

# PROPOZYCJE TEMATÓW PRAC LICENCJACKICH DLA STUDENTÓW I STOPNIA W ROKU AKADEMICKIM 2016/2017

## Instytut Fizyki Doświadczalnej

### Zakład Biofizyki

Tematy prac licencjackich dla studentów specjalności „Biofizyka molekularna” i „Projektowanie molekularne i bioinformatyka” na kierunku „Zastosowanie fizyki w biologii i medycynie” w roku akad. 2016/2017

1. **Opiekun:** prof. dr hab. Jan Antosiewicz, [jantosi@biogeo.uw.edu.pl](mailto:jantosi@biogeo.uw.edu.pl), tel. 55 40 786

**Widma dichroizmu kołowego białek w zakresie bliskiego ultrafioletu, poszukiwanie modeli do badań zmian struktury trzeciorzędowej w funkcji pH - przegląd literatury**

**Opis:** Zadaniem osoby podejmującej się wykonania tej pracy jest wyszukanie w literaturze możliwie największej liczby prac poświęconych analizie struktury trzeciorzędowej białek w oparciu o zmierzone widma dichroizmu kołowego ich roztworów w zakresie bliskiego ultrafioletu oraz przedstawienie wyników opisanych w tych pracach w formie artykułu przeglądowego, w którym, oprócz pokazania samych widm, omówione zostaną ich związki ze strukturą trzeciorzędową. W dalszej perspektywie, na przykład pracy magisterskiej, planowany jest wybór najbardziej obiecujących układów do prowadzenia badań doświadczalnych związanych z kinetyką przejść konformacyjnych w białkach pod wpływem skoku pH, z wykorzystaniem spektrometru dichroizmu kołowego Chirascan Plus z przystawką zatrzymanego przepływu, znajdującego się w Zakładzie Biofizyki. Motywacją podjęcia tego typu badań jest to, że wiele procesów zachodzących w komórkach jest zapoczątkowywanych przez skokową zmianę pH, gdy białka przemieszczają się pomiędzy różnymi organellami wewnątrzkomórkowymi.

2. **Opiekun:** prof. dr hab. Maria Agnieszka Bzowska, [abzowska@biogeo.uw.edu.pl](mailto:abzowska@biogeo.uw.edu.pl)  
tel. 55 40 789

**Krystalizacja enzymu E. coli PNP w formie monokryształów odpowiednich do wyznaczenia struktury białka z dyfrakcji promieniowania X na kryształach**

**Opis:** Dyfrakcja rentgenowska to jedna z dwóch metod eksperymentalnych umożliwiających poznanie struktury przestrzennej cząsteczek z rozdzielczością atomową, a jedyna, która nie ma ograniczeń na wielkość badanej cząsteczki. Celem pracy jest uzyskanie monokryształów enzymu E. coli PNP odpowiednich do wyznaczenia struktury białka z dyfrakcji promieniowania X na kryształach. Wszystkie do tej pory znane i zdeponowane z bazy Protein Data Bank struktury kompleksów tego białka z ligandami uzyskano z jonem siarczanowym lub fosforanowym, jako precypitantem, a więc obecnym w bardzo dużym stężeniu (rzędu 2 M). Uniemożliwia to badanie oddziaływań enzymu z ligandami w warunkach fizjologicznych. Jedyna struktura uzyskana dla formy apo białka nie podaje warunków krystalizacji, których nie udaje się powtórzyć. Celem pracy będzie znalezienie odpowiednich warunków krystalizacji. Jeśli uda się uzyskać odpowiednie kryształy, zostanie sprawdzona ich zdolność dyfrakcyjna przy pomocy dyfraktometru SuperNova (w Zakładzie Biofizyki) i w przypadku odpowiedniej zdolności rozdzielczej (minimum 2.8 Å) – zebrane pełne dane dyfrakcyjne. Praca ta może wtedy przerodzić się w pracę magisterską.

Fosforylasy nukleozydów purynowych (PNP) to kluczowe enzymy metabolizmu składników kwasów nukleinowych. Fosforylasy izolowane z różnych źródeł oraz silne selektywne inhibitory fosforylaz z tkanek ludzkich czy organizmów chorobotwórczych mają potencjalne ogromne znaczenie praktyczne,

głównie w medycynie, np. jako leki immunosupresyjne czy przeciw pasożytnicze, a także – mniej specyficzne fosforylasy z niektórych bakterii - w chemii nukleozydów purynowych oraz w opracowywanej terapii genowej niektórych nowotworów.

**3. Opiekun:** prof. dr hab. Maria Agnieszka Bzowska, [abzowska@biogeo.uw.edu.pl](mailto:abzowska@biogeo.uw.edu.pl) tel. 55 40 789  
**Aktywność biologiczna oraz właściwości fizykochemiczne laktazy - przegląd literatury**

**Temat przydzielony:** licencjuszka Katarzyna Zielińska

**Opis:** Praca licencjacka ma na celu podsumowanie dostępnych informacji na temat właściwości fizykochemicznych oraz aktywności biologicznej laktazy. Dane te będą podstawą do oceny czy realne jest zmodyfikowanie enzymu tak, by można go było podawać matce, a nie karmionemu piersią niemowlęciu cierpiącemu na nietolerancję laktozy.

Dalekosiężnym celem jest hodowla laktazy, zmodyfikowanej w celu jej inaktywacji w taki sposób, by aktywacja była kilkietapowa (etapy będą odpowiadały kolejnym środowiskom przez jakie enzym miałby podróżować jako lek na nietolerancję laktozy u niemowląt karmionych naturalnie, tj. układ pokarmowy matki, układ krwionośny matki, gruczoły laktacyjne, układ pokarmowy dziecka). Nietolerancja ta jest związana z niewystarczającą ilością naturalnie występującej w organizmie ssaków laktazy. Lek ten jest obecnie podawany bezpośrednio dziecku, co nie jest wskazane przed 6 miesiącem życia (w okresie tym zaleca się wyłączone karmienie piersią). Podawanie leku dziecku wiąże się z podaniem zarówno enzymu jak i substancji konserwujących. Można by tego uniknąć podając nieaktywną postać laktazy matce, zapewniając możliwość transportu leku w tej formie przez układ pokarmowy i krwionośny do pokarmu matki. Dziecko otrzymywałoby lek bezpośrednio z mlekiem matki, zaś ostatni etap aktywacji miałby miejsce pod wpływem zmiany pH w żołądku lub jelicie cienkim dziecka (na tym etapie za wcześnie by podejmować decyzje, czy enzym ma trafić w formie aktywnej do miejsca docelowego, czy dopiero tam być aktywowany - laktaza naturalnie wytwarzana jest w jelicie cienkim). Niezbędne będzie także opracowanie inhibicji enzymu tak, by forma nieaktywna przekształcała się w aktywną jedynie do momentu osiągnięciażądanego stężenia enzymu u dziecka. W związku z powyższym w obszarze zainteresowań pracy licencjackiej będą przede wszystkim dane dotyczące stabilności enzymu w różnych warunkach, jego aktywność w tychże, dostępne inhibitory laktazy oraz wszelkie inne dane mogące się przyczynić do ulepszenia modyfikacji enzymu oraz dopracowania drogi, metod aktywacji i sterowania stężeniem enzymu w miejscu docelowym (układ pokarmowy dziecka). W przypadku gdy literatura nie dostarczy satysfakcjonujących informacji, dopuszcza się przeprowadzenie odpowiednich eksperymentów biofizycznych w celu uzupełnienia danych.

**4. Opiekun:** prof. dr hab. Edward Darżynkiewicz, [edek@biogeo.uw.edu.pl](mailto:edek@biogeo.uw.edu.pl) tel. 55 40 787;

**Współopiekun:** dr hab. Janusz Stępiński, [jastep@biogeo.uw.edu.pl](mailto:jastep@biogeo.uw.edu.pl).

**Synteza i badania fizykochemiczne wybranych krótkich oligonukleotydowych analogów 5' mRNA kapu z zastosowaniem automatycznego syntetyzera DNA/RNA**

**Opis:** W ramach pracy licencjackiej przewidywane jest opracowanie syntezy krótkich oligorybonukleotydów (3-4 nukleotydy) zakończonych na końcu 5' wybraną strukturą tzw. kapu. Syntezy zostaną wykonane z wykorzystaniem syntetyzera DNA/RNA (ÄKTA oligopilot plus). Produkty będą charakteryzowane za pomocą widm NMR i MS. Produkty te stanowią cenne narzędzia badawcze w wielorakich testach biochemicznych i mogą być wykorzystane w dalszym toku badań, np. w pracy magisterskiej.

**5. Opiekun: prof. dr hab. Edward Darżynkiewicz, [edek@biogeo.uw.edu.pl](mailto:edek@biogeo.uw.edu.pl), tel. 55 40 787**

**Współopiekun: dr Elżbieta Bojarska CeNT I UW, [elab@biogeo.uw.edu.pl](mailto:elab@biogeo.uw.edu.pl), tel. 55 40 779.**

**Porównanie aktywności hydrolitycznej enzymów hNudt16 i hDcpS wobec dinukleotydocowych analogów kapu**

**Opis:** Enzymy hNudt16 i hDcpS są odpowiedzialne za hydrolizę struktury kapu ( $m^7GpppN$ ) w procesie degradacji mRNA. W komórkach eukariotycznych istnieją dwa podstawowe szlaki tego procesu, przebiegające w kierunku  $5' \rightarrow 3'$  oraz  $3' \rightarrow 5'$ . Szlak degradacji  $5' \rightarrow 3'$  inicjuje odcięcie  $m^7GDP$  z cząsteczek mRNA o długości łańcucha powyżej 25 nukleotydów przez specyficzne enzymy zawierające katalityczny motyw Nudix. Są to białka Dcp2 i Nudt16. Drugi typ enzymów hydrolizujących kap stanowią białka DcpS zaangażowane w końcowym etapie degradacji mRNA przebiegającej w kierunku  $3' \rightarrow 5'$ . Zawierają one katalityczny motyw HIT i wykazują wysoką specyficzność wobec dinukleotydocowych analogów kapu. Przeprowadzone ostatnio w naszym zespole badania nad specyficznością substratową hNudt16 pokazały, że również ten enzym wykazuje aktywność hydrolityczną wobec dinukleotydoców. W ramach pracy licencjackiej proponujemy przeprowadzenie badań porównawczych procesu hydrolizy wybranych analogów kapu katalizowanej przez enzymy hNudt16 i hDcpS. Przewidziane są badania dinukleotydoców modyfikowanych w pozycji N2 i N7 pierścienia 7-metyloguaniny jak również w obrębie pierwszego transkrybowanego nukleozydu.

**6. Opiekun: dr hab. Jacek Jemielity prof. UW, [jacekj@biogeo.uw.edu.pl](mailto:jacekj@biogeo.uw.edu.pl) tel. 55 43 774**

**Opracowanie nowej metody znakowania fluorescencyjnego końca 3' mRNA**

**Opis:** mRNA to cząsteczka odgrywająca ważną rolę w ekspresji genów jako matryca dla biosyntezy białka. Modyfikowane i znakowane cząsteczki mRNA są nie tylko niezwykle przydatnymi narzędziami badawczymi, ale stanowią również potencjalne terapeutyki. Celem projektu jest opracowanie nowej, chemo-enzymatycznej metody fluorescencyjnego znakowania cząsteczek mRNA w obrębie końca 3' (ogona poliA).

**7. Opiekun: dr Joanna Kowalska, [asia@biogeo.uw.edu.pl](mailto:asia@biogeo.uw.edu.pl) tel. 55 40 774**

**Synteza i charakteryzacja analogów fosfosiarczanu fosfoadenozyny jako kofaktorów z enzymów z rodziny sulfotransferaz**

**Opis:** Sulfatacja (lub sulfurylacja) jest ważną reakcją przebiegającą w organizmach żywych, zaangażowaną m.in. w procesy takie jak usuwanie toksycznych metabolitów, sygnalizacja międzykomórkowa, czy rozpoznanie molekularne i internalizacja patogenów. Reakcje sulfatacji katalizują enzymy z rodziny sulfotransferaz, które przenoszą resztę siarczanową z uniwersalnego donora, 5'-fosfosiarczanu 3-adenozyny (PAPS), na akceptor posiadający grupę OH lub  $NH_2$ . Celem projektu jest synteza chemiczna i wstępna fizykochemiczna charakteryzacja nowych analogów PAPS jako potencjalnych kofaktorów lub inhibitorów enzymów z rodziny sulfotransferaz.

**8. Opiekun: dr Dorota Kubacka, [dkubacka1@gmail.com](mailto:dkubacka1@gmail.com), tel. 55 43 775**

**Otrzymanie i charakterystyka specyficzności substratowej enzymu ludzkiej nukleotyduazy cN-III A**

**Opis:** Białka z rodziny 5' nukleotyduaz, które katalizują hydrolityczną 5'-defosforylację niecyklicznych monofosforanów rybo- i deoksyrybonukleozydów, uczestniczą w regulacji poziomu nukleotyduów w komórce utrzymując równowagę pomiędzy ich syntezą i degradacją. Wielu 5' nukleotyduazom przypisuje się dość szeroką specyficzność substratową, dlatego ich aktywność może zmieniać również stężenie aktywnych terapeutyków – analogów nukleotyduów i ograniczać ich zastosowanie w organizmie. Celem projektu jest otrzymanie na drodze nadekspresji w komórkach bakteryjnych

enzymu ludzkiej cytozolowej 5' nukleotydazy IIIA, nazywanej cN-IIIA, optymalizacja warunków i oczyszczenie enzymu z zastosowaniem różnych technik chromatografii białek oraz przeprowadzenie wstępnej charakterystyki substratowej dla tego enzymu.

**9. Opiekun: dr Maciej Łukaszewicz, [mlukas@biogeo.uw.edu.pl](mailto:mlukas@biogeo.uw.edu.pl) tel. 55 40 781**

**Oczyszczanie i analiza specyficzności substratowej wybranego enzymu dekapującego z rodziny Nudix**

**Opis:** Usunięcie struktury kapu (m7GpppN) jest jednym z kluczowych etapów regulujących stabilność mRNA w komórce. Jednym z enzymów hydrolizujących strukturę kapu jest Dcp2 – fosfohydrolaza z rodziny Nudix (Nucleoside Diphosphate linked to X). Ostatnio opisano nowe enzymy z rodziny Nudix posiadające zdolność hydrolizy struktury kapu (m.in. hNudt16, Nudt12, Nudt15; Song et al. 2013). hNudt16, podobnie jak Dcp2, należy do rodziny białek Nudix i odcina kap obecny na mRNA. Dokładna rola pozostałych białek Nudt w procesie degradacji mRNA wymaga dalszej charakterystyki tych enzymów. Celem pracy będzie otrzymanie oczyszczonego wybranego enzymu Nudt (np. Nudt15), a następnie charakterystyki jego aktywności hydrolitycznej w wybranych warunkach reakcji wobec krótkich kapowanych transkryptów RNA lub/i dinukleotydowych analogów kapu.

**10. Opiekun: prof. Jacek Kubiak, Institute of Genetics and Development of Rennes, [jacek.kubiak@univ-rennes1.fr](mailto:jacek.kubiak@univ-rennes1.fr)**

**Współopiekun : dr Maciej Łukaszewicz, [mlukas@biogeo.uw.edu.pl](mailto:mlukas@biogeo.uw.edu.pl), +48 22 55 40 781**

**Badanie wpływu silnego pola magnetycznego na cytoszkielet komórki.**

**Temat przydzielony:** licencjusz Jakub Janiec

**Opis:** Projekt, którego częścią będą zaproponowane tu badania, ma na celu znalezienie nowej metody zapobiegania odrzucania przeszczepów, bez użycia ciężkich preparatów farmakologicznych. Oparty jest on na wykrytym przez Prof. Małgorzatę Kloc działaniu silnego pola magnetycznego na cytoszkielet makrofagów powodujących proces chronicznego odrzucenia przeszczepu.

Pierwszy etap części projektu, na bazie którego będzie pisana praca licencjacka, będzie polegał na pozyskaniu białka tubuliny z mózgów wieprzowych. Następnie przeprowadzone zostaną eksperymenty polegające na potraktowaniu roztworów tubuliny w odpowiednim buforze, silnym polem magnetycznym (o sile 1-1,5T, lub innej, zależnie od typu magnezu) i zbadanie przy użyciu spektrofotometru gęstości optycznej próbki, przed, po i w trakcie działania pola magnetycznego podczas polimeryzacji tubuliny w mikrotubule. Tak zebrane dane powinny dać nam informacje o tym czy silne pole magnetyczne działa na proces polimeryzacji tubuliny.

Ponieważ na podstawie niepublikowanych jeszcze wyników badań Prof. M. Kloc wiadomo jak wspomniane pole magnetyczne działa na cytoszkielet makrofagów, zależnie od możliwości czasowych, planowane są również obserwacje działania takiego pola magnetycznego na inne typy komórek hodowanych in vitro.

Badania prowadzone przeze mnie będą odbywały się pod opieką i przy współpracy z Prof. Małgorzatą Kloc (Houston Methodist Reserach Institute, Houtson, Texas, USA), Prof. Jacka Kubiaka (WIHE, Warszawa i CNRS, Rennes, Francja) oraz opiekuna wydziałowego, dr Macieja Łukaszewicza.

**11. Opiekun: dr Paweł Daniluk, [pawel@bioexploratorium.pl](mailto:pawel@bioexploratorium.pl) tel. 55 40 776**

**Metody porównywania struktur przestrzennych RNA**

**Opis:** Celem pracy jest wykonanie przeglądu dostępnych publicznie metod porównywania struktur przestrzennych molekuł RNA. Badane metody zostaną przetestowane w celu oceny łatwości ich użycia i sprawdzenia zgodności ich działania z opisem podanym przez autorów. Jeżeli to okaże się możliwe, zostanie wyselekcjonowany zestaw przykładów, na których zostanie porównana jakość działania.

**12. Opiekun:** dr Paweł Daniluk, [pawel@bioexploratorium.pl](mailto:pawel@bioexploratorium.pl) tel. 55 40 776

**Metody porównywania wielu struktur białek - przegląd literaturowy oraz wykonanie testowych badań**

**Opis:** Celem pracy jest próba usystematyzowania znanych w literaturze metod obliczania multi-ulinioień struktur białek. Opracowanie będzie zawierało krótkie opisy badanych metod uwzględniające między innymi rodzaj obliczanych ulinioień, ograniczenia na liczbę i rozmiar struktur, zastosowany algorytm. Szczególny nacisk zostanie położony na metody oparte na algorytmach z zakresu sztucznej inteligencji, uczenia maszynowego oraz stosujące uciąglenia dyskretnych problemów optymalizacyjnych. Wybrane metody zostaną również przetestowane na wzorcowym zbiorze multi-ulinioień strukturalnych.

**13. Opiekun:** dr Krystiana A. Krzyśko, [krzysko@bioexploratorium.pl](mailto:krzysko@bioexploratorium.pl) tel. 55 40 794

**Enzymy ubikwitynujące i deubikwitynujące – ich rola w procesach nowotworowych**

**Opis:** Procesy ubikwitynacji są elementem recycling'u białek w organizmach żywych. Za opis tych procesów w roku 2004 Aaron Ciechanover, Avram Hershko, Irwin Rose otrzymali Nagrodę Nobla. Okazuje się, że wadliwe funkcjonowanie procesu ubikwitynacji, jak i odwrotnego procesu, może mieć istotne znaczenie z punktu widzenia genezy procesów nowotworowych. Celem pracy jest dokonanie krytycznego przeglądu istniejącej literatury na ten temat, w miarę możliwości porównanie sekwencji oraz struktur ubikwitynaz i deubikwitynaz w istniejących bazach danych oraz wyciągnięcie wniosków z uzyskanych danych.

**14. Opiekun:** dr Krystiana Krzyśko, [krzysko@bioexploratorium.pl](mailto:krzysko@bioexploratorium.pl), tel. 55 40 809

**Porównanie struktur oraz funkcji dimeru mitofuzyny 2, dynaminy oraz BDLP**

**Opis:** Analiza dostępnej literatury pod względem informacji strukturalnych oraz funkcji dla wymienionych białek, jak również analiza strukturalna z dostępnych danych w PDB. Struktury te trzeba będzie uzupełnić i wymodelować dimery.

**15. Opiekun:** dr Michał Koliński Pracownia Bioinformatyki IMDiK PAN, [Kolinski.Michal@gmail.com](mailto:Kolinski.Michal@gmail.com),

**Współopiekun:** prof. dr hab. Bogdan Lesyng, [lesyng@gmail.com](mailto:lesyng@gmail.com), tel. 554 08 09

**Aktywacja receptorów GPCR - opis zmian konformacyjnych białka receptorowego na podstawie dostępnych struktur krystalicznych**

**Opis:** Celem pracy będzie opis zmian konformacyjnych receptorów GPCR związanych z ich aktywacją na podstawie struktur krystalograficznych dostępnych w bazie PDB oraz najnowszych danych eksperymentalnych. Zrozumienie procesu aktywacji białka receptorowego jest kluczowe dla projektowania nowych skutecznych leków.

**16. Opiekun:** prof. dr hab. Bogdan Lesyng, [lesyng@gmail.com](mailto:lesyng@gmail.com) tel. 55 40 809

**Analiza roli sfingolipidów w procesach nowotworowych i neurodegradacyjnych układu nerwowego – przegląd literaturowy oraz modelowanie wybranego układu**

**Opis:** Pełniejsze zrozumienie procesów neurodegradacyjnych oraz nowotworowych wymaga wyjścia poza najczęściej stosowaną analizę roli białek i kwasów nukleinowych w komórkowych stanach patologicznych. Do ważnych z tego punktu widzenia należą też sfingolipidy. Celem pracy jest dokonanie aktualnego przeglądu literaturowego roli sfingolipidów w tego rodzaju stanach patologicznych oraz wykonanie modelowania wybranego układu molekularnego.

