

# INSTYTUT FIZYKI TEORETYCZNEJ

## Tematy prac licencjackich dla studentów studiów indywidualnych I stopnia w roku akademickim 2012/13

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

### 1. 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.

### 2. 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.

### 3. 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?

### 4. 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?

### 5. Efekt Zenona - *A.Bednorz*

W antycznym paradoksie Zenona z Elei Achilles nie dogoni zółwia. 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 trójpoziomowym układzie w zależności od siły pomiaru i jego częstości.

## **6. 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.

## **7. 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.

## **8. Badanie splątania kwantowego w układach kilku 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 porządkowanie dalekiego zasięgu w układzie.

## **9. 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.

## **10. 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 modelu działania interferometru i analizie optymalnych strategii na wykrycie obecności fali grawitacyjnej.

## **11. Optymalne strategie rozróżniania stanów – *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 stanów. 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.

## **12. Optymalizacja przygotowania stanów za pomocą optyki liniowej – pakiet w Mathematica - *R.Demkowicz-Dobrzański***

Eksperymentalne realizacje protokołów kwantowej teorii informacji są najczęściej realizacjami optycznymi. Podstawowymi cegiełkami takiej realizacji są źródła pojedynczych fotonów, płytki światłodzielące, lustra i detektory. Korzystając z tych elementów można przygotowywać stany światła konieczne do implementacji protokołu. Niestety nie wszystkie stany można przygotować równie łatwo i często jest to możliwe jedynie probabilistycznie. Zadanie będzie polegać na napisaniu pakietu w Mathematicie pozwalającego na symulowanie dowolnych układów liniowo optycznych, oraz znalezienie optymalnego przygotowania pewnego interesującego stanu dwu fotonowego.

## **13. 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 samozwiązanych 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.

## **14. 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.

## **15. 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.

## **16. 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.

## **17. 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.

## **18. 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.

## **19. Model czynnika kształtu hadronu z uwzględnieniem gluonów - S.Głazek**

Praca polega na obliczeniu i narysowaniu elektromagnetycznego czynnika kształtu hadronu w najprostszym modelu z uwzględnieniem gluonów oraz porównaniu wyniku z przykładami znanymi doświadczalnie.

## **20. 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).

## **21. Oscylacje neutrin: teoria i doświadczenie - B.Grządkowski**

Teoretyczna część pracy powinna być poświęcona relatywistycznej mechanice kwantowej fermionów i ewentualnie również kanonicznemu kwantowaniu pól fermionowych koncentrując się na zagadnieniach typowych dla neutrin (fermiony Diraca i Majorany, masy Diraca i Majorany). Dobrze by było gdyby praca zawierała opis sektora leptonowego Standardowego Modelu oddziaływań elektroślabych. Zjawisko oscylacji neutrin w próżni powinno być omówione. Student powinien zrozumieć i opisać naturalne i laboratoryjne mechanizmy powstawania neutrin. W pracy należy opisać metody doświadczalne stosowane w badaniu oscylacji neutrin. Znacznym ułatwieniem w przygotowaniu tej pracy będzie ogromna literatura dotycząca fizyki neutrin..

## **22. Tunelowanie w mechanice kwantowej i skalarnej teorii pola - *B.Grzędkowski***

Praca powinna zawierać opis półklasycznych przybliżonych metod używanych w mechanice kwantowej. Należy szczegółowo przedyskutować odpowiedniość pomiędzy przybliżonym opisem kwantowym, a klasycznymi Euklidesowymi trajektoriami cząstek w „odwróconym” potencjale. Powinien być rozważony przypadek jednego stopnia swobody i uogólnienie dla wielu stopni swobody, tak by wiarygodne było zastosowanie analogicznych metod w teorii pola (w tym przypadku skalarnego). Praca powinna zawierać ilustracje półklasycznych przybliżeń w wybranych (prostych) przypadkach tunelowania. Część pracy powinna być poświęcona tunelowaniu w teorii pola skalarnego ze stanu lokalnego minimum energii do rzeczywistego stanu podstawowego (globalne minimum). Takie metody mają bezpośrednie zastosowanie w badaniu ewolucji wczesnego wszechświata.

Literatura:

1. V. Rubakov, „Classical Theory of Gauge Fields”,
2. S. Coleman, “Aspects of symmetry”,
3. M. Razavy, “Quantum theory of tunneling”,
4. S. Coleman, “The Fate of the False Vacuum. 1. Semiclassical Theory.”, Phys. Rev. D15, 2929-2936,1977, Erratum-ibid.D16:1248,1977.

