

# Kosmologia i Cząstki Elementarne

Warszawa-19.02.2007r

Badania prowadzone w

Instytucie Fizyki

Uniwersytetu Łódzkiego

# Nieprzemieniana teoria pola

## Zespół:

Joanna i Cezary Gonerowie, Piotr Kosiński , Paweł Maślanka  
i doktoranci: Krzysztof Andrzejewski, Katarzyna Bolonek, Michał  
Wodzisławski

## Przedmiot badań

Zagadnieniami związane z kwantową teorią pola zdefiniowaną na niekomutatywnej czasoprzestrzeni:

$$[x^\mu, x^\nu] = i\Theta^{\mu\nu},$$

która jest modelowana przez zwykłą czasoprzestrzeń wyposażoną w dodatkowy iloczyn gwiazdkowy;

$$(F_1 * F_2)(a) = \mu \left( e^{\frac{i}{2} \Theta^{\mu\nu} \partial_\mu \otimes \partial_\nu} F_1 \otimes F_2 \right)(a)$$

**Otrzymane teorie są nielocalne.** Zależnie od charakteru niekomutatywności współrzędnych nielokalność ma charakter typu przestrzennego lub również czasowego. W tym ostatnim przypadku kwantowanie, przynajmniej w „naiwnej” wersji, prowadzi do szeregu patologii:

- łamanie unitarności,
- naruszanie przyczynowości,
- załamanie się zwykłego schematu renormalizacyjnego (mieszanie UV/IR).

Nasze badania dotyczą dwóch kierunków:

1. Opisu symetrii czasoprzestrzennych w takich sytuacjach poprzez wykorzystanie pojęć związanych z teorią grup kwantowych; związane są z tym również badania nad konstrukcją symetrii lokalnych i symetrii związanych z nieliniowymi realizacjami grup.
2. Kwestii możliwości sformułowania, przynajmniej w sektorze perturbacyjnym takiej procedury kwantyzacji, która prowadziłaby do unitarnej teorii kwantowej. W literaturze zaproponowano kilka ad hoc metod modyfikacji standardowej procedury kwantyzacji, lecz wydaje się nam, że żadna z nich nie jest poprawna.

W perspektywie planujemy badania związane z podejściem „world-line” do kwantowej teorii pola, w szczególności do problemu produkcji cząstek w silnych polach. Drugim tematem (planowanym) jest problem opisu twistorowej konstrukcji amplitud (drzewowych) w ramach tradycyjnych teorii pola.

# Spektroskopia hadronów

## Zespół:

Michał Majewski -współpraca z  
G.V. Meshcheryakov,  
V.A.Meshcheryakov  
i S.B. Gerasimov

## Przedmiot badań:

Spektroskopia hadronów, w szczególności opis multipletów unitarnej symetrii  $SU(3)$  - podstawowych i wyższych. Ich ważnym motywem jest poszukiwanie i identyfikacja glueballów.

## Otrzymane wyniki:

Znane wzory masowe złamanej symetrii unitarnej dla nonetów:

Gell–Mana–Okubo (GMO),  
Schwingera (S)  
i Idealnego (I)

zostały wyprowadzone w jednolitym postępowaniu w „modelu komutatorów egzotycznych”.

Jest to oryginalny model sformułowany w UŁ w latach 80-tych.

## Model komutatorów egzotycznych

Wychodząc z założenia o znikaniu ciągu komutatorów egzotycznych otrzymuje się układ algebraicznych równań definiujących (master equations (ME)). Równania te służą do wyznaczania zawartości izoskalarnej składowej oktetu w strukturach izoskalarnych cząstek fizycznych oraz kąta mieszania nonetu. Określają one także hierarchię wymienionych trzech rodzajów nonetu. Dopiero w tym modelu po raz pierwszy zostały wyprowadzone wzory idealnego mieszania nonetu - przedtem były one postulowane.

W naszych badaniach wykorzystujemy metodę komutatorów egzotycznych i jej uogólnienia do zagadnienia klasyfikacji mezonów skalarnych.

Wielkim problemem klasyfikacji mezonów skalarnych, który od bardzo dawna pozostaje w centrum uwagi jest poszukiwanie glueballa.

