

INSTYTUT FIZYKI TEORETYCZNEJ

Tematy prac licencjackich dla studentów studiów indywidualnych fizyka I stopnia i MISMAP w roku akademickim 2016/17

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

Własności bozonów Higgsa w supersymetrycznych rozszerzeniach Modelu Standardowego – *M. Badziak*

Odkrycie w LHC cząstki Higgsa potwierdziło mechanizm spontanicznego naruszenia symetrii elektroslabej. Nadal jednak nie wiadomo czy jest to cząstka Higgsa przewidywana przez Model Standardowy i czy istnieje więcej bozonów Higgsa. W teoriach supersymetrycznych, które pozwalają na wyjaśnienie wielu zjawisk niezrozumianych w ramach Modelu Standardowego, w łamaniu symetrii elektroslabej bierze udział więcej pól Higgsa. Celem pracy jest poznanie struktury sektora Higgsa w minimalnych supersymetrycznych rozszerzeniach Modelu Standardowego oraz zbadanie fenomenologii tego sektora w różnych schematach łamania supersymetrii. Szczególny nacisk będzie położony na interpretacje wyników eksperymentów przy LHC w tej klasie modeli.

Zastosowanie technik Monte Carlo do badania supersymetrycznych rozszerzeń Modelu Standardowego – *M. Badziak*

Ten temat jest szczególnie polecany osobom zainteresowanych fizyką cząstek elementarnych i zarazem lubiących programować oraz chcących poznać efektywne algorytmy numeryczne. Teorie supersymetryczne są najpoważniejszymi kandydatami na teorię rozszerzającą Model standardowy oddziaływań fundamentalnych. W ogólności takie modele zawierają wiele parametrów, co wymaga zastosowania do ich badania zaawansowanych algorytmów numerycznych. Celem pracy jest poznanie modeli supersymetrycznych oraz algorytmów opartych na metodzie Monte Carlo, czego efektem końcowym ma być napisanie programu do analizy tych modeli w oparciu o dane z LHC oraz eksperymentów poszukujących ciemnej materii.

Kwantowe ograniczenia na przepustowość kanałów optycznych - K. Banaszek

Standardowe techniki detekcji używane w łączności optycznej, takie jak pomiar liczby fotonów, nie osiągają maksymalnej przepustowości dozwolonej przez fizykę kwantową. Celem pracy będzie kwantowomechaniczny opis bardziej zaawansowanych metod detekcji sygnałów optycznych i analiza ich wydajności. Zagadnienia te są obecnie badane w celu zwiększenia przepustowości łączy światłowodowych, na których opiera się współczesny internet.

Optymalizacja źródeł par fotonów - K. Banaszek

Powszechnym sposobem wytwarzania stanów splątanych jest proces parametrycznego podziału częstości zachodzący w kryształach nieliniowych, w którym produkowane są pary fotonów. Celem pracy będzie znalezienie przy użyciu prostego modelu konfiguracji, która dostarczy jak największej liczby użytecznych par fotonów. Wynik ten będzie mógł być bezpośrednio zweryfikowany w naszym laboratorium.

Wpływ spontanicznej polaryzacji na strukturę pasmową studni kwantowych InN/GaN – W. Bardyszewski

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 rozdzielania 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.

Nieklasyczne momenty funkcji Wignera - A. Bednorz

Funkcja Wignera udaje prawdopodobieństwo w mechanice kwantowej, ale może przyjmować ujemne wartości. Jak można stwierdzić jej ujemność znając tylko wartości skończonej liczby jej momentów $\langle x^k p^n \rangle$? Dla jakich stanów kwantowych jest to możliwe?

Kwaziprawdopodobieństwo w skończone wymiarowych przestrzeniach Hilberta - A. Bednorz

Kwantowe pomiary operatorów nieprzemiennych można opisać tylko kwaziprawdopodobieństwem, które może przyjmować ujemne wartości. Obliczyć kwaziprawdopodobieństwo dla dwu- i trójwymiarowych przestrzeni Hilberta i odpowiednich prostych operatorów. Kiedy jest ujemne?

Efekt Zenona - A. Bednorz

W antycznym paradoksie Zenona z Elei Achilles nie dogoni żółwia. Klasyczny paradoks staje się realnym problemem w mechanice kwantowej: stały pomiar rzutowy (nieskończenie silny) może zatrzymać układ. Przeanalizować pojawianie się efektu Zenona w prostym dwu- i trójpoziomym układzie w zależności od siły pomiaru i jego częstości.

Związki pomiędzy kondensacją Bosego-Einsteina a nadpłynnością - K. Byczuk

Praca ma polegać na przeglądzie literatury i uporządkowaniu wiedzy na temat: czy istnienie kondensacji Bosego-Einsteina (makroskopowe obsadzenie stanu o najniższej energii) implikuje istnienie nadpłynności (czyli przepływu cieczy bez lepkości i kwantyzacją wirowości). Chcemy również wyprowadzić związek pomiędzy pozadiagonalnym porządkiem dalekiego zasięgu dla kondensatu, a gęstością składowej nadpłynnej w modelu dwucieczowym Tiszy-Landaua.

Układy z nieporządkiem, lokalizacja Andersona i teorie pola średniego – K. Byczuk

Obecność nieporządku w nieskończenie wielkim układzie kwantowym prowadzi do istnienia gęstego punktowego widma wzbudzeń. Elektrony znajdujące się w tych stanach są zlokalizowane, a cały układ jest izolatorem Andersona. Istnieją teorie typu pola średniego opisujące ten efekt na poziomie jedno lub dwucząstkowym. Chcemy zbadać jakie są związki pomiędzy tymi podejściami w oparciu o znaną literaturę i własne wyprowadzenia.

Badanie splątania kwantowego w układach wielu cząstek - K. Byczuk

Splątanie kwantowe jest potencjalnym źródłem możliwości dla komputerów kwantowych. Samo splątanie musi istnieć w prawie każdym kwantowym układzie z oddziałującymi cząstkami. Przy użyciu entropii von Neumanna oraz entropii względnej chcemy scharakteryzować ilość splątania w kwantowych układach wielu ciał. Chcemy ustalić jak na ilość splątania wpływa uporządkowanie dalekiego zasięgu w układzie.