**17. Opiekun: prof. dr hab. Bogdan Lesyng, [lesyng@gmail.com](mailto:lesyng@gmail.com) tel. 55 40 809**

**Fizyka procesu fotosyntezy – przegląd badań bazujących na fizyce transferu lekkich cząstek w układach biologicznych**

**Opis:** Kwantowy transfer lekkich cząstek takich jak protony i elektrony („kwantowy hopping”) jest podstawą procesu fotosyntezy. Celem pracy jest dokonanie przeglądu literaturowego ostatnich osiągnięć naukowych w tej dziedzinie oraz wskazanie najbardziej wiarygodnych prac interpretujących w/w kluczowy proces biologiczny z wykorzystaniem metod fizyki teoretycznej i obliczeniowej. Licencjat powinien spróbować odpowiedzieć na pytanie co z badań teoretycznych może wyniknąć dla rozwoju technologii „zielonej energii”?

**18. Opiekun: dr Franciszek Rakowski Pracownia Bioinformatyki IMDiK PAN, [rakowski@icm.edu.pl](mailto:rakowski@icm.edu.pl)**

**Współopiekun prof. dr hab. Bogdan Lesyng, [lesyng@gmail.com](mailto:lesyng@gmail.com) tel. 55 40 809**

**Analiza przyczynowości w zastosowaniu do dynamiki procesów bimolekularnych – przegląd literaturowy i wykonanie modelowych symulacji**

**Opis:** Analiza przyczynowości zastosowana do dynamiki złożonych układów pozwala na detekcję i opis relacji przyczynowości łączących procesy składające się na dynamikę całego układu. Za rozwinięcie metodologii analizy przyczynowości w roku 2003 Granger dostał nagrodę Nobla. Analiza przyczynowości jest też bardzo popularna w badaniach potencjałów czynnościowych EEG i staje się popularna w badaniach dynamiki układów biomolekularnych. Celem pracy jest przegląd literaturowy ostatnich osiągnięć naukowych w tej dziedzinie oraz wykonanie testowych obliczeń dla wybranego układu z wykorzystaniem dostępnego oprogramowania.

**19. Opiekun: dr Franciszek Rakowski Pracownia Bioinformatyki IMDiK PAN, [rakowski@icm.edu.pl](mailto:rakowski@icm.edu.pl)**

**Współopiekun: prof. dr hab. Bogdan Lesyng, [lesyng@gmail.com](mailto:lesyng@gmail.com), tel. 55 40 809**

**Opis wybranych szlaków sygnałowych i metabolicznych uczestniczących w procesie plastyczności synaptycznej**

**Opis:** Plastyczność synaptyczna jest procesem następującym pod wpływem skorelowanych aktywności komórek nerwowych: pre-synaptycznej i post-synaptycznej. Sygnałem który propaguje się wzdłuż wypustek komórek nerwowych jest sygnał elektryczny (zaburzenie potencjału błonowego), jednak przekazywanie sygnału pomiędzy komórkami, w synapsie, zachodzi w postaci sygnału chemicznego. Odpowiedź komórki post-synaptycznej na sygnał wysłany przez komórkę presynaptyczną zależy od budowy i składu chemicznego synapsy. W szczególności istotną rolę pełni gęstość błonowa aktywnych receptorów kwasu glutaminowego - tzw. receptorów AMPA. Modyfikacja tej gęstości, równoznaczna ze zmianą siły połączenia synaptycznego regulowana jest przez odpowiednie szlaki sygnałowe i metaboliczne. polarymetrii Motta. Tematem pracy będzie analiza stanu powstałego w wyniku po rozproszeniu Møllera pod kątem polaryzacji i zawartości splątania.

### **Zakład Cząstek i Oddziaływań Fundamentalnych**

Proponowane tematy dotyczą wszystkich kierunków, chyba że zaznaczono inaczej

**20. Opiekun: dr hab. Artur Kalinowski**

**Wizualizacja przypadków produkcji bozonu Higgsa zarejestrowanych przez eksperyment CMS**

W lipcu 2012 roku eksperymenty ATLAS i CMS ogłosiły w laboratorium CERN odkrycie cząstki której własności są zgodne z poszukiwanym od kilkudziesięciu lat bozonem Higgsa. Praca licencjacka będzie

polegała na przygotowaniu wizualizacji danych zebranych przez eksperyment CMS działający w CERNie przy Wielkim Zderzaczu Hadronów (ang. LHC). Praca będzie doskonałą okazją do zapoznania się ze środowiskiem wielkiego międzynarodowego zespołu tworzącego eksperyment CMS, oraz do użycia nowoczesnych narzędzi komputerowych. Wykonując pracę, student będzie miał też bezpośredni kontakt z jednym z największych odkryć naukowych ostatnich lat.

**21.Opiekun: dr hab. Artur Kalinowski**

**Poszukiwanie bozonu Higgsa w danych zebranych przez eksperyment CMS**

W lipcu 2012 roku eksperymenty ATLAS i CMS ogłosiły w laboratorium CERN odkrycie cząstki, której własności są zgodne z poszukiwanym od kilkadziesiąt lat bozonem Higgsa. Praca licencjacka będzie polegała na analizie danych zebranych przez eksperyment CMS działający w CERNie przy Wielkim Zderzaczu Hadronów (ang. LHC) i selekcji przypadków produkcji bozonu Higgsa. Praca będzie polegała na przygotowaniu uproszczonego formatu danych, a następnie analizie danych eksperymentu CMS i zapisie ich w zaproponowanym przez studenta formacie danych. Praca będzie doskonałym wstępem do pracy magisterskiej poświęconej poszukiwaniom bozonu Higgsa.

**22.Opiekun: dr hab. Marcin Konecki**

**Mionowy system wyzwalania detektora CMS w obszarze pośrednich pseudopospieszności**

**23.Opiekun: prof. dr hab. A.F.Żarnecki**

**Rekonstrukcja przypadków produkcji par  $t\bar{t}$  w przyszłym zderzaczu liniowym  $e^+e^-$**

Po odkryciu w roku 2012 cząstki Higgsa głównym celem eksperymentów przy LHC, a także proponowanych eksperymentów przy planowanych przyszłych zderzaczach, stało się jak najdokładniejsze sprawdzenie przewidywań Modelu Standardowego. Jednak jednym z kluczowych parametrów modelu jest masa kwarku  $t$ , która musi być w tym celu wyznaczona z dużo większą precyzją. W eksperymentach przy LHC można wyprodukować bardzo wiele kwarków  $t$ , jednak ich precyzyjne pomiary są trudne ze względu na wysoki poziom tła. Znacznie korzystniejsze warunki do badania produkcji kwarku  $t$  będą w eksperymentach przy przyszłych zderzaczach liniowych  $e^+e^-$ : ILC i CLIC, w szczególności pomiar przekroju czynnego na produkcję par  $t\bar{t}$  na progu powinien umożliwić wyznaczenie masy z niepewnością statystyczną rzędu  $10^{-4}$ . Także pomiary rozpadów kwarków  $t$  mogą prowadzić do ograniczeń na różne modele „nowej fizyki”.

Celem proponowanej pracy będzie optymalizacja, w oparciu o wyniki pełnej symulacji komputerowej, kryteriów selekcji i parametrów rekonstrukcji przypadków produkcji par  $t\bar{t}$  w eksperymentach przy zderzaczu ILC i/lub CLIC. W szczególności należy wziąć pod uwagę dokładność rekonstrukcji masy w różnych kanałach rozpadu, wydajność rekonstrukcji kinematyki przypadku (poprawne przyporządkowanie obserwowanych w detektorze obiektów produktom rozpadu), a także efektywność odrzucania przypadków tła. Istotnym elementem selekcji powinno być także wykorzystanie algorytmów znakowania jetów inicjowanych przez kwarki  $b$  ( $b$ -tagging). Rozwiązaniem problemu optymalizacji może być wykorzystanie metod analizy wielu zmiennych (Multi Variate Analysis, MVA).

**24.Opiekun: prof. dr hab. A.F.Żarnecki**

**Testy nowej aparatury detekcyjnej Pi of the Sky +**

Celem projektu "Pi of the Sky" jest obserwacja błysków optycznych towarzyszących błyskom gamma (Gamma Ray Bursts, GRB) oraz innych krótkotrwałych lub szybkozmiennych zjawisk optycznych na niebie. W tym celu prowadzone są obserwacje dużych obszarów nieba przy użyciu kamer CCD o dużym polu widzenia. Obecnie projekt prowadzi obserwacje korzystając z teleskopów

zainstalowanych w Chile (San Pedro de Atacama) i w Hiszpanii (ośrodek INTA koło Huelva). Jednocześnie prowadzone są też prace nad budową nowego teleskopu, Pi of the Sky +, wyposażonego w dużo silniejszy obiektyw i szybszą kamerę CCD.

Celem pracy byłoby wykonanie testowych obserwacji przy pomocy obiektywów o ogniskowej 300 mm i nowych kamer CCD firmy FLI. W tym celu należy zestawić układ umożliwiający przeprowadzenie obserwacji, przygotować i przetestować oprogramowanie do kontroli funkcji elementu ogniskującego (tzw. focusera), kontroli kamery i zbierania danych. Zebrane dane powinny następnie posłużyć do oceny dokładności pomiaru jasności i pozycji w funkcji wybranego czasu ekspozycji i jasności obiektu.

### **25.Opiekun: prof. dr hab. W. Dominik**

#### **Algorytmy wyznaczania prędkości dryfu w detektorach gazowych eksperymentu NA61/SHINE**

NA61/SHINE to eksperyment działający przy akceleratorze SPS w laboratorium CERN. Badania eksperymentu skupiają się wokół zderzeń ciężkich jonów w zakresie energii 13 - 158 GeV na nukleon. Eksperyment wykonuje unikalny skan w funkcji energii oraz rozmiaru układu zderzanych jonów. Głównymi celami fizycznymi eksperymentu wyznaczenie progu na produkcję plazmy kwarkowo-gluonowej i odnalezienie punktu krytycznego silnie oddziałującej materii. Oprócz tego, NA61/SHINE zajmuje się także wykonywaniem pomiarów referencyjnych dla takich eksperymentów jak: T2K, Pierre Auger Observatory i KASCADE. Układ detekcyjny Eksperymentu NA61/SHINE składa się przede wszystkim z komór projekcji czasowej – Time Projection Chamber (TPC), czyli detektorów gazowych pozwalających uzyskać trójwymiarową rekonstrukcję przypadków eksperymentalnych. Dla celów rekonstrukcji niezbędne są precyzyjne pomiary warunków panujących w detektorach TPC, takich jak temperatura, ciśnienie i prędkości dryfu elektronów w mieszance gazowej.

Celem pracy są zbadanie i optymalizacja algorytmów wyznaczania prędkości dryfu elektronów w gazie oraz wyznaczenie minimalnej liczby przebiegów czasowych, które należy przeanalizować, aby wynik był wiarygodny. Realizacja pracy wymaga znajomości podstaw programowania (C++, ROOT lub Gnuplot).

### **26. Opiekun: prof. dr hab. W. Dominik**

#### **Badanie emisji światła w optycznych detektorach gazowych.**

Celem pracy jest pomiar względnej intensywności światła emitowanego w detektorach gazowych w warunkach pracy dla różnych mieszanek gazowych. Realizacja pracy wymaga znajomości podstaw programowania (C++, ROOT lub Gnuplot). Praca będzie doskonałą okazją do zapoznania się z budową i zasadą działania detektorów gazowych (powszechnie wykorzystywanych w eksperymentach fizyki jądrowej i cząstek elementarnych), a także sposobem analizy danych eksperymentalnych.

### **27.Opiekun: prof. dr hab. W. Dominik, dr Mikołaj Ćwiok**

#### **Dedicated electronics for Time Projection Chamber for experiment at ELI-NP laboratory**

W Bukareszcie budowane jest obecnie nowe Europejskie laboratorium Extreme Light Infrastructure – Nuclear Physics (ELI-NP). Laboratorium umożliwi prowadzenie badań procesów jądrowych z wykorzystaniem skolimowanych wiązek monoenergetycznych spolaryzowanych fotonów o energiach do 20 MeV i intensywnościach do  $10^8 \text{ s}^{-1}$ . Wiązka wysokoenergetycznych fotonów wytwarzana będzie w odwrotnym rozproszeniu Comptona światła laserowego na wiązce elektronów. Będzie to unikatowa w skali światowej infrastruktura służąca między innymi badaniom reakcji astrofizycznych. Zespół Wydziału Fizyki UW uczestniczy w przygotowaniu koncepcji eksperymentów oraz projektowaniu i wykonaniu aparatury doświadczalnej, która posłuży nam do przeprowadzenia badań, gdy laboratorium ELI-NP. zostanie uruchomione (2017 rok).



Koncentrujemy koncepcję aparatury doświadczalnej wokół techniki gazowych detektorów Time Projection Chambers ze specjalnymi elektrodami odczytu informacji. Wielokanałowy układ elektroniki odczytu sygnałów i potokowego przetwarzania informacji jest jedną z ważniejszych kwestii aparaturowych projektu badawczego. Zadania w ramach pracy licencjackiej polegać będą między innymi na badaniu charakterystyk wielokanałowego układu opracowanego przez francuską kolaborację GET oraz analizie zdolności pomiaru wybranych reakcji.

### **28. Opiekun: prof. dr hab. Barbara Badełek**

#### **Struktura kwarkowa mezonu $\pi^0$ widziana w reakcji Drelli-Yana (dane doświadczenia COMPASS w CERN).**

W doświadczeniu COMPASS w CERN badaliśmy zderzenia mezonów  $\pi^0$  o bardzo wielkiej energii z protonami. W wyniku tych zderzeń powstawały pary ciężkich elektronów, tzw. mionów. W własnościach tych par zakodowane są informacje o kwarkowej strukturze pionów, mało znanej i trudno mierzalnej.

Praca pozwoli poznać podstawy opisu kwarkowego cząstek i zaznajomić się z elementami analizy danych zebranych w nowoczesnym doświadczeniu wysokich energii.

### **29. Opiekun: prof. dr hab. Barbara Badełek**

#### **Struktura kwarkowa protonu i jądra atomowego widziana w reakcji Drelli-Yana (dane doświadczenia COMPASS w CERN)**

W doświadczeniu COMPASS w CERN badaliśmy zderzenia mezonów  $\pi^0$  o bardzo wielkiej energii z tarczami protonowymi i jądrowymi. W wyniku tych zderzeń powstawały pary ciężkich elektronów, tzw. mionów. W własnościach tych par zakodowane są informacje o strukturze kwarkowej protonów swobodnych i związanych w jądrach atomowych. Wydaje się, że powinny być one identyczne ale już od dawna istnieją wskazówki doświadczalne, zgodnie z którymi kwarki "wiedzą" czy proton jest swobodny czy związany. Praca pozwoli poznać podstawy opisu kwarkowego cząstek i zaznajomić się z elementami analizy danych zebranych w nowoczesnym doświadczeniu wysokich energii.

## **Zakład Fizyki Jądrowej**

Proponowane tematy dotyczą wszystkich kierunków, chyba że zaznaczono inaczej

### **1. Opiekun: dr Krzysztof Piasecki**

#### **Badanie rozkładów emisji mezonów $\pi^+$ i $\pi^-$ ze zderzeń ciężkich jonów przy energii 1,65 i 1,9 GeV/nukleon**

Wymagane: podstawy programowania w języku C++.

W zderzeniach jąder atomowych przy energiach wiązki ok. 1–2 GeV na nukleon strefa zderzenia staje się źródłem m.in. emisji mezonów  $\pi$ . Mezony te mogą być produkowane albo w elementarnych zderzeniach nukleon-nukleon, albo w wyniku rozpadów barionów  $\Delta$ .

Student rozpocznie analizę od symulacji, z pomocą promotora, rozkładów emisji cząstek ze źródła termicznego o zadanych parametrach, następnie detekcji w ograniczonym zakresie kątów i rekonstrukcji pierwotnych parametrów rozkładu. Na tym etapie Student pozna również podstawy szeroko wykorzystywanego środowiska analizy danych ROOT, opartego na C++.

Następnie Student, współpracując z promotorem, przeprowadzi identyfikację mezonów  $\pi^+$  i  $\pi^-$  wyemitowanych z jednego z trzech układów zderzających się jąder: Ru+Ru przy energii wiązki 1,65 GeV na nukleon, Al+Al lub Ni+Ni przy energii 1,9 GeV na nukleon. Dysponując zidentyfikowanymi mezonami  $\pi^+$  i  $\pi^-$ , Student wyznaczy rozkład populacji tych cząstek w jednej z dwóch reprezentacji przestrzeni pędowej: pęd poprzeczny-pospieszność lub energia-kąt emisji. Celem analizy będzie rozstrzygnięcie, czy rozkład doświadczalny opisywany jest przez funkcję odpowiadającą jednemu źródłu cząstek, czy przez sumę dwóch lub więcej wkładów. Następnie, poprzez dopasowanie do danych doświadczalnych, wyznaczone zostaną parametry rozkładu.

## 2. Opiekun: dr Krzysztof Piasecki

### **Emisja protonów i deuteronów ze zderzeń jądro-jądro przy energii 1,65 GeV/nukleon**

Wymagane: podstawy programowania w języku C++.

W zderzeniach jąder atomowych przy energiach ok. 1-2 GeV na nukleon strefa zderzenia podlega dezintegracji i jest źródłem emisji nukleonów i innych barionów oraz mezonów ( $\pi$  oraz innych, w tym zawierających kwark dziwny). Rozkłady zmiennych kinematycznych protonów, deuteronów i cząstek cięższych nie dają się opisać poprzez modele termiczne, nawet po uwzględnieniu ruchu kolektywnego rozprężania materii po jej ściśnięciu. Charakterystyczne wydłużenie rozkładów pospieszności sugeruje częściowe przenikanie się materii bez dochodzenia do zderzenia (zjawisko „transparencji”), a zarazem częściowe zachowanie przez układ pamięci o stanie przed zderzeniem.

Student rozpocznie analizę od symulacji, z pomocą promotora, rozkładów emisji cząstek ze źródła termicznego o zadanych parametrach, następnie detekcji w ograniczonym zakresie kątów i rekonstrukcji pierwotnych parametrów rozkładu. Na tym etapie Student pozna również podstawy szeroko wykorzystywanego środowiska analizy danych ROOT, opartego na C++.

Zadaniem Studenta będzie rekonstrukcja rozkładów pędu poprzecznego i pospieszności protonów i deuteronów, emitowanych ze zderzeń Ru+Ru przy energii 1,65 GeV/nukleon i zarejestrowanych przez układ detekcyjny FOPI. Dane zostaną opracowane przy użyciu szeroko wykorzystywanego systemu analizy danych ROOT, opartego na języku C++.

## 3. Opiekun: dr Krzysztof Piasecki

### **Symulacja emisji produktów rozpadu cząstek nietrwałych ze zderzeń jąder atomowych**

Wymagane: podstawy programowania w języku C++.

W zderzeniach jąder atomowych przy energiach wiązki powyżej 20 MeV na nukleon obserwowana jest produkcja hadronów. Większość z nich nie jest cząstkami stabilnymi. Ich rozpady przebiegają zgodnie z możliwymi kanałami, a emisja danego produktu rozpadu dokłada się do ogólnej emisji tej cząstki ze strefy zderzenia ciężkich jonów.

Student rozpocznie pracę od zapoznania się, ze wsparciem promotora, z rozkładem Boltzmannna emisji cząstek, obserwowanym na płaszczyznach energia-kąt polarny oraz pospieszność-pęd poprzeczny. Na tym etapie opanuje, ze wsparciem promotora, podstawy szeroko wykorzystywanego środowiska analizy danych ROOT.

Głównym zadaniem Studenta będzie wykorzystanie pakietu PLUTO, opartego na środowisku ROOT, do generacji produkcji cząstki zgodnie z zadaniem rozkładem kinematycznym, a następnie jej rozpadu w wybranym kanale i emisji produktów tego rozpadu. Przykładowymi badanymi kanałami rozpadu mogą być procesy:  $\pi \rightarrow N\pi$ ,  $\pi \rightarrow K^+K^-$ , realnie obecne w relatywistycznych zderzeniach ciężkich jonów.

#### **4. Opiekun: prof. dr hab. Marek Pfützner**

##### **"Badanie naturalnego tła promieniowania gamma w budynku Wydziału Fizyki UW"**

Wykorzystanie metody spektroskopii gamma do badania bardzo małych aktywności, wymaga stworzenia warunków bardzo niskiego tła. W Zakładzie Fizyki Jądrowej dysponujemy kilkoma osłonami ołowianymi służącymi do redukcji naturalnego tła gamma. Jedną z nich jest zainstalowany niedawno duży domek ołowiany w piwnicy budynku przy Pasteura 5. Celem pracy będzie pomiar naturalnego tła promieniowania gamma w kilku miejscach budynku, z użyciem osłon ołowianych i bez nich oraz ustalenie jak bardzo nasze osłony obniżają tło. Praca przewiduje również wyznaczenie aktywności wybranych próbek środowiskowych. Pomiary będą prowadzone przy użyciu detektora germanowego.

#### **5. Opiekun: dr Krzysztof Miernik**

##### **"Najważniejsze emiterzy neutronów opóźnionych w środowisku reaktorów jądrowych"**

Zjawisko emisji neutronów opóźnionych po rozpadzie beta jest jednym z kluczowych zjawisk niezbędnych do kontrolowania reaktorów. Wiele z fragmentów rozszczepienia uranu i plutonu wykazuje tę właściwość. Celem pracy jest znalezienie, na podstawie międzynarodowych baz danych używanych przy projektowaniu i użytkowaniu reaktorów jądrowych, najważniejszych emiterów neutronów opóźnionych w środowisku reaktorów jądrowych, podsumowanie aktualnych danych eksperymentalnych na ich temat, oraz zaproponowanie eksperymentów uzupełniających naszą wiedzę.

#### **6. Opiekun: dr Krzysztof Miernik**

##### **Jądra super-ciężkie - analiza prawdopodobieństwa przypadkowych zdarzeń w eksperymencie**

Najcięższe znane pierwiastki, takie jak niedawno odkryte atomy o liczbie protonów  $Z = 117$  i  $118$  nie występują naturalnie i są wytwarzane w laboratoriach w procesach fuzji pocisku  $^{48}\text{Ca}$  oraz tarczy wykonanej z aktynowców. Prawdopodobieństwo wytworzenia jądra super-ciężkiego jest bardzo małe i eksperymenty, w których są one produkowane są niezwykle długie. Podstawową metodą wykrywania jąder super-ciężkich jest detekcja łańcucha skorelowanych rozpadów alfa. Jednocześnie podczas bombardowania tarczy produkowane są licznie inne jądra, które mogą również rozpadać się poprzez emisję cząstek alfa. Zadaniem jest przeprowadzenie obliczeń (symulacji), która oszacuje prawdopodobieństwo uzyskania w eksperymencie losowego łańcucha, który może zostać pomyłony z rozpadem jądra super-ciężkiego.

