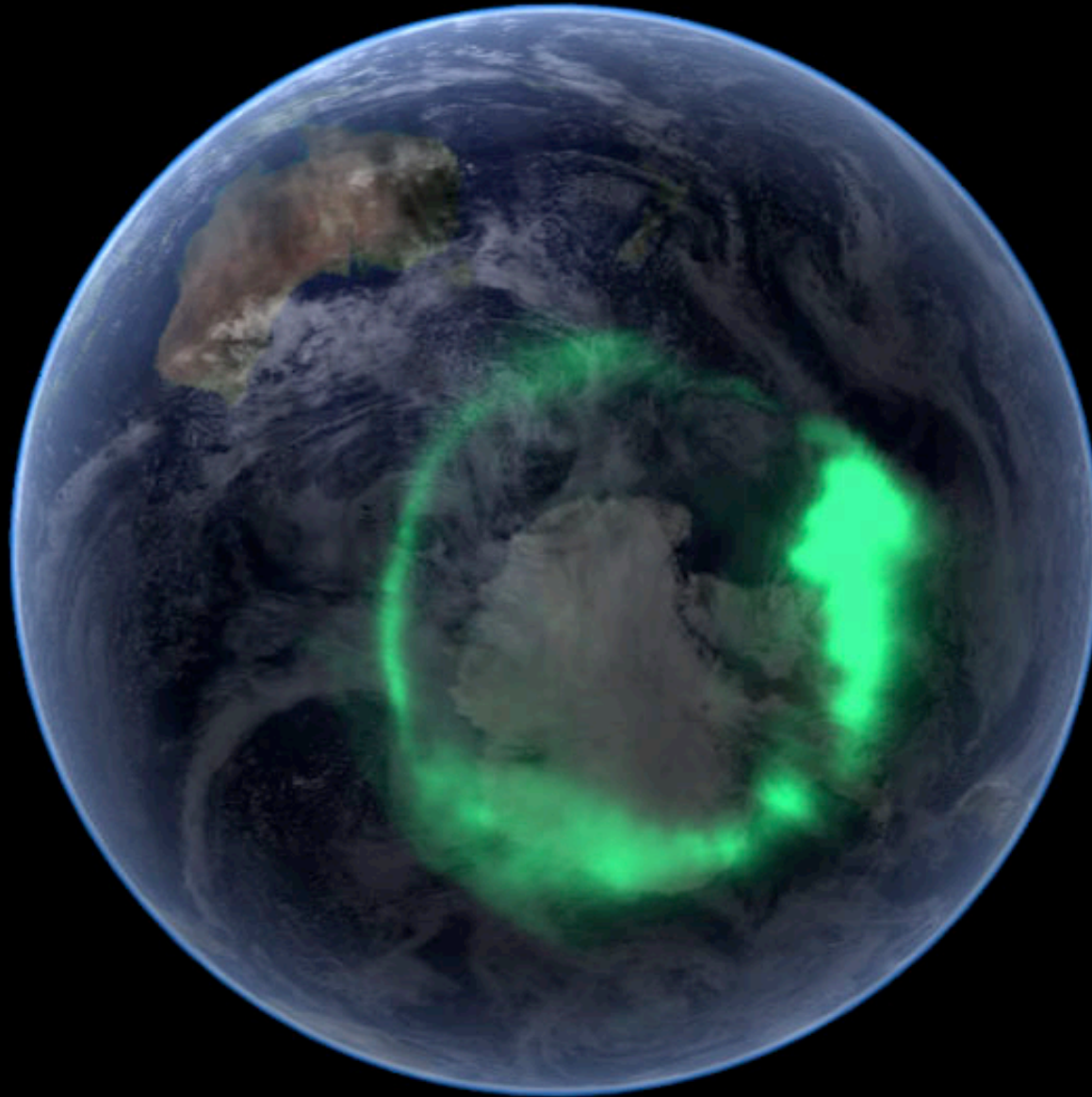
$$\vec{F} \sim \vec{r} \quad \Rightarrow \quad \vec{r} \times \vec{F} \sim \vec{r} \times \vec{r} = 0$$

$$\vec{J} = \text{const}$$

symetria obrotów



# naruszenie symetrii







Nie wszystkie symetrie są “dokładnie” spełnione w Fizyce;  
Symetria zwierciadlana jest naruszona np w procesach rozpadu  $\beta$  neutronu  
z udziałem **neutrino**



Wszystkie organizmy żywe zawierają  
asymetrię  
w swej najistotniejszej strukturze  
w postaci podwójnie prawoskrętnej  
spirali DNA





Wszystkie organizmy żywe zawierają  
asymetrię  
w swej najistotniejszej strukturze  
w postaci podwójnie prawoskrętnej  
spirali DNA

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{j} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

Pierwsza “unifikacja” oddziaływań:  
elektrostatycznego i magnetycznego !

Inaczej - obserwacja, że źródłem pola elektrycznego i magnetycznego jest ta sama właściwość - posiadanie ładunku elektrycznego (źródłem pola magnetycznego są prądy czyli ruch ładunków)

- W równaniach Maxwella “ukrywają” się fale elektromagnetyczne  
Fale EM “biegną” z prędkością światła - ich badanie doprowadziło do wykrycia stałości prędkości światła i sformułowania Relatywistycznej Niezmienniczości - transformacji Lorentza - Szczególnej Teorii Względności.
- Równania Maxwella są relatywistycznie niezmiennicze (symetria teorii)

- W równaniach Maxwella “ukrywają” się fale elektromagnetyczne  
Fale EM “biegną” z prędkością światła - ich badanie doprowadziło do wykrycia stałości prędkości światła i sformułowania Relatywistycznej Niezmienniczości - transformacji Lorentza - Szczególnej Teorii Względności.
- Równania Maxwella są relatywistycznie niezmiennicze (symetria teorii)

Pola E i B dają się wyrazić przez funkcje potencjałów:

1. skalarne - dla pola E
2. wektorowe - dla pola B  
(bo nie ma ładunków magnetycznych)

$$\vec{B} = \vec{\nabla} \times \vec{A} = \vec{\nabla} \times \vec{A}'$$

$$\vec{A}' = \vec{A} + \vec{\nabla} f(x)$$

gdzie  $f(x)$  dowolna funkcja skalarna

bo: 
$$\vec{\nabla} \times \vec{\nabla} = 0$$

- W równaniach Maxwella “ukrywają” się fale elektromagnetyczne  
Fale EM “biegną” z prędkością światła - ich badanie doprowadziło do wykrycia stałości prędkości światła i sformułowania Relatywistycznej Niezmienniczości - transformacji Lorentza - Szczególnej Teorii Względności.
- Równania Maxwella są relatywistycznie niezmiennicze (symetria teorii)

Pola E i B dają się wyrazić przez funkcje potencjałów:

1. skalarne - dla pola E
2. wektorowego - dla pola B  
(bo nie ma ładunków magnetycznych)

$$\vec{B} = \vec{\nabla} \times \vec{A} = \vec{\nabla} \times \vec{A}'$$

$$\vec{A}' = \vec{A} + \vec{\nabla} f(x)$$

gdzie  $f(x)$  dowolna funkcja skalarna

bo: 
$$\vec{\nabla} \times \vec{\nabla} = 0$$

dodatkowa swoboda - symetria równań  
Maxwella ! - Symetria “cechowania”

- W równaniach Maxwella “ukrywają” się fale elektromagnetyczne  
Fale EM “biegną” z prędkością światła - ich badanie doprowadziło do wykrycia stałości prędkości światła i sformułowania Relatywistycznej Niezmienniczości - transformacji Lorentza - Szczególnej Teorii Względności.

Lekcja nr 2:

Okazuje się, że symetria cechowania określa w jaki sposób cząstki naładowane oddziałują z polem EM

1. skalarne - dla pola E
2. wektorowego - dla pola B  
(bo nie ma ładunków magnetycznych)

$$A' = A + \nabla f(x)$$

gdzie  $f(x)$  dowolna funkcja skalarna

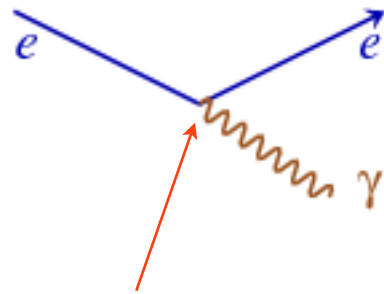
bo: 
$$\vec{\nabla} \times \vec{\nabla} = 0$$

dodatkowa swoboda - symetria równań  
Maxwella ! - Symetria “cechowania”

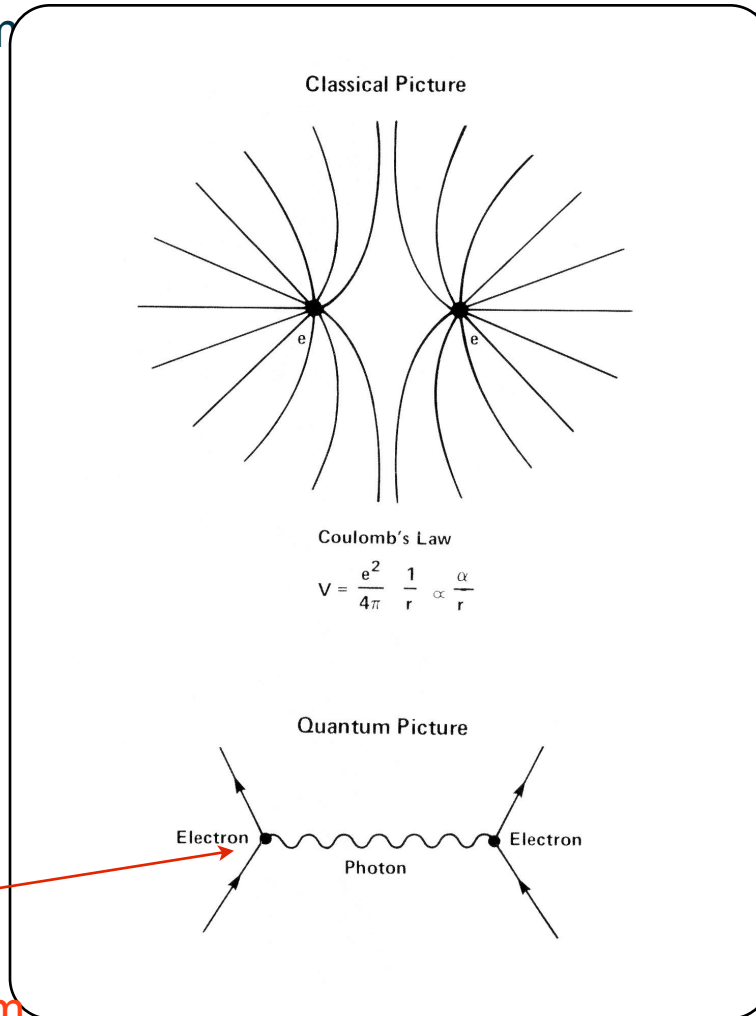


Mikroświat - świat cząstek elementarnych opisywany jest Mechaniką Kwantową.  
Elektron - cząstka “klasycznie” ma w opisie kwantowym przypisaną falę  
“prawdopodobieństwa”

