

Fizyka współczesna

Rzeszów University of Technology

11 października 2023

Vitalii Dugaev

Wydział Matematyki i Fizyki Stosowanej
Katedra Fizyki i Inżynierii Medycznej
Budynek L, pokój L-27.111B, tel. 17-865 1917
Email: vdugaev@prz.edu.pl

Strona domowa:
<https://dugaev.v.prz.edu.pl/> → Lectures

- L.D. Landau, J.M. Lifszyc. Mechanika (WP, Warszawa, 2012)
- L.D. Landau, J.M. Lifszyc. Teoria pola (WP, Warszawa, 2009)
- L.D. Landau, J.M. Lifszyc. Mechanika kwantowa (WP, Warszawa, 2012)
- W.B. Bierestecki, J.M. Lifszyc, L.P. Pitajewski. Elektrodynamika kwantowa (WP, Warszawa, 2011)
- P.A. Tipler, R.A. Llewellyn. Modern Physics (W. H. Freeman & Co., New York, 2012).

Świat z punktu widzenia fizyki współczesnej:

- składa się z materii i pól w przestrzeni
- z punktu widzenia mechaniki kwantowej materia powinna być opisana przez pole materii
- mówimy o materii (opisywanej jak pole materii) i o polu, związanym z oddziaływaniem między cząstkami materii
- materia może istnieć w różnych stanach: pojedyncze cząsteczki, atomy, gazy, cieć, ciała stałe, plazma, ...
- pola: grawitacyjne, elektromagnetyczne, słabe i silne
- elektromagnetyczne, słabe i silne pole można opisać jak **pole cechowania**
- wymiarowość przestrzeni D nie jest wyjaśniona (ale na pewno $D > 4$)
- geometria przestrzeni nie jest euklidesowa
- geometria przestrzeni zmienia się w czasie
- geometria przestrzeni zależy od istnienia w niej materii
- przestrzeń jest "zakrzywiona"

1. Cząstki i pola

Cząstki mogą być elementarne lub złożone (składające się z cząstek elementarnych). Cząstki elementarne: elektron, muon, neutrino, ... Cząstki złożone: proton p, neutron n, ...

Cząstki elementarne

- dwa rodzaje cząstek elementarnych - **leptony i kwarki** (i bozon Higgsa!)
- leptony: elektron e^- , muon μ^- , tau τ^- , neutrino ν_e, ν_μ, ν_τ
- kwarki różnią się "zapachem": up (u), down (d), strange (s), charmed (c), beautiful (b), top (t) i "kolorem": żółty, niebieski, czerwony
- każda cząstka elementarna ma pewną wartość ładunku i spinu S (własnego momentu pędu)
- jeśli spin połówkowy - cząstka jest fermionem, jeśli spin całkowity - bozonem
- każdej cząstce odpowiada pewna antycząstka (np., elektronu odpowiada pozyton $\bar{e}^- = e^+$)

Cząstki złożone: mezony i bariony

- kwarki nie mogą istnieć pojedynczo (siły przyciągania między kwarkami rosną z odległością)
- kwarki tworzą mezony (piony $\pi^+ = u\bar{d}$, $\pi^- = d\bar{u}$, $\pi^0 = d\bar{d} + u\bar{u}$) i bariony
- mezony składają się z dwóch kwarków: kwark+antykwar
- bariony (proton $p = uud$, neutron $n = ddu$) składają się z trzech kwarków różnych kolorów
- mezony i bariony nie mają koloru (w ich skład wchodzi kwarki różnych kolorów)

Oddziaływania między cząstkami elementarnymi

- dwa rodzaje oddziaływań między cząstkami elementarnymi: silne i słabe oddziaływania
- oddziaływanie silne jest związane z kolorem kwarków
- oddziaływanie słabe jest związane z zapachem kwarków
- adrony - cząstki z silnym oddziaływaniem (mezony i bariony - to są adrony)

Kwanty pól oddziaływania

- w mechanice kwantowej pole oddziaływania opisuje się przez kwanty tego pola
- kwantem pola elektromagnetycznego jest foton
- kwant pola oddziaływania słabego - W albo Z bozon
- kwant pola oddziaływania silnego - gluon

Istnieje jeszcze bozon Higgsa!

Oddziaływanie elektromagnetyczne

- pole elektromagnetyczne przenosi oddziaływanie między cząstkami z ładunkiem niezerowym
- kwant pola elektromagnetycznego - foton

Oddziaływanie grawitacyjne

- cząstki znajdują się w 4-wymiarowej czasoprzestrzeni
- grawitacja jest związana z zakrzywieniem czasoprzestrzeni

Ale czy na pewno w 4-wymiarowej czasoprzestrzeni? - Odpowiedź negatywna

- *mechanika Lagrange'a* daje równania, które **opisują ruch cząstek** - równania ruchu
- *mechanika Lagrange'a* daje równania, które **opisują oddziaływania elektromagnetyczne, słabe i silne**
- *symetria* równań ruchu ma znaczenie kluczowe
- istnieje symetria globalna i symetria lokalna
- z każdą symetrią globalną jest związane prawo zachowania (twierdzenie Noether)
- przykład z mechaniki - jeśli równanie ruchu cząstki nie zmienia się przy translacji czasu ($t \rightarrow t + \Delta t$), my dostajemy prawo zachowania energii
- jeśli nakładamy warunek symetrii lokalnej - operator przekształcenia $T(\vec{r})$ zależy od punktu przestrzeni (czasoprzestrzeni) - dostajemy pewne pole, które towarzyszy symetrii lokalnej - **pole cechowania**
- każde oddziaływanie (elektromagnetyczne, słabe, silne) jest związane z pewną lokalną symetrią równań, które opisują ruch cząstek