#### **7. Opiekun: dr Krzysztof Miernik**

##### **"Neutronowa analiza aktywacyjna szkła"**

Neutronowa analiza aktywacyjna materiałów polega na naświetleniu próbki strumieniem neutronów, a następnie na pomiarze emitowanego promieniowania z powstałych w reakcjach jądrowych niestabilnych izotopów. Dzięki tej metodzie możliwe jest niedestrukcyjne zbadanie zawartości niektórych pierwiastków w próbce, dzięki czemu stosuje się ją w archeologii, badaniach dzieł sztuki oraz kryminalistyce. Zadaniem jest wykorzystanie tej metody do pomiarów różnych gatunków szkła i określenie możliwości jej stosowania z wykorzystaniem źródła neutronów i detektorów dostępnych na Wydziale Fizyki UW.

## **8. Opiekun: prof. dr hab. Krystyna Siwek-Wilczyńska**

### **"Badanie defektu wysokości impulsu w detektorach krzemowych zainstalowanych w układzie CHIMERA"**

Multi-detektor CHIMERA znajduje się w ośrodku badawczym INFN LNS w Katanii na Sycylii i jest zbudowany z 1192 podwójnych modułów detekcyjnych (detektor krzemowy + detektor scyntylicyjny) pokrywających 94% pełnego kąta bryłowego. Układ jest wykorzystywany do badania dynamiki zderzeń jądro-jądro w szerokim zakresie energii pocisków i charakteryzuje się bardzo niskimi progami energetycznymi na rejestrację naładowanych fragmentów.

Celem pracy jest zbadanie odpowiedzi detektorów krzemowych na rejestrację ciężkich jonów o bardzo różnych liczbach masowych (16-O, 27-Al, 58-Ni, 197-Au) i różnych energiach uzyskanych poprzez przyspieszanie w akceleratorze typu tandem. Odpowiedź detektorów krzemowych na rejestrację ciężkich fragmentów o liczbach atomowych  $Z > 10$  nie jest liniowa, tzn. amplitudy powstających sygnałów energetycznych nie są wprost proporcjonalne do energii deponowanych przez ciężkie jony. Wielkość odstępstw zależy między innymi od ładunku, masy i energii rejestrowanego jonu i wyraża się w osłabieniu amplitudy sygnału wyjściowego. Efekt ten określa się mianem defektu wysokości impulsu. Główny nacisk w pracy będzie położony na zbadanie i opisanie tego efektu w detektorach zainstalowanych w układzie CHIMERA oraz na zaproponowaniu metody uwzględniania poprawek z nim związanych w określaniu energii rejestrowanych fragmentów.

## **9. Opiekun: prof. dr hab. Krystyna Siwek-Wilczyńska**

### **"Badanie reakcji fuzji podwójnie magicznego jądra 48-Ca ze stabilnymi izotopami Pb"**

Ołów posiada cztery stabilne izotopy o liczbach atomowych 204, 206, 207 i 208. W wyniku bombardowania Pb jądrami 48-Ca możliwe jest wytworzenie różnych izotopów superciężkiego pierwiastka No ( $Z = 102$ ) w reakcjach kompletnej fuzji (utworzenie jądra złożonego) po których następuje wyparowanie od jednego do kilku neutronów. Reakcje te są wyjątkowo interesujące ze względu na własności jąder pocisku, tarczy oraz wytwarzanego jądra końcowego. Jako pocisk wykorzystuje się jądro 48-Ca (jądro podwójnie magiczne), które jak wskazują istniejące dane doświadczalne w reakcjach fuzji wykazuje znacznie większe wartości przekrojów czynnych na wytworzenie jądra złożonego niż sąsiednie nuklidy. Tarcze ołowiu o różnych liczbach masowych, począwszy od podwójnie magicznego 208-Pb powinny umożliwić badanie wpływu struktury jądra tarczy na możliwości uzyskania jąder superciężkich. Ponadto wytwarzane izotopy Nobelium będą posiadały liczbę neutronów w pobliżu zdeformowanej powłoki  $N=152$ , co umożliwi zbadanie wpływu tej powłoki na strukturę, właściwości i możliwości syntezy ciężkich jąder atomowych.

Celem pracy jest wyznaczenie krzywych wzbudzenia (zależność przekroju czynnego od energii pocisku) przy pomocy modelu FBD 'fuzji przez dyfuzję' i testowanie tego modelu wykorzystując wszystkie istniejące dane eksperymentalne, w których w reakcjach fuzja-wyparowanie uzyskiwano różne izotopy No w reakcjach wywołanych jądrami 48-Ca na różnych izotopach Pb. Główny nacisk zostanie położony na określenie prawdopodobieństwa fuzji i badanie zależności tego prawdopodobieństwa od asymetrii pocisk-tarcza w kanale wejściowym.

## Zakład Fizyki Ciała Stałego

1. **Opiekunowie: dr Igor Własny, dr hab. Andrzej Wysmołek, prof. UW**  
**Badanie własności optycznych heterostruktur złożonych z grafenu i heksagonalnego azotku boru (BN)** (Kierunek – Fizyka, Inżynieria Nanostruktur)

Heterostruktury oparte na materiałach dwuwymiarowych cieszą się rosnącym zainteresowaniem zarówno środowiska naukowego jak i przemysłu. Struktury te wykorzystywane są m.in. do transportu spinowego czy też w układach tunelowych. Istotnym problemem jest dokładne poznanie charakteru oddziaływań między grafenem i heksagonalnym azotkiem boru i poznanie zmian właściwości tych materiałów pod jego wpływem.

W ramach pracy licencjackiej warstwy oraz heterostruktury zbudowane z grafenu i heksagonalnego azotku boru zostaną wytworzone za pomocą metody eksfoliacyjnej. Następnie wytworzone próbki zostaną poddane badaniom za pomocą techniki spektroskopii ramanowskiej oraz mikroskopii sił atomowych. Wyniki uzyskane dla pojedynczych warstw jak i heterostruktur zostaną ze sobą porównane, co pozwoli na oszacowanie wpływu oddziaływania między pojedynczymi warstwami heksagonalnego azotku boru oraz grafenu na charakterystyki fononowe tych materiałów.

Literatura:

D.S. Abergel, J.R. Wallbank, X. Chen, M. Mucha-Kruczynski, V. Fal'ko, New Journal of Physics 15 (2013)  
E. E. Vdovin, A. Mishchenko, M. T. Greenaway, M. J. Zhu, D. Ghazaryan, A. Misra, Y. Cao, S. V. Morozov, O. Makarovskiy, T. M. Fromhold, A. Patané, G. J. Slotman, M. I. Katsnelson, A. K. Geim, K. S. Novoselov, L. Eaves, Physical Review Letters 116 (2016) 186603

2. **Opiekun: dr hab. Andrzej Wysmołek, prof. UW,**  
**„Badania optyczne struktur kwantowych wbudowanych w nanodrut GaN”** (Kierunek – Fizyka, Inżynieria Nanostruktur)

Struktury kwantowe (studnie kwantowe, kropki kwantowe) wbudowane w nanodrut GaN dają duże nadzieje na wykorzystanie w jako nanoźródła w obszarze ultrafioletu, w tym również źródła pojedynczych fotonów na potrzeby kryptografii kwantowej. Takie złożone nanostruktury są również bardzo obiecujące z punktu widzenia nanosensorów czy też ogniw słonecznych.

Nanodrut z wbudowanymi studniami, czy też kropkami kwantowymi są też bardzo interesujące z punktu widzenia zrozumienia procesów rekombinacji promienistej w nich zachodzących.

W ramach pracy licencjackiej proponowane są badania z wykorzystaniem spektroskopii ramanowskiej oraz mikroluminescencji na grupach oraz pojedynczych nanodrutach GaN, w szerokim zakresie temperatur, z różnymi energiami pobudzenia (w zakresie UV-VIS).

Literatura:

J. Kierdaszuk P. Kazmierczak A. Drabińska K. Korona, A. Wolos, M. Kaminska, A. Wysmołek, I. Pasternak, A. Krajewska, K. Pakula, Z.R. Zytkeiwicz, Physical Review B 92 (2015) 195403

3. **Opiekun: dr hab. Andrzej Wysmołek, prof. UW, prof. Dr hab. Roman Stępniewski**  
**„Badania struktur hybrydowych grafen/TaS<sub>2</sub>”** (Kierunek – Fizyka, Inżynieria Nanostruktur)

Kryształy 2D, w tym dichalkogenki metali przejściowych (TMDC) skupiają na sobie bardzo intensywne zainteresowanie naukowców z całego świata. Spowodowane to jest wyjątkowymi właściwościami pojedynczych warstw tych materiałów, ale również możliwości budowania złożonych struktur kwantowych z nakładanych na siebie kolejnych warstw tych materiałów.

W ramach pracy licencjackiej proponowane są badania dwusiarczku tanatalu (TaS<sub>2</sub>) oraz jego oddziaływania z grafenem.

TaS<sub>2</sub> wykazuje przejścia fazowymi pierwszego rodzaju związane z falami gęstości ładunku (CDW), wyraźnym przejściem izolator-metal oraz relatywnie wysoką wartością sprzężenia spin-orbita. Połączenie grafenu z TMDC daje unikalną możliwość stworzenia układu, który umożliwi generację i manipulowanie spinowo rozróżnialnymi nośnikami ładunku. Osobno TaS<sub>2</sub> oraz grafen nie są w stanie spełnić wymagań stawianych urządzeniom spintronicznym, natomiast w połączeniu są realnym kandydatem do budowy materiału hybrydowego, który może stać się podstawą systemów komputerowych nowej generacji. Żeby zrealizować te idee, należy najpierw w sposób wyczerpujący rozpoznać zjawiska, które występują na złączu grafen oraz TaS<sub>2</sub>.

W ramach pracy licencjackiej proponowane są badania ramanowskie oraz z wykorzystaniem mikroskopii sił atomowych (AFM), skaningowej mikroskopii tunelowej (STM) struktur grafen/TaS<sub>2</sub>. Planowane jest rozszerzenie badań na struktury hybrydowe z TaSe<sub>2</sub> oraz innymi krysztalami TMCD.

Literatura:

G. Liu, B. Debnath, T.R. Pope, T.T. Salguero, R.K. Lake, A.A. Balandin, Nature Nanotechnology 11 (2016) 845

**4. Opiekunowie: dr hab. Andrzej Wysmołek, prof. UW, prof. Dr hab. Roman Stępniewski „Badania grafenu płatkowego i jego pochodnych” (Kierunek – Fizyka, Inżynieria Nanostruktur)**

Grafen płatkowy i jego pochodne uzyskiwane z grafitu metodami fizyko-chemicznymi ma wiele potencjalnych zastosowań, szczególnie tam, gdzie zdefektowanie jest raczej zaletą niż wadą. Płatkowy tlenek grafenu oraz zredukowany tlenek grafenu (w założeniu grafen) może być wykorzystany w zastosowaniach np. do przewodzących tuszy, przezroczystych i przewodzących elektrod w ogniwach słonecznych, elektrod w bateriach, superkondensatorach, biosensorach selektywnie reagujących na zewnętrzne bodźce chemiczne w gazach i cieczach.

Właściwości optyczne i elektryczne grafenu płatkowego i jego pochodnych są przedmiotem intensywnych badań. Ciągle jeszcze wiele procesów zachodzących w tym materiale jest niewyjaśnionych.

Praca licencjacka dotyczyłaby badań optycznych (efekt Ramana, luminescencja, odbicie w świetle spolaryzowanym) pojedynczych płatków oraz struktur warstwowych odkładanych na różnych podłożach (np. na Si, szkle, GaN, BN), które mogłyby być wykorzystane np. do pomiaru wilgotności, czy też detekcji gazów. Niezależnie od znaczenia aplikacyjnego badania te są bardzo interesujące z punktu widzenia zrozumienia podstawowych procesów zachodzących w grafenie płatkowym, tlenku grafenu i zredukowanym tlenku grafenu.

Literatura:

J. Binder, J.M. Urban, R. Stępniewski, W. Strupinski, A. Wysmołek, Nanotechnology 27 (2015)

Y. Shin, M. Lozada-Hidalgo, J.L. Sambrićcio, I.V. Grigorieva, A.K. Geim, C. Casiraghi, Applied Physics Letters 108 (2016) 221907

**5. Opiekunowie: prof. dr hab. Roman Stępniewski, dr hab. Andrzej Wysmołek, prof. UW „Technologia wzrostu i właściwości optyczne warstw epitaksjalnych azotku boru” (Kierunek – Fizyka, Inżynieria Nanostruktur)**

Azotki stanowią grupę związków chemicznych będących podstawą wielu najnowocześniejszych urządzeń optoelektronicznych takich jak efektywne źródła światła białego (Nagroda Nobla z fizyki 2014), lasery emitujące w zakresie światła niebieskiego i ultrafioletu czy tranzystory mocy pracujące w zakresie GHz.

Azotek boru jest najmniej zbadanym materiałem w tej grupie. Właściwości strukturalne i optyczne tego materiału są przedmiotem intensywnych badań. Wyjaśnienia wymaga rola defektów i domieszek w procesach rekombinacji promienistej tych materiałów.

Praca licencjacka obejmowałaby uczestnictwo w procesach wzrostu warstw BN i związków mieszanych  $Al_{1-x}B_xN$  z wykorzystaniem technologii MOVPE oraz badania optyczne (efekt Ramana, luminescencja, odbicie, absorpcja) otrzymanych warstw. Celem badań będzie poznanie fundamentalnych procesów zachodzących w tych materiałach i ich znaczenia dla możliwości zastosowania BN w optoelektronice.

Literatura:

Y. Stehle, H.M. Meyer, R.R. Unocic, M. Kidder, G. Polizos, P.G. Datskos, R. Jackson, S.N. Smirnov, I.V. Vlasiouk, Chem. Matter. 27 (2015) 8041

6. **Opiekunowie:** dr hab. Grzegorz Kowalski, tel. (22) 55 32 789, [kowal@fuw.edu.pl](mailto:kowal@fuw.edu.pl) lub dr Mateusz Tokarczyk tel. (22) 55 32 790, [mateusz.tokarczyk@fuw.edu.pl](mailto:mateusz.tokarczyk@fuw.edu.pl)

**Rentgenowskie badania interkalowanych wielowarstw grafenowych.** (Kierunek – Fizyka, Inżynieria Nanostruktur)

Grafen to pojedyncza warstwa atomowa węgla. Technologicznie uzyskuje się od 1 do kilkunastu warstw nałożonych na siebie. Ich własności silnie zależą od odległości międzypłaszczyznowych i obecności między warstwami innych atomów lub cząsteczek. Instytut Technologii Materiałów Elektronicznych we współpracy z Wydziałem Fizyki UW pracuje nad nowymi układami grafenu na podłożach z węgla krzemu. Materiał ten kryje w sobie wiele zagadek i stanowi bardzo interesujący obiekt badań. Interkalacją to kontrolowane umieszczanie innych atomów lub cząsteczek w obszarach międzypłaszczyznowych w procesach wzrostu lub po jego zakończeniu.

W ramach pracy licencjackiej będzie możliwość wykorzystania różnych metod rentgenowskich do badania interkalowanych warstw grafenowych. Badania z wykorzystaniem rentgenowskiego dyfraktometru i ew. modelowania komputerowego wyników eksperymentalnych.

7. **Opiekunowie:** dr hab. Grzegorz Kowalski, tel. (22) 55 32 789, [kowal@fuw.edu.pl](mailto:kowal@fuw.edu.pl) lub dr Mateusz Tokarczyk tel. (22) 55 32 790, [mateusz.tokarczyk@fuw.edu.pl](mailto:mateusz.tokarczyk@fuw.edu.pl)

**Wysokorozdzielcze rentgenowskie badania warstw otrzymywanych metodą MBE lub metodą MOVPE** (Kierunek – Fizyka, Inżynieria Nanostruktur)

Rentgenowskie badania dyfrakcyjne pozwalają m.in. na określenia jakości krystalicznej badanego materiału. Dzięki pomiarom wysokorozdzielczym można uzyskać informacje m.in. o składzie, naprężeniach i grubości warstw epitaksjalnych. Wykonanie na dyfraktometrze rentgenowskim wysokorozdzielczych pomiarów dyfrakcyjnych warstw otrzymanych metodą MBE lub MOVPE pozwala na wyznaczenie podstawowych parametrów sieciowych badanych struktur. Własności strukturalne wielowarstw otrzymywanych metodami MBE lub MOVPE silnie wpływają np. na ich własności optyczne, magnetyczne. Kropki i studnie kwantowe otrzymywane w w/w procesach są zwykle częścią struktur wielowarstwowych. W ramach pracy licencjackiej będzie możliwość wykorzystania różnych metod rentgenowskich i ew. modelowania komputerowego wyników eksperymentalnych

8. **Opiekunowie:** Dr Adam Kwiatkowski e-mail: [Adam.Kwiatkowski@fuw.edu.pl](mailto:Adam.Kwiatkowski@fuw.edu.pl), Prof. dr hab. Dariusz Wasik e-mail: [daw@fuw.edu.pl](mailto:daw@fuw.edu.pl)  
**Własności magnetotransportowe kryształu PbSnSe poddanego napromieniowaniu wiązką**

## elektronów. (Kierunek – Fizyka, Inżynieria Nanostruktur)

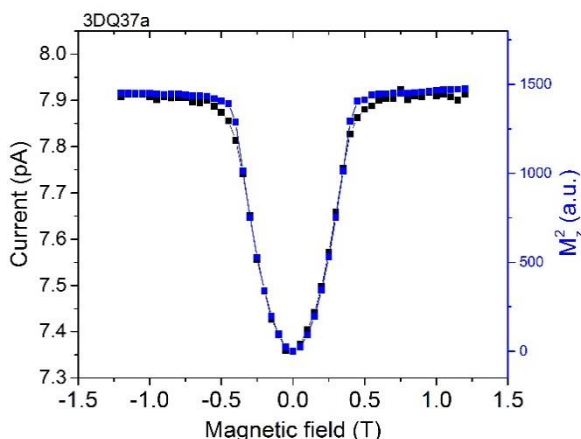
Proponowana praca licencjacka wiąże zagadnienia fizyki półprzewodników z elementami fizyki jądrowej tj. badania izolatorów topologicznych napromieniowanych wiązką elektronów o energii 2.5 MeV. Tematyka izolatorów topologicznych jest aktualnie tzw. gorącym tematem fizyki ciała stałego. Będące przedmiotem badań kryształy PbSnSe należy do nowej klasy materiałów nazywanych topologicznymi izolatorami krystalicznymi. Są to materiały, które w objętości mogą być dobrymi izolatorami elektrycznymi, natomiast na ich powierzchni w pewnych warunkach tworzą się powierzchniowe stany metaliczne. W ramach pracy licencjackiej należy wykonać pomiary oporu podłużnego i oporu poprzecznego w niskiej temperaturze (ciekłego helu) w funkcji pola magnetycznego próbek napromieniowanych elektronami. Badania te będą prowadzone we współpracy z Instytutem Fizyki PAN oraz Ecole Polytechnique w Palaiseau we Francji.

### 9. Opiekun: Dr Marta Borysiewicz (Marta.Borysiewicz@fuw.edu.pl)

**Badania wpływu napięcia na anizotropię magnetyczną GaMnAs wbudowanego w diodę Esakiego.**  
(Kierunek – Fizyka, Inżynieria Nanostruktur)

Arsenek galu z manganem jest modelowym półprzewodnikiem dla spintroniki. Atomy Mn wbudowane w sieć GaAs dostarczają nie tylko swobodnych nośników, ale są również źródłem momentów magnetycznych. Dla zawartości Mn powyżej ~1% materiał ten w odpowiednich warunkach staje się ferromagnetykiem – wykazuje uporządkowanie magnetyczne dalekiego zasięgu. Uporządkowaniu ulegają zarówno jony magnetyczne (Mn), jak i spiny swobodnych nośników. Stąd GaMnAs może stanowić dobre źródło spinowo spolaryzowanych elektronów(dziur), co potrzebne jest w urządzeniach spintronicznych. Taki proces wstrzykiwania spinów do półprzewodnika można efektywnie zrealizować w złączach

Przedmiotem badań są diody Esakiego GaMnAs/GaAs. Namagnesowanie w GaMnAs leży w płaszczyźnie warstwy. Przyłożenie pola magnetycznego w kierunku prostopadłym pozwala na obrót namagnesowania. Badając zależność prądu płynącego przez złącze od pola magnetycznego (tzw. magnetoprąd) przy ustalonej polaryzacji diody, obserwuje się krzywą przedstawioną na rys. 1. Zależność ta jest taka jak dla kwadratu prostopadłej składowej namagnesowania, zatem pozwala śledzić pozapłaszczyznową anizotropię magnetyczną. Planowane jest zbadanie ewolucji magnetoprądu od napięcia i stwierdzenie jak anizotropia zależy od napięcia polaryzacji.



Rys.1. Zależność prądu (oś lewa) i prostopadłej składowej namagnesowania (oś prawa) od pola magnetycznego.

### 10. Opiekun: Dr Marta Borysiewicz (Marta.Borysiewicz@fuw.edu.pl)

**Modelowanie profili potencjału w heterostrukturach półprzewodnikowych** (Kierunek – Fizyka, Inżynieria Nanostruktur)

Temat zarezerwowany, dla pana Janusza Mierzejewskiego.