Mikroświat - świat cząstek elem  
Elektron - cząstka “klasycznie”  
“prawdopodobieństwa”



Symetria cechowania określa  
jak foton oddziałuje z elektronem.  
Foton jest “bozonem cechowania”



ra Kwantową.  
fale

Mikroświat - świat cząstek elem  
Elektron - cząstka “klasycznie”  
“prawdopodobieństwa”

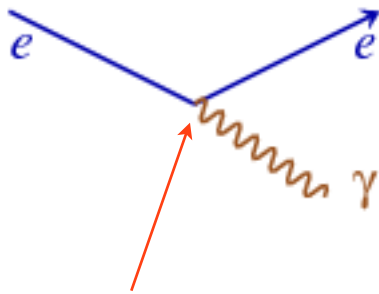
ra Kwantową.  
falę

Classical Picture



### Lekcja nr 3:

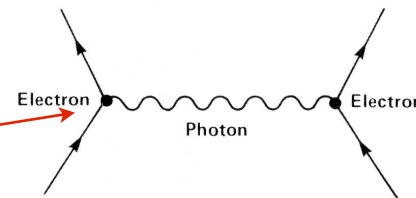
Kwanty pola EM to fotony. Fotony “przenoszą” oddziaływania EM między naładowanymi cząstkami chociaż same nie posiadają ładunku elektrycznego (nie mogą oddziaływać same ze sobą)



Coulomb's Law

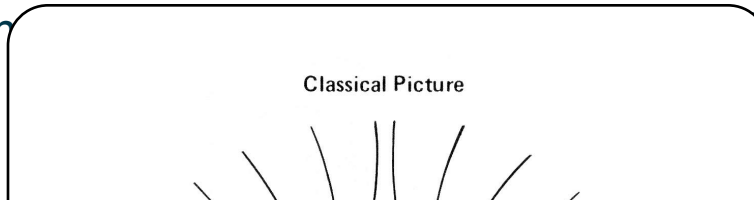
$$V = \frac{e^2}{4\pi} \frac{1}{r} \propto \frac{\alpha}{r}$$

Quantum Picture



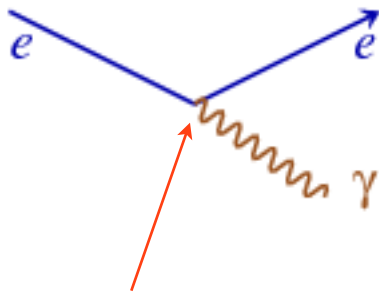
Symetria cechowania określa jak foton oddziałuje z elektronem. Foton jest “bozonem cechowania”

Mikroświat - świat cząstek elem  
Elektron - cząstka “klasycznie”  
“prawdopodobieństwa”

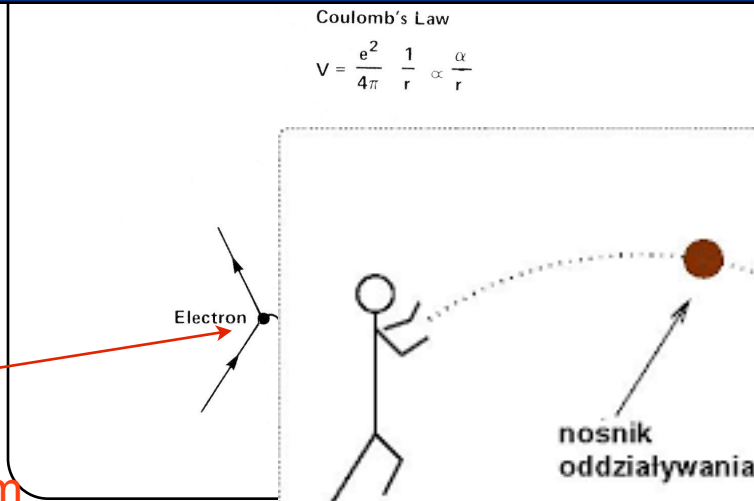


ra Kwantową.  
falę

Lekcja nr 3:  
Kwanty pola EM to fotony. Fotony “przenoszą” oddziaływania EM między naładowanymi cząstkami chociaż same nie posiadają ładunku elektrycznego (nie mogą oddziaływać same ze sobą)



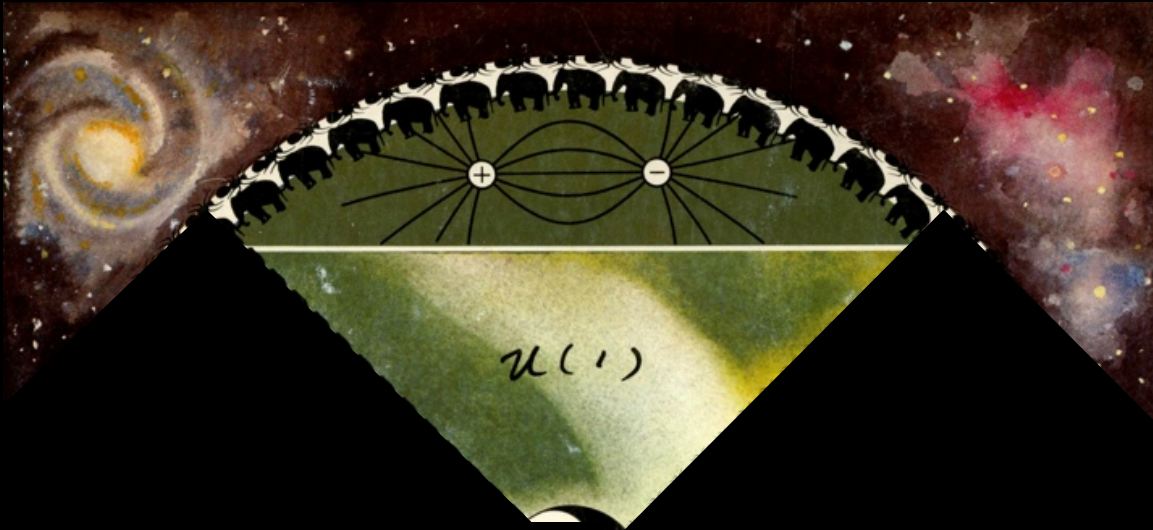
Symetria cechowania określa jak foton oddziałuje z elektronem. Foton jest “bozonem cechowania”



Coulomb's Law

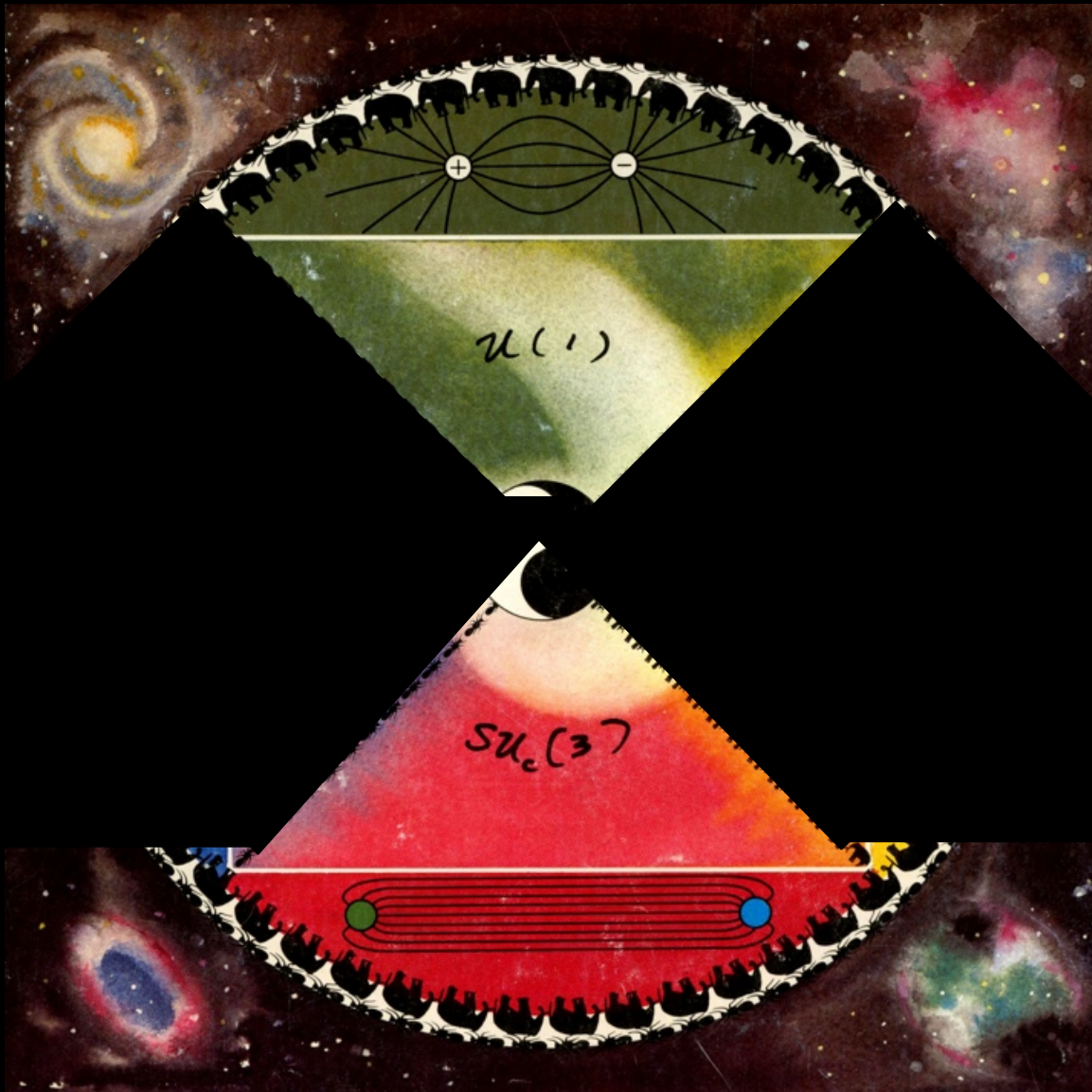
$$V = \frac{e^2}{4\pi} \frac{1}{r} \propto \frac{\alpha}{r}$$