Chaos deterministyczny w dynamice Stokesa - B. Cichocki

Zjawisko opadania cząstek w lepkiej cieczy jest znakomitą ilustracją chaosu deterministycznego. Już ruch trzech cząstek jest trudny do "przewidzenia". Opis statystyczny staje się koniecznością.

Optyczny model detektora fal grawitacyjnych – R. Demkowicz-Dobrzański

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 polegać będzie na stworzeniu prostego modelu działania interferometru i analizie optymalnych strategii na wykrycie obecności fali grawitacyjnej.

Informacja Shannona a Informacja Fishera - klasycznie i kwantowo – R. Demkowicz-Dobrzański

Informacja Shannona jest podstawowym pojęciem w klasycznej teorii informacji i komunikacji, i służy w szczególności do obliczanie pojemności kanałów komunikacyjnych w obecności szumu. Informacja Fishera z kolei jest podstawowym narzędziem w tzw. teorii estymacji, gdzie na podstawie obserwowanych zdarzeń których wyniki są rządzone pewnym modelem probabilistycznym wnioskuje się na temat parametrów modelu. Tematem pracy będzie zbadanie związków pomiędzy tymi pojęciami oraz ich uogólnieniami kwantowymi pozwalającymi powiązać problem pojemności komunikacji przez kanały kwantowe z problemem rozróżnialności stanów kwantowych.

Optymalne strategie rozróżniania stanów kwantowych- R. Demkowicz-Dobrzański

Zgodnie z prawami mechaniki kwantowej nie jest możliwe bezbłędne rozróżnienie nieortogonalnych stanów kwantowych. Względnie łatwo znaleźć optymalne strategie pozwalające na rozróżnianie dwóch stanu. Znacznie trudniejszy jest ogólniejszy problem rozróżniania większej liczby stanów. Problem rozróżniania większej liczby stanów jest istotny z punktu widzenia analizy bezpieczeństwa protokołów kryptografii kwantowej. Niezwykle użyteczną metodą rozwiązywania tego typu problemów jest zastosowanie metod „convex optimization”. Zadanie będzie polegać na napisaniu programu w MatLabie pozwalającego znaleźć optymalną strategię rozróżniania dla dowolnego zestawu stanów kwantowych

Nowe funkcjonały gęstości energii do opisu własności jąder atomowych - J. Dobaczewski

Projekt ma na celu włączenie studenta w aktualne prace naukowe prowadzone w IFT i na Uniwersytecie w Jyväskylä (Finlandia) w zakresie nowoczesnych metod opisu własności jąder atomowych. Badane będą związki pomiędzy strukturą jednocząstkową jąder atomowych (opis w języku składników - protonów i neutronów) a strukturami kolektywnymi (opis jądra atomowego jako całości). Szczególnie wiele uwagi będzie poświęcone zagadnieniom przywracania naruszonych symetrii w samowiązanych układach fermionowych, jakimi są jądra atomowe i chmury zimnych atomów. Projekt będzie mógł być wykonywany w Warszawie lub w ramach stażu naukowego ERASMUS na Uniwersytecie w Jyväskylä.

Wpływ relatywistycznego ruchu na oddziaływanie cząstki z kwantowym polem skalarnym – A. Dragan

Model oddziaływania cząstki punktowej z polem skalarnym pozwala badać, w jaki sposób ruch cząstki wpływa na jej oddziaływanie z polem. Okazuje się, że cząstka w spoczynku "postrzega" i "doświadcza" otaczające ją pole w zupełnie inny sposób, niż cząstka w niejednostajnym ruchu.

Zależność stanu kwantowego pola od obserwatora – A. Dragan

Teoria kwantowa wraz ze swoimi zaskakującymi konsekwencjami staje się jeszcze dziwniejsza, gdy dopuścimy do niej efekty relatywistyczne. Okazuje się wówczas, że stan układu może zależeć od obserwatora. W szczególności, podczas gdy spoczywający obserwator inercjalny stwierdza stan próżni, ruchomy obserwator może twierdzić, że jest otoczony cząstkami kwantowymi.

Splątanie stanu próżni kwantowej – A. Dragan

Stan próżni pola kwantowego nie jest banalny, lecz posiada niezwykle interesującą strukturę wewnętrzną zawierającą nieograniczoną ilość splątania kwantowego - podstawowego surowca używanego w wielu protokołach kwantowych, takich jak teleportacja.

Pomiar rzutowy stanu pola kwantowego w pobliżu czarnej dziury – A. Dragan

(T) Pomiar rzutowy znany z mechaniki kwantowej może zostać wprowadzony także w kwantowej teorii pola. Konstrukcja ta prowadzi do niezwyklej konsekwencji, gdy pomiar taki przeprowadzany jest na stanie pola w relatywistycznym, jednostajnie przyspieszonym układzie odniesienia symulującym czarną dziurę.

Pomiar rzutowy stanu pola kwantowego w zakrzywionej czasoprzestrzeni rozszerzającego się wszechświata. – A. Dragan

(T) Pomiar rzutowy znany z mechaniki kwantowej może zostać wprowadzony także w kwantowej teorii pola. Konstrukcja ta prowadzi do niezwyklej konsekwencji, gdy pomiar taki przeprowadzany jest na stanie pola w relatywistycznym, jednostajnie przyspieszonym układzie odniesienia symulującym czarną dziurę. Nie zostało dotąd zbadane, jakie konsekwencje niesie ze sobą zastosowanie modelu pomiaru rzutowego w zakrzywionej czasoprzestrzeni rozszerzającego się wszechświata.

Różniczkowe równania grupy renormalizacji dla oscylatora anharmonicznego - S. Głazek

Praca polega na napisaniu i rozwiązaniu w wybranym przybliżeniu równań procedury grupy renormalizacji dla cząstek efektywnych w przypadku oscylatora anharmonicznego (model pola Higgsa w 0 wymiarowej przestrzeni).