Panuje powszechna opinia płynąca z wielu źródeł, że skalarny glueball winien mieć masę ok. 1,5 GeV. Ale identyfikacja nie jest łatwa. Utrudniają ją dwie okoliczności. Jedną, jest przeświadczenie, że glueball nie występuje w czystej postaci, lecz winien się mieszać z mezonami kwarkowymi. Drugą, jest niespotykane duża liczebność izoskalarnych mezonów skalarnych. Jednak, przy naszym podejściu część z nich została już włączona do nonetu, a z pozostałych powinien dać się wyodrębnić dekaplet. Można go skompletować z następujących cząstek:

$$a_0(1450), K_0(1950), f_0(1370), f_0(1500), f_0(2200)/f_0(2330).$$

Uwaga na marginesie.

Zauważmy w tym miejscu, że w ogólności, zawartość dodatkowego stanu izoskalarnego w funkcji falowej izoskalarnych cząstek  $f_0$  jest określona przez macierz mieszania, a więc przez masy cząstek dekapletu. Dane o produkcji i rozpadach cząstek  $f_0$  służą wtedy tylko do zweryfikowania założenia, że ten dodatkowy stan jest glueballem. Pozytywny wynik takiej weryfikacji stanowiłby tego ostateczny dowód.

W naszym przypadku, macierz mieszania pokazuje, że glueball jest prawie całkowicie zawarty w strukturze mezonów  $f_0(1370)$  i  $f_0(1500)$ . Jego zawartość w tych stanach nie może być dokładnie wyznaczona na podstawie obecnych danych doświadczalnych z powodu dużych błędów w pomiarze mas mezonów  $f_0(1370)$  i  $a_0(1450)$ .

Jeden mezon nie został w tej systematyce uwzględniony. Jest to mezon  $\sigma(600)$ . Pokazano, że nie może on się mieszać z cząstkami nonetu. Nie może więc tworzyć z nimi dekapletu i pozostaje odosobniony. Jego natura jest ostatnio przedmiotem ożywionej dyskusji.

# Teoriopolowe aspekty próżni kwantowej

## Zespół:

Bogusław Broda ,  
Piotr Bronowski,  
Marcin Ostrowski  
i doktorant Michał Szanecki

## Tematyka badań:

- Efekt Unruh.
- Stała kosmologiczna.
- Numeryczne Badanie Efektu Casimira.

## Efekt Unruh

Efekt Unruh, ściśle spokrewniony z efektem Hawkinga dla pola grawitacyjnego czarnych dziur, polega na detekcji lub obserwacji cząstek przez obserwatora poruszającego się ruchem przyspieszonym w przestrzeni Minkowskiego, w której nie ma cząstek.

W ciągu ostatnich lat ukazało się wiele prac, które badały różne aspekty efektu Unruh, nawet doświadczalne, otrzymujących często zaskakujące, a czasami wręcz sprzeczne rezultaty. Należy stwierdzić, że nie ma wśród społeczności fizyków pełnej zgodności co do realności efektu Unruh. Mało tego, nie ma nawet pełnej zgodności w kwestii samej definicji efektu Unruh. W konsekwencji, problem realności efektu Unruh ma sens jedynie w powiązaniu z jego dookreśleniem.

Poza tym, w efekcie Unruh, który miał być w zamierzeniu efektem kwantowym, można dopatrzeć się rozmaitego przekrywania z aspektami klasycznymi.

Przypomnijmy, że znane są dwa „konkurencyjne” podejścia do efektu Unruh:

- poprzez transformacje Bogoljubova
- oraz metoda detektora DeWitta-Unruh.

Bodaj w jednym szczególnym przypadku, obserwatora relatywistycznie jednostajnie przyspieszonego (ruch hiperboliczny), wyniki obu formalizmów są zgodne. W innych sytuacjach z reguły występują niezgodności. Już sam ten fakt wskazuje, że problem realności efektu jest nietrywialny. Celem naszych badań będzie dookreślenie pojęcia efektu Unruh lub, być może, efektów typu Unruh oraz na tej bazie analiza realności tego efektu lub efektów.

## Stała kosmologiczna

Fakty doświadczalne, w szczególności obserwacje supernowych typu Ia, wskazują na małą niezerową wartość stałej kosmologicznej. Pozostaje zatem do wyjaśnienia skąd się ta wartość bierze.

