

INSTYTUT FIZYKI TEORETYCZNEJ

Tematy prac licencjackich dla studentów studiów II stopnia w roku akademickim 2012/13

Tematy oznaczone literą **(T)** adresowane są do ambitnych
studentów

Witold Bardyszewski

Temat pracy licencjackiej dla kierunku Fizyka (specjalność Fizyka Teoretyczna) oraz
makrokierunku Inżynieria nanostruktur.

e-mail: Witold.Bardyszewski@fuw.edu.pl,

tel.: 22 553 2314

Wpływ spontanicznej polaryzacji na strukturę pasmową studni kwantowych InN/GaN

Struktury warstwowe półprzewodników azotkowych o warstwach prostopadłych do osi c symetrii krystalicznej charakteryzują się silną polaryzacją spontaniczną będącą źródłem pola elektrycznego o dużym natężeniu. Prowadzi to do obniżenia przerwy energetycznej w studniach kwantowych tego typu, oraz do rozdzielenia przestrzennego stanów elektronowych i dziurowych. Praca ma na celu wyznaczenie i zbadanie własności struktury pasmowej studni InN/GaN w okolicy punktu gamma w przybliżeniu k.p z zastosowaniem metody dwuwymiarowego hamiltonianu efektywnego oraz ustalenie warunków, w których następuje zamknięcie przerwy energetycznej, a następnie tzw. inwersja pasm. Wymagana jest znajomość mechaniki kwantowej na poziomie studiów licencjackich oraz umiejętność programowania.

Adam Bednorz

email: abednorz@fuw.edu.pl

Modelowanie słabego pomiaru kwantowego

Słaby pomiar kwantowy jest przeciwieństwem standardowego, rzutowego pomiaru kwantowego. Wyróżnia go to, że jest (prawie) nieinwazyjny (nie zmienia stanu), ale odbywa się to kosztem dużego błędu. Jednak to właśnie nieinwazyjność powoduje, że słabe pomiary są bardziej atrakcyjne z doświadczalnego punktu widzenia. Słaby pomiar nie ma jednoznacznej realizacji. Jakie są sensowne, ciekawe i praktyczne modele prowadzące do słabego pomiaru?

Paradoksy słabego pomiaru kwantowego

Słaby pomiar kwantowy prowadzi do zaskakujących wniosków, np. ujemnego prawdopodobieństwa (ściślej kwaziprawdopodobieństwa) a także łamania symetrii czasu. Szukamy przykładów prowadzących do tych (a może i nowych?) paradoksów, które dałoby się zrealizować doświadczalnie.

Pomiary klasyczne a pomiary kwantowe

Badając analogie i różnice pomiędzy mechaniką klasyczną i kwantową trzeba porównywać nie tylko wyniki, ale też sposoby pomiaru. Ogólny pomiar kwantowy można scharakteryzować operatorowymi miarami dodatnimi (ang. POVM - positive operator-valued measure). Jakie mają odpowiedniki klasyczne? Co odpowiada pomiarowi rzutowemu?

Krzysztof Byczuk

Tel. 22 55 32 256, pok. 342 Hoża 69

byczuk@fuw.edu.pl

Opis ilości korelacji w jednowymiarowej cieczy Luttingera

Model oddziałujących fermionów w jednym wymiarze jest asymptotycznie ściśle rozwiązywalny w ramach bozonizacji i konformnej teorii pola. Zadanie w tej pracy polega na wykorzystaniu tych ścisłych rozwiązań do wyznaczenia entropii względnej i określenia ilościowego jak bardzo jest ten układ skorelowany w stosunku do nie oddziałujących fermionów.

Rola oddziaływań na stany kwantowe w izolatorach topologicznych

Izolatory topologiczne stanowią nową klasę materiałów o nietrywialnych stanach kwantowych, topologicznie różnych od stanów w zwykłych izolatorach. W ramach prostych modeli ciasnego wiązania chcemy określić jaka jest rola na te stany oddziaływań między elektronami.

Rafał Demkowicz-Dobrzański

demko@fuw.edu.pl, p.137, tel. 225532306

<http://www.fuw.edu.pl/~demko/>

Wykorzystanie kwantowych stanów światła dla poprawy działania nowoczesnych detektorów fal grawitacyjnych.

Fale grawitacyjne to niezwykle słabe odkształcenia czasoprzestrzeni przewidywane przez teorię względności Einsteina. Do dziś nie udało się ich wykryć. Najbardziej zaawansowane urządzenia dające nadzieje na wykrycie fal grawitacyjnych to ogromne interferometry optyczne o kilkukilometrowych długościach ramion. Ich działanie pozwala na wykrycie odkształceń przestrzeni o amplitudach mniejszych niż rozmiar protonu! Zadanie będzie polegać na stworzeniu modelu działania detektora fal grawitacyjnych oraz zbadania optymalnego użycia kwantowych stanów światła, tj. stany ściśnięte to poprawy jego precyzji uwzględniając dominujące efekty dekoherencyjne takie jak straty fotonów.

Dekoherencja w metrologii i obliczeniach kwantowych

Dziedzina metrologii kwantowej stara się wykorzystać własności stanów kwantowych do wykonywania ultra precyzyjnych pomiarów, które mogłyby znaleźć zastosowania np. w interferometrach grawitacyjnych lub zegarach atomowych. Obecność niedoskonałości eksperymentalnych i zewnętrznych zakłóceń (straty, szum, dekoherencja) znacząco utrudnia praktyczne realizacje takich pomysłów. Podobnie de koherencja utrudnia implementację algorytmów kwantowych i wymaga zaawansowanych zastosowania zaawansowanych technik kwantowej korekcji błędów. Zadanie polegać będzie na zbadaniu podobieństw i różnic w roli jaką odgrywa deherencja w metrologii kwantowej i w algorytmach kwantowych opartych o wyrocznie kwantowe. Głównym celem jest stworzenie jednego formalizmu w ramach którego można by mówić jednocześnie o kwantowych algorytmach i protokołach metrologicznych.