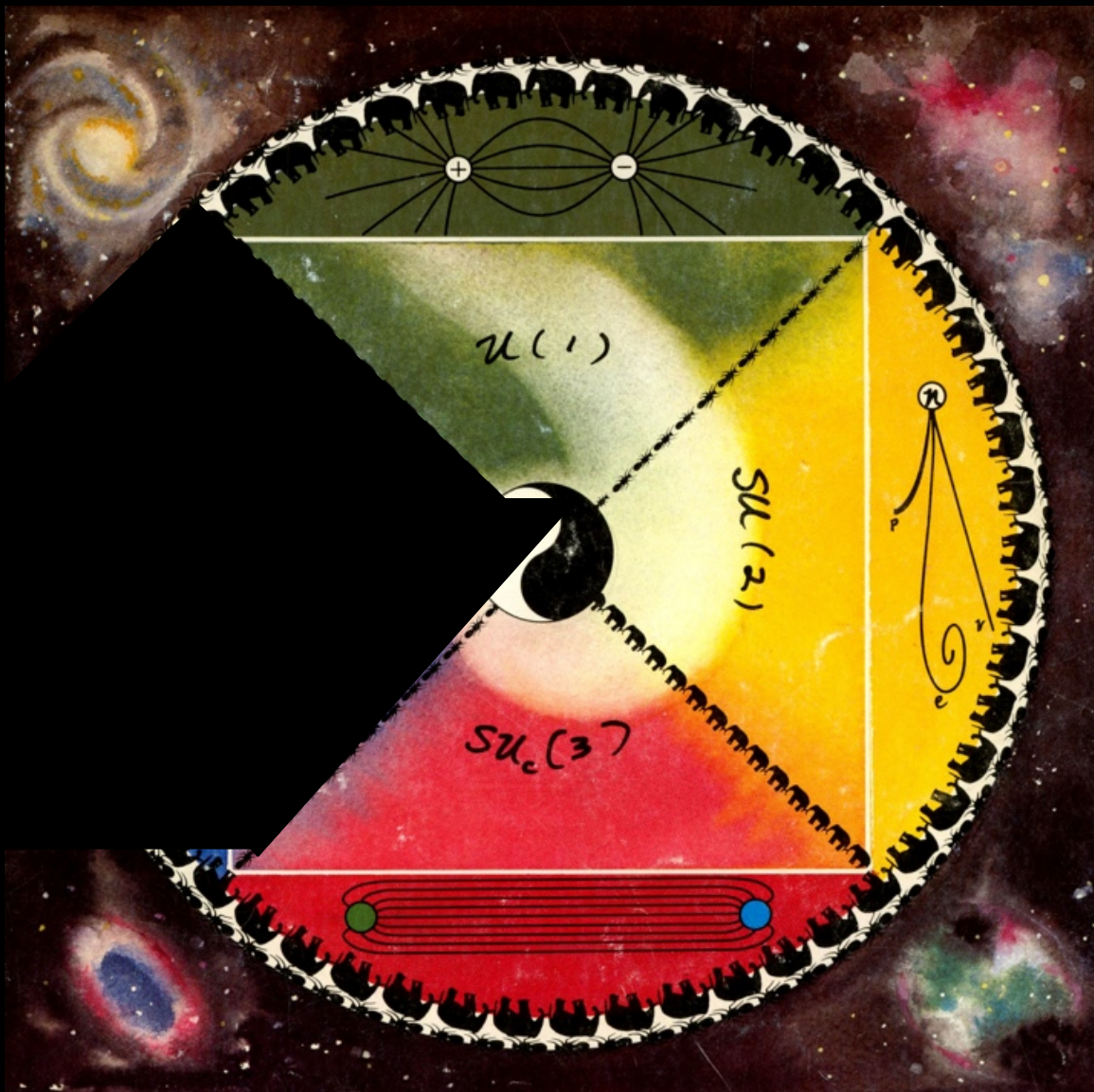
## Oddziaływania EM





Oddziaływania EM

Oddziaływania silne  
(Jądrowe)

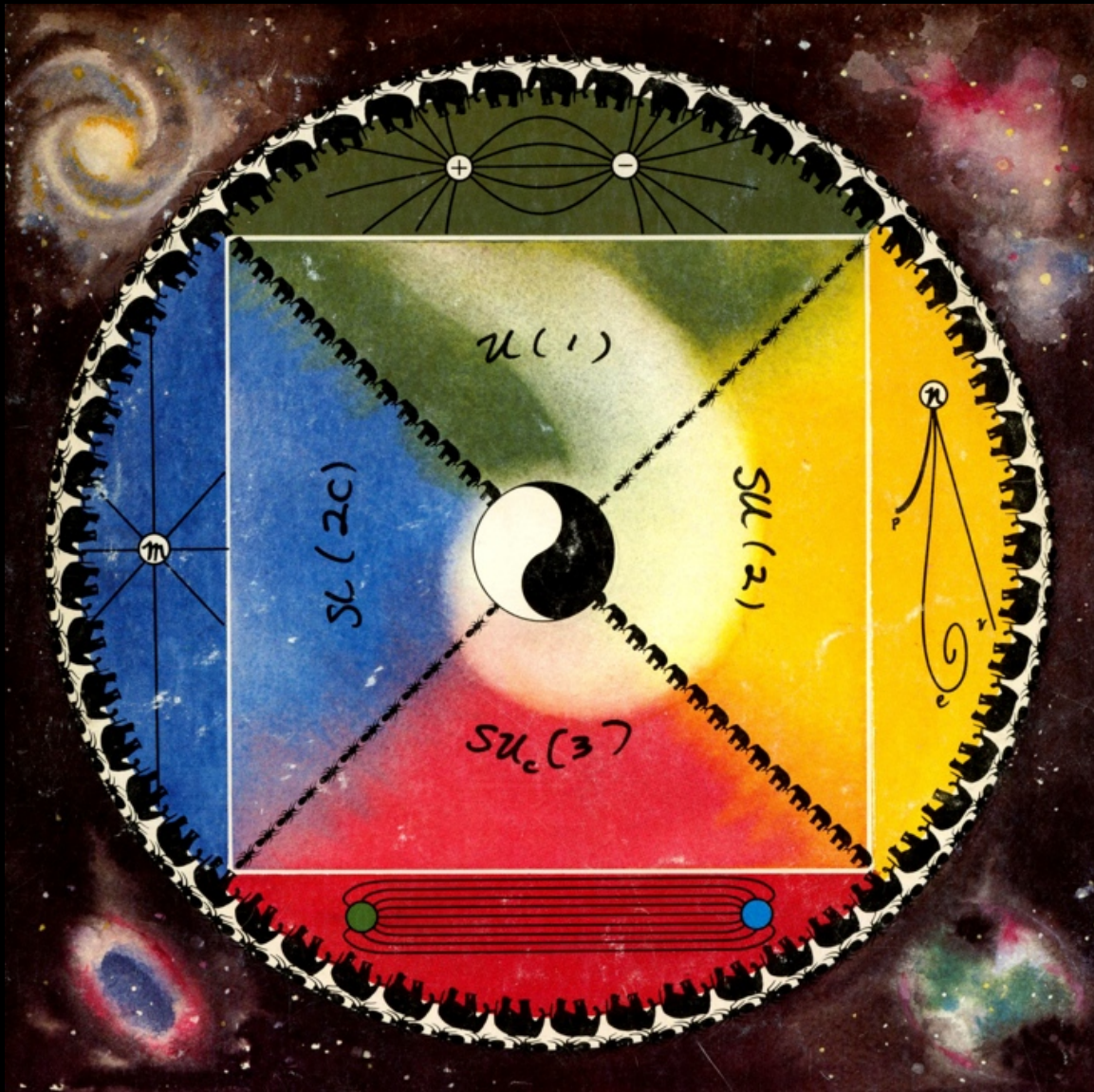


Oddziaływania EM

Oddziaływania słabe

Oddziaływania silne  
(Jądrowe)





Oddziaływania EM

Oddziaływania słabe

Oddziaływania grawitacyjne

Oddziaływania silne (Jądrowe)

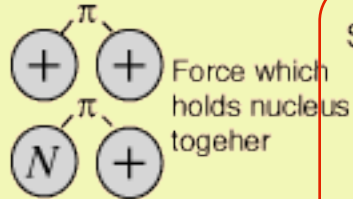
# Rodzaje oddziaływań elementarnych

<i>Strong</i>		<p>Strength <b>1</b></p> <p>Strength <math>\frac{1}{137}</math></p> <p>Strength <math>10^{-6}</math></p> <p>Strength <math>6 \times 10^{-39}</math></p>	<p>Range (m) <math>10^{-15}</math> (diameter of a medium sized nucleus)</p> <p>Range (m) Infinite</p> <p>Range (m) <math>10^{-18}</math> (0.1% of the diameter of a proton)</p> <p>Range (m) Infinite</p>	<p>Particle gluons, <math>\pi</math>(nucleons)</p> <p>Particle photon mass = 0 spin = 1</p> <p>Particle Intermediate vector bosons <math>W^+</math>, <math>W^-</math>, <math>Z_0</math>, mass &gt; 80 GeV spin = 1</p> <p>Particle graviton ? mass = 0 spin = 2</p>
<i>Electro-magnetic</i>				
<i>Weak</i>				
<i>Gravity</i>				

gęstość materii jądrowej:

200 mln T/cm<sup>3</sup>

*Strong*



Strength

1

Range (m)

$10^{-15}$   
(diameter of a medium sized nucleus)

Particle

gluons,  
 $\pi$ (nucleons)

gęstość materii jądrowej:

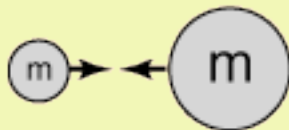
200 mln T/cm<sup>3</sup>

Chcielibyśmy, aby wszystkie oddziaływania były oparte na symetrii cechowania tak, jak od. EM. Takie symetrie mają wiele zalet, np. teorie są policzalne (dają skończone wyniki) w rachunku zaburzeń, rząd po rzędzie - są renormalizowalne. Pytanie jak zbudować taką teorię dla od. słabych i silnych?