Uproszczony model wkładu gluonów do spinu protonu - S. Głazek

Praca polega na obliczeniu spinu protonu w prostym modelu z uwzględnieniem składowej jego stanu analogicznej do gluonów oraz porównaniu wyniku danymi doświadczalnymi.

Macierz rozpraszania w jednowymiarowej mechanice kwantowej - S. Głazek

Praca polega na obliczeniu i opisanu macierzy przejścia czastki przez bariere lub studnie potencjału w jednowymiarowej mechanice kwantowej za pomocą formalnej teorii rozpraszania Gell-Manna i Goldbergera.

Warunki początkowe w rozwiązywaniu równania Boltzmanna dla gęstości ciemnej materii – B. Grządkowski

Celem pracy jest zbadanie rozwiązań równania Boltzmanna dla gęstości ciemnej materii przy założeniu niestandardowych warunków początkowych zdefiniowanych dla wysokich temperatur odpowiadających chwilom bliskim wielkiemu wybuchowi. Typowy warunek początkowy stosowany w kosmologii polega na założeniu równowagowego rozkładu, możliwe są jednak inne przypadki np. „feebly interacting dark matter” kiedy to oddziaływanie ciemnej materii z Modelem Standardowym jest za słabe by mogła ona być w chwili początkowej w równowadze. Praca może dotyczyć jedno- lub wielo-składnikowej ciemnej materii. Praca ma potencjał badawczy i może zakończyć się publikacją. Literatura [1-10].

Dynamika oddziaływania składników ciemnej materii – B. Grządkowski

Wbrew standardowemu założeniu ciemna materia może składać się nie z jednego rodzaju słabo oddziałujących masywnych cząstek (WIMP), a z wielu składników oddziałujących ze sobą i z cząstkami Modelu Standardowego. Celem pracy jest zbadanie rozwiązań równania Boltzmanna dla gęstości ciemnej materii w obecności dwóch skalarnych, słabo oddziałujących cząstek ciemnej materii. W szczególności praca powinna znaleźć i zbadać dozwolone scenariusze, w których efekty oddziaływania składników ciemnej materii miałyby wpływ na ewolucję gęstości ciemnej materii. Praca wymaga dużego zaangażowania studenta, ma potencjał badawczy i może zakończyć się publikacją. Literatura [1-10].

Doświadczalne testy istnienia ciemnej materii – *B. Grządkowski*

Celem pracy jest zebranie i przejrzysty opis obserwacji potwierdzających istnienie ciemnej materii. Praca byłaby oparta o istniejące publikacje. Literatura [1-4].

Literatura

1. A. Liddle, „Wprowadzenie do kosmologii współczesnej”
2. E.W. Kolb and M. S. Turner, “The Early Universe”
3. L. Bergström, A. Goobar, “Cosmology and Particle Astrophysics”
4. D. Gorbunov and V. Rubakov, “Introduction to the Theory of the Early Universe, Hot Big Bang Theory”
5. S. Profumo, “TASI 2012 Lectures on Astrophysical Probes of Dark Matter”, e-Print: arXiv:1301.0952
6. F. Mandl and G. Show, “Quantum Field Theory 2nd Edition”
7. P. Gondolo, G. Gelmini, “Cosmic abundances of stable particles: Improved analysis”, Nucl. Phys. B360 (1991) 145-179
8. K. Griest and D. Seckel, “Three exceptions in the calculation of relic abundances”, Phys. Rev. D43, 3191 (1991)
9. M. Srednicki, R. Watkins and K. A. Olive, “Calculations of Relic Densities in the Early Universe”, Nucl.Phys. B310 (1988) 693
10. G. Steigman, B. Dasgupta, and J. F. Beacom, “Precise relic WIMP abundance and its impact on searches for dark matter annihilation”, Phys. Rev. D86, 023506 (2012)

Własności krytyczne klasycznych modeli $O(N)$ – *P. Jakubczyk*

Dwuwymiarowe oraz trójwymiarowe modele $O(N)$ opisują uniwersalne własności szerokiej klasy układów krytycznych. Celem pracy jest ich zbadanie (dla wybranych przypadków i w ramach metody uzgodnionej z opiekunem pracy). Praca wymagała będzie zarówno wykonania rachunków analitycznych, jak i numerycznych (napisania programu rozwiązującego uprzednio wyprowadzony układ równań różniczkowych).

Jednowymiarowy model Isinga z długozasięgowymi oddziaływaniami – *P. Jakubczyk*

Model Isinga jest jednym z najbardziej podstawowych modeli fizyki statystycznej stanów równowagi. W przypadku jednowymiarowym jego diagram fazowy nie wykazuje przemiany fazowej w żadnej skończonej temperaturze. Nie dotyczy to jednak sytuacji, w której oddziaływania między spinami mają wystarczająco długozasięgowy charakter.

Model sferyczny – *P. Jakubczyk*

Model sferyczny ferromagnetyzmu został zaproponowany w latach 50tych XX wieku. Jest to jeden z nielicznych modeli teoretycznych, gdzie przemiana fazowa może zostać ściśle zbadana metodami analitycznymi. Uzyskane w ostatnich latach wyniki wskazują na jego pokrewieństwo z układami oddziałujących bozonów i z pewnymi modelami opisującymi zjawisko kondensacji Bosego-Einsteina.

Kreacja par elektron-pozyton w silnym polu laserowym – mechanizm Bethe-Heitlera - *K. Krajewska*

Kreacja par elektron-pozyton w polu laserowym to jeden z fundamentalnych procesów elektrodynamiki kwantowej. Kreacja par elektron-pozyton może zachodzić na skutek zderzenia relatywistycznych jąder atomowych z ultra-silną wiązką laserową (poprzez tzw. mechanizm Bethe-Heitlera). Celem pracy jest poznanie charakterystyk procesu kreacji par w zależności od wymuszającego ten proces pola laserowego.