11. **Opiekun:** prof. Andrzej Twardowski [Andrzej.Twardowski@fuw.edu.pl](mailto:Andrzej.Twardowski@fuw.edu.pl)  
**Analiza danych magnetyzacji w obecności obcych faz ferromagnetycznych i antyferromagnetycznych** (Kierunek – Fizyka, Inżynieria Nanostruktur)

Brak opisu

12. **Opiekun:** prof. Andrzej Twardowski [Andrzej.Twardowski@fuw.edu.pl](mailto:Andrzej.Twardowski@fuw.edu.pl)  
**Własności magnetyczne nanoproszków ZnO domieszkowanych Mn i Co** (Kierunek – Fizyka, Inżynieria Nanostruktur)

Brak opisu

13. **Opiekun:** prof. Andrzej Twardowski [Andrzej.Twardowski@fuw.edu.pl](mailto:Andrzej.Twardowski@fuw.edu.pl)  
**Własności magnetyczne polimerów z wolnymi rodnikami typu arylamin - wpływ technologii oraz procesów starzenia** (Kierunek – Inżynieria Nanostruktur)

Brak opisu

14. **Opiekun:** prof. Andrzej Twardowski [Andrzej.Twardowski@fuw.edu.pl](mailto:Andrzej.Twardowski@fuw.edu.pl)  
**Magnetyczne własności nanoproszków tlenków żelaza** (Kierunek – Fizyka, Inżynieria Nanostruktur)

Brak opisu

15. **Opiekun:** dr Jan Suffczyński, pok. 3.07, tel . 55 32 707  
**Badanie emisji studni kwantowych CdTe i (Cd,Mn)Te umieszczonych w układzie dwóch sprzężonych mikrownęk optycznych** (Kierunek – Fizyka, Inżynieria Nanostruktur)

Półprzewodnikowe struktury fotoniczne, w których związany mod optyczny pośredniczy w oddziaływaniu między emiterami kwantowymi mogą być przydatne w dziedzinie informacji kwantowej. W ramach pracy wykonywane będą badania spektroskopowe na próbkach z dwoma sprzężonymi mikrownękami optycznymi zawierającymi studnie kwantowe CdTe i (Cd,Mn)Te. Celem pracy jest określenie optymalnych parametrów zapewniających oddziaływanie między ekscytonami związanymi w studniach umieszczonych w dwóch różnych wnękach. Struktury pochodzą z laboratorium MBE na Wydziale Fizyki UW.

16. **Opiekun:** dr Tomasz Kazimierczuk  
**Badania korelacji fotonów emitowanych przez kropki kwantowe w układzie światłowodowym"**  
(Kierunek – Fizyka, Inżynieria Nanostruktur)

Temat zarezerwowany dla Aleksandra Rodka"

17. **Własności optyczne ziarnistych materiałów kompozytowych ceramika-metal/stop metali**  
(Kierunek – Fizyka, Inżynieria Nanostruktur)

**Opiekunowie:** dr inż. Marcin Krajewski (Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN) dr hab. Andrzej Wismolek, prof. UW

Proponowany temat pracy licencjackiej łączy elementy fizyki, inżynierii materiałowej oraz mechaniki materiałów. Będzie on realizowany we współpracy Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego (WF UW) z Instytutem Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk (IPPT PAN), gdzie będą wytwarzane materiały kompozytowe typu ceramika-metal/stop metali. Warto podkreślić, że znajdują one

szerokie zastosowanie w przemyśle lotniczym, kosmicznym, motoryzacyjnym oraz sektorze odnawialnych energii [1,2].

W ramach pracy licencjackiej osoba realizująca proponowany temat zapoznana się z procesem technologicznym wytwarzania badanych kompozytów (IPPT PAN). Kompozyty te będą wytwarzane metodą prasowania na gorąco mieszanin proszków wykorzystując różne proporcje tlenku glinu ( $Al_2O_3$ ) do metalu bądź stopu metali. Następnie ich własności optyczne zostaną zbadane za pomocą spektroskopii ramanowskiej oraz fotoluminescencji (WF UW). Uzyskane wyniki pozwolą na określenie i oszacowanie wartości naprężeń wynikających z obecności metalu/stopu metali w ceramice [3,4]. Ponadto interesującym zagadnieniem może okazać się wpływ obecności metalu/stopu metali na charakterystykę fononową tlenku aluminium.

Literatura:

- [1] M. Chmielewski, A. Piatkowska, *J. Mater. Eng. Perform.* 24 (2015) 1871-1880.
- [2] M. Chmielewski, K. Pietrzak, *Bull. Pol. Acad. Sci.-Tech. Sci.* 64 (2016) 151-160.
- [3] L. Grabner, *J. Appl. Phys.* 49 (1978) 580-583.
- [4] D.M. Lipkin, D.R. Clarke, *Oxid. Met.* 45 (1996) 267-280.

## Zakład Struktury Materii Skondensowanej

**1.Opiekun: prof. dr hab. Radosław Przeniosło**

**Symetria struktury krystalicznej i magnetycznej  $MnO_2$**

Tlenek manganu  $MnO_2$  ma modulowaną strukturę magnetyczną, w której momenty magnetyczne jonów  $Mn^{4+}$  układają się „spiralnie”. Jest dziś powszechnie przyjęte, że struktura krystaliczna  $MnO_2$  ma tetragonalną komórkę elementarną o stałych sieci  $a=b \neq c$  oraz  $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$ . Uporządkowanie magnetyczne jak i struktura krystaliczna powinny być opisane przy pomocy tej samej grupy symetrii. Można postawić dzisiaj hipotezę, że z powodu obserwowanego uporządkowania magnetycznego, prawdopodobnie dochodzi do złamania symetrii struktury krystalicznej  $MnO_2$ . W tej sytuacji komórka elementarna  $MnO_2$  nie będzie tetragonalna ale może dojść do odkształceń, np. takich jak:  $a \neq b$  i/lub  $\alpha \neq \beta \neq 90^\circ$ . Praca licencjacka będzie związana z testowaniem hipotezy o złamaniu symetrii struktury krystalicznej  $MnO_2$ . Wyniki badań mają być miały wpływ na opis wszystkich własności (nie tylko magnetycznych)  $MnO_2$ . Część doświadczalna będzie związana z pomiarami dyfrakcji promieni X (w laboratorium zakładowym) jak i pomiarami dyfrakcji promieniowania synchrotronowego i rozpraszania neutronów (za granicą). Część teoretyczna będzie związana z analizą danych i prowadzeniem obliczeń modelowych.

**2.Opiekun: prof. dr hab. Radosław Przeniosło**

**Symetria struktury krystalicznej nanokryształów chromu**

Chrom jest metalem o strukturze regularnej przestrzennie centrowanej typu bcc (ang. body-centered-cubic). Chrom ma modulowaną strukturę magnetyczną, momenty magnetyczne atomów chromu układają się wzdłuż jednej z osi, a ich długość zmienia się jak funkcja  $\sin(2\pi qr)$ , gdzie  $r$  jest położeniem danego atomu. Uporządkowanie magnetyczne jak i struktura krystaliczna chromu powinny być opisane przy pomocy tej samej grupy symetrii. Można postawić dzisiaj hipotezę, że z powodu obserwowanego uporządkowania magnetycznego, prawdopodobnie dochodzi do złamania symetrii struktury krystalicznej chromu. W tej sytuacji komórka elementarna chromu nie będzie „kubiczna” ale może dojść do odkształceń, np. takich jak:  $a \neq b$  i/lub  $\alpha \neq \beta \neq 90^\circ$ . Praca licencjacka będzie związana z testowaniem hipotezy o złamaniu symetrii struktury krystalicznej w nanokryształach chromu jak i w polikryształach chromu. Wyniki badań mają być miały wpływ na opis wszystkich własności (nie tylko magnetycznych) chromu. Część doświadczalna będzie związana z pomiarami

dyfrakcji promieni X (w laboratorium zakładowym) jak i pomiarami dyfrakcji promieniowania synchrotronowego i rozpraszania neutronów (za granicą). Część teoretyczna będzie związana z analizą danych i prowadzeniem obliczeń modelowych.

## Zakład Fizyki Biomedycznej

### 1. Opiekun: dr Beata Brzozowska (beata.brzozowska@fuw.edu.pl)

#### **Wpływ siatki obliczeniowej na rozkłady dawki z systemu planowania leczenia PlanUNC**

Podstawowym zadaniem radioterapii jest dostarczenie odpowiedniej dawki w obszarze guza przy zapewnieniu najlepszej ochrony otaczających go tkanek zdrowych. W tym celu niezbędna jest znajomość rozkładu dawki w ciele pacjenta liczona z użyciem systemu planowania leczenia. Zaproponowana praca będzie dotyczyła wyznaczenia rozkładów dawki dla różnych lokalizacji zmiany nowotworowej z użyciem systemu planowania leczenia PlanUNC [E.Schreiber et al. 2006. Medical Physics 33(6):2129-2129]. Ponadto zostanie zbadany wpływ niektórych parametrów na obliczenia dawki, m.in. wybór siatki obliczeniowej.

Rezerwacja: Julia Kaszczuk

### 2. Opiekun: dr Józef Ginter (jozef.ginter@fuw.edu.pl)

#### **Model tomografu komputerowego z wykorzystaniem przechodzącego światła widzialnego.**

Chodziłoby o przygotowanie i opisanie zestawu eksperymentalnego wykonującego pod różnymi kątami serię zdjęć półprzezroczystego fantomu w przechodzącym świetle widzialnym, a następnie dokonanie na ich podstawie rekonstrukcji 3D. Algorytm rekonstrukcji będzie należało napisać (lub dostosować) w języku skryptowym programu ImageJ lub w języku python.

Rezerwacja: Mateusz Krysiński

### 3. Opiekun: dr Józef Ginter (jozef.ginter@fuw.edu.pl)

#### **Ocena parametrów wielorzędowego tomografu komputerowego na podstawie analizy rekonstrukcji fantomu testowego.**

Chodziłoby o zaprojektowanie i wykonanie w technice druku 3D fantomu, wykonanie jego CT, a następnie analizę różnych parametrów obrazu i wyjaśnienie źródła ewentualnych jego niedoskonałości.

### 4. Opiekun: dr Jakub Ośko (NCBJ) (jakub.osko@ncbj.gov.pl)

**Współopiekun: dr hab. Maciej Kamiński Maciek.Kaminski@fuw.edu.pl**

#### **Opracowanie przykładów obliczania dawek pochodzących od narażenia wewnętrznego**

Celem pracy jest opracowanie przykładów postępowania podczas szacowania efektywnych dawek obciążających, pochodzących od skażeń wewnętrznych izotopami promieniotwórczymi. Opracowane przykłady powinny obejmować różne grupy izotopów oraz różne techniki pomiarowe.

### 5. Opiekun: dr Jakub Ośko (NCBJ) (jakub.osko@ncbj.gov.pl)

**Współopiekun: dr hab. Maciej Kamiński Maciek.Kaminski@fuw.edu.pl**

#### **Analiza zawartości Cs-137 w organizmach mieszkańców Polski w okresie 1986-2015**

Celem pracy jest analiza zawartości Cs-137 w organizmach osób badanych w Narodowym Centrum Badań Jądrowych, na podstawie zarchiwizowanych danych z okresu 1986-2015. Otrzymane wyniki

zostaną porównane z danymi pochodzącymi z innych krajów.  
Rezerwacja: Kinga Żelechowska

6. **Opiekun:** dr Maria Wojewódzka (Instytut Chemii i Techniki Jądrowej, Centrum Radiobiologii i Dozymetrii Biologicznej) [m.wojewodzka@ichtj.waw.pl](mailto:m.wojewodzka@ichtj.waw.pl)  
**Współopiekun:** dr Beata Brzozowska ([beata.brzozowska@fuw.edu.pl](mailto:beata.brzozowska@fuw.edu.pl))  
**Zastosowanie radiofarmaceutyków w diagnostyce i celowanej terapii nowotworów**

Praca będzie polegała głównie na opracowaniu danych literaturowych. Ponadto, w Instytucie Chemii i Techniki Jądrowej istnieje możliwość bezpośredniego zapoznania się z badaniami dotyczącymi projektowania i testowania in vitro nowych radiofarmaceutyków do celowanej radioterapii (opartej na biokoniugatach radioizotopów, nanomateriałów i cząstek biologicznie czynnych).

7. **Opiekun:** dr Maria Wojewódzka (Instytut Chemii i Techniki Jądrowej, Centrum Radiobiologii i Dozymetrii Biologicznej) [m.wojewodzka@ichtj.waw.pl](mailto:m.wojewodzka@ichtj.waw.pl)  
**Współopiekun:** dr Beata Brzozowska ([beata.brzozowska@fuw.edu.pl](mailto:beata.brzozowska@fuw.edu.pl))  
**Wykorzystanie izotopów promieniotwórczych w medycynie.**

8. **Opiekunowie:** Marcin Lewandowski, Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN ([mlew@ippt.pan.pl](mailto:mlew@ippt.pan.pl))  
**Współopiekun:** dr Józef Ginter, [Jozef.Ginter@fuw.edu.pl](mailto:Jozef.Ginter@fuw.edu.pl)  
**Detekcja czynności serca oraz pomiaru ciśnienia krwi na podstawie sygnału dopplerowskiego CW**

Opracowanie i implementacja algorytmu detekcji tętna oraz ciśnienia skurczowego i rozkurczowego na podstawie sygnału dopplerowskiego CW (fali ciągłej) z tętnicy promieniowej. Algorytm ten będzie częścią systemu do pomiaru ciśnienia u pacjentów z wczesną pompą wirową wspomaganą serca. Detekcja tętna będzie oparta na algorytmie autokorelacyjnym. Do detekcji ciśnienia będzie wykorzystany system ze sterowanym mankietem uciskowym oraz układ Dopplera CW. Możliwe będzie uzyskanie sygnału przepływu krwi oraz ruchu ścian tętnicy. Matlab, Python

9. **Opiekunowie:** Marcin Lewandowski, Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN ([mlew@ippt.pan.pl](mailto:mlew@ippt.pan.pl))  
**Współopiekun:** dr Józef Ginter, [Jozef.Ginter@fuw.edu.pl](mailto:Jozef.Ginter@fuw.edu.pl)  
**Materiał i technologia do budowy wzorców (fantomów) tkankowych do badań ultradźwiękowych**

Opracowanie „przepisu” na fantom ultradźwiękowy wielokrotnego użytku - znalezienie i opracowanie sposobu wytwarzania odpowiedniego materiału o parametrach zbliżonych do tkanki miękkiej (tłumienie, współczynnik rozproszenia). Materiał powinien być bezpieczny (nietoksyczny) i nie powinny zmieniać się jego parametry pod wpływem zanurzenia w wodzie.

10. **Opiekunowie:** dr Jarosław Choiński (SLCJ) i dr hab. Maciej Kamiński ([Maciek.Kaminski@fuw.edu.pl](mailto:Maciek.Kaminski@fuw.edu.pl))  
**Modelowanie kształtu układów tarczowych zapewniających najlepsze warunki odprowadzania ciepła w trakcie produkcji radioizotopów medycznych w cyklotronach U-200P i PETtrace**

Rezerwacja: Anna Ebinger

11. **Opiekunowie:** dr Beata Brzozowska (FUW), dr Maria Kowalska (CLOR), prof dr hab Andrzej Wójcik (SU)  
**Dozymetria biologiczna w warunkach masowego narażenia ludzi na promieniowanie jonizujące**  
rezerwacja: Maria Szofa

W sytuacji wypadku radiologicznego niezwykle ważna jest poprawna ocena dawki, którą otrzymują osoby uczestniczące w wypadku i tym samym narażone na działanie promieniowania. Celem pracy jest przegląd stosowanych testów biodozymetrycznych oraz opis przykładowego sposobu kwalifikacji osób narażonych do kategorii segregacyjnych zależnie od oszacowanej dawki pochłoniętej oraz scenariusza narażenia na przykładzie wirtualnego ćwiczenia RENE [B.Brzozowska et al. 2016. International Journal of Radiation Biology: dx.doi.org/10.1080/09553002.2016.1206230]. Część doświadczalna pracy będzie poświęcona wykorzystaniu dwóch testów radiobiologicznych służących do oszacowania dawki i scenariusza napromienienia narażonej osoby (napromienienie częściowe lub całego ciała).

**12. Opiekun: dr Krzysztof Kilian (SLCJ)**

**Współopiekun: dr Józef Ginter, [Jozef.Ginter@fuw.edu.pl](mailto:Jozef.Ginter@fuw.edu.pl)**

**Ocena jakości obrazowania izotopami metalicznymi z wykorzystaniem skanera do badań przedklinicznych**

rezerwacja: Beata Pszczółkowska

### **Instytut Fizyki Teoretycznej**

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

**1. Opiekun: K. Banaszek**

**Kwantowe ograniczenia na przepustowość kanałów optycznych**

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. Opiekun: K. Banaszek**

**Optymalizacja źródeł par fotonów**

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. Opiekun: W. Bardyszewski**

**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 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 .

#### 4. Opiekun: A. Bednorz

##### **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  $\langle x^n \rangle$ ? Dla jakich stanów kwantowych jest to możliwe?

#### 5. Opiekun: A. Bednorz

##### **Kwaziprawdopodobieństwo w skończone wymiarowych przestrzeniach Hilberta**

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?

#### 6. Opiekun: A. Bednorz

##### **Efekt Zenona**

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.

#### 7. Opiekun: K. Byczuk

##### **Związki pomiędzy kondensacją Bosego-Einsteina a nadpłynnością**

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.

#### 8. Opiekun: K. Byczuk

##### **Układy z nieporządkiem, lokalizacja Andersona i teorie pola średniego**

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.

#### 9. Opiekun: K. Byczuk

##### **Splątanie kwantowe w układach oddziałujących cząstek**

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.

**10. Opiekun: K. Byczuk**

**Termodynamika kwantowa dwuwęzłowego modelu Hubbarda**

Model Hubbarda stanowi minimalny model opisujący oddziałujące elektrony (fermiony) na sieciach krystalicznych (optycznych). Dla dwóch węzłów sieci można ten model rozwiązać ściśle. W pracy tej zbadamy termodynamiczne własności takiego układu w stanach równowagi i nierównowagowych oraz przetestujemy równanie Jarzyńskiego wiążące średnią z wyrażenia zawierającego pracę a energią swobodną.

**11. Opiekun: B. Cichocki**

**Chaos deterministyczny w dynamice Stokesa**

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

**12. Opiekun: J. Chwedeńczuk**

**Oddziaływanie światła z materią we wnękach rezonansowych**

Celem tej pracy jest wprowadzenie opisu oddziaływania spójnej fali materii z kwantowym polem elektromagnetycznym uwięzionym we wnęce rezonansowej. Student podejmujący się tego zadania będzie miał sposobność zapoznania się z podstawowymi narzędziami optyki kwanowej i fizyki atomowej. W szerszej perspektywie, zdobyte doświadczenie może okazać się przydatne do badań, we współpracy z grupą prof. Ritscha z Innsbrucka, nad użytecznością nieklasycznych stanów światła i materii na potrzeby precyzyjnej metrologii kwantowej.

**13. Opiekun: R. Demkowicz-Dobrzański**

**Optymalne strategie rozróżniania stanów kwantowych**

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

**14. Opiekun: R. Demkowicz-Dobrzański**

**Kwantowy pomiar rozsunięcia dla niejednakowych źródeł światła**

**15. Opiekun: A. Dragan**

**Wpływ relatywistycznego ruchu na oddziaływanie cząstki z kwantowym polem skalarnym**

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.

**16. Opiekun: A. Dragan**

**Zależność stanu kwantowego pola od obserwatora**

Teoria kwantowa wraz ze swoimi zaskakującymi konsekwencjami staje się jeszcze dziwniejsza, gdy

dopuszczymy 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.

**17. Opiekun: A. Dragan**

**Splątanie stanu próżni kwantowej**

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.

**18. Opiekun: A. Dragan**

**Pomiar rzutowy stanu pola kwantowego w pobliżu czarnej dziury**

(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.

**19. Opiekun: A. Dragan**

**Pomiar rzutowy stanu pola kwantowego w zakrzywionej czasoprzestrzeni rozszerzającego się wszechświata.**

(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.

**20. Opiekun: S. Głazek**

**Model czynnika kształtu hadronu z uwzględnieniem gluonów**

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

**21. Opiekun: S. Głazek**

**Różniczkowe równania grupy renormalizacji dla oscylatora anharmonicznego**

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).

**22. Opiekun: S. Głazek**

**Renormalizacja potencjału typu delta w równaniu Schroedingera**

Potencjały typu delta w równaniu Schroedingera wymagają renormalizacji zależnej od wymiaru przestrzeni. Praca polega na zbadaniu i opisanie tej zależności. W szczególności, zobacz R. Jackiw, Delta-function potentials in two- and three-dimensional quantum mechanics, in „Big Memorial Volume”, <http://ccdb5fs.kek.jp/cgi-bin/img/allpdf?200032443>.

**23. Opiekun: B. Grządkowski**



## Oscylacje neutrin: teoria i doświadczenie

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.

### 24. Opiekun: B. Grządkowski

#### Tunelowanie w mechanice kwantowej i skalarnej teorii pola

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.

### 25. Opiekun: P. Jakubczyk

#### Teoria kondensacji Bosego-Einsteina - ścisłe wyniki

Celem pracy jest dokonanie przeglądu ścisłych wyników teoretycznych dla modeli kondensacji Bosego-Einsteina.

### 26. Opiekun: P. Jakubczyk

#### Własności krytyczne klasycznych modeli $O(N)$

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).

### 27. Opiekun: P. Jakubczyk

#### Klasyfikacja funkcjonalnych punktów stałych transformacji renormalizacji dla zjawisk krytycznych

Punkty stałe transformacji renormalizacji mają podstawowe znaczenie dla zrozumienia zjawisk krytycznych. Okazuje się, że w szeregu sytuacji punkty te (należące do przestrzeni funkcyjnych) można explicite konstruować.

**28. Opiekun: K. Krajewska**

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

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.

**29. Opiekun: K. Krajewska**

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

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.

**30. Opiekun: K. Krajewska**

**Rozpraszanie Motta w ultra-silnych krótkich impulsach laserowych**

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.

**31. Opiekun: M. Krawczyk**

**Testowanie modeli z dwoma dubletami Higgsa w oparciu o najnowsze dane LHC**

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

**32. Opiekun: M. Krawczyk**

**Ewolucja Wszechświata w modelu z dwoma dubletami pól skalarnych (Higgsa)**

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.

**33. Opiekun: M. Krawczyk**

**Cząstka Higgsa i efekty ciemnej materii**

Istnienie cząstki Higgsa i czastki (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 z Modelu Standardowym, zaś własności cząstki ciemnej materii są w zgodzie z danymi astrofizycznymi. Badanie własności cząstki Higgsa i cząstek ciemnej materii w świetle danych z LHC w połączeniu z najnowszymi danymi dotyczącymi ciemnej materii z detektora LUX (październik 2013) stanowi dobry temat pracy licencjackiej, z naturalnym rozszerzeniem do pracy magisterskiej.