Foton jest cząstką o masie 0 - to ważne, bo masa fotonu "psuje" symetrię cechowania!

Induces beta decay

*Gravity*



Strength

$6 \times 10^{-39}$

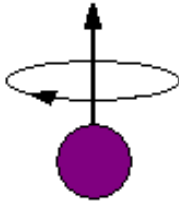
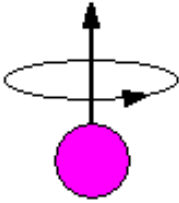
Range (m)

Infinite

spin = 1

Particle

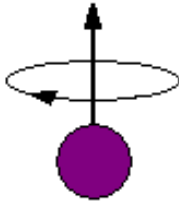
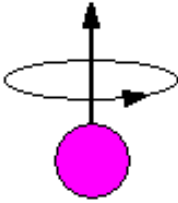
graviton ?  
mass = 0  
spin = 2

<p>NEUTRINO PRAWOSKRĘTNE</p> <p><b>BRAK</b></p>	<p>NEUTRINO LEWOSKRĘTNE</p> 
<p>ANTY-NEUTRINO PRAWOSKRĘTNE</p> 	<p>ANTY-NEUTRINO LEWOSKRĘTNE</p> <p><b>BRAK</b></p>



Symetria odbić jest  
“złamana” (naruszona)



NEUTRINO PRAWOSKRĘTNE  <b>BRAK</b>	NEUTRINO LEWOSKRĘTNE  
ANTY-NEUTRINO PRAWOSKRĘTNE  	ANTY-NEUTRINO LEWOSKRĘTNE  <b>BRAK</b>



Symetria odbić jest  
“złamana” (naruszona)

#### Lekcja nr 4:

Oddziaływania słabe naruszają symetrię odbić. Każdy model opisujący te oddziaływania musi ten fakt uwzględnić



1. Oddziaływania słabe mają krótki zasięg - podczas gdy oddziaływania EM są długozasięgowe. Procesy słabe mogą zmieniać ładunek (np rozpad beta) lub nie (rozpraszanie neutrin). To oznacza, że muszą być neutralne i naładowane nośniki - odpowiedniki fotonów.

$$\Delta E \Delta t \sim \hbar \quad \text{Zasada Heisenberga}$$

$$\Delta E \sim M \Rightarrow \Delta t \sim \frac{\hbar}{M} \Rightarrow R \sim c \frac{\hbar}{M}$$

M - masa bozonu ,  
R - zasięg oddziaływań

Gdy  $M \rightarrow 0$  jak w przypadku fotonów (poruszają się z prędkością światła a więc mają masę spoczynkową 0 ) to zasięg jest nieskończony - tak jak w od. EM

2. Struktura oddziaływań EM jest oparta na symetrii cechowania.  
Ale symetria cechowania nie pozwala na istnienie masywnych fotonów .
3. Chcielibyśmy zbudować teorie oddziaływań słabych na wzór i podobieństwo EM - czyli też jako teorię z cechowaniem ale z masywnymi bozonami W i Z.  
Problem jak to pogodzić?

1. Oddziaływania słabe mają krótki zasięg - podczas gdy oddziaływania EM są długozasięgowe. Procesy słabe mogą zmieniać ładunek (np rozpad beta) lub nie (rozpraszanie neutrin). To oznacza, że muszą być neutralne i naładowane nośniki - odpowiedniki fotonów.

$$\Delta E \Delta t \sim \hbar \quad \text{Zasada Heisenberga}$$

$$\Delta E \sim M \Rightarrow \Delta t \sim \frac{\hbar}{M} \Rightarrow R \sim c \frac{\hbar}{M}$$

M - masa bozonu ,  
R - zasięg oddziaływań

Lekcja nr 5:

Symetria cechowania nie pozwala na wprowadzenie mas bozonów przenoszących oddziaływania - naruszałoby to tę symetrię - a do opisu oddziaływań słabych potrzebne są masywne bozony W i Z. Rozwiązanie tego problemu tkwi w sposobie “naruszania” symetrii - potrzebna są cząstki które “spontanicznie naruszają symetrię” czyli bozony Higgsa

Problem jak to pogodzić?

Symetrię teorii można “popsuć” dodając takie oddziaływanie które po prostu nie zachowuje symetrii - oddziaływania słabe nie zachowują symetrii odbić przestrzennych bo neutrino ma tylko jeden stan spinowy. **To jest jawne naruszenie symetrii.**

np. siła Lorentza działająca na ładunek poruszający się w polu magnetycznym nie jest centralna a więc narusza symetrie obrotową

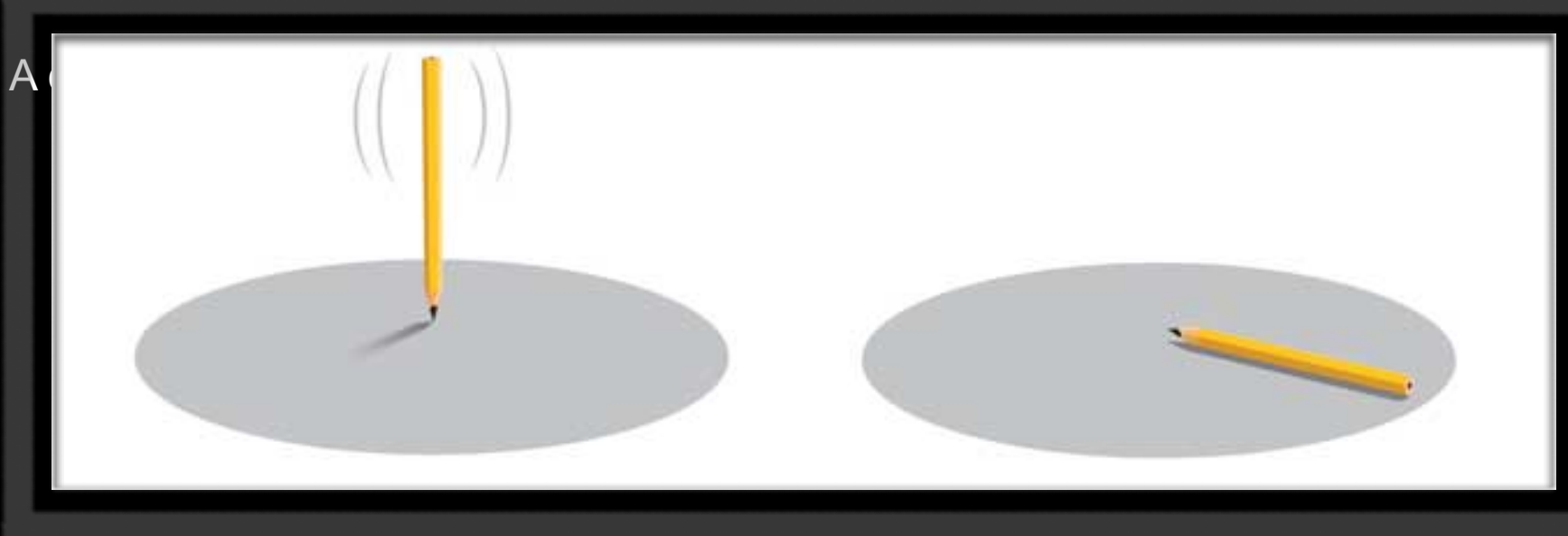
W teoriach kwantowych sam opis oddziaływań nie wystarcza. Trzeba jeszcze zdefiniować stan podstawowy - o najniższej energii - stan próżni.

A co z symetrią stanu podstawowego?