## **23. 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).

## **24. Poszukiwanie cząstki Higgsa i efektów ciemnej materii w LHC - *M.Krawczyk***

Istnienie cząstki (cząstek) Higgsa i cząstek ciemnej materii mogą, choć nie muszą, być ze sobą związane. W prostym rozszerzeniu Modelu Standardowego z dwoma dubletami pól skalarnych efekty te wiążą się ze sobą. Cząstka Higgsa w tym modelu ma wiele cech cząstki Higgsa w Modelu Standardowym, zaś własności cząstki ciemnej materii są w zgodzie z danymi astrofizycznymi. Badanie własności cząstki Higgsa w tym modelu, przy założeniu, że cząstka ciemnej materii jest bardzo lekka (masa poniżej 10 GeV), stanowić może dobry temat pracy licencjackiej, z naturalnym rozszerzeniem do pracy magisterskiej.

## **25. 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.

## **26. Równanie falowe w pięciowymiarowej czasoprzestrzeni z brzegami** **- Z.Lalak**

W zderzaczach 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.

## **27. Czarne dziury w LHC - Z.Lalak**

W zderzaczach 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.

## **28. 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.

## **29. 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 konstrukcje i sposób działania takich modeli.

## **30. 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.

## **31. 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).

### **32. Równanie Diraca w jednostajnie przyspieszonym pudełku - *J.Lewandowski***

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

### **33. 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.

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

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

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

### **35. 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.*

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

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

### **38. Spinory w czasoprzestrzeni Minkowskiego - *A. Okolów***

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

### **39. 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.

### **40. 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  $\mu\text{He}$  i może pomóc w wyjaśnieniu sprzecznych wyników dotyczących promienia ładunkowego protonu.

### **41. Stany wzbudzone molekuly $\text{H}_2$ . - K. Pachucki**

Celem jest dokładne rozwiązanie równania Schrodingera dla różnych stanów elektronowych molekuly  $\text{H}_2$  korzystając z nowatorskich metod analitycznego obliczania całek z dwucentrowymi funkcjami wykładniczymi.

### **42. 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.

### **43. 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.*

### **44. Całkowalne modele układów spinowych - J. Pawełczyk**

Układy całkowalne (dokładnie rozwiązywalne) odgrywają znaczącą rolę w poznaniu teorii fizycznych w tym teorii oddziaływań fundamentalnych. Celem licencjatu byłoby pokazanie na czym polega całkowalność na najprostszym przykładzie modelu Heisenberga spinów rozmieszczonych na prostej. Praca powinna zawierać rachunki prowadzące do wyznaczenia energii podstawowych wzbudzeń takiego modelu.  
*Wymagania: znajomość mechaniki kwantowej.*

### **45. 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.*

#### **46. 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 konsekwencją 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.

#### **47. 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 zmierzać będzie do zbudowania prostego modelu ewolucji kosmologicznej ciemnej materii.

#### **48. Oddziaływania tensorowe i ich wpływ na poziomy jednocząstkowe w jądrach atomowych - *W.Satula***

Celem jest analiza stałych sprzężenia jądrowego funkcjonału gęstości związanych z oddziaływaniami tensorowymi i oddziaływaniem spin-orbita poprzez badanie ich wpływu na rozszczepienia poziomów jednocząstkowych w wybranych łańcuchach izotopowych. Zadaniem studenta będzie wykonanie obliczeń numerycznych dla wybranych poziomów jednocząstkowych i dla różnych parametryzacji funkcjonału gęstości inspirowanego modelem Skyrme'a, systematyczna analiza uzyskanych wyników teoretycznych i porównanie z danymi doświadczalnymi.

#### **49. Wpływ przywrócenia symetrii rotacyjnej na efekt parzysto-nieparzysty w jądrach atomowych - *W.Satula***

Efekt parzysto-nieparzysty w energii wiązania jąder atomowych jest standardowo uznawany za sygnał występowania korelacji typu nadprzewodnikowego. Celem pracy będzie wykonanie odpowiednich obliczeń numerycznych w celu zbadania efektu parzysto-nieparzystego w modelu pola średniego bez korelacji par, ale z przywróconą symetrią rotacyjną.

#### **50. Przejścia beta Gamowa-Tellera – *W.Satula***

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

#### **51. Super-dozwolone przejścia beta typu Fermiego – *W.Satula***

Super-dozwolony rozpad beta zachodzący pomiędzy stanami analogowymi jest fascynującym zjawiskiem łączącym fizykę wielu ciał z takimi fundamentalnymi aspektami modelu standardowego jak hipoteza zachowanego prądu wektorowego czy

unitarność macierzy CKM. Celem pracy będzie zbadanie zależności elementu macierzowego przejścia Fermiego od deformacji dla małych odchyżeń wokół położenia równowagi w modelu pola średniego z przywróconymi symetriami rotacyjną i izospinową,

## **52. 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).

## **53. Erozja chemiczna skał pod wpływem ciśnienia - P.Szymczak**

Analiza erozji chemicznej (rozpuszczania) szczelin skalnych jest kluczowa dla zrozumienia procesów tworzenia się jaskiń wapiennych. Nieliniowe sprzężenia zwrotne między przepływem wewnątrz szczeliny, dyfuzją reagentów i ewoluującą geometrią szczeliny sprawiają, że dynamika tych zjawisk bardzo bogata. Większość istniejących modeli tych procesów zaniedbuje wpływ naprężeń w ośrodku skalnym, które mogą doprowadzić do zamykania się szczeliny, w miarę jak – w wyniku erozji - podmywane są punkty kontaktu między powierzchniami skalnymi. Praca poświęcona będzie stworzeniu mikroskopowego modelu tego zjawiska i jego symulacji numerycznej.