Kreacja par elektron-pozyton w silnym polu laserowym – mechanizm Breita-Wheelera - *K. Krajewska*

Kreacja par elektron-pozyton w polu laserowym to jeden z fundamentalnych procesów elektrodynamiki kwantowej. Kreacja par elektron-pozyton może zachodzić na skutek zderzenia ultra-silnej wiązki laserowej z nielaserym fotonem (poprzez tzw. Mechanizm Breita-Wheelera). Celem pracy jest poznanie charakterystyk procesu kreacji par w zależności od wymuszającego ten proces pola laserowego.

Rozpraszanie Motta w ultra-silnych krótkich impulsach laserowych - *K. Krajewska*

W kontekście postępującego rozwoju technologii laserowej, fundamentalne znaczenie mają obecnie badania dotyczące oddziaływania pola laserowego z materią w tzw. ultra-wysokim reżimie intensywności. Celem pracy będzie zbadanie rozpraszania Motta w obecności ultrasilnego krótkiego impulsu laserowego.

Testowanie modeli z dwoma dubletami Higgsa w oparciu o najnowsze dane LHC - *M. Krawczyk*

Odkrycie w lecie tego roku w LHC cząstki Higgsa, zgodnej z Modelem Standardowym, nie wyklucza istnienia cięższych partnerów tej cząstki, w tym również naładowanych cząstek Higgsa. Wyznaczenie ograniczeń na parametry tych cząstek w modelu z dwoma dubletami Higgsa stanowi temat pracy licencjackiej, z naturalnym rozszerzeniem do pracy magisterskiej.

Ewolucja Wszechświata w modelu z dwoma dubletami pól skalarnych (Higgsa) – *M. Krawczyk*

W rozszerzeniu Modelu Standardowego zawierającego dwa dublety pól skalarnych (Higgsa) możliwe są różne scenariusze ewolucji Wszechświata. W niektórych z nich występuje kilka kolejnych przejść fazowych a ciemna materia pojawia się dopiero na ostatnim etapie. Sygnatury takich scenariuszy mogą być zbadane w pracy licencjackiej w oparciu o dane z LHC i pomiarów astrofizycznych.

Równanie falowe w pięciowymiarowej czasoprzestrzeni z brzegami - Z. Lalak

W zderzaczu LHC poszukiwane będą sygnały mogące świadczyć o tym, że czasoprzestrzeń może mieć więcej niż trzy wymiary przestrzenne. W prostym modelu uogólniającym standardową elektrodynamikę można studiować podstawowe własności propagacji fal w pięciowymiarowej przestrzeni z brzegiem.

Czarne dziury w LHC - Z. Lalak

W zderzaczu LHC tworzyć się mogą czarne dziury, o ile czasoprzestrzeń ma więcej niż cztery wymiary i pod warunkiem, że wyżej-wymiarowa stała grawitacji jest rzędu 1000 mas protonu. Przybliżony opis powstawania i rozpadu takich czarnych dziur można uzyskać metodami prawie klasycznymi.

Mieszanie stanów kwantowych w teorii oddziaływań elementarnych - Z. Lalak

W teorii cząstek elementarnych występuje mieszanie stanów kwantowych prowadzące często do ciekawych obserwowalnych konsekwencji, na przykład mieszania neutralnych cząstek K lub oscylacji zapachów neutrin. Projekt zmierza do sformułowania prostego, kwantowo-mechanicznego opisu takich zjawisk.

Teorie Kaluzy-Kleina: modele z branami – Z. Lalak

Modele Kaluzy-Kleina zawierające dodatkowe wymiary przestrzenne są jednymi z najciekawszych rozszerzeń Modelu Standardowego oddziaływań fundamentalnych. Pozwalają zgeometryzować problem hierarchii skal masowych i wyjaśnić za pomocą zasady lokalności hierarchie oddziaływań w fizyce cząstek elementarnych. Realizacja tego projektu pozwoli poznać konstrukcję i sposób działania takich modeli.

Unitarne reprezentacje grupy Lorentza - J. Lewandowski

(T) Teoria reprezentacji grupy Lorentza jest trudna i stosunkowo mało znana. Celem projektu będzie prezentacja odpowiednika twierdzenia Petera-Weyla. Twierdzenie Petera-Weyla mówi o rozkładzie $L^2(G)$ na reprezentacje nieprzywiedlne w przypadku grupy G topologicznej zwartej. Niezwarta grupa Lorentza wymagała oddzielnego rozpatrzenia. Wymagania: elementarna znajomość teorii grup, zainteresowanie analizą i przestrzeniami Hilberta.

Trudności w geometrycznym sformułowaniu kwantowej teorii pola na przykładzie mechaniki kwantowej - J. Lewandowski

Istnieje piękne geometryczno-algebraiczne sformułowanie kwantowej teorii pola. Wymaga ono jednak aby przestrzeń rozwiązań klasycznej wersji teorii była liniowa (czyli potencjały najwyżej kwadratowe). W przypadku mechaniki kwantowej, podejście to stosuje się więc do oscylatora harmonicznego. Z drugiej strony, mechanika kwantowa jest dobrze rozumiana dla wszystkich potencjałów. Zadaniem studenta, będzie uogólnienie podejścia geometryczno-algebraicznego na przypadek nieliniowej przestrzeni rozwiązań klasycznych, czyli na mechanikę kwantową punktu materialnego z dowolnym potencjałem. Wymagania: elementy geometrii różniczkowej, upodobanie do algebry (* algebry itp.).

Równanie Diraca w jednostajnie przyspieszonym pudelku - *J. Lewandowski*

Zadanie polega na zbadaniu i ewentualnym rozwiązaniu równania Diraca cząstki uwięzionej w jednostajnie przyspieszonym pudelku. Jednym z problemów będzie ustalenie, czy wynik tłumaczy promieniowanie jednostajnie przyspieszanego ładunku. Wymagania: elementy geometrii różniczkowej.