#### **34. Opiekun: Z. Lalak**

##### **Równanie falowe w pięciowymiarowej czasoprzestrzeni z brzegami**

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 propagacją fal w pięciowymiarowej przestrzeni z brzegiem.

#### **35. Opiekun: Z. Lalak**

##### **Czarne dziury w LHC**

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.

#### **36. Opiekun: Z. Lalak**

##### **Mieszanie stanów kwantowych w teorii oddziaływań elementarnych**

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.

#### **37. Opiekun: Z. Lalak**

##### **Teorie Kaluzy-Kleina: modele z branami**

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.

#### **38. Opiekun: J. Lewandowski**

##### **Unitarne reprezentacje grupy Lorentza (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.

#### **39. Opiekun: J. Lewandowski**

##### **Trudności w geometrycznym sformułowaniu kwantowej teorii pola na przykładzie mechaniki kwantowej**

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).

#### **40. Opiekun: J. Lewandowski**

##### **Relatywistyczna cząstka kwantowa w czasoprzestrzeni o stałej krzywiznie**

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.

#### **41. Opiekun: J. Lewandowski**

##### **Unitarne reprezentacje grupy Lorentza i zastosowania w pianowo spinowych modelach (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.

- 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, Inowacyjna Gospodarka, Opracowanie Technologii Otrzymywania Nowoczesnych Materiałów Półprzewodnikowych na Bazie Węgla Krzemu"

#### **42. Opiekun: M. Napiórkowski**

##### **Siły Casimira w fizyce materii skondensowanej**

#### **43. Opiekun: M. Napiórkowski**

##### **Teoria skalowania układów krytycznych w skończonej objętości**

#### **44. Opiekun: A. Okołów**

##### **Spinory w czasoprzestrzeni Minkowskiego**

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

#### **45. Opiekun: M. Olechowski**

##### **Masa cząstki Higgsa w Modelu Standardowym i jego niektórych rozszerzeniach**

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. Jest to niezwykle ważne, ponieważ cząstka Higgsa jest ściśle związana z mechanizmem łamania symetrii elektroslabej i z nadawaniem mas cząstkom elementarnym. Jedną z podstawowych własności cząstki Higgsa jest jej masa. Realizacja projektu pozwoli zrozumieć jak masa cząstki Higgsa zmienia się w prostych rozszerzeniach Modelu Standardowego oddziaływań elementarnych.

#### **46. Opiekun: M. Olechowski**

##### **Gęstość reliktowa cząstek Ciemnej Materii**

Obserwacje astrofizyczne pokazują, że mniej niż 5% całkowitej gęstości energii we Wszechświecie stanowi znana nam materia barionowa a blisko 20% nieznaną 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 prowadzone jest wiele

eksperymentów, których celem jest rejestracja i ewentualnie zbadanie własności cząstek Ciemnej Materii. Realizacja projektu ma doprowadzić do obliczenia gęstości reliktowej cząstek Ciemnej Materii w prostych przykładach i do zrozumienia, jak ta gęstość zależy od oddziaływań między cząstkami elementarnymi.

**47. Opiekun: M. Olechowski**

**Związki własności cząstek elementarnych z ewolucją Wszechświata**

W ostatnich latach dokonał się ogromny postęp w obserwacjach pozwalających na określanie wielkości opisujących własności Wszechświata. Można powiedzieć, że kosmologia wkroczyła w fazę precyzyjnych pomiarów. Dzięki temu coraz lepiej rozumiemy coraz większą część ewolucji Wszechświata. W efekcie poznajemy związki między fizyką na największych skalach, czyli kosmologią, a fizyką na skalach najmniejszych, czyli fizyką cząstek elementarnych. Realizacja projektu ma prowadzić do zrozumienia niektórych z tych związków dzięki analizie prostych modeli.

**48. Opiekun: A. Okołów**

**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 zewnętrznej, pochodnej zewnętrznej i tzw. gwiazdki Hodge'a. Celem pracy będzie opis formalizmu Hamiltonowskiego takich teorii przy użyciu form różniczkowych.

**49. Opiekun: K. Pachucki**

**Przesunięcie Lamba w helu mionowym.**

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  $^3\text{He}$  i może pomóc w wyjaśnieniu sprzecznych wyników dotyczących promienia ładunkowego protonu.

**50. Opiekun: K. Pachucki**

**Stany wzbudzone molekuly H<sub>2</sub>.**

Celem jest dokładne rozwiązanie równania Schrodingera dla różnych stanów elektronowych molekuly H<sub>2</sub> korzystając z nowatorskich metod analitycznego obliczania całek z dwucentrowymi funkcjami wykładniczymi.

**51. Opiekun: K. Pachucki**

**Wpływ skończonej masy jądra na poziomy energetyczne prostych układów atomowych**

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.

**52. Opiekun: J. Pawełczyk**

**Supersymetryczna mechanika kwantowa**

(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.

**53. Opiekun: J. Pawełczyk**

**Całkowalne modele układów spinowych**

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.

**54. Opiekun: J. Pawełczyk**

**Niekomutatywne solitony**

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.

**55. Opiekun: S. Pokorski**

**Spontaniczne naruszenie symetrii i bozony Goldstone'a w teorii oddziaływań elementarnych**

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.

**56. Opiekun: S. Pokorski**

**Ciemna materia w termicznej historii Wszechświata**

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

**57. Opiekun: J. Rosiek**

**Mechanizm GIM i super-GIM w procesach zmiany zapachu**

Jednym z wielkich sukcesów w fizyce teoretycznej cząstek elementarnych było przewidzenie istnienia i własności kwarku  $\bar{c}$  ("charm") w wyniku analizy szybkości oscylacji neutralnych mezonów  $K^0$ ,  $\bar{K}^0$ , zanim kwark  $\bar{c}$  został odkryty doświadczalnie. Uzyskanie poprawnego wyniku wymagało założenia szczególnej postaci oddziaływania kwarku  $\bar{c}$ , prowadzącej do subtelnych kasową nazwanych później mechanizmem GIM (Glashow-Iliopoulos-Maiani). Celem pracy byłoby zrozumienie tego mechanizmu na znanym przykładzie oscylacji mezonów  $K^0$  i Modelu Standardowego, a następnie przedyskutowanie jego zastosowania do znalezienia kasowania w prostym procesie w supersymetrycznej wersji Modelu Standardowego, np rozpadu muonu na elektron i foton  $\mu \rightarrow e \gamma$  albo muonu w 3 elektrony  $\mu \rightarrow 3 e$ .

## 58. Opiekun: J. Rosiek

### Naruszenie unitarności w rozpadach bozonów wektorowych

Jedno z podstawowych twierdzeń kwantowej teorii pola mówi że przekroje czynne (prawdopodobieństwa zajścia) zderzeń cząstek powinny maleć z rosnącymi energiami zderzeń (inaczej pogwałcona byłaby własność unitarności tzw. macierzy rozpraszania). W Modelu Standardowym taki spadek przekrojów czynnych w rozpraszaniu bozonów wektorowych  $\$W\$$  lub  $\$Z\$$  zachodzi dzięki szczególnym relacjom między siłą ich oddziaływań, wymuszoną przez symetrię cechowania. Praca polegałaby na sprawdzeniu wyniku Modelu Standardowego i zbadaniu na ile niewielkie odchylenia od sprzężeń przewidzianych przez symetrie tego Modelu są zgodne z ograniczeniami dawanymi przez eksperymenty w akceleratorze LHC.

## 59. Opiekun: J. Rosiek

### Naruszenie unitarności w rozpadach bozonów wektorowych

Jedno z podstawowych twierdzeń kwantowej teorii pola mówi że przekroje czynne (prawdopodobieństwa zajścia) zderzeń cząstek powinny maleć z rosnącymi energiami zderzeń (inaczej pogwałcona byłaby własność unitarności tzw. macierzy rozpraszania). W Modelu Standardowym taki spadek przekrojów czynnych w rozpraszaniu bozonów wektorowych  $W$  lub  $Z$  zachodzi dzięki szczególnym relacjom między siłą ich oddziaływań, wymuszoną przez symetrię cechowania. Praca polegałaby na sprawdzeniu wyniku Modelu Standardowego i zbadaniu na ile niewielkie odchylenia od sprzężeń tego Modelu parametryzowane przez operatory wyższych rzędów są zgodne z ograniczeniami dawanymi przez eksperymenty w akceleratorze LHC.

## 60. Opiekun: J. Rosiek

### Szybkość rozpadu mionu w rozszerzeniach Modelu Standardowego

Szybkość rozpadu ciężkiego leptonu  $\mu$  (mionu) jest bardzo dokładnie mierzona doświadczalnie, a porównanie wyników tego pomiaru z przewidywaniami Modelu Standardowego pozwala na precyzyjne wyznaczenie tzw. stałej Fermiego, głównego parametru definiującego siłę tzw. oddziaływań słabych. Celem pracy byłoby policzenie (na poziomie drzewowym, czyli w najniższym rzędzie rachunku zaburzeń) szybkości takiego rozpadu w uogólnieniach Modelu Standardowego parametryzowanych przez dodatkowe operatory wyższych rzędów i sprawdzenie na ile mogą one zmienić przewidywania dla stałej Fermiego.

## 61. Opiekun: J. Rosiek

### Techniki rozwijania amplitud przejścia w teorii pola

Praca dla lubiących i potrafiących dobrze programować, najlepiej znających już język Mathematica lub podobny język obliczeń symbolicznych!

Amplitudy przejścia w kwantowej teorii pola (definiujące prawdopodobieństwa zajścia danego procesu) mogą

być obliczane w różnych bazach pól definiujących Lagrangian teorii. Przejścia między takimi bazami można dokonać korzystając z pewnego twierdzenia algebry liniowej dotyczącego rozwijania w szereg funkcji której argumentem jest macierz hermitowska. Zastosowania tego twierdzenia zostały zautomatyzowane w postaci gotowego pakietu procedur w języku Mathematica. Celem pracy byłoby rozwinięcie i uogólnienie pakietu na często pojawiające się w praktyce przypadki których obecnie on nie obejmuje (np. funkcje wielu argumentów w których niektóre argumenty się powtarzają kilka razy, albo funkcje z których można wyłączyć wspólne czynniki), a następnie zilustrowanie działania pakietu na wybranej amplitudzie opisującej jakiś proces zmiany liczby leptonowej czy barionowej (zwanej "zapachem" pola materii).

**62. Opiekun: W. Satuła**

**Przywracanie symetrii izospinowej w modelu isocranking**

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.

**63. Opiekun: P. Sułkowski**

**Topologiczna teoria pola Cherna-Simonsa i niezmienniki węzłów (także wersja T)**

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 torcyjnych.

**64. Opiekun: P. Sułkowski**

**Modele minimalne w konforemnej teorii pola (także wersja T)**

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.

**65. Opiekun: P. Sułkowski**

**Metody rozwinięcia w  $1/N$  (także wersja T)**

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.

**66. Opiekun: A. Szereszewski**

**Geometria krzywych w przestrzeni Minkowskiego**

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).

**67. Opiekun: P. Szymczak**

**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.

**68. Opiekun: P. Szymczak**

**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.

**69. Opiekun: P. Szymczak**

**Różne sposoby mierzenia chiralności**

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?

**70. Opiekun: P. Szymczak**

**Geometria sieci a prawa rządzące jej wzrostem**

Sieci rzeczne, układ żyłek w liściu, rozczłonkowana struktura wyładowań elektrycznych, czy siatka naczyń krwionośnych - to wszystko przykłady hierarchicznych sieci powstających w różnorodnych procesach wzrostu. Właśnie prawa rządzące wzrostem takich sieci będą nas interesowały w tym projekcie. W jakich kierunkach i z jakimi prędkościami rosną poszczególne ramiona sieci? Czy wzrost jednego ramienia wpływa na kierunek wzrostu drugiego? Kiedy następują bifurkacje, w wyniku których jedno ramię dzieli się na dwa?

I w końcu pytanie zasadnicze: jaki jest związek pomiędzy lokalnymi prawami wzrostu a geometrią sieci jak i całości, jak też jej własnościami makroskopowymi.

**71. Opiekun: P. Szymczak**

**Pierścienie Liesegang'a a powstawanie agatów**

Mechanizm powstawania agatów pozostaje niewyjaśniony i nie udało się dotąd zsyntetyzować ich w warunkach laboratoryjnych. Nie wiadomo co jest przyczyną występowania wielobarwnych warstw w tych minerałach I dlaczego czasem sa one ułożone koncentrycznie, a w innych przypadkach - horyzontalnie.

W projekcie zbadamy jedną z koncepcji powstawania agatów, która wiąże je z procesami samoorganizacji w ośrodku skalnym, a konkretnie z występowaniem sprzężeń zwrotnych między procesem dyfuzji a reakcjami w twardniejącej krzemionce.

**72. Opiekun: P. Szymczak**

**Meandrowanie**

Stosunek długości meandrów w rzece do szerokości rzeki wynosi 11 i pozostaje stały, niezależnie od tego czy badamy meandry strumyczka czy Amazonki. Żadna z istniejących teorii meandrowania rzek nie jest w stanie

wytłumaczyć tej regularności. Projekt będzie doświadczalnej i teoretycznej analizie procesu meandrowania - część doświadczalna przeprowadzana będzie we współpracy z grupą prof. Piotra Garsteckiego z IChF PAN.

**73. Opiekun: P. Szymczak**

**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 zaprzęć aparat współczesnej analizy zespolonej, w szczególności formalizm równania Loewnera.

**74. Opiekun: J. Tafel**

**Zastosowanie symetrii do rozwiązywania równań różniczkowych**

(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.

**75. Opiekun: J. Tafel**

**Energia i pęd w ogólnej teorii względności**

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.

**76. Opiekun: J. Tafel**

**Efekt Dopplera w teorii Einsteina**

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.

**77. Opiekun: M. Trippenbach**

**Porównanie strategii estymacji w interferometrii atomowej**

Celem metrologii kwantowej jest wykorzystanie w pomiarach zjawisk kwantowych, w tym splątania kwantowego, do uzyskania ultra-precyzyjnych pomiarów parametrów fizycznych. Jednym z ważnych przykładów jest wykorzystanie ściśniętych stanów skondensowanych Bozonów do zmierzenia fazy interferometrycznej z dokładnością przekraczającą precyzję dopuszczalną przez prawa fizyki

klasycznej. Celem tej pracy jest zbadanie i porównanie różnych strategii estymacji fazy w atomowym interferometrze Macha - Zehndera wykorzystującym jako próbnik silnie splątane wielocząstkowe stany kondensatu Bosego- Einsteina.

#### **78. Opiekun: K. Turzyński**

##### **Produkcja cząstek w modelach inflacji z dwoma polami skalarnymi**

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

#### **Opiekun: K. Turzyński**

##### **Analiza klasycznych modeli inflacji kosmologicznej w oparciu o najnowsze dane WMAP**

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. Jak dotąd zaproponowano wiele różnych modeli inflacyjnych. Celem proponowanej pracy jest skonfrontowanie kilku popularnych modeli inflacji z danymi obserwacyjnymi, przede wszystkim z satelity WMAP.

#### **79. Opiekun: K. Turzyński**

##### **Badanie trajektorii inflacyjnych w modelach z wieloma polami skalarnymi**

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 w przestrzeni pól skalarnych pozwalających na zachodzenie inflacji w kilku zadanych potencjałach pól skalarnych.

#### **80. Opiekun: K. Turzyński**

##### **Analiza równań grupy renormalizacji minimalnego supersymetrycznego rozszerzenia Modelu Standardowego cząstek elementarnych**

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.

#### **81. Opiekun: J. Tworzydło**

##### **Stany kwantowe w tablicach nadprzewodzących kubitów**

W ostatnich latach udało się zbudować pierwsze tzw. obwody QED złożone z tablic nadprzewodzących kubitów oddziałujących z kwantowym modem promieniowania. Uzyskane eksperymentalnie długie czasy koherencji oraz możliwość skalowania konstrukcji takich obwodów dają realną szansę budowy urządzeń do przetwarzania informacji kwantowej. Pierwszym zadaniem

pracy jest ustalenie na podstawie literatury efektywnego opisu takich obwodów. W drugiej chodzić będzie o znalezienie i scharakteryzowanie stanów kwantowych przykładowego układu przy pomocy symulacji numerycznych.

## **82. Opiekun: K.Wohlfeld**

**Dynamika fal spinowych w anizotropowych antyferromagnetykach**

### **Instytut Geofizyki**

#### **Zakład Fizyki Atmosfery**

##### **1. Opiekun: dr inż. Marta Waclawczyk ([marta.waclawczyk@igf.fuw.edu.pl](mailto:marta.waclawczyk@igf.fuw.edu.pl))**

**Oszacowanie dyssypacji energii kinetycznej turbulencji na podstawie atmosferycznych danych pomiarowych (fizyka)**

Energia kinetyczna ruchu turbulentnego (burzliwego) transportowana jest od największych do najmniejszych skal wirowych, gdzie ulega dyssypacji, czyli zamianie na energię cieplną. Istnieje kilka metod pozwalających na oszacowanie wielkości dyssypacji energii kinetycznej na podstawie zmierzonego sygnału prędkości  $u(t)$ . Jedną z nich jest metoda polegająca na wyznaczaniu ile razy w jednostce czasu sygnał  $u(t)$  przecina pewien próg, np.  $u(t)=0$ .

Celem pracy jest analiza, przy użyciu programu Matlab, zadanego sygnału, wyznaczenie jego charakterystycznej ilości przecięć z poziomem  $u=0$ , wyznaczenie statystyk związanych z tą wielkością oraz oszacowanie na jej podstawie dyssypacji energii kinetycznej turbulencji. Otrzymane wyniki mogą zostać porównane z wartościami dyssypacji wyznaczonymi na podstawie innych, standardowych metod.

Wymagania: znajomość języka angielskiego wystarczająca do czytania prac naukowych.

##### **2. Opiekun: dr hab. Krzysztof Markowicz, prof. UW ([kmark@igf.fuw.edu.pl](mailto:kmark@igf.fuw.edu.pl))**

**Wpływ aerozoli absorbujących na zmienny spektralne albedo śniegu (fizyka)**

Tematem pracy są studia nad zmiennością spektralną albedo śniegu w zakresie od 400 do 1100 nm w zależności od struktury mikrofizycznej śniegu oraz depozycji cząstek sadzy na powierzchnię śniegu. Albedo śniegu w zakresie bliskiej podczerwieni maleje szybko z długością fali. Zmienność ta zależy od wielkości płatków śniegu oraz zawartości cząstek sadzy. Antropogeniczna działalność człowieka prowadzi do redukcji albedo śniegu a tym samym do zmian bilansu radiacyjnego i temperatury powietrza w dolnej atmosferze. Efekt ten jest jednak słabo poznany ze względu na niewielką liczbę pomiarów zmian albedo śniegu w zależności od stopnia depozycji cząstek sadzy.

Wymagania: znajomość języka angielskiego wystarczająca do czytania prac naukowych.

##### **3. Opiekunowie: prof. dr hab. Szymon Malinowski ([malina@igf.fuw.edu.pl](mailto:malina@igf.fuw.edu.pl)) / dr Jesper Pedersen**

**([jesper@igf.fuw.edu.pl](mailto:jesper@igf.fuw.edu.pl))**

**Symulacje numeryczne drobnoskalowej struktury chmur stratocumulus (fizyka)**

W ramach tej pracy student będzie brał udział w wysoko-rozdzielczych symulacjach numerycznych chmur stratocumulus prowadzonych na superkomputerach ICM oraz w National Center for Atmospheric Research i analizował ich wyniki. Praca wymaga sprawnego poruszania się w systemie LINUX i pewnej praktyki w programowaniu. Praca może zakończyć się współautorstwem publikacji.

**4. Opiekun: prof. dr hab. Szymon Malinowski ([malina@igf.fuw.edu.pl](mailto:malina@igf.fuw.edu.pl))**  
**Badanie struktur i przepływów w turbulencji atmosferyczne (fizyka)**

Turbulencja w przepływach atmosferycznych to podstawowy mechanizm transportu pędu, ciepła, wilgoci czy zanieczyszczeń.

Do badań turbulencji wykorzystujemy pewne techniki statystyczne badania szeregów czasowych, takie jak funkcje struktury, autokorelacje, kowariancje fluktuacji.

Celem pracy będzie wykorzystanie wybranych narzędzi do analizy danych o turbulencji atmosferycznej pochodzących z pomiarów z pokładu samolotu oraz/lub pomiarów prowadzonych w Laboratorium Transferu Radiacyjnego IGF i w wysokogórskim laboratorium Schneeferenehaus na Zugspitze w Alpach Bawarskich.

Posiadane przez nas dane są na tyle unikalne, że wyniki analiz prowadzone w ramach pracy, w wypadku ich porządnego przeprowadzenia, są publikowalne w dobrych czasopismach naukowych, a autor licencjatu ma szansę zostać współautorem artykułu.

**5. Opiekun: prof. dr hab. Szymon Malinowski ([malina@igf.fuw.edu.pl](mailto:malina@igf.fuw.edu.pl))**  
**Badanie rozkładu przestrzennego i kropeł chmurowych (fizyka)**

W Zakładzie Fizyki Atmosfery znajduje się unikalna komora chmurowa. Budujemy nowy układ wizualizacji i analizy rozkładu przestrzennego i ruchu kropeł chmurowych wykorzystujący ultra rozdzielczą (5120x5120 pixeli) i szybką (do 70 klatek na sekundę) kamerę oraz lasery diodowe i impulsowe do generacji płaszczyzny światła.

W ramach proponowanej pracy licencjackiej student może wykonać jedną z wielu prac potrzebnych do uruchomienia nowego układu:

- napisać fragmenty oprogramowania do zbierania i analizy danych, także oprogramowania do sterowania układem pomiarowym;
- wykonać analizy danych które zbieramy w ramach przygotowania nowej serii eksperymentów;
- zaprojektować i wykonać własny eksperyment wykorzystując posiadane przez nas oprzyrządowanie. Praca może zakończyć się współautorstwem publikacji.