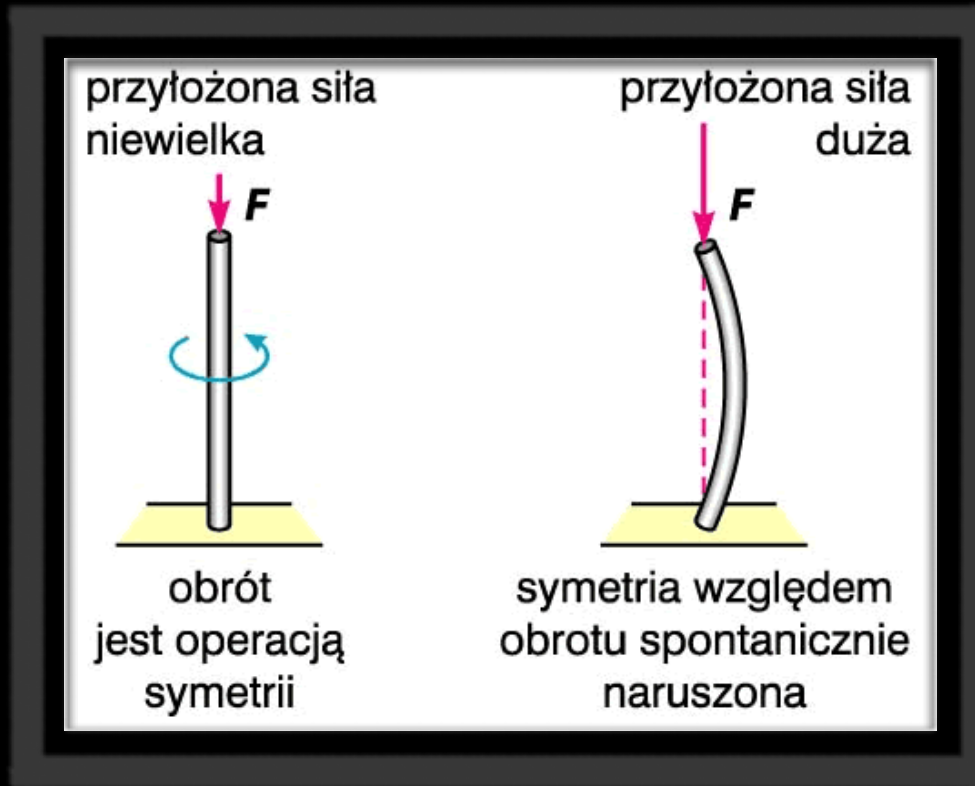
Symetrię teorii można “popsuć” dodając takie oddziaływanie które po prostu nie zachowuje symetrii - oddziaływania słabe nie zachowują symetrii odbić przestrzennych bo neutrino ma tylko jeden stan spinowy. **To jest jawne naruszenie symetrii.**

np. siła Lorentza działająca na ładunek poruszający się w polu magnetycznym nie jest centralna a więc narusza symetrie obrotową

W teoriach kwantowych sam opis oddziaływań nie wystarcza. Trzeba jeszcze zdefiniować stan podstawowy - o najniższej energii - stan próżni.

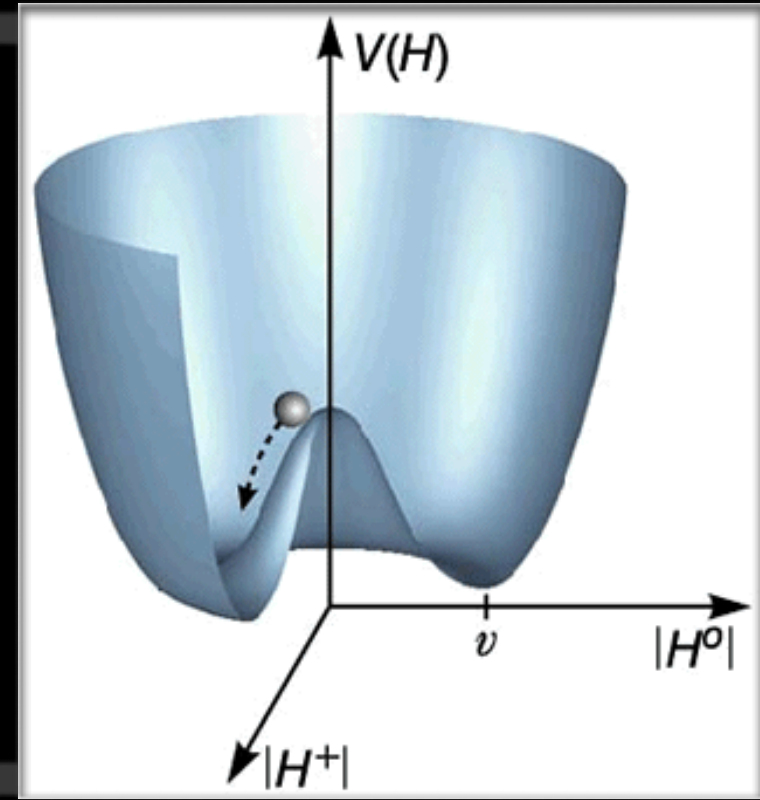
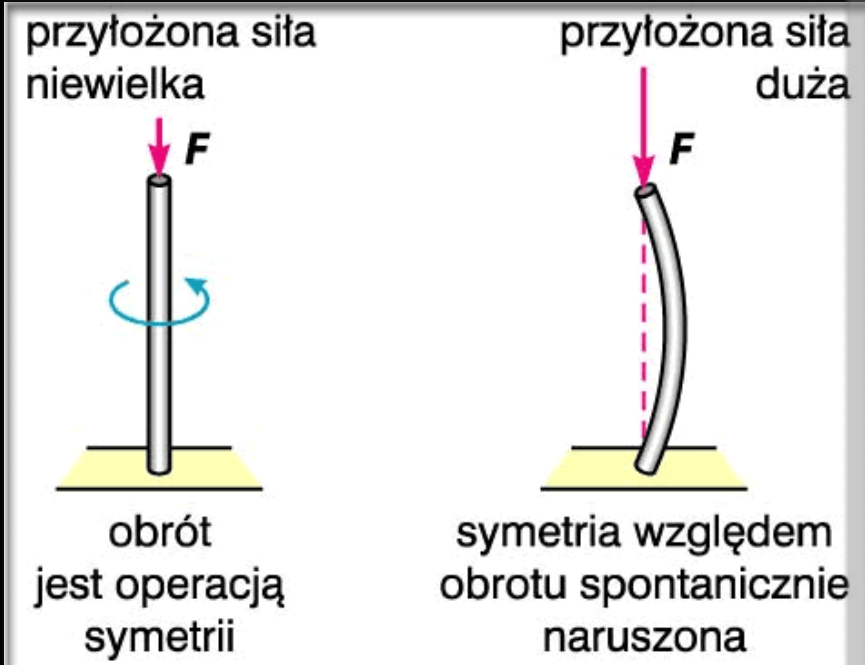


Pręt ma symetrię obrotową. Jeśli jednak przyłożymy siły nacisku działające na oba jego końce wzdłuż jego osi, to przy pewnej wartości tych sił pręt wygnie się dążąc do osiągnięcia stanu o minimalnej energii. Stan o najniższej energii będzie stanem wygiętego pręta (stan “próżni”)



Pręt wygięty można obracać wokół osi pionowej bez zmiany jego energii. Jednakże wybór jednego z (a priori równoważnych) kierunków wygięcia narusza symetrię obrotową.

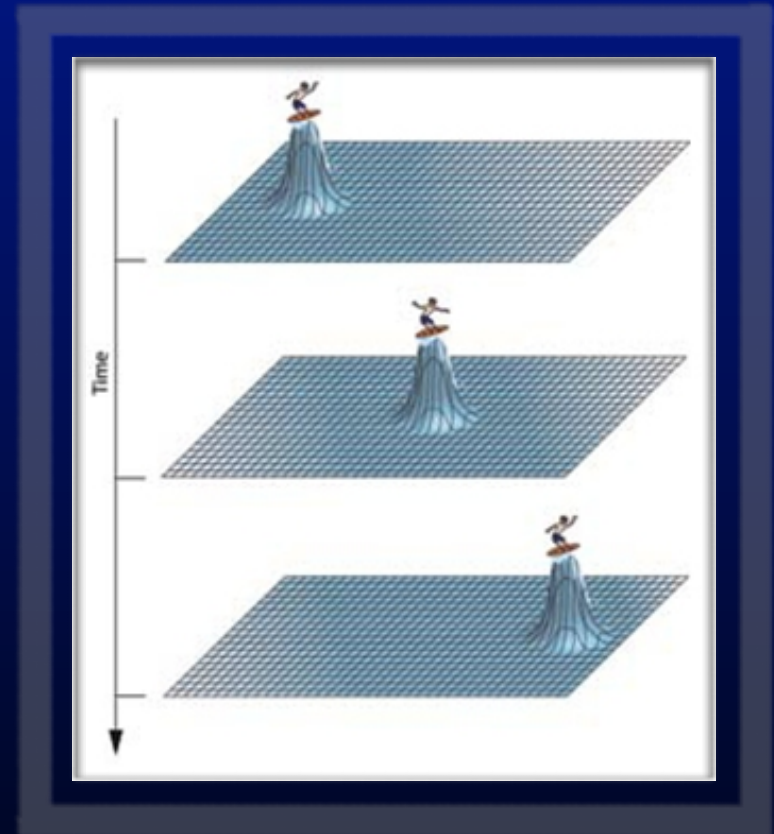
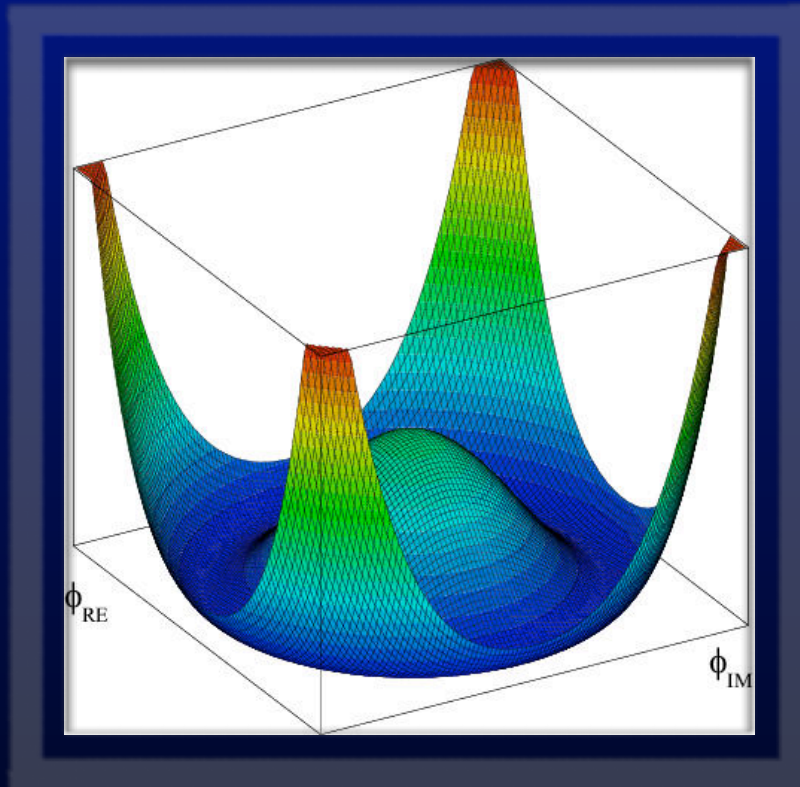
Pręt ma symetrię obrotową. Jeśli jednak przyłożymy siły nacisku działające na oba jego końce wzdłuż jego osi, to przy pewnej wartości tych sił pręt wygnie się dążąc do osiągnięcia stanu o minimalnej energii. Stan o najniższej energii będzie stanem wygiętego pręta (stan “próżni”)



Pręt wygięty można obracać wokół osi pionowej bez zmiany jego energii. Jednakże wybór jednego z (a priori równoważnych) kierunków wygięcia narusza symetrię obrotową.