Grawitacja kwantowa w trzech wymiarach i niezmienniki topologiczne 3-rozmaitości - *J. Lewandowski*

(T) Zabawkowym modelem teorii Einsteina 4-wymiarowej czasoprzestrzeni jest analogiczna teoria zdefiniowana na rozmaitościach 3-wymiarowych zwana „3-wymiarową grawitacją”. Jednym z zadziwiających rezultatów ubocznych tej teorii są niezmienniki topologiczne Reshetikhina i Turaeva. Niezmienniki te wprowadza się wykorzystując narzędzia topologii algebraicznej (CW-kompleksy) oraz elementy algebry (grupy kwantowe). Celem pracy będzie uogólnienie definicji niezmienników na piany spinowe. Wymagania: upodobanie do teorii reprezentacji, grafów i CW-kompleksów, znajomość wzoru na działanie pola grawitacyjnego.

Relatywistyczna cząstka kwantowa w czasoprzestrzeni o stałej krzywiznie - *J. Lewandowski*

Cząstkę kwantową w czasoprzestrzeni Minkowskiego opisujemy jako element reprezentacji grupy izometrii, czyli grupy Poincaré'go. Celem pracy będzie zrozumienie analogicznej teorii cząstki kwantowej w czasoprzestrzeni (anty) de Sittera.

Wymagania: łatwość zgłębiania potrzebnych elementów mechaniki kwantowej, teorii z wiązami, teorii względności i teorii reprezentacji grup.

Unitarne reprezentacje grupy Lorentza i zastosowania w pianowo spinowych modelach - *J. Lewandowski*

(T) Teoria reprezentacji grupy Lorentza jest trudna i stosunkowo mało znana. Celem projektu będzie prezentacja odpowiednika twierdzenia Petera-Weyla. Twierdzenie Petera-Weyla mówi o rozkładzie $L^2(G)$ na reprezentacje nieprzywiedlne w przypadku grupy G topologicznej zwartej. Niezwarta grupa Lorentza wymagała oddzielnego rozpatrzenia. Teoria ta znajduje zastosowanie w pianowo spinowych modelach grawitacji kwantowej.

Wymagania: elementarna znajomość teorii grup, zainteresowanie analizą i przestrzeniami Hilberta.

Tarcie van der Waalsa – G. Łach

Tarcie van der Waalsa (zwane również tarcie Casimira, tarcie bezkontaktowym) pomiędzy obiektami poruszającymi się w próżni jest tajemniczym efektem budzącym wiele kontrowersji. Celem projektu jest numeryczne obliczenie siły tarcia pomiędzy powierzchniami kryształów w oparciu o symulacje metodą dynamiki molekularnej. Wymagania: programowanie w jednym z języków: Fortran, C/C++, Python. Idealnie - znajomość metod symulacji układów wielu cząstek.

FFT na $SO(3)$ - G. Łach

Algorytm szybkiej transformaty Fouriera (FFT) pozwala na znaczne przyspieszenie obliczania spłotu funkcji. Znajduje to szereg zastosowań w szczególności w biologii obliczeniowej. Transformatę Fouriera można uogólnić na dowolną grupę Liego, co w przypadku przemiennej grupy translacji jest równoważne zwykłej transformacji. Celem projektu jest porównanie istniejących odpowiedników algorytmu FFT na grupie obrotów i zbadanie na ile efektywnie można przy ich pomocy liczyć spłot funkcji na $SO(3)$. Wymagania: programowanie w C++, zainteresowanie metodami numerycznymi, znajomość teorii grup Liego w zakresie wykładu kursowego.

1) Modelowanie struktury elektronowej taśm grafenowych metodami ab initio- J. Majewski

2) Modelowanie struktury elektronowej taśm grafenowych domieszkowanych borem i azotem używając metody ciasnego-wiązania (tight-binding)- J. Majewski

3) Modelowanie efektów kwantowych w laserowych strukturach azotkowych- J. Majewski

Tematy 1) & 2) są ściśle związane z realizacją projektu SiCMAT, Innowacyjna Gospodarka, Opracowanie Technologii Otrzymywania Nowoczesnych Materiałów Półprzewodnikowych na Bazie Węgla Krzemu"

Siły Casimira w fizyce materii skondensowanej - *M. Napiórkowski*

Teoria skalowania układów krytycznych w skończonej objętości - *M. Napiórkowski*

Spinory w czasoprzestrzeni Minkowskiego - *A. Okołów*

Ważną rolę w opisie struktury czasoprzestrzeni Minkowskiego odgrywają linie świata promieni świetlnych. Wygodnym narzędziem do ich opisu są pewne zespolone wektory zwane spinorami.

Formalizm Hamiltonowski i formy różniczkowe - *A. Okołów*

Niektóre teorie pola takie jak np. elektrodynamika czy ogólna teoria względności dają się wyrazić w języku form różniczkowych tzn. pola występujące w danej teorii można opisać za pomocą form, a jej lagranżjan można skonstruować z tychże form używając mnożenia zewnętrznego, pochodnej zewnętrznej i tzw. gwiazdki Hodge'a. Celem pracy będzie opis formalizmu Hamiltonowskiego takich teorii przy użyciu form różniczkowych.

Mechanizmy generowania gęstości reliktovej cząstek Ciemnej Materii - *M. Olechowski*

Obserwacje astrofizyczne pokazują, że mniej niż 5% całkowitej gęstości energii we Wszechświecie stanowi znana nam materia barionowa a około 20% nieznana materia niebarionowa zwana Ciemną Materią. Ciemna Materia ma niezwykle istotny wpływ na formowanie się i budowę galaktyk i innych struktur wielkoskalowych oraz na ewolucję Wszechświata. Najczęściej zakłada się, że odpowiednia gęstość cząstek Ciemnej Materii jest wynikiem procesu wymarzania (*freeze-out*) w trakcie rozszerzania się i ochładzania Wszechświata. Zaproponowano także szereg innych mechanizmów generowania gęstości reliktovej. Realizacja projektu pozwoli poznać kilka z tych mechanizmów i porównać ich przewidywania na przykładzie prostych modeli.