Jedno z pierwszych i najbardziej naturalne wyjaśnienie odwołuje się do energii próżni kwantowej. Energia próżni posiada oczekiwane, jakościowo dobre własności za wyjątkiem jednej - wartość jej gigantycznie przekracza doświadczalnie wyznaczoną potrzebną gęstość energii - rozbieżność rzędów jest ponad 100. Stosując różne chwytły można obniżyć rząd rozbieżności, np. supersymetria zmniejsza rząd mniej więcej dwukrotnie - za mało.

Zaproponowano też różne idee spoza obszaru kwantowej teorii pola.

Naszym celem będzie oszacowanie wielkości stałej kosmologicznej w ramach pierwotnej idei energii próżni kwantowo-polewej poprzez odpowiednie wyselekcjonowanie istotnych wkładów generujących pole grawitacyjne.

## Numeryczne Badanie Efektu Casimira

Efekt Casimira związany jest z niezerową wartością energii próżni pola kwantowego oraz zależnością tej energii od warunków brzegowych nałożonych na układ.

Energia Casimira została policzona dla różnych typów pól i warunków brzegowych. Jednak ze względu na trudności o charakterze rachunkowym, w praktycznie wszystkich pracach, obliczono wartość energii próżni jedynie dla kilku podstawowych kształtów barier ograniczających pole (takich jak: nieskończone płaszczyzny, sfery, proste kliny). Pojawia się więc pytanie, czy dla innych, bardziej złożonych kształtów geometrycznych można rozwiązać problem obliczenia energii próżni przy pomocy komputerowych metod numerycznych.

Celem proponowanych badań byłoby opracowanie tego typu metod, co otworzyłoby możliwość badania efektu Casimira dla dużo większej ilości przypadków.

# Promieniowanie kosmiczne

## Zespół:

W. Tkaczyk

## Tematyka badań:

Pochodzenie promieni kosmicznych (PK) o energiach powyżej  $\sim 10^{19}$  eV nie jest obecnie dobrze określone. Dostępne wyniki pomiarów dokonane przez eksperymenty HiRes i AGASA wydają się niespójne. Celem eksperymentu AUGER (w którym Ośrodek Łódzki bierze aktywny udział) jest dokładne określenie kształtu widma PK oraz ewentualne zlokalizowanie ich źródeł.

Jeśli protony są przyśpieszane do energii  $> 10^{20}$  eV w źródłach znajdujących się w odległościach kosmologicznych (lub powstałe w innym bardziej egzotycznym procesie, np. rozpad defektów topologicznych), to na drodze propagacji rzędu kilkudziesięciu Mpc powinny one oddziaływać z fotonami promieniowania relikтового. W wyniku tego procesu (foto-produkcja pionów) oczekiwane są istotne strumienie neutrin i fotonów gamma. Neutrina propagujące się bez absorpcji w ośrodku międzygwiazdowym docierają do atmosfery Ziemi i inicjują silnie nachylone (horyzontalne lub pod-horyzontalne) pęki cząstek wtórnych które mogą być obserwowane przez detektory eksperymentu AUGER.

Detekcja takich silnie nachylonych pęków od neutrin umożliwiłaby uzyskanie cennych informacji o widmie PK skrajnie wysokich energii ( $> 10^{20}$  eV).

Natomiast oczekuje się, że fotony gamma produkowane w wyniku oddziaływania protonów z promieniowaniem reliktowym inicjują kaskady w tym samym polu promieniowania. W zależności od słabo znanych warunków w przestrzeni międzygalaktycznej (wartości pól magnetycznych określających straty sychrotronowe) końcowymi produktami tych kaskad są fotony gamma o znacznie niższych energiach w zakresie energii MeV-TeV. Dlatego oczekuje się że brak pęków inicjowanych w atmosferze Ziemi przez fotony o skrajnie wysokich energiach powinien być skorelowany z pojawianiem się pęków silnie nachylonych inicjowanych przez neutrino skrajnie wysokich energii.

Informacje na temat tych zjawisk pozwalające uzyskać odpowiedź na pytanie dotyczące pochodzenia cząstek o skrajnie wysokich energiach w PK powinny zostać uzyskane w eksperymencie AUGER.