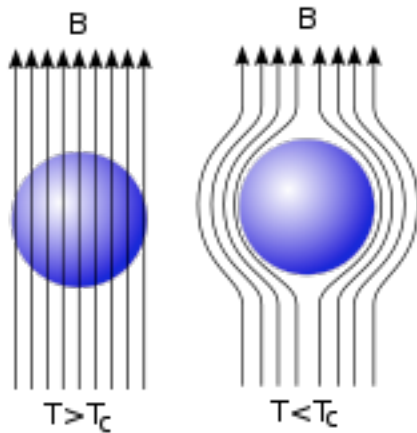
# Potencjał typu “meksykańskiego kapelusza”

Spontaniczne naruszenie symetrii

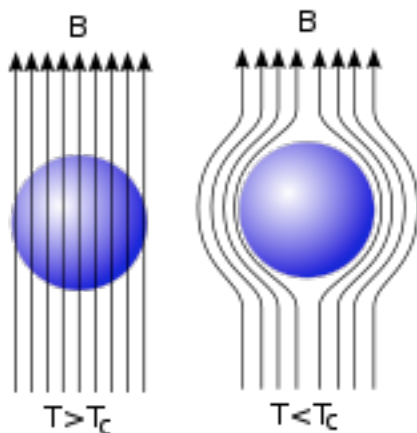


cząstki elementarne można rozumieć jako przejaw drgań pola - np fotony jako drgania pola EM. W meksykańskim kapeluszu “drga” bozon Higgsa, dla którego wybór stanu podstawowego narusza symetrię cechowania !



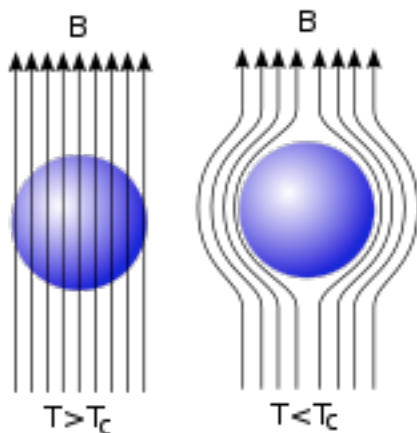


Oddziaływanie cząstek z polem Higgsa które wypełnia próżnię i ma niezerową wartość próżniową (SNS) działa jak efekt Meissnera w nadprzewodniku - ogranicza zasięg oddziaływań a to obserwujemy jako pojawienie się masywnych cząstek - np bozonów W



Oddziaływanie cząstek z polem Higgsa które wypełnia próżnię i ma niezerową wartość próżniową (SNS) działa jak efekt Meissnera w nadprzewodniku - ogranicza zasięg oddziaływań a to obserwujemy jako pojawienie się masywnych cząstek - np bozonów W

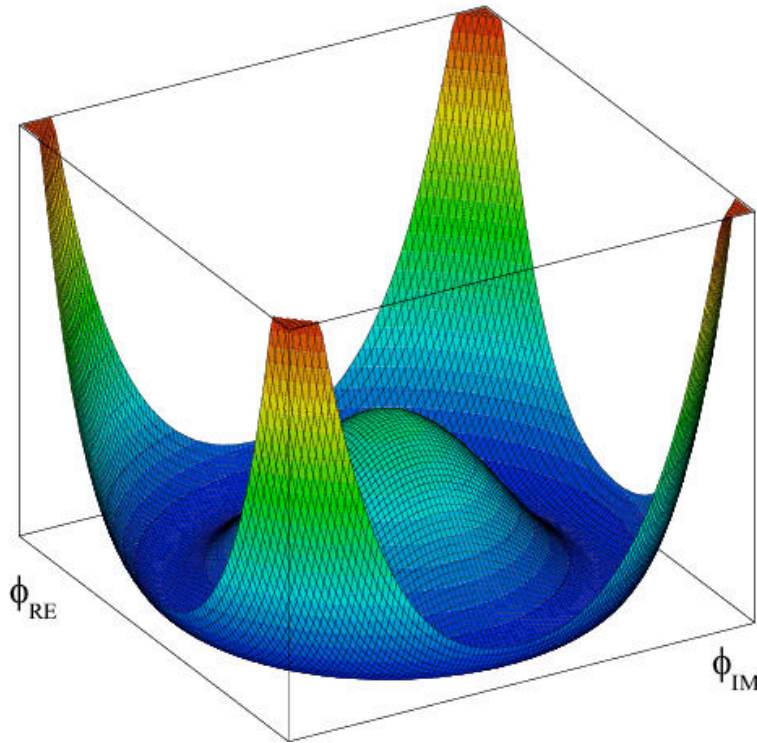
Jeszcze inaczej - Pole Higgsa działa jak tarcie (poprzez oddziaływania) i spowalnia cząstki - ale nietrywialnie bo cząstki bezmasowej nie da się “spowolnić” - chyba, że zamieniając jej energię kinetyczną na masę. To właśnie robi pole Higgsa po spontanicznym naruszeniu symetrii.



Oddziaływanie cząstek z polem Higgsa które wypełnia próżnię i ma niezerową wartość próżniową (SNS) działa jak efekt Meissnera w nadprzewodniku - ogranicza zasięg oddziaływań a to obserwujemy jako pojawienie się masywnych cząstek - np bozonów W

A do czego potrzebna jest symetria cechowania, którą zresztą bozon Higgsa narusza spontanicznie?

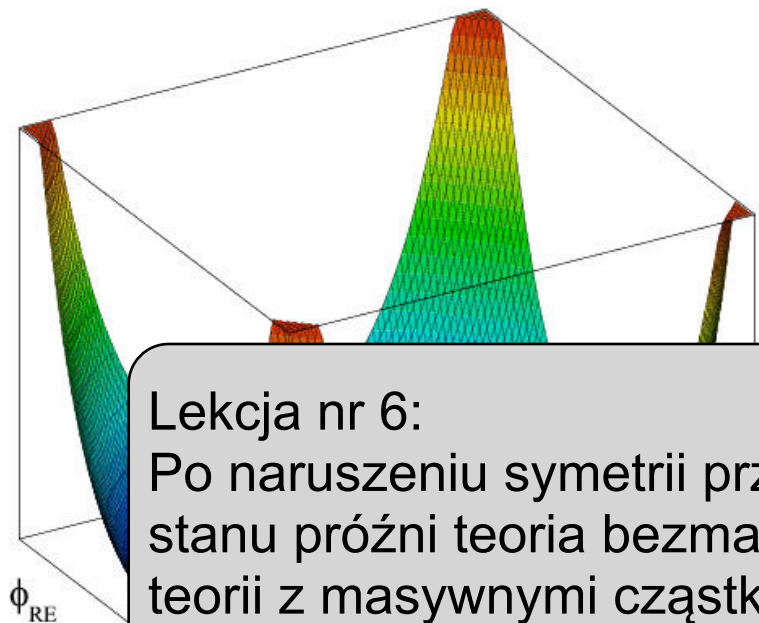
Jeszcze inaczej - Pole Higgsa działa jak tarcie (poprzez oddziaływania) i spowalnia cząstki - ale nietrywialnie bo cząstki bezmasowej nie da się "spowolnić" - chyba, że zamieniając jej energię kinetyczną na masę. To właśnie robi pole Higgsa po spontanicznym naruszeniu symetrii.



Przy naruszeniu symetrii poprzez stan próżni pojawia się problem: przejście od jednej konfiguracji próżni do drugiej wymaga bardzo mało energii - tzw płaskie kierunki.

zamiast drgań (czyli cząstek) mamy uciekanie wzdłuż płaskich kierunków co oznacza pojawienie się bezmasowych cząstek - bozonów Goldstona, których nie obserwujemy!!

Ale dzięki symetrii cechowania mamy swobodę teorii i możemy pozbyć się tych niechcianych cząstek !!



Przy naruszeniu symetrii poprzez stan próżni pojawia się problem: przejście od jednej konfiguracji próżni do drugiej wymaga bardzo mało energii - tzw. blokier kierunku

Lekcja nr 6:

Po naruszeniu symetrii przez pole cząstek Higgsa i wybraniu jednego stanu próżni teoria bezmasowych cząstek staje się równoważna teorii z masywnymi cząstkami i cząstką Higgsa “drgającą” wokół “porządnej”, zerowej próżni **nazywa się to mechanizmem Higgsa**  
**Masy cząstek są wynikiem oddziaływań z polem Higgsa.**

Ale dzięki symetrii cechowania mamy swobodę teorii i możemy pozbyć się tych niechcianych cząstek !!

Fermiony i bozony - pod względem spinu (połówkowe to fermiony)

Leptony - nieoddziałujące silnie (grawitacyjnie, elektromagnetycznie i słabo)

Hadrony - oddziałujące silnie ( a także grawitacyjnie, elektromagnetycznie i słabo)

Hadrony dzielą się na mezony i bariony.