Testowanie modeli Ciemnej Materii przy użyciu wyników różnych typów eksperymentów – *M. Olechowski*

Obserwacje astrofizyczne pokazują, że mniej niż 5% całkowitej gęstości energii we Wszechświecie stanowi znana nam materia barionowa a około 20% nieznana materia niebarionowa zwana Ciemną Materią. Ciemna Materia ma niezwykle istotny wpływ na formowanie się i budowę galaktyk i innych struktur wielkoskalowych oraz na ewolucję Wszechświata. Obecnie obserwujemy jedynie skutki grawitacyjnego oddziaływania Ciemnej Materii. Prowadzonych jest wiele eksperymentów, których celem jest rejestracja i ewentualnie zbadanie innych poza grawitacyjnymi własności cząstek Ciemnej Materii. Te eksperymenty można podzielić na kilka klas, m.in.: detekcja bezpośrednia, detekcja pośrednia, produkcja w zderzacach cząstek (np. w LHC). Realizacja projektu pozwoli zapoznać się z tymi klasami eksperymentów i zrozumieć, jak modele opisujące Ciemną

Materię mogą być przez wyniki tych eksperymentów testowane lub ograniczone. Nabyte umiejętności posłużą do znalezienia ograniczeń na parametry w prostych modelach Ciemnej Materii.

Własności cząstek Higgsa w Modelu Standardowym i jego niektórych rozszerzeniach - *M. Olechowski*

Największym osiągnięciem ostatnich lat w fizyce oddziaływań elementarnych było odkrycie skalarnej cząstki Higgsa przez eksperymenty działające przy Wielkim Zderzaczu Hadronowym LHC. Obecnie, w drugiej fazie działania LHC, prowadzone są pomiary mające na celu precyzyjne określenie własności tej cząstki. Trwają także poszukiwania ewentualnych dalszych cząstek skalarnych. Jest to niezwykle ważne, ponieważ cząstki skalarne Higgsa są ściśle związana z mechanizmem spontanicznego naruszenia symetrii elektroslabej i z nadawaniem mas cząstkom elementarnym. Realizacja projektu pozwoli zrozumieć strukturę sektora Higgsa i własności cząstek Higgsa oraz mechanizm naruszenia symetrii w prostych rozszerzeniach Modelu Standardowego oddziaływań elementarnych. Analizowana będzie także możliwość testowania takich modeli przez porównanie z wynikami uzyskiwanymi w LHC.

Bieguny Landaua w Modelu Standardowym i jego prostych rozszerzeniach – *M. Olechowski*

Model Standardowy oddziaływań elementarnych znakomicie zgadza się z wynikami eksperymentów przy energiach do kilku TeV. Nie znaczy to, że Model Standardowy jest teorią obowiązującą bez modyfikacji dla dowolnie wysokich energii. Jednym z powodów, dla których jakieś modyfikacje mogą być konieczne, są bieguny Landaua. Są one związane z tzw. biegnięciem stałych sprzężenia oddziaływań. Wartości stałych sprzężenia zmieniają się z energią, a zależność ta opisana jest równaniami grupy renormalizacji. Biegunem Landaua nazywamy skalę energii, przy której któraś ze stałych sprzężenia staje się nieskończona. Obecność takiego bieguna sygnalizuje załamanie się rachunku perturbacyjnego. Spodziewamy się, że nieco poniżej bieguna Landaua powinny pojawić się efekty „nowej fizyki” wykraczającej poza badany model. Celem projektu jest zbadanie, przy jakich warunkach można uniknąć biegunów Landaua w Modelu Standardowym i w jego prostych uogólnieniach.

Przesunięcie Lamba w helu mionowym. – *K. Pachucki*

Jądro helu pod wpływem krążącego elektronu (mionu) ulega polaryzacji, co wpływa na atomowe poziomy energetyczne. Dokładne oszacowanie tego efektu pozwoli na wyznaczenie promienia ładunkowego jądra helu z planowanego pomiaru przesunięcia Lamba w μHe i może pomóc w wyjaśnieniu sprzecznych wyników dotyczących promienia ładunkowego protonu.

Stany wzbudzone molekuly H_2 . - *K. Pachucki*

Celem jest dokładne rozwiązanie równania Schrodingera dla różnych stanów elektronowych molekuly H_2 korzystając z nowatorskich metod analitycznego obliczania całek z dwucentrowymi funkcjami wykładniczymi.

Wpływ skończonej masy jądra na poziomy energetyczne prostych układów atomowych - K. Pachucki

Równanie Dirac'a opisujące elektron w polu kulombowskim jądra stosuje się tylko do nieruchomego jądra. Jak w takim razie uwzględnić wpływ skończonej masy jądra na widma atomowe? Celem tego tematu jest zbadanie wpływu tego efektu na poziomy atomu helu.

Jonowe stany wzbudzone cząsteczki wodoru – K. Pachucki, G. Łach

Cząsteczka wodoru jest najprostszą i najczęściej omawianą cząsteczką chemiczną, ale nie wszystkie jej stany są tak proste jak stan podstawowy. Już najniższy stan wzbudzony o takiej samej symetrii jak stan podstawowy (stan EF 1Sigma_g) posiada kilka nieintuicyjnych własności, w szczególności jest on w szerokim zakresie odległości międzyjądrowych stanem jonowym (superpozycją stanów $H^- + H^+$ i $H^+ + H^-$). Celem projektu jest przebadanie funkcji falowych stanów wzbudzonych cząsteczki wodoru i odkrycie (podobnych do EF) stanów o dużej domieszce konfiguracji jonowych. Wymagania: programowanie w jednym z języków: Fortran, C/C++, Python. podstawowa wiedza z mechaniki kwantowej i chemii kwantowej.

Supersymetryczna mechanika kwantowa - J. Pawełczyk

(T) Supersymetryczna mechanika klasyczna oprócz zwykłych zmiennych komutujących zawiera zmienne antykomutujące. Kwantowanie tych zmiennych prowadzi do opisu stopni swobody cząstki związanych z teorią grup i tak np. w ten sposób można otrzymać relatywistyczne równanie Diraca dla cząstek ze spinem. Proponowana praca licencjacka dotyczyłaby problemu kwantowania różnych modeli z antykomutującymi zmiennymi i fizycznej interpretacji otrzymanej mechaniki kwantowej.