### **Zakład Fizyki Litosfery**

**1. Opiekun: dr Monika Wilde-Piórko ([mwilde@igf.fuw.edu.pl](mailto:mwilde@igf.fuw.edu.pl))**  
**Metody wyboru funkcji odbioru (fizyka)**

Funkcja odbioru jest zapisem, który wylicza się na podstawie seismogramów dalekich trzęsień ziemi zarejestrowanych przez stację sejsmiczną. Praca licencjacka polega na przetestowaniu różnych parametrów charakteryzujących funkcję odbioru, w celu określenia strategii automatycznego wyboru zapisów o żądanej jakości.

Wymagania: znajomość języka angielskiego na poziomie średnio-zaawansowanym, podstawy systemu Linux oraz języka programowania Python.

**2. Opiekun: dr Monika Wilde-Piórko ([mwilde@igf.fuw.edu.pl](mailto:mwilde@igf.fuw.edu.pl))**

**Stworzenie lokalnej bazy danych sejsmicznych (fizyka)**

Praca licencjacka polega na stworzeniu lokalnej bazy danych sejsmicznych w oparciu o MySQL i pakiet sejsmiczny PQLX.

Wymagania: znajomość języka angielskiego na poziomie średnio-zaawansowanym, podstawy systemu Linux.

**3. Opiekun: dr hab. Konrad J. Kossacki ([kjkossac@igf.fuw.edu.pl](mailto:kjkossac@igf.fuw.edu.pl))**

**Jądra komet, kształt i topografia (fizyka, geofizyka)**

Sondy kosmiczne przelatujące w pobliżu jąder komet, lub krążące dokoła (kometa 67P/Churyumov-Gerasimenko, misja Rosetta) pozwoliły uzyskać informacje o wyglądzie zbadanych komet.

Praca polega na sporządzeniu przeglądu cech wspólnych, oraz różnic dotyczących kształtu jąder komet, oraz występujących na ich powierzchniach struktur topograficznych.

Wymagania: Znajomość języka angielskiego

Materiały: Artykuły w specjalistycznych czasopismach zagranicznych

**4. Opiekun: dr hab. Leszek Czechowski ([lczech@fuw.edu.pl](mailto:lczech@fuw.edu.pl))**

**Fizyka wybranych procesów tektonicznych i wulkanicznych na Enceladusie(fizyka/astronomia)**

Korzystając głównie z Internetu należy omówić fizyczne aspekty procesów geodynamicznych na satelicie Saturna – Enceladusie. Jest to niewielki satelita lodowo-skalny, wykazujący silną aktywność tektoniczną i wulkaniczną. Należy omówić główne tektoniczne procesy, w tym właściwości reologiczne litosfery (lód wodny z zawartością innych związków), deformacje pływowe będące źródłem energii dla satelity, możliwą konwekcję we wnętrzu satelity, mechanizm prowadzący do krio-wulkanizmu (rodzaj gejzerów) oraz mechanizm poziomych ruchów fragmentów litosfery. Porównać to z analogicznymi procesami na Ziemi. Możliwe są dwa warianty pracy w zależności od zainteresowań piszącego; wariant poświęcony głównie tektonice lub krio- wulkanizmowi satelity. Praca przeglądowa, choć możliwe są pewne rozszerzenia o własne obliczenia. Możliwa jest kontynuacja tematu w ewentualnej pracy magisterskiej i doktorskiej. Dla zainteresowanych innymi ciałami niebieskimi możliwe jest odpowiednie dostosowanie tematu.

Wymagania: znajomość języka angielskiego wystarczająca do czytania prac naukowych i popularnych.

**5. Opiekun: dr hab. Leszek Czechowski ([lczech@fuw.edu.pl](mailto:lczech@fuw.edu.pl))**

**Rzeki na Ziemi, Marsie i Tytanie - porównanie (fizyka/astronomia)**

Sondy kosmiczne dostarczyły nam danych świadczących o obecnych rzekach ciekłych węglowodorów na Tytanie oraz o wodnych rzekach płynących w przeszłości na Marsie. Celem pracy jest przegląd podstawowych parametrów rzek na różnych ciałach Układu Słonecznego i ich porównanie. W pracy przewiduje się zapoznanie z numerycznym modelowaniem rzek za pomocą gotowych programów numerycznych lub eksperymenty na basenie sedymentacyjnym. Praca daje okazję zapoznania się z równaniami opisującymi zjawisko, zasadami numerycznego modelowania i opracowaniem wyników. Możliwe jest rozszerzenie badań do uzyskania oryginalnych wyników i ich publikacji. Praca wykonywana jest w ramach grupy badawczej (Extraterrestrial Rivers Modeling Group). Możliwe jest też kontynuowanie tematu w pracy magisterskiej i doktorskiej.

Wymagania: znajomość języka angielskiego wystarczająca do czytania prac naukowych i popularnych.

**6. Opiekun: dr hab. Leszek Czechowski ( [lczech@fuw.edu.pl](mailto:lczech@fuw.edu.pl))**

**Temat planetologiczny do uzgodnienia (fizyka/geofizyka)**

Dla osób zainteresowanych konkretnymi procesami powierzchniowymi i wewnętrznymi na planetach grupy ziemskiej (razem z Ziemią i Księżycem) lub na innych stałych ciałach w Układzie Słonecznym możliwy jest temat do uzgodnienia. Dotyczy to takich procesów wewnętrznych jak: konwekcja w stałych płaszczach planet i związane z tym globalne procesy tektoniczne, globalna tektonika na planetach (np. tektonika płyt), deformacje płytowe, wulkanizm. Możliwe jest też badanie procesów zewnętrznych jak ewolucja rzek na planetach lub procesy lodowcowe na Marsie.

Wymagania: znajomość języka angielskiego wystarczająca do czytania prac naukowych i popularnych.

**7. Opiekun: dr hab. Leszek Czechowski ( [lczech@fuw.edu.pl](mailto:lczech@fuw.edu.pl))**

**Tektonika płyt w Europie (fizyka)**

Należy omówić podstawy tektoniki płyt: podział na litosferę oceaniczną i kontynentalną, proces subdukcji i rozrostu dna oceanicznego. Następnie należy omówić współczesne procesy tektoniczne w Europie i jej otoczeniu (wypiętrzanie Alp, Karpat, podział tektoniczny na płyty, ruch płyt względem siebie). Praca przeglądowa w oparciu o wybrane opracowania i literaturę fachową. Możliwa jest kontynuacja tematu w ewentualnej pracy magisterskiej z publikacją oryginalnych wyników. Dla zainteresowanych innym, szczególnym rejonem Ziemi, możliwe jest dostosowanie tematu.

Wymagania: znajomość języka angielskiego wystarczająca do czytania prac naukowych i popularnych.

**8. Opiekun: prof. dr hab. Marek Grad ( [mgrad@mimuw.edu.pl](mailto:mgrad@mimuw.edu.pl))**

**Granica litosfera – astenosfera (LAB) w płaszczu Ziemi (fizyka)**

Fakty i poglądy na granicę litosfera – astenosfera. Charakterystyka „sztywnej” litosfery i „miękkiej” astenosfery. Przegląd danych sejsmicznych (prędkości fal P i S, fale powierzchniowe, tłumienie, anizotropia); LAB elastyczny, termiczny, magnetotelluryczny. LAB pod oceanami i kontynentami. Problem występowania astenosfery pod starymi kratonami.

Wymagania: angielski, literatura zagraniczna, materiały z dobrych źródeł internetowych.

**9. Opiekun: prof. dr hab. Marek Grad ( [mgrad@mimuw.edu.pl](mailto:mgrad@mimuw.edu.pl))**

**Linijowe anomalie magnetyczne – zapis zmian polarności pola magnetycznego Ziemi (fizyka)**

Zmiany pola magnetycznego Ziemi: deklinacja, inklinacja, moment magnetyczny, dryft pola magnetycznego. Odwracanie polarności pola magnetycznego i zapis tych zmian w postaci liniowych anomalii magnetycznych skorupy oceanicznej. Tabela magnetostratygraficzna i epoki magnetyczne.

Wymagania: angielski, literatura krajowa i zagraniczna, materiały z dobrych źródeł internetowych.

**10. Opiekun: prof. dr hab. Marek Grad ( [mgrad@mimuw.edu.pl](mailto:mgrad@mimuw.edu.pl))**

**Temat do uzgodnienia (fizyka)**

Temat będzie określony na podstawie zaproponowanej przez licencjata tematyki związanej z budową i procesami we wnętrzu Ziemi. W wyniku dyskusji zostanie określony zakres pracy oraz dobór odpowiednich źródeł.

Wymagania: angielski, literatura krajowa i zagraniczna – do ustalenia.

## Zakład Optyki Informacyjnej

### 1. Opiekun: dr hab. Rafał Kotyński (rafalk@fuw.edu.pl)

#### **Metapowierzchnie plazmoneiczne i dielektryczne**

Metapowierzchnie optyczne są nanostrukturyzowanymi, metaliczno-dielektrycznymi, planarnymi strukturami fotonicznymi lub plazmoneicznymi, zdolnymi do przekształcenia fazy, amplitudy oraz polaryzacji frontu falowego, w bardzo ogólny, a czasem niezwykle sposób. Natomiast potocznie rzecz ujmując, są potencjalnymi następcami hologramów.

Celem pracy będzie przeprowadzenie symulacji działania wybranego rodzaju metapowierzchni metodami modelowania elektromagnetycznego (prawdopodobnie metodą różnic skończonych FDTD)

### 2. Opiekun: dr hab. Rafał Kotyński (rafalk@fuw.edu.pl)

#### **Modelowanie struktur fotonicznych pułapkujących energię w ogniwie fotowoltaicznym**

Celem pracy będzie wykonanie symulacji działania nowego rodzaju dyfrakcyjno-refrakcyjnego koncentratora światła przeznaczonego do pracy z ogniwami fotowoltaicznymi.

## Katedra Metod Matematycznych Fizyki

### Opiekun: dr Szymon Charzyński

#### **1. Fale grawitacyjne niosące orbitalny moment pędu**

Formalizm spinorowy pozwala dla falowego rozwiązania równań Maxwella znaleźć odpowiadające mu rozwiązanie zlinearyzowanych równań Einsteina, reprezentujące falę grawitacyjną. W ten sposób można znaleźć rozwiązania odpowiadające wiązkom Bessela, Laguerre'a-Gaussa i innym rozwiązaniom niosącym orbitalny moment pędu. Fale elektromagnetyczne niosące orbitalny moment pędu, posiadają pewne szczególne własności, mogą być np. użyte do pułapkowania naładowanych cząstek wokół linii wirowej fali. Przedmiotem pracy jest badanie własności wiązek promieniowania grawitacyjnego niosącego orbitalny moment pędu, np. znajdowanie trajektorii cząstek próbnych, poruszających się w polu takiej fali.

#### **2. Podgrupy paraboliczne grup Liego i separacja równań typu Weia-Normana.**

Istnieje klasa równań różniczkowych zwyczajnych, dla których można szukać rozwiązania w postaci Weia-Normana. Są to równania na krzywą na grupie Liego. Przykładem równania, które należy do tej klasy jest równanie Schrödingera (z hamiltonianem zależnym od czasu). Okazuje się, że dla pewnego szczególnego wyboru współrzędnych na grupie równania Weia-Normana istotnie się upraszczają i separują - otrzymuje się hierarchię równań Riccatiego i całek. Wynik ten można również uzasadnić korzystając z własności pewnej klasy podgrup parabolicznych. Celem pracy będzie porównanie tych dwóch podejść do problemu, analiza konkretnych przykładów i zastosowań fizycznych.

#### **3. Modelowanie numeryczne w teorii względności**

Ostatnie kilka lat to intensywny rozwój metod numerycznych w OTW. Istnieje ogólnodostępne oprogramowanie pozwalające na numeryczne rozwiązywanie równań Einsteina. Celem pracy jest wykorzystanie istniejącego oprogramowania do wykonania nowych interesujących z fizycznego punktu widzenia symulacji oraz ewentualny wkład w rozwijanie istniejącego oprogramowania. Przykładem takiej symulacji jest zlewanie się dwóch czarnych dziur dla różnych konfiguracji mas



i momentów pędu układu składników układu podwójnego i analiza pochodzącego z takiego procesu promieniowania grawitacyjnego. Analiza stabilności numerycznej i różne sposoby wizualizacji otrzymanych rozwiązań będą również istotnym elementem pracy.

---

**Opiekun: prof. dr hab. Jan Dereziński**

### **1. Unitarność w teorii rozpraszania.**

Podstawowe pojęcia i rezultaty w teorii rozpraszania wielu ciał w mechanice kwantowej.

### **2. Harmoniki sferyczne w 4 wymiarach i wielomiany Jacobiego.**

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

### **3. Renormalizacja w prostych modelach kwantowej teorii pola.**

Swobodne pola w obecności np. zewnętrznych potencjałów elektromagnetycznych wymagają nieskończonej renormalizacji. Możliwe jest ścisłe i nieperturbacyjne opisanie tego zjawiska.

### **4. Oddziaływania delto-podobne (kontaktowe) w mechanice kwantowej.**

Potencjały typu delta to bardzo użyteczne i matematycznie wyrafinowane oddziaływania w mechanice kwantowej.

---

**Opiekun: dr hab. Katarzyna Grabowska**

### **1. Problem Susłowa jako przykład układu z więzami nieholonomicznymi i symetrią.**

Przestrzeń konfiguracyjną ciała sztywnego zamocowanego w jednym punkcie można uznać za grupę  $SO(3)$ . Swobodny ruch ciała sztywnego jest niezmienniczy ze względu na działanie grupy na sobie, wobec tego pracuje się raczej na algebrze Liego grupy  $SO(3)$ . Jeśli dodamy do tego liniowe lub afiniczne więzy na prędkości uzyskujemy właśnie układ Susłowa. Zadaniem studenta jest wyprowadzenie fazowych równań ruchu, zbadanie ich całkowalności i przedyskutowanie własności rozwiązań.

### **2. Łyżwa albo ostrze noża - modelowanie więzów nieholonomicznych.**

Układy z więzami są wygodnym przybliżeniem układów poddanych działaniu dużych sił zewnętrznych. Fakt, że łyżwa porusza się „wzdłuż ostrza” wynika z tego, że w ruchu poprzecznym pojawia się bardzo duża siła tarcia. Zadaniem studenta będzie pokazać w jaki sposób geometria układu z więzami nieholonomicznymi pojawia się jako granica układu bez więzów poddanego działaniu dużej siły zewnętrznej. W rozwiązywaniu tego zadania przyda się (choć nie jest niezbędne) doświadczenie w numerycznym rozwiązywaniu równań

### **3. Sanki Czapłygina jako przykład układu z więzami nieholonomicznymi.**

Sanki Czapłygina to najbardziej znany układ z więzami nieholonomicznymi. Zadanie studenta polegało będzie na opisanie tego układu za pomocą odpowiedniej struktury Diraca oraz przeanalizowaniu otrzymanych równań fazowych pod kątem całkowalności. W dostępnej literaturze nie analizuje się raczej równań fazowych poprzestając na równaniach ruchu. Można przy okazji dowiedzieć się co nieco

o algorytmach wydobycia części całkującej z niejawnych równań różniczkowych.

---

**Opiekun: prof. dr hab. Jacek Jezierski**

### **1. Konformne tensory Yano-Killinga (CYK tensory)**

- a) Badanie tych obiektów w czasoprzestrzeni typu KerrNUTAdS i ich uogólnienia w wyższych wymiarach (np. 3-formy CYK dla  $D=5$  i  $6$ )
- b) Strong asymptotic flatness warunki dostateczne na istnienie asymptotycznych CYK tensorów dla metryk stacjonarnych  
(CYK tensory są uogólnieniem pól Killinga i mają wiele zastosowań).

### **2. Matematyczne aspekty fal grawitacyjnych w zlinearyzowanej teorii Einsteina**

- a) Cechowanie niezmiennika podłużnego i jego peeling
- b) Skonstruować niezmienniki Regge-Wheeler-Zerilli dla dowolnej metryki sferycznie symetrycznej  
(Badania nad opisem fal grawitacyjnych w sposób niezależny od cechowania wciąż się rozwijają).

### **3. Własności geometryczne horyzontu ekstremalnego Kerr.**

Ekstremalne czarne dziury (ze zdegenerowanymi horyzontami) wciąż są niezbadane do końca.

### **4. Twierdzenie o dodatniości energii (dowód przy pomocy 2-par. rodziny krzywych)**

Nowy dowód ważnego twierdzenia w OTW.

---

**Opiekun: dr hab. Paweł Kasprzak**

### **1. Algebry Hopfa z rzutem i ciągi dokładne algebr Hopfa.**

Algebry Hopfa z rzutem stanowią kwantowy odpowiednik iloczynów półprostych. Celem pracy jest scharakteryzowanie algebr Hopfa z rzutem pochodzących od rozszerzeń algebr Hopfa.

### **2. O działaniach grup kwantowych na kwantowych przestrzeniach dyskretnych.**

Działania grup kwantowych na kwantowych przestrzeniach dyskretnych w naturalny sposób pojawiają się przy rozważaniu dyskretnej grupy kwantowej  $G$  i jej podgrupy  $H$ . Celem pracy jest sformułowanie i udowodnienie wyników porównujących zachowanie wymiarów reprezentacji algebry kwantowej przestrzeni ilorazowej  $G/H$  ze względu na działanie grupy  $G$ .

---

**Opiekun: dr Javier de Lucas**

### **1. Struktury Riemannowskie w równaniach różniczkowych**

Zbadamy układy równań różniczkowych nieautonomicznych za pomocą algebr Liego pól wektorowych Killinga względem pewnej metryki Riemanna. Skalar i tensor krzywizny Ricciego oraz tensor metryczny pozwalają nam obliczyć całki ruchu i symetrie tych układów. Zastosujemy nasze metody w równaniach różniczkowych pojawiających się w fizyce i matematyce, np. w równaniach Schrodingera i Riccatiego. Wymyślimy nowe techniki analizowania właściwości równań różniczkowych.

## **2. Metody z geometrii symplektycznej w równaniach różniczkowych**

Pewne układy równań różniczkowych, np. oscylatory Winternitza-Smorodynskiego, można określić jako pola wektorowe hamiltonowskie zależne od czasu na rozmaitościach symplektycznych. Pierwszym celem tej pracy jest zastosowanie znanych metod z geometrii symplektycznej do badania równań różniczkowych pojawiających się w fizyce. Drugim celem jest znalezienie uogólnień pewnych wyników z geometrii symplektycznej dla układów zależnych od czasu. Ewentualnie, użyjemy też pewnych uogólnień struktur symplektycznych.

## **3. Metody rozwiązywania równań Schroedingera zależnych od czasu**

Geometryczne podejście do mechaniki kwantowej, tzn. geometryczna mechanika kwantowa, pozwala nam określić równanie Schroedingera zależne od czasu jako równanie krzywych całkowych pewnego pola wektorowego zależnego od czasu. Badanie geometrycznych właściwości tego pola może doprowadzić do odkrycia nowych metody całkowania równań Schroedingera. Tak powstała np. metoda Wei-Normana. W pracy mamy zamiar korzystać z tej i innych metod, poszukując nowych rozwiązań i metod całkowania różnych równań Schroedingera.

## **4. Analiza i zastosowania układów Liego i ich uogólnień**

Układem Liego nazywamy układ równań różniczkowych o szczególnych własnościach. Układy te pojawiają się w wielu dziedzinach matematyki i fizyki. Ich właściwości geometryczne można przeanalizować za pomocą wielu technik pochodzących z geometrii symplektycznej, geometrii Poissona, Diraca lub Riemanna. Układy Liego mają zastosowania w geometrycznej mechanice kwantowej i klasycznej, ogólnej teorii równań różniczkowych itd. To nowe podejście do znanych tematów często pozwala nam znaleźć nowe cechy znanych problemów oraz nowe wyniki. Celem pracy jest przeanalizowanie układów Liego lub ich uogólnień za pomocą technik z geometrii różniczkowej i zastosowanie naszych wyników w mechanice klasycznej, kwantowej i/lub teorii równań różniczkowych.

## **5. Właściwości równań różniczkowych**

Celem tej pracy jest badanie podstawowych właściwości geometrycznych równań różniczkowych, np. stabilność, środki, pary Laxa, symetrie Liego, czynniki całkowalności, itd. Te techniki zostaną wykorzystane do badania właściwości równań opisujących problemy fizyczne.

## **6. Geometryczna kwantyzacja**

Celem tej pracy jest badanie podstawowych właściwości geometrycznych i algebraicznych kilku podejść do geometrycznej kwantyzacji. Mamy zamiar między innymi analizować geometryczne metody rozwiązywania równań Schroedingera konkretnych problemów kwantowych za pomocą a rozwiązań 'klasycznych' tego samego problemu. To pozwoli nam podać bardziej geometryczny opis metody WKB. Dodatkowo, planujemy zbadać kwantyzację Diraca, tj. problem zbudowania morfizmu algebr Liego ze zbioru funkcji gładkich na rozmaitości symplektycznej do algebry operatorów przestrzeni Hilberta.

## **7. Uogólnienia redukcji Marsdena-Weinsteina**

Celem tej pracy jest badanie uogólnień teorii redukcji Marsdena-Weinsteina dla różnych typów geometrii: k-symplektycznej, multisymplektycznej, (twisted) Diraca, Jacobiego, itp. Planuję zbudować nową teorię redukcji, aby uogólnić i uprościć poprzednie prace na ten temat. Na przykład, istniejąca

redukcja k-symplektyczna jest oparta na założeniu, że obciążenia do pewnej podrozmiarowości wszystkich form presymplektycznych struktury k-symplektycznej mają przecięcie jąder równe zeru. Spróbujemy stworzyć teorię redukcji bez tego założenia.

## **8. Struktury k-symplektyczne, multisymplektyczne i równania różniczkowe zwyczajne**

Zamiast badać układy równań różniczkowych cząstkowych, mamy zamiar skorzystać ze struktur k-symplektycznych, żeby badać odpowiednie równania różniczkowe zwyczajne nieautonomiczne. Takie podejście było w pewnym stopniu wykorzystane w opublikowanych już pracach do badania pewnego typu tzw. układów Liego. Mamy zamiar uogólnić nasze podejście tak aby można było je zastosować do bardziej ogólnych problemów. To podejście jest bardziej naturalne niż badanie układów równań różniczkowych cząstkowych, które nie zawsze można zbadać strukturami multisymplektycznymi i k-symplektycznymi. Mamy zamiar zastosować nasze metody do układów równań różniczkowych pojawiających się w fizyce i matematyce, np. w hydrodynamice. W dotychczasowych pracach korzystaliśmy po raz pierwszy z pewnego typu algebr Poissona funkcji względem struktury k-symplektycznej do obliczenia stałych ruchu pewnych układów równań zwyczajnych autonomicznych. Mamy zamiar zdefiniować nowe narzędzia do analizy takich układów.

---

**Opiekun: dr hab. Maciej Nieszporski**

### **1. Dokładna dyskretyzacja równań różniczkowych. Zastosowanie w algorytmach śledzenia obiektów.**

Klasyczne algorytmy śledzenia obiektów oparte na filtrze Kalmana, wymagają dyskretyzacji równań różniczkowych opisujących ruch obiektów. Użycie dokładnych dyskretyzacji pozwala znacznie poprawić jakość śledzenia. W pracy zajmiemy się algorytmami opartymi na dokładnej dyskretyzacji równań ruchu.

Powyższy temat można podjąć w zespole. Jego zespołowa wersja dotyczyć będzie większej liczby równań ruchu oraz obejmie implementację w Matlabie i w C++.

### **2. Zasada nieliniowej superpozycji dla równań różnicowych i różniczkowych. Całkowalne rekurencje i korespondencje.**

Mając do dyspozycji rozwiązanie nieliniowego równania różniczkowego i dwie transformaty Bäcklunda tego rozwiązania potrafimy skonstruować czwarte rozwiązanie używając nieliniowej zasady superpozycji dla danego równania. Sama zasada nieliniowej superpozycji może być zreinterpretowana jako równanie różnicowe przy czym czasami równanie to jest rekurencją czasami korespondencją.

W pracy zajmiemy się przykładami takich rekurencji i korespondencji.

---

**Opiekun: dr Rafał R. Suszek**

## **1. Uniwersalna zasada cechowania z wykorzystaniem defektów topologicznych – uogólnienie schematu sprzężenia minimalnego.**

Kontekst fizyczny: Ścisły geometryczny i algebraiczny opis globalnych symetrii lagranżowskiej teorii pola oraz procedur ich uokalniania (tzw. cechowania) w języku wiązek włóknistych z powiązaniem oraz struktury ekwiwariantnej na tychże, jak również w języku stowarzyszonych struktur grupoidalnych i algebroidalnych; elementarne zjawiska teorii pola z cechowaniem (efekt Aharonowa-Bohma, Andersona–Brouta–Englerta–Higgsa–Guralnika–Hagena–Kibble’a i odwrotny doń, nieliniowe realizacje symetrii etc.) w opisie teorii wiązek. Defekty topologiczne i ich sieci w (niskowymiarowych) teoriach pola jako obiekty realizujące automorfizmy teorii pola.

Narzędzia formalne: Geometria różniczkowa, teoria grup i algebr Liego oraz grupoidów i algebroidów Liego, teoria wiązek włóknistych z uzgodnionym powiązaniem, geometria symplektyczna i formalizm pierwszego rzędu w klasycznej teorii pola, elementy teorii kategorii.

Cel: Poznanie uniwersalnej procedury uokalniania symetrii globalnych modeli fizycznych, zrozumienie (ograniczeń) zakresu stosowalności procedury minimalnego sprzężenia i jej rozszerzeń, poznanie konkretnych modeli teoriopolowych ilustrujących naturalność i przydatność technik teorii wiązek włóknistych w opisie układów fizycznych z symetrią lokalną. Zrozumienie roli topologicznych defektów teoriopolowych i ich sieci w modelowaniu konfiguracji pola modelu z symetrią uokalnioną (tzw. sektor zwichrowany).

## **2. Wyższe struktury geometryczne i algebraiczne w opisie symetrii modeli fizycznych i dynamiki obiektów obdarzonych ładunkiem topologicznym.**

Kontekst fizyczny: Geometryzacja wyższych klas kohomologii de Rhama (wiązki, wiechcie wiązek, n-wiechcie) w opisie geometrycznej dynamiki (typu modelu sigma, więc też krytycznej teorii strun i bran, teorii Cherna-Simonsa, teorii BF) pól cechowania oraz ładunków punktowych, pętli i ścieżek, membran oraz wyżej wymiarowych obiektów naładowanych, a także geometryzacji tych opis kategoryalny (w języku wyższych kategorii). Ekwiwariantyzacja rzeczonych struktur jako rygorystyczna procedura uokalniania symetrii odnośnych modeli fizycznych oraz jako schemat zstąpienia (z jęz. ang. descent) modelu na przestrzeń orbit działania grupy symetrii w przestrzeni konfiguracyjnej (uogólniony orbifold).

Narzędzia formalne: Geometria różniczkowa, teoria wiązek włóknistych i n-wiechci, algebra homologiczna (elementy kohomologii de Rhama, snopowej, Beilinsona-Deligne'a etc.), teoria grup, teoria (wyższych) kategorii.

Cel: Zrozumienie koncepcji fizycznej – swoistej adaptacji i zarazem istotnego rozszerzenia koncepcji Diraca, Feynmana i Segala – wykorzystania struktur i metod geometrii wyższej i algebry wyższej (w tym teorii wyższych kategorii) w rygorystycznym opisie dynamiki (rozciągłych) obiektów naładowanych oraz dynamiki tej symetrii i poznanie konkretnych technik formalnych stosowanych w jego konstrukcji.

## **3. Kwantowanie geometryczne teorii z ładunkiem topologicznym w obrazie transgresji kohomologicznej.**

Kontekst fizyczny: Bezpośrednia indukcja – w procedurze tzw. transgresji kohomologicznej znad rozmaitości różniczkowalnej na jej przestrzeń n-pętli – wiązki prekwantowej (jej cięcia, stosownie spolaryzowane, mają interpretację funkcji falowych teorii skwantowanej) w modelach dynamiki z ładunkiem topologicznym (typu modelu sigma, więc też krytycznej teorii strun i bran, teorii Cherna-Simonsa, teorii BF) z danych obiektu (n-wiechcia) geometryzującego klasę de Rhama (krzywizny) pola cechowania sprzęgającego się do ładunku obiektu fizycznego. Mechanizm ten stanowi z jednej strony

rozwinięcie koncepcji Diraca-Feynmana wykorzystania lagranżowskiego opisu teorii klasycznej w naturalnej procedurze jej kwantowania, a z drugiej – konstruktywną realizację koncepcji Segala kwantowania funktorialnego.

Narzędzia formalne: Geometria różniczkowa (także na przestrzeniach funkcyjnych), geometria symplektyczna i formalizm pierwszego rzędu w klasycznej teorii pola, teoria wiązek włóknistych i n-wieczci, algebra homologiczna (elementy kohomologii de Rhama, snopowej, Beilinsona-Deligne'a etc.), teoria (wyższych) kategorii.

Cel: Poznanie niekanonicznych schematów kwantowania modelu dynamiki klasycznej: kwantowania geometrycznego i funktorialnego, wykorzystujących obecność w definicji modelu strukturę geometryczną i kohomologiczną.

#### **4. Niezmienniki topologiczne Reszetykina-Turajewa jako przykład konstruktywnej topologicznej kwantowej teorii pola i punkt wyjścia do kwantowania funktorialnego wymiernych dwuwymiarowych konforemnych teorii pola.**

Kontekst fizyczny: Kwantowanie w schemacie funktorialnym, czyli rozumiane – za Segalem – jako pewien szczególny funktor z kategorii geometrycznej modelującej trajektorie klasycznego układu fizycznego w kategorię algebraiczną (topologicznych) przestrzeni wektorowych – schemat ten stanowi rygorystyczną abstrakcję heurystycznej (w ogólności) konstrukcji Diraca-Feynmana kwantomechanicznych amplitud prawdopodobieństwa w terminach „sum po historiach” układu klasycznego przy użyciu klasycznego funkcjonału działania. Przy tym model RT nie tylko realizuje program Segala w sposób konstruktywny, dając nam wgląd w alternatywny schemat kwantowania modelu fizycznego i zarazem stając się źródłem definicji nowych niezmienników topologicznych (uogólniających klasyczne niezmienniki węzłów Jones'a-Conwaya), których teoria jest teraz intensywnie rozwijana, ale też posiada dobrze określony klasyczny odpowiednik teoriopolowy o bogatej strukturze geometrycznej i (wyższej) kategoryalnej, a mianowicie – trójwymiarową topologiczną teorię pola z cechowaniem Cherna-Simonsa (w obecności linii Wilsona), poddającą się bezpośredniej analizie metodami geometrycznymi, algebraicznymi i funkcjonalnymi. Konstrukcja RT stanowi także integralny element nowoczesnej definicji kwantowej dwuwymiarowej wymiernej konforemnej (więc już nie topologicznej) teorii pola, której struktura i metody rachunkowe są aktualnie intensywnie rozwijane.

Narzędzia formalne: Topologiczna i konforemna teoria pola na niskowymiarowych czasoprzestrzeniach, teoria kategorii (z dodatkową strukturą: monoidalną, warkoczną, dualnością, abelową, modułarną etc.), topologia różniczkowa, geometria i kohomologia symplektyczna, geometria różniczkowa, topologia różniczkowa, teoria Morse'a, teoria wiązek włóknistych z uzgodnionym powiązaniem.

Cel: Poznanie alternatywnego aksjomatycznego podejścia do kwantowania dynamiki klasycznej (w rozumieniu Segala et al.) i jego zastosowań fizycznych (w rekonstrukcji kwantowych dwuwymiarowych wymiernych konforemnych teorii pola w schemacie Belawina-Poljakowa-Zamołodczikowa) oraz matematycznych (konstrukcja niezmienników topologicznych).

#### **5. Teoria Cherna-Simonsa – od teorii pola z cechowaniem i niskowymiarowej geometrii do grup kwantowych i wyższych kategorii.**

Kontekst fizyczny: Trójwymiarowa topologiczna teoria pola z symetrią lokalną (tzw. symetrią cechowania) o strukturze klasycznej grupy Liego w reżymie klasycznym i tzw. grupy kwantowej (w sensie Drinfelda-Jimbo lub – „dualnie” – w sensie Woronowicza) w reżymie kwantowym. Poddająca się kwantowaniu w schemacie kanonicznym, geometrycznym (z wykorzystaniem tzw. transgresji kohomologicznej, której poddawany jest obiekt geometryczny określający funkcjonał działania klasycznego w terminach wyżej wymiarowego operatora holonomii tzw. 2-wieczcia) i – w prostym

związku z tym ostatnim – w schemacie funktorialnym Segala. Teoria ta ma głęboki i piękny związek strukturalny z tzw. wymiernymi dwuwymiarowymi konformenymi teoriami pola (więc też sektorami teorii strun), często o ważnych zastosowaniach w teorii ciała stałego i fizyce statystycznej, teorią niskowymiarowej grawitacji, teorią (moduli) wiązek głównych nad nakłutymi powierzchniami Riemanna oraz teorią niezmienników topologicznych. Stanowi także ważny przykład teorii fizycznej wykorzystującej (i dającej możliwość rozwijania) struktury i techniki formalne tzw. wyższej geometrii i teorii wyższych kategorii.

Narzędzia formalne: Geometria różniczkowa (także na przestrzeniach funkcyjnych), geometria symplektyczna i formalizm pierwszego rzędu w klasycznej teorii pola, teoria wiązek włóknistych (w szczególności wiązek głównych z powiązaniem głównym) i  $n$ -wiehcy, teoria grup i algebr Liego oraz elementy teorii grup kwantowych, algebra homologiczna (elementy kohomologii de Rham, snopowej, Beilinsona-Deligne'a, homologia singularna etc.), teoria (wyższych) kategorii.

Cel: Studium niezwykle bogatego strukturalnie przypadku zastosowania charakteru różniczkowego (wyższej holonomii) obiektu geometrycznego w konstrukcji i kwantowaniu topologicznej teorii pola o kluczowym znaczeniu w badaniach nad niskowymiarową kwantową teorią pola. Poznanie konkretnej implementacji struktury grupy kwantowej jako grupy symetrii modelu fizycznego. Przy sprawnym opracowaniu podstaw zagadnienia możliwe jest przystąpienie do konstrukcji wyróżnionej klasy (sieci) defektów maksymalnie symetrycznych w modelu w opisie kohomologicznym i (wyższym) geometrycznym. Struktury te zostałyby następnie powiązane ze znanymi strukturami (defektami niosącymi dane bi-bran maksymalnie symetrycznych) w tzw. topologicznym modelu Wessa-Zumino-Wittena o wycechowanej grupie strukturalnej.

## **6. Nieprzemienna geometria à la Connes w dwuwymiarowych superkonforemnych teoriach pola.**

Kontekst fizyczny: Bezpośrednia konstrukcja tzw. trójki widmowej Connesa (oraz jej naturalnych kählerowskich i hyperkählerowskich rozszerzeń) na podstawie danych operatorowych (algebry prądów) dwuwymiarowej superkonforemnej teorii pola (tzw. supersymetrycznego modelu sigma, dostarczającego – m.in. – lagranżowskiego opisu teorii superstrun), w odwołaniu do teorii operatorów Diraca na rozmaitościach (pseudo)riemannowskich. Konstrukcja ta daje nam naturalne narzędzia rygorystycznego opisu tzw. emergentnej nieprzemiennej geometrii teorii strun (w skali mikroskopowej), o postaci współokreślanej przez obecność wyższych struktur geometrycznych (tzw.

wiehcy wiązek) na przestrzeni zanurzenia tejże teorii, i tworzy arenę bezpośrednich zastosowań teorii grup i algebr kwantowych (w szczególności tzw. algebr odbiciowych) jako struktur symetrii dynamiki kwantowej. Bezpośredniej analizie dostępne są tutaj konkretne przykłady geometrii nieprzemiennej o prostym opisie macierzowym takie jak rozmyte klasy sprzężoności grup klasycznych (tzw. fuzji wzgl.  $q$ -deformed conjugacy classes), dyski kwantowe, kwantowe przestrzenie rzutowe i in.

Narzędzia formalne: Teoria algebr Clifforda, spinorów i operatorów Diraca na rozmaitościach metrycznych, elementy nieprzemiennej geometrii w ujęciu Gelfanda-Naimarka oraz Connesa, proste techniki operatorowe dwuwymiarowej konforemnej teorii pola, elementy supersymetrii, teoria (super)algebr Liego i stowarzyszonych z nimi centralnie rozszerzonych (super)algebr pętlowych ((super)algebr Kaca-Moody'ego i Virasoro), geometria różniczkowa z dodatkową strukturą: zespoloną, kählerowską i hyperkählerowską, teoria wiehcy wiązek.

Cel: Poznanie koncepcji Gelfanda-Naimarka-Connesa rekonstrukcji geometrii różniczkowej ze strukturą metryczną (ew. rozszerzoną) – w kontekście klasycznym i jego uogólnieniach motywowanych przez niskowymiarową fizykę – na podstawie znajomości (nieprzemiennej w ogólności) algebry funkcji na tejże oraz stosownego operatora Diraca. Studium prostych przykładów widmowej geometrii nieprzemiennej o wysokiej symetrii. Opanowanie podstawowych pojęć i metod rachunkowych dwuwymiarowej superkonforemnej teorii pola. Zrozumienie koncepcji geometrii emergentnej i jej

symetrii w kontekście dynamiki pętli na rozmaitości metrycznej z wiechciem wiązek.

## **7. T-foldy – konstrukcja przestrzeni modelowanych lokalnie na rozmaitościach riemannowskich o strukturze globalnej wyznaczonej przez symetrie modelu sigma.**

Kontekst fizyczny: Geometria różniczkowa wychodząca poza paradygmat Riemanna, będąca istotnym uogólnieniem konstrukcji orbifoldu działania grupy dyskretnej oraz rozmaitości orbit grupy Liego na rozmaitości różniczkowalnej na przykład, w którym w roli grupy strukturalnej określającej dane zszycia lokalnych riemannowskich opisów geometrii występuje grupa automorfizmów pewnej szczególnej mechaniki pętli (zw. modelem sigma, będącym naturalnym uogólnieniem opisu lagranżowskiego dynamiki punktu materialnego w zewnętrznym polu grawitacyjnym i elektromagentycznym) na tychże geometriach lokalnych. Geometria ta ma naturalną definicję w terminach modelu sigma na powierzchni świata (powierzchni Riemanna) z wpisaną siecią defektów topologicznych niosących dane tzw. modułów wiechciowych (z ang. gerbe modules), których transgresja kohomologiczna do przestrzeni pętli nad przestrzenią zanurzenia (sumą rozłączną lokalnych struktur riemannowskich) określa w standardowy sposób dane automorfizmu modelu sigma.

Narzędzia formalne: Geometria różniczkowa, topologia, teoria wiązek włóknistych (w szczególności wiązek głównych z powiązaniem) i n-wiechci, algebra homologiczna (elementy kohomologii de Rhama, snopowej, Beilinsona-Deligne'a etc.), teoria (wyższych) kategorii, elementy dwuwymiarowej konforemnej teorii pola.

Cel: Poznanie koncepcji tzw. geometrii emergentnej (albo efektywnej) opisywanej przez dwuwymiarowy model sigma dynamiki pętli i jego automorfizmy. Zrozumienie znaczenia defektów (topologicznych) w realizacji tychże automorfizmów. Konstrukcja defektów (tj. Właściwych modułów wiechciowych) realizujących T-dwoistości w modelu sigma na przestrzeni zanurzenia będącej sumą rozłączną toroidalnych wiązek głównych z uzgodnionym powiązaniem. Zbadanie warunków wycechowania automorfizmów tego typu poprzez konstrukcję topologicznych sieci defektów T-dwoistości.

---

**Opiekun: dr hab. Jacek Wojtkiewicz**

### **1. Próba skonstruowania funkcji falowej stanu podstawowego dla jednowymiarowego modelu Heisenberga na drabince 'pyrochlore'.**

Wyniki numeryczne sugerują, że jest szansa na ścisły wynik. Niezależnie od tego, czy uda się skonstruować stan podstawowy czy nie, warto ten model zbadać numerycznie, gdyż prawdopodobnie jest on wdzięcznym okazem hipotezy Haldane'a.

### **2. Analiza modelu Hubbarda**

Analiza modelu Hubbarda na drabince, przez dokonanie 5 mapowań (wśród których nie ma odwzorowania Haldane'a) pomiędzy różnymi modelami, z perspektywą wykazania w sposób ścisły hipotezy Haldane'a w tym modelu. Numeryczny kierunek pracy jest również możliwy.

## **Obserwatorium Astronomiczne**

- Opiekun: prof. dr hab. Krzysztof Belczyński ([chrisbelczynski@gmail.com](mailto:chrisbelczynski@gmail.com))  
Temat: "Analiza faz ewolucyjnych dla małomasowych i masywnych gwiazd"**



Opis: Projekt polega na przeanalizowaniu różnicy w ewolucji gwiazd małomasywnych i masywnych z uwzględnieniem różnych faz przez którą przechodzą gwiazdy. W szczególności interesujące będzie przeanalizowanie czasu jaki gwiazdy spędzają w poszczególnych fazach i jak to zależy od masy oraz metaliczności.

Badania będą wykonane w zespole 3 osobowym: student, dr Grzegorz Wiktorowicz oraz prof. dr hab. Krzysztof Belczyński.

## 2. Opiekun: dr hab. Łukasz Wyrzykowski Spektroskopia podwójnego zjawiska mikrosoczewkowania Gaia16aye.

Gaia16aye to zjawisko pojaśnienia odległej gwiazdy wywołane przez Grawitacyjną soczewkę podwójną z dysku Galaktyki. Wykryte przez misję kosmiczną Gaia w lipcu 2016 r. było intensywnie obserwowane przez liczne teleskopy na Ziemi.

Aby rozwiązać tę soczewkę, czyli aby określić, czy w soczewkującym układzie podwójnym znajduje się czarna dziura czy zwykła gwiazda, konieczne jest wyznaczenie rozmiaru soczewkowanej gwiazdy. W pracy analizowane będą dane spektroskopowe zebrane przez teleskopy z Wysp Kanaryjskich, Włoch i Kalifornii.

Temat ten został już podjęty przez Pana Mateusza Zielńskiego

## Europejskie Studia Optyki Okularowej i Optometrii ZFBM-OOiO

Tematy grupowe (grupy 3-osobowe):

Opiekun: dr Jacek Pniewski ([jpniewski@igf.fuw.edu.pl](mailto:jpniewski@igf.fuw.edu.pl)) lub dr Maciej Sokołowski ([maciej.sokolowski@igf.fuw.edu.pl](mailto:maciej.sokolowski@igf.fuw.edu.pl))

1. Predykcja rozwoju krótkowzroczności u dzieci w wieku 6 i 7-let lat na podstawie testu Malinowskiego.
2. Parametry układu wzrokowego dzieci 6 i 7-letnich na podstawie badań własnych w Warszawie, dz. Ochota.
3. Korelacja położenia punktu bliskiego konwergencji i ustawienia oczu na bliż u dzieci 6 i 7-letnich na podstawie badań własnych w Warszawie, dz. Ochota.

Temat 1-osobowy:

Opiekun: dr Jacek Pniewski ([jpniewski@igf.fuw.edu.pl](mailto:jpniewski@igf.fuw.edu.pl))

1. Detektor Shacka-Hartmanna - zastosowanie w optometrii i optyce okularowej

### ZFBM-Neuroinformatyka

1. Opiekun: dr Józef Ginter, dr hab. Jarosław Żygierewicz  
Algorytmy uczenia maszynowego w zastosowaniu do rozpoznawania obrazów diagnostycznych  
Licencjat dla 3 osób
2. Opiekun: prof. Piotr Durka  
W poszukiwaniu świadomości -- analiza danych EEG pacjentów kliniki Budzik  
<http://www.klinikabudzik.pl/pl/badania-eeeg>

**3. Opiekunowie: dr hab. Maciej Kamiński, dr Elżbieta Olejarczyk**

**Badanie wpływu uczenia się czynności motorycznych na sprawność ruchową osób zdrowych**

Analiza sygnałów EEG/EMG przy użyciu metod spektralnych, liniowych i nieliniowych metod badania architektury połączeń funkcjonalnych w mózgu oraz indeksów opartych na teorii grafów. Dane EEG/EMG rejestrowane przez grupę z University of Southern California, USA. Student będzie współautorem publikacji w czasopismach zagranicznych.