Mezony są bozonami a bariony fermionami

Leptony fundamentalne (elementarne) są fermionami

Fermiony i bozony - pod względem spinu (połówkowe to fermiony)

Leptony - nie składają się z kwarków (elektron, mion, tauon i ich neutrina)

Hadrony -

Hadrony c

Mezony s

Leptony fu

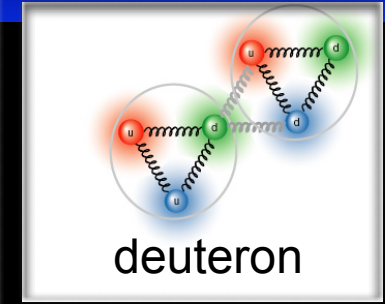
Lekcja 7.

Hadronów jest dużo za dużo aby naprawdę były elementarne.



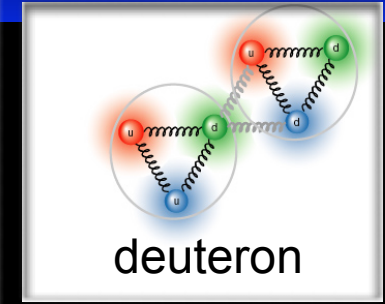


Źródłami oddziaływań silnych są **kwarki**, nośnikami **gluony** - odpowiedniki fotonów.



- krótkozasięgowe - duże masy gluonów?
- Okazuje się, że nie - gluony są bezmasowe tak jak fotony
- Oddziaływania nie tylko mają ograniczony zasięg ale w dodatku kwarków nie można wydzielić z obserwowanych hadronów - **“Uwięzienie kwarków”**

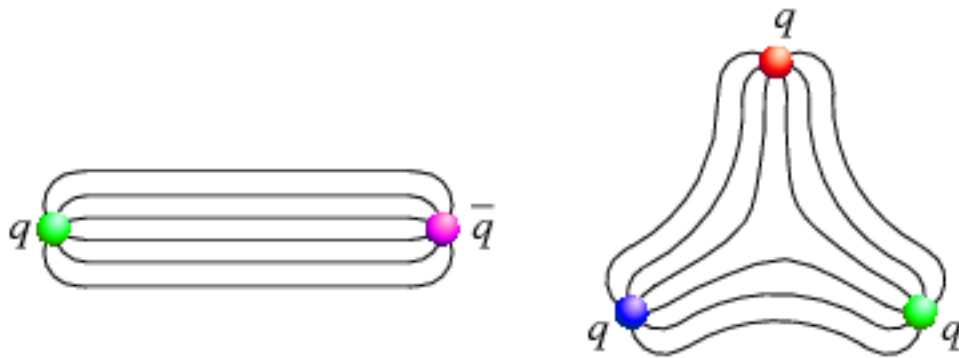
Źródłami oddziaływań silnych są **kwarki**, nośnikami **gluony** - odpowiedniki fotonów.



- krótkozasięgowe - duże masy gluonów?
- Okazuje się, że nie - gluony są bezmasowe tak jak fotony
- Oddziaływania nie tylko mają ograniczony zasięg ale w dodatku kwarków nie można wydzielić z obserwowanych hadronów - **“Uwięzienie kwarków”**

Wzajemne oddziaływania gluonów ze sobą całkowicie zmieniają własności teorii - oddziaływania są bardzo silne dla małych energii (dużych odległości) i stają się słabsze przy dużych energiach (małe odległości).  
To “odwrotnie” niż w elektrodynamice - tam im dalej tym słabiej - dlatego, że fotony nie oddziałują ze sobą (nie mają ładunku)

Stąd “widać” pośrednio kwarki i gluony w protonie podczas oddziaływania z wysokoenergetycznymi fotonami ale bardzo trudno je “dostrzec” obserwując np proton w spoczynku.



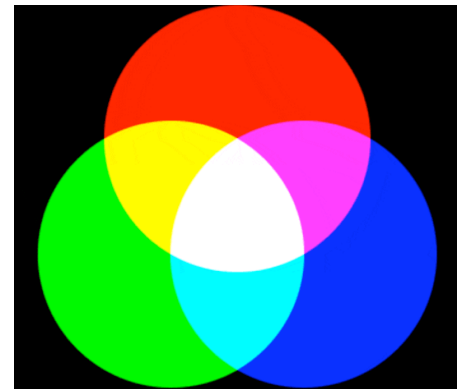
Skąd wiadomo o **kolorze**?

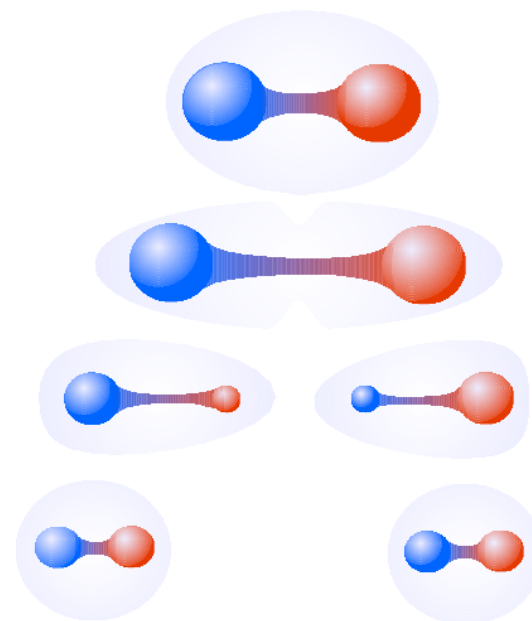
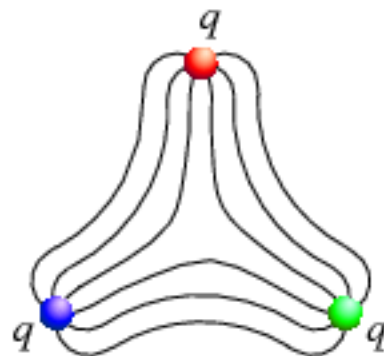
$\Delta^{++}$  - cząstka która musi być zbudowana z 3 kwarków “up” w tym samym stanie spinowym  $+1/2$  - naruszałoby to zakaz Pauliego

Koncept “koloru” rozwiązuje problem

Są też inne potwierdzenia “koloru” mimo, że koloru nie da się zobaczyć tak jak i kwarków i gluonów.

Jesteśmy zbudowani z gluonów!





$$E=mc^2$$

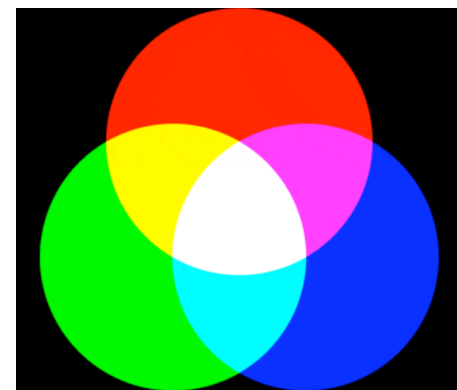
Skąd wiadomo o **kolorze**?

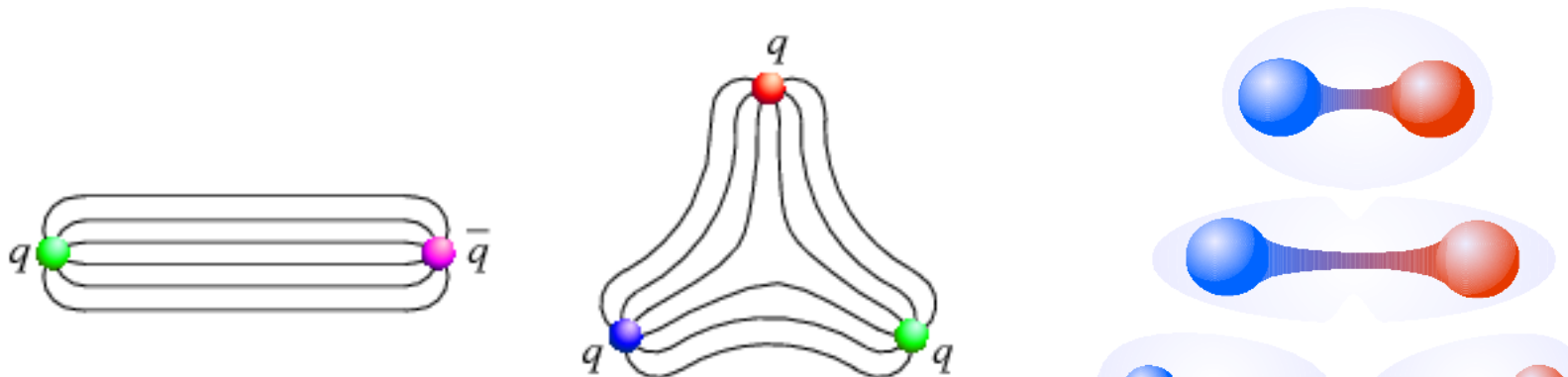
$\Delta^{++}$  - cząstka która musi być zbudowana z 3 kwarków “up” w tym samym stanie spinowym +1/2 naruszałoby to zakaz Pauliego

Koncept “koloru” rozwiązuje problem

Są też inne potwierdzenia “koloru” mimo, że koloru nie da się zobaczyć tak jak i kwarków i gluonów.

Jesteśmy zbudowani z gluonów!