Wymagania: mechanika kwantowa I, elementy teorii grup, mechanika relatywistyczna.

Całkowalne modele układów spinowych - J. Pawełczyk

Układy całkowalne (dokładnie rozwiązywalne) odgrywają znaczącą rolę w szeregu fundamentalnych zagadnieniach fizyki współczesnej np. teorii oddziaływań silnych i grawitacji (przez hipotezę AdS/CFT). Celem licencjatu byłoby pokazanie na czym polega całkowalność na przykładzie modelu XXY (lub XYZ) spinów rozmieszczonych na okręgu. Praca powinna zawierać rachunki prowadzące do wyznaczenia energii podstawowych wzbudzeń takiego modelu. Wymagania: znajomość mechaniki kwantowej.

Niekomutatywne solitony - J. Pawełczyk

Solitony odgrywają bardzo ważną rolę w teorii pola. Jednak dla większości teorii rozpatrywanych w modelach cząstek elementarnych solitony nie mogą pojawić się, co jest wynikiem znanych twierdzeń no-go tj. o nieistnieniu odpowiednich rozwiązań równań ruchu. Sytuacja drastycznie zmienia się dla przestrzeni niekomutatywnych. Celem pracy jest

przebadanie własności solitonów dla pewnej klasy prostych teorii niekomutatywnych.
Wymagania: znajomość mechaniki klasycznej i kwantowej.

Spontaniczne naruszenie symetrii i bozony Goldstone'a w teorii oddziaływań elementarnych - S. Pokorski

Zjawisko spontanicznego naruszenia symetrii leży u podstaw zrozumienia mechanizmu nadawania masy cząstkom elementarnym. Jego konsekwencja jest w wielu interesujących przypadkach pojawianie się lekkich stanów w spektrum masowym modeli oddziaływań fundamentalnych. Realizacja projektu pozwoli poznać najnowsze zastosowania spontanicznego naruszenia symetrii w fizyce cząstek elementarnych.

Ciemna materia w termicznej historii Wszechświata - S. Pokorski

Ciemna materia to jedna czwarta energii Wszechświata. Fizyka oddziaływań elementarnych wyjaśnia pochodzenie ciemnej materii i pozwala prześledzić ewolucję Wszechświata oraz ciemnej materii od wielkiego wybuchu do chwili obecnej. Realizacja projektu zmierza będzie do zbudowania prostego modelu ewolucji kosmologicznej ciemnej materii.

Modele supersymetryczne w świetle pierwszych danych z LHC13 – K. Rolbiecki

W połowie roku 2015 LHC rozpoczął program poszukiwania nowej fizyki przy energii 13 GeV. Na początku roku 2016 spodziewane są pierwsze analizy przy świetłości rzędu kilku odwrotnych fb, które mogą istotnie wzmocnić ograniczenia na modele supersymetryczne lub też odkryć sygnały nowej fizyki. Celem tej pracy będzie wykorzystanie jednej z nowych analiz eksperymentalnych, jej implementacja w programie CheckMATE i interpretacja w ramach jednego z modeli supersymetrycznych. Program CheckMATE służy do kompleksowej analizy symulowanych danych Monte Carlo i ich porównania z wynikami doświadczalnymi. Osoba, podejmująca się tego projektu powinna sprawnie poruszać się w środowisku Linux i mieć opanowane podstawy programowania w C++. Kod, który powstanie w ramach tej pracy, ma szansę być włączony do publicznej wersji programu CheckMATE.

Przywracanie symetrii izospinowej w modelu isocranking- W. Satuła

Celem pracy będzie przeanalizowanie rozwiązań analitycznych modelu wymuszonego obrotu w izoprzestrzeni (isocranking) w zależności od położenia osi obrotu w izoprzestrzeni. W skrajnie jednocząstkowym przypadku sprowadza się ono do analizy rozwiązań w modelu dwupoziomowym i wymaga jedynie znajomości macierzy Pauliego i algebry momentu pędu.

Topologiczna teoria pola Cherna-Simonsa i niezmienniki węzłów (także wersja T) – *P. Sułkowski*

Teoria Cherna-Simonsa jest przykładem topologicznej teorii pola, w której naturalnymi obserwabliami są wartości oczekiwane pętli Wilsona, obliczone wzdłuż trajektorii odpowiadających węzłom zanurzonym w trójwymiarowej przestrzeni. Okazuje się, że obserwabli takie odtwarzają, a nawet istotnie uogólniają matematyczne niezmienniki węzłów, takie jak wielomiany Jonesa lub HOMFLY. Celem pracy jest wyznaczenie i analiza tego typu obserwabli na pewnych przykładach węzłów, np. węzłów torycznych.

Modele minimalne w konforemnej teorii pola (także wersja T) – *P. Sułkowski*

Modele minimalne stanowią ważną klasę ściśle rozwiązywalnych dwuwymiarowych, konforemnych teorii pola. Modele tej klasy opisują krytyczne zachowanie m.in. modelu Isinga, Potts'a, oraz innych modeli znanych z fizyki statystycznej, i pojawiają się w fizyce teoretycznej w wielu różnych kontekstach. Celem pracy jest odtworzenie i dyskusja klasyfikacji takich modeli, oraz bardziej szczegółowa analiza własności wybranego modelu minimalnego.

Metody rozwinięcia w $1/N$ (także wersja T) – *P. Sułkowski*

Przy opisie teorii mających grupę symetrii typu $SU(N)$ czy też $SO(N)$, często niezwykle skuteczne okazuje się rozważenie granicy dużych wartości N i analiza rozwinięcia pewnych wielkości w parametrze $1/N$. Kolejne wyrazy takiego rozwinięcia można przedstawić przy pomocy diagramów, które są zorganizowane według ich własności topologicznych. Zastosowanie tej metody zaowocowało ważnymi rezultatami w wielu różnych i często odległych od siebie dziedzinach, takich jak chromodynamika kwantowa, różne aspekty fizyki statystycznej, teoria macierzy losowych, korespondencja AdS/CFT w teorii strun, itd. Celem pracy jest analiza rozwinięcia typu $1/N$ na przykładzie stosunkowo prostego, ściśle rozwiązywalnego modelu teorii pola, związanego z tzw. modelami macierzowymi lub też teorią Cherna-Simonsa.

Geometria krzywych w przestrzeni Minkowskiego - *A. Szereszewski*

Modelem czasoprzestrzeni w szczególnej teorii względności jest przestrzeń Minkowskiego. W przestrzeni tej trajektoriami cząstek masywnych są krzywe czasowe, natomiast cząstki bezmasowe poruszają się po krzywych zerowych. Celem pracy będzie geometryczny opis tych krzywych przy użyciu ruchomego reperu (podobnie jak w mechanice klasycznej z poruszającym się obiektem związany jest wektor styczny do trajektorii, normalny i binormalny).

Palce uranowe – P. Szymczak

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 – P. Szymczak

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.

Różne sposoby mierzenia chiralności – P. Szymczak

O przedmiocie który nie jest identyczny ze swoim odbiciem lustrzanym mówimy że jest chiralny. Chiralne są buty, ręce, czy gwinty śrub. W pracy spróbujemy zastanowić się czy można w spójny sposób zdefiniować pojęcie stopnia chiralności - czy jeden obiekt może być bardziej chiralny od drugiego?

Zastosowanie symetrii do rozwiązywania równań różniczkowych – J. Tafel

(T) Wiele równań występujących w fizyce jest zachowanych przez transformacje współrzędnych tworzące pewną grupę, np. równanie Laplace'a jest zachowane przy translacjach i obrotach układu odniesienia. Uogólnieniem takich transformacji są tzw. transformacje punktowe, w których nowe współrzędne i nowe funkcje szukane zależą od początkowych współrzędnych i funkcji szukanych. Znalezienie symetrii układu równań różniczkowych jest często kluczem do znalezienia szczególnych rozwiązań tego układu. Można je też wykorzystać do otrzymania nowych rozwiązań z rozwiązań uzyskanych przy pomocy innej metody. Celem pracy będzie zaznajomienie się ze sposobem wyliczania symetrii równań różniczkowych i zrozumienie przykładów zastosowania tych symetrii.

Energia i pęd w ogólnej teorii względności - J. Tafel

W teorii Einsteina nie da się zdefiniować gęstości energii i pędu, natomiast można określić całkowitą energię i pęd pola grawitacyjnego w przypadku czasoprzestrzeni asymptotycznie płaskich. W pracy licencjackiej należy opisać procedurę konstruowania globalnych wielkości fizycznych, takich jak energia, i niezbędne założenia odnośnie czasoprzestrzeni. Będzie to praca przeglądowa, wykonalna pod warunkiem zaliczenia wykładu z ogólnej teorii względności.

Efekt Dopplera w teorii Einsteina - J. Tafel

W ogólnej teorii względności obserwowana częstość promieniowania różni się od częstości nadawcy na skutek względnej prędkości źródła i obserwatora oraz z powodu zmiany pola grawitacyjnego pomiędzy nimi. Tematem pracy będzie opis tego zjawiska w metryce

Schwarzschilda ze szczególnym uwzględnieniem poczerwienienia światła gwiazdy zapadającej się pod horyzont.

Produkcja cząstek w modelach inflacji z dwoma polami skalarnymi – *K. Turzyński*

Podczas inflacji kosmologicznej może się zdarzyć, że parametry opisujące pole lub pola skalarnie inflatonu zmieniają się w sposób nieadiabatyczny, tj. znacznie szybciej od tempa rozszerzania się wszechświata. Celem proponowanej pracy będzie obliczenie liczby produkowanych cząstek w sytuacji, gdy nieadiabatyczność wynika z gwałtownej zmiany kierunku trajektorii inflacyjnej w przestrzeni pól.

Analiza klasycznych modeli inflacji kosmologicznej w oparciu o najnowsze dane WMAP – *K. Turzyński*

jest zdominowana przez energię potencjalną jednego lub więcej pól skalarnych, co zapewnia bardzo szybkie, eksponencjalne w czasie, rozszerzanie się ta. Jak dotąd zaproponowano wiele różnych modeli inflacyjnych. Celem proponowanej pracy jest skonfrontowanie kilku popularnych modeli inflacji z danymi obserwacyjnymi, przede wszystkim z satelity WMAP.

Badanie trajektorii inflacyjnych w modelach z wieloma polami skalarnymi – *K. Turzyński*

ają strun często charakteryzują się występowaniem wielu pól skalarnych, które, przy odpowiednio dobranych parametrach, mogą korzystane do inflacji. Inflacja to okres , podczas którego energia Wszec energię potencjalną jednego lub więcej pól skalarnych, co zapewnia bardzo szybkie, eksponencjalne w czasie, rozszerzanie się . Celem proponowanej pracy będzie poszukiwanie trajektorii w przestrzeni pól skalarnych pozwalających na zachodzenie inflacji w kilku zadanych potencjałach pól skalarnych.

Analiza równań grupy renormalizacji minimalnego supersymetrycznego rozszerzenia Modelu Standardowego cząstek elementarnych – *K. Turzyński*

Najnowsze dane z LHC nakładają istotne ograniczenia na naładowany kolorowo sektor minimalnego supersymetrycznego rozszerzenia Modelu Standardowego cząstek elementarnych. Przy założeniu, że naruszenie supersymetrii jest przenoszone do sektora widzialnego przy skali energii bliskiej skali unifikacji oddziaływań, celem pracy jest analiza równań grupy renormalizacji w tym modelu ze szczególnym uwzględnieniem przypadku, że supersymetryczne cząstki naładowane kolorowo są znacznie cięższe od pozostałych.