Tomasz Dietl

Katedra Fizyki Materii Skondensowanej
Instytutu Fizyki Teoretycznej UW
<http://www.fuw.edu.pl/~kfms/staff.html>
(także Instytut Fizyki PAN, Laboratorium
Badań Kriogenicznych i Spintronicznych
<http://www.ifpan.edu.pl/SL-2/>)
dietl@ifpan.edu.pl

Specjalność: fizyka teoretyczna, I rok studiów II stopnia

Teoria nadwymiany w półprzewodnikach o strukturze wurcytu

Praca magisterska byłaby wykonana w ramach projektów Europejskiej Rady ds. Badań Naukowych (ERC): „*Functionalisation of diluted magnetic semiconductors*” oraz Narodowego Centrum Nauki (NCN) , edycja MAESTRO I, „*Kwantowe przemiany fazowe w warstwach magnetycznych kontrolowane zewnętrznym polem elektrycznym*”

Ostatnio odkryto nową klasę materiałów: rozcieńczone izolatory magnetyczne [1,2], w których oddziaływanie wymienne zachodzi w wyniku polaryzacji spinowej zapełnionych powłok elektronowych, tj. nadwymiany. Oddziaływania te obserwuje się w (Ga,Mn)N, a obecnie są prowadzone także prace dla (Zn,Cr)O. Materiały te krystalizują w strukturze wurcytu, a istniejąca obecnie teoria [2] została opracowana dla półprzewodników kubicznych. Celem pracy byłoby rozwinięcie teorii nadwymiany, która stosowałaby się dla struktury wurcytu.

[1] A. Bonanni, M. Sawicki, T. Devillers, W. Stefanowicz, B. Faina, Tian Li, T. E. Winkler, D. Sztenkiel, A. Navarro-Quezada, M. Rovezzi, R. Jakiela, A. Grois, M. Wegscheider, W. Jantsch, J. Suffczyński, F. D’Acapito, A. Meingast, G. Kothleitner, and T. Dietl, *Experimental probing of exchange interactions between localized spins in the dilute magnetic insulator (Ga,Mn)N*, Phys. Rev. B 84, 035206 (2011).

[2] M. Sawicki, T. Devillers, S. Galeski, C. Simserides, S. Dobkowska, B. Faina, A. Grois, A. Navarro-Quezada, K. N. Trohidou, J. A. Majewski, T. Dietl, and A. Bonanni, *Origin of low-temperature magnetic ordering in $Ga_{1-x}Mn_xN$* , Phys. Rev. B 85, 205204 (2012).

Teoria rozpraszania krytycznego w półprzewodnikach magnetycznych

Praca magisterska byłaby wykonana w ramach projektów Europejskiej Rady ds. Badań Naukowych (ERC): „*Functionalisation of diluted magnetic semiconductors*” oraz Narodowego Centrum Nauki (NCN), edycja MAESTRO I, „*Kwantowe przemiany fazowe w warstwach magnetycznych kontrolowane zewnętrznym polem elektrycznym*”

Jedną z najbardziej charakterystycznych cech półprzewodników ferromagnetycznych [1] jest występowanie wyraźnego maksimum oporności $\rho(T)$ w okolicy temperatury Curie. Ostatnio wykazano, że $d\rho(T)/dT$ wykazuje zachowanie krytyczne [2], ale nie ma dotychczas przekonującej teorii tego zjawiska. Celem pracy byłoby zbadanie teoretyczne, czy istnienie osobliwości $d\rho(T)/dT$ można wytłumaczyć obecnością poprawek kwantowych do $\rho(T)$ (związanej ze zjawiskami spójności fazowej w okolicy przemiany kwantowej metal-izolator [3]).

[1] T. Dietl, *A ten-year perspective on dilute magnetic semiconductors and oxides*, Nature Materials 9, 965 (2010).

[2] V. Novak et al., *Curie Point Singularity in the Temperature Derivative of Resistivity in $(Ga,Mn)As$* , Phys. Rev. Lett. 101, 077201 (2008).

[3] T. Dietl, *Interplay between carrier localization and magnetism in diluted magnetic and ferromagnetic semiconductors*, J. Phys. Soc. Jpn. 77, 031005 (2008).

Stanisław D. Glazek

stglazek@fuw.edu.pl

Hamiltonian relatywistycznego układu fermion-bozon (T)

Praca polegałaby na zastosowaniu nowej, ogólnej procedury grupy renormalizacji z pracy S. D. Glazek, Phys. Rev. D 85, 125018 (2012) do relatywistycznego hamiltonianu opisanego w pracy T. Maslowski, M. Wieckowski, Phys. Rev. D 57, 4976 (1998) i wyprowadzeniu wzoru na zrenormalizowany, zależny od parametru skali renormalizacji hamiltonian efektywny, który opisuje stan fizyczny fermionu i amplitudę rozpraszania bozon-fermion w sposób niezależny od wielkości parametru skali i zgodny z zasadami szczególnej teorii względności. Nowość pracy polegałaby na zastosowaniu nowej procedury przez wyjście poza rachunek zaburzeń na jednoczesnym opisie stanów związanych oraz rozproszonych. Można rozważyć uogólnienie modelu niezbędne do opisu oddziaływań nukleonów z mezonami pi.

Model procedury grupy renormalizacji 4 rzędu w kwantowej teorii pola (T)

Praca polegałaby na zastosowaniu procedury grupy renormalizacji dla cząstek efektywnych z pracy S. D. Glazek, Acta Phys. Polon. B 43, 1843 (2012) do hamiltonianu teorii Yukawy w 4 rzędzie rachunku zaburzeń, obliczeniu amplitudy rozpraszania bozon-fermion w tym samym rzędzie, i sprawdzeniu, czy wynik może spełniać wymagania szczególnej teorii względności. Gdyby spełniał, hamiltonowski rachunek tego typu nie miałby precedensu w teorii cząstek.

Zygmunt Lalak

(Tematy przykładowe)

Przybliżona symetria skalowania w supersymetrycznych rozszerzeniach Modelu Standardowego

Modelowanie hierarchii sprzężeń i skal w oparciu o dualności Seiberga

Kurczący się wszechświat jako alternatywa dla kosmologii inflacyjnej

Jacek Pawelczyk

jacek.pawelczyk@fuw.edu.pl

Łamanie supersymetrii mediowane przez pola cechowania w modelach unifikacyjnych

Supesymetria jest atrakcyjnym rozszerzeniem symetrii modelu standardowego cząstek elementarnych. Dodatkową zaletą supersymetrii jest możliwość przetestowania jej w zderzaczu LHC. Ponieważ supesymetria nie jest dokładną symetrią przyrody niezbędne jest jej naruszenie a następnie przeniesienie (mediacja) tego naruszenia do obserwowanej fizyki. Celem pracy jest zbadanie efektów tej mediacji w modelach zawierających bezpośrednio oddziaływania pól materii widzialnej i pól mediujących naruszenie supersymetrii.

Mikołaj Misiak

Oddziaływania efektywne w rozszerzeniach Modelu Standardowego

Opis: Praktycznie wszystkie rozważane współcześnie rozszerzenia Modelu Standardowego przewidują istnienie ciężkich cząstek, które nie mogą być wyprodukowane nawet przy energiach dostępnych w akceleratorze LHC. Ich własności możemy badać pośrednio, analizując ich wpływ na reakcje między lżejszymi cząstkami. Wymaga to wprowadzenia tzw.

oddziaływań efektywnych (operatorów wyższych wymiarów). Celem pracy magisterskiej byłoby przeprowadzenie klasyfikacji takich oddziaływań w sytuacji, gdy spektrum lekkich cząstek jest bogatsze niż w Modelu Standardowym. Przedmiotem zainteresowania będą przede wszystkim teorie z rozszerzonym sektorem Higgsa, a także modele supersymetryczne z dużymi rozszczepieniami między masami superpartnerów.

Prowadzący: dr hab. Mikołaj Misiak, e-mail: misiak@fuw.edu.pl

Janusz Rosiek

janusz.rosiek@fuw.edu.pl,
pokój 231, tel 5532311.

Naruszenie liczby leptonowej w rozpadach mionów i mezonów tau w modelach supersymetrycznych

Naruszenie zapachu w rozpadach kwarku t w modelach supersymetrycznych

Trójciałowe rozpady ciężkich mezonów B w Minimalnym Supersymetrycznym Modelu Standardowym

Wszystkie 3 tematy dotyczą problemu łamania liczb kwantowych "zapachu" i symetrii CP w rzadkich rozpadach, leptonowych lub kwarkowych. Wymienione wyżej procesy już są dokładnie mierzone doświadczalnie lub będą niedługo zmierzone w eksperymentach prowadzonych w akceleratorze LHC. Porównanie wyników tych pomiarów z teoretycznymi przewidywaniami szybkości rozpadów w ramach modeli supersymetrycznych pozwala oszacować masy i podstawowe sprzężenia cząstek supersymetrycznych, ułatwiając w ten sposób bezpośrednie próby odkrycia "nowej fizyki" w eksperymentach LHC. Procesy naruszenia liczby leptonowej mają też bezpośredni związek z fizyką neutrin i pomiarem ich mas i oscylacji.

Tematy są dobrze zdefiniowane, wykonalne i bezpośrednio przydatne do analizy wspólnie prowadzonych eksperymentów. Każdy może stanowić podstawę dobrej pracy magisterskiej i pomóc magistrantowi w nauczaniu się supersymetrii, najpowszechniej obecnie rozważanej teorii cząstek elementarnych wychodzącej poza Model Standardowy.

Wojciech Satula

Regularyzacja funkcjonału gęstości energii

Problem osłabienia funkcjonałów gęstości stosowanych w metodach jądrowych istotnie obniża jakość obliczeń metodami rzutowymi, służącymi do przywracania naruszonych przez pole średnie symetrii hamiltonianu jądrowego. Celem pracy jest systematyczne zbadanie specyficznego schematu regularyzacji jądrowych funkcjonałów gęstości energii, polegającego na obliczaniu pewnych pomocniczych, zregularyzowanych obiektów. Wszelkie narzędzia numeryczne potrzebne do pracy są dostępne.

Przejścia beta Gamowa-Tellera

Celem pracy będzie wyprowadzenie wzorów na jądrowe elementy macierzowe przejścia beta typu Gamowa-Tellera w modelu pola średniego z przywróconymi symetriami rotacyjną i izospinową.

Piotr Sułkowski

Modele macierzowe i topologiczne rekurencje (także wersja T)

Modele macierzowe stanowią ważną klasę ściśle rozwiązywalnych teorii o różnorodnych zastosowaniach w wielu zagadnieniach fizycznych i matematycznych. Modele macierzowe można traktować także jako stosunkowo proste modele kwantowej teorii pola, na przykładzie których wiele kwantowych zjawisk można w ścisły sposób zrozumieć i przeanalizować. W szczególności w modelach tych można znaleźć ogólne rozwiązanie całej hierarchii tożsamości Warda, które przybiera postać relacji rekurencyjnych, zwanych topologicznymi rekurencjami. Rekurencje te określone są dla pewnej powierzchni Riemanna (tzw. krzywej spektralnej danego modelu macierzowego), i przypisują one do takiej powierzchni nieskończoną liczbę niezmienników o różnych intrygujących właściwościach. Między innymi, niezmienniki przypisane do pewnych szczególnych modeli macierzowych odtwarzają wielkości takie jak niezmienniki Gromova-Wittena, uogólnione liczby Catalana i Hurwitza, charakterystyki przestrzeni modułów powierzchni Riemanna, niezmienniki węzłów, itd. Celem pracy jest wyprowadzenie nowych własności topologicznych rekurencji, oraz/lub zastosowanie ich do analizy wybranego modelu macierzowego.

Matrix models and topological recursion (także wersja T)

Matrix models provide an important class of exactly solvable theories and they find many applications in physics and mathematics. Matrix models can be regarded as relatively simple models of quantum field theories, in which one can understand and exactly analyze a variety of quantum phenomena. In particular, in these models a general solution to a hierarchy of Ward identities can be found. This solution takes form of a system of recursion relations, known as the topological recursion. These recursions are associated to a Riemann surface (which arises as the so-called spectral curve of a matrix model), and assign to such a surface an infinite family of invariants with various intriguing properties. For example, invariants assigned to some particular matrix models reproduce quantities such as Gromov-Witten invariants, generalized Catalan and Hurwitz numbers, characteristics of moduli spaces of Riemann surfaces, knot invariants, etc. The aim of this project is to derive new properties of the topological recursion, and/or to apply this recursion to the analysis of a particular matrix model.

Kwantowa teoria pola i homologiczne niezmienniki węzłów (także wersja T)

Teoria węzłów jest ściśle związana z kwantową teorią pola, w szczególności teorią Cherna Simonsa oraz 3-wymiarowymi teoriami pola z cechowaniem z rozszerzoną supersymetrią. Okazuje się, że zastosowanie aparatu kwantowej teorii pola pozwala na wyznaczenie różnego rodzaju niezmienników węzłów, w szczególności odkrytych w ostatnim czasie niezmienników homologicznych zwanych superwielomianami. Takie superwielomiany spełniają relacje rekurencyjne, mające także interpretację kwantowych powierzchni Riemanna. W odpowiedniej granicy relacje te redukują się do klasycznych powierzchni Riemanna. Celem pracy jest analiza i wyprowadzenie nowych własności takich kwantowych oraz klasycznych powierzchni na podstawie wyprowadzonych w ostatnim czasie superwielomianów dla różnych węzłów.

Quantum field theory and homological knot invariants

Knot theory is intimately related to quantum field theory, in particular to Chern-Simons theory and 3-dimensional gauge theories with extended supersymmetry. It turns out that the apparatus of quantum field theory is sufficiently powerful to determine various knot invariants, in particular recently found homological invariants known as superpolynomials. These superpolynomials satisfy certain recursion relations, which can be interpreted as defining a quantum Riemann surface. In an appropriate limit these relations reduce to a classical Riemann surface. The aim of this project is to analyze and derive new properties of such quantum and classical Riemann surfaces, using recently found results for superpolynomials for various knots.

Piotr Szymczak

<pszymczak@gmail.com>

Palce uranowe

Część złóż uranowych ma postać wydłużonych, palczastych struktur. Badając sprzężenia zwrotne między przepływem a reakcjami w ośrodku skalnym postaramy się znaleźć mechanizm odpowiedzialny za powstawanie takich struktur oraz przewidzieć ich kształt.

Transport białek przez pory mitochondrialne

Białka mitochondrialne są syntetyzowane poza mitochondrium (na rybosomach), i – aby dotrzeć do swojego "miejsca pracy" muszą zostać przeciągnięte przez pory błony mitochondrialnej. Średnica tych porów jest wielokrotnie mniejsza od charakterystycznych rozmiarów zwiniętej cząsteczki białka, a zatem łańcuch białkowy musi zostać rozwinięty aby przedostać się przez por. Praca poświęcona będzie analizie możliwych mechanizmów tego procesu.

Badanie wzrostu dendrytowego metodami analizy zespolonej

Praca dotyczy problemów niestabilnego wzrostu jednej fazy w drugiej. Przykładami takich procesów jest osadzanie elektrolityczne, wyładowania elektryczne w dielektryku, czy

powstawanie palczastych, rozgałęzionych struktur przy wstrzykiwaniu mniej lepkiej cieczy do cieczy bardziej lepkiej. Niestabilność granicy między fazami w procesach tego typu prowadzi zwykle do tworzenia skomplikowanych, fraktalnych form, dynamika wzrostu których - szczególnie w późnych, nieliniowych etapach ich ewolucji - jest stosunkowo słabo zbadana. Jeśli wzrost taki zachodzi w geometrii quasi dwuwymiarowej, do jego opisu można zaprząć aparat współczesnej analizy zespolonej, w szczególności formalizm równania Loewnera.

Jacek Tafel

Warunki początkowe w ogólnej teorii względności

Jest to propozycja skierowana do studentów, którzy znają teorię Einsteina na poziomie wykładu Ogólna Teoria Względności I i chcą pisać pracę magisterską z tej specjalności. Jej elementami byłoby opisanie rozkładu próżniowych równań Einsteina na równania dynamiczne i więzy oraz zbadanie tych więzów w chwili początkowej dla stosunkowo prostej klasy danych. Klasa ta jest interesująca ponieważ uogólnia dane początkowe odpowiadające metryce Kerra i dopuszcza istnienie horyzontów czarnych dziur. Pewne własności można zbadać analitycznie, ale jest też możliwość zastosowania prostych metod numerycznych z wykorzystaniem programu Mathematica.

Marek Trippenbach

Procesy wielociałowe w zderzeniach kondensatów Bosego Einsteina.

Opis: Badania mają na celu wyjaśnienie fizycznych efektów widocznych podczas zderzenia dwóch paczek falowych kondensatów składających się z metastabilnych atomów helu. Interesujące zagadnienia dotyczą powstawania fal materii, w których atomy będą w stanie kwantowego splątania (wielomodowego). Takie fale mogą być zastosowane w metrologii kwantowej, na przykład do ultra - precyzyjnej detekcji fal grawitacyjnych.

Optymalne strategie w interferometrii atomowej dalekiego pola

Opis: Celem projektu jest zbadanie, jak uzyskać największą możliwą precyzję estymacji fazy z obrazu interferencyjnego dwu fal materii. Udział w projekcie pozwoli studentowi na uzyskanie podstawowej wiedzy z kwantowej teorii estymacji i interferometrii atomowej, czyli dwu dynamicznie rozwijających się dziedzin nowoczesnej fizyki.

Zderzenia solitonów spinorowych.

Opis: Solitony są falami materii, które można traktować jak pojedyncze oddziałujące cząstki, ponieważ ich funkcja falowa nie podlega dyspersji. Badania obejmują poszukiwania nowych solitonowych rozwiązań w układzie spinorowego kondensatu Bosego Einsteina. Badaliśmy kondensaty atomów z $F=1$ i znaleźliśmy nową klasę rozwiązań solitonowych – jasnych solitonów. Rozszerzenie tych badań będzie dotyczyło ciemnych solitonów oraz innych stanów ze struktury nadsubtelnej.

Reaktywne zderzenia ultrazimnych cząsteczek w sieciach i pułapkach atomowych

Opis: Badania dotyczą różnych modeli reaktywnych zderzeń ultra-zimnych cząsteczek oddziałujących poprzez izotropowy potencjał van der Waalsa. Oddziaływania międzymolekularne modelowane są przy pomocy potencjału typu delta z zespoloną długością rozpraszania. Przewiduje się zastosowanie zmodyfikowanych modeli Bosego Hubbarda.

Krzysztof Turzyński

turzyn@fuw.edu.pl

pok. 136

tel. 22 55 32300

Widmo mas cząstek supersymetrycznych w nieminimalnych modelach przekazywania naruszenia supersymetrii przez oddziaływania cechowania

Dane doświadczalne z LHC bardzo ograniczają przestrzeń parametrów najprostszych modeli supersymetrii, w których naruszenie supersymetrii przekazywane jest przez oddziaływania cechowania. Z drugiej strony, jeśli skala mas cząstek przenoszących naruszenie supersymetrii (tzw. posłańców) jest bliska skali unifikacji oddziaływań silnych i elektroślaby, należy oczekiwać, że w naruszenie supersymetrii może wiązać się z naruszeniem unifikowanej symetrii cechowania. W takim przypadku sektor pól posłańców będzie znacznie większy, niż to się zazwyczaj przyjmuje. Celem pracy jest scharakteryzowanie widma miękkich mas w takich modelach przekazywania naruszenia supersymetrii oraz dyskusja ograniczeń doświadczalnych.

Jakub Tworzydło

Jakub.Tworzydło@fuw.edu.pl

Stany powierzchniowe izolatora topologicznego w obecności tarasów

W nowo odkrytej klasie materiałów półprzewodnikowych istnieją specyficzne stany powierzchniowe. Istnienie tych stanów gwarantowane jest przez ogólne argumenty symetrii i wiąże się z topologicznymi niezmiennikami ich struktury pasmowej. Efektywny opis elektronów na powierzchni tych materiałów podaje dwuwymiarowe równanie Diraca. Rzeczywiste powierzchnie kryształów posiadają stopnie kilku-atomowej grubości. Celem pracy byłoby obliczenie stanów efektywnych elektronów Diraca w pobliżu tego typu krawędzi i uzyskanie przewidywań eksperymentalnych dla pomiarów STM.

Ścisła diagonalizacja modeli twardych bozonów w wąskich, topologicznie nietrywialnych pasmach

W pewnych specyficznych modelach sieciowych udało się uzyskać wąskie pasma, charakteryzujące się niezerowymi niezmiennikami topologicznymi. Powszechnie uważa się, że istnienie takich pasm jest warunkiem wystarczającym do uzyskania skorelowanych stanów w ułamkowym kwantowym efekcie Halla. Z drugiej strony, sieci twardych bozonów mogą być eksperymentalnie realizowane przez pułapkowanie zimnych atomów. Celem pracy jest zidentyfikowanie charakterystycznych cech nieściśliwych stanów ułamkowego kwantowego efektu Halla dla gazu twardych bozonów w takiej sieci.

Małgorzata Wierzbowska

Temat pracy magisterskiej we współpracy z dr. A. Fleszarem, Uniwersytet w Wurtzburgu

e-mail: malgorzata.wierzbowska@fuw.edu.pl

tel.: 725303363.

Obliczenia funkcji dielektrycznej (i jeśli czas pozwoli struktury pasmowej metodą GW) dla związków Heuslera

Związki Heusler'a są półmetalami magnetycznymi, najczęściej antyferromagnetycznymi z wysoką temperaturą Neel'a. Będziemy się zajmować kryształem Co_2FeAl domieszkowanym Si (i tego typu związkami) o strukturze kubicznej z czterema atomami w komórce podstawowej. Ponieważ są to układy z silnymi korelacjami elektronowymi, dla których metoda funkcjonałów gęstości daje błędny wynik (z zamkniętą przerwą energetyczną), zastosujemy opis kwazicząstkowy z poprawkami GW pierwszego rzędu (G_0W_0). Wykorzystamy naszą nową implementację tej metody do programu quantum-espresso w wersji równoległej.

TEMATY PRAC MAGISTERSKICH PRACOWNIKÓW KMMF

Wszystkie tematy dla studentów specjalności Fizyka Teoretyczna

Jan Dereziński

Temat 1. Harmoniki sferyczne w 4 wymiarach i wielomiany Jacobiego

Opis: Uogólnienie formalizmu harmonik sferycznych z 3 wymiarów na 4 wymiary przy użyciu podwójnych współrzędnych sferycznych.

Temat 2. Renormalizacja polaryzacji próżni w kwantowej teorii pola z zewnętrznymi źródłami.

Opis: Naiwne podejście do polaryzacji próżni prowadzi do rozbieżnych wyników. Celem pracy będzie porównanie różnych podejść do renormalizacji tych wielkości.

Temat 3. Całki po trajektoriach ze ścisłego punktu widzenia

Opis: Całkowanie po trajektoriach jako ścisłe narzędzie matematyczne.

Temat 4. Przybliżenie semiklasyczne mechaniki kwantowej

Opis: Różne podejścia do klasycznej granicy mechaniki kwantowej, jej sens geometryczny, analityczny i fizyczny.

Temat 5. Delto-podobne potencjały w mechanice kwantowej

Opis: W mechanice kwantowej można używać potencjałów, których nośnik sprowadza się do jednego punktu. Są one bardzo użyteczne, gdyż różne problemy, w których one występują, są ściśle rozwiązalne.

Piotr M. Hajac

Temat 1. K-TEORIA C^* -ALGEBR I KWANTOWY EFEKT HALLA

K-teoria jest jedną z głównych dziedzin współczesnej matematyki, w której aż roi się od medalistów Fieldsa (Atiyah, Connes, Quillen, Grothendieck i Milnor). Zaś za kwantowy efekt Halla von Klitzing dostał nagrodę Nobla. Przy pomocy K-teorii Jean Belissard podał jeden z matematycznie najpiękniejszych opisów tego zjawiska. Praca magisterska na ten temat byłaby początkiem niezwyklej naukowej przygody z najwyższej półki.

Maciej Nieszporski

Temat 1. Równanie Riccatiego, jego linearyzacja, dyskretyzacja i uogólnienie na wiele pól

Opis: Równanie Riccatiego jest przykładem równania różniczkowego zwyczajnego nieliniowego, którego rozwiązywanie można sprowadzić do rozwiązywania równania liniowego

(lub układu równań liniowych). Zadaniem magistranta będzie, po pierwsze prześledzenie konsekwencji faktu "linearyzowalności" równania Riccatiego, po drugie wskazanie jego zastosowań w teorii nieliniowych układów całkowalnych.

Temat 2. Układy równań różnicowych na zmienną wektorową dopuszczające istnienie wielu potencjałów skalarnych.

Opis: Nieliniowe równania różnicowe kryją wiele niespodzianek. Jedną z nich, zaansowaną w tytule, zajmiemy się w ramach niniejszej pracy magisterskiej.

Temat 3.

Od odwzorowań Yanga–Baxtera do dyskretnych równań Painlevé’

Opis: Rozwiązania równań Painlevé’ stanowią rozwinięcie teorii funkcji specjalnych szczególnie ważne dla rozmaitych nieliniowych zagadnień fizyki.

W pracy będziemy badać struktury związane z dyskretnymi (różnicowymi) równaniami Painlevé’.

Jerzy J. Wojtkiewicz

Temat 1. Stany podstawowe kwantowego modelu Isinga w poprzecznym polu

manetycznym

Opis: (Temat bardziej numeryczny) Początek pracy – to zapoznanie się z kwantowym modelem Isinga i zasadniczymi znanymi faktami na jego temat. Następnym krokiem będzie wypisanie jawnego wyrażenia na macierz hamiltonianu modelu oraz implementacja numeryczna tejże, a następnie liczenie numeryczne najniższych energii stanu podstawowego i odpowiadającego jej wektora własnego, a stąd – funkcji korelacji. Stąd byłby otrzymany diagram fazowy.

Badane byłyby układy do dwudziestu kilku węzłów.

W zależności od zaangażowania magistranta, możliwa jest kontynuacja tematu – porównywanie z rozwiązaniem ścisłym (dla modelu jednowymiarowego), porównywanie z przewidywaniami konformnej teorii pola, badanie widma masowego E_8 (tajemniczy związek z wyjątkowymi algebrami Liego).

Techniki obliczeniowe dla takich układów są stosowane w nanotechnologii – w badaniu nanodrutów i kropek kwantowych.

Od magistranta oczekuję znajomości podstaw mechaniki kwantowej oraz znajomości języka programowania C lub C++.

Temat 2. Własności krytyczne modelu Isinga i ich uniwersalność:

metoda numerycznej diagonalizacji

Opis: (Temat bardziej numeryczny) Początek pracy – to poznanie ścisłego rozwiązania modelu Isinga

(w 1 i 2 wymiarach) i otrzymanych na tej podstawie funkcji termodynamicznych. Następnym krokiem będzie odtworzenie tych wielkości przez numeryczną diagonalizację macierzy przejścia. Dalej planuję analogiczne zbadanie termodynamiki modeli Isinga, dla których nie jest znane ścisłe rozwiązanie (modele z dalszym oddziaływaniem, model o spinie 1). Badane byłyby głównie

własności krytyczne pod kątem zgodności z (ciągle jeszcze) hipotezą uniwersalności.

Od magistranta oczekuję znajomości podstaw mechaniki statystycznej oraz znajomości języka programowania C lub C++.

Temat 3. Stany podstawowe modelu Hubbarda pod kątem istnienia uporządkowań magnetycznych

Opis: (Temat bardziej numeryczny) Początek pracy – to poznanie modelu Hubbarda i zasadniczych

faktów go dotyczących. Następny krok – to wypisanie jawnego wyrażenia na macierz hamiltonianu modelu i numeryczna implementacja tejże, a następnie numeryczna diagonalizacja macierzy i na tej podstawie liczenie wektorów własnych stanu podstawowego oraz ich własności: liczb kwantowych (w tym zwłaszcza magnetycznych) oraz funkcji korelacji funkcji termodynamicznych. W

ten sposób planuję zbadanie układów do 10, może kilkunastu węzłów sieci.

Od magistranta oczekuję znajomości podstaw mechaniki kwantowej i statystycznej oraz znajomości języka programowania C lub C++.

Techniki obliczeniowe dla takich układów są stosowane w nanotechnologii – w badaniu nanodrutów i kropek kwantowych.

Temat 4. Numeryczne testowanie nierówności Dysona–Lieba–Simona dla układów posiadających własność odbiciowej dodatniości i nie posiadających jej.

Opis: Jedną z nielicznych ścisłych metod w dowodzie istnienia przejść fazowych w układach sieciowych z symetrią ciągłą (modele XY lub Heisenberga) jest tzn. odbiciowa dodatniość (Reflection Positivity). Aby ją zastosować, trzeba nałożyć istotne ograniczenia na wartości stałych oddziaływania pomiędzy spinami. Tylko w tych przypadkach udaje się udowodnić nierówność DLS, z której wynika uporządkowanie dalekiego zasięgu (w wymiarze większym od 2 i w niskich temperaturach). Tymczasem spodziewamy się, że nierówność ta (i wynikający z niej dowód istnienia uporządkowań) jest prawdziwa dla szerszej klasy sytuacji. Celem pracy będzie numeryczne sprawdzenie tego przypuszczenia.

Od magistranta oczekuję znajomości podstaw mechaniki kwantowej i statystycznej oraz znajomości języka programowania C lub C++.

Temat 5.. Zmienne grassmanowskie w dwuwymiarowym modelu Isinga.

Opis: (Temat bardziej teoretyczny) Technika całkowania po zmiennych grassmanowskich jest jedną z fundamentalnych w (fermionowej) teorii pola; jest też bardzo użyteczna w przypadku sieciowych

modeli spinowych. Celem pracy będzie zaznajomienie się z tą techniką i otrzymanie przy jej użyciu

ściśłego rozwiązania dwuwymiarowego modelu Isinga na różnych sieciach.

W przypadku dużego zaangażowania magistranta, możliwa jest kontynuacja tematyki: poznanie ścisłej metody grupy renormalizacyjnej dla modeli spinowych, gdzie całkowanie po zmiennych grassmanowskich jest podstawą, i uzupełnienie dowodu Spencera uniwersalności wykładników krytycznych dla modelu Isinga – rzecz mająca ciągle od ponad 40 lat status hipotezy, znakomicie umotywowanej i sprawdzonej, ale nie udowodnionej do końca.

Oczekiwane umiejętności: Dobre opanowanie kursów algebry i analizy oraz elementów mechaniki statystycznej.

Temat 6. Technika odbiciowej dodatniości w wersji spinowej ("spin reflection positivity") w zastosowaniu do modeli Hubbarda.

Temat 7. Relacja pomiędzy kwantowymi układami d -wymiarowymi a $(d+1)$ -wymiarowymi układami klasycznymi poprzez związek Lie–Trottera–Suzukiego.

Opis: Model Hubbarda i równoważny mu model Isinga, z użyciem transformacji

Hubbarda–Stratonowicza, a la Hirsch. W przypadku dużego zaangażowania magistranta, możliwe będzie podjęcie próby dowodu istnienia przejścia metal–izolator w stanie podstawowym w modelu 2d na sieci heksagonalnej (rzecz znaleziona numerycznie, lecz niepotwierdzona ściśle).

Oczekiwane umiejętności: Dobre opanowanie kursów algebry i analizy oraz elementów mechaniki statystycznej i mechaniki kwantowej.

Jacek Jezierski

Temat 1. Kerr–NUT–AdS i CYK tensory

Temat 2. Cechowanie niezmiennika podłużnego i jego peeling

Temat 3. Uogólnic niezmienniki Regge–Wheeler–Zerilli na dowolną metrykę sferycznie symetryczną.

Temat 4. Własności geometryczne horyzontu ekstremalnego Kerra.

Temat 5. Zlinearyzowane pole grawitacyjne w czasoprzestrzeniach ze stałą kosmologiczną.

Katarzyna Grabowska i Paweł Urbański

Temat 1. Mechanika na algebroidach jako efekt redukcji mechaniki lagranżowskiej ze względu na symetrie.

Algebroidy są uogólnieniem wiązki stycznej. Można na nie patrzeć jak na zredukowaną, ze względu na symetrie, wiązkę styczną (np. do grupy, grupoidu itp.). Celem pracy jest porównanie opisu wariacyjnego pełnego układu z symetrią z opisem w języku wewnętrznym algebroidu.

Temat 2. Dyskretyzacja mechaniki analitycznej.

W zastosowaniach często zastępuje się standardową mechanikę analityczną mechaniką z czasem dyskretnym. Celem pracy jest pokazanie, jak mechanika dyskretna może być wyprowadzona z mechaniki standardowej.

Temat 3. Elektrodynamika klasyczna jako teoria pola z cechowaniem.

Pełny zestaw równań elektrodynamiki (wersja całkowa i infinitezymalna), w języku geometrycznym, gdzie potencjał jest powiązaniem w wiązce głównej.

Piotr Sołtan

Temat 1. Moduły hilbertowskie, rozszerzenie teorii przestrzeni Hilberta

Opis: Przedstawienie teorii modułów hilbertowskich nad C^* -algebry i wskazanie podobieństw i istotnych różnic między modułami hilbertowskimi, a przestrzeniami Hilberta. Uogólnienie pewnych faktów z teorii operatorów na przypadek modułów hilbertowskich.

Temat 2. Kwantowe przestrzenie odwzorowań i kwantowe grupy permutacji

Opis: Przestrzenie kwantowe to obiekty, których geometrie opisują nieprzemienne algebry. Wiele ciekawych przykładów takich przestrzeni powstaje jako tak zwane kwantowe przestrzenie odwzorowań. Praca powinna przedstawić kilka przykładów takich obiektów i zbadać ich niektóre własności.

Temat 3. Proste przykłady trojek spektralnych

Opis: Trójki spektralne są nieprzemiennymi uogólnieniami rozmaitości riemannowskich. Dzięki bardzo ogólnemu językowi opisu takich obiektów, ciekawe przykłady można otrzymać już w bardzo prostych (np. skończenie wymiarowych) przypadkach. Praca ma na celu przedstawienie kilku takich przykładów i ich elementarną analizę.

Temat 4. Algebra operatorów Toeplitza

Opis: Teoria operatorów Toeplitza jest standardowym elementem teorii operatorów nadprzestrzeni Hilberta i teorii funkcji. Celem pracy jest opis algebry tych operatorów i jej własności.

Paweł Kasprzak

Temat 1. Warunki Vaesa dla grup klasycznych

Opis: Warunki Vaesa podają charakteryzację algebry funkcji ciągłych znikających w nieskończoności na kwantowej przestrzeni jednorodnej. Odzwierciedlają one zachowanie się tej algebry ze względu na branie iloczynu krzyżowego działania kwantowej grupy. Celem pracy jest bezpośrednie sprawdzenie tych warunków dla klasycznych przestrzeni jednorodnych.

Temat 2. Deformacja Rieffela jako funktor

Opis: Deformacja Rieffela jest procedurą pozwalającą deformować przestrzenie z działaniem grupy klasycznej. Celem pracy jest opisanie tej procedury w języku teorii kategorii.

Temat 3. Kwantowe przestrzenie jednorodne otrzymane metodą deformacji Rieffela

Opis: Celem tej pracy jest zastosowanie deformacji Rieffela do przestrzeni jednorodnych pojawiających się w fizyce takich jak stożek świetlny czy hiperboloida masowa.

Temat 4. Deformacja Rieffela ko-działań grup klasycznych

Opis: Deformacja Rieffela jest procedurą pozwalającą deformować przestrzenie z działaniem grupy klasycznej. Celem pracy jest rozszerzenie procedury do kategorii $G - C^*$ – algebr gdzie G jest grupą kwantową.

Tomasz Pawłowski

Temat 1: Dynamika sieci spinorowych w kwantowej grawitacji pętlowej.

Opis: W pętlowym opisie kwantowej grawitacji przestrzeń reprezentowana jest przez jednowymiarowe struktury - tzw. sieci spinorowe. Ewolucja czasowa układu fizycznego opisywana jest poprzez zmianę tych sieci generowaną przez hamiltonian. Od niedawna, dokładna postać tego hamiltonianu i jego działanie na sieciach są znane. Celem projektu jest zbadanie generowanej przez ten hamiltonian ewolucji czasowej szczególnych przypadków prostych sieci spinorowych, jako etap początkowy bardziej zaawansowanego programu.

Wymagania: znajomość podstaw ogólnej teorii względności, znajomość podstaw mechaniki kwantowej (poziom II), umiejętność programowania w C++, biegłość w programowaniu obiektowym, znajomość metod numerycznych.

Temat 2: Czarne dziury w czasoprzestrzeni z pyłem bezwirowym..

Opis: Czasoprzestrzeń zawierająca pył bezwirowy jest szczególnie wygodnym punktem wyjścia

dla opisu kwantowego, jako że w tym przypadku możliwe było skonstruowanie działającego modelu kwantowej grawitacji w ramach tzw. grawitacji pętlowej. Zastosowanie tego modelu do kwantowego opisu kolapsu grawitacyjnego wymaga najpierw identyfikacji klasycznych rozwiązań czarnodziurowych o wysokiej symetrii jako punktu startowego. Celem projektu jest zbadanie warunków istnienia czarnych dziur w czasoprzestrzeni sferycznie symetrycznej z w/w materią i (w przypadku istnienia) opis ich właściwości i wielkoskalowej struktury zawierających je czasoprzestrzeni.

Wymagania: znajomość podstaw ogólnej teorii względności, umiejętność programowania w C++, biegłość w programowaniu obiektowym, znajomość metod numerycznych.

Temat 3: Semiklasyczne metody kosmologii kwantowej.

Opis: W kwantowej kosmologii ewolucja najprostszych modeli wszechświata daje się opisywać poprzez bezpośrednie odcałkowanie równań ewolucji funkcji falowej. Musi się to jednak odbywać za pomocą zaawansowanych metod numerycznych i dla nawet nieco tylko bardziej skomplikowanych modeli jest niezwykle kosztowne obliczeniowo. Alternatywą są metody semiklasyczne operujące na tzw rozkładzie Hamburgera. Są one wygodne, ponieważ opis ewolucji stanu kwantowego daje się zredukować do ewolucji kilku (istotnych z punktu widzenia fizyki) parametrów ten stan opisujących. Dokładniej, możliwe jest dokonanie obcięcia początkowo nieskończonej rodziny parametrów do skończonego ich zbioru. Problemem jest jednak nieznana dokładność metody uzależniona od tego obcięcia. Celem projektu jest przetestowanie w/w metod semiklasycznych na prostych modelach, gdzie ewolucja na poziomie ściśle kwantowym jest technicznie obliczalna. Zweryfikowanie wyników zastosowania metod semiklasycznych za pomocą obliczeń czysto kwantowych ma pozwolić na ustalenie optymalnych parametrów i dokładności działania tych pierwszych. Wyniki te posłużą za punkt startowy do analizy bardziej zaawansowanych (fizycznie istotnych) kwantowych modeli kosmologicznych.

Wymagania: znajomość podstaw kosmologii, znajomość podstaw mechaniki kwantowej, umiejętność programowania w C++, biegłość w programowaniu obiektowym, znajomość metod numerycznych.