**4. Opiekunowie: dr hab. Maciej Kamiński, dr Elżbieta Olejarczyk**

**Badanie rytmu mu i zmian w koherencji sygnałów EEG/EMG przy użyciu interfejsu mózg-komputer u osób zdrowych i u osób po udarze.**

Analiza sygnałów EEG/EMG przy użyciu metod spektralnych, liniowych i nieliniowych metod badania architektury połączeń funkcjonalnych w mózgu oraz indeksów opartych na teorii grafów. Dane EEG/EMG rejestrowane przez grupę z University of Southern California, USA. Student będzie współautorem publikacji w czasopismach zagranicznych.

**5. Opiekunowie: dr hab. Maciej Kamiński, dr Elżbieta Olejarczyk**

**Badanie wpływu medytacji na reorganizację mózgu u osób po udarze**

rezerwacja: Maria Jakubowska

Analiza sygnałów EEG/EMG przy użyciu metod spektralnych, liniowych i nieliniowych metod badania architektury połączeń funkcjonalnych w mózgu oraz indeksów opartych na teorii grafów. Dane EEG/EMG rejestrowane przez grupę z University of Southern California, USA. Student będzie współautorem publikacji w czasopismach zagranicznych.

**Zakład Dydaktyki Fizyki**

**Dla:**

**Fizyka, specjalność nauczycielska**

**1. Opiekun: dr Stefania Elbanowska-Ciemuchowska, stefania.elbanowska@fuw.edu.pl**  
**Sposoby przekazywania energii w doświadczeniach uczniowskich**

Celem pracy jest zaprojektowanie eksperymentów ilustrujących transport energii. Dyplomant zweryfikuje propozycje doświadczeń z wykorzystaniem prostych środków dydaktycznych, na zajęciach z uczniami szkoły podstawowej. Efektem pracy będzie zestaw fotografii przygotowanych

zestawów doświadczalnych oraz scenariusze lekcji.

**2. Opiekun: dr Stefania Elbanowska-Ciemuchowska, stefania.elbanowska@fuw.edu.pl  
Zjawiska cieplne w eksperymentach uczniowskich**

Celem pracy jest przygotowanie scenariuszy zajęć na lekcje festiwalowe dla uczniów szkoły podstawowej obejmujących zjawiska cieplne. Poprzez proste eksperymenty dostosowane do percepcji ucznia w wieku 7-12 lat, dyplomant przedstawi propozycje zaznajamiania uczniów z podstawowymi pojęciami fizycznym. Efektem pracy będzie zestaw fotografii przygotowanych zestawów oraz scenariusze lekcji.

**Dla:**

**Fizyka, specjalność nauczycielska, Fizyka, Zastosowania fizyki w biologii i medycynie,  
Fizyka medyczna**

**1. Opiekun: dr Piotr Niezurawski, Piotr.niezurawski@fuw.edu.pl  
Dydaktyczny model do tomografii komputerowej**

Celem pracy jest stworzenie w języku JavaScript interaktywnego, edukacyjnego programu do symulacji tomografu i rekonstrukcji obrazu obiektu, który użytkownik może modelować. W aplikacji można by było tworzyć obiekt (np. 2 kwadraty, koło z dziurą), który następnie "naświetlałoby" się z różnych stron, na podstawie uzyskanych "prześwietleń" tworzony byłby obraz obiektu. Program byłby upubliczniony na otwartej, wolnej licencji GNU GPL. Wymagana jest dobra znajomość dowolnego języka programowania.

*Wstępnie projektem jest już zainteresowana studentka, ale w przypadku zgłoszenia się w sumie 3 osób, możemy utworzyć zespołowy projekt studencki (i wspólną pracę licencjacką).*

## **Zakład Optyki**

### **Propozycje tematów prac licencjackich w Zakładzie Optyki IFD UW dla kierunków Fizyka i Inżynieria Nanostruktur**

**1. Opiekun: dr Mariusz Semczuk**

**Układ laserowy do chłodzenia i pułapkowania atomów cezu w pułapce magneto-optycznej**

Przypadkowo zapytany człowiek z pewnością stwierdzi, że światło lasera podgrzewa materię. Wbrew codziennemu doświadczeniu okazuje się jednak, że lasery mogą być wykorzystane również do chłodzenia. Ta koncepcja, zaproponowana w latach 70tych, do dnia dzisiejszego jest szeroko wykorzystywana przez rzesze naukowców zajmujących się precyzyjnymi pomiarami, symulacjami kwantowymi, detekcją fal grawitacyjnych czy też interferometrią atomową. Technika chłodzenia laserowego była również nagrodzona nagrodą Nobla w 1997 roku i pośrednio przyczyniła się do otrzymania wyników nagrodzonych nagrodą Nobla w roku 2001.

Celem pracy będzie zbudowanie układu laserowego, który zostanie wykorzystany w nowopowstającym laboratorium do chłodzenia atomów **cezu** w pułapce magneto-optycznej. Najważniejsze zadania, których wykonanie jest elementem proponowanej pracy licencjackiej to: a) uruchomienie lasera MOPA (*Master Oscillator Power Amplifier*) i wystabilizowanie częstości generowanego światła do linii D2 **cezu**, co zapewnia pracę na częstości rezonansowej z przejściem atomowym, b) ustawienie torów optycznych odpowiadających wiązkom do spowalniania atomów w spowalniaczu Zeemana, ich chłodzenia w pułapce magneto-optycznej i do obrazowania absorbcyjnego, c) przesunięcie częstości wiązek laserowych w poszczególnych torach optycznych przy użyciu modulatorów akusto-optycznych d) charakteryzacja szybkości włączania/wyłączania wiązek

laserowych, gdzie rolę przestony blokującej światło będą pełniły modulatory akusto-optyczne, e) sprzęgnięcie wiązek laserowych do światłowodów jednomodowych.

Praca umożliwi zapoznanie się z technikami laserowymi wykorzystywanymi w eksperymentach z ultrazimnymi atomami, umożliwiając nabycie doświadczenia w pracy z wąskopasmowymi laserami pracy ciągłej oraz metodami diagnostyki i charakteryzacji wiązek laserowych przy użyciu oscyloskopów, analizatorów widma i mierników mocy. Dodatkowo narzędzia, które będą wykorzystane w pracy licencjackiej (komercyjne układy firmy Toptica), są szeroko stosowane zarówno w wielu dziedzinach fizyki jak i w przemyśle, zwłaszcza w optoelektronice i telekomunikacji. Należy podkreślić, że zbudowany układ będzie wykorzystany do wytwarzania cząsteczek KCs, zatem przez najbliższe 5-10 lat będzie integralną częścią unikalnego w skali światowej układu eksperymentalnego.

## 2. Opiekun: dr Mariusz Semczuk

### **Wytwarzanie potencjałów optycznych przy użyciu modulatora akusto-optycznego**

Oddziaływanie atomu z polem elektromagnetycznym (np. polem świetlnym wytworzonym przez laser) umożliwia wykorzystanie laserów jako pułapek dla zimnych atomów. Najczęściej używanym elementem umożliwiającym kontrolę parametrów takiej pułapki optycznej są modulatory akusto-optyczne: wiązka światła przechodząca przez modulator ulega dyfrakcji na fali dźwiękowej wytworzonej w kryształ modulatora i sterowanej sygnałem RF. Jeden z rzędów dyfrakcyjnych (najczęściej +1 lub -1) użyty jest do pułapkowania atomów i poprzez kontrolę amplitudy sygnału RF użytkownik może kontrolować głębokość pułapki. Dodatkowa możliwość kontroli częstotliwości sygnału RF pozwala na zmianę kąta ugięcia wiązki ulegającej dyfrakcji (z jednoczesną zmianą jej częstotliwości). Połączenie tych elementów (kontrola amplitudy i częstotliwości RF) jest kluczowe dla wytwarzania uśrednionych w czasie potencjałów optycznych.

Celem pracy będzie zbudowanie nowatorskiego układu bazującego na modulatorze akusto-optycznym z podwójnym przejściem. Układ taki charakteryzował będzie się niespotykaną w podobnych układach właściwością: zmiana częstotliwości sygnału RF doprowadzi do zmiany kąta ugięcia wiązki bez zmiany jej częstotliwości. Zbudowany w ramach pracy licencjackiej układ umożliwi szybką, przestrzenną kontrolę oddziaływań międzyatomowych, zwłaszcza wykorzystujących przejścia dwufotonowe, wytwarzanie uśrednionych w czasie potencjałów optycznych i dynamicznie kontrolowanych sieci optycznych.

Praca jest typowo doświadczalna i umożliwi studentowi zapoznanie się z działaniem układów laserowych, optoelektroniki i osprzętu używanego we współczesnych eksperymentach ultrazimnej fizyki atomowej i cząsteczkowej.

## 3. Opiekun: dr Mariusz Semczuk

### **Układ laserowy do chłodzenia i pułapkowania atomów potasu w pułapce magneto-optycznej**

Przypadkowo zapytany człowiek z pewnością stwierdzi, że światło lasera podgrzewa materię. Wbrew codziennemu doświadczeniu okazuje się jednak, że lasery mogą być wykorzystane również do chłodzenia. Ta koncepcja, zaproponowana w latach 70tych, do dnia dzisiejszego jest szeroko wykorzystywana przez rzesze naukowców zajmujących się precyzyjnymi pomiarami, symulacjami kwantowymi, detekcją fal grawitacyjnych czy też interferometrią atomową. Technika chłodzenia laserowego była również nagrodzona nagrodą Nobla w 1997 roku i pośrednio przyczyniła się do otrzymania wyników nagrodzonych nagrodą Nobla w roku 2001.

Celem pracy będzie zbudowanie układu laserowego, który zostanie wykorzystany w nowopowstającym laboratorium do chłodzenia atomów **potasu** w pułapce magneto-optycznej. Najważniejsze zadania, których wykonanie jest elementem proponowanej pracy licencjackiej to: a) uruchomienie lasera MOPA (*Master Oscillator Power Amplifier*) i wystabilizowanie częstości generowanego światła do linii D2 **potasu**, co zapewnia pracę na częstości rezonansowej z przejściem atomowym, b) ustawienie torów optycznych odpowiadających wiązkom do spowalniania atomów w spowalniaczu Zeemana, ich chłodzenia w pułapce magneto-optycznej i do obrazowania absorbcyjnego, c) przesunięcie częstości wiązek laserowych w poszczególnych torach optycznych przy

użyciu modulatorów akusto-optycznych d) charakteryzacja szybkości włączania/wyłączania wiązek laserowych, gdzie rolę przesłony blokującej światło będą pełniły modulatory akusto-optyczne, e) sprzęgnięcie wiązek laserowych do światłowodów jednomodowych.

Praca umożliwi zapoznanie się z technikami laserowymi wykorzystywanymi w eksperymentach z ultrazimnymi atomami, umożliwiając nabycie doświadczenia w pracy z wąskopasmowymi laserami pracy ciągłej oraz metodami diagnostyki i charakteryzacji wiązek laserowych przy użyciu oscyloskopów, analizatorów widma i mierników mocy. Dodatkowo narzędzia, które będą wykorzystane w pracy licencjackiej (komercyjne układy firmy Toptica), są szeroko stosowane zarówno w wielu dziedzinach fizyki jak i w przemyśle, zwłaszcza w optoelektronice i telekomunikacji. Należy podkreślić, że zbudowany układ będzie wykorzystany do wytwarzania cząsteczek KCs, zatem przez najbliższe 5-10 lat będzie integralną częścią unikalnego w skali światowej układu eksperymentalnego.

#### **4. Opiekun: dr Mariusz Semczuk**

##### **Charakterystyka i budowa układu cewek magnetycznych do pułapkowania ultrazimnych atomów**

Atomy alkaliczne w stanie podstawowym mają niezerowy spin (zarówno jądrowy jak i elektronowy). W związku z tym oddziałują z polem magnetycznym, co umożliwia ich pułapkowanie a także kontrolę oddziaływań międzyatomowych (poprzez tzw. rezonanse Feshbacha). Pola magnetyczne w eksperymentach z ultrazimnymi atomami wytwarzane są poprzez przesył prądu przez przewodnik, najczęściej nawinięty tak, by utworzyć cewkę.

Celem pracy będzie symulacja a następnie zbudowanie cewek wytwarzających pole magnetyczne, które umożliwią a) pułapkowanie atomów w pułapce magneto-optycznej, b) pułapkowanie atomów w pułapce magnetycznej i c) kompensację zewnętrznych pól magnetycznych. Zbudowane cewki zostaną scharakteryzowane i zintegrowane z nowobudowanym układem doświadczalnym

Praca będzie zawierała elementy symulacji komputerowych w (wg preferencji studenta) Pythonie, Matlabie, Mathematicie i/lub Radii. Student zapozna się z podstawami teoretycznymi oddziaływania atomu z polem magnetycznym i nabeździe umiejętności związanych z konstrukcją kluczowych elementów (jakim są cewki) układu doświadczalnego

#### **5. Opiekun: dr hab. Piotr Fita**

##### **Ultraszybka dynamika procesów w cząsteczkach organicznych**

Wiele reakcji chemicznych zachodzi pod wpływem światła – absorpcja fotonu przez cząsteczki dostarcza energii potrzebnej do zapoczątkowania procesów fotochemicznych, prowadzących np. do zmiany struktury lub powstania nowych cząsteczek. Poznanie tych procesów może pozwolić na kontrolowanie przebiegu reakcji, w szczególności reakcji prowadzących do zamiany energii świetlnej na energię chemiczną lub elektryczną i mogących stanowić podstawę działania metod terapeutycznych (terapia fotodynamiczna nowotworów) lub nowych źródeł energii (organiczne baterie słoneczne).

Procesy decydujące o przebiegu tych reakcji często zachodzą w czasach rzędu femto- i pikosekund, dlatego wymagane są specjalne metody ich badania, w których wykorzystuje się źródła ultrakrótkich impulsów laserowych. W metodach tych próbkę cząsteczek chemicznych wzbudza się impulsem światła o czasie trwania rzędu 100 fs, a inny impuls, opóźniony w stosunku do pierwszego, monitoruje przebieg procesu (tzw. technika pompa-sonda). Zmieniając odstęp czasu pomiędzy impulsami w przedziale od zera do kilkuset pikosekund można odtworzyć przebieg badanej reakcji.

Celem pracy licencjackiej jest wykonanie serii pomiarów w wybranych cząsteczkach organicznych za pomocą techniki pompa-sonda, wykonanie ich analizy i zinterpretowanie wyników. W trakcie wykonywania pracy autor będzie musiał zapoznać się z zasadami działania laserów femtosekundowych, opanować ich obsługę oraz nauczyć się podstawowych technik chemicznych wykorzystywanych przy przygotowaniu próbek badanych cząsteczek.

#### **6. Opiekun: dr hab. Piotr Fita**

##### **Badania spektroskopowe układów sonochemicznych**

W odpowiednich warunkach fale akustyczne o częstotliwościach z zakresu ultradźwięków (20 kHz – 1 MHz), propagujące się w cieczy, inicjują lub przyspieszają przebieg reakcji chemicznych zachodzących w tej cieczy, a nawet prowadzą do emisji światła. Efekty te są następstwem zjawiska kawitacji, które polega na powstawaniu małych bąbelków pary (o średnicy rzędu 100  $\mu\text{m}$ ) wskutek gwałtownych zmian ciśnienia wywołanych przez fale akustyczne. Bąbelki takie powiększają się w czasie kilku okresów fali akustycznej, a następnie gwałtownie zapadają. W trakcie zapadania szybko rośnie ciśnienie gazu w bąbelku, co prowadzi do wzrostu jego temperatury nawet do wielu tysięcy kelwinów. W tak wysokich temperaturach cząsteczki chemiczne znajdujące się na powierzchni bąbelków ulegają dysocjacji lub wzbudzeniu i dzięki temu łatwiej ulegają reakcjom chemicznym, mogą też emitować światło ze stanów wzbudzonych (tzw. sonoluminescencja). W ostatnim czasie zaobserwowano, że dzięki temu mechanizmowi można wykorzystać ultradźwięki do selektywnego aktywowania odpowiednich leków w organizmie człowieka.

Celem pracy jest uruchomienie układu, w którym możliwe będzie zaobserwowanie efektów sonochemicznych i zbadanie zachodzących w nim zjawisk za pomocą technik spektroskopowych, np. poprzez rejestrację widma absorpcji substratów i produktów reakcji lub widma światła emitowanego przez układ pod wpływem ultradźwięków.

### **7. Opiekun: prof. dr hab. Paweł Kowalczyk Fotoasocjacja ultrazimnych atomów i jej zastosowania**

Fotoasocjacja stała się w ostatnich latach potężnym narzędziem służącym do wytwarzania ultrazimnych cząsteczek dwuatomowych, homo i heterojądrowych, w wybranych stanach energetycznych, w tym również w absolutnym stanie podstawowym. Tematem pracy będzie wyjaśnienie podstaw fizycznych metody fotoasocjacji i omówienie możliwości jej zastosowań, zarówno bezpośrednich (np. w spektroskopii wysokiej zdolności rozdzielczej), jak i pośrednich (jako przygotowanie do dalszych eksperymentów, np. z dziedziny tzw. zimnej chemii lub informatyki kwantowej). Celem pracy będzie zapoznanie się z najnowszymi eksperymentami z ultrazimnymi cząsteczkami tworzonymi metodą fotoasocjacji, jak również zaletami i ograniczeniami tej metody w porównaniu do metod komplementarnych (np. magnetoasocjacji).

Obecnie w naszym laboratorium planowane są liczne doświadczenia z "zimną materią". Student, który wykaże się zaangażowaniem i znajomością tematu, będzie miał możliwość włączenia się w aktualnie prowadzone i zakrojone na szeroką skalę prace, mające na celu zbudowanie układu pozwalającego w pierwszym etapie na pułapkowanie dwóch rodzajów atomów metali alkalicznych w nakrywających się pułapkach magnetoptycznych (MOT). Następnym krokiem będzie fotoasocjacja oraz przejęcie kontroli nad stanami energetycznymi wytwarzanych cząsteczek. Budowa tego układu, zaplanowana na najbliższe kilka lat, jest finansowana z funduszy Unii Europejskiej w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka "Fizyka u podstaw nowych technologii". Stwarza to doskonałą możliwość kontynuowania prac badawczych w czasie studiów magisterskich i doktoranckich.

### **8. Opiekun: prof. dr hab. Paweł Kowalczyk Spektroskopia laserowa dwuatomowych cząsteczek metali alkalicznych**

Przedmiotem pracy będzie wyznaczenie, na podstawie obserwowanych doświadczalnie widm wzbudzenia cząsteczek, tzw. stałych cząsteczkowych (energii wzbudzenia, częstości oscylacji i rotacji cząsteczki, odległości między jądrami) oraz zależności energii chmury elektronowej od odległości międzyjądrowej dla jednej z dwuatomowych cząsteczek metali alkalicznych badanych w Zakładzie Optyki. Wielkości takie mają podstawowe znaczenie dla przewidywania przebiegu szeregu procesów fizycznych, między innymi laserowego chłodzenia i pułpkowania atomów oraz tworzenia z nich ultrazimnych molekuł. Są też istotne dla testowania wyników obliczeń teoretycznych struktury energetycznej cząsteczek, prowadzonych metodami chemii kwantowej. Przewidujemy możliwość włączenia się studenta w aktualnie prowadzone prace doświadczone – obserwację widm wzbudzenia

cząsteczek techniką laserowej spektroskopii polaryzacyjnej. W Laboratorium Badań Molekularnych badamy cząsteczki dwuatomowe, obserwując ich widma optyczne nowoczesnymi metodami spektroskopii laserowej. Zajmujemy się przede wszystkim cząsteczkami metali alkalicznych (np. Na<sub>2</sub>, NaLi, KLi, NaRb, LiCs, NaCs), które są szczególnie ciekawe i dla eksperymentatorów, i dla teoretyków. Jako najprostsze cząsteczki dwuatomowe po cząsteczce wodoru są to doskonałe obiekty do rozwijania teoretycznych metod chemii kwantowej – nasze wyniki doświadczalne są więc nieodzowne do testowania poprawności modeli teoretycznych. Z drugiej strony, osiągnięta w ostatnich latach kondensacja Bosego-Einsteina w parach metali alkalicznych, oraz prace nad tworzeniem ultrazimnych cząsteczek i nad kondensatem molekularnym, stwarzają duże zapotrzebowanie na dokładne dane spektroskopowe dotyczące cząsteczek metali alkalicznych – takich danych dostarczają nasze doświadczenia. Na podstawie obserwowanych widm umiemy wyznaczyć odległość jąder w cząsteczce, częstość ich drgań, częstość obrotów cząsteczki, a przede wszystkim zależność siły oddziaływania atomów tworzących cząsteczkę od ich odległości. Wszystkie te wiadomości zawarte są w tzw. krzywej energii potencjalnej, charakteryzującej dany stan cząsteczki. Krzywa ta z jednej strony obrazuje zależność energii oddziaływania atomów tworzących cząsteczkę od odległości między nimi, z drugiej przedstawia jamę potencjału, w której drgają jądra składowych atomów. Wyznaczenie kształtu takich krzywych jest głównym celem naszych doświadczeń.

### **1. Opiekun: prof. dr hab. Paweł Kowalczyk** **Spektroskopia optoakustyczna i optotermiczna**

Technika spektroskopii optoakustycznej pozwala na wykrywanie znikomych koncentracji cząsteczek jednego rodzaju w obecności innych cząsteczek o znacznie większej koncentracji.

Przykładem jej zastosowania jest detekcja zanieczyszczeń gazowych w atmosferze. Metoda spektroskopii optotermicznej pozwala z kolei wykryć obecność wzbudzonych cząsteczek w innych skrajnych warunkach – w tzw. strumieniu cząsteczkowym. Planowana praca powinna zawierać omówienie zasad obu technik i przedstawić przegląd ich wybranych zastosowań w oparciu o dostępną literaturę przedmiotu.