## **54. 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. Istnieje kilka konkurencyjnych teorii dotyczących mechanizmów tego procesu: a) wciąganie aktywne, gdzie na łańcuch białkowy działa bezpośrednia siła mechaniczna b) wciąganie stochastyczne, z wykorzystaniem mechanizmu silnika brownowskiego c) wykorzystanie sił entropowych. Praca polegałaby na krytycznej analizie i ewentualnej rozbudowie tych modeli, oraz porównaniu ich przewidywań z danymi z eksperymentów i symulacji komputerowych.

## **55. Badanie wzrostu dendrytowego metodami analizy zespolonej –**

### ***P.Szymczak***

**(T)** 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 zaprzęcać

aparatu współczesnej analizy zespolonej, w szczególności formalizmu równania Loewnera.

## **56. 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.

## **57. 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.

## **58. 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.

## **59. Badanie trajektorii inflacyjnych w modelach z wieloma polami skalarnymi - *K.Turzyński***

Rozszerzenie Modelu Standardowego oddziaływań elementarnych motywowane teorią strun często charakteryzują się występowaniem wielu pól skalarnych, które, przy odpowiednio dobranych parametrach, mogą być niekiedy wykorzystane do inflacji. Inflacja to okres ewolucji Wszechświata, podczas którego energia Wszechświata jest zdominowana przez energię potencjalną jednego lub więcej pól skalarnych, co zapewnia bardzo szybkie, eksponencjalne w czasie, rozszerzanie się Wszechświata. Celem proponowanej pracy będzie poszukiwanie trajektorii pozwalających na zachodzenie inflacji w kilku zadanych potencjałach pól skalarnych. Ponieważ interesujące potencjały mają często bardzo skomplikowaną postać analityczną, równania ruchu (zwyczajne, drugiego rzędu) dla jednorodnych pól skalarnych rozwiązuje się w tym przypadku numerycznie.

## **60. Badanie rozwiązań równań grupy renormalizacji parametrów minimalnego supersymetrycznego rozszerzenia Modelu Standardowego cząstek elementarnych- *K.Turzyński***

Mówiąc w pewnym uproszczeniu, parametry teorii fizycznych zależą od skali energii, przy której je mierzymy. W szczególności, oczekuje się, że rozszerzająca (supersymetryczny) Model Standardowy bardziej fundamentalna teoria objawia się w pełni przy bardzo wysokich energiach oddziaływań, dużo niższych niż obecnie badane. Równania wiążące parametry teorii dla różnych skal energii noszą nazwę równań grupy renormalizacji. Zadaniem pracy będzie opis rozwiązań tych znanych równań różniczkowych pierwszego rzędu.

## **61. Teoria stopowa dla izolatora topologicznego - *J.Tworzydło***

**(T)** Już od dwóch dekad wiadomo było, że zjawisko precyzyjnego kwantowania stopni przewodnictwa Halla (Nobel 1985) może być wyjaśnione przy użyciu matematycznych obiektów nazywanych niezmiennikami topologicznymi. Uczyniono wiele, bezowocnych prób uogólnienia i zastosowania niezmienników topologicznych do innych sytuacji fizycznych. Przełom dokonał się w ostatnich latach, a odkryte na tej drodze nowe materiały noszą nazwę izolatorów topologicznych. Celem pracy byłoby teoretyczne zbadanie, czy przykładowy półprzewodnik wykazuje cechy izolatora topologicznego, gdy uwzględnimy nieporządek stopowy.

## **62. Stany krawędziowe w grafenie - *J.Tworzydło***

**(T)** Zaskakujące odkrycie dwuwymiarowego kryształu grafenu zostało uhonorowane Nagrodą Nobla. Kryształ taki na brzegach posiada ostre krawędzie, określane jako „zig-zag” lub „armchair”. W przeglądowej części pracy należy opisać, znane z literatury, kwantowe stany kwazi-elektronów Diraca w pobliżu tych krawędzi. Jako przykład zastosowania poznanego w ten sposób formalizmu można rozwiązać nietypową krawędź grafenu, zaobserwowaną niedawno w eksperymentach.