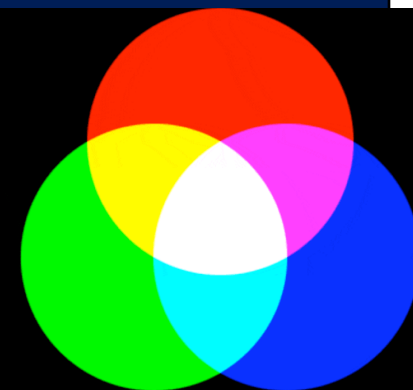


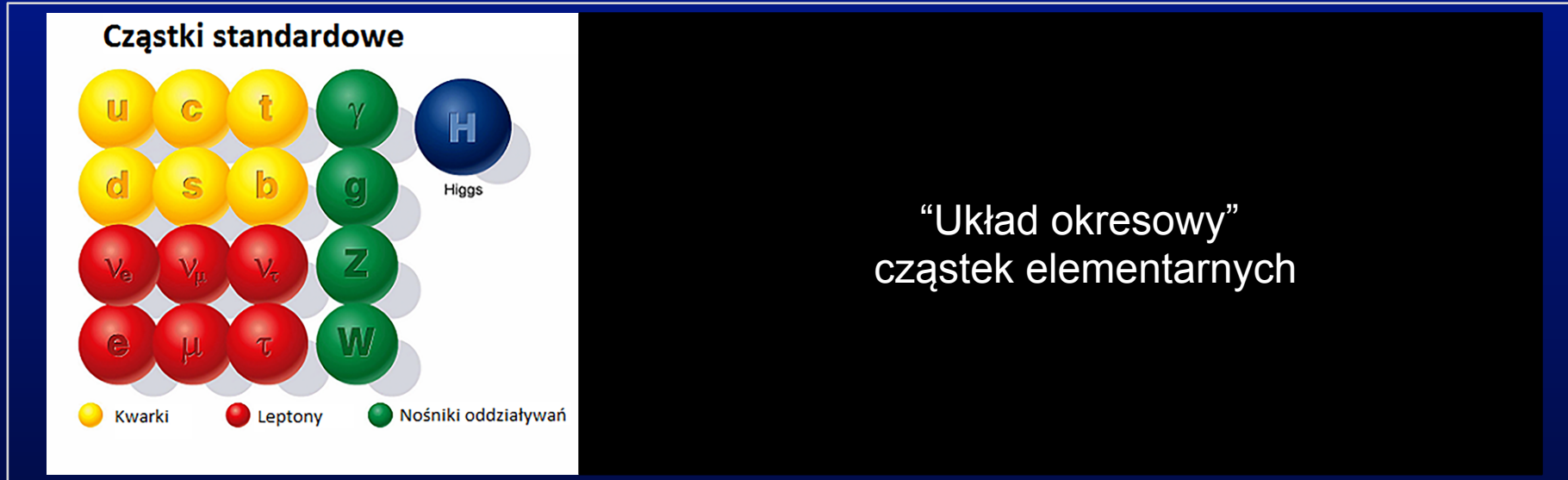


## Lekcja nr 8:

Kwarki oddziałują silnie wymieniając gluony. Mają 3 ładunki “kolorowe”. Kwarki i gluony pozostają uwięzione w obserwowanych stanach związanych - w hadronach (np w nukleonach) . Niemożność wydzielenia kwarków i gluonów i obserwacji cząstek “kolorowych” jest związana z oddziaływaniem gluonów ze sobą. Gdyby zapachów kwarków było kilkanaście a nie 6 to teoria znowu zmieni i uwięzienia by nie było :-)

Jesteśmy zbudowani z gluonów!





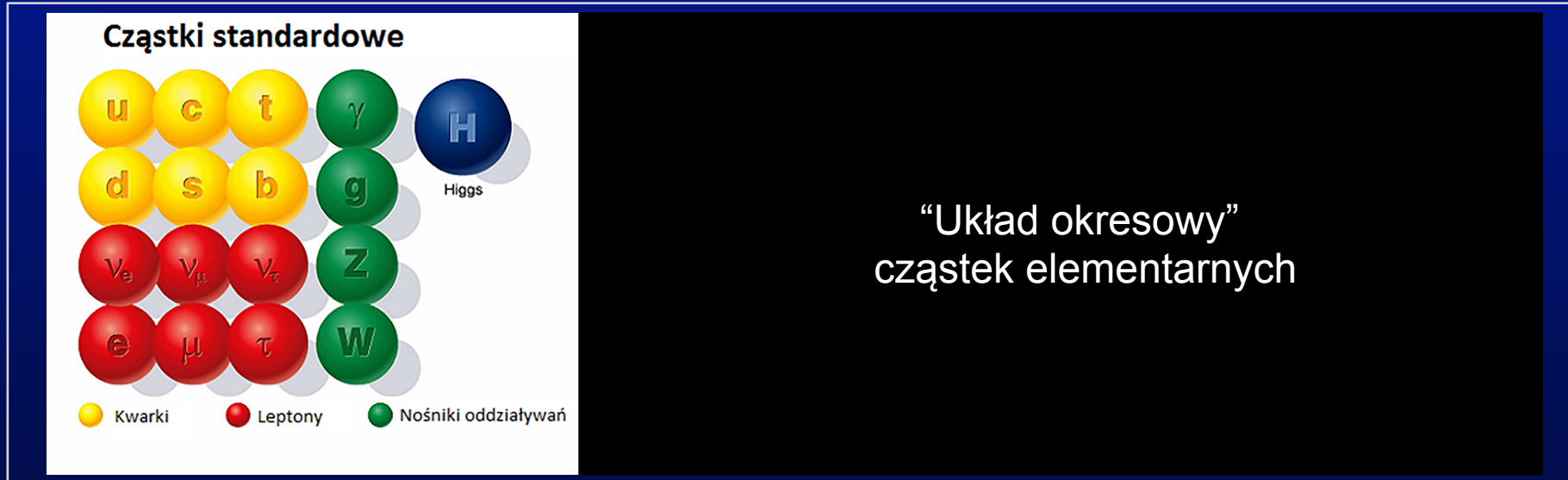
“Układ okresowy”  
cząstek elementarnych

- François Englert i Robert Brout,
- Peter Higgs,
- Gerald Guralnik, Carl R. Hagen i Tom Kibble.

Wszystkie prace były rozwinięciem idei, którą wcześniej zaproponował amerykański fizyk Philip Warren Anderson.

Za przewidzenie istnienia bozonu Higgsa oraz za eksperymentalne potwierdzenie jego istnienia Nagrodą Nobla w 2013 wyróżnieni zostali Peter Higgs oraz François Englert.





“Układ okresowy”  
cząstek elementarnych

- François Englert i Robert Brout,
- Peter Higgs,
- Gerald Guralnik, Carl R. Hagen i Tom Kibble.

Wszystkie prace były rozwinięciem idei, którą wcześniej zaproponował amerykański fizyk Philip Warren Anderson.

Za przewidzenie istnienia bozonu Higgsa oraz za eksperymentalne potwierdzenie jego istnienia Nagrodą Nobla w 2013 wyróżnieni zostali Peter Higgs oraz François Englert.

“ Tego lata odkryłem coś kompletnie  
bezużytecznego”  
Peter Higgs, 1964

# Odkrycie bozonu Higgsa: CERN 4 lipca 2012, potwierdzenie: kwiecień 2013



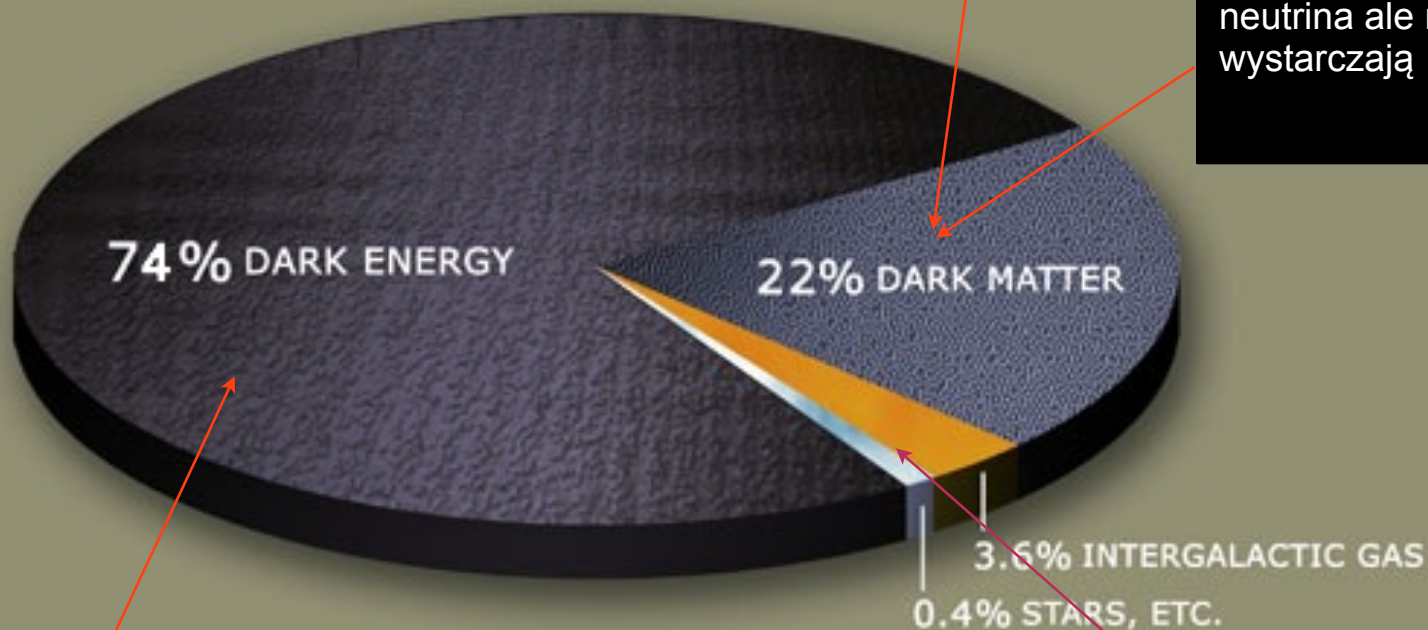




Gdzie tu “tkwi” grawitacja !!!

Masy cząstek:  
neutrino - bardzo mała masa  
elektron - 0.5 MeV ( $\sim 10^{-30}$  kg)  
kwark t - 174 000 MeV

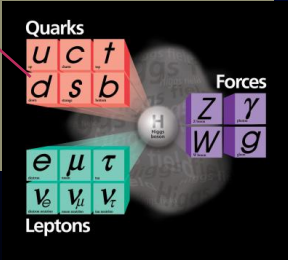
ponad 350 000 razy większa  
Dlaczego?



ruch gwiazd w galaktykach wymaga obecności ciemnej materii. Vera Rubin, 1970

mogłyby być neutrina ale nie wystarczają

Powoduje ekspansję wszechświata, ma charakter odpychającej grawitacji





*Dziękuję za